Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

BIOHIILI

BIOCOAL

Lappeenrannassa 21.4.2010

0241606 Jerkko Starck ENTE N

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO 4
1.1 Työn tarkoitus ja rajaus 5
1.2 Työssä käytetty terminologia 5
1.3 Työssä käytetty lähdeaineisto 6
2. YLEISTÄ 7
2.1 Mitä on biohiili? 7
2.2 Kivihiili vs. biohiili 9
3. HISTORIA 11
3.1 Puuhiilen historia 11
3.2 Teknologian kehitys 12
4. RAAKA-AINE 14
5. NYKYTEKNOLOGIAT 15
5.1 Sisäinen lämmitys kontrolloidulla raaka-aineiden poltolla 16
5.1.1 Missouri-polttouuni 16
5.1.2 Mehiläispesä-polttouuni 17
5.1.3 Argenttiinalainen polttouuni 18
5.2 Ulkoinen lämmitys polttopuun, polttoöljyn tai maakaasun poltolla 18
5.3 Lämmitys kaasunkierrätyksellä eli retortti tai kaasukonvertteri 19
5.3.1 Preseco 20
5.3.2 Carbo Tuplaretortti 21
5.3.3 Tunneliretortti 22
5.3.4 Lambiotte 23
5.3.5 Bioware 24
5.3.6 Biocarbo 28
5.3.7 Pro-Natura 32
6. EKONOMIA 33
6.1 Polttoaineena 33
6.2 Maataloudessa 34
6.3 Esimerkki Biohiililaitoksesta 35
7. PÄÄSTÖT 37
8. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT 39

9. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 40
LÄHTEET 41
LIITE ……..44

1. JOHDANTO

Fossiilisten polttoainevarojen vähentyessä kiinnostus korvaavien polttoaineiden löytämiseksi lisääntyy. Uusiutuvat biopolttoaineet tarjoavat energialähteen, jota ei vielä osata riittävästi hyödyntää. Siksi tarvitaan lisää tutkimusta erilaisten vaihtoehtojen selvittämiseksi ja niiden käyttöönoton helpottamiseksi.

Euroopan unioni on sitoutunut vuoteen 2020 mennessä vähentämään syntyviä kasvihuonekaasupäästöjään 20 % vuoden 1990 tasosta, parantamaan energiatehokkuutta 20 % ja lisäämään uusiutuvan energian osuutta koko energiantuotannossa 20 % ja liikenteessä 10 %. Kiinnostus uusiutuviin energialähteisiin on kasvanut huomattavasti viimeaikoina, ja vuonna 2008 investoinnit uusiutuvan energian tuotantokapasiteettiin kasvoivat ensi kertaa fossiilisen energian investointeja suuremmiksi.[1]

Vallitseva suuntaus tekeekin biohiilen yhdessä muiden uusiutuvien energiamuotojen kanssa ajankohtaiseksi. Lisäksi fossiilisten polttoainevarojen rajallisuus ja päästökauppasektorin luoma paine ajaa yhteiskuntaa kohti vihreämpää energian tuotantoa.

Biohiili on orgaanisesta raaka-aineesta valmistettua hiilipitoista päästöneutraalia polttoainetta, joka ominaisuuksiltaan vastaa kivihiiltä. Biohiiltä on käytetty jo tuhansia vuosia ja sen tuotantoteknologia on samalla hiljalleen kehittynyt. Kehitysmaissa biohiiltä kuitenkin vielä valmistetaan perinteisillä menetelmillä, joilla on alhainen hyötysuhde ja huomattavat päästöt.

Valmistusprosessin raaka-aineena voidaan käyttää nykyään lähes mitä tahansa orgaanista materiaalia. Useinmiten prosessit on kuitenkin optimoitu toimimaan tietyillä biomateriaaleilla, kuten puulla, hakkeella jne.

Uusien retorttiperäisten teknologioiden myötä hyötysuhde ja saanto on huomattavasti parantunut, laitosmittakaava kasvanut ja päästöt pienentyneet oleellisesti. Nykyteknologiat perustuvat lähes kokonaan tehokkaaseen kaasunkierrätykseen, jossa saadaan puusta haihtuvat ainesosat poltettua ja näin prosessista energiaomavarainen.

Prosessin ekonomia riippuu voimakkaasti paikallisista olosuhteista, kuten raaka-aineen hinnasta, biohiilen markkinahinnasta, laitoksen koosta, työvoimakustannuksista ja niin edelleen. Perinteisinä markkinoina ovat olleet metallurginen teollisuus, puhdistus (aktiivihiili), grillihiili teollistuneissa maissa ja kotitalouksien polttoaine kehitysmaissa. Ihmisten ympäristötietouden lisääntyessä uusia markkinoita tulee avautumaan.

1.1 Työn tarkoitus ja rajaus

Biohiili on käsitteenä hyvin monelle tuntematon, eikä sen tuotantomenetelmiä tai käyttömahdollisuuksia juuri Suomessa yleisellä tasolla tunneta. Tämän työn tarkoituksena on tiivistetysti antaa käsitys, mitä biohiili on, miten sitä tuotetaan, missä ja miksi. Työssä ei paneuduta tarkasti mihinkään aihealueeseen, vaan pyritään antamaan selvä käsitys biohiilen merkityksestä ja potentiaalista nykymaailmassa, painottaen kuitenkin eri tuotantoteknologioiden kuvausta.

1.2 Työssä käytetty terminologia

Suurin osa työssä käytetyistä termeistä on tuttuja energiatekniikan parissa työskenteleville ihmisille. On kuitenkin syytä avata hieman tässä yhteydessä vähemmän tunnettuja termejä.

Saantoa käytetään hyvin paljon, kun pyritään kuvaamaan prosessin tehokkuutta. Saannolla ilmoitetaan, kuinka paljon prosessiin syötetystä bioraaka-aineesta saadaan muutettua biohiileksi.

$$Saanto = \frac{Syötetyn\ biomateriaalin\ massa}{valmiin\ biohiilen\ massa}$$

Puhuttaessa hyötysuhteesta ei tässä yhteydessä suoraan tarkoiteta prosessin energiatehokkuutta, vaan syötettävän bioraaka-aineen energiasisältöä verrattuna valmistetun biohiilen energiasisältöön.

$$Hyötysuhde = \frac{Syötettävän\ biomateriaalin\ energiasisältö}{Valmiin\ biohiilen\ energiasisältö}$$

Päästötekijällä tarkoitetaan syntyvien haittapäästöjen määrää grammoissa, kun poltetaan kilo polttoainetta. Se on ilmoitettu erikseen jokaiselle kaasumaiselle päästölle.

$$EF = emission\ \ factor\ \left[g / kg_{\ tuotettu\ \ biohiili} \right]$$

1.3 Työssä käytetty lähdeaineisto

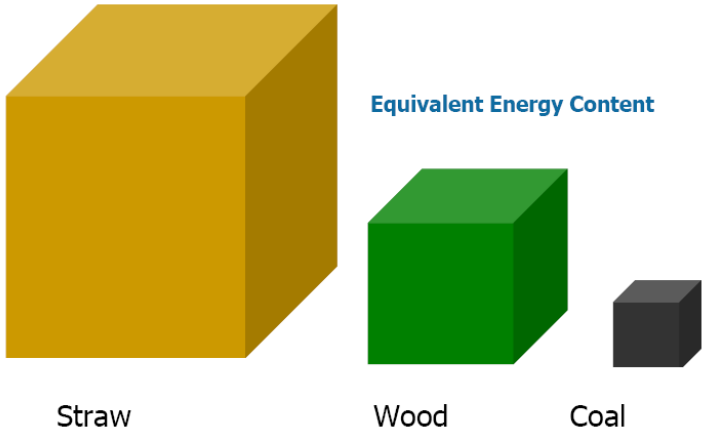
Työssä on käytetty runsaasti eri lähdemateriaaleja historian ja perinteisten teknologioiden osalta. Uusista 2000-luvun teknologioista ei ole käytännössä lainkaan tietoa saatavilla kirjallisuudessa. Tiedot kolmeen brasilialaiseen teknologiaan on saatu e-mail haastatteluina ja yhtiöiden jäsenien tarjoamina kuvina ja dokumentteina. Tiedot tarjonneet henkilöt löytyvät lähdeluettelosta.

2. YLEISTÄ

2.1 Mitä on biohiili?

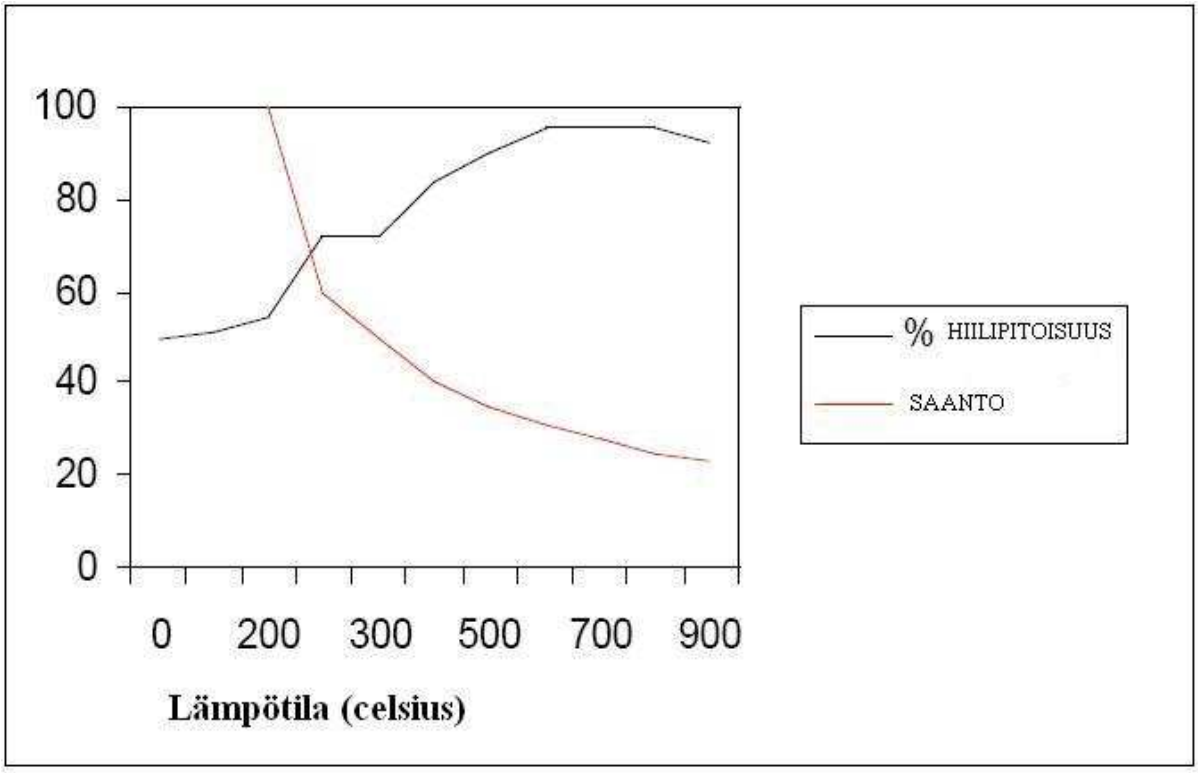
Kuva 1: Biohiilibriketteä [16]

Biohiili on mustaa huokoista hiilipitoista materiaalia. Sen hiilipitoisuus on tyypillisesti 70 – 98 % määritelmästä riippuen. Biohiilen laatu riippuu käytetystä raaka-aineesta ja hiilestysteknologiasta. Lehtipuusta (esim. koivu, tammi) tuotettu biohiili on painavaa ja vahvaa, havupuusta tuotettu pehmeää ja kevyttä. Käytännössä sitä pystytään tuottamaan mistä tahansa orgaanisesta aineesta. Pyökistä valmistetun biohiilen tiheys on 0,45 t/m^3a ja männystä valmistetun 0,28 t/m^3a. Biohiilen irtotiheys riippuu myös palakoosta ja vaihtelee 180 – 220 kg/m^3a . Ylempi lämpöarvo on tyypillisesti 28 – 33 MJ/kg, mikä riippuu sen laadusta, kosteudesta, haituvien ainesosien pitoisuudesta ja tuhkapitoisuudesta. [2,3,4]



kuva 2: Ekvivalenttiset energiasisällöt

Grillihiileksi tarkoitettu puuhiili tyypillisesti sisältää 20 – 30 % haihtuvia ainesosia, kun taas metallurginen biohiili 5 – 15 %. Valmiin biohiilen kosteus on tyypillisesti noin 5 – 8 %. Se ei käytännössä sisällä lainkaan rikkiä tai elohopeaa ja sen tuhka- ja typpipitoisuus on matala. [2,3]



Kuva 3: Hiilipitoisuus ja saanto lämpötilan funktiona [16,18]

Biohiilen kemiallinen laatu (% hiiltä) kasvaa lämpötilan mukaan. Tosin haihtuvien ainesosien menetys korkeammilla lämpötiloilla johtaa heikompaan saantoon. Tämän takia täytyy tehdä kompromissi määrän ja laadun välillä.

