

**PYROLYYSILAITTEEN SYÖTTÖJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU
KIINTEISTÖKATTILAAN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Kevät, 2023

Lassi Ankkuri

Konetekniikan koulutusohjelma

Tekijä Lassi Ankkuri

Työn nimi Pyrolyysilaitteen syöttöjärjestelmien suunnittelu kiinteistökattilaan

Ohjaaja Kaisa Kontu

Tiivistelmä

Vuosi 2023

Biohiilen nousevan kiinnostuksen vuoksi kysyntä ylittää tällä hetkellä olevan tarjonnan. Myös biohiilen valmistavien pyrolyysilaitteiden suuret koot ja kalliit hinnat vaikuttavat biohiilen hintaan, jonka seurauksena ihmiset eivät pysty hyödyntämään pyrolyysilaitteiden avulla omasta tuotannosta syntyviä jätteitä biomassoina. Pyrolyysilaitteen avulla biomassasta voidaan valmistaa biohiiltä, bio-öljyä ja lämpöä. Näitä lopputuotteita voitaisiin hyödyntää jatkossa omassa tuotannossa.

Näiden seikkojen takia tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella kaksi vaihtoehtoista pyrolyysilaitteen syöttöjärjestelmää, jotka ovat hinnaltaan ja kooltaan kohtuullisia. Syöttöjärjestelmät on suunniteltu yhteensopiviksi hakekattiloiden kanssa, jotta ne olisi mahdollista tuoda ihmisten päivittäiseen käyttöön. Syöttöjärjestelmät ovat pinta-alaltaan noin kiinteistökattilan kokoisia, mutta painonsa puolesta helposti liikutettavia.

Opinäytetyössä tuodaan aluksi esille, mitä biohiili on ja minkälainen historia sillä on. Myös sen laajat ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet nousevat tekstissä laajasti esille. Seuraavaksi opinnäytetyössä käsitellään erilaisia pyrolyysimenetelmiä ja -laitteita, joiden avulla biohiiltä valmistetaan, ja joita Suomessa sekä ulkomailla on jo saatu kehiteltyä.

Seuraavaksi esitellään kaksi itsesuunniteltua pyrolyysilaitteen syöttöjärjestelmää - syöttöruuvilla ja hydraulisylinteillä toimivat kokonaisuudet. Syöttöjärjestelmien suunnittelussa onnistuttiin tavoitteiden ja alkuperäisten suunnitelmien mukaan. Valmiita laitteita vertailtaessa nousi esille, että järjestelmät soveltuvat eri tarkoituksiin niiden ominaisuuksien ja heikkouksien mukaan. Vertailtavia kategorioita olivat: laitteiden koko, toimintatapa, laitteen sijotuspaikka sekä turvallisuus.

Yhteenvedossa tuodaan esille, että vaikka biohiili on nostanut kysyntää viime vuosien aikana, on hyvä jatkossa panostaa lisätutkimusta biohiilen valmistukseen käytettävissä keinoissa. Tähän syynä on se, että on vielä pitkä matka siihen, kun pyrolyysilaitteet tulisivat päivittäiseen käyttöön tai ne olisivat niin halpoja, että ihmisten olisi mahdollista hankkia niitä. Biohiili tulee varmasti tulevaisuudessa yleistymään sen ominaisuuksien ja käyttömahdollisuuksiensa ansiosta. Ilmastonmuutos vaatii uudenlaisia ympäristöystävällisiä ja kestäviä ratkaisuja ja biohiili voi olla yksi niistä.

Avainsanat Biohiili, pyrolyysi, pyrolyysilaitteisto

Sivut 41 sivua ja liitteitä 2 sivua

Due to the interest in biochar, the demand currently exceeds the current supply. The large sizes and expensive prices of pyrolysis devices that produce biochar also affect the price of biochar, which is why they are unable to use the waste generated from their own production as biomass with the help of pyrolysis devices. Using a pyrolysis device, biomass used to produce biochar, bio-oil and heat. These final products will be used in our own production in the future.

Due to these factors, the purpose of this thesis was to design two alternative pyrolysis device feed systems that are standard in terms of price and size. The feed systems are designed to be compatible with wood chip boilers, so that it would be possible to bring them into everyday use. The feed systems are about the size of a property boiler in terms of surface area, but due to their weight, they can be easily moved.

The thesis begins by introducing what biochar is and its history. Its extensive features and uses are also highlighted in the text. The thesis then deals with different pyrolysis methods and equipment used to produce biochar, which have already been developed in Finland and abroad.

Next, the thesis presents two self-designed pyrolysis equipment feed systems – feed systems using feed screws and hydraulic cylinders. The planning of the input systems was successful according to the goals and original plans. When comparing ready-made devices, it emerged that the systems are suitable for different purposes according to their characteristics and weakness. The categories to be compared were: the size of the equipment, the way it works, the location of the equipment and safety.

In summary, it is pointed out that although biochar has increased in demand in recent years, it is important to invest in further research in the methods used to produce biochar in the future. This is because there is still a long way to go before pyrolysis equipment can be used in everyday life or become so cheap that people can afford to buy them. Biochar will certainly become more common in the future due to its properties and possibilities. Climate change requires new environmentally friendly and sustainable solutions and biochar may be one of them.

Keywords Biochar, pyrolysis, Pyrolysis equipment

Pages 41 pages and appendices 2 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Biohiili	2
2.1	Eurooppalainen biohiilitodistus (EBC)	2
2.2	Ominaisuudet.....	3
2.3	Käyttömahdollisuudet.....	5
2.3.1	Biohiilen käyttö kotieläintaloudessa	5
2.3.2	Biohiilen käyttö maanparannuksessa ja veden suodattimena	6
2.3.3	Biohiilen käyttö rakennusalalla	7
2.4	Biohiilen historia	8
3	Biohiilen tuotanto pyrolyysin avulla.....	9
3.1	Sivutuotteet	11
3.2	Nopea pyrolyysi.....	12
3.3	Hidas pyrolyysi	14
3.4	Esimerkkejä Suomessa	14
3.5	Esimerkkejä ulkomailla	18
4	Pyrolyysilaitteisto	20
4.1	Pyrolyysilaitteissaa käytettäviä komponentteja	23
4.1.1	Syöttöruuvi	23
4.1.2	Sulkusyötin ja hydraulisyylinteri	24
4.1.3	Kaupalliset osat	25
4.2	Syöttöruuvin avulla toimivan syöttöjärjestelmän toiminta	25
4.3	Hydraulisyylinterillä toimivan syöttöjärjestelmän toiminta	32
4.4	Syöttöjärjestelmien vertailu.....	35
5	Yhteenveto	36
	Lähteet.....	38

Liitteet

- Liite 1 Syöttöruuvilla toimivan syöttöjärjestelmän kaupalliset osat.
- Liite 2 Hydraulisyliinterillä toimivan syöttöjärjestelmän kaupalliset osat.

1 Johdanto

Biohiilen kiinnostus on noussut vähitellen suuren yleisön tietoisuuteen sen ominaisuuksien ja käyttömahdollisuuksien ansioista. Nousseen kiinnostuksen myötä myös kysyntä on noussut, mutta biohiilen saatavuus ei ole ollut kysynnän tasolla. Biohiiltä valmistavien pyrolyysikoneiden kallis hinta ja niiden suuri koko ovat ongelmia, jotka vaikuttavat suoraan biohiilen hintaan.

HAMK Tech:lla ja HAMK Bio:lla on yhteistyössä käynnissä hanke nimeltään Fiksuhiili. Hankkeen tavoitteena on valmistaa jatkuvatoiminen hybridikattila muokkaamalla pienen teholuokan kiinteistökattilaan. Hybridikattilalla viitataan kattilaan, missä ulkoista energianlähdettä hyödynnetään lämmöntuotannossa. Kiinteistökattila on tehdasvalmisteinen ja sen polttoaineteho on noin 60 kW. Laitteiden suunnittelussa on pyritty keskittymään niiden kokoon ja hintaan, jotta ne olisi mahdollista ottaa esimerkiksi maaseudulla päivittäiseen käyttöön. Pyrolyysilaitteiden avulla saataisiin ympäristön biomassat muutettua biohiilen ja sen sivutuotteiden tuotannon raaka-aineeksi. (Hämeen ammattikorkeakoulu, 2022)

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella kaksi vaihtoehtoista pienen kokoluokan jatkuvatoimisen pyrolyysilaitteen syöttöjärjestelmää, syöttöruuvilla toimiva sekä hydraulisyntelirillä toimiva. Niiden tarkoitus on toimia laitteiden yhteydessä olevien hakekattiloiden lämmöntuottajina muodostaen samalla biohiiltä ja sivutuotteita.

Opinnäytetyössä tuodaan aluksi esille tietoa biohiilestä ja sen ominaisuuksista. Seuraavaksi keskitytään biohiilen tuotantoon pyrolyysimenetelmän avulla. Tämän jälkeen tuodaan esille itse suunnittelemat pyrolyysilaitteiden syöttöjärjestelmät ja niiden ominaisuudet sekä rajoitteet.

2 Biohiili

Biohiili (Kuva 1) on hiilirikas tuote, jota valmistetaan kuumentamalla biomassaa suljetussa tilassa, jossa on vähän happea tai sitä ei ole lainkaan (Lehmann & Joseph, 2009). Biohiili valmistetaan kemiallisella reaktiolla, jota kutsutaan pyrolyysiksi tai kuivatuslauksesksi. Reaktiossa kiinteä aine hajoaa hapettomissa olosuhteissa sekä kuumassa lämpötilassa. (Ruokamo, 2022) Pyrolyysiprosessin raaka-aineeksi käy monenlaiset biomassat, esimerkiksi puu-, puutarha- ja maatalousjäte sopivat hyvin biomassaksi (Nummela, Biohiili, 2020).

Kuva 1. Esimerkkikuva valmiista biohiilestä. (Jouslehto, 2019)



Biohiiltä käyttäessä täytyy huomioida, että se ei ole kivihiiltä, grillihiiltä eikä myöskään takkahiiltä. Biohiili ei ole myöskään yksittäinen tuote, vaan se koostuu tuoteryhmästä. Tämä johtuu siitä, että biohiilen ominaisuudet vaihtelevat paljon, jonka takia kaikki biohiililaadut eivät käy jokaiseen tarkoitukseen. Biohiilen tuotantoprosessin toiminta vaikuttaa vahvasti ominaisuuksiin, ja esimerkiksi raaka-ainella, lämpötilalla ja valmiin biohiilen jälkikäsittelyllä on erityinen vaikutus biohiilen ominaisuuksiin. (Carbons, n.d.)

2.1 Eurooppalainen biohiilitodistus (EBC)

EBC eli European Biochar Certificate on järjestö, joka on perustettu vähentämään biohiilen käyttöön kohdistuneita riskejä. Heidän tarkoituksena on tuoda biohiilen tuottajille kaikista

paras mahdollinen tieteellinen tietämys ja auttaa tuottajia ja käyttäjiä vähentämään ympäristöllisiä ja terveydellisiä haittoja biohiilen tuotannon ja käytön aikana. (European biochar certification, n.d.)

Pyrolyysivalinta sekä prosessissa käytetty materiaali ovat suurimpia tekijöitä, jotka vaikuttavat biohiilen ominaisuuksiin ja sen tuotannon ympäristöjalanjälkeen. Sen takia Ithaka-instituutti on ottamassa käyttöön arviointimekanismin, jotta biohiilen tuotantoa ja analysointia varten olisi käytössä turvallinen valvonta- ja arviointijärjestelmä.

Arviointimekanismissa käytetään uusimpia käytäntöjä että tutkimustietoja. EBC varmistaa biohiilen tuotannon, myynnin sekä jalostuksen vaatimalla arviointijärjestelmän avulla. Se tuo myös samalla tuottajille mahdollisuuden todistaa asiakkaille, että yritys täyttää tarvittavat laatustandardit. (European biochar certification, n.d.)

Koska biohiiliteknologian kehitys on tänä päivänä valtavaa, mikä kohdistuu useisiin maihin, haluaa EBC olla niin sanotussa etulinjassa. Heidän tavoitteena on olla kehittämässä ja varmistamassa biohiilen tuotanto- sekä laadunvalvontaa, mitkä perustuisivat hyvin tutkittuihin tietoihin. Eurooppalainen biohiilitodistus on perustettu palvelemaan, että jokainen biohiilen käyttäjä on vastuussa siitä, että hyvää ideaa ei vääristellä. (European biochar certification, n.d.)

Vielä eurooppalainen biohiilitodistus on Euroopassa vapaaehtoinen, mutta useat maat ovat soveltaneet säännöksensä EBC:hen. Sveitsi on ainut maa tällä hetkellä, jossa todistus on pakollinen kaikille myytävälle biohiilille. (European biochar certification, n.d.)

2.2 Ominaisuudet

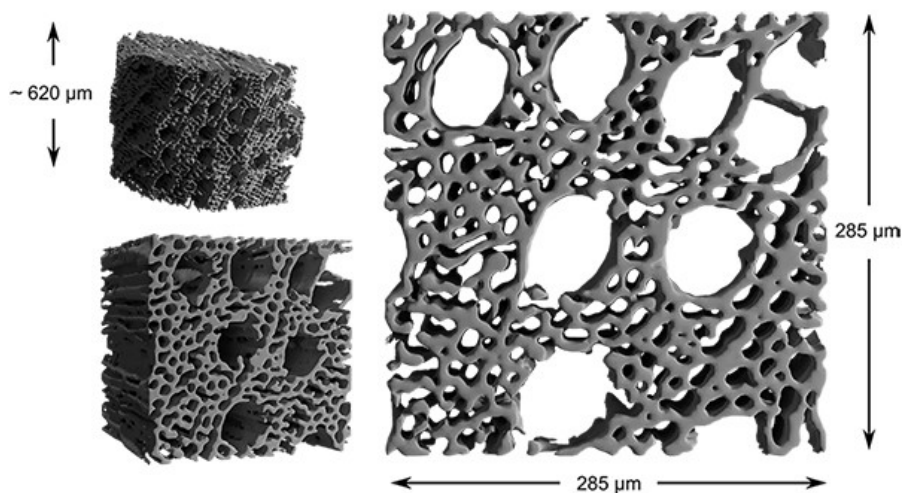
Biohiilellä on monia erilaisia ominaisuuksia, jotka perustuvat raaka-ainevalintojen, lisäaineiden ja erilaisten tuotanto-olosuhteiden valintojen perusteella. Biohiilen positiivisena puolena on, että sitä ei tarvitse käyttää pelkästään sellaisenaan, kun se on valmistettu, vaan sitä voidaan rikastaa tai esimerkiksi muodostaa aktiivihiihtä jatkokäsittelyllä biohiiltä. Rikastamisella ja jatkokäsittelyllä saadaan eri tarkoitukseen sopivaa biohiiltä. (Suomen biohiiliyhdistys, n.d.)

