

Sakari Flander

TUOTANTOLAITOKSEN HIILEN SIDONTA

TUOTANTOLAITOKSEN HIILEN SIDONTA

Sakari Flander
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Energia- ja ympäristötekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Sakari Juho Tuomas Flander

Opinnäytetyön nimi: Tuotantolaitoksen hiilen sidonta

Työn ohjaaja(t): Jukka Yli-Kunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023

Sivumäärä: esim. 36 + 6 liitettä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laskea, kuinka paljon Carbon Balance Finland Oy:n rakentaman tuotantolaitoksen tuottama biohiili sitoo maaperään potentiaalista hiilidioksidia ilmakehästä. Ohessa esiteltiin myös biohiiltä ja, biohiilen tuotantomenetelmiä sekä laitoksen eri osien toimintaa.

Biohiiltä valmistetaan biomateriaalista, kuten puuhakkeesta prosessilla nimeltään pyrolyysi. Biohiiltä voidaan käyttää esimerkiksi maanparannukseen ja lannoitevalmistisiin. Käyttötarkoituksen johdosta biohiili on hiilinegatiivinen tuote ja sitä ei nimenomaan ole tarkoitettu energiantuotantoon. Biohiili sitoo ilmakehässä olevaa hiilidioksidia maaperään pitkäksi aikaa. Maaperässä oleva hiili ei palaakaan takaisin ilmakehään ja hiilen kiertoon, näin vähentäen ilmastonmuutoksen vaikutuksia.

Laitoksen hiilidioksidisidontapotentiaali saatiin laskettua ja tulosta vertailtiin eri näkökulmien puitteissa. Laskennassa huomioitiin laitoksen toiminnan kannalta merkitykselliset päästöjenlähteet laitoksen toiminnan näkökulmasta. Tuotetun biohiilen hiilensidontaa sekä toiminnan päästöjä vertailtiin toisiinsa eri näkökulmista. Laskennan tuloksien pohjalta voitiin todeta kehityskohteita laitoksen toiminnallisuudessa päästöjen osalta.

Tuotantolaitoksen oli määrä olla täydessä tuotannossa keväällä 2023, mutta täyttä tuotantokapasiteettia ei ollut vielä saavutettu työn aikana.

Asiasanat: hiilidioksidi päästöt, biohiili, tuotantolaitokset, hiilensidonta, kuivaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Energy Technology

Author(s): Sakari Juho Tuomas Flander
Title of thesis: Carbon sequestration of a production plant
Supervisor(s): Jukka Yli-Kunnari
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2023
Number of pages: 36 + 6 appendices

Carbon Balance Finland Oy has built a new biochar production plant. The carbon sequestration of the plant was calculated in this thesis. The functionality of the production plant and its main components were also introduced in the thesis, as well as some basic information about biochar and its production methods. The main components of the production plant were the dryers, the reactors, the preheating unit, and the cooling unit.

Biochar is a product made from biomatter in a process called pyrolysis. It has multiple uses, including soil improvement and fertilization products. The product is essentially carbon negative as the intended use is to put the material to the ground where it stays for a long time out of the natural carbon cycle.

Carbon sequestration was calculated from the biochar production rate of the production plant in its current operational situation at the time of writing. This was done from biochar yield calculations and referenced the amount of carbon dioxide (CO₂) that would be released into the atmosphere if the amount of carbon was burned. Calculations were made to account for the CO₂ emissions caused by the operation of the production plant. The main emission sources were from pyrolysis reaction, bio-burners, plant electricity consumption, wheel loader, and the transportation of the biomaterial to the production plant. Emissions from the pyrolysis reaction and bio-burners can be considered carbon neutral as renewable biomass used in the process. The only true source of non-renewable emissions was from material transportation as the wheel loader used bio-based fuel and the electricity was contracted to be from renewable sources only. However, the wheel loader and the electricity were considered non-renewable and for this reason, those emissions were subtracted from the carbon sequestration of the plant.

The results of the calculations showed ways to increase the carbon sequestration of the production plant by increasing the production rate of biochar and reducing the need to use bio-burners. Other sources of emissions were relatively small and making any changes to those would not change the outcome more than the margin of error is.

Keywords: carbon emissions, biochar, production plants, carbon sequestration, drying

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	CARBON BALANCE FINLAND OY	7
3	BIOHIILEN TUOTANTO	8
3.1	Pyrolyysi.....	8
3.2	Pyrolyysi avoastioissa	9
4	LAITOKSEN TOIMINNAN KUVAUS.....	11
4.1	SFTec ModHeat® MH12-W-BH-22.0 kuivaimet	12
4.2	Polttimet	13
4.3	Reaktorit.....	15
4.4	Jäähdytys.....	16
4.5	Esilämmitys	17
5	HIILENSIDONTA.....	19
5.1	Tuotettu biohiili	19
5.2	Tuotannon päästöt	20
5.2.1	Polttimet.....	21
5.2.2	Pyrolyysi reaktio.....	25
5.3	Hakkeen polttaminen polttolaitoksessa	26
5.4	Operoinnin päästöt.....	27
5.4.1	Pyöräkone.....	28
5.4.2	Sähkönkulutus	28
5.4.3	Hakkeen kuljetus.....	29
5.5	Maaperään sidottu hiilidioksidipotentiaali	30
6	POHDINTA	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	37

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä selvitetään biohiilentuotantolaitoksen sitomaa hiilen määrää sekä biohiilen tuotantoprosessin sivuvirroilla tehtyjen tuotteiden ympäristöhyötyjä. Biohiilentuotantolaitoksen pääkomponentit ovat Carbon Balance Finland Oy:n, jota jatkossa kutsutaan Carbon Balanceksi, suunnittelemaa ja valmistamia asiakasyritys GRK Suomi Oy:lle. Opinnäytetyön tilaaja on Carbon Balance.

Biohiiltä valmistetaan biomassasta prosessilla nimeltään pyrolyysi. Pyrolyysistä vapautuvaa lämpöä hyödynnetään biomassan kuivaamiseen, joka nopeuttaa biohiilentuotantoprosessia sekä sillä voidaan tuottaa laatuhaketta tai puupellettiä. Opinnäytetyössä tarkastellaan, kuinka paljon biohiililaitoksen sivutuotteiden ympäristöpäästöt vähenevät kuivaamattomaan biomassaan verrattuna, kun laitos sijaitsee lähellä puun tuotantoalueita. Tuotantolaitos sijaitsee Utajärvellä ja biohiilentuotantolaitos on toimintaperiaatteeltaan panostyyppinen.

Työssä tavoitteena on laskea kuinka paljon biohiiltä nykyisellä, optimoimattomalla tuotantokapasiteetilla laitos tuottaa ja kuinka paljon se sitoo maaperään hiiltä verrattuna laitoksen operoinnista syntyviin päästöihin.

2 CARBON BALANCE FINLAND OY

Carbon Balance Finland Oy on oululainen insinööritoimisto, jonka tehtävänä on mahdollistaa ekonominisesti sekä ekologisesti kestävä tulevaisuus. Yrityksen päätuotteita ovat teknologiset ratkaisut biomassan pyrolyysiprosessiin ja ydin idea yrityksellä on tehdä biohiilentuotantoprosessista mahdollisimman tehokas. (1.)

SFTec Oy on Carbon Balancen emo yritys, joka rakentaa ja kehittää teollisia kuivaimia. Carbon Balance irtaantui SFTec:istä vuonna 2021 omaksi yritykseksensä. SFTec:in ModHeat® kuivaimet ovat oleellinen osa Carbon Balancen energiatehokasta teollista biohiilentuotantoprosessia. (1.)

Ensimmäinen Carbon Balancen teollinen biohiilentuotantolaitos valmistuu Utajärvelle asiakasyritys GRK Suomi Oy:lle. Biohiilentuotantolaitos on kehitetty ja rakennettu yhteistyössä GRK:n kanssa. GRK on tilannut useamman tuotantolaitoksen ja uusia laitoksia jatkokehitetään ja valmistellaan Carbon Balancen toimesta koko ajan.

Yrityksen tavoitteena on laajentaa toimintaa niin että se pystyy toimittamaan useamman biohiilentuotantolaitoksen vuodessa ympäri Suomea sekä tulevaisuudessa ulkomaille. Tavoitteena on myös kehittää laitosta entistä paremmaksi sekä tutkia eri biomassojen pyrolyysiä testilaitteistolla.

3 BIOHIILEN TUOTANTO

Biohiili on biomassasta pyrolysoitua hiiltä, jonka käyttökohde on pysyvä varastointi, kun taas monille tutun puuhiilen käyttökohde on energiantuotanto. Biohiili on huokoinen materiaali, joka ominaisuuksiltaan sopii muun muassa maanparannustarkoituksiin ja sopii pitkäaikaiseksi hiilenvarastointimuodoksi. Se on monikäyttöinen materiaali ja yleisimpiä käyttökohteita ovat muun muassa lannoitevalmisteet, hiilensidontateknologiana pelloilla sekä muissa maaperäkäytöissä. Biohiilellä voidaan mahdollisesti korvata monia fossiilisia raaka-aineita. (2.)

Ominaisuuksiltaan biohiili on erittäin huokoista. Se voi imeä itseensä paljon ravinteita ja vettä. Näiden ominaisuuksin avulla biohiili voi esimerkiksi parantaa maaperää lisäämällä sen kosteuspitoisuutta ja se voi toimia pitkäaikaisena hiilivarastona hidastaen ilmastonmuutosta pitäen siihen sitoutuneen hiilen pois kierrosta. Biohiilen ominaisuuksia voidaan muuttaa eri raaka-ainevalinnoilla, kuten eri puulajeilla, sekä lisäaineilla ja erilaisilla tuotanto-olosuhteilla. (2.)

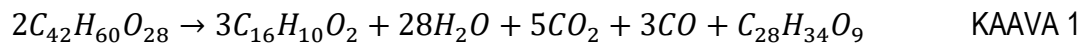
Biohiili on hiilinegatiivinen käyttötarkoituksensa takia. Biohiiltä sijoittamalla maaperään, poistuu se luonnollisesta hiilen kierrosta pitkäksi aikaa. Orgaaninen, hiiltä sisältävä aines päätyy ilmakehään eri prosessien takia. Poltettaessa orgaanisia aineita, kuten puuhaketta, syntyy pääsääntöisesti hiilidioksidia CO_2 . Hiili vapautuu myös luontoon jäävästä biomateriaalista ilmakehään (3). Sijoittamalla suuria määriä biohiiltä maaperään, vähennämme mahdollisen hiilidioksidin- ja hiilivetyjen määrää ilmakehässä hilliten ilmastonmuutosta. Puu sitoo itseensä kasvaessaan ilmakehästä hiilidioksidia. Tuottamalla biohiiltä ja varastoimalla sen maaperään, vähenee kokonaishiilen määrä ilmakehässä maailmanlaajuisesti. Tällä menetelmällä voidaan hiljalleen vähentää sitä hiilen määrää, joka on vapautunut ilmakehään ihmiskunnan alettua käyttämään fossiilisia polttoaineita.