2.2 Kivihiili vs. biohiili

Kivihiili on maailman eniten käytetty sähköntuotannon polttoaine. Lisäksi kivihiili on öljyn jälkeen maailman tärkein energianlähde. Liki kolmasosa maailman sähköntuotannosta ja viidesosa koko energian tarpeesta katetaan hiilellä. Suomessa kivihiilen käyttö pääpolttoaineena on keskittynyt isoihin lauhde- ja kaukolämpövoimalaitoksiin. [5]

Kivihiilen käytön kustannukset ovat kohonneet merkittävästi päästökaupan alettua. Sen kilpailuasema on heikentynyt esimerkiksi maakaasuun verrattuna. Tämä voi johtaa kivihiilen käytön vähenemiseen. Kivihiiltä poltettaessa syntyy merkittäviä määriä rikkidioksidi- (SO_2), typen oksidi- (NOx) ja hiukkaspäästöjä sekä ilmakehään vapautuu hiilidioksidia. Lisäksi sen poltosta syntyy pieniä määriä elohopeaa kaasumaisessa muodossa. [5,6]

Biohiili on puolestaan korkealaatuista päästöneutraalia biopolttoainetta, joka ominaisuuksiltaan vastaa kivihiiltä (esitetty alla taulukossa 1, IPR syistä valmistaja nimeä ei esitetä tässä). Biohiili sopii erinomaisesti sellaisenaan kivihiilivoimalan polttoaineeksi, koska sitä voidaan polttaa sellaisenaan korkean energia-arvonsa takia. Uusia investointeja ei siis tarvita. Sillä voidaan myös korvata puupellettejä. Alalla odotetaan nopeaa kasvua öljyn ja kivihiilen kallistuessa ja ympäristöpaineiden kasvaessa. Suomen energiantuotannossa kivihiilen korvaaminen biohiilellä olisi mahdollista kokonaisuudessaan, joka vähentäisi arvioiden mukaan hiilidioksidipäästöjä viisi prosenttia vuoden 2008 tasosta.

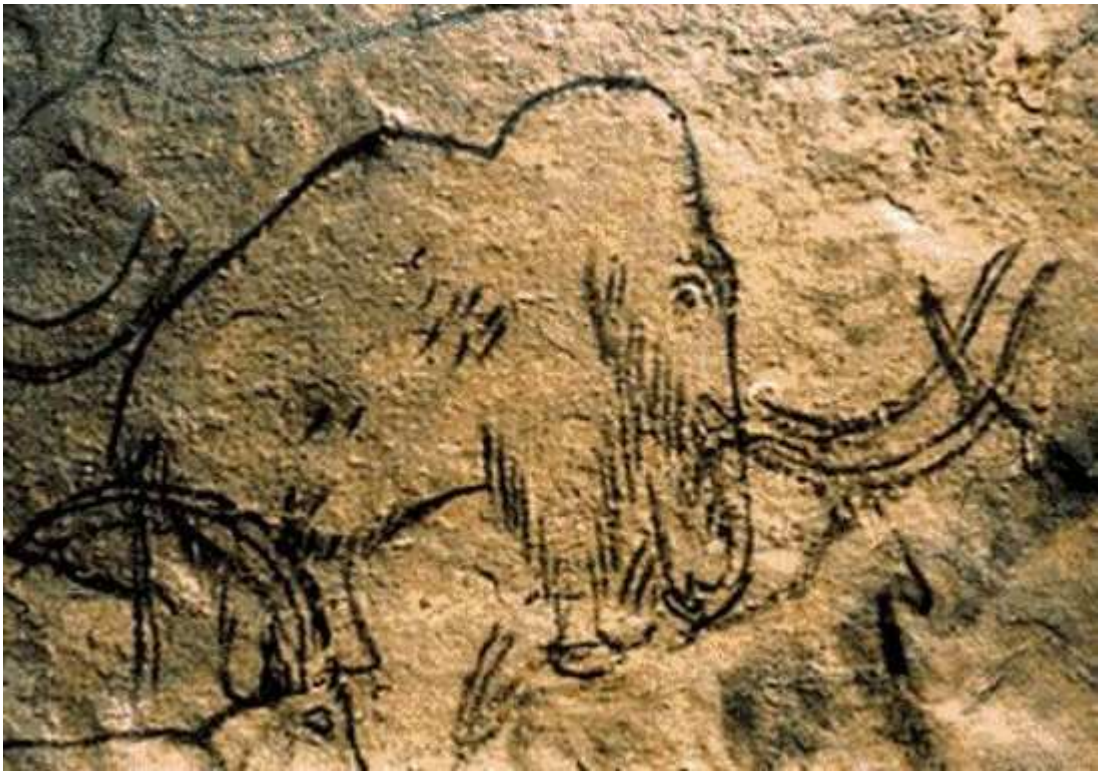
Kivihiililauhde siis dominoi Euroopassakin sähköntuotantoa. Mikäli osa kivihiilestä korvattaisiin biohiilellä, olisi mahdollista saavuttaa EU:n 20 prosentin bioenergian osuus välittömästi. Samalla saataisiin hiilidioksidi-, NOx- ja SOx- päästöjä pienennettyä huomattavasti. Taloudellista säästöä tulisi suoraan päästöoikeuksissa ja yhtiö saisi vihreää PR-imagoa. [27]

Taulukko 1: Polttoaineiden alkuaineanalyysi

	BIOHIILI	KIVIHIILI (Puola)	PELLETTI (sahanpuru ja kuori)
C	83,10	73,20	52,5
H_2	3,83	4,70	5,7
S	0,05	1,00	0,02
O_2	1,77	9,10	39,3
N_2	0,47	1,00	0,4
Cl	0,08	0,2	<0,03
Tuhka	5,30	11,00	<0,5
Kosteus	5,4	9,0	8 - 12
Lämpöarvo	32,7 MJ/kg	27 MJ/kg	17,1 MJ/kg

3. HISTORIA

3.1 Puuhiilen historia



Kuva 4: Puuhiilipiirros noin vuodelta 15 000 eaa. Ranska, Roufignac [7]

Puuhiiltä on käytetty hyvin pitkään. Alun perin puuhiiltä on käytetty luolamaalauksissa jo 30 000 eaa. 3500 eaa sitä käytettiin yleisesti polttoaineena läpi Euroopan ja Aasian. Muinaisegyptiläiset käyttivät puuhiitlä raudan sulatukseen ja lasin valmistukseen ja näin maailma siirtyi Pronssikauteen noin 3000 - 2000 eaa. [7,8,10]

Puuhiilen laajemman tuotannon alku on vahvasti sidoksissa metallurgisen ajan alkuun noin 3000 eaa. Yritykset sulattaa metallia puutulilla ei ollut koskaan kovin menestyksellistä, koska sillä ei saavutettu tarpeeksi korkeita lämpötiloja. Kun puuta poltettiin, vapautui samalla suuri määrä höyrystynyttä vettä ja kaasuuntuvia ainesosia, mikä rajoitti liekin lämpötilaa. Puuhiiltä poltettaessa puolestaan saatiin aikaiseksi paljon korkeampi lämpötila (yli 1000 celsiusta) ja savukaasujen määrä oli pieni. [7,10]

Ajanlaskun alussa puuhiilen käyttö pääsi vauhtiin roomalaisten myötä. Puuhiili ei toiminut tänä aikana enää pelkästään polttoaineena, vaan sitä alettiin myös käyttämään tervan valmistukseen laivojen tilkkimiseen ja ohuempana palsamointiin. Sitä alettiin myös käyttämään värjäykseen, rakennusmateriaalina sekä nesteiden puhdistukseen ja suodatukseen. [8,11]

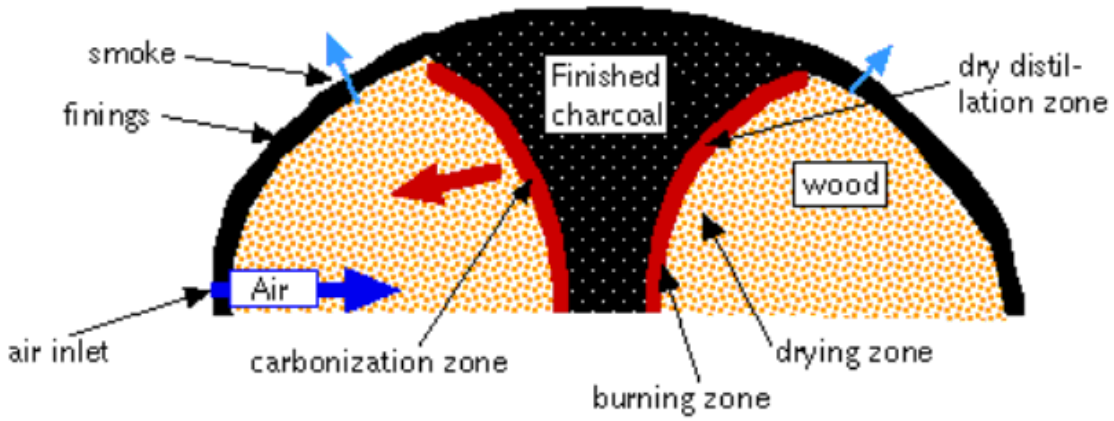
Vuonna 1334 puuhiilelle löydettiin uutta käyttöä ruudin ainesosana. 1400-luvulla masuunin keksimisen jälkeen puuhiiltä käytettiin laajalti halki koko Euroopan. Kaikki raudan tuotanto perustui puuhiilen käyttöön 1700-luvun vaihteeseen asti. Tällöin metallin tuotannon lisääntyessä metsien hävittämisestä muodostui huomattava ongelma koko Euroopassa ja alettiin etsimään vaihtoehtoa puuhiilelle. Kivihiili oli tarkoitukseen sopimatonta sen sisältämien epäpuhtauksien takia. [8,9]

1700-luvun alussa englantilainen työntekijä keksi tavan valmistaa valurautaa käyttämällä koksia, mikä johti puuhiilen kysynnän merkittävään romahtamiseen. Tällä vuosisadalla suurin osa ahjoista muutettiin koksikäyttöisiksi ja lähes 4000 vuoden mittainen puuhiilen aika teollisena polttoaineena loppui lähes kokonaan. [8,9]

1900-luvun alkupuolella puuhiiltä käytettiin pääasiassa hiilidisulfidin valmistukseen, jota käytettiin keinotekoisessa silkkiteollisuudessa kemikaalina. Puuhiilelle löydettiin hiljalleen myös muita sovellutuksia; aktiivisessa muodossa puuhiilellä oli poikkeuksellisia ominaisuuksia kaasujen absorboinnissa ja nesteiden puhdistuksessa. Sitä alettiin käyttämään kaasunaamareissa ja kemiallisten liuosten jalostuksessa. [8,11]

3.2 Teknologian kehitys

Varhaisin puuhiilen valmistusmenetelmä oli luultavasti kuoppauuni (pit kiln), jossa puu paloi hitaasti maa-aineksella peitettynä matalassa kuopassa. Toinen samanlainen menetelmä oli kasata puuainesta kartionmalliseksi kasaksi tasaiselle maalle ja peittää se maalla, nurmella tai tuhkalla, jättäen kasan alaosaan ilmanottoaukot ja yläosaan pieni aukko savukaasulle. Puu sytytettiin ja sen annettiin palaa hiljalleen. Tämän jälkeen ilmanottoaukot peitettiin, jotta kasa jäähtyisi hiljalleen. [7,9]



Kuva 5: Perinteisen puuhiilen valmistuksen kasan poikkileikkaus [7]

Kuva 6: Perinteistä puuhiilen valmistusta. Maalla ja oljilla peitetty puukasa [12]