Biohiilen pääominaisuudet ovat kemiallinen aktiivisuus, sen pysyvä molekyyli rakenne ja huokoinen rakenne. Ominaisuudet toimivat yksin tai yhdessä antaen biohiilen erityisen suuren määrän eri käyttökohteita. Kemiallinen aktiivisuus johtuu siitä, että esimerkiksi metallit ja ravinteet liittyvät hiilikiteiden reunoille oleville vapaille sidospaikoille. Biohiilelle on myös ominaista, että sillä on kestävä molekyyli rakenne, joten sen hajoaminen ei ole helppoa. Sen rengasmaisen kiderakenne mahdollistaa säilyvyyden maaperässä tuhansia vuosia. (Nummela, 2017) Pitkä säilyminen maaperässä johtuu siitä, että se pystyy latautumaan veden ja siihen liuenneiden ravinteisen ansiosta uudelleen. Latautumisen jälkeen se luovuttaa vedet ja ravinteet uudestaan kasvien käyttöön. (Carbons, n.d.)

Biohiilellä on painoonsa nähden hyvin suuri pinta-ala, jonka takia juuri hiilikiteiden reunoilla on enemmän vapaita sidospaikkoja. Tämän lisäksi huokoisen rakenteen ansiosta, biohiili voi sitoa molekyyliä, kaasuja, nesteitä ja hiukkaisia mekaanisesti. Läpikulkeutuvien kanavien ansiosta biohiili taas parantaa suodatinominaisuuksia. (Nummela, 2017)

Kuvassa 2 (Kuva 2) nähtävän huokoisen rakenteen omaava biohiili pystyy sitomaan itseensä vettä ja ravinteita hyvin. Vettä se pystyy sitomaan omaan painoonsa nähden jopa viisinkertaisesti, jonka voi luovuttaa esimerkiksi kasveille kuivina aikoina. Myös ravinteet, ennen kaikkea typpeä, luovutetaan juuriston käyttöön. Biohiilellä on myös kalkitusvaikutus, mikä vähentää maan kalkitustarvetta ja saadaan samalla se toimimaan hiilinieluna ja hillitsemään ilmastonmuutosta. Jos Biohiiltä on 1 tuhannen kilon verran, niin se sisältää 3,7 tuhatta kiloa hiilidioksidia, täten se vähentää hiilidioksin määrää ilmakehästä. (Carbons, n.d.)

Kuva 2. Biohiilen huokoinen kiderakenne (Carbons, n.d.)



Biohiilellä on myös kyky sitoa itseensä erilaisia haitta-aineita, kaasumaisia yhdisteitä ja erilaisia hajuja. Esimerkiksi raskasmetallien ja torjunta-aineiden sitomiseen biohiilellä on jopa 10-1000 kertaa isompi sorptiokyky kuin muilla maa-aineksilla. Hajujen ja kosteuden sitomisen takia se sopii erinomaisesti vaikka kompostiin. Kaasuista typpioksiduuli, ammoniakki ja metaani ovat esimerkkejä, joita biohiili onnistuu sitomaan itseensä. (Carbons, n.d.)

2.3 Käyttömahdollisuudet

Biohiilen käyttömahdollisuudet ovat erittäin suuret, sillä sille on löydetty 55 eri käyttötarkoitusta. Nykypäivänä biohiilen käyttö on lisääntymässä ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi rakennuksissa eristysmateriaalina, jäteveden käsittelyyn tai jopa lisänä rehun tuotannossa. (Schmidt & Wilson, The 55 uses of biochar, 2014)

Biohiilen kalliin hinnan takia se on liian arvokas lisättäväksi suoraan maaperään. Tämän seurauksena biohiiltä pyritään käyttämään vähintään kerran johonkin muuhun erilaiseen, hyödylliseen tarkoitukseen. (Schmidt & Wilson, The 55 uses of biochar, 2014)

Biohiiliratkaisut ovat verrattuna Ruotsin malliin Suomessa vielä melko uusia. Esimerkiksi Tukholman kaupunki on rakentanut katupuiden, pensaiden ja nurmikkojen kasvualustat biohiilestä ja sepelistä, minkä avulla sidotaan hulevesiä. Samalla myös eteenpäin menevä vesi puhdistuu. (Kolemainen, 2018)

2.3.1 Biohiilen käyttö kotieläintaloudessa

Biohiilen tuotannosta 90 prosenttia Euroopassa menee tällä hetkellä kotieläintalouteen. Biohiilen käytön seuraukset kotieläintaloudessa huomaa paljon nopeammin kuin biohiiltä lisättäisiin pelloille maanparannustarkoituksena. Biohiilen käyttö ruokinnassa, lietteen käsittelyssä tai kuivikeessa vähentää hajun määrää nopeallakin aikataululla. Lisäravinteena taas biohiili vähentää elämillä esimerkiksi ripulin saamisen mahdollisuutta, rehun saanti kasvaa, allergiat vähenevät ja eläimien olemus rauhoittuu. (Schmidt & Wilson, The 55 uses of biochar, 2014)

Saksassa tutkijat ovat suorittaneet kokeen meijerissä, jossa on testattu biohiilen vaikutusta yleisissä terveysongelmissa lehmille. Tutkittavia terveysongelmia olivat ripuli, sylki, suorituskyky, hedelmällisyys, virtsarakon tulehdus ja liikehäiriöt. Tutkimus alkoi sillä, että tutkijat syöttivät lehmille erilaisia yhdisteitä, jotka olivat hiilen (200-400 grammaa/päivä), hapankaalimehun tai humushapon yhdistelmiä. Niitä syötettiin lehmille 4-6 viikon ajan suun kautta. (Schmidt & Wilson, The 55 uses of biochar, 2014)

Tutkimus osoitti, että yhdisteiden antaminen eläimille vaikutti clostridium botulinumin vasta-ainetasoihin. Vasta-ainetasojen vähentyminen osoittaa ruoansulatuskaavan hermomyrkkyaakaan pienenemistä. Lisäravinteiden syötön lopetuksen jälkeen tutkijat huomasivat, että vastaainetasot nousivat kohti entistä tasoa. Tämä tutkimus siis osoitti, että hiilen ja muiden aineiden yhdistelmät lisäravinteena parantavat lehmien terveyttä. (Schmidt & Wilson, The 55 uses of biochar, 2014)

2.3.2 Biohiilen käyttö maanparannuksessa ja veden suodattimena

Biohiiltä käytetään myös paljon maanparannuksessa ja kasvualustakäytössä. Suuri käyttö juuri tässä kategoriassa johtuu sen pysyvästä rakenteesta, joka auttaa sitä säilymään maaperässä pitkään. Biohiilen lisäämisestä maahan on parantava vaikutus kaikille maalajeille, ennen kaikkea jos sitä lisätään karkean maan pinnalle. Yleensä neliötä kohti lisätään noin 250 grammaa biohiiltä. Jotta biohiilen lisäämisestä saisi mahdollisimman hyvän vaikutuksen, sitä suositellaan sekoittamaan ensin kompostin kanssa, kun se laitetaan maahan. Biohiili imee itseensä ravinteita ja myöhemmin luovuttaa niitä maaperään kasvien käytettäväksi. (Hyötykasviyhdistys, n.d.)

Biohiilen erinomaisen veden ja ravinteiden pidätys muodostaa tasapainoisen kasvumahdollisuudet kasveille. Sen huokoinen rakenne antaa hyvän kiinnittymisalustan maaperän mikrobeille, jotka ovat tärkeitä kasvien kasvun kannalta. Biohiilen laittaminen maahan tekee siitä kuohkeampaa, parantaa hengittävyyttä ja auttaa kasveja menestymään. Biohiilen lisääminen kompostiin auttaa parantamaan kompostimassan hengittävyyttä, toimii mikrobeille kiinnitysalustana ja sitoo kompostoivista aineista vapautuvia ravinteita. Täten biohiilen lisääminen kompostimultaan tekee siitä erinomaista aineen maanparannukseen. (Lampila, 2019)

Biohiilestä ja sepelistä tehdyt kasvualustat toimivat erityisen tehokkaina suodattimina. Kasvualustat toimivat siten, että katoilta tai muista vettä läpäisettömiltä pinnoilta ohjataan kasvualustoille. Hule- ja valumisvesien sitomisen avulla biohiili antaa ne kasvien käyttöön, ja täten virtaavan veden määrä vähenee. Kasvualustoja voidaan käyttää aina nurmikosta, isoihin puihin lähtien. (Kolemainen, 2018)

Biohiilestä on myös keksitty ratkaisu suurta päänvaivaan aiheuttaneisiin harmaiden vesien, hulevesien ja valumavesien hoitoon. Biohiilen avulla on rakennettu helppohoitoinen suodatin, joka tarvitsee vain vähän huolenpitoa. Biohiiltä voidaan vielä hyödyntää suodattimen toiminnan jälkeen ripottelemalla se maanparannusaineeksi. (Kolemainen, 2018)

Yksinkertaisimmat suodattimet voidaan rakentaa ojaan, jolloin sen pohjalle ja reunoille laitetaan suodatinkangas. Sen jälkeen oja voidaan täyttää puuhakkeella, biohiilellä ja hiekalla tai sepelillä. Kyseinen esimerkki sopii vaikkapa kesämökkien harmaiden vesien puhdistamiseen. Suuremmissa alueissa ojasuodatin ei riitä, jonka takia täytyy käyttää biosuodatinta. Biosuodattimet ovat kapeita ja pitkiä kaivantoja, jotka eristetään muovilla. Kaivannon mitat ovat leveydeltään muutaman metrin ja pituudeltaan 20-40 metriä. Biohiiltä, puuhaketta ja sepeliä tai soraa sisältävään suodattimeen ohjataan alueen hule- tai valumavedet. (Kolemainen, 2018)

2.3.3 Biohiilen käyttö rakennusalalla

Kuten kappaleessa 2.2 on kerrottu, että biohiilen kaksi merkittävää ominaisuutta on, että se pystyy imemään itsesään 6 kertaa vettä painoonsa nähden ja sillä erittäin vähäinen lämmönjohtavuus. Näiden ominaisuuksien avulla biohiili on erittäin hyvä materiaali rakennusten eristämiseen ja kosteuden säätelyyn. Biohiiltä voidaan myös lisätä laastiin, minkä avulla laastista saadaan vähennettyä hiekan käytön merkitystä kalkki- ja sementtilaasteista. Biohiilen erinomaisten ominaisuuksien ansiosta saadaan täten parannettua sisäpintojen eristys- ja hengitysominaisuuksia. Sisäpintojen ansiosta huoneen kosteustaso tulee pysymään 45-70 prosentissa kesällä että talvella. Kosteusprosentin ansiosta kuiva ilma katoaa, mikä voi aiheuttaa erilaisia hengitysvaikeuksia ja allergioita. Myös

mahdollisen homeen syntyminen sisäpinnoilla vähenee, koska kosteuden ja ilman tiivistymisen riski vähenee. (Schmidt & Wilson, The 55 uses of biochar, 2014)

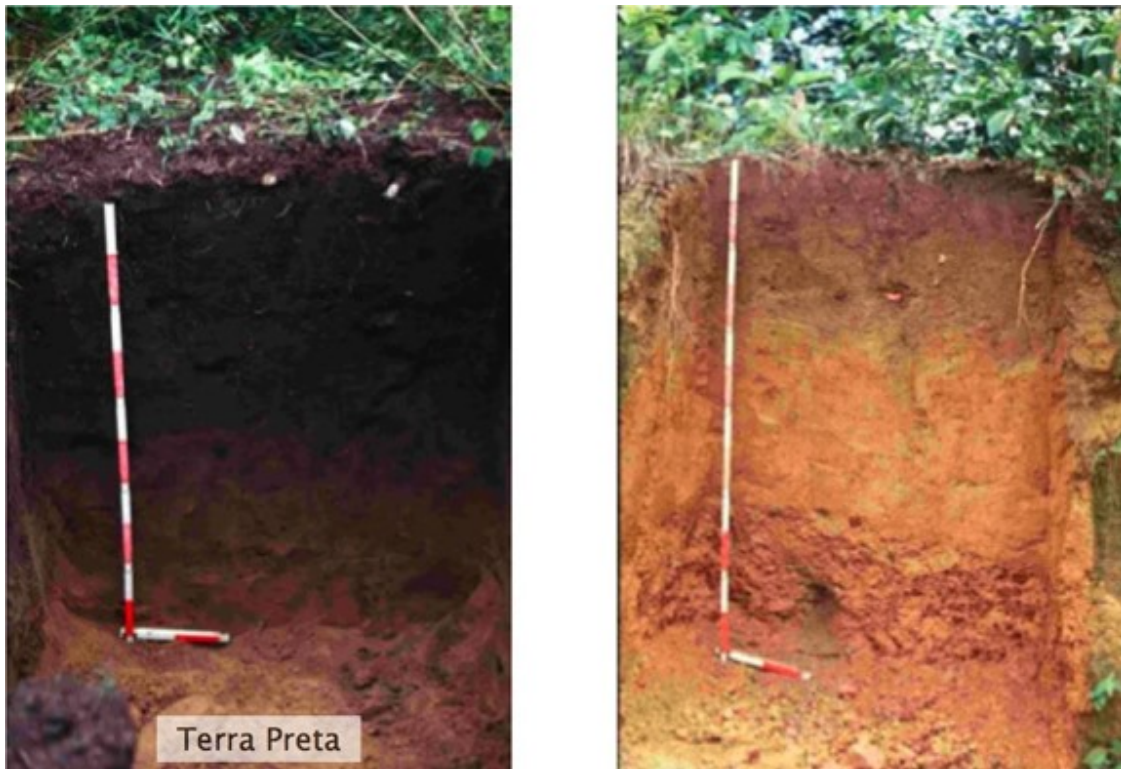
Biohiiltä voidaan myös suihkuttaa talon ulkoseinille sekoittamalla se kalkkiin. Mikäli biohiilen ja kalkin yhdistelmäainetta suihkutetaan noin 20 senttimetrin paksuinen kerros, niin sillä saadaan kokonaan korvattua styroksieristeen kokonaan. Taloista syntyy hielunieluja ja kaiken päälle saataisiin puhtaamaan sisäilmaa. Talossa käytetty biohiili voidaan kierrättää vaikka kompostissa, jos talo purettaisiin myöhemmin. (Schmidt & Wilson, The 55 uses of biochar, 2014)