3.1 Pyrolyysi

Biohiiltä valmistetaan prosessilla, jota kutsutaan pyrolyysiksi. Pyrolyysissä kiinteää ainetta lämmitetään ulkoisella lämmönlähteellä, jolloin osa aineesta muuttuu kaasu- ja tervamaiseen muotoon ja

jäljelle jää suurimmaksi osaksi hiiltä (4, s.192). Tässä prosessissa biomassaa kuumennetaan vähähappisissa olosuhteissa, jolloin biomassasta vapautuu hiilivetyjä, kuten metaania, jotka palavat reaktion yhteydessä jättäen jäljelle lopputuotteen (3).

Biohiilentuotannon reaktioyhtälö esitetään kaavassa 1. Reaktio, missä puuaines, joka on sekoitus ligniiniä, selluloosaa ja hemiselluloosaa, kuumennetaan riittävään lämpötilaan hapettomissa olosuhteissa, tuottaa biohiiltä, vettä, hiilidioksidia, hiilimonoksidia sekä pyrolyysi tervaa. (5.)



missä,

$C_{42}H_{60}O_{28}$ = puu

$C_{16}H_{10}O_2$ = biohiili

H_2O = vesi

CO_2 = hiilidioksidi

CO = hiilimonoksidi

$C_{28}H_{34}O_9$ = pyrolyysi terva

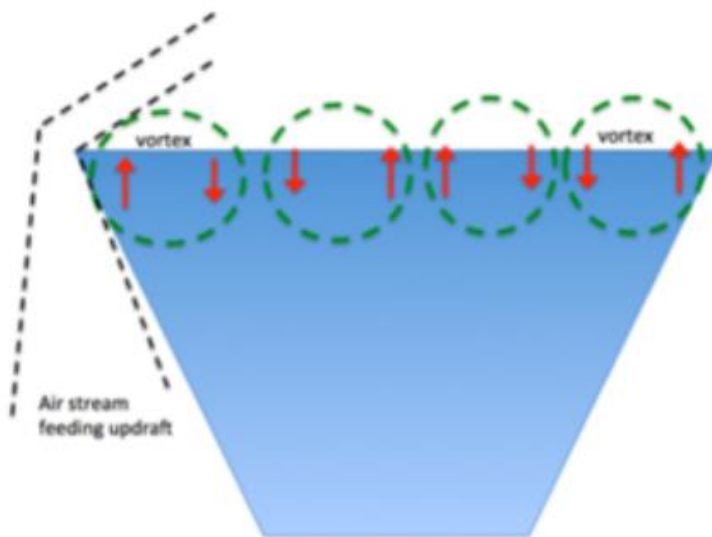
Pyrolyysiprosessin tuottama biohiilen, kaasun ja pyrolyysi tervan määrä suhteessa toisiinsa on riippuvainen prosessin kuumennus nopeudesta kuin myöskin pyrolysoitavasta materiaalista ja prosessin loppulämpötilasta (4, s.193). Kaavan 1 pohjalta ei voida tämän kyseisen laitoksen tapauksessa kuitenkaan määrittää pyrolyysiprosessin lopputuotteita, sillä Carbon Balancen laitoksen toiminta menetelmä on pyrolyysi avoastiassa, joka poikkeaa tavanomaisesta pyrolysointilaitoksen toiminnasta.

3.2 Pyrolyysi avoastioissa

Puuhiiltä on valmistettu vuosituhansia asettamalla puuta maahan kaivettuun kuoppaan ja tämä puumassa on sytytetty palamaan (6). Lopputuloksena kuopan pohjalle on jäänyt puuhiiltä. Tässä prosessissa puumassa kuumenee hiljalleen vapauttaen puuaineksesta eri kaasuja, kuten metaania ja häkää, jotka ovat hapen kanssa reagoivia kaasuja lämpötilan ollessa riittävän korkea. Puumas-
san keskelle ei kuitenkaan pääse happea juuri kulkeutumaan, sillä puumassan pinnalla tapahtuva

palamisreaktio kuluttaa miltei kaiken hapen estäen sen pääsyn puumassan keskelle. Koska kuopan ympäröivän maa-aineksen läpi ei pääse happirikas ilma virtaamaan, syntyy kuoppaan hapetomat olosuhteet pyrolyysille (6).

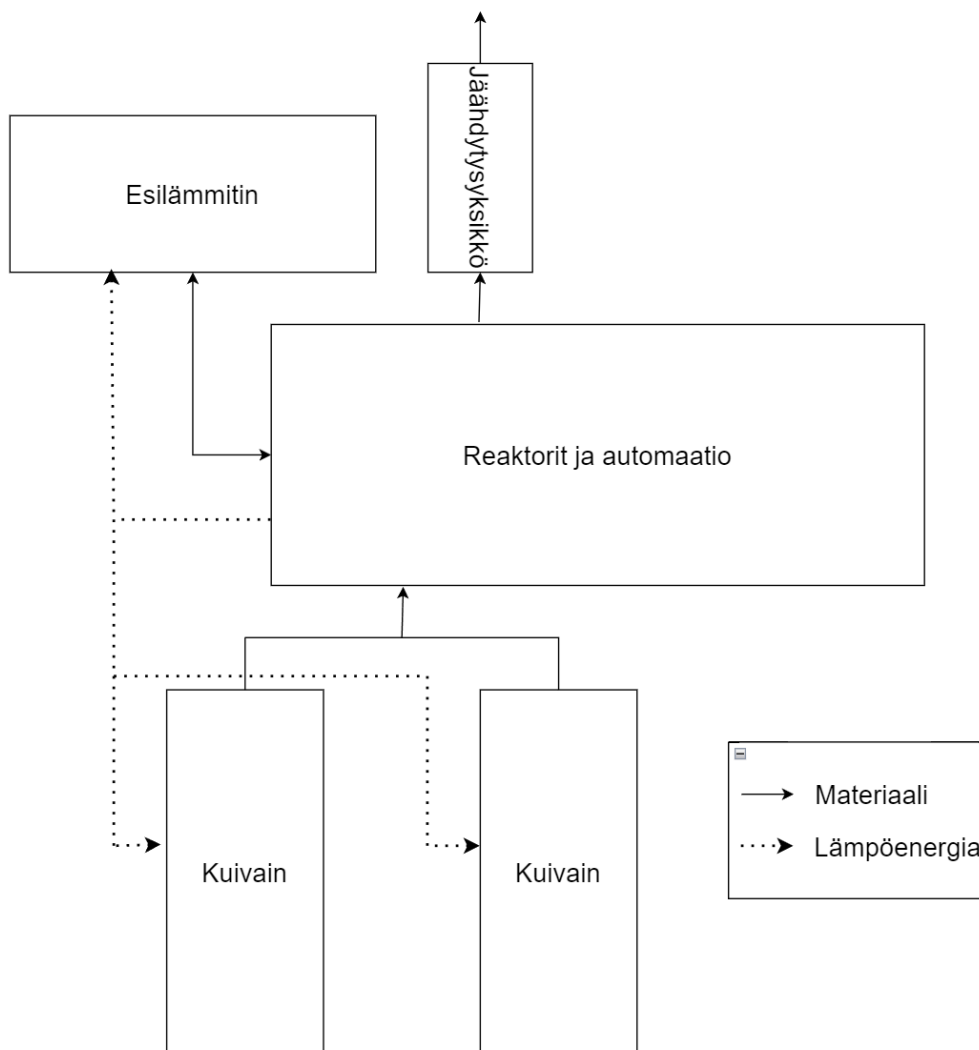
Carbon Balancen laitoksessa biomassaa pyrolysoidaan avonaisissa astioissa, joissa pyrolyysi prosessi toimii pitkälti samoin, kuin maahan kaivetussa kuopassa. Erona kuopassa tapahtuvaan puuhiilen valmistukseen, nämä astiat ovat kuumassa reaktiokammiossa, jolloin reaktioastiat ja niiden sisältämä puumassa kuumentuu joka suunnasta eikä vain puumassan yläpuolella tapahtuvasta palamisreaktiosta. Laitoksen prosessissa käytettyä biohiilen valmistustapaa kutsutaan pyrolysoinniksi avoastiassa, joka tunnetaan myös maailmalla Kon-Tiki menetelmänä (6). Kuva 1 havainnollistaa kaasujen liikehdintää ja reaktion sijaintia, kun käytetään kyseistä valmistusmenetelmää.



KUVA 1. Pyrolyysi avoastiassa. (6.)

4 LAITOKSEN TOIMINNAN KUVAUS

Carbon Balancen biohiilentuotantolaitos koostuu neljästä pääkomponenttiryhmästä. Nämä ovat kuivaimet, esilämmitin, reaktorit ja jäähdytys. Pyrolyysiin käytettävä aluksi märkä, kosteudeltaan noin 50 %, kuivataan SFTec Oy:n teollisissa kuivaimissa noin 10 % kosteuteen. Kuivattu materiaali ohjataan esilämmittimeen tai sivutuotteiden tuotantoon. Esilämmitin lämmittää kuivattua materiaalia hitaasti lähemmäksi lämpötilaa, jossa pyrolyysi voi alkaa. Esilämmityksen jälkeen materiaali kuljetetaan reaktoreihin, jossa pyrolyysi saatetaan alkuun biomassapolttimilla. Reaktoreissa pyrolyysiä ylläpidetään käyttämällä biomassapolttimia. Prosessin valmistuttua, tuote kaadetaan jäähdytysyksikön kuljettimelle, jossa sitä jäähdytetään vesisumun avulla. Lopuksi valmis tuote säkitetään. Kuvassa 2 on esillä prosessin materiaali- ja energiavirtaa havainnollistava kaaviokuva laitoksesta.

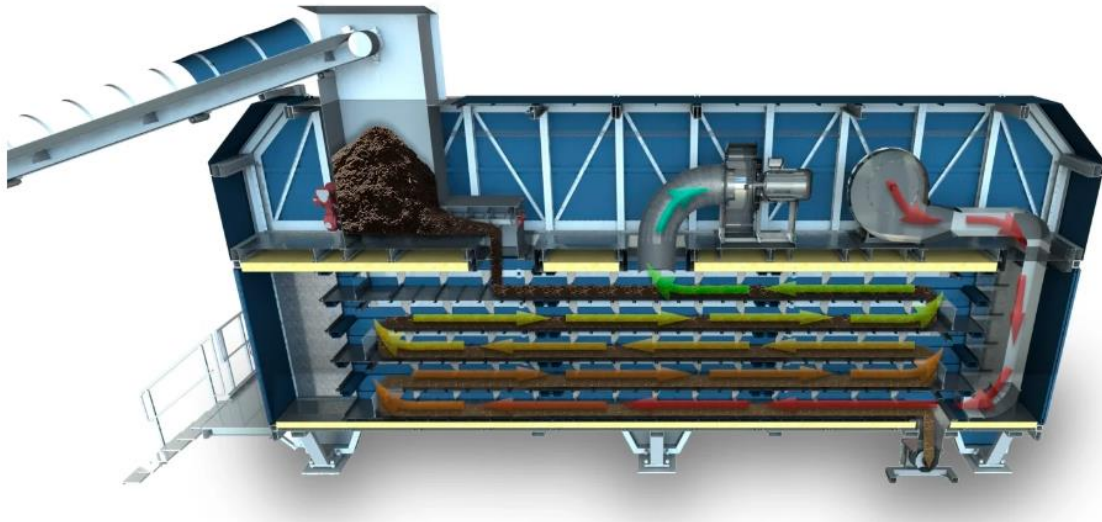


Kuva 2. Laitoksen kaaviokuva.