Viime vuosisadan aikana polttouuniteknologia kehittyi. Muutamia esimerkkejä kehityksestä olivat Missouri-polttouuni, argentiinalainen polttouuni, ja brasilialainen mehiläispesä-polttouuni. Näissä osa lähtöaineesta uhrataan prosessin käynnistykseen ja kontrollointiin. Palavat pyrolyysikaasut ovat suoraan yhteydessä syötettyyn biomassaan. [3]

1900-luvun alussa Orin Stafford kehitti vaihtoehtoisen menetelmän valmistaa biohiiltä. Uutta menetelmää kutsuttiin retorttiprosessiksi, missä puu matkasi läpi sydänten tai uunien. Tämä tarkoitti jatkuvaa prosessia, missä puuta jatkuvasti syötettiin toisesta päästä, ja toisesta päästä hiiltynyt materiaali poistui. Retorttiprosessia käsitellään tarkemmin kappaleessa 5. [9]

4. RAAKA-AINE

Biohiili on perinteisesti ollut luonnonmetsien tuote, jota ovat tuottaneet maaseudun köyhät ja maattomat ihmiset. Biomassan käytön osuus kokonaisenergiasta on näillä alueilla huomattava ja raaka-aine biohiilen tuotantoon on saatu paikallisista metsistä. [4]

Nykyisin sekä lehti- että mäntypuita voidaan käyttää raaka-aineena. Tämän lisäksi käytettyjä raaka-aineita ovat mm. sahanpuru, puunlastut, hedelmäkivet, pähkinät, pähkinänkuoret, maissintähkät, kuori, puuvillan siemenet ja näiden tapaiset bioperäiset materiaalit. Myös Suomessa Preseco on testannut omaa karbonisaattoriaan mitä erilaisimmilla materiaaleilla. [3,13]

Käytettävä raaka-aine riippuu aina prosessista ja toivotuista lopputuotteen ominaisuuksista. Tärkeitä ominaisuuksia ovat myös syötettävän biomateriaalin kosteus ja palakoko, jotka vaihtelevat käytettävän prosessin mukaan. Yleensä pienempi palakoko on parempi, sillä hiilestys on tällöin nopeampaa. Toisaalta pienempi palakoko tuo yleensä mukanaan kustannuksia paloittelun muodossa. Luvussa 5 on esitetty uusien teknologioiden yhteydessä niiden käyttämät raaka-aineet.

Bioenergian suurmaassa Brasiliassa toiminta on hiljalleen siirtymässä paikallisista metsistä plantaasiviljelmille. Raaka-aineena käytetään pääasiassa eucalyptusta, joka kasvaa täyteen mittaansa seitsemässä vuodessa. Alla on esitetty kuva plantaasitoiminnasta Brasiliassa. [14]

Kuva 7: Biohiilen valmistusta Eucalyptusplantaasin keskellä. [14]

5. NYKYTEKNOLOGIAT

Erilaisia teknologioita valmistaa biohiiltä on satoja. Tässä kappaleessa käsitellään ns. uuden teknologian periaatteita ja esitellään erilaisia teknologioita pääpiirteissään. On kuitenkin syytä muistaa, että tänä päivänä yhä suurin osa biohiilen valmistuksesta tapahtuu perinteisillä menetelmillä. Esimerkiksi Brasiliassa, joka on maailman suurin bioenergian tuottaja ja kuluttaja, yli 70% biohiilestä tuotetaan ”Tail Quente”-nimisillä puolipallon muotoisilla täyttöpolttouuneilla. [22]

Lämmitystavan mukaan nykyteknologiat voidaan jakaa kolmeen kategoriaan jotka on käsitelty kappaleissa 5.1 – 5.3. Myös muita jaotteluperiaatteita löytyy, kuten jaottelu jatkuviin ja puolijatkuviin prosesseihin, pyrolyysin nopeuden mukaan jne.

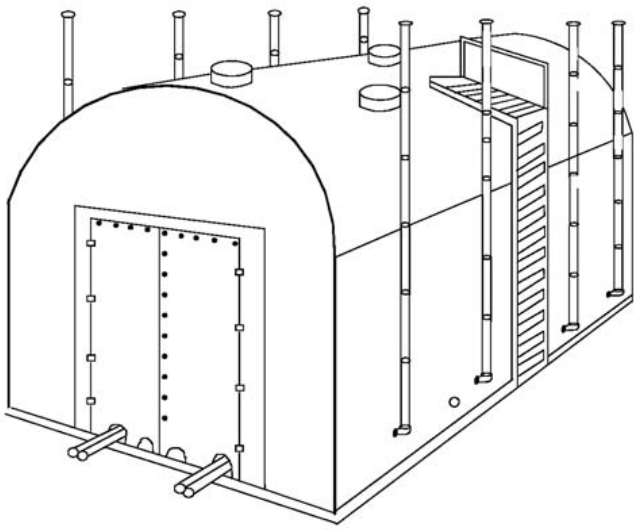
5.1 Sisäinen lämmitys kontrolloidulla raaka-aineiden poltolla

Sisäisessä lämmityksessä jopa 20 massa-% puusta uhrataan energian tuottamiseen, jolla ylläpidetään prosessia. 60 massa-% puusta muuttuu kaasuiksi ja höyryksi. Tämä on vanhin biohiilen tuotantomenetelmä. Käytetyt polttouunit täytetään ja puretaan manuaalisesti. [22]

5.1.1 Missouri-polttouuni

Missouri-polttouuni kehitettiin monien vuosien aikana Missourissa, Yhdysvalloissa. Sen malli standardisoitui enemmän tai vähemmän noin vuonna 1960. Uunityyppi sopii hyvin ankaraan talvi-ilmastoon ja sillä on korkeat työvoimakustannukset. [3,15]

Missouri-polttouuni on suunniteltu käytettäväksi mekaanisten apuvälineiden, kuten traktorin, kanssa. Uuni valmistetaan raudasta. Uunityypin kokoluokka vaihtelee neljästä 350 kuutiometriin ja muodoltaan ne ovat suorakulmion mallisia. Hiilestyssykli on tyypillisesti noin 25 – 30 päivää. [15]



Kuva 8: Missouri-polttouuni [3]

5.1.2 Mehiläispesä-polttouuni

Mehiläispesä-polttouunit (Beehive kiln) ovat laajalti ja menestyksellisesti käytössä Brasiliassa ja muodostavat rautateollisuuden pohjan. Tärkeät rauta- ja teräsyhtiöt käyttävät useita tuhansia tämän tyyppisiä polttouuneja. Ne ovat muodoltaan pyöreitä, ”iglumaisia” ja ne on rakennettu tavallisista savitiilistä. [15]

Mehiläispesä-polttouunit ovat investointikustannuksiltaan halpoja ja niiden rakentaminen on helppoa. Rakennusmateriaalina käytetään useimmiten savesta valettuja tiiliä ja niiden elinkaari on suhteellisen pitkä (6 vuotta). Jäähtymisvaihe tapahtuu huomattavasti nopeammin kuin Missouri-tyyppisillä polttouuneilla. Hiilestyssykli kestää 9 päivää ja tuotanto on noin 5 tonnia sykliltä. [15]

Kuva 9: Mehiläispesä-polttouuneja Canyon Creekissä, Wise River Ranger District, Montana [3]

5.1.3 Argenttiinalainen polttouuni

Argentiinalaisessa polttouunissa on kaksi ovea vastakkaisilla puolilla; toinen ovi uunin lataamista ja toinen lopputuotteen purkamista varten. Ovet sinetöidään tiilillä ja mudalla umpeen latauksen ja avataan jälleen hiilestyksen jälkeen. [15]

Itse polttouuni on rakennettu kokonaan tiilistä ja se on varsin yksinkertainen rakentaa. Täten se sopii hyvin kehitysmaihin. Hiilestyssyklin kesto on noin 13 – 14 päivää ja tuotanto noin 9 – 10 tonnia puuhiiltä seitsemän metrisellä (läpimitta) polttouunilla. [15]

Kuva 10: Argentiinalainen juuri valmistunut polttouuni [15]

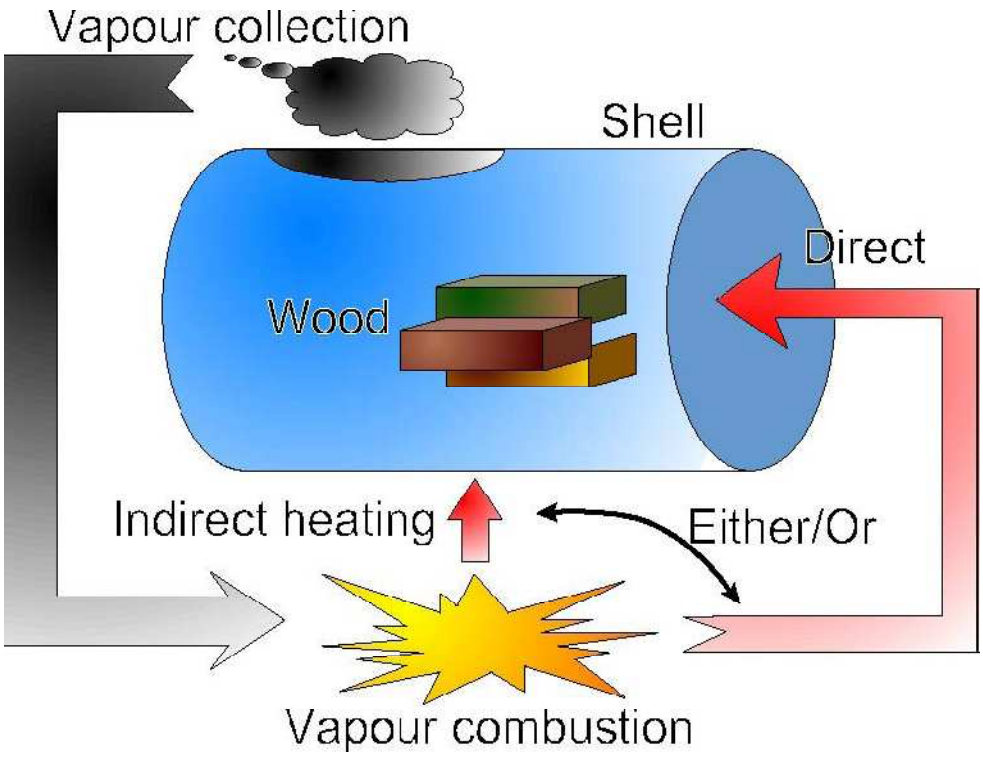
5.2 Ulkoinen lämmitys polttopuun, polttoöljyn tai maakaasun poltolla

Ulkoisella lämmityksellä varustetuissa uuneissa on ulkoinen polttokammio, jossa poltetaan jotakin polttoainetta. Kuumia polttokaasuja käytetään biohiilen tuotantoon. Nämä polttouunit sallivat paremman prosessin kontrolloinnin ja saatu biohiili on laadukkaampaa (korkeampi hiilipitoisuus ja lämpöarvo). Ne ovat kuitenkin kalliimpia käyttää ja asennuskustannukset ovat suuremmat kuin sisäisellä lämmityksellä. Ulkoisella lämmityksellä varustettuja uuneja käytetään lähinnä suurissa rauta- ja terästehtaissa. [22]

5.3 Lämmitys kaasunkierrätyksellä eli retortti tai kaasukonvertteri

Retorttiuunit lämmitetään kaasunkierrätyksellä. Ne ovat jatkuvatoimisia tai puolijatkuvatoimisia ja biomassa lämmitetään siitä itsestään vapautuvilla kaasuilla. Tärkeä ero edellisiin verrattuna on kaasujen talteenoton mahdollisuus. Tuotettu biohiili on parempaa laadultaan (hiilipitoisuus, lämpöarvo) ja saanto on suurempi (30 – 50 %), mutta asennuskustannukset ovat suuremmat.