2.4 Biohiilen historia

Vaikka kehitys ja uusien tutkimusten lisääntyminen biohiiltä kohtaan on ollut kovassa nosteessa viimeisen 10 vuoden ajan, täytyy muistaa, että biohiilen käyttö on vanha perinne. Biohiiltä on käytetty vuosisatojen ajan lääkkeenä, ravintolisänä, maanparannuksena ja kuivikkeena. (Salo, 2019)

Terra Preta nimi juontaa juurensa portugalin kielestä ”musta maa”. Nimellä viitataan Amazonin alueella sijaitsevaan tummaan ja hedelmälliseen maaperä alueeseen. (Allotments & Gardens, 2019) Etelä- ja Väli-Amerikan intiaanit käyttivät jo biohiiltä viidakon ravinnepöyhän maaperän parantamiseen. Terra Preta -maata on löydettävissä edelleen intiaanien entisiltä asuinpaikoilta. (Suomen biohiiliyhdistys, n.d.) Terra Preta ei ole suinkaan ainut alue ADE:n (Amazonian dark earths) alueella. Sen lisäksi on myös esimerkiksi Terra Mutala, mutta tutkimukset ovat keskittyneet pääasiassa Terra Pretan alueelle, koska siellä musta maa (Kuva 3) eroaa normaalista ympäristöstään parhaiten. (Riikonen, 2019)

Kuva 3. Terra Preta -maa Amazonin alueella. (Biochar, n.d.)



Terra Pretan alueen asukkaat ovat aina tiedneet, että maaperä on erityisen hedelmällinen, mutta maailmanlaajuisesti alue oli tuntematon. Käänte tapahtui kun tiedemies Wim Sombroek alkoi tutkimaan aluetta tarkasti. Hänen intohimonsa seurauksena tieto biohiilestä alkoi vähitellen leviämään ympäri maailmaa. (Biochar.info, n.d.) Terra Preta- maaperän löytyminen Amazonista on yksi harvoista vanhoista tekniikoista, joka voisi olla ratkaisu suurten ongelmien ratkaisuksi nykyaikana (Schmidt, 2014).

3 Biohiilen tuotanto pyrolyysin avulla

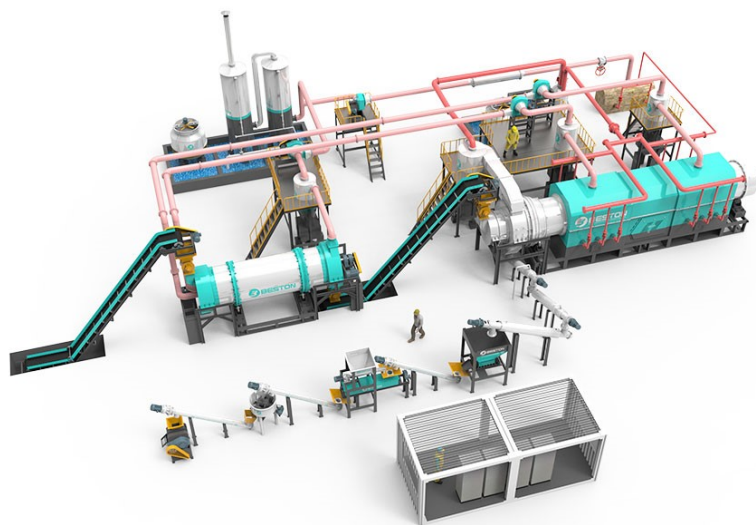
Biohiiltä tuotetaan melko yksinkertaisen pyrolyysimentelmän avulla, joka tunnetaan myös nimellä kuivatuslaus. Prosessissa kuumennetaan orgaanisia raaka-aineita vähähappisissa ja tarpeeksi kuumissa olosuhteissa. Eri menetelmistä riippuen, pyrolyysiprosessi tuotetaan yleensä noin 300-800 °C:n välillä. Mikäli pyrolyysiprosessissa ylitetään lämpötilan raja-arvot, niin kaasuuntuminen alkaa lisääntymään ja siten menetetään biohiilen raaka-ainetta. Myös hiili ja tuhka alkavat muodostamaan yhdisteitä, jotka ovat epätoivottuja. (Nummela, 2017)

Pyrolyysiprosessissa pyritään aina säilyttämään biohiilen alkuperäiset hiilipitoiset aineet. Esimerkiksi puun sisältämät nesteet, kevyemmät hiiliyhdisteet ja ligniinit kaasuuntuvat, kun siitä tehdään biohiiltä pyrolyysiprosessin avulla. Lopputulokseen jää enää jäljelle vain selluloosan sisältämä hiili alkuperäisen raaka-aineiden rakenteiden paikalle. (Nummela, 2017)

Biohiiltä valmistetaan joko jatkuvatoimisena tai panostyyppisenä prosessina. Jatkuvatoimiset laitteet ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan vaativia ja hinnaltaan kalliita. Panostyyppiset prosessit ovat taas edullisia ja helppoja käyttää. (Nummela, 2017)

Kuvassa 4 (Kuva 4) nähdään esimerkki biohiilen tuotantolaitoksesta, jossa käytetään jatkuvatoimista prosessia tuotannon valmistukseen. Jatkuvatoimiset prosessit eroavat panostyyppisistä prosesseista siten, että niissä pyritään saamaan suuria tuotantokapasiteetteja ja taloudellesti kannattavaa yritystoimintaa. Laitteet ovat myös hyvin kehittyneitä ja toimivat automaattisesti, mikä auttaa raaka-aineen täydellisessä hyödyntämisessä, joka antaa mahdollisuuden taloudelliselle toiminnalle. Prosessissa muodostuu biohiilen lisäksi pyrolyysisivutuotteita, jotka ovat kaasu, tisle sekä öljy. (Nummela, 2017)

Kuva 4 Esimerkkikuva jatkuvatoimisesta biohiililaitoksesta. (Beston, n.d.)



Kuvassa 5 (Kuva 5) nähdään yksinkertainen esimerkki panostyyppisestä prosessissa, jotka sopivat erinomaisesti kertaluontoiseen käyttöön. Vaikka panostyyppisissä laitteissa ei ole käytössä paljon laiteteknologiaa, voidaan sillä valmistaa hyvälaatuista biohiiltä erilaisiin tarpeisiin. Laitteiden hinta ei myöskään ole korkea, mutta se ei myöskään toimi automaattisesti, joten ihmisen täytyy hoitaa prosessia sen olemassaolon aikana. (Nummela, 2017)

Kuva 5. Esimerkkikuva hiiliuunista, jossa tuotetaan biohiiltä. (Rummukainen, 2017)



Avoimissa astioissa tuli on astian pohjalla ja sitä pidetään yllä lisäämällä biomassaa oikeaan aikaan. Biomassaa tulisi lisätä siten, että tuli ei pääsisi missään vaiheessa hiillokselle mutta ei saisi myöskään tukahduttaa prosessia, mikä tekee palamisesta lähes savutonta. Avoimissa astioissa muoto on erityisen tärkeä, jotta siinä syntyy virtaus. Virtauksen avulla syntyvät savukaasut ohjautuvat takaisin liekkiin ja palaessaan kaasut kuumentavat ja hiilettävät ei-kaasuuuntuvat aineet biohiileksi. Toimivan prosessin huonona puolena on, että lämpöenergiaa karkaa eikä siinä saada muodotettua pyrolyysisivutuotteita niin kuin jatkuvatoimisessa prosessissa. (Nummela, 2017)

3.1 Sivutuotteet

Biohiiltä valmistamassa pyrolyysiprosessissa syntyy sivutuotteita, jotka ovat palamiskelpoisia pyrolyysikaasuja, tisleitä ja bioöljyä (Elo, ym., 2021). Prosesissa käytettävillä

olosuhdevalinnoilla voidaan vaikuttaa eri sivutuotteiden määrään. Kondensoitumattomat kaasut, joita ovat vety, hiilidioksidi, hiilimonoksidi eli häkä ja metaani. Näitä kaasuja käytetään esimerkiksi pyrolyysiprosessin ylläpitämiseen, tuotteiden kuivaamiseen tai muuhun erilaisiin energiankäyttöön. (Siipola, ym., 2021) Lisäämällä pyrolyysilaitteistoon jäähdytysjärjestelmä, saadaan kondensoituvat nesteet eroteultua ei kondensoituvista kaasuista, jolloin syntyy bioöljyä ja tisleitä (Suopajärvi, 2013).

Bioöljyä voidaan hyödyntää esimerkiksi liikenteessä, energiantuotannossa sekä eri teollisuudenaloilla. Bioöljyllä pyritään myös vähentämään hiilidioksidipäästöjä, joka onnistuu korvaamalla fossiilisten öljyjen käytön biopohjaisella öljyllä. Biohiilen sivutuotteena syntyvien pyrolyysikaasuja pyritään hyödyntämään paikallisesti tuotantopisteellä, koska niiden varastointi ja kuljetus on hyötyyn nähden kallista. Tuotannossa syntyvälle tisleelle ei ole löydetty hirveästi erilaisia käyttökohteita, mutta niitä pyritään tutkimaan, jotta uusia käyttökohteita löytyisi. Tisleitä käytetään kuitenkin jo nyt esimerkiksi katteiden käsittelyyn, mikäli ne ovat biohajovia. (Saario, 2019)

3.2 Nopea pyrolyysi

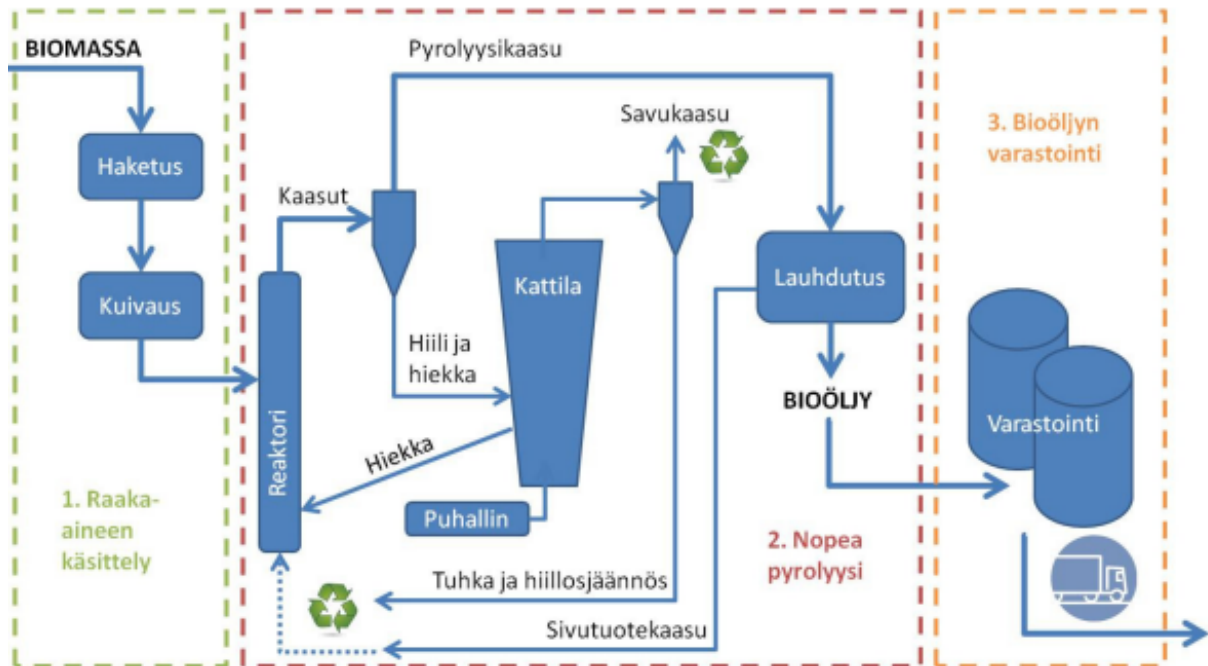
Nopea pyrolyysi on prosessi, jossa hiiliperäinen biomassa kuumennetaan nopeasti korkeaan lämpötilaan hapettomissa olosuhteissa. Nopean kuumennuksen seurauksena biomassa pääosin kaasuuntuu, joka lauhdetaan bioöljyksi. (Starck, 2014) Nopea pyrolyysi on hyvä valinta, jos ensisijainen tavoite on valmistaa bioöljyä. Prosessissa biomassa kuumenee todella nopeasti, saavuttaen pyrolyysilämpötilan huipun ennen kuin biomassa hajoaa. (Basu, 2010, s. 73) Nopeassa pyrolyysissä syntyneet saannot ovat tyypillisesti 50-70% bioöljyä, 10-30% biohiiltä ja 15-20% ei kondensoituvia kaasuja (Laird , ym., 2010, s. 548).