4.1 SFTec ModHeat® MH12-W-BH-22.0 kuivaimet

SFTec:in valmistamat ModHeat® kuivaimet ovat kompakteja, teollisen mittakaavan laitteita. Nämä kuivaimet voivat hyötyä käyttäen eri prosessien hukkalämpöä kuivauslämmönlähteenä ja kokonsa puolesta kuivaimet ovat helppo sijoittaa lähelle paikkaa missä kuivattava materiaali syntyy. Kuivaimet toimivat automaation avustuksella mahdollistaen vaivattoman käytön ilman tarvetta jatkuvalla työnteolla kuivausprosessin ylläpitämiseksi. (7.)

Kuivaimet toimivat vastavirtaperiaatteella, missä lämmitettyä ilmaa puhalletaan alhaalta ylöspäin kuivattavan materiaalin läpi. Materiaalia liikutellaan mekaanisen lapajärjestelmän avulla kuivaimen viiden tason läpi. Rakenteensa johdosta, kuivattavalla materiaalilla on pitkä aika reagoida kuivausilman kanssa. Tämä mahdollistaa kattavan energian hyödyntämisen kosteudenpoistoon. Kuvassa 3 nähdään, kuinka kuivausilma tuodaan kuivaimen sisään ja se etenee tasojen läpi, jäähtyen ja samalla kuivaten materiaalia, kunnes se poistuu ylimmän tason jälkeen. (7.)



KUVA 3 SFTec ModHeat® kuivaimien toimintaperiaate. (SFTec Oy)

Tuotantolaitoksessa käytetään kuivaimia pyrolysoitavan biomassan kuivaamiseen, jolla voidaan vähentää biomassan pyrolysoitumisaikaa nostamalla laitoksen tuotantopotentiaalia. Biohiilentuotannon lisäksi kuivaimien tuottamaa kuivattua biomassaa tullaan hyödyntämään pelletin tekemiseen.

4.2 Polttimet

Laitoksessa on käytössä Veljekset Ala-Talkkari Oy:n valmistamia Veto Turvehakemaatti- stokeri polttimia, joista mallikuva on nähtävillä kuvassa 4. Polttimien polttoaineena voidaan käyttää haketta, brikettiä tai pellettiä. Pääsääntöisenä polttoaineena polttimissa käytetään kokopuu haketta. Laitoksessa on käytössä yksi poltin reaktoriyksikköä kohden. Yhden polttimen teho on 40–120 kW. (8.)



Kuva 4. Veto Turvehakemaatti. Veljekset Ala-Talkkari Oy (8.)

Pyrolyysireaktion käynnistämiseen tarvitaan riittävä lämpötila. Polttimien tehtävä on käynnistää ja ylläpitää pyrolyysireaktiota. Kun reaktio on käynnistynyt, voidaan polttimien käyttötehoa laskea tai poltin voidaan sammuttaa kokonaan. Polttimen tehoa säädetään kuvassa 4 nähtävän ruuvin pyö-

rimistä muuttamalla. Muutettavat arvot ovat polttimen ruuvin pyörimisaika sekä tauko pyörimisaikojen välissä. Laitteen valmistaja on määrittänyt asetukset polttimen ruuvin toiminnalle eri polttoaineilla käyttöohjekirjassa. Poltinta käytettäessä on erittäin tärkeää noudattaa oikean polttoaineen käyntiasetuksia, sillä väärät asetukset voivat johtaa liian suuriin polttimen tehoihin tai liekin tukahutumiseen.

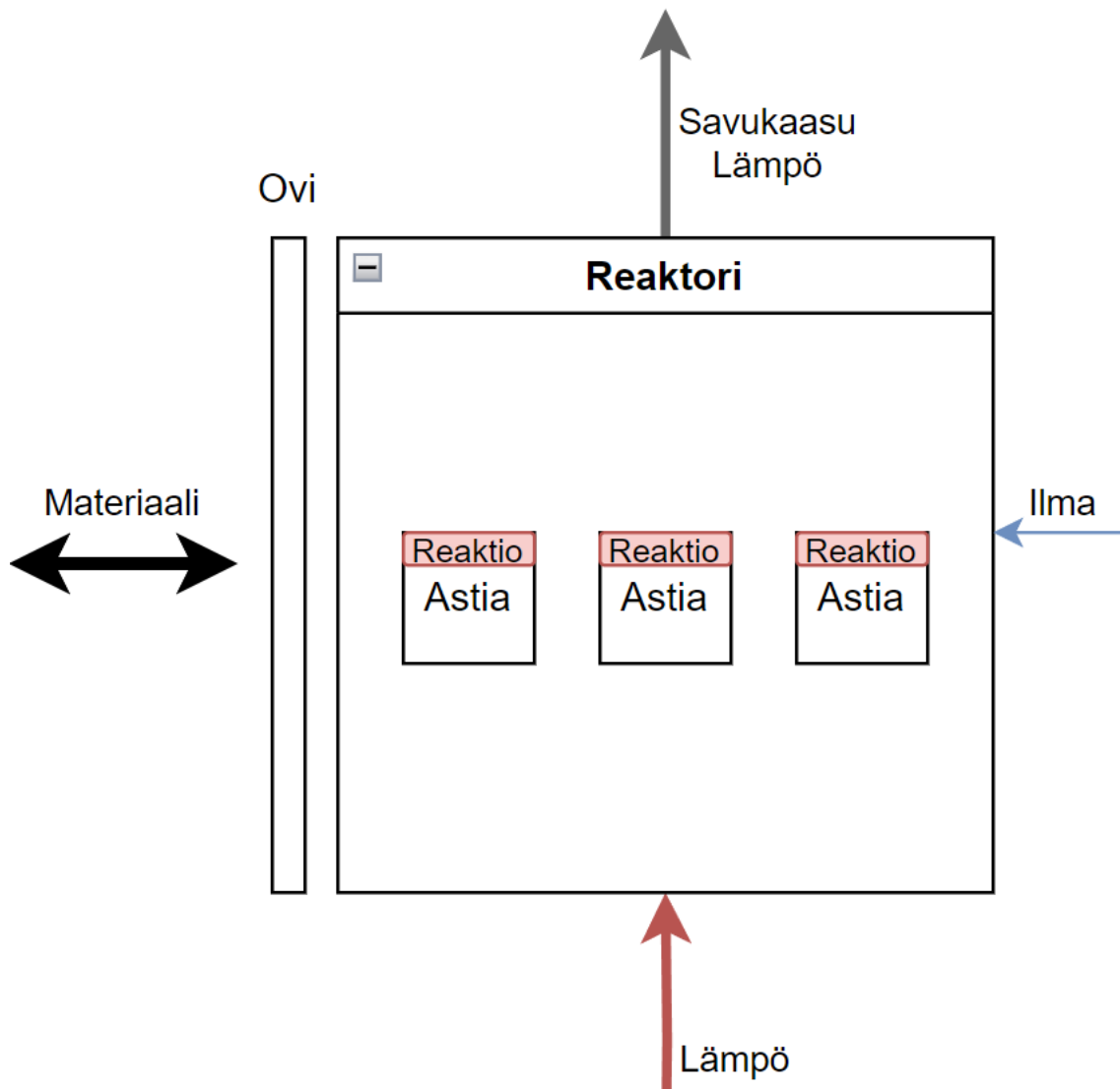
Ruuvilla tapahtuvassa polttoaineensyötössä on takapalon vaara. Polttimissa on laitteen toimittajan toimittama takapalosuoja, jonka säiliö on esitetty kuvassa 5. Takapalosuoja toimii automaattisesti. Jos polttimen ruuvissa lämpötila kasvaa palon takia, sulaa ruuvikotelon kylkeen liitetyn letkun päässä oleva mehiläisvaha tulppa, jolloin säiliössä oleva glykolineste valuu polttimen ruuviin sammuttaen palon, ennen kuin se ehtii levitä polttoainesäiliöön.



Kuva 5. Takapalosuojan nestesäiliö.

4.3 Reaktorit

Pyrolysoitava biomateriaali syötetään reaktorikammioihin reaktioastioissa. Reaktorikammio koostuu, ovesta, astiahyllyistä, polttimien kanavistosta, savukaasukanavistosta sekä polttoilmansyöttökanavista. Kuvassa 6 esitetään reaktorikammio ja siihen liittyvät materiaali, energia ja kaasuvirtaukset.



Kuva 6. Reaktorikammio.

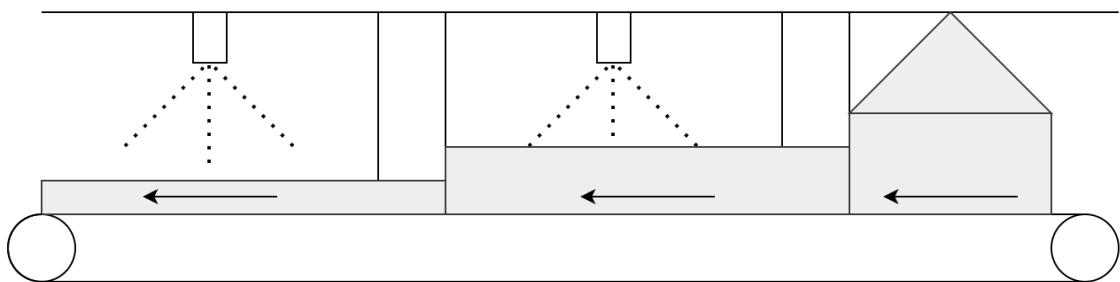
Reaktiomateriaalilla täytetyt reaktioastiat viedään reaktorikammioon ja valmiit astiat tuodaan sieltä pois automatiikan avulla. Reaktorikammion ovi aukeaa ja sulkeutuu automaatiojärjestelmän käskyllä. Reaktoriin syötetään polttimien tuottamaa lämpöenergiaa pohjasta ja savukaasut imetään reaktorikammioista kammion päällä olevaan savukaasukanavistoon.

Laitoksen operoinnin aikana reaktori täytetään ja tyhjenetään osissa, joten reaktorissa jäljellä oleva materiaali tuottaa tarpeeksi energiaa käynnistääkseen reaktion uusissa astioissa. Reaktion jatkuvuuden kannalta on tärkeää vaihtaa valmiit astiat niin nopeasti kuin mahdollista, jotta reaktorin lämpötila pysyy riittävän korkealla. Reaktion vaihetta tarkkaillaan reaktorikammion lämpötilojen perusteella sekä kuluneen ajan perusteella. Lisäksi Carbon Balance suunnittelee uusia keinoja määrittellä reaktion vaihetta.