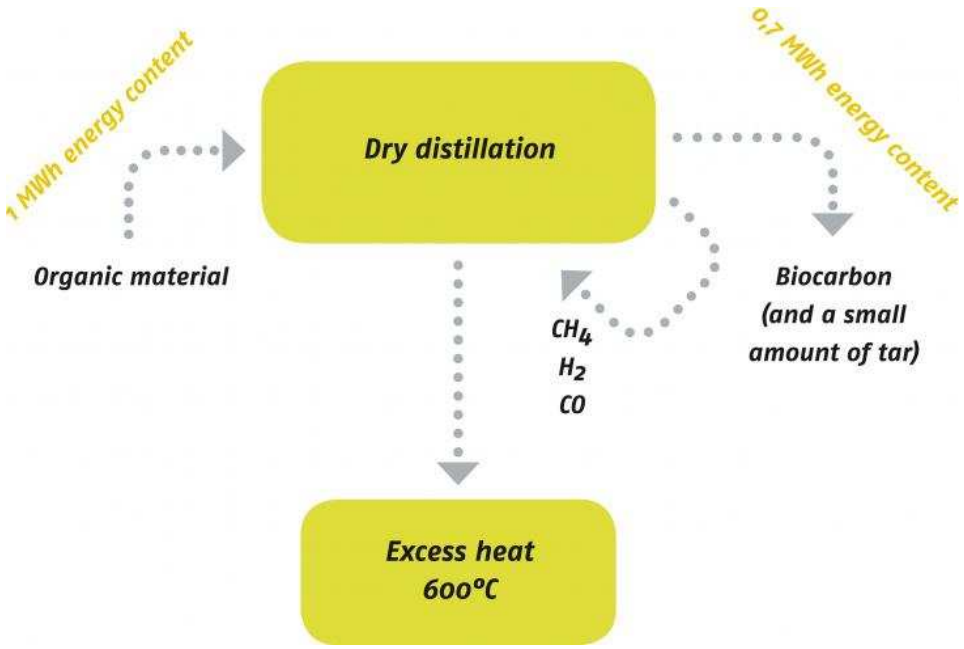
Aluksi raaka-aine syötetään retorttiuuniin, jossa se poltetaan hapettomissa olosuhteissa. Haihtuvat ainesosat (metaani, vety, happi jne) poistuvat uunista ja ne johdetaan polttokammioon, jossa ne poltetaan ja näin ylläpidetään prosessin vaatima lämpötila ilman ulkoista lämmitystä. Prosessista tulee energiaomavarainen käynnistyksen jälkeen. Retorttiuuniin jää jäljelle biohiili ja jonkin verran haihtuvia ainesosia, riippuen siitä missä lämpötilassa hiilestys on tapahtunut ja kuinka pitkälle prosessi on ajettu. Alla on esitetty periaatepiirros retorttiprosessista.



Kuva 11: Retorttiprosessin periaatepiirros [3]

5.3.1 Preseco

Suomessa Preseco Oy tarjoaa Preseco Carboniseria. Se on suunniteltu tuottamaan korkealaatuista biohiiltä laajasta valikoimasta orgaanisia aineita pyrolyysillä. Lopputuote biohiili on täysin yhteensopiva perinteisen kivihiilen käytön kanssa. [13]

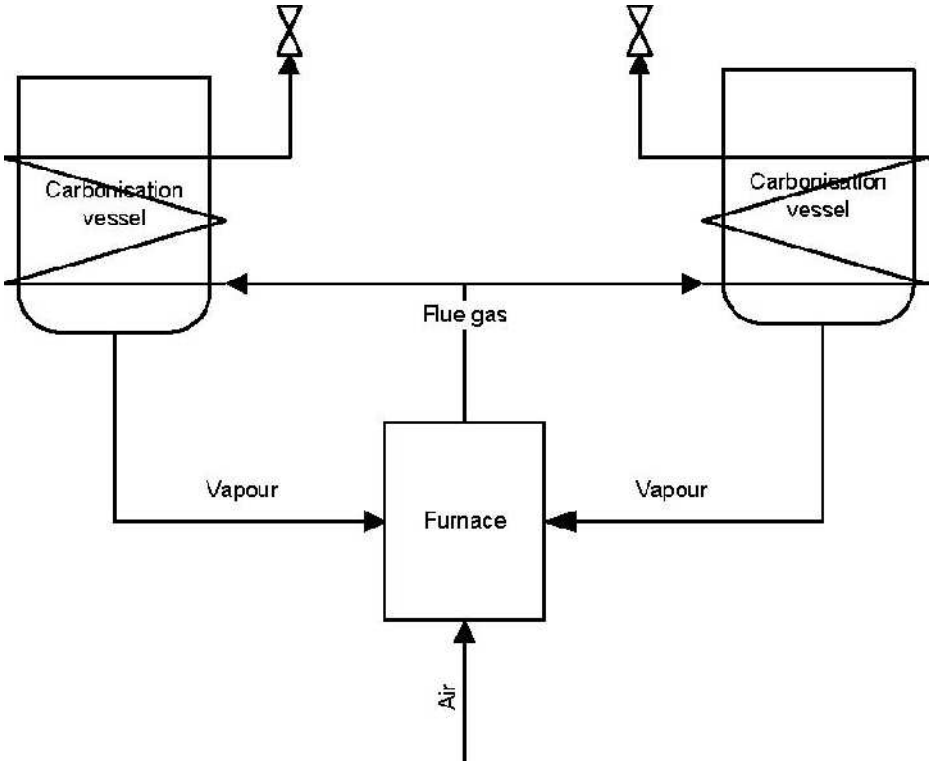


Kuva 12: Presecon Carboniserin periaate [13]

Hiilestyksessä orgaaninen materiaali syötetään karbonisaattoriin ja poltetaan hapettomissa olosuhteissa. Viipymisaika karbonisaattorissa on 10 – 20 minuuttia. Prosessin nopeus ja lopputuotteen laatu riippuvat syötetyn biomateriaalin partikkelikoosta. Tilavuusmittainen muutos on 60 – 90 prosenttia. Operaatio on jatkuvatoiminen ja energiaomavarainen, jossa hiilestyksessä vapautuva tuotekaasu poltetaan prosessin vaatimaksi lämmöksi. Käynnistyksen yhteydessä tukipolttoaineena tosin voidaan käyttää esimerkiksi maakaasua tai öljyä. Prosessista saadaan sivutuotteena noin 600 – 800 asteista lämpöä, jota voidaan hyödyntää paikallisesti suorakäyttönä tai kaukolämpöverkossa. [13]

5.3.2 Carbo Tuplaretortti

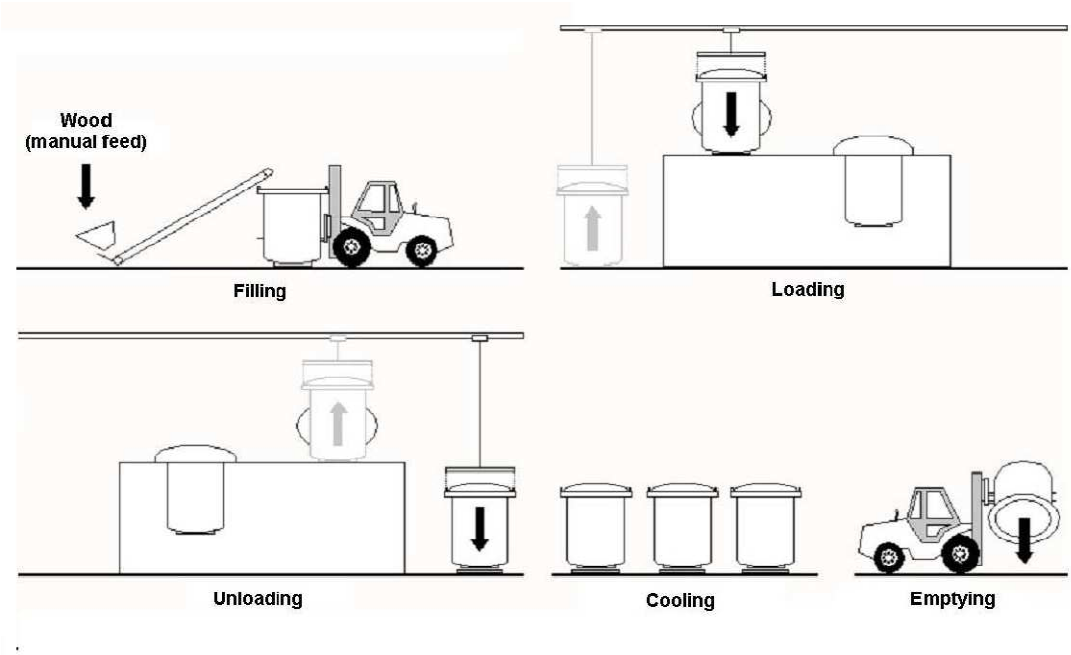
Tuplaretortti kehitettiin Hollannissa 1990-luvulla. Se on puolijatkuva tuotantomoduuli, jonka kapasiteetti on 900 tonnia biohiiltä vuodessa. Yksi moduuli koostuu kahdesta retortista, jotka on sijoitettu eristettyyn uuniin. Molempiin retortteihin lasketaan vuorotellen noin viiden kuutiometrin astia täynnä tuoretta puuta. [3,19]



Kuva 13: Tuplaretortin toimintaperiaate [3]

Kun astia on saavuttanut hiilestyslämpötilan (noin 500^{o}C), alkaa terminen hajoaminen ja pyrolyysikaasut poistuvat raaka-aineesta. Vapautuneet kaasut poltetaan ja lämpö johdetaan toisen astian lämmittämiseen. Tällä tavalla ulkopuolista energialähdettä ei tarvita käynnistyksen jälkeen. Yhden astian hiilestys kestää noin 12 tuntia. [19]

Hiilestyksen jälkeen biohiiltä sisältävät kuumat astiat nostetaan pois retortista ja niiden annetaan jäähtyä 20 – 24 tuntia ennen tyhjennystä. Näin ollen ylimääräisiä astioita tarvitaan, jotta saadaan pidettyä hiilestyssykli tehokkaasti käynnissä. [3,19]



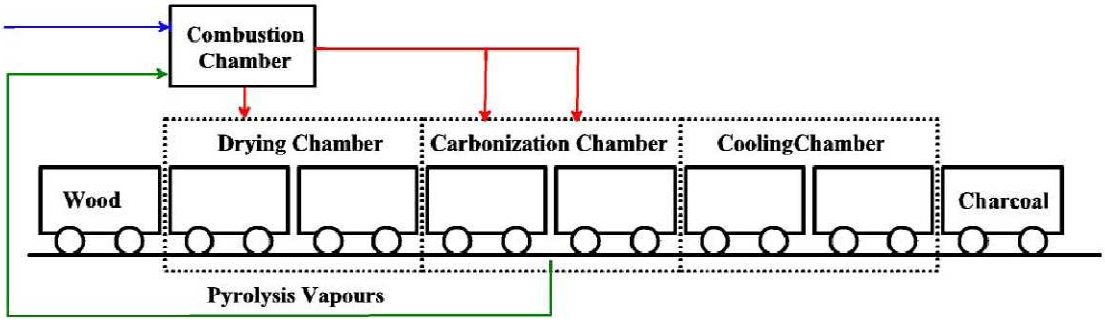
Kuva 14: Tuplaretortin käyttöperiaate [3]

Syötettävä raaka-aine voi olla joko lehtipuuta tai havupuuta. Syötettävän biomassan tulee olla 10 -30 sentin palakoossa. Sahojen ylijäämämateriaali tai vastaava sopii erinomaisesti. Syötettävän puumassan ei tulisi olla kosteusprosentiltaan yli 20, sillä se vaatisi pidempää hiilestysaikaa ja liikaa lämpötehoa. [19]

Tuplaretortti on ollut menestyksellisesti käytössä useissa maissa: Hollannissa, Virossa, Kiinassa, Ghanassa Ranskassa, Nigeriassa, Etelä-Afrikassa, Omanissa ja Singaporessa. [3,19]

5.3.3 Tunneliretortti

O.E.T Calusto tunneliretortti on kehitetty Italiassa. Toimintaperiaate on hyvin samantyylinen kuin Arkansas vaunuretortissa. Periaatepiirros on esitetty alla kuvassa 15.