Nopeassa pyrolyysissä täytyy huomioida neljä tärkeää ominaisuutta, mikäli haluaa maksimoida biöljyn saatavuuden. Ominaisuudet ovat: nopea kuumennusnopeus, prosessin lämpötila 425-600 °C välillä, kaasun saaminen alle kolmessa sekunnissa pois reaktorista sekä kaasun nopea lauhdutus lauhduttimella. (Basu, 2010, s. 72)

Kuvassa 6 (Kuva 6) on esitelty RTP (Rapid Thermal Processing) tekniikkaa, joka perustuu nopeasti toimivaan leijukerrosprosessiin. Prosessin lämmönsiirtoaineena käytetään

hiekkaa. Bioöljyn valmistus RTP- teknologialla koostuu kuvassakin esiintyvistä kolmesta eri vaiheesta, jotka ovat raaka-aineen käsittely, nopea pyrolyysi sekä bioöljyn varastointi. (Green Fuel Nordic, 2012, s. 8)

Kuva 6. Prosessikuvaus biomassasta valmiiksi bioöljyksi nopeassa pyrolyysissa. (Green Fuel Nordic, 2012, s. 8)



Ensimmäinen vaihe koostuu käytännössä siitä, että biomassaa vain esikäsitellään ja kuivataan sopivaksi prosessin vaatimuksiin. Toisessa vaiheessa reaktorin pohjan kautta syötetään hiekkaa, joka on kuumaa. Kun biomassaa joutuu kosketuksiin kuuman hiekan kanssa, siitä muodostuu kaasuja, jotka johdetaan sykloniin. Syklonissa aineet jakaantuvat pyrolyysikaasut jatkavat matkaa lauhdutukseen, kun taas hiekka ja hiilijäännökset erotetaan mekaanisesti. Hiekka palaa takaisin kattilaan mutta hiilijäännökset ja sivutuote kaasut poltetaan ja pidetään prosessin lämpötilaa yllä. RTP teknologiassa perustavassa teknologiassa sivutuotekaasujen lämpötila on noin 100 °C, mitä käytetään myös biomassan kuivaamiseen sekä ylläpidetään reaktorin turbulenttinen virtaus yllä. (Green Fuel Nordic, 2012, s. 8)

Kuvassa toisessa vaiheessa esiintyvän kattilan tehtävänä on lämmittää kiertopetiaineena toimiva hiekka. Syklonissa erotetun hiilijäännöstä polttamalla saadaan pidettyä kattilan lämpötila yllä. Hiilijäännöksen poltossa syntyy savukaasua, joka on noin 700 °C, johdetaan toiseen sykloniin. Toisen syklonin kautta kuuma savukaasu siirtyy rumpukuivaimeen, jossa

sen lämpöenergian avulla saadaan kuivattua prosessiin tarvittavaa biomassaa. (Green Fuel Nordic, 2012, s. 8)

3.3 Hidas pyrolyysi

Hidas pyrolyysi on prosessi, jossa biomassaa lämmitetään vähitellen 400-600°C hapettomissa olosuhteissa. Hitaassa pyrolyysissa muodostuu kaikki kolme eri pyrolyysituotetta, jotka ovat biohiili, biokaasut ja bioöljy, mutta parhaiten se sopii biohiilen valmistukseen. Hitaassa pyrolyysissa biomassaa viipyy hapettomassa tilassa muutamien minuuttien ajan. Kyseinen prosessi on vanhin pyrolyysimuoto, jota on käytetty jo tuhansien vuosien ajan. (Basu, 2010, s. 72)

Hitaan pyrolyysin tuloksena syntyy noin 35% biohiiltä, 30% bioöljyä ja 35% kaasuja (Laird, ym., 2010, s. 548). Hitaassa pyrolyysissa syntyneitä biohiilillä on yleensä korkeampi kationinvaihtokapasiteetti ja niissä on vielä jäljellä enemmän ravinteita kuin nopealla pyrolyysilla tuotetuilla biohiilillä. Tämä johtuu siitä, että kuumennus lämpötila on pienempi ja se nousee prosesseissa hitaasti. (Riikonen, 2019)

3.4 Esimerkkejä Suomessa

Suomessa sijaitsee biohiiltä tuottava Carbofexin tehdas, joka toimii samalla lämpövoimalaitoksena. Biohiilen valmistusmenetelmänä käytetään pyrolyysimenetelmää. Tehtaan kattilassa hiilletään haketta, joka on tehty ensiharvennuspuusta. Hiilletys tapahtuu 600 asteen lämpötilassa sekä hapettomissa olosuhteissa. Pyrolyysimenetelmästä vapautuu bioöljyä ja kaasuja, joita tehtaassa hyödynnetään polttoaineena sekä kaukolämmön tuotannossa. (Tehomaa, 2019)

Kuvassa 7 (Kuva 7) näkyvä biohiilitehtaassa valmistuu 700-1000 tonnia biohiiltä vuodessa. Sen lisäksi tehtaasta siirtyy Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöverkkoon lämpöenergiaa 300 omakotitalon tarpeen verran. (Tehomaa, 2019)

Kuva 7. Carbofexin biohiilitehdas. (Tehomaa, 2019)



Luonnonvarakeskuksen (Luke) tekemässä tutkimuksessa ”Jätevesilietteen pyrolyysilaboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeita” tutkittiin pyrolyysiprosessiin laitettavien raaka-aineiden käyttäymistä, jotka ovat jätevesipohjaisia. Kokeessa arvioitiin myös lopputuotteiden mahdollisuutta soveltua lannoitevalmisteeksi. Tutkimuksessa käytettiin 2 eri pyrolyysilaitteistoa (Kuva 8) ja (Kuva 9), joista ensimmäinen valmistettiin juuri kyseiseen tutkimukseen ja jälkimmäinen on Raussi Oy:n valmistama pyrolyysilaitteisto. (Rasa , ym., 2015)

Kuva 8. Laboratoriomittakaavan pyrolyysilaitteisto. (Rasa , ym., 2015)



Kuvassa 8 (Kuva 8) on esitetty Luonnonvarakeskuksen tekemässä pyrolyssi-prosessissa käytetty pyrolyysilaitteisto, joka on tehty tarkoituksella laboratoria mittakaavan kokoiseksi. Laitteisto koostuu ilmatiiviistä pyrolyysiuunista, varoventtiilistä ja kaasuejen ulostulevasta putkesta. Laite on panostyyppinen ja siihen voidaan laittaa kerralla useita satoja grammoja pyrolyysimateriaalia riippuen sen tilavuuspainosta. Lämmötuottajana käytettiin lämpötilaohjelmoitavaa laboratoriuunia. (Rasa , ym., 2015)

Myöhemmin laitteistoa on kehitetty niin, että ulostulevat kaasut voidaan muuttaa nesteiksi lauhdutusjärjestelmän avulla. Tämän lisäksi laitteeseen kehitettiin kaasujen talteenotto, jotta niitä voidaan hyödyntää jatkossa. Lämpötila-anturi avulla saatiin sisätilan lämpötiloista mittaustuloksia. (Rasa , ym., 2015)

Kuva 9. Kuljetettava pyrolyysilaitteisto. (Rasa , ym., 2015)



Kuvassa 9 (Kuva 9) nähdään Raussi Oy:n valmistama pyrolyysilaitteisto, jota kutsutaan mobiiliretortiksi. Kokeessa käytettävässä panostyyppisessä pyrolyysilaitteisto on rakennettu renkaiden päälle, joten sitä voidaan liikuttaa tarpeen mukaan eri paikoille ongelmitta. (Rasa , ym., 2015)

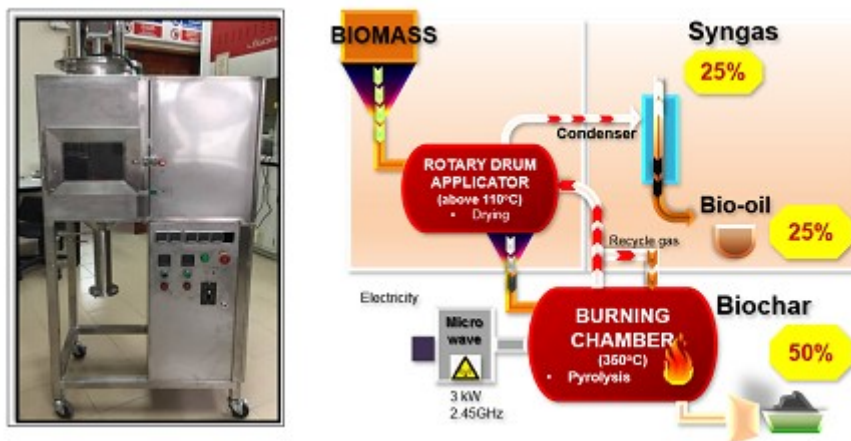
Pyrolysoitava materiaali sijoitetaan sisätiloissa olevan ilmatiiviin uunin sisään, jota lämmitetään polttopuiden avulla. Lämpötilaa voidaan seurata 4 eri kohdasta. Sisätilaan on asennettu varoventtiilillä ja kaasujen ulostuloputkella, josta tulevat kaasut johdetaan putkea pitkin vesitäytteisen lauhdutinjärjestelmän läpi, minkä avulla saadaan kerättyä kondensoituvat nesteet talteen. Pyrolyysiprosessissa syntyneet kaasut johdetaan palotilaan prosessin ylläpitämiseksi tai poltetaan erillisisissä astioissa mikäli prosessin ylläpitämiseen ei

enää tarvita energiaa. Kun laitteisto on jäähtynyt tarpeeksi, voidaan kerätä biohiilet uunista ja ottaa nesteet talteen sisätiloista. (Rasa , ym., 2015)

3.5 Esimerkkejä ulkomailla

Maaliskuussa 2017 UPM:ssä (Universiti Putra Malaysia) kemiantekniikan ja ympäristön laitoksen tekniikan tiedekunnan tutkijaryhmä on kehittänyt mikroaaltouunijärjestelmällä toimivan kestävän vihreän teknologian ratkaisun. Mikroaaltouunijärjestelmän avulla toimivalla teknologialla muutetaan maatalouden biomassat biohiileksi. Verrattessa perinteisiin biohiili koneisiin BMC -innovaatiossa (Biomass Microwave Carbonizer) (Kuva 10) on innovatiivinen ja puhdas teknologia. Mikroaaltoavusteisen pyrolyysin avulla saadaan 50 prosenttia nopeampaa palamista sekä 63 prosenttia nopeampaa energiankulutusta. Laite vähentää myös 70 prosenttia vähemmän hiilidioksidipäästöjä. (Halamy, 2017)

Kuva 10. Malesian Yliopisto Putrassa kehitetty mikroaaltoavusteinen pyrolyysilaitte ja sen prosessikaavio. (Awang, 2017)



Kuvassa 10 (Kuva 10) näkyvällä teknologialla eri teollisuudenaloilla olevat yritykset voivat hyödyntää meneillään olevassa pyrkimyksissä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä sekä vähentää riippuvuutta ei uusiutuvista raaka-aine lähteistä. Professori Dr. Anzi Idris johti tutkimusta ja korosti, että BMC- teknologian avulla tuotanto voidaan kaksinkertaistaa oikealla tuotteilla ja valmistusprosessista saadaan paljon puhtaampaa verrattuna perinteiseen biohiilen tuotantoon, joka oli aika vievää sekä siitä syntyi suuria savupäästöjä. (Halamy, 2017)

Toisessa esimerkissä käsitellään Bioenergy Earth Systemin rakentamaa uutta CCP- laitoksen (CharMaker Continuous Pyrolysis Plant) jatkuvatoimista pyrolyysilaitte (Kuva 11), joka on pääasiassa suunniteltu pienikokoisten biomassojen muuttamiseksi korkealaatuisiksi biohiiliksi ja nestemäisiksi tuotteiksi. (Bioenergy Earth System, n.d.)

Kuva 11. Jatkuvatoiminen pyrolyysilaitte. (Bioenergy Earth System, n.d.)



Kuvassa 11 (Kuva 11) nähdään CCP-pyrolyysijärjestelmä, joka toimii jatkuvasti, eli on jatkuvatoiminen, kun syöttöainetta on saatavilla. Laitteessa käytettävä tekniikka on tehokas, sillä se käyttää raaka-aineesta saatavaa energiaa pyrolyysiprosessin ohjaamiseen. Tämän tekniikan avulla saadaan pidettyä ulkoiset energiankulutukset sekä koneen hiilijalanjäljen pienenä. (Bioenergy Earth System, n.d.)

CPP-laitte koostuu kolmesta pääosasta, jotka ovat pyrolyysikammio, lämpöhapettimen päästökammio sekä ohjauspaneelista. Näiden ympärille on kuitenkin rakennettu erilaisia lisäpolttimia, ohjaimia sekä turvajärjestelmiä, jotta pyrolyysiprosessi etenisi mahdollisimman hyvin itsenäisesti. Toimivuuden lisäksi lisäosilla pyritään pitämään ympäristöpäästöt mahdollisimman vähäisinä ja minimoida ulkoisen lähteen energiansyöttöä toimintaan.

Laitteen pyrolyysikammiossa maksimilämpötila on 1050°C ja termisen hapettimen 1100°C. Lämpöhapetinjärjestelmän ansiosta voidaan laitteessa käyttää biomassana monia erilaisia jätteitä, joista muuten syntyisi korkeita kustannuksia, esimerkiksi saastuneita biomassalähteitä. Laite muuttaa noin 25% biomassasta kuivaksi biohiileksi ja CPP-laitetta voidaan myös käyttää tarpeen mukaan jos halutaan ottaa lämpöenergiaa tai bionesteitä talteen. (Bioenergy Earth System, n.d.)