4.4 Jäähdytys

Reaktorista valmistunut biohiili on kuumaa ja se voi syttyä palamaan päästessään kosketuksiin ilman kanssa. Tuote on jäähdytettävä, jotta se ei pala tai sytytä tulipaloja varastossa.

Laitoksen jatkuvan toiminnan takia tuotetta ei voida jättää reaktoriin jäähtymään vähähappisiin olosuhteisiin vaan se jäähdytetään nopeasti vesisumulla. Reaktorista valmistunut biohiili kaadetaan kuljettimelle, jossa on lanoja, jotka tasoittavat tuotteen eripaksuisiin kerroksiin. Kuljettimen yläpuolella on sumutussuuttimia, jotka sumuttavat puhdasta vettä biohiilen joukkoon jäähdyttäen sen. Kuvassa 7 on esillä havainne kuva kuljettimen toimintaperiaatteesta.



Kuva 7. Jäähdytyskuljettimen toimintaperiaate.

Jäähdytetty lopputuote pakataan suursäkkeihin ja varastoidaan kuljetusta varten. Kuvassa 8 esitetään laitoksella valmistettua, jäähdytettyä biohiiltä.



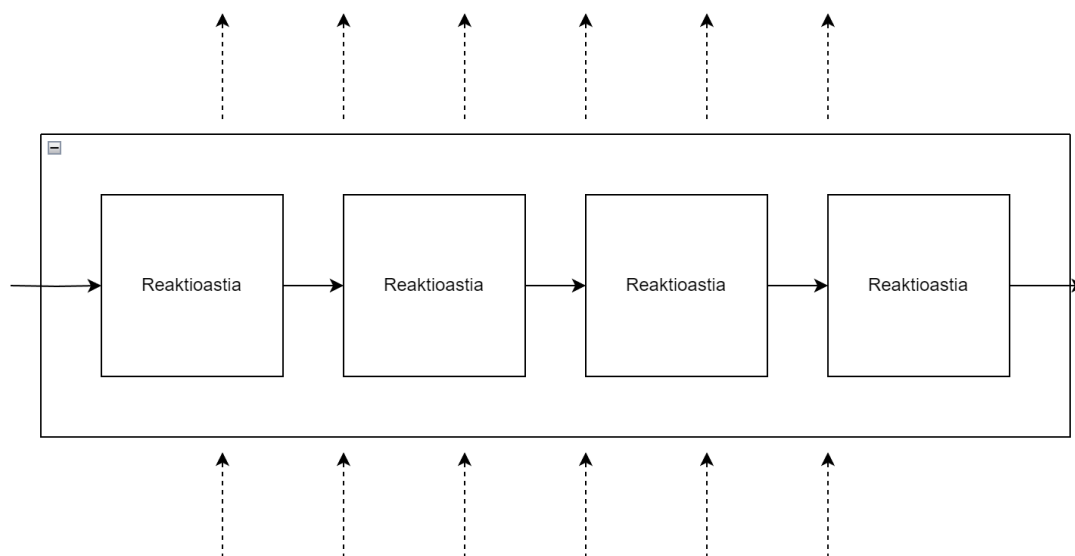
Kuva 8. Jäähdytettyä biohiiltä.

4.5 Esilämmitys

Tuotantolaitoksessa on osana esilämmitin. Esilämmittimen tehtävä on hitaasti nostaa reaktioissa käytettävän materiaalin lämpötilaa lähelle pyrolyysin käynnistymislämpötilaa.

Esilämmitin on kuin suuri uuni, jonka läpi automatiikka kuljettaa reaktiomateriaalia sisältäviä astioita. Laitetta lämmitetään käyttämällä hyödyksi reaktoreista saatavaa lämpöenergiaa. Lämpöenergia viedään esilämmittimeen puhaltimella. Puhallin vie lämpimän kaasun esilämmittimen pohjaan

ja laitteen läpi virrannut kaasu ohjataan esilämmittimen katossa olevasta aukosta pois. Poistoimua ohjataan myös puhaltimella. Kuvassa 9 on esillä esilämmittimen toimintaperiaatekuva.



Kuva 9. Esilämmittimen toimintaperiaate.

5 HIILENSIDONTA

Carbon Balancen tuotantolaitoksessa raaka-aineena käytetään eri sahoilta peräisin olevaa kokopuuhaketta. Kokopuuhake on sahojen tuotannon ohella syntyvästä hukkamateriaalista murskattua haketta, joka sisältää kaikkia puun maanpinnan yläpuolella olevia osia. Tätä haketta voidaan yleisesti käyttää energian tuotantoon kattilalaitoksissa polttamalla. Biomassaa on tärkeä hyödyntää tehokkaasti kasvihuonekaasupäästöjen kannalta, sillä puuainees vapauttaa siihen sitoutuneen hiilen takaisin ilmakehään (3).

Tuotantolaitoksen CO₂ päästöjen vertailukohtana otetaan tilanne, missä prosessissa käytetty kokopuuhake poltettaisiin kattilalaitoksessa, ottamatta huomioon kuitenkaan kattilalaitoksen operoinnista syntyviin päästöihin. Tuotantolaitoksen polttimien ja pyrolyysiprosessista syntyvät CO₂ päästöt kuitenkin lasketaan, mutta niitä ei itse hiilensidonnan määrittämisessä oteta huomioon. Laitoksen toiminnasta aiheutuvat suorat hiilidioksidi ekvivalenttipäästöt (CO_{2e}) päästö kuitenkin huomioidaan maaperään sidotun CO_{2e} määrässä.

5.1 Tuotettu biohiili

Olenaisena osana vuotuisen hiilensidonnan määrittelemiseksi on vuodessa tuotetun valmiin biohiilen massa. Tämä vuodessa tuotettu valmiin tuotteen massa perustuu olettamukseen, että laitos on toiminnassa vuoden aikana 320 vuorokautta ja tuotanto on käynnissä vuorokauden ympäri. Laitoksen tuotantomääristä on saatu koekäytön aikana tietoa ja laskelmat pohjautuvat käytönäikäisiin kokemuksiin. Huomioitavaa on, että laitoksen prosessia ei ole vielä optimoitu, joten täysin valmiin ja optimoidun laitoksen tuotantokapasiteetti tulisi olla korkeampi.

Tuotantolaitoksen vuodessa tuottamaa biohiilen määrää lasketaan ensin määrittämällä laitoksen käyttämä pyrolyysimateriaalin massa kaavalla 2.

$$m_p = \frac{t_{ha}}{t_p} m_a n_k n_a$$

KAAVA 2

missä,

m_p = pyrolyysimateriaalin massa

t_{ha} = laitoksen toimintatunnit vuodessa

t_p = pyrolysointi aika tunteina

m_a = pyrolysoitavan materiaalin massa astiassa

n_k = kammioiden määrä

n_a = astiapaikkoja kammiossa

Pyrolysoitava materiaali on kuivattu SFTec ModHeat kuivaimilla 10 % kosteuteen. Laskettaessa tuotetun biohiilen määrää, oletetaan kaiken kosteuden poistuvan pyrolysoitavasta materiaalista. Materiaalin massa ilman kosteutta lasketaan kaavalla 3.

$$m_{kuiva} = m_p - m_p \cdot 10\% \quad \text{KAAVA 3}$$

missä,

m_{kuiva} = materiaalin massa ilman kosteutta

Oletettu kuivan biohiilen tuotanto on 30 % pyrolysoitavan materiaalin massasta. Tämä käytetty arvo ei ole kovinkaan tarkka ja suhteellisen maltillinen saantimäärä, mutta perustuu laitoksen koekäytöstä saatuihin tuotantomääriin ja vastaa tyypillistä biohiilen saantimäärää (7 s. 9) kaavalla 4 lasketaan prosessista saavavan kuivan biohiilen määrää.

$$m_{biohiili} = 30\% \cdot m_{kuiva} \quad \text{KAAVA 4}$$

missä,

$m_{biohiili}$ = tuotettu kuiva biohiili

Liitteessä 1 on näkyvillä kuva laskurista, joka on luotu laskemaan laitoksella tuotettua biohiilen määrää. Käytettyjen arvojen pohjalta on saatu vuotuiseksi kuivan biohiilen tuotannoksi 1282 tonnia.

5.2 Tuotannon päästöt

Tuotantoprosessista tulee ilmastopäästöjä kahdesta eri lähteestä. Nämä ovat polttimet, joilla käynnistetään ja ylläpidetään tuotantoprosessia, sekä itse pyrolyysi reaktio, mistä vapautuvat hiilivedyt palavat hapen kanssa hiilidioksidiksi.

Tuotannon päästöjä ei oteta huomioon laitoksen hiilidioksidipotentiaalia laskettaessa. Vertailukoh-
tana biohiilientuotantolaitoksen päästöille on tilanne, missä laitoksen käyttämä hake poltettaisiin
jossakin polttolaitoksessa.

5.2.1 Polttimet

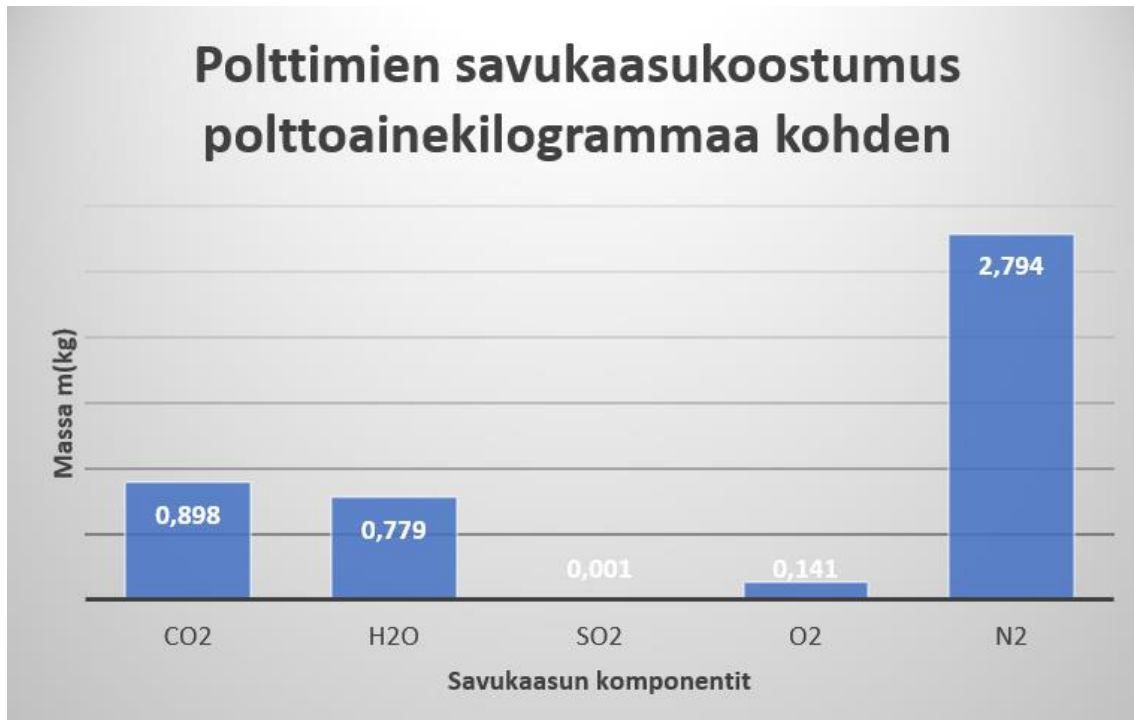
Biohiilientuotantoprosessi käynnistetään kuumentamalla puumateriaalia hakepolttimilla. Näissä ha-
kepolttimissa käytetään polttoaineena kokopuuhaketta. Puuhake palaessaan tuottaa muun mu-
assa lämpöenergiaa, jota käytetään tuotantoprosessin käynnistämiseen ja ylläpitämiseen, sekä riit-
täväällä ilmalla palaessaan hiilidioksidipäästöjä.