Kuva 15: Tunneliretortin periaatepiirros [3,21]

Prosessissa puu kuljetetaan kuljetusvaunuissa horisonttaalisen tunnelin läpi. 45 metriä pitkä tunneli on muodoltaan U -mallinen. Tunneli jakaantuu kolmeen kammioon, missä tapahtuvat esikuivaus, hiilestys ja jäähtyminen. Jokainen kammio on varustettu liukuovilla. 12 m^3 kuljetusvaunut kulkevat pyörillä ja ne ovat yhteydessä mekaaniseen hinaussysteemiin, joka kuljettaa niitä raidetta pitkin. [1,21]

Hiilestysprosessi on omavarainen raaka-aineen kosteuspitoisuuden ollessa alle 50%. Hiilestyssyklin kesto on 25-35 tuntia, riippuen kosteuspitoisuudesta ja käytetystä biomassasta. Prosessi on käytössä Milazzossa ja Morterassa kummankin tuottaess 6 000 tonnia biohiiltä vuodessa. [3,21]

5.3.4 Lambiotte

Lambiotte on jatkuvatoiminen hiilestysprosessi, joka koostuu kuilupolttouuneista. Retortti on vertikaalisen sylinterin muotoinen ja sitä tarjotaan kahtena mallina, SIFIC ja CISR, joiden vuotuiset tuotannot ovat 2 000 ja 6 000 tonnia biohiiltä. CISR –prosessi on yksinkertaisempi, eikä sisällä sivutuotteiden talteenottoa. SIFIC sisältää sivutuotteiden talteenoton. [3,20,21]

Prosessissa puu syötetään retortin yläosasta sisään. Matkallaan alas puu ohittaa kolme vyöhykettä, jotka ovat kuivausvyöhyke, hiilestysvyöhyle ja jäähtymisvyöhyke. Alla kuvassa 16 on esitetty kuva Lambiotte -tyyppisestä retortista. [3,8,21]

Kuva 16: Lambiotte retortti [3]

Lambiotte lupaa prosessinsa lopputuotteelle 80 – 90 % kiinteän hiilipitoisuuden, 3 – 4 % vesipitoisuuden ja maksimissaan 12 % haihtuvien ainesosien sisällön. Prosessille luvataan hyvin pitkä käyttöikä. [20]

5.3.5 Bioware

Vuonna 2002 perustettu Bioware on kehittänyt Brasiliassa nopeaan pyrolyysiin perustuvan leijukerrostekniikan pienen partikkelikoon biomassalle. Siinä kiinteä biomassa ja orgaaniset jätteet konvertoidaan nesteeksi. Prosessissa orgaaninen materiaali lämmitetään nopeasti 500 asteeseen hapettomissa olosuhteissa. Seurauksena raaka-aineista syntyy lähinnä kaasuja ja biohiiltä. Jäähtymisen ja kondensaation jälkeen lopputuotteeksi muodostuu tummanruskea liikkuva neste, bio-öljy. [16]

Biowarella on tarjota kahdenlaista tekniikkaa. PCV - teknologia on kehitetty tuottamaan vihreitä biohiilibriketteja elefanttiruohosta. Laitteen kapasiteetti on 2 100 tonnia vuodessa. Laitetta voi myös säätää käymään muilla bioraaka-aineilla. Laitteen kapasiteetin voi nostaa

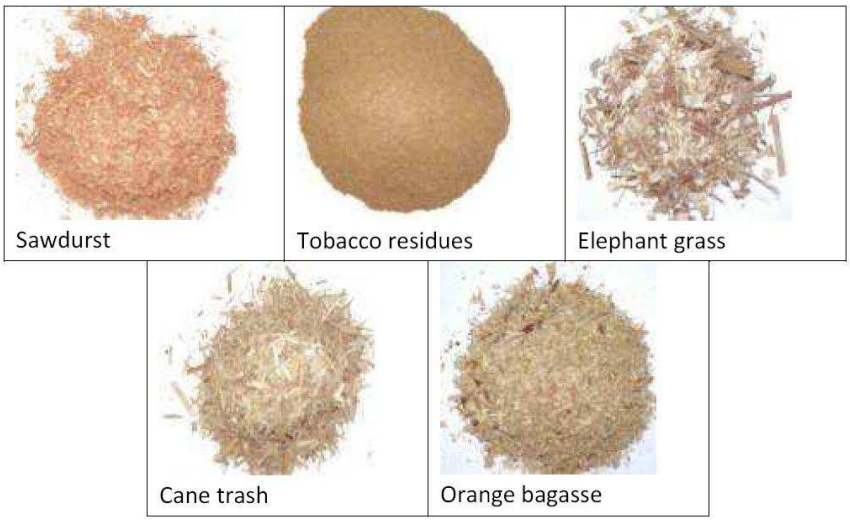
16 800 tonniin vuodessa ja kaikki hiilestysprosessin kaasut palavat polttokammiossa, joten polttokaasuja voi käyttää ylimääräisenä energialähteenä. [16]

Toinen Biowaren tarjoama teknologia on PPR, joka tuottaa bio-öljyä biomassan fenoliyhdisteistä. Pilottilaitos on ollut toiminnassa vuodesta 1999. PPR-200 teknologia on patentoitu Brazilian National Institute for Industrial Propertyssä (INPI). [16]

Kuva 17: PVC-laite [16]

Kuva 18: PPR-200 [16]

Alla on esitetty Biowaren teknologialla testatut raaka aineet ja niiden kemialliset koostumukset kuvassa 19 ja taulukossa 2. Kuten myös kuvasta X voi huomata, Biowaren prosessiin syötettävä raaka-aine on partikkelikooltaan hyvin pientä (2 – 4 mm) ja kosteusprosentti on < 15 %. Nopea pyrolyysi vaatii raaka-aineen pilkkomisen pienikokoisiksi palasiksi. [16]



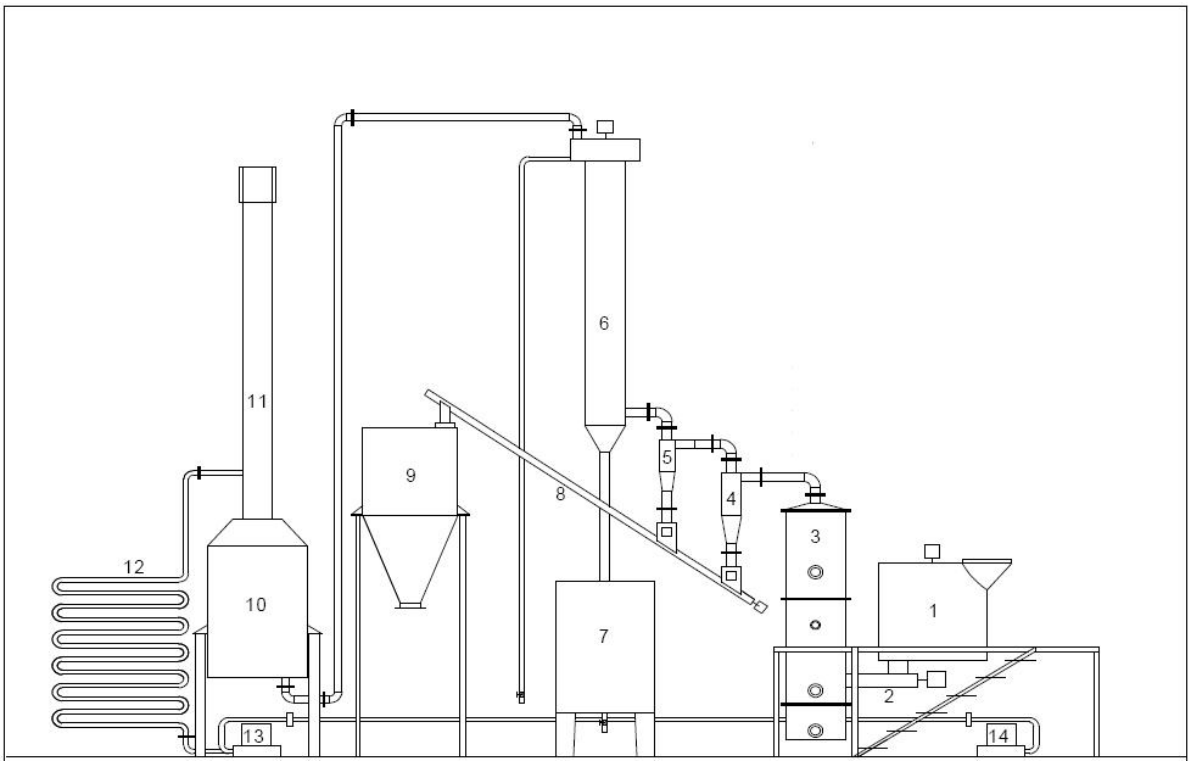
Kuva 19: Biowaren teknologialla testatut raaka-aineet [16]

Taulukko 2: Biowaren teknologialla testattujen raaka-aineiden kemialliset koostumukset [16]

	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	Ash (%)	Cellulose (%)	Density (kg/m³)	HHV (MJ/kg)
Sawdurst	48.2	5.9	0.0	45.1		39	120	18.0
Tobacco residues	37.2	5.4	2.6	35.4	19.2	-	360	14.6
Elephant grass	41.2	5.6	1.8	45.0	6.4	31	76	17.0
Cane trash	44.7	5.8	0.45	37.4	11.6	41.4	141	17.6
Orange bagasse	44.7	6.0	1.2	43.3	4.8	52.7	294	16.75

Tuhkakoostumus on yksi mielenkiintoisimmista ominaisuuksista, sillä se laskee lopputuotteen lämpöarvoa ja korkeissa lämpötiloissa pinttyy lämmönsiirtopintoihin heikentäen hyötysuhdetta. Ligniinipitoisuus puolestaan nostaa bio-öljyn ja biohiilen saantoa.

Biowaren PPR-200 prosessi alkaa esikäsitellyn biomassan syöttämisellä kuormaussiiloon (1). Sen alla oleva syöttöruuvi (2) siirtää biomassan reaktoriin (3). Reaktorin petimateriaali on esilämmitetty 500 celsiukseen. Kun biomassa sekoittuu kuuman hiekan kanssa se kaasuuntuu, tuottaen kaasuja, jotka kondensoituvat bio-öljyssä ja happamessa uutteessa. Osa biomassasta pysyy kiinteänä hienona biohiilenä ja myös kaasuja muodostuu. Hieno biohiili erotetaan sykloneissa (4 ja 5) ja varastoidaan siiloon (9). Hapan uute ja bio-öljy erotetaan vaihe-erotetusti kaasun esipuhdistimessa (6) jatkuvatoimisesti. Säiliössä (7) hapan uute varastoidaan ja bio-öljy saadaan talteen kaasun esipuhdistimen yläosasta. Kaikki kaasut poltetaan polttokammiossa (10). Poltetut pyrolyysikaasut käytetään ylimääräisenä termisenä energiana (12). Reaktorin pohjaan on sijoitettu kuuman kaasun puhallin (12). Ilmakehänpaineista ilmaa voidaan myös käyttää leijukerrospedin (14) leijutukseen. [4]



Kuva 20: Biowaren PPR-200 laitteiston periaatekuva [16]

Taulukossa 3 alla on esitetty Biowaren prosessin lopputuotteet. Huomioitavaa on, että lopputuotteita on enemmän kuin yksi ja ne ovat pitkälti samoja kuin tulevaisuuden biojalostamoilla tulee olemaan. Biojalostamot ovat kehitysvaiheessa ja ensimmäisen laitoksen arvellaan käynnistyvän Suomessa noin vuonna 2020. Biohiili toimii voimalaitospolttoaineena, bio-öljy liikenteen polttoaineena ja happamat uutteet kemianteollisuuden raaka-aineena.