4 Pyrolyysilaitteisto

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan kaksi erilaista vaihtoehtoista pyrolyysilaitteiston syöttöjärjestelmää, joissa käytetään lämmönlähteenä hakekattilaa. Pyrolyysilaitteistojen yhteydessä olevilla hakekattiloilla tarkoitetaan yhdenlaista lämmitysjärjestelmää, joka käyttää raaka-aineena esimerkiksi puupellettejä tai haketta. Pellettejä tai haketta polttamalla saadaan lämpöä, joka otetaan talteen.

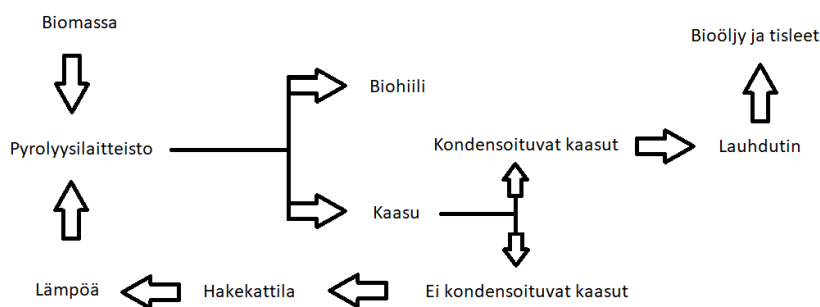
Kuvassa 12 (Kuva 12) näkyvä stokerikattila on käytössä Fiksuhiili-projektissa. Hankkeen keskeisenä tavoiteena on suunnitella ja muokata juuri kyseisestä kattilasta jatkuvatoiminen hybridi-biohiili lämmityskattila. (Hämeen ammattikorkeakoulu, 2022) Ala-Talkkarin Veto 80 kW-stokerikattila on pääsääntöisesti maatilojen ja kiinteistöjen tarpeisiin. Kattilan suunnittelussa on parannettu ulkonäköä sekä luukut ja mittarit ovat entistä käyttäjäystävällisempiä edellisiin malleihin verrattuna. Käisyys on vapaasti valittavissa käyttäjän tarpeiden mukaan. Vakiovarusteena kattilassa on tehokas käyttöveden tuotto ja erilaisia lisävarusteita voi valita asiakkaan tarpeiden mukaan. (Ala-Talkkari, n.d.)

Kuva 12. Lämmityskattila, Veto 80 kW- stokerikattila. (Ala-Talkkari, n.d.)



Kuvassa 13 (Kuva 13) on prosessikaavio, jossa tuodaan esille koko pyrolyysilaitteiston hyödyntäminen hakekattilan lämmöntuotannossa. Vaikka opinnäytetyössä keskitytäänkin pelkästään pyrolyysilaitteiston syöttöjärjestelmien suunnitteluun, on tärkeää ymmärtää koko prosessin kiertokulku, jotta ymmärtää millainen pyrolyysilaitteiston täytyy olla.

Kuva 13. Pyrolyysilaitteen hyödyntäminen hakekattilan lämmöntuottajana prosessikaavio.



Pyrolyysireaktion toteutumista varten pyrolyysilaitteistossa täytyy olla hapeton tila. Tämän seurauksena laitteiston suunnittelussa pitää huomioida muutamia erilaisia asioita, jotta

happi pysyy pois laitteistosta. Biomassan syötössä käytetään kappaleessa 4.1.2 käsiteltyä sulkusyötintä, joka kuljettaa massan pyrolyysilaitteeseen ilman hapen pääsyä laitteeseen. Myös laitteesta ulos menevien kaasujen putkessa täytyy olla sulkuventtiili. Kaasut voidaan ohjata eteenpäin avaamalla sulkuventtiili vasta kun biomassa on muuttunut biohiileksi. Muuten venttiilin on oltava kiinni koko ajan pitäen hapen pois laitteistosta.

Pyrolyysiprosessi vaatii käynnistyäkseen tarvittavan lämpötilan. Lämmön tarpeen takia on hakekattilassa poltettava haketta tai pellettejä normaalisti niin kauan, että vaadittava lämpötila saadaan aikaan. Kun lämpötila on tarpeeksi korkea, alkaa hakekattilan yhteyteen rakennetun pyrolyysilaitteiston sisällä lämpö myös nousemaan, jolloin varsinainen pääprosessi eli pyrolyysireaktio alkaa.

Pyrolyysi alkaa, kun pyrolyysilaitteiston sisällä oleva biomassa alkaa muuttamaan muotoaan lämmöstä johtuen, joko nopealla tai hitaalla pyrolyysillä. Biomassa muuttuu biohiileksi ja kahdeksi erilaiseksi kaasuksi, kondensoituviksi ja ei kondensoituviksi kaasuksi. Muodostunut biohiili on valmis tuote ja se voidaan kerätä talteen. Molemmat kaasut otetaan hyötykäyttöön putkea pitkin, jossa on sulkuventtiili, jolla estetään hapen pääsy pyrolyysilaitteistoon. Kondensoituvat kaasut ohjataan lauhduttimelle, jossa ne muuttuvat bioöljyksi ja tisleiksi. Ei kondensoituvat kaasut taas ohjataan hakekattilan polttojärjestelmään, jossa ne poltetaan. Kaasujen poltosta syntyy lämpöä, joka ohjataan taas pyrolyysilaitteistoon. Tämän kiertokulun avulla saadaan jatkuvatoiminen pyrolyysilaitteisto, joka tekee itse itselleen energiaa. Hakekattilan valinnassa täytyy ottaa huomioon, että ei kondensoituvien kaasujen poltto on mahdollista. Sen lisäksi täytyy huomioida, että kattilan muokattavuus olisi mahdollisimman hyvä, jotta kattilaan voi tehdä pyrolyysilaitteen tarpeisiin perustuvia reikiä.

Autoissa käytettävissä lauhduttimissa johdetaan korkeapaineinen kuuma kaasu kompressorilta lauhdutinkennolle. Kaasu alkaa jäähtymään lauhduttimessa lamellien läpi virtaavan ilman vaikutuksesta. Lämmin ilma siirtyy aina kylmää ilmaa kohti. Tämän seurauksena kylmä virtaava ilma menee kuuman kennon läpi sitoen samalla itseensä lämpöä lauhduttimien kennoista. Kylmän ilman sitoessa itseensä lämpöä, alkavat samaan aikaan kennon sisällä virtaavat kylmäaineet jäähtymään. Kaasu alkaa jäähtyessään muuttamaan muotoaan nesteeksi pitäen paineet kuitenkin edelleen korkeana. (Sirniö, n.d.)

Opinnäytetyössä esiintyvissä pyrolyysilaitteistoissa voidaan käyttää samalla periaatteella toimivaa lauhdutinta. Lauhduttimella muutetaan vain kuumat kondensoituvat kaasut bioöljyksi sekä biotisleiksi.

4.1 Pyrolyysilaitteissaa käytettäviä komponentteja

Pyrolyysilaitteissa käytettävät komponentit ovat laitteita, jotka mahdollistavat pyrolyysiprosessin, siihen kohdistuvilla rajoituksilla. Tässä kappaleessa tuodaan esille laitteita, joita tarvitaan kappaleiden 4.2 ja 4.3 pyrolyysilaitteistojen syöttöjärjestelmien kehittämisessä ja mitkä edesauttaa ja mahdollistaa niiden toteutumisen.

4.1.1 Syöttöruuvi

Syöttöruuvilla tarkoitetaan kiintoainemassan käsittelyprosessia, missä ruuvi pyörii suppilon sisällä kuljettaen materiaalit eteenpäin ja lopulta ulos syöttöruuvista siirtäen materiaalin seuraavan prosessiin (Kuva 14). Syötettävänä materiaaleina voidaan käyttää esimerkiksi pellettejä, jauheita tai erilaisia liimoja. (Schenck process, n.d.)

Yleensä syöttöruuvit valmistetaan seosteräksestä, työkaluteräksestä, ruostumattomasta teräksestä tai jopa muovista. Syöttöruuvia valittaessa täytyy huomioida siinä kuljetettavien tuotteiden ominaisuuksia sekä muita teknisiä tietoja. Tärkeimpiä parametrejä ovat esimerkiksi: ruuvin halkaisija, syöttöruuvin kanavan leveys, ruuvin nopeus ja sen puhdistaminen. Hankaava kuluminen ja syövyttävät tuotteet ovat myös hyvä huomioida valitessa syöttöruuvia. (Globalspec, n.d.)

Kuva 14. Esimerkkikuva pienestä syöttöruuvista. (Bosch, n.d.)



4.1.2 Sulkusyötin ja hydraulisyylinteri

Sulkusyötinillä tarkoitetaan pyrolyysilaitteistossa käytettävää laitetta, joka saa käyttövoimansa joko poltto- tai sähkömoottorilla. Moottorin tuottaman voiman avulla pyöritetään laitteen sisällä olevaa laippaa, jossa on kiinteälle aineille sopivia hahloja, jotka täyttyvät kuljettaen esimerkiksi hakkeet tai puupelletit ilmatiiviisti haluttuun paikkaan. Sulkusyötin sopii erinomaisesti kappaleessa 4.2 ja 4.3 esiintyvien pyrolyysilaitteiden tarpeeseen, sillä pyrolyysireaktiota varten tarvitsee olla hapeton tila.

Hydraulisyylinterin toiminta perustuu siihen, että se muuttaa hydraulisen tehon suoraviivaiseksi, mekaaniseksi tai edestakaiseksi liikkeeksi eli lineaariliikkeeksi. Sylinterin teho saadaan muodostettua männänvarresta tai sylinteriputkesta, johon vaikuttaa sylinterin rakenne sekä kiinnitystapa. (Kauranne, ym., 2013)

Sylinterit jaetaan toimintaperusteensa mukaan kahteen eri ryhmään: yksitoimisiin sylintereihin sekä kaksitoimisiin sylintereihin. Yksitoimisissa sylinterissä toiminta perustuu työn tapahtumiseen vain toiseen suuntaan, jossa hydraulikkaa käytetään. Työliikkeen jälkeen tapahtuva paluuliike toteutetaan ulkoisen voiman avulla. Ulkoinen voima voidaan saada aikaan sylinterin oman painon avulla, sylinteriä kuormittavasta vomasta tai sylinterin

sisällä olevasta palautusjouesta. Kaksitoimiset sylintereiden työliike tapahtuu molempiin suuntiin, joka saadaan aikaan käyttämällä sylintereitä hydraulisesti kahteen suuntaan. (Kauranne, ym., 2013)

4.1.3 Kaupalliset osat

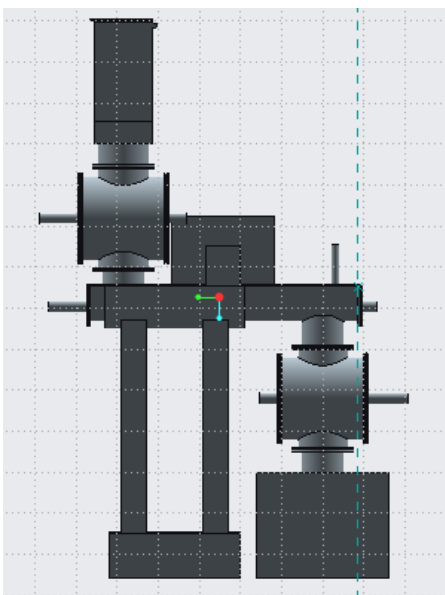
Tässä opinnäytetyössä suunnitteluista pyrolyysilaitteiston syöttöjärjestelmissä käytetään kaupallisia osia, jotka mahdollistavat laitteen rakentamisen. Syöttöjärjestelmissä käytetyt kaupalliset osat ovat sellaisia, joita ei olisi järkevä valmistaa itse.

Liitteessä 1 löytyy kappaleen 4.2 syöttöjärjestelmän kaupalliset osat ja liitteestä 2 löytyy kappaleen 4.3 kaupalliset osat. Kahdessa eri syöttöjärjestelmässä käytetään paljon yhteisiä kaupallisia osia.

4.2 Syöttöruuvilla avulla toimivan syöttöjärjestelmän toiminta

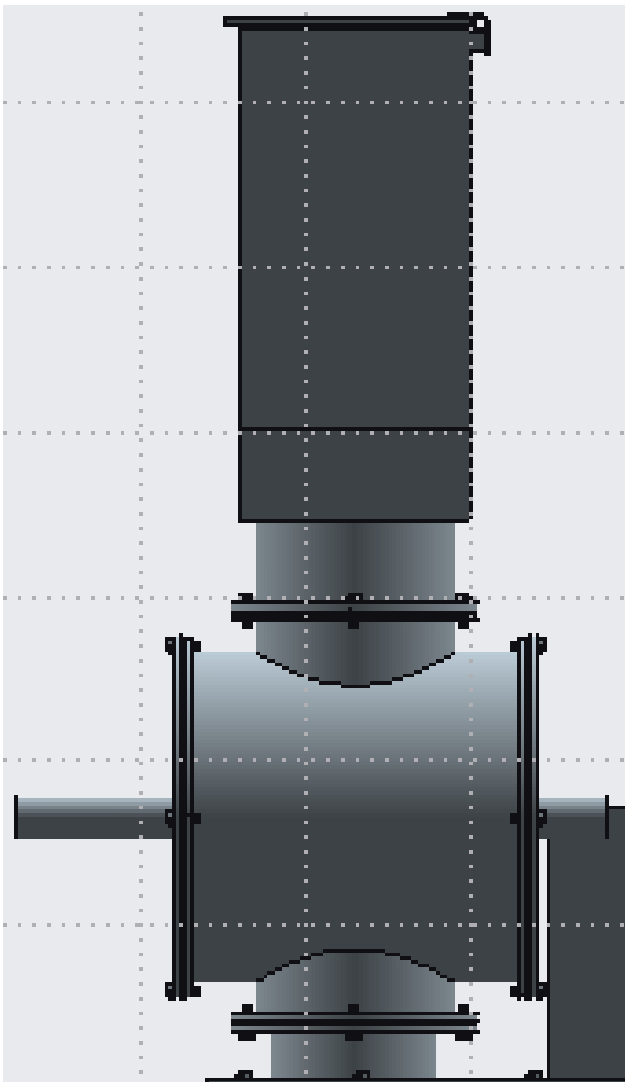
Ensimmäisen pyrolyysilaitteen (Kuva 15) toiminnan edellytyksenä ennen biomassan syöttöä on, että laitteen yhteydessä olevaa hakekattilaa on aluksi lämmitetty joko hakkeella tai pelleteillä. Poltosta hyödynnetty lämpö siirtyy pyrolyysilaitteeseen ja täten pyrolyysiprosessi voidaan aloittaa.