Taulukossa 1 on nähtävillä puun alkuainekoostumus sekä tuhkan osuus kuiva-aineessa (4, s. 137)
ja näiden koostumuksien keskiarvoja on käytetty savukaasulaskennassa. Savukaasulaskenta teh-
dään käyttämällä tähän tarkoitukseen luotua savukaasulaskuria, joka on nähtävillä liitteessä 2.

Taulukko 1. Puun alkuainekoostumus.

	Alkuainekoostumus
	%
C	48–50
H ₂	6–6,5
N ₂	10,5–2,3
O	38–42
S	0,05
Cl	<0,01
Tuhka	0,4–0,5

Savukaasulaskurissa on käytetty taulukon 1 alkuainepitoisuuksien keskiarvoja, polttoaineen kos-
teutena on käytetty taulukosta 2 saatua arvoa 50 % (4, s. 137) ja ilmakerroin λ on 1,2. Polttoaineen
kosteus ja käytetty ilmakerroin eivät vaikuta palamisreaktiosta syntyvän hiilidioksidin määrään, jos-
kin ilmakertoimen ollessa liian alhainen ei palaminen olisi puhdasta riittämättömän hapen määrän
takia, jolloin osittain hiilidioksidin CO₂ sijaan muodostuisi hiilimonoksidia CO, eli häkää, joka on
myös merkittävä ympäristökaasu. Kuvassa 10 on esillä savukaasulaskurin mukaisista savukaa-
sukoostumuksista polttoainekilogrammaa kohden. Hiilidioksidipäästöjen kannalta merkittävä lu-
kema on hiilidioksidin määrä 0,898 kg.



Kuva 10. Polttimien savukaasukoostumus.

Taulukko 2. Hakkeen ominaisuuksia.

Polttoaine:	Kokopuuhake
-------------	-------------

Kosteus	50	%
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	19,25	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	9	MJ/kg
Irtotiheys saapumistilassa	300	kg/m ³
Energiatiheys	0,8	MWh/m ³
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa	1,5	%
Vetyttöisyys kuiva-aineessa	5,7	%
Rikkipitoisuus kuiva-aineessa	0,05	%<
Typipitoisuus kuiva-aineessa	0,4	%

Puuhakkeen polttamisesta polttimilla syntyy savukaasulaskurin perusteella noin 0,9 kg hiilidioksidia CO₂ jokaista polttoaine kilogrammaa kohden. Polttimien polttoaineen käyttö on suoraan verrannollinen polttimien käyttötehoon. Haketta syötetään polttimiin ruuvilla, jonka syöttökapasiteetti lasketaan kaavalla 5 (8).

$$Q = \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 S 60 n \Psi \rho$$

KAAVA 5

missä,

Q = ruuvin syöttökapasiteetti

D = ruuvin halkaisija

S = ruuvin nousu

n = ruuvin kierrosnopeus

Ψ = ruuvin täyttöaste

60 = minuuttia tunnissa

ρ = polttoaineen irtotiheys

Kaavaan 5 sijoittamalla taulukon 3 arvot saadaan laskettua ruuvin syöttökapasiteetti Q. Taulukon ensimmäiset kolme arvoa pohjautuvat mittauksiin, ruuvin täyttöaste perustuu arvioon, kuinka paljon suuren osan vapaasta tilasta vaakatasossa pyörivään ruuviin mahtuu ja polttoaineen irtotiheys on taulukosta 2.

Taulukko 3. Ruuvin ominaisuudet.

Ruuvin halkaisija	D	0,125	m
Ruuvin nousu	S	0,09	m
Kierrosnopeus	n	16	rpm
Ruuvin täyttöaste	Ψ	95,00 %	
Polttoaineen irtotiheys	ρ	300	kg/m ³

$$Q = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (0,125 \text{ m})^2 \cdot 0,09 \text{ m} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \cdot 16 \frac{1}{\text{min}} \cdot 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 302,1819 \text{ kg/h}$$

Jos ruuvi pyörisi jatkuvasti, se syöttäisi 302 kg polttoainetta tunnissa. Polttoainetta ei kuitenkaan syötetä jatkuvasta, vain haluttu polttimen teho saadaan aikaiseksi ruuvin pyörimisaikaa ja pyörimissykliä välistä aikaa säätelemällä. Polttimien maksimiteho on 120 kW ja muita järjestelmään

asetettuja tehovaihtoehtoja ovat 80 kW:n ja 60 kW:n tehot. Taulukossa 4 on esitetty polttimen valmistajan määrittelemät käyntiajat ja käyntisyklien tauon pituudet eri polttimen tehoilla sekä käyntisuhde, joka kuvaa kuinka suuren osan ajasta ruuvi kyseisellä asetuksella pyörii.

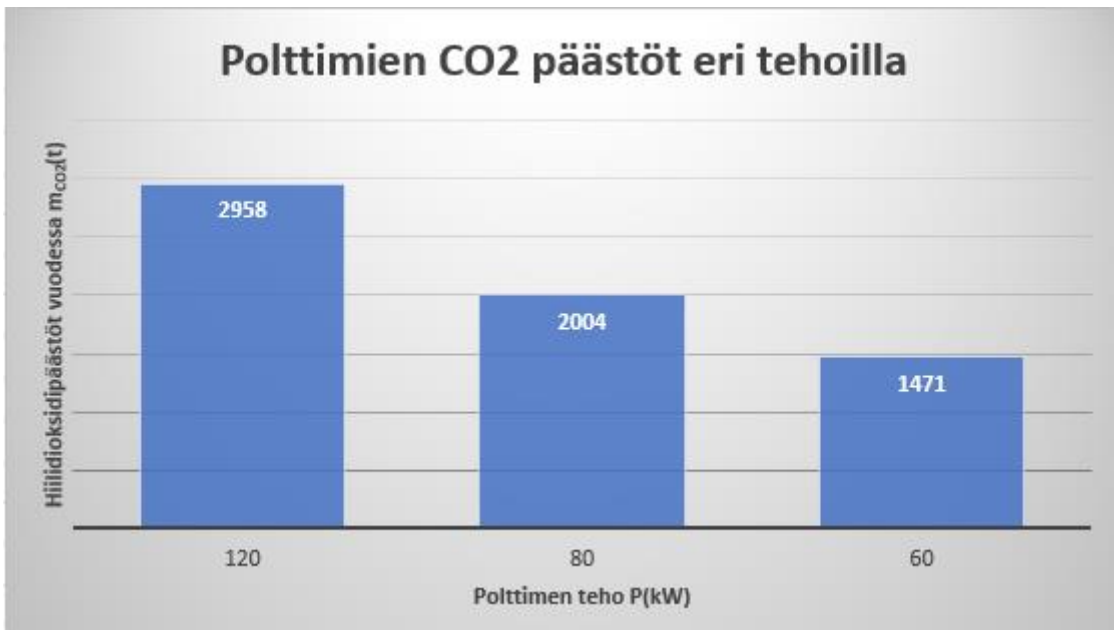
Taulukko 4. Polttimien käyntiajat eri tehoasetuksilla.

	Teho kW		
	120	80	60
Käyntiaika	3,1	2,1	2
Tauko	10	11	15
Käytisuhde	24 %	16 %	12 %

Polttimen eri tehoasetuksia voidaan vaihtaa laitoksen operoinnin yhteydessä prosessin tarpeiden mukaan. Hiilidioksidi päästöjen laskennan kannalta oletetaan, että polttimet toimisivat täydellä teholla. Laitoksen prosessin optimoimisen kannalta polttimia tullaan käyttämään eri tehoilla eri prosessin vaiheissa, mutta koska niiden ajomalleista ei ole vielä tarkkaa dataa, jätetään pienemmät tehot huomioimatta.

Käyttämällä 120 kW poltintehon käyntisuhdetta ja ruuvien syöttökapasiteettia Q , voidaan laskea polttoaineen massavirta m_v , jonka tulokseksi saadaan 0,084 kg/s. Liitteessä 3 on esillä osa laskurista, joka laskee laitoksen polttimien puuhakkeen kulutuksen ja siitä johtuvat CO₂ päästöt. Laskurista saadaan selville, että vuotuiset polttimien päästöt ovat noin 2958 t CO₂:ta.

Todelliset vuotuiset polttimien päästöt ovat kuitenkin pienemmät, kun prosessi saadaan optimoitua. Edellä laskettu lukema on käytännössä maksimi päästöarvo mitä polttimista voi tulla. Kuvassa 10 on esillä polttimien päästölukemia eri asetusarvoilla.



Kuva 11. Polttimien vuotuiset päästöt eri tehoasetuksilla.

Toteutuvat polttimien päästöt tulevat todennäköisimmin olemaan jotain 60 ja 80 kW tehon väliltä, kun prosessi saadaan optimoitua ja polttimien tehotasoja päästään säätämään.