Taulukko 3: Biowaren prosessin lopputuotteet [16]

	Fine charcoal	Bio-oil	Acid extract	Gases
Product				
Yield	20%	30%	10%	40%
Characteristcs:	C: 50% O: 43% H: 2% N: 0.9%	C: 60% H: 7.6% N: 1.2%	pH 2-4	CO_2, NO_x, CH_4, CO and H_2
HHV: (MJ/kg) Dry basis	20	25	3	
Production cost (R$/t)	R$ 300.00	R$ 250.00	-	-

5.3.6 Biocarbo

Biocarbo on alan pioneeriyrityksiä, joka perustettiin vuonna 1994. Se oli ensimmäisiä kasvibiomassan jalostajia. Biocarbon alainen DPC Thermal Processing on kehittänyt uuden retorttiperusteisen menetelmän, joka toimii lähes millä tahansa orgaanisella biomateriaalilla. Menetelmä perustuu kaasun kierrätykseen, ja pyrolyysikaasujen tehokkaaseen polttamiseen, jossa ne johdetaan reaktorista toiseen. Prosessi on energiaomavarainen käynnistyksen jälkeen. [17]

DPC-prosessi koostuu kolmesta vaiheesta, mitkä tapahtuvat yhtä aikaa kolmessa eri reaktorissa: puun kuivaus, hiilestys ja jäähtyminen. Neljäntenä osana on polttokammio, joka on sijoitettu kunkin reaktorin ulkopuolelle. Mikä tahansa reaktori voi toimia minä tahansa yksikkönä ja prosessi voidaan suorittaa useammalla kuin kolmella reaktorilla riippuen halutusta kapasiteetista. Prosessia säädellään venttiileillä, jotka kontrolloivat kaasuvirtoja kolmessa reaktorissa. DPC-prosessiss koko kierrokseen kuluva aika on suunnilleen 72 tuntia. [17]

Prosessi alkaa puun kaatamisella metsästä ja sen kuljettamisella prosessointipaikalle. Puutavaraa ei tarvitse pinota kuivumaan, vaan se lastataan kuljetusvaunussaan suoraan ensimmäiseen reaktoriin, missä tapahtuu puumateriaalin kuivuminen kierrätettävien kuumien savukaasujen avulla. Ihanteellinen kuivumislämpötila on noin 150 astetta. Tosin testeissä on todettu, että tehdasmittakaavassa ideaalinen kuivauslämpötila olisi 300 – 350 astetta. Alla kuvassa 21 on esitetty polttoaineen lataaminen reaktoriin. [17]

Kuva 21: Polttoaineen lataus DPC-reaktoriin [17]

Hiilestys tapahtuu seuraavana vaiheena lämpötilassa 320 – 350 astetta. Koska prosessissa palamista ei tapahdu reaktoreissa, ei lämpötila saa ylittää 350 astetta. Tätä seuraa jäähtymisvaihe, jossa lopputuote jäähdytetään riittävän matalaan lämpötilaan. Biohiilen jäähdyttyä vaunu nostetaan reaktorista takaisin auton kyytiin. [17]

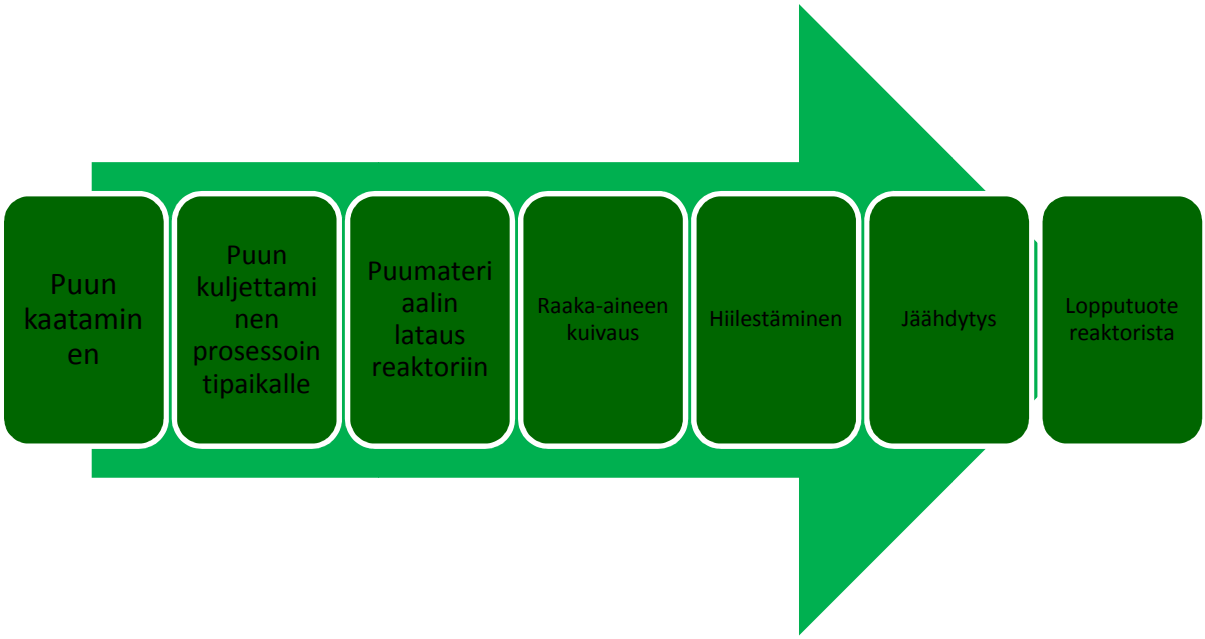
Kuva 22: DPC-reaktorifarmi [17]

Prosessin gravimetrinen saanto on 40 – 42 %. Polttoaineena käytetään lähinnä puuta erikokoisina kappaleina, mutta myös dimensioiltaan pienempi polttoaine sopii raaka-aineeksi. Lopputuotteena saadaan korkealaatuista biohiiltä. Prosessin etuna on, että se voidaan pysäyttää milloin vain, jolloin lopputuotteena on mahdollista saada mm. kuivattua puuta. Prosessilla voidaan tuottaa joko biohiiltä korkealla haihtuvien ainesosien osuudella, joka sopii fossiilisten polttoaineiden korvaajaksi, biohiiltä korkealla hiilen osuudella sähköntuotantoon, tai biohiiltä metalliteollisuudelle. Prosessi on mahdollista automatisoida. Alla on esitetty taulukossa 4 mahdollisten eri lopputuotteiden kalorimetriset lämpöarvot, kun raaka-aineena on käytetty eukalyptusta. [17]

Taulukko 4: Lopputuotteen ylempi lämpöarvo [17]

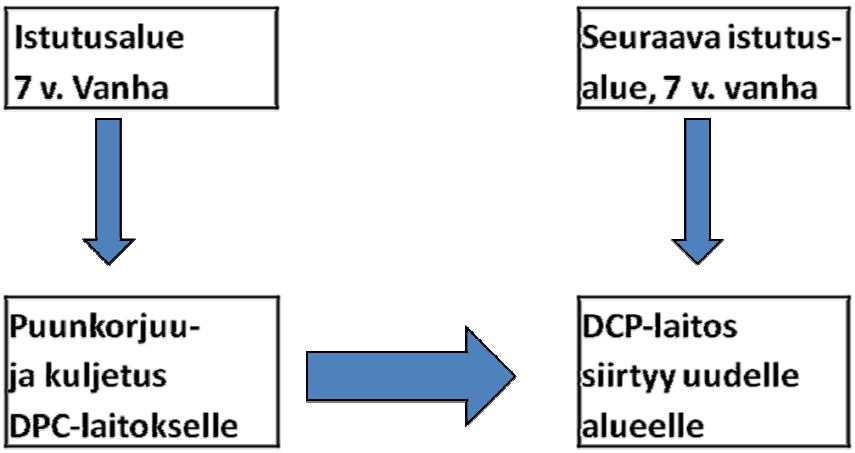
Tuote	MJ/Kg
Wet wood	6,38 - 8,4
Air dired wood	11,3 - 12,6
Dried wood	18,4 - 22,0
Wood roasted	22,6 - 23,0
Charcoal Energy	25,0 - 27,6
Charcoal blast	30,0 - 31,4

Tuotanto kyseessäolevalla teknologialla on 24 000 tonnia vuodessa ja tämä on myös samalla yhtiön suurin tarjoama kokoluokka, tosin moduulien yhdistelyllä kapasiteettia on mahdollista kasvattaa. Yhtiön tarjoama avaimet käteen –paketti sisältää 42 konttia, 20 tulipesää, hydraulisen ajokuormausjärjestelmän ja metsäkuljetukseen ja lataukseen sopivan kuorma-auton, hydrauliikan, sähkötyöt, asennukset, automaation, koulutuksen ja käynnistyksen. Paketin hinta on 5 miljoonaa dollaria. [17]



Kuva 23: DPC-prosessin eteneminen

Yllä kuvassa 23 on esitetty DPC-prosessin eteneminen. DPC-teknologia soveltuu erinomaisesti plantaasien lähellä tapahtuvaan biohiilen valmistukseen. Kyseinen hajautettu toiminta sopii hyvin Brasiliaan, jossa hakkuumäärät yhdeltä alueelta ovat suuret, mutta ei toimisi sellaisenaan Suomessa. Hajautettu järjestelmä siirtää biohiilen tuottamista teräsyhtiöiltä istutusyhtiöille. Alla kuvassa 24 on esitetty DPC-tuotannon periaate Brasiliassa.



Kuva 24: DPC-prosessin logiikka käyttäjän kannalta

5.3.7 Pro-Natura

Pro-Naturan prosessi perustuu jatkuvatoimiseen biomateriaalin hiilestykseen ja hiilen kokoonpuristukseen palloiksi, briketeiksi tai pelleteiksi. Prosessi perustuu 550 asteiseksi lämmitetyn reaktorin käyttöön hapettomissa olosuhteissa, jonka läpi biomassa virtaa katkeamatta. Lämpötila pidetään yllä pyrolyysikaasujen polttamisella, jotka kierrätetään ja poltetaan toisessa reaktorissa. Prosessista tulee energiaomavarainen esilämmityksen jälkeen. Raaka-aineeksi käyvät biomateriaalit, joissa on riittävä ligniinipitoisuus (olki, bambu, kaisla jne). Biomassan kosteuden tulee olla noin 15 % ja prosessin saanto on 30 – 50 % riippuen käytetystä biomassasta. Alla kuvassa 25 on esitetty Pro-naturan laitteisto. [18]

Kuva 25: Pro-Naturan Pyro-6F [18]

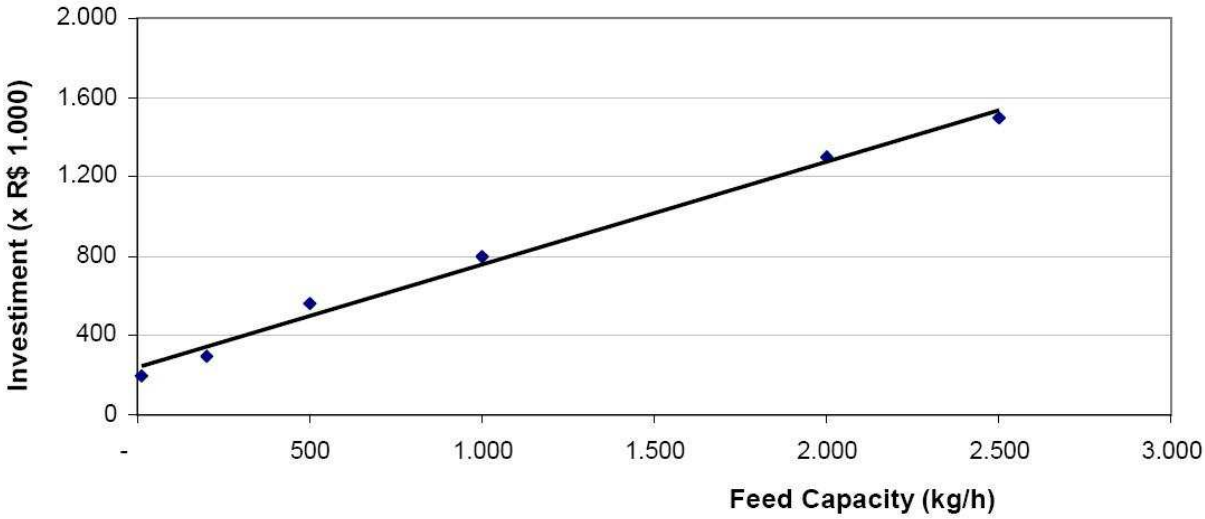
Pro-Naturalla on tarjottavana kolme eri mallia. Pyro-5 - teknologia tuottaa biohiiltä 756 tonnia vuodessa, Pyro-6 -teknologia 1 512 tonnia vuodessa ja Pyro-7 - teknologia 1 848 tonnia vuodessa. Laitteiston käyttäminen työllistää kuusi henkilöä. Pro-Naturan teknologian reaktorista saatava ylijäämälämpö voidaan käyttää toisen reaktorin esilämmitykseen ja kuivaajaan tai tuottamaan höyryä ja on näin integroitavissa pienimuotoiseen paikalliseen sähköntuotantoon. Reaktori ei tuota kasvihuonekaasupäästöjä. [18]

6. EKONOMIA

Prosessin ekonomia riippuu voimakkaasti paikallisista olosuhteista, kuten raaka-aineen hinnasta, biohiilen hinnasta, laitoksen koosta, työvoimakustannuksista ja niin edelleen. Mitään yleistä ohjesääntöä ei näin ollen voi antaa kannattavuudelle, vaan se on laskettava aina tapauskohtaisesti.