Kuva 15. Kuva syöttöruuvilla toimivasta syöttöjärjestelmästä.



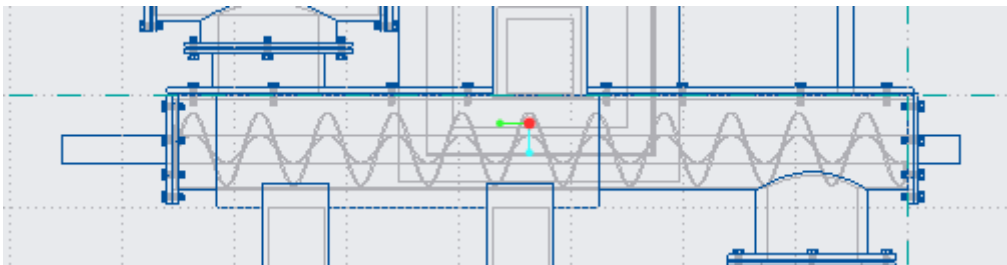
Prosessi aloitetaan laittamalla biomassaa kuvassa 16 (Kuva 16) ylhäällä olevaan syöttöastiaan. Syöttöastiassa on saranoilla aukeava kansi, joten biomassan lisääminen astiaan on helppoa. Saranat ja niiden kiinnitykseen käytettävät pop-niitit ovat kaupallisia. Syöttöastian malli on, kuten kuvasta nähdään, kapeneva alaspäin, joten biomassaa putoaa itsenäisesti sulkyöyttimen syöttötahtiin. Biomassa laittamisella syöttöastiaan ei ole erityisiä edellytyksiä, koska se on kiinnitetty kaupallisten pulttien, prikkojen ja muttereiden avulla ilmatiiviiseen sulkyöyttimeen, josta ilma ei kulje läpi. Ilman estämiseksi syöttöastian ja sulkyöyttimen väliin on sijoitettu kaupallinen tiiviste. Ilman estämisen ansiosta biohiilen raaka-ainetta voidaan lisätä astiaan ennen ja jälkeen koneen käynnistymisen.

Kuva 16. Syöttöastia sekä ilmatiivis sulkyöytin.



Kuvassa 16 (Kuva 16) alhaalla näkyvä sulkusyötin estää hapen päätyksen kuvassa 17 (Kuva 17) olevaan putkiloon, jossa syöttöruuvi sijaitsee. Hapen estäminen putkiloon on pyrolyysin kannalta edellytys, jotta biomassa kuumentuu hapettomassa tilassa biohiileksi. Kuten kuvasta huomaa, sulkusyöttimen kokoonpano koostuu neljästä pääosasta sekä kaupallisista lisäosista. Ensimmäinen osa on paikallaan pysyvä pääosa, joka on kiinni edellä mainitussa syöttöastiassa sekä putkistossa, jossa syöttöruuvi sijaitsee. Ensimmäisen osan sivut ovat avoinaiset, koska seuraavana osana on pyörivä laippa, joka tulee ensimmäisen osan sisälle. Toinen osa tavitsee pyöriäkseen energiaa. Viimeisenä kokoonpano-osana lisätään molempiin sivuihin kuvan mukaiset huoltoluukut, jotka ovat kiinnitetty pulttien, prikkojen ja mutteireiden avulla. Niiden väliin on myös lisätty tiiviste. Huoltoluukkujen tarkoitus on, että jos laippojen väliin tulee jonkinlaisia tukoksia, pääsee sen poistamaan ainoastaan avaamalla huoltoluukun. Sulkusyötin saa käyttövoimansa sähkömoottorin avulla, joka pyörittää laitteen sisällä olevaa laippaa, johon on lisätty biomassalle sopivia koteloita. Koteloiden avulla biomassa putoaa ilmatiiviisti eteenpäin prosessissa oikeassa kohdassa. Sähkömoottoriin kiinnitettävät osat tulevat ulos huoltoluukkujen rei'istä.

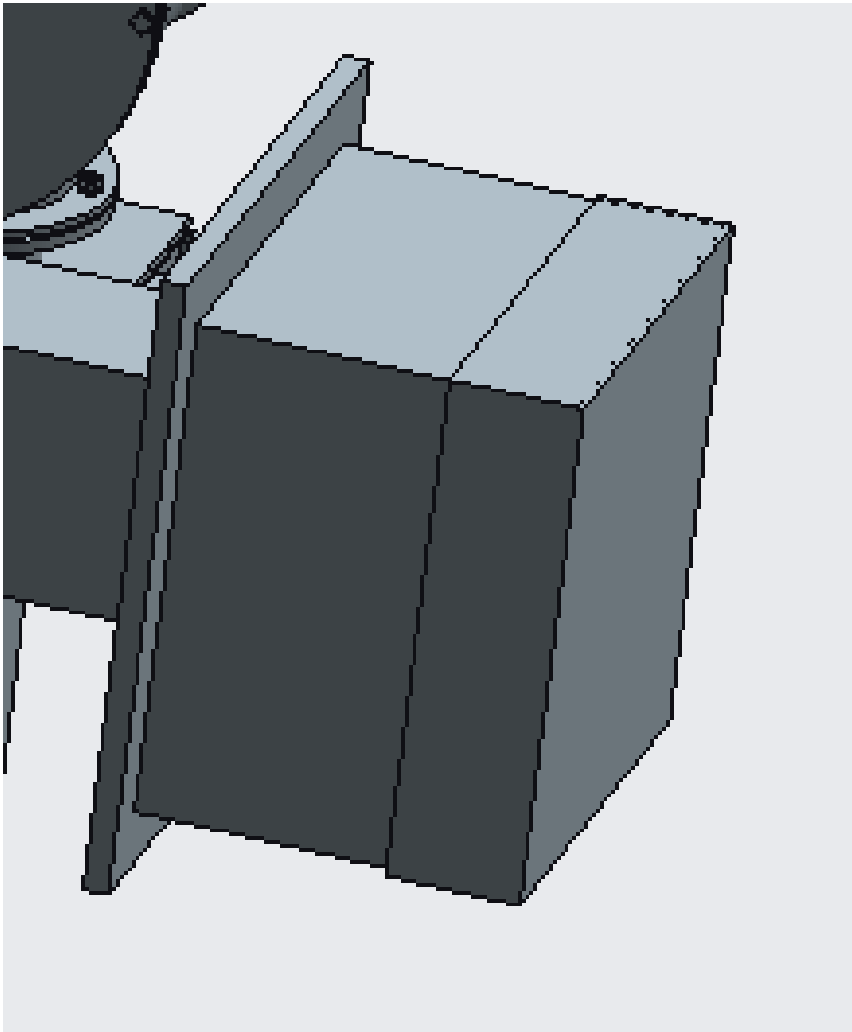
Kuva 17. Syöttöjärjestelmän putkilo.



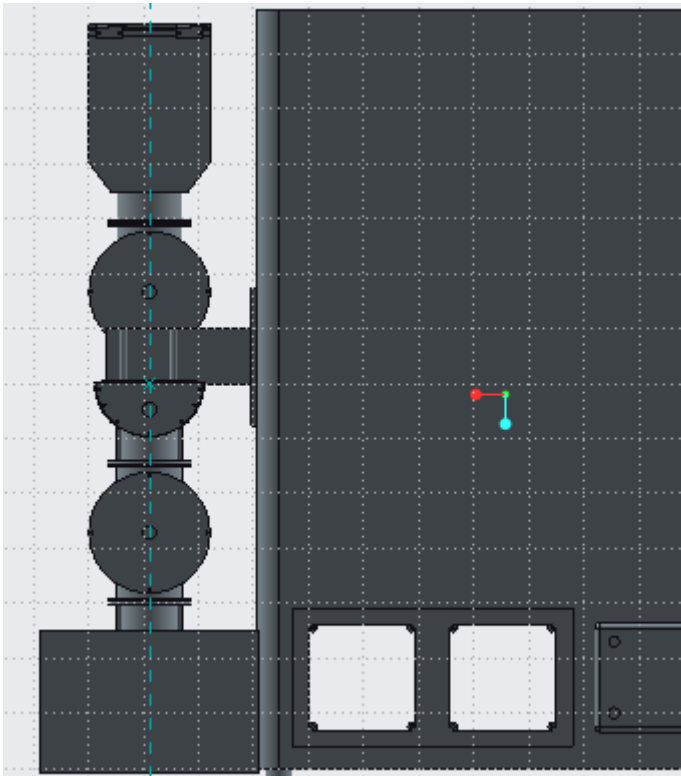
Sulkusyöttimen pyöriessä biomassa putoaa kaukaloon, jossa sijaitsee syöttöjärjestelmän tärkein osa, syöttöruuvi. Syöttöruuvin tarkoituksena on kuljettaa kuumassa kaukalossa oleva biomassa laitteiston toisessa päässä olevalle sulkusyöttimelle. Se saa käyttövoimansa ruuviin kiinnitetystä sähkömoottorista. Syöttöruuvin päät tulevat ulos kaukalon päissä olevista huoltoluukkujen rei'istä, jotka on tarkoitus kiinnittää asiakkaan valmitsemaan sähkömoottoriin. Huoltoluukun reikien ja syöttöruuvien päiden väliin on lisätty tiiviste hapettoman tilan varmistamiseksi. Moottorin pyörintänopeus on hyvä huomioida prosessin aikana, sillä sen täytyy pyöriä niin hitaasti, että biomassa ehtii kuumentua kuumassa ja hapettomassa kaukalossa biohiileksi ennen sen siirtymistä kaukalon toisella puolella olevan reiän kautta laitteen toiselle sulkusyöttimelle. Pyörimisnopeudessa täytyy myös huomioida,

kuinka paljon ollaan saatu siirrettyä hakekattilasta lämpöä kaukalon keskelle tulevaan putkiston kautta. Lämmön siirtymistä hakekattilasta putkiston kautta kaukaloon estää se, että hakekattilan puolella oleva putkiston pää on täytynyt hitsata umpeen ohuella levyllä, koska kaukalossa täytyy olla hapeton tila. Pyrolyysilaitteisto on kiinnitetty hakekattilaan hitsaamisen avulla putkiston levennyksen kohdalta, joka näkyy kuvassa 18 (Kuva 18) ja 19 (Kuva 19).

Kuva 18. Hakekattilaan sisään menevä putkisto.



Kuva 19. Hahmotuskuva pyrolyysilaitteiston ja hakekattilan liitoskohdasta.



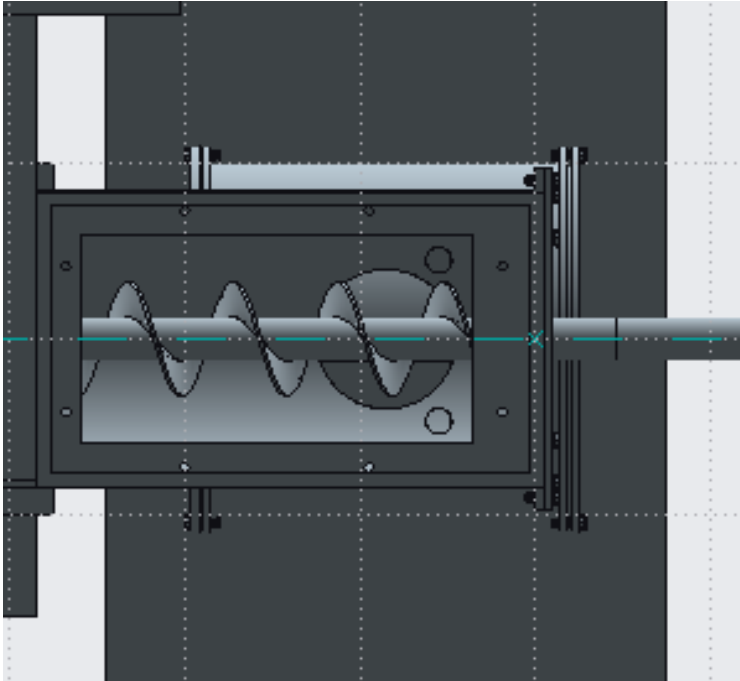
Syöttöruuvi kuljettaa kuumassa ja hapettomassa kaukalossa biomassaa vähitellen eteenpäin, minkä seurauksena se alkaa muuttua biohiileksi. Laite toimii niin sanotusti jatkuvatoimisesti, eli niin kauan kuin syöttöastiassa on tavaraa, syöttöruuvi pyörittää biomassaa eteenpäin.

Ruuvien alkupäässä on vielä biomassaa, kun taas loppupäässä on valmiita biohiiltä.