5.2.2 Pyrolyysi reaktio

Pyrolyysi reaktion tuottamia CO₂ päästöjä lasketaan polttoaineena käytetyn kokopuuhakkeen alkuainesisällön ja tuotetun biohiilen hiilipitoisuuden pohjalta. Biohiilen tuotto osuus on 30 % prosessiin käytetystä materiaalin massasta. Liitteessä 4 on nähtävillä kuva laboratorioanalyysistä, missä todetaan erään biohiilinäytteen hiilipitoisuus. Tuotetun biohiilen sisältämä hiilen massa m_C lasketaan kaavalla 6.

$$m_C = y_{bc} c_C m_{pyroma}$$

KAAVA 6

missä,

m_C = tuotetun hiilen massa

y_{bc} = biohiilen tuotto osuus

c_C = biohiilen hiilipitoisuus

m_{pyroma} = pyrolyysimateriaalin kuivamassa

Tuotetun hiilen massan avulla voidaan laskea, kuinka paljon hiiltä palaa eri reaktioissa hiilidioksidiksi. Puuhakkeen alkuainekoostumuksen avulla voidaan laskea kokonaishiilen määrä pyrolyysimateriaalissa. Vähentämällä kokonaishiilen määrästä tuotetun hiilen massa saadaan selville palavan hiilen massa. Palavan hiilen massa lasketaan kaavalla 7.

$$m_{\text{palavaC}} = f_C m_{\text{pyroma}} - m_C \quad \text{KAAVA 7}$$

missä,

m_{palavaC} = hiilidioksidiksi palavan hiilen massa

f_C = puuhakkeen hiilen alkuaineisuus

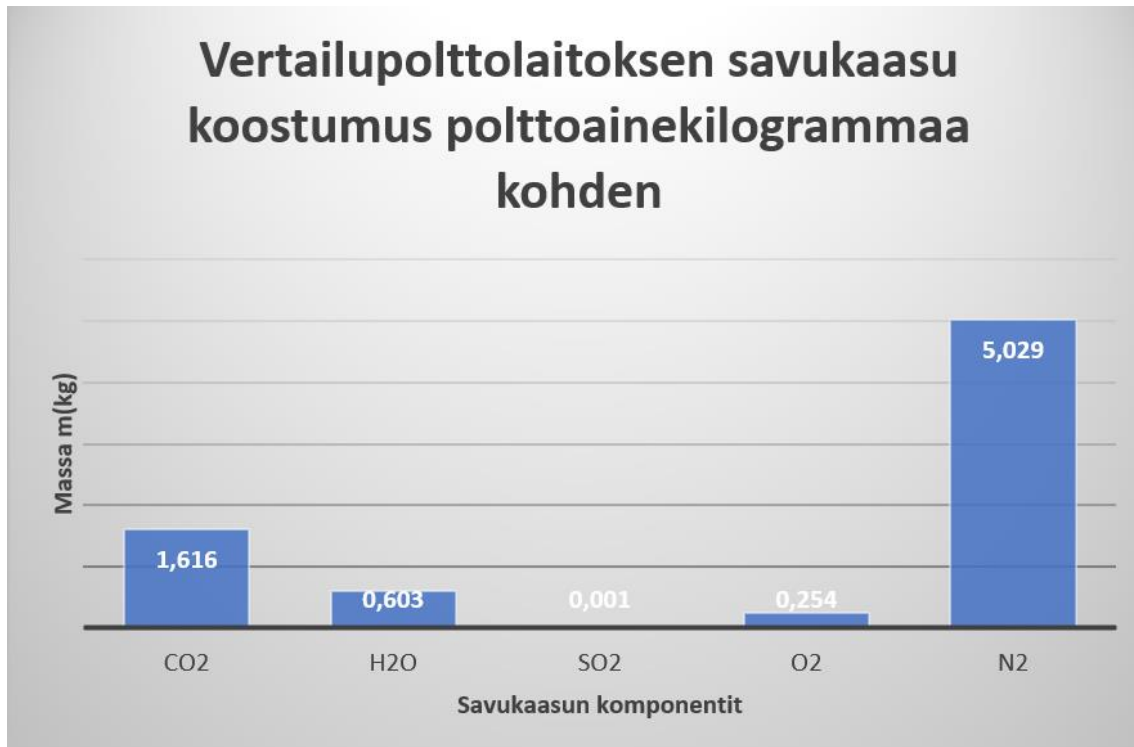
Hiilen moolimassa M_C on 12,01 kg/kmol. Hiilidioksidin moolimassa M_{CO_2} on 44,01 kg/kmol. Kaavalla 8 lasketaan pyrolyysireaktiosta tulevat CO_2 päästöt.

$$m_{\text{bhCO}_2} = \frac{m_{\text{palavaC}} M_{\text{CO}_2}}{M_C} \quad \text{KAAVA 8}$$

Laskemisessa käytetyt arvot ovat esillä liitteessä 5. Pyrolyysireaktion CO_2 päästöiksi saadaan 3600 t vuodessa.

5.3 Hakkeen polttaminen polttolaitoksessa

Vertailukohtana laskennassa on hakkeen polttaminen polttolaitoksella. Tämä laskenta tapahtuu käyttämällä samaa savukaasulaskuria, kuin polttimienkin kohdalla. Liitteessä 6 on nähtävillä käytetty savukaasulaskuri. Kuvassa 12 on nähtävillä savukaasulaskurista saatu savukaasukoostumus poltettua polttoainekilogrammaa kohden.



Kuva 12. Vertailupolttolaitoksen savukaasu koostumus.

Savukaasulaskurissa on käytetty yksinkertaisuuden kannalta samaa materiaalin kosteuspitoisuutta, kuin pyrolyysimateriaalissakin. Kosteuspitoisuus ei laskennallisesti muuta hiilidioksidipäästöjen määrää, kun poltettavan kuiva-aineen määrä pysyy samana, kuten laskennassa oletetaan. Haketta poltettaessa syntyy noin 1,6 kg CO₂ päästöjä polttoainekilogrammaa kohden. Jos haketta poltettaisiin sama määrä polttolaitoksella, kuin biohiilentuotantolaitos käyttää, siitä syntyisi noin 7700 t hiilidioksidipäästöjä vuodessa.

5.4 Operoinnin päästöt

Operoinnin päästöiksi huomioidaan laitoksen toiminnan ylläpitämisestä koituvia päästöjä. Nämä päästöt ovat hiilidioksidiekvivalentti muodossa, joten niiden osuus on verrattavissa suoriin hiilidioksidipäästöihin. Operoinnin päästöihin huomioidaan laskelmissa laitoksella käytössä oleva pyöräkone, koko tuotantolaitoksen sähkönkulutus sekä hakkeen kuljetuksesta syntyvät päästöt.

5.4.1 Pyöräkone

Pyöräkonetta käytetään laitoksella biomateriaalin kuljetukseen, kuin myös lumen auraamiseen ja lähetysten purkamiseen ja lastaamiseen. Pyöräkoneen käyttämä polttoaineen määrä on todella karkea laskelma, mutta tämän kyseisen laskelman epätarkkuus on merkityksettömän pieni kokonaisuutta tarkastellen.

Pyöräkone käytti polttoainetta 180 vuorokauden aikana noin 3000 litraa. Kulutus on arvioitu laitokselle tilatun polttoaineen määrän sekä säiliössä jäljellä olevan polttoaineen pohjalta. On täysin mahdollista, että polttoainetta on käytetty johonkin muuhunkin laitoksella tilapäisesti olleeseen työkooneeseen, mutta oletetaan laskennassa, että kaikki kulutus olisi pyöräkoneen ja niin ollen laitoksen operoinnin päästöjä. Huomioitavaa on, että osa tästä ajasta on myös ollut rakennus vaihetta, jossa pyöräkonetta on käytetty eri tavalla, kuin tavanomaisessa operoinnissa.

Karkealla laskelmalla pyöräkone kuluttaa 16,7 l polttoainetta vuorokaudessa eli 0,69 l tunnissa. Käytössä oleva polttoaine on Neste MY uusiutuva polttoöljy, jonka päästöt ovat 1,134 kg CO₂e/l (10). Laskennassa oletuksena on, että pyöräkonetta käytetään 365 päivää vuodessa, koska sitä voidaan käyttää huoltokatkoksissa työkaluna. Laskennallisesti pyöräkoneen päästöt ovat 0,79 kg CO₂e tunnissa ja tästä tulee noin 6,9 t CO₂e vuodessa.

5.4.2 Sähkönkulutus

Tuotantolaitosta suunniteltaessa on Carbon Balance arvioinut vuotuisen sähkönkulutuksen olevan 1480 MWh perustuen eri laitteiden, kuten puhaltimien ja kuivaimien tehoihin. Tämä arvio on kuitenkin todellisuutta korkeampi, koska kaikki laitteet eivät ole jatkuvassa käytössä eikä ne jatkuvasti toimi täydellä teholla. Laskennassa ei ole otettu huomioon sosiaalituloja, alueen valaistusta tai muuta sähkönkulutusta, joka ei suoraan kuulu laitoksen toimintaan.

Laitoksen sähkönkulutuksesta koituvat hiilidioksidipäästöt ovat laskettu Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästökertoimella 77 kg CO₂/MWh (11). Näiden arvojen pohjalta laitoksen vuotuiset sähkönkulutuksen päästöt ovat 114 t CO₂.

5.4.3 Hakkeen kuljetus

Oletettavasti biomateriaalia kuljetetaan biohiilientuotantolaitokselle kolmelta eri toimittajalta. Ensimmäinen sijaitsee vain noin yhden kilometrin etäisyydellä tuotantolaitokselta. Toinen toimittaja sijaitsee Oulussa, johon on matkaa 61,3 km. Kolmas laitos sijaitsee Kuhmossa, johon on 196 km matkaa. Oletuksena on, että kuljetettu materiaali jakautuu tasan kolmelle toimittajalle. Laskennassa huomioidaan vain materiaalin toimitusmatka. Paluumatkaa ei huomioida.

Haketta kuljetetaan täysperävaunu yhdistelmillä. Täysperävaunu yhdistelmien polttoaineen kulutus keskimäärin on 50 l/100 km (12). Diesel polttoaineen päästöt ovat 2,67 kg CO₂e/l (10). Näistä arvoista lasketaan kilometrikohtaiseksi päästölukemaksi 1,335 kg CO₂e/km. Kuljetuksia tarvitaan 176 kappaletta vuodessa perustuen materiaalin tarpeeseen ja täysperävaunu yhdistelmän maksimi kuorman massaan.

Hakkeen kuljetuksesta syntyy 20,2 t CO₂e vuodessa. Merkittävästi pienin määrä, noin 0,1 t CO₂e, päästöjä tulee laitoksen lähellä Utajärvellä sijaitsevalta toimittajalta tulevista toimituksista. Oulusta tulevien kuljetuksien päästöjen osuus on noin 4,8 t CO₂e vuodessa. Merkittävin määrä kuljetuksen päästöistä tulee Kuhmon materiaalitoimituksille. Tämä lukema on 15,4 t CO₂e. Kuvassa 13 on nähtävillä eri materiaalitoimituskohteista tulevat hiilidioksidiekvivalenttipäästöt.



Kuva 13. Materiaalin kuljetuksen päästöt suhteutettuna toimittajien kesken.

5.5 Maaperään sidottu hiilidioksidipotentiaali

Hiilidioksidi CO₂ muodostuu yhdestä hiiliatomista C ja kahdesta happiatomista O. Hiilen moolimassa on 12,011 g/mol. Hapen moolimassa on 15,999 g/mol ja hiilidioksidin moolimassa lasketuna on 44,009 g/mol.

Kun hiiltä sijoitetaan maaperään biohiilen muodossa, sijoitamme sinne hiiliatomeja, mitkä eivät pääse muuttumaan hiilidioksidiksi tai muiksi hiilivedyiksi. Jakamalla hiilidioksidin moolimassan yhden hiiliatomin moolimassalla, saamme sidontakertoimen lukeman 3,66. Jokaista kilogrammaa hiiltä kohden syntyisi poltettaessa tai muuten kaasuuntuessa 3,66 kertainen määrä hiilidioksidia.