6.1 Polttoaineena

Biohiilentuotantolaitoksen investointikustannukset vaihtelevat teknologian mukaan parista kymmenestä tuhannesta eurosta 20 miljoonaan euroon. Muuttuvat kulut vaihtelevat niin ikään huomattavasti, mutta ovat suhteellisen kohtuulliset. Etenkin uusien teknologioiden automaation mahdollisuus pienentää työvoimakustannuksia.



Kuva 26: Biowaren laitteiston investointikustannus kapasiteetin funktiona (R$ = Brasilian rahayksikkö) [16]

Yksi syistä konvertoida puu biohiileksi on laskea sen tiheyttä (kosteus pois) ja samalla nostaa energiasisältöä. Tämä nostaa polttoaineen ekonomista kuljetusmatkaa. Biohiilen lämpöarvo on karkeasti noin kaksinkertainen puuhun verrattuna. [4]

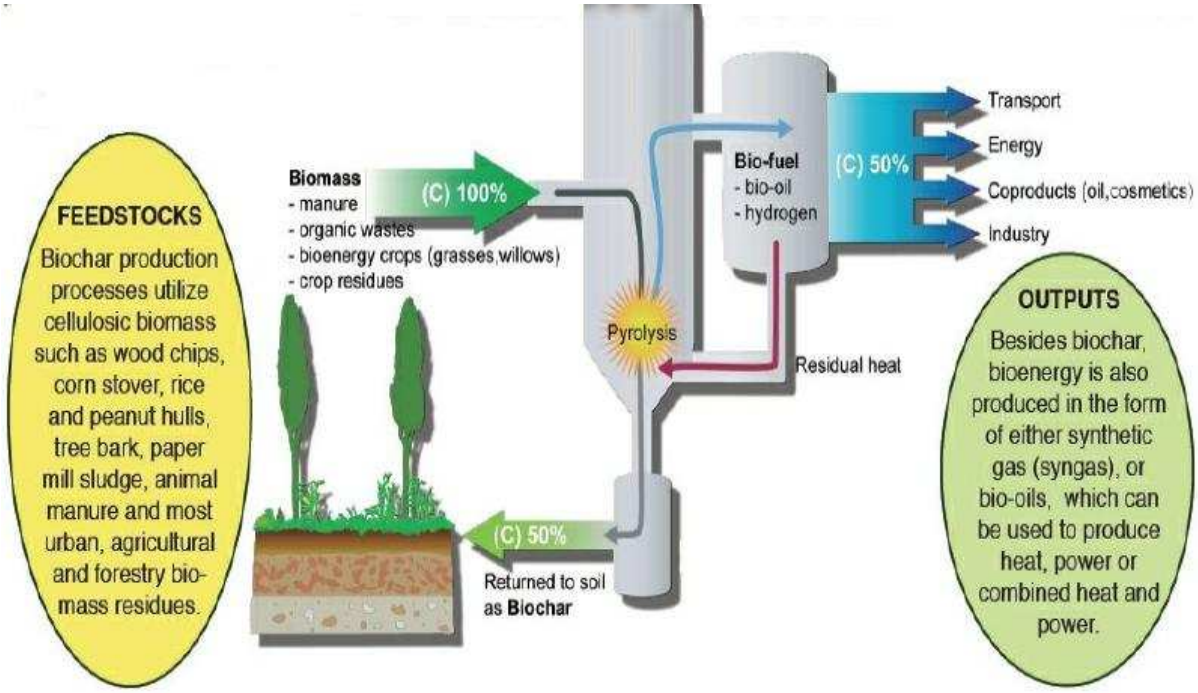
Biohiilen perinteiset markkinat ovat metallurginen teollisuus, puhdistus (aktivoitu hiili), grillihiili teollistuneissa maissa ja kotitalouksien polttoaine kehitysmaissa. Uusia markkinoita

biohiilelle voivat olla teolliset polttoaineet, mukaan lukien sähköntuotannon polttoaineet, jossa biohiili voisi olla vaihtoehtona kivihiilelle ja öljylle. Toisaalta biohiili ei ole ainut tuote, joka voi korvata fossiilisia polttoaineita. Kartoitettaessa uusia markkinoita tulee ainakin huomioida seuraavat asiat: tarpeeksi laajat markkinat tuotteelle, riittävä raaka-aineen saanti ekonomisesti ja valittava teknologia huomioiden koko tuotteen tuotantosykli. [3, 15]

6.2 Maataloudessa

Eräs mielenkiintoinen mahdollisuus biohiilelle on maanparannuskäyttö ja tämän myötä hiilen sidonta maaperään. Hiiltä poistetaan ilmakehästä sitomalla se jätebiomassasta valmistettuun biohiileen. Tonni tuotettua biohiiltä vastaa noin 3 tonnin hiilidioksidipäästöjä. Toisin sanoen tässä yhteydessä biohiili toimii hiilinieluna samalla kasvattaen maan hedelmällisyyttä ja mahdollistaen päästöoikeuksien myynnin. Samalla saadaan tuotantoprosessissa talteen biokaasua.[28,29]

Menetelmä parantaa huomattavasti maatalouden kasvihuonekaasutasetta, mukaan lukien N_2O- ja CH_4- päästöjen vähentymisen. Maan viljavuuden ja viljelykasvien satojemäärän nousu, lannoitustarpeen pienentyminen, vesitalouden parantuminen ja maan kationinvaihtokapasiteetin lisääntyminen voivat parantaa satoja huomattavastikin. Jopa 80 – 220 % sadonlisäystä on esitetty. Alla on esitetty kuvassa 27 CanmetENERGY:n visio. [28,29,30]



Kuva 27: CanmetENERGY:n visio [28]

6.3 Esimerkki Biohiililaitoksesta

Esimerkkinä ekonomiasta käytetään tässä tuotantolaitosta Pärnussa, Virossa, joka käyttää leppää, koivua ja haapaa raaka-aineena. Esimerkin teknologia on tuplaretortti. Käytettävä puu on tuoretta, esikuivattua ja laitoksen oletetaan toimivan 24h vuorokaudessa 90 % ajan vuodesta. Biohiiltä tuotetaan asiakasmarkkinoille ja teollisille asiakkaille ja myydään sekä paikallisesti, että Skandinaviassa. [23]

Taulukko 5: Tuotantoparametrit Virolaiselle tuplaretorttilaitokselle [23]

Number of ovens		1
Capacity of one vessel	[m^3s wood/vessel]	3
Specific weight wood (dry)	[tonne/m^3s]	0.5
Moisture content wood	[%, wet basis]	50%
Efficiency	[tonne wood (dry)/tonne of charcoal]	2.4
Actual efficiency (wt)	[tonne wood (wet)/tonne of charcoal]	4.8
Average production time for one vessel	[hours]	12
Capacity	[tonne/year]	900
Capacity factor	[prod. hrs/total hrs.]	0.9
Annual input	[tonne wood (wet)/year	3,888
Annual output	[tonne charcoal /year]	810

Taulukko 6: Taloudellinen data Virolaiselle tuplaretorttilaitokselle [23]

Wood (moisture content 50%, wet basis) costs	[EUR/m^3s]	8
Charcoal sales price	[EUR/tonne]	250
Project time	[years]	10
Investment	[EUR]	480,000
O&M costs	[percentage of investment]	10%
Discount rate	[%]	15%

Kuten yllä olevasta taulukosta voi huomata, on puun hinta Virossa vaatimaton. Normaalin käytön työvoimakustannukset on sisällytetty O&M kustannuksiin (Operation & Maintenance). Investointikustannukset sisältävät hiilestysyksikön kustannukset ja asennuksen ja siihen liittyvän työn. Diskonttokorko on tavallisesti Virossa noin 15 %. [23]

Taulukko 7: Taloudelliset tulokset virolaiselle tuplaretorttilaitokselle [23]

Annual costs	[EUR/year]	79,104
Annual revenues	[EUR/year]	202,500
Annual cashflow	[EUR/year]	123,396
Simple payback	[year]	3.9
Net Present Value (NPV)	[EUR]	121,127
Internal Rate of Return (IRR)	[%]	22%

Erillistä herkkyysanalyysiä ei tässä yhteydessä tehdä, mutta kuten yllä olevista tiedoista saattaa huomata, ovat tärkeimmät kolme muuttujaa kapasiteettitekijä, biohiilen markkinahinta ja vähemmissä määrin investointikustannukset.

7. PÄÄSTÖT

Biomassan poltolla on merkittävä rooli globaalissa hiilen kierrossa. Vaikka loppuunviety biomassan polttaminen tuottaa käytännössä vain hiilidioksidia ja vettä, suurin osa poltosta tapahtuu epätäydellisesti ja päästöt ovat huomattavat. Lähes kaikki kehitysmaissa valmistettu biohiili on tuotettu perinteisillä menetelmillä. Ne ovat yksittäisenä yksikkönä pieniä, mutta niiden lukumäärä valtava. Kirjallisuudesta löytyy vain heikosti tutkimustietoa perinteisten menetelmien päästöistä ja biohiilituotannon kaasumaiset päästöt on heikosti luonnehdittu olemassa olevassa GHG –tietokannassa.

Retorttiperusteisten nykyteknologioiden kehittäjät ilmoittavat GHG -päästöt yleensä joko hyvin pieniksi tai ettei niitä ole lainkaan. Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että mittaustarkkuus ei ole samaa tasoa kuin länsimaissa. Syytä on kuitenkin muistaa, että jos ei käytetä fossiilisia polttoaineita, ei myöskään synny kasvihuonepäästöjä. Uusien retorttiperusteisten teknologioiden päästöjen minimaalisuus perustuu tehokkaaseen pyrolyysikaasujen polttoon, joka on esitetty tarkemmin luvussa 5.

Päästöjä ei tämän tarkemmin tässä työssä tarkastella, sillä ne vaativat laajoja tutkimuksia, joita kaikkia ei ole vielä edes olemassa. Alla on esitetty taulukko perinteisten menetelmien

tuottamista kaasumaisista päästöistä. Kaikki arvot ovat kolmen ajokerran keskiarvoja jokaiselle uunityypille. Taulukko on suuntaa-antava.

Taulukko 8: Eri uunityyppien päästöt [24]

Kiln Type	Charcoal yeld (dry basis)	Charcoal carbon yeld	Energy conversion to charcoal	CO2 [EF]	CO [EF]	CH4 [EF]	TNMHC [EF]	TSP [EF]	PIC [EF]	gases+TSP [EF]	N2O [EF]
Brick beehive	33 %	57 %	47 %	996	162	31,8	29,7	1,9	226	1192	0,017
Mud beehive	31 %	51 %	43 %	1235	158	21,7	19,9	0,7	200	1436	0,021
Single drum	29 %	51 %	44 %	1517	336	57,7	71,5	4,2	470	1987	0,026
Earth mound	30 %	48 %	?	1140	226	27,7	95,3	2,3	351	1491	0,046
Rice husk mound	30 %	53 %	?	1570	106	12,7	8,5	0,8	128	1699	0,084

Missä,

$$Dry\ basis\ yeld = \frac{biohiilen\ massa}{kuivan\ puun\ massa}$$

$$Carbon\ yeld = \frac{biohiilen\ hiilen\ massa}{puun\ hiilen\ massa}$$

$$EF = emission\ \ factor\ \left[g / kg_{\ tuotettu\ \ biohiili}\right]$$

$$PIC = product\ \ of\ \ IncompleteCombustion = CO + CH_4 + TNMHC + TSP$$

$$gases + TSP = CO_2 + CO + CH_4 + TNMCH + TSP$$

8. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Mahdollisten biohiilen tulevaisuuden trendien tarkastelu on hyvä aloittaa biohiilen loppukuluttajamarkkinoista. Lähinnä loppukuluttajia ovat energiantuottajat, jotka tuottavat lämpöä ja sähköä. Näiden markkinoiden suunta ja muutos tulevat vaikuttamaan ratkaisevasti biohiilen tulevaisuuteen. Mikäli kivihiiltä aletaan korvata biohiilellä, aluksi osaksi, lopulta kokonaan, tulevat biohiilen markkinat kasvamaan huomattavasti. Myös tulevan NOx -reguloinnin myötä kivihiilen korvaaminen biohiilellä pidentäisi laitosten ikiä.