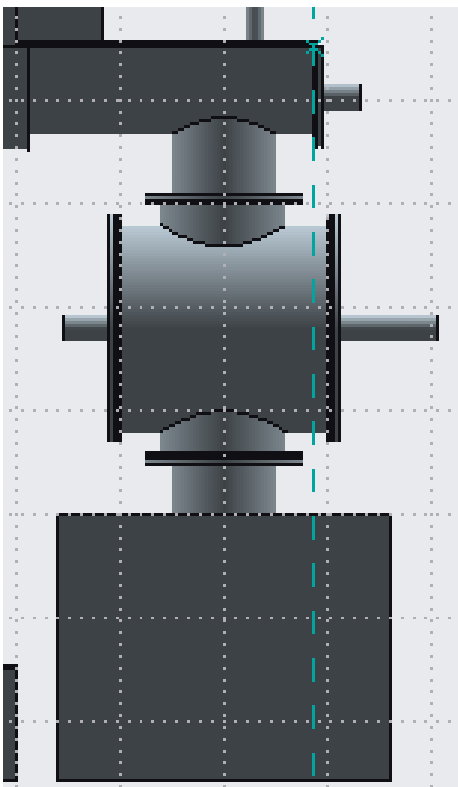
Syöttöruuvilla toimivaa laitetta käytettäessä on hyvä huomioida biomassan valinta, koska syöttöruuvien pyöriessä ohuet ja hennot biomassat murskaantuvat. Tämän takia biomassaksi on hyvä valita hakkeita tai pellettejä, jotka eivät hajoa niin helposti palasiksi. Valmis biohiili kulkeutuu syöttöruuvien mukana kuvassa 20 (Kuva 20) näkyvän kuvan aukkoon, josta se menee laitteen toiselle sulkusyöttimelle, joka on toiminnaltaan ja osiltaan tismalleen sama kuin aikasemmin tekstissä esiintynyt. Sulkusyötin on kiinnitetty kaukaloon ja loppusijoitusastiaan pulttien, prikkojen sekä muttereiden avulla ja molempien pintojen väliin on lisätty tiiviste. Pyörivät laipat siirtävät valmiin biohiilen sijoitusastiaan ilman hapen päätymistä kaukalon puolelle. Loppusijoitusastia on helposti irroitettava, joten valmiit biohiilet saadaan kerättyä talteen. Astiaa irroitettaessa on kuitenkin hyvä huomioida, että se toimii samalla toisen puolen jalkana, joten tukeminen astiaa irroitettaessa on pakollista. Laitteen vasemmalle puolelle on kiinnitetty hitsaamalla tukijalka, joka pitää laitetta

tasapainossa. Kokonaisuuden kaukalosta, sulkusyöttimestä ja loppusijoitusastiasta näkee kuvassa 21 (Kuva 21).

Kuva 20. Biohiilen pudottautumis reikä.



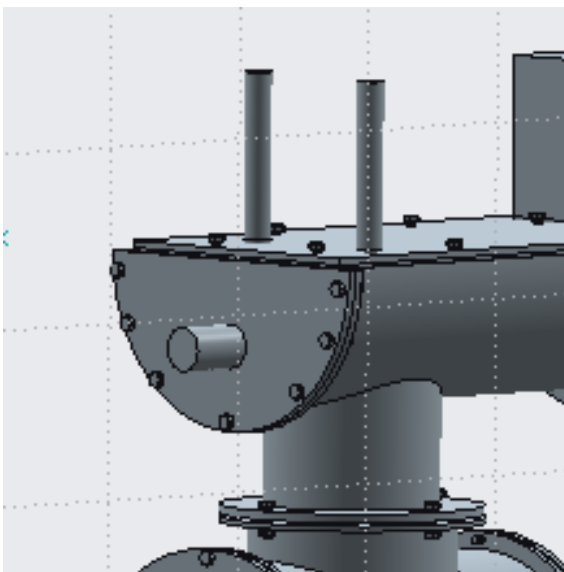
Kuva 21. Biohiilen reitti loppusijoitusastiaan.



Kaukalon päälle on asennettu kaksi huoltoluukkuja, jotka ovat kiinnitetty pulttien, prikkujen ja mutteriden avulla, ja kaukalon muotin sekä levyjen väliin on lisätty tiivistenauhaa. Huoltoluukkujen tarkoituksena on, että mikäli syöttöruuvissa tulee tukoksia tai muita ongelmia, on niiden luokse helppo päästä. Luukkujen avulla myös laitteen puhtaana pitäminen ja mahdollisten osien vaihto on helppoa. Käytännön kannalta olisi helpompaa, että huoltoluukkuja olisi vain yksi, mutta niiden väliin tulee putkistokokonaisuus, josta lämmin ilma tulee kaukaloon.

Kuvassa 22 (Kuva 22) nähdään, että toisen huoltoluukun päällä on kaksi pientä pyöreää putkimuottia. Tässä opinnäyetyössä ei oteta kantaa lauhduttimeen menevään putkistoon, mutta niiden päälle on tarkoitus laittaa putket, jotka menevät lauhduttimelle. Putket kiinnitetään hitsaamalla kaukalon huoltolevyyn. Tämän johdosta on hyvä huomioida lauhduttimien menevien putkien asennus ja mahdollisesti tehdä putkien kokoonpano eri irroitettavasti putkista. Lauhduttimelle menevässä putkikokonaisuudessa on oltava myös vähintään kaksi suljettavaa venttiiliä, sillä kaukaloon ei saa kulkeutua pyrolyysiprossessin toiminnan kannalta happea. Toisen venttiilin on aina vähintään oltava kiinni, kun prosesissa on käynnissä. Kaasujen talteenotto on tehtävä niin, että ottaa kaasut venttiilin väliin ja sulkaa molemmat venttiilit, kun pyrolyysilaitetta lähempi venttiili sulkeutuu, voi kauemmaisena venttiilin avata. Kondensoituvat kaasut jatkuvat putkistoa pitkin lauhduttimelle ja ei kondensoituvat kaasut menevät hakekattilan tulipesään poltettavaksi.

Kuva 22. Biokaasun putket.

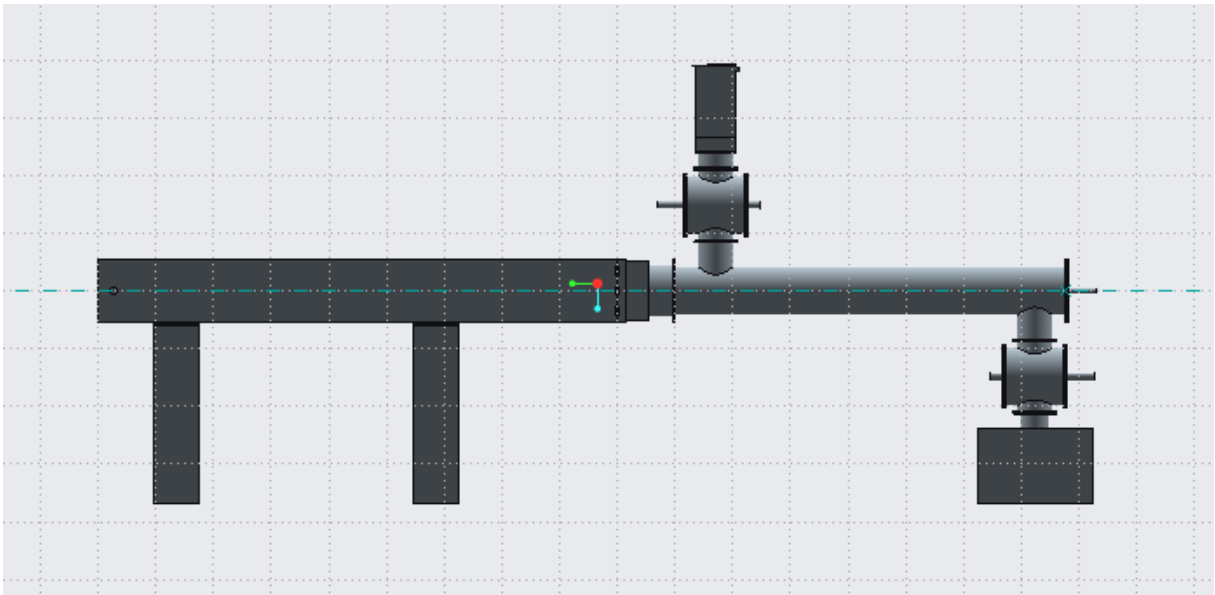


4.3 Hydraulisylinterillä toimivan syöttöjärjestelmän toiminta

Syöttöruuvilla toimivan laitteiston ohella myös toisessa suunnitellussa laitteistossa, kaksitoimisella hydraulisylinterillä toimivan pyrolyysilaitteiston, toiminta vaatii prosessin käynnistymiseen hakekattilan normaalin käytöstä muodostuvan lämmön. Lämpö saadaan aikaan polttamalla hakekattilassa esimerkiksi puupellettejä tai -haketta. Pyrolyysilaitteisto on rakennettu osittain hakekattilan sisään. Biomassan pyrolyysi tapahtuu hakekattilan sijaitsevassa putkessa, mikä on sijoitettu kokonaan hakekattilaan sisään, minkä seurauksena hakekattilassa oleva lämpötila ei tarvitse olla kovin korkea, mutta lopulta kun lämpötila on noussut tarpeeksi korkeaksi pyrolyysi alkaa.

Toisessa pyrolyysilaitteessa (Kuva 23) on käytetty myös paljon hyödyksi ensimmäinen pyrolyysilaitteeseen suunniteltuja osia. Syöttökammio, kaksi sulkusyötintä ja loppusijoituskammio on täysin samat kuin ensimmäisessä mallissa. Sulkusyöttimet saavat käyttövoimansa sähkömoottoreista. Myös kaupallisista osista, pultit, prikat, mutterit ja tiivistet ovat samoja kuin ensimmäisessä mallissa.

Kuva 23. Hydraulisylinterillä toimiva pyrolyysikokonaisuus.



Kyseisessä hydraulisylinterillä toimivassa laitteessa syöttökammio ja ensimmäinen sulkusyötin on asennettu kuvan mukaisesti keskelle laitekokonaisuutta. Osat ovat kiinnitetty ympyrän muotoiseen putkeen, joka menee kyseisessä laitteessa hakekattilan sisään. Vaikka

laite menee osittain kattilan sisään, on ympäräputki sen verran pitkä, että syöttökammio, sulkusyötin sekä putken toisessa päässä oleva toinen sulkusyötin että loppusijoituskammio jäävät hakekattilan ulkopuolelle. Osien ulkopuolelle jääminen helpottaa huomaavasti erilaisten vikojen huomaamisen ja korjaamisen.

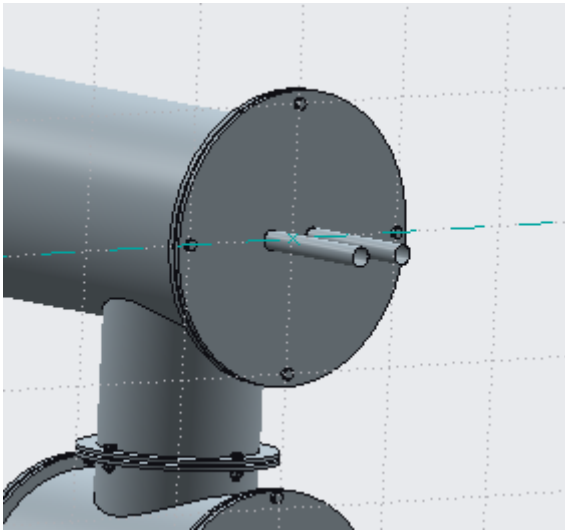
Kun biomassaa on syötetty syöttökammioon ja se on sähkömoottorin avulla siirtynyt ilmatiiviistä sulkusyöttimestä hakekattilan sisällä olevan putken reunalle, tarvitsee biomassa siirtää putken keskelle ja lopulta loppusijoituskammioon. Tätä siirtoa varten laitteeseen on lisätty kaupallinen kaksitoiminen sylinteri (Kuva 24), johon on lisätty oma suunnitelmallinen työnnin, mitkä ovat yhdistetty toisiinsa kaupallisen mutterin, prikan sekä pultin avulla. Kaksitoiminen sylinteri työntää paineilman avulla putken edessä olevan biomassan ensiksi keskelle kuumaa ilmatiivistä putkea ja palaa tämän jälkeen takaisin omalle paikalleen. Biomassa alkaa hapettomassa ja kuumassa putkessa vähitellen kuumentumaan biohiileksi. Kun biomassa on täysin muuttunut biohiileksi työntää työnnin sylinteristä saatavan voiman avulla valmiin biohiilen putkessa olevaa reikää kohti. Reiästä valmis biohiili putoaa toiseen sulkusyöttimeen, josta se siirtyy sähkömoottorin avulla ilmatiivisti loppusijoitusastiaan.

Kuva 24. Hydraulisyylinteri, johon on kiinnitetty työnnin.



Kuvassa 25 (Kuva 25) nähdään putken päässä oleva irroitettava huoltoluukku. Luukku on helppo irrottaa, koska se on kiinnitetty pulttien, prikojen ja mutterien avulla. Putken ja luukun väliin on myös asennettu tiiviste hapen pääsyn estämiseksi laitteen sisälle. Luukun päähän on hitsattu biokaasuille tarkoitetut ulostuloputkimuotit. Samalla tavalla kun syöttöruuvilla toimivassa pyrolyysilaitteistossa putkiin liitetetään suurempia putkia, joihin on lisätty kaksi sulkuventtiiliä. Venttiilien avulla biokaasut saadaan kerättyä talteen siten, että happi ei pääse putken sisään, estäen pyrolyysinprosessin tapahtumisen.

Kuva 25. Irroitettava huoltoluukku, jossa on biokaasujen poistoputket.



Laitteiston automaatiolla on tärkeä rooli, että pyrolyysilaitte toimii oikein. Sulkusyötin ja hydraulisynterin on keskusteltava keskenään. Sulkusyötin voi tiputtaa biomassaa putkeen vasta, kun edellinen biomassa on muuttunut biohiileksi ja siirtynyt loppusijoitosastiaan. Myös synterin on palattava omalle paikalleen ennen, kuin sulkusyötin voi lähteä käyntiin.

Hydraulisynterin ympärille on rakennettu suojakotelo suojamaan synteriä. Kotelon päällä on kaksi reikää, mitkä on tarkoitettu paineilmaletkuille, jotka kiinnitetään synteriin. Synteri saa paineilmaletkuista käyttövoimansa. Koska kotelon rei'istä pääsisi happi kulkemaan laitteiston sisään, on hydraulisynterin liitetetty työntin asennettu kotelon ulkopuolelle. Varmistuksen vuoksi myös reiän ympärille, josta synteri tulee ulos on lisätty tiiviste. Synteri on tiivisti kiinni tiivisteellä suojatussa reiässä ja on kiinnitetty toiseen päähän kuvassa 26 (Kuva 26) olevalla tapilla. Koteloon on myös lisätty levikkeet, joihin on kiinnitetty kaupallisten osien avulla laitteen tukijalat. Synterikotelo on myös lisätty kaupallisten osien avulla putkeen, joten sen saa helposti irroitettua, mikäli tarvitsee putsata tukoksia tai huoltaa osia.