Maaperään sidottu hiilidioksidipotentiaali lasketaan kaavalla 9.

$$m_{CO_2 \text{ sidonta}} = 3,66 \cdot m_{bh}f_C$$

KAAVA 9

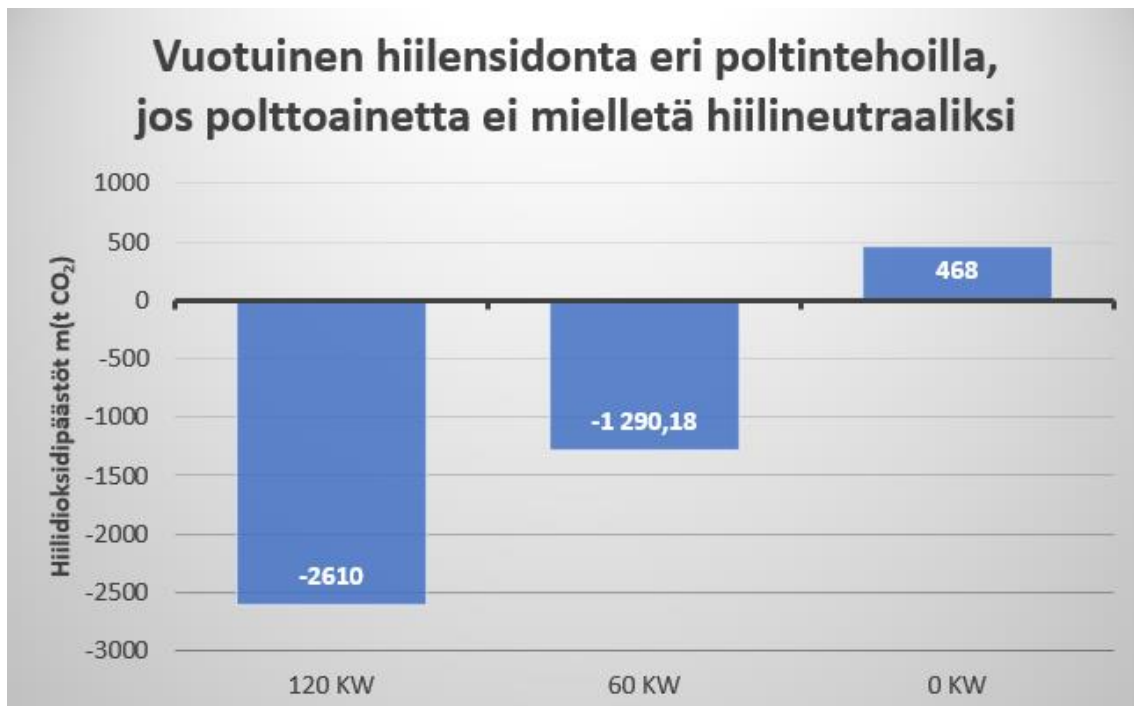
Tuotettu biohiili sitoo maaperään hiiltä, joka vastaa 4068 t hiilidioksidia ilmakehässä. Vähentämällä tästä lukemasta operoinnin tuottamat päästöt, saadaan tulokseksi biohiilen tuotannosta saatavat päästövähennykset.

Laitoksen tuottamalla biohiilellä voidaan vähentää 3948 t CO₂e määrä hiilidioksidia ilmakehästä vuosittain. Tämä lukema perustuu laitoksen nykyiseen vuotuisen tuotantokapasiteettiarvioon. Tuotannon kapasiteetin noustessa, nousee myös laitoksen vuotuinen hiilidioksidin sidonta potentiaali. Kuvassa 14 on esitetty laitoksen hiilensidonta ilmakehästä vuoden, viiden vuoden sekä kymmenen vuoden ajanjaksona.



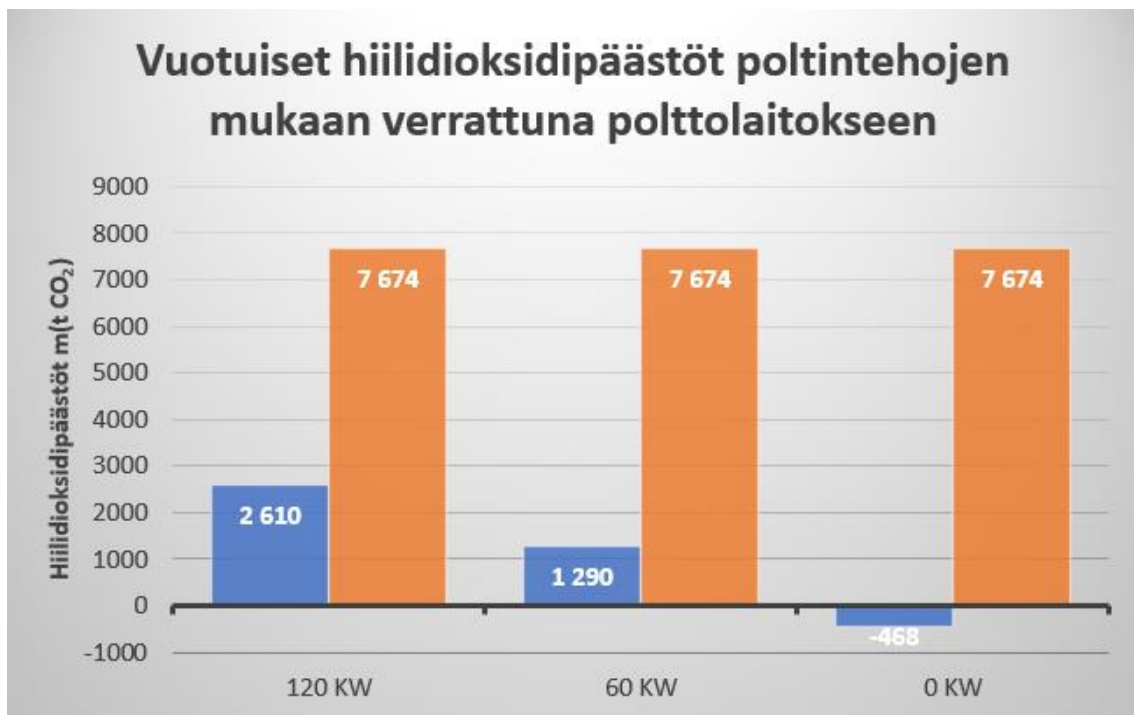
Kuva 14. Hiilidioksidin sidonta ilmakehästä käytinvuosien mukaan.

Polttimet tuottavat vuodessa 2958 t CO₂ päästöjä vuodessa 120 kW tehoasetuksilla. Jos prosessia optimoimalla voitaisiin käyttää polttimia keskimäärin 60 kW tehoasetuksilla, olisi niiden tuottamat vuotuiset päästöt enää 1471 t CO₂ vuodessa. Tekemällä muutoksia laitoksen toimintaan, olisi käytännössä mahdollista jättää polttimet kokonaan pois ja käyttää niitä vain käynnistämiseen. Tässä tilanteessa polttimien tuottamat hiilidioksidipäästöt päästöt olisivat merkityksettömän pienet. Pyrolyysireaktio tuottaa vuodessa 3600 t CO₂ päästöjä. Polttimien polttoaine sekä pyrolyysimateriaali ovat kummatkin uusiutuvia, joten niitä ei varsinaiseen hiilidioksidinsidontapotentiaaliin huomioida. Kuvassa 15 on esitetty kaavio, joka havainnoi laitoksen hiilensidontaa 120 kW, 60 ja 0 kW poltin-tehoilla, jos poltto- ja pyrolyysireaktion päästöjä ei mielletäisiikään uusiutuviksi.



Kuva 15. Hiilensidonta ilman hiilineutraalisuutta.

Biohiilen tuotannon vertailukohtana on polttolaitos, joka polttaisi tuotantolaitoksen käyttämän hakkeen. Tästä laitoksesta syntyisi 7674 t CO₂ päästöjä. Kuvassa 16 vertaillaan biohiilentuotantolaitoksen hiilidioksidipäästöjä päästöjä 120 kW:n ja 60 kW:n ja 0kW:n poltintehoilla.



Kuva 16. Hiilidioksidipäästöt verrattuna laitospolttoon.

Laitoksen hiilensidontapotentiaali on laskettu nykyisen toiminnan pohjalta. Sitä voidaan parhaiten parantaa nostamalla laitoksen tuotantokapasiteettia sen suunniteltuun huippuun. Tämän lisäksi polttimien käytön minimoiminen vähentää suuria määriä hiilidioksidipäästöjä. Kuvassa 17 esitetään laitoksen hiilensidontaa maksimi tuotantokapasiteetilla eri polttimien tehoilla, ilman että pyrolyysiprosessin tuottamia CO₂ päästöjä otetaan huomioon. Huomioitavaa on, että näihin lukemiin on laskettu mukaan laitoksen nykyisen operoinnin mukaiset hiilidioksidipäästöt, jotka olisivat korkeammat täydellä kapasiteetilla. Todellisuudessa ero on erittäin pieni ja se voisi kadota jo, kun laitoksen sähkönkulutuksen päästöt laskettaisiin todellisen kulutuksen mukaan.



Kuva 17. Laitoksen hiilensidonta maksimi tuotantokapasiteetilla.

Lopputuloksen määrittäminen on monimutkaista. Voidaan kuitenkin todeta, että laskennallisesti laitoksen tuottama biohiili sitoo 3948 t CO₂ vuodessa maaperään. Tästä lukemasta on vähennetty laitoksen sähkönkulutuksesta, pyöräkoneesta sekä materiaalin kuljetuksesta johtuvat hiilidioksidipäästöt. Laitos kuitenkin tuottaa hiilidioksidipäästöjä polttimista sekä pyrolyysireaktiosta, mutta ne päästöt tulevat puuhakkeesta, joka on uusiutuva luonnonvara, koska uusien puiden kasvaessa, puut sitovat itseensä taas hiilidioksidia. Jos hiilineutraalisuus jätetään huomioimatta, tuottaa laitoks nykyhetkellä enemmän hiilidioksidipäästöjä, kuin se sitoo päästöpotentiaalia maaperään. Laitoksen saavuttaessa maksimi tuotantokapasiteetin, on tilanne päästöjen kannalta parempi kuten kuvasta 17 nähdään.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoitus oli laskea, kuinka paljon laitos sitoo hiiltä maaperään ja kuinka suurelta määrältä potentiaalisia hiilidioksidipäästöjä voidaan ehkäistä. Työssä myös kerrottiin laitoksen pääkomponenteista sekä selitettiin niiden merkityksestä osana laitosta. Hiilidioksidi päästöihin liittyvät lukemat saatiin laskettua ja niiden perusteella yritys voi suunnata laitteiston kehitystä. Laitoksen prosessin tuottavan lämpöenergian hyödyntäminen tehokkaammin prosessin ylläpitoon on yksi merkittäviä laitoksen hiilidioksidinsidontapotentiaalia kasvattavia kehityskohteita. Tavoiteltavaa olisi, ettei polttimia tarvitsisi käyttää kuin prosessia käynnistettäessä.