Biohiilen käyttöä suosivia tekijöitä ovat sen korkea polttoarvo, vähäiset päästöt verrattuna fossiilisiin energialähteisiin ja ominaisuudet, jotka tekevät siitä suhteellisen helposti korvaavan polttoaineen. Fossiilisten polttoainevarojen huvetessa intressit uusiutuvia kohtaan kasvavat kovaa vauhtia, samoin kuin päästökauppasektori ja poliittiset tekijät.

Biohiili on etenkin kehitysmaissa arkipäivää. Länsimaissa sen tulevaisuuteen vaikuttaa muiden bioenergialähteiden suosio ja tietenkin kilpailu raaka-aineesta. Esimerkiksi Suomessa puumateriaalia käytetään lähinnä metsä-, saha- ja rakennusteollisuudessa. Energiantuotannossa se on vielä toistaiseksi lähinnä lisäpolttoaineena. Mielenkiintoista onkin, miten biohiilen tuotannon voisi integroida metsäteollisuuden kanssa käyttämään sen ylijäämäpuuta hyödyksi. Biohiilituotannosta biojalostamon yhteydessä on mm. Brasiliassa villejä skenaarioita, mutta ne ovat vielä kaukana tulevaisuudessa.

Kehitysmaissa biohiiltä tuotetaan perinteisillä menetelmillä huonolla hyötysuhteella ja huomattavilla päästöillä. Yksi keino pyrkiä tulevaisuudessa pienentämään kasvihuonepäästöjä ja samalla vähentämään trooppisten metsien hakkuita on nykyaikaistaa biohiilentuotantoa kehitysmaissa. Tämä luokin mielenkiintoisen mahdollisuuden Kioton joustomekanismien (Joint Implementation & Clean Development mechanism) käytölle länsimaille, joilla on vaikeuksia päästä kiristyviin päästövähennystavoitteisiin.

Uusi biohiiliteknologia on hyvin potentiaalista, mutta siitä on vielä suhteellisen vähän käyttökokemuksia. Toisaalta teknologia on EU:n energiastrategian mukainen, ja näin ollen tukien mahdollisuus ei ole poissuljettu EU-tasolta. Aihe vaatii kuitenkin vielä paljon tutkimusta ja resurssien kartoitusta.

9. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Biohiili on mustaa huokoista hiilipitoista materiaalia. Sen hiilipitoisuus on tyypillisesti 70 – 98 % määritelmästä riippuen. Biohiilen laatu riippuu käytetystä raaka-aineesta ja hiilestysteknologiasta. Lehtipuusta (esim. koivu, tammi) tuotettu biohiili on painavaa ja vahvaa, havupuusta tuotettu pehmeää ja kevyttä. Käytännössä sitä pystytään tuottamaan mistä tahansa orgaanisesta aineesta, mutta yleensä suositaan kovapuulajeja.

Biohiili vastaa ominaisuuksiiltaan kivihiiltä ja on näin ollen vaihtoehto kivihiilelle energiantuotannossa. Uusia investointeja ei siis tarvita. Biohiili voi auttaa Euroopan maita saavuttamaan EU:n uusiutuvan energian tavoitteen. Se on päästöneutraalia polttoainetta, jolla voidaan päästöoikeuksien kallistuessa jopa säästää huomattavia summia, mikäli sillä korvataan kivihiiltä. Samalla saadaan huomattavasti pienennettyä hiilidioksidi, NOx- ja SOx-päästöjä.

Biohiiltä on käytetty hyvin pitkään. Vanhimmat puuhiilipiirrokset ovat jopa 30 000 vuoden takaa. Polttoaineena sitä alettiin käyttämään noin 3500 eaa Euroopassa ja Aasiassa. Biohiilen tuotanto kuitenkin perinteisillä menetelmillä oli tehotonta ja päästöt olivat huomattavia.

Nykyteknologiat perustuvat retorttimenetelmään eli kaasunkierrätykseen. Prosessi on täysin omavarainen käynnistyksen jälkeen ja päästöt hyvin pienet. Uusia teknologioita on hyvin monia, mutta pääsääntöisesti ne perustuvat samoihin ideoihin. Huomionarvoista on kuitenkin, että ehdottomasti suurin osa biohiilestä tuotetaan vielä tänä päivänä perinteisillä menetelmillä.

Uusi biohiiliteknologia on hyvin potentiaalista, mutta siitä on vielä suhteellisen vähän käyttökokemuksia. Toisaalta teknologia on EU:n energiastrategian mukainen, ja näin ollen tukien mahdollisuus ei ole poissuljettu EU-tasolta. Aihe vaatii kuitenkin vielä paljon lisätutkimusta teknologioiden ja paikallisten resurssien käytettävyyden kannalta. Erilaisia kannattavuuslaskemia on biohiilille vielä hyvin vähän teollisuusmaissa, mutta tilanteeseen voi olettaa muutosta vallitsevien trendien valossa.

LÄHTEET

[1] Ilmasto.org, [Viitattu 19.3.2010], Saatavissa: http://www.ilmasto.org/uutiset/vuoden_2008_uutiset/tammikuu_2008.html

[2] Antal, Michael J. et al. The art, Science, and Technology of Charcoal Production, Ind. Eng. Chem. Res. 2003

[3] FAO, 2006,Zagret, Croatia, Industrial Charcoal Production, [Viitattu 9.3.2010], Saatavissa: http://www.drveniugljen.hr/assets/files/pdf/FAO_Industrial%20charcoal%20production.pdf

[4] Tara N. Bhattarai. 1998, Charcoal and its Socio-Economic Inportance in Asia: Prospects for Promotion, Indonesia

[5] Energiateollisuus Ry, [Viitattu 19.3.2010], Saatavissa: http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/kivihiili

[6] Hiilitieto.fi, [Viitattu 19.3.2010], Saatavissa: http://www.hiilitieto.fi/fi-FI/Hiilenhaitat/

[7] Harris, Peter J. H. On Charcoal, Department of Chemistry, University of Reading, Whiteknights, [Viitattu 9.3.2010], Saatavissa: http://www.personal.rdg.ac.uk/~scsharip/Charcoal.htm

[8] UK Agriculture, The History of Charcoal – Worldwide, [Viitattu 9.3.2010], Saatavissa: http://www.ukagriculture.com/countryside/charcoal_history.cfm

[9] Hall, Loretta. How Products Are Made, Volyme 4, Charcoal Briquette, [Viitattu 9.3.2010], Saatavissa: http://www.madehow.com/Volume-4/Charcoal-Briquette.html

[10] Baldwin, Ian. The Wey Walley, Charcoal Burning, [Viitattu 9.3.2010], Saatavissa: http://www.weyriver.co.uk/theriver/industry_6_charcoal.htm

[11] The Original Charcoal Company, History of charcoal, [Viitattu 9.3.2010], Saatavissa: http://originalcharcoal.com/story_history.asp

[12] Reddy, Dr. N. Sai Bhaskar. Traditional charcoal production method, India, How to make charcoal, [Viitattu 9.3.2010], Saatavissa: http://e-charcoalmakingprocess.blogspot.com/

[13] Preseco Oy, [Viitattu 12.3.2010], Saatavissa: http://www.preseco.eu/bioenergy_from_waste/preseco_carboniser_plants/carboniser_process

[14] Plantar Group. Forest management and metallurgy.

[15] FAO, 1987, Simple technologies for charcoal making, [Viitattu 11.3.2010], Saatavissa: http://www.fao.org/docrep/X5328E/x5328e00.htm#Contents

[16] Bioware: Tatiana Petrauskas, Bioware

Dr. José Dilcio Rocha, MBRAPA-Agroenergia

http://dpcbiomassa.com.br/

[17] Biocarbo: Breno Henrique V. Aquino, DPCBiomassa

[18] Pro-Natura: Guy F. Reinaud, Pro-Natura International,

Mr. Laurent Meyer, Green Charcoal International

Marcelo de Andrade, Pro-Natura Invernational

Martyn D. Collins, Pro-Natura USA

[19] P.J. Reumerman et al., 12th European Conference on Biomass for Energy, Charcoal production with reduced emissions, 2002, [Viitattu 15.3.2010], Saatavissa: http://www.cleanfuels.nl/Projects%20&%20publications/Charcoal%20Production%20with%20Reduced%20Emissions%20(paper).pdf

[20] Lambiotte & Cie, [Viitattu: 15.3.2010], Saatavissa: http://www.lambiotte.com/Carbonisation_-page.htm?use=62

[21] Gronly, Morten. Industrial Production of Charcoal, SINTEF Energy Research, [Viitattu: 15.3.2010], Saatavissa: http://folk.ntnu.no/lekangso/kurs2005/presentations/Day4-6_Bio-Energy/background/Gronli.pdf

[22] Peláez-Samaniego, M. R. et al., Improvements of Brazilian carbonization industry as part of the creation of a global biomass economy, 2008

[23] Reumerman, P.J. et al., 12th European Conference on Biomass for Energy, Charcoal production with reduced emissions, 2002, [Viitattu 15.3.2010], Saatavissa: http://www.cleanfuels.nl/Projects%20&%20publications/Charcoal%20Production%20with%20Reduced%20Emissions%20(paper).pdf

[24] Smith, Kirk R. et al., Greenhouse Gases from Small-scale Combustion Devices in Developing Cointries: Charcoal Kilns in Thailand, 1998

[25] Ferrareira, Omar C. Emission OF Greenhouse Effect Gases in Vegetal Coal Production, [Viitattu: 17.3.2010], Saatavissa: http://ecen.com/eee20/emicarve.htm

[26] Ferreira, Omar C. Emission of Greenhouse Effect Gases in the Production and Use of Charcoal in Metallurgy, [Viitattu: 17.3.2010], Saatavissa: http://ecen.com/eee20/omar20be.htm

[27] EBES AG, ABC – the Perfect Renewable Substitute for Coal in Power Production

[28] Preto, Fernando. Pyrolysis, Char and Energy, CanmetENERGY, Natural Resources Canada

[29] Helenius, Juha. Biohiilen maataloudellisen käytön edistäminen Suomessa tutkimuksella ja tuotekehityksellä, 2010

[30] BioChar Engineering, [Viitattu: 25.3.2010], Saatavissa: http://www.biocharengineering.com/biochar/index.html

LIITE

DPC-prosessin massa- ja energiataseet

		DPC						Suorakulmaiset (perinteiset) uunit				
		Massa (Kg)			Energia (KJ)			Massa (Kg)			Energia (Kca	
		Kulutettu		Saldo	Kulutettu	Vapautuu	Saldo	Kulutettu		Saldo	Kulutettu	Vapautuu
		Prosessissa	Muuttuu Energiaksi					Prosessissa	Muuttuu Energiaksi			
Ennen	Pyrolyysikaasut					990,000						
	Puun uuniin pano			1,429						1,429		
Kuivaus	Märän puun lämmitys 280C:een	0,000	0,000	1,000	640,58	0,00	3504,4	0,000	0,050	0,772	640,58	0,00
	Veden höyrystyminen	0,429			1055,10	0,00	2449,3	0,429	0,083		1055,10	0,00
	Höyryn lämmitys 280 Celsiukseen	0,000			157,85	0,00	2273,4	0,000	0,014		157,85	0,00
	Häviöt ym	0,000			405,70	0,00	1867,7	0,000	0,081		1032,50	0,00
Hiilestys	Puun lämmitys (280-400)C	0,000	0,000	0,450	211,01	0,00	1656,7	0,000	0,013	0,323	162,82	0,00
	Vesihöyryn muodostuminen	0,223			137,08	0,00	1082,8	0,180	0,035		442,88	0,00
	Tervan höyrystys	0,081			85,20	0,00	997,6	0,063	0,005		63,68	0,00
	Alkoholiyhd. höyrystyminen	0,052			51,46	0,00	946,1	0,040	0,003		39,69	0,00
	GNC:n lämmitys	0,184			102,33	0,00	843,8	0,142	0,006		78,96	0,00
	Eksotermiset reaktiot	0,000			0,00	1256,00	2099,8	0,000	-0,076		0,00	969,20
	Häviöt ym	0,000			45,60	0,00	1866,9	0,000	0,038		485,88	0,00
R	Jäähtyminen	0,000	0,000	0,450	0,00	213,99	2122,9	0,000	0,000	0,323	0,00	0,00