Kuva 26. Sylinterin ympärillä oleva suojakotelo ja siihen kiinnitetyt laitteen tukijalat.



4.4 Syöttöjärjestelmien vertailu

Ensimmäistä ja toista syöttöjärjestelmää verrattaessa on hyvä ottaa ensimmäisenä esille, että toinen on sijoitettu lähes kokonaan hakekattilan ulkopuolelle kun toinen laitteisto menee hakekattilan läpi isolla pinta-alaltaan. Koska syöttöruuvilla toimiva syöttöjärjestelmä on lähes kokonaan hakekattilan ulkopuolella, täytyy hakekattilan alkulämpötila olla hyvin korkea. Hydraulisyylinterillä toimivan laitteisto putkisto on taas juuri hakekattilan sisällä, ja täten hakekattilan alkulämpötila voi olla melko matalakin. Kun biomassa alkaa kuumentumaan biohiileksi, vapautuu myös siitä tarvittavaa energiaa, eli hakekattilan alkulämpötilalla ei tarvitse pyrolyysia kokonaan tehdä. Aloitus lämpötilan jälkeen pyrolyysia voidaan ylläpitää sen vapautuvista ei kondensoituvilla kaasuilla, joita poltetaan hakekattilassa.

Suurimpana eroina pyrolyysilaitteiden välillä on niiden toimintatapa. Toisessa käytetään syöttöruuvilla toimivaa periaatetta kun toisessa taas kaksivaiheista hydraulisyylinteriä. Syöttöruuvi sopii paremmin, mikäli haluaa täysin jatkuvan prosessin, sillä siinä eri kuumennusasteissa olevat biomassat kulkeutuvat vähitellen ruuvia pitkin loppusijoitusastiaan. Toimintatavassa voidaan oikeastaan tuottaa biohiiltä, niin kauan kun syöttöastiassa on tavaraa. Tämän takia tämä laitteisto sopii, mikäli pitää muttaa biomassaa nopeasti biohiileksi ja sen sivutuotteiksi.

Hydraulisyylinterillä oleva laitteisto on myös jatkuva toiminen, mutta se ei ole läheskään niin nopea prosessi kuin syöttöruuvilla toimivassa. Putkiston sisällä voi olla ainoastaan yksi biomassa panos kerrallaan. Ensimmäisellä työnnöllä viedään sulkusyöttimellä tiputettu biomassa putken keskelle ja työnnin palaa omalle paikalleen. Sulkusyötin ei voi syöttää lisää tavaraa putkeen ennekuin työnnin on toisella työnnöllä vienyt valmiit biohiilet

loppusijoituastiin ja palannut omalle paikalleen. Tämä prosessi sopii ehdottomasti paremmin sellaiseen käyttöön, jossa biomassa määrät ovat pieniä ja satunnaisia. Toisaalta biohiiltä voidaan pitää kauemmin putkessa, varmistaakseen biohiilen laadun kun syöttöruuvissa voi kulkeutua biomassa liian nopeasti eikä saada niin hyvää laatua biohiileen.

Pyrolyysilaitteita verratessa myös niiden koossa on eroa. Syöttöruuvi periaatteella toimiva laitteisto vaatii selvästi pienemmän tilan kun hydraulisynterillä toimiva ja se voidaan asentaa hakekattilan kylkeen. Hydraulisynterillä toimiva laitteisto taas tarvitsee synterin takia hyvinkin ison tilan toimiakseen. Koska pyrolyysilaitteistot ovat toimiessaan hyvinkin kuumia, on hyvä laitteiden paikkaa huomioidessa jättää vähintään 1,5 metrin etäisyys muun muassa seiniin ja muihin rakennelmiin. Myös laitteiden huoltamiseen vaaditaan tilaa, joten tämä on myös hyvä huomioida laitetta asentaessa.

Laitteitetta valittaessa on myös syötettävällä materiaalilla merkitystä, sillä pyörivä syöttöruuvi tekee biomassasta helposti pienempiä paloja ja pehmeistä biomassoista jopa muhjuista silppua. Hydraulisynterillä toimiva työnnin taas työntää valmiin biohiilen lähes samankokoisena kun ne on biomassana syötetty. Tosin on hyvä huomioida, että sulkusyöttimen läpi ei mahdu halkaisijaltaan kovin isoja biomassapaloja.

Laitteiden turvallisuutta vertaessa ei ole suuria eroja, sillä molemmat laitteistot on pääsääntöisesti rakennettu ruostomattomasta teräksestä ja ovat täten kuumetessaan hyvin kuumia. Niissä käytetään myös samoja pyörivä osia, joiden lähellä on oltava erityisen varovainen. Pyörivät osat on kuitenkin pyritty molemmissa laitteissa suojaamaan erilaisten koteloiden ja avattavien kansien avulla. Ainoana erona näiden laitteistojen välillä turvallisuuden näkökulmasta on, että toinen on hakekattilan sisällä ja toinen on ulkopuolella. Hydraulisynterillä toimivan laitteen putkisto on juuri hakekattilan sisällä, ja putken sisällä on helposti syttyviä materiaaleja. Tämän takia on myös erityisen tärkeää, että laitteita huolletaan säännöllisesti.

5 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä todetaan, että kiinnostus biohiiltä kohtaan on noussut viime vuosien aikana suuresti sen käyttökohteiden ja ominaisuuksien ansiosta. Tällä hetkellä näyttää, että

kiinnostus on jatkuvassa nousussa, mutta on kuitenkin selvää, että biohiileen ja sen tuotantomenetelmiin täytyy kohdistaa vielä lisätutkimusta. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen vuoksi tarvitaan uudenlaisia kestäviä ratkaisuja ja biohiili voisi olla yksi niistä. Tutkimuksen avulla saataisiin tuotua biohiilestä kaikki oikeanlainen potentiaali esille.

Vielä nykypäivänä biohiilen kysyntä on suurempaa kuin sen tarjonta ja sitä valmistavien laitteistojen hinta ja kokoluokka on ongelma. Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin kaksi erilaista biohiiltä ja sen sivutuotteita valmistavan pyrolyysilaitteiston syöttöjärjestelmää. Toisen syöttöjärjestelmän päätoiminta perustuu syöttöruuvilla toimimiseen kun taas toisessa hydraulisyylinterillä toimiseen. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella syöttöjärjestelmät yhteensopiviksi pienen kokoluokan hakekattilan kanssa siten, että ne olisi mahdollista ottaa ihmisten päivittäiseen käyttöön, esimerkiksi maaseudulla. Tämän takia syöttöjärjestelmien suunnittelussa on otettu huomioon niiden koko.

Opinnäytetyössä saatiin suunniteltua kaksi pyrolyysilaitteiston syöttöjärjestelmää hakekattilan yhteyteen siten, että hakekattilaan ei tarvitse tehdä kovin suuria muutoksia. Syöttöjärjestelmien helppo muokattavuus antaa mahdollisuuden muovata laitteistoja jatkossa myös tarpeiden mukaan, mikä helpottaa laitteistojen jatkokehittelyä. Tavoitteena oli myös, että syöttöjärjestelmien kokoluokka olisi soveltuva yksityisten ihmisten tiloihin. Tässä tavoitteessa onnistuttiin erityisesti syöttöruuvilla toimivalla syöttöjärjestelmässä. Toisen syöttöjärjestelmän kokoluokka kasvoi pitkän hydraulisyylinterin takia, mutta on edelleen soveltuva myös yksityistalouksien käyttöön. Syöttöjärjestelmien vertailussa tulee esille, että kumpaakaan laitteistoa ei voi korostaa paremmaksi, vaan ne soveltuvat erilaisiin tarpeisiin. Laitevalinnassa on hyvä huomioida, millaista biomassaa tai minkälaisia määriä syöttöjärjestelmään syötetään.

Lähteet

- Ala-Talkkari. (n.d.). *Lämmityskattila, Veto 60 kW- stokerikattila*. Haettu 13. 5 2022 osoitteesta Ala-Talkkari: <https://ala-talkkari.fi/lammityskattila-veto-60-stokerikattila/>
- Allotments & Gardens. (7 2019). *Biochar & Terra Preta*. Haettu 11. 3 2022 osoitteesta <https://www.allotment-garden.org/composts-fertilisers/biochar-terra-preta/>
- Awang, N. A. (2017). Upm researchers create bmc innovation to produce quality biochar from agro wastes. *Universiti Putra Malaysia*. Haettu 3. 12 2022 osoitteesta https://upm.edu.my/news/upm_researchers_create_bmc_innovation_to_produce_quality_biochar_from_agro_wastes-30367
- Basu, P. (2010). Pyrolysis and Torrefaction. Teoksessa P. Basu, *Biomass Gasification and pyrolysis: Practical Design and Theory* (ss. 72 - 73). Elsevier Inc. Haettu 28. 3 2022 osoitteesta [https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=QSypbUSdkikC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Basu,+P.+\(2010\).+Pyrolysis+and+Torrefaction.+Tapauksessa+Basu,+P.+\(toim.\),+Biomass+Gasification+and+pyrolysis:+Practical+Design+and+Theory&ots=VhOp45Etf&sig=E7drB64tLWKKZep9uYvi55uC](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=QSypbUSdkikC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Basu,+P.+(2010).+Pyrolysis+and+Torrefaction.+Tapauksessa+Basu,+P.+(toim.),+Biomass+Gasification+and+pyrolysis:+Practical+Design+and+Theory&ots=VhOp45Etf&sig=E7drB64tLWKKZep9uYvi55uC)
- Beston. (n.d.). Beston Company. Haettu 16. 3 2022 osoitteesta <https://bestoncompany.com/biochar-machine-for-sale/>
- Biochar. (n.d.). *Terra Preta soils*. Haettu 30. 1 2022 osoitteesta <https://biochar.co.uk/terra-preta/>
- Biochar.info. (n.d.). *Terra Preta*. Haettu 11. 3 2022 osoitteesta http://biochar.info/?p=en.terra_preta
- Bioenergy Earth System. (n.d.). *Continuous Charmaker CCP*. Haettu 23. 10 2022 osoitteesta <https://www.esenergy.com.au/continuous-charmaker-cpp>
- Bosch. (n.d.). *Syöttöruuvi*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://www.bosch-home.fi/eshop-tuotelist/00050366#/Tabs=section-fitsappliance/>
- Carbons. (n.d.). *Biohiili*. Haettu 12. 3 2022 osoitteesta <https://carbons.fi/biohiili/>
- Elo, A.; Nummela, J.; & Kymäläinen, M. (29. 4 2021). *Biohiili kiertotalousratkaisuna Kanta-Hämeessä*. (Hämeen Ammattikaorkeakoulu) Haettu 13. 4 2022 osoitteesta

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/506425/HAMK%20Eloym.%20biohiili%20kiertotalousratkaisuna%20kanta_hameessa%20WEB%202021-10-21.pdf?sequence=2&isAllowed=y

European biochar certification. (n.d.). *The European biochar certification*. Haettu 13. 3 2022 osoitteesta <https://www.european-biochar.org/en>

Globalspec. (n.d.). *Feed screws and mixer screws information*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/materials_processing_equipment/feed_screws

Green Fuel Nordic. (15. 3 2012). *Biojalostamohanke – Ympäristövaikutusten arviointiohjelma*. Haettu 28. 3 2022

Halamy, S. (28. 3 2017). *Upm researchers create bmc innovation to produce quality biochar from agro wastes*. (Universiti Putra Malaysia) Haettu 3. 12 2022 osoitteesta https://upm.edu.my/news/upm_researchers_create_bmc_innovation_to_produce_quality_biochar_from_agro_wastes-30367

Hyötykasviyhdistys. (n.d.). *Biohiilen käyttö*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://hyotykasviyhdistys.fi/puutarhatieto/biohiilen-kaytto/>

Hämeen ammattikorkeakoulu. (2022). *Fiksuhiili*. Haettu 10. 12 2022 osoitteesta <https://www.hamk.fi/projektit/fikushiili/#perustiedot>

Jouslehto, M. (2019). *Juuri nyt: Biohiili apuna ilmastotyössä*. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 13. 3 2022 osoitteesta <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/01/biohiili1000x500.jpg>

Kauranne, H.;Kajaste Heikki;& Vilenius, M. (2013). *Hydraulitekniikka*. Sanoma Pro. Haettu 10. 22 2022

Kolemainen, I. (4. 7 2018). *Mustalla biohiilellä kirkasta vettä*. (Carbons) Haettu 4. 14 2022 osoitteesta <https://carbons.fi/mustalla-biohiilella-kirkasta-vetta/>

Laird, D.;Brown, R.;Amonette, J.;& Lehmann, J. (2010). Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. Teoksessa *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* (ss. 547-562). Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons Ltd. Haettu 3. 29 2022

Lampila, J. (19. 9 2019). *Biohiili uudelleen löydetty aarre*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://www.energiatalous.fi/?p=2483>

Lehmann, J.;& Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Routledge. Haettu 11. 3 2022

- Nummela, J. (2017). *Keinoja hallittuun ravinteiden sidontaan ja kiertoon*. Haettu 17. 3 2022 osoitteesta <https://docplayer.fi/63350739-Keinoja-hallittuun-ravinteiden-sidontaan-ja-kiertoon.html>
- Nummela, J. (3. 12 2020). *Biohiili*. Haettu 12. 3 2022 osoitteesta <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2020/03/Jarkko-Nummela-Biohiili-12032020.pdf>
- Rasa, K.; Ylivainio, K.; Rasi, S.; Eskola, A.; Uusitalo, R.; & Tiilikkala, K. (2015). *