Laskeminen oli monelta kannalta haastavaa, koska itse pyrolyysiprosessin laskeminen ja sen tuottamat päästöt ovat monimutkainen prosessi. Täysin hapettoman prosessin laskeminen olisi ollut huomattavasti helpompaa, koska siitä on tarjolla runsaasti tutkimustietoa. Tämän opinnäytetyön kohdalla, jouduttiin soveltamaan palamisprosessia ja tekemään oletuksia. Monet laskennassa käytetyt lähtöarvot perustuivat epätarkkoihin mittauksiin, oletuksiin sekä aineistoista saataviin keskiarvoihin. Lopputuloksien kuitenkin uskotaan olevan laitoksen nykytilaa riittävällä tarkkuudella kuvaavia. Laitoksen täyteen toiminnallisuuteen saamisessa on tapahtunut viivästyksiä, joka johti tarpeeseen muuttaa alkuperäisiä laskentamalleja.

Opinnäytetyön tekeminen on ollut haastavaa, mutta myös antoisaa. Työn osalta on päästy syventymään pyrolyysiprosessiin ja päästölaskelmiin. Ohella tehdyt laskurit ja laskelmat ovat olleet myös hyödyllisiä työkaluja opinnäytetyön aihetta sivuaviin laskelmiin.

LÄHTEET

1. Carbon Balance Finland Oy 2022. Yrityskuvaus. Hakupäivä 17.4.2023. <https://www.carbonbalance.fi/about-us>.
2. Bioenergia Ry 2022. Biohiili. Hakupäivä 18.4.2023. <https://www.bioenergia.fi/biohiili/>.
3. Bioenergia Ry 2022. Hiilensidonta. Hakupäivä 19.4.2023. <https://www.bioenergia.fi/tieto7pankki/hiilensidonta/>.
4. Raiko, Saastamoinen, Hupi, Kurki-Suonio 2002. Poltto ja palaminen. Toinen täydennetty painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
5. SINTEF. About biocarbon. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.sintef.no/projectweb/biocarb/aboutbiocarbon/>.
6. Schmid, Taylor 2014. Kon-Tiki – the democratization of biochar production. The Biochar Journal. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.biochar-journal.org/en/ct/39>.
7. SFTec Oy 2023. ModHeat. Hakupäivä 3.8.2023. <https://sftec.fi/tuotteet/modheat>.
8. Veljekset Ala-Talkkari Oy 2023. Veto Turvehakematti. Hakupäivä 21.11.2023. <https://alatakkari.fi/veto-turvehakemaatti/>.
9. Saari, Anssi 2013. Ruuviannostelija. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan tuotkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 10.5.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/62211/Saari_Anssi.pdf;jsessionid=45FBC0A5697C62034C445CCFAC12FD67?sequence=1.
10. Suomen ympäristökeskus 2013. Y-Hiilari. Excel-tiedosto. Hakupäivä: 16.9.2023. <https://www.syke.fi/download/noname/%7B486D0D8F-1933-457E-8BFF-6EFEFB841CF6%7D/78425>.
11. Motiva 2023. CO₂-päästökertoimet. Hakupäivä: 10.9.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisu/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet.
12. Kuljetusala.com 2023. UKK. Hakupäivä: 12.9.2023. <https://www.kuljetusala.com/fin/ukk/>.

LIITTEET

Biohiilentuotantolaskuri liite 1

Poltinten savukaasulaskuri liite 2

Poltinten polttoaineenkulutus- ja päästö laskuri liite 3

Biohiilen laboratorioanalyysin tuloksia liite 4

Pyrolyysin päästölaskuri liite 5

Hakkeenpolton savukaasulaskuri liite 6

BIOHIILENTUOTANTOLASKURI

LIITE 1

Onko laitos käynyt koko ajan täydellä teholla?	Kyllä				
Laitoksen käyntiaika	320 d	0 h	0 min		
Käyntitunnit	7680 h				
Pyrolysointi aika	2 h				
Täyden astian materiaalisäily	22,9 kg				
Pyrolysoitavan materiaalin massa	m_p	4748544 kg			
Materiaalin kosteus		10 %			
Kuivan materiaalin määrä	m_{kuiva}	4273690 kg			
Pyrolyysistä saatava biohiili osuus		30 %			
Tuotettu kuiva biohiili	$m_{biohiili}$	1282107 kg	1282 t		

POLTINTEN POLTTOAINEENKULUTUS- JA PÄÄSTÖLASKURI

LIITE 3

Polttoaineen irtotiheys	ρ	300	kg/m ³	Ruuvien halkaisija	D	0,125	m
Polttoaineen massavirta	m_v	0,083939	kg/s	Ruuvien nousu	S	0,09	m
Ruuvien kierrosnopeus	ω	0,266667	1/s	Kierrosnopeus	n	16	rpm
				Ruuvien täyttöaste	ψ	95,00	%
Polttin 1				Polttoaineen irtotiheys	ρ	300	kg/m ³
Käyntiaika	t	6542656	s	Ruuvien syöttökapasiteetti	Q	302,1819	kg/h
Polttoaineenkulutus	m	549186,8	kg				
				Ruuvien käyntiasetukset			
Polttin 2				Pulssi	t_{pulssi}	3,1	s
Käyntiaika	t	6542656	s	Tauko	t_{tauco}	10	s
Polttoaineenkulutus	m	549186,8	kg	Sykliä minuutissa	$t_{p/min}$	4,580	1/min
				Pulseja minuutissa	$t_{pulse/min}$	14,198	
Polttin 3				Pyörimissuhde sekunnissa		23,66	%
Käyntiaika	t	6542656	s				
Polttoaineenkulutus	m	549186,8	kg				
Polttin 4							
Käyntiaika	t	6542656	s				
Polttoaineenkulutus	m	549186,8	kg				
Polttin 5							
Käyntiaika	t	6542656	s				
Polttoaineenkulutus	m	549186,8	kg				
Polttin 6							
Käyntiaika	t	6542656	s				
Polttoaineenkulutus	m	549186,8	kg				
Polttoaineen kulutus							
Yhteensä	m	3295121	kg				
Polttimen päästöt							
CO ₂	m	2958325	kg				

Parameter	Lab	Accr.	Method	Limit values						Description		biochar	
				EBC-Feed	EBC-Agro Organic	EBC-Agro	EBC-Urban	EBC-Consumer Materials	EBC-Basic Materials	Sample number		ar	db
										LOQ	Unit		
Biochar properties													
Bulk density < 3 mm	FR		based on VDLUFA-Methode A 13.2.1								kg/m ³	-	128
water holding capacity (WHC) < 2 mm	FR		DIN EN ISO 14238, A: 2014-03								%	-	331.7
Moisture	FR	FS	DIN 51718: 2002-06							0.1	% (w/w)	45.4	-
Ash content (550°C)	FR	FS	DIN 51719: 1997-07							0.1	% (w/w)	1.7	3.1
Total carbon	FR	FS	DIN 51732: 2014-07							0.2	% (w/w)	47.3	86.7
carbon (organic)	FR		Calculation								% (w/w)	47.3	86.6

PYROLYYSIN PÄÄSTÖLASKURI

LIITE 5

Pyrolyysimateriaalin kuivamassa	m_{pyroma}	4273690 kg
Biohiilen tuotto osuus	Y_{bc}	30 %
Biohiilen hiilipitoisuus	C_C	86,70 %
Tuotetun hiilen massa	m_C	1111587 kg
Hiilen osuus polttoaineessa	$C_{\%}$	49 %
Kokonaishiilen massa	m_{kokoC}	2094108 kg
Palava hiilen massa	m_{palavaC}	982521 kg
Hiilen moolimassa	M_C	12,01 kg/kmol
Palavan hiilen ainemäärä	n_C	81809 kmol
Hiilidioksidin moolimassa	M_{CO_2}	44,01 kg/kmol
Pyrolyysin päästöt	m_{bhCO_2}	3600396 kg

HAKKEENPOLTON SAVUKAASULASKURI

LIITE 6

Kosteus %	0,1								
Ilmakerroin λ	1,2								
Ilman moolitilavuus	22,4								
	Määrä kuivaa PA	Määrä kosteaa PA	Moolimassa	Määrä kostea	O2 tarve				
	%	kg/kg _{pa}	kg/kmol	kmol/kg _{pa}	kmol/kg _{pa}				
C	49	0,441	12,01	0,0367194	0,0367194				
H	6,25	0,05625	2,016	0,027901786	0,013950893				
N	1,4	0,0126	28,02	0,000449679	0,000224839				
O	40	0,36	32	0,01125	-0,01125				
S	0,05	0,00045	32,06	1,40362E-05	1,40362E-05				
Cl	0,01	0,00009	35,45	2,53879E-06	2,53879E-06				
H2O		0,1	18,016	0,005550622					
Tuhka	0,45	0,00405							
Keskisarvoilla laskettu!	97,16	0,97444				Teoreettisen ilmamäärän O2 osuus			
				0,081888062	0,039661708				
	Puu	Kuori							
	%					Teoreettinen ilmamäärä	0,188865		
C	49	58,5				O2	0,039662		
H2	6,25	7,15				N2	0,149204		
N2	1,4	0,55				Ilmamäärä			
O	40	32,25				λ	0,226638		
S	0,05	0,05				O2	0,047594		
Cl	0,01	0,02				N2	0,179044		
Tuhka	0,45	2,5							
						Yli-ilmamäärä	0,037773		
						O2	0,007932		
						N2	0,029841		
Reaktiotuote	Stökiöm, SK		Todellinen	Mooliosuus	Mooliosuus	Määrä		Määrä	
palamisessa	määrä	Ilmaylimäärä	SK määrä	kuivassa SK:ssa	kosteissa SK	Moolima	SK:ssa	Moolitila	SK:ssa
	kmol/kg _{pa}	kmol/kg _{pa}	kmol/kg _{pa}			kg/kmol	kg/kg _{pa}	m ³ /kmol	m ³ /kg _{pa}
CO2	0,0367194		0,0367194	0,16380908	0,142537536	44,01	1,616021	22,26	0,817374
H2O	0,033452407		0,033452407	0,129855708	0,129855708	18,018	0,602745	22,4	0,749334
SO2	1,40362E-05		1,40362E-05	6,26169E-05	5,44857E-05	84,06	0,00118	21,98	0,000309
O2		0,007932342	0,007932342	0,035387004	0,0307918	32	0,253835	22,39	0,177605
N2	0,149653246	0,029840713	0,179493959	0,800741299	0,696760471	28,02	5,029421	22,4	4,020665
YHT. Kosteat	0,21983909		0,257612145				7,503202		5,765286
YHT. Kuivat	0,186386683		0,224159738	1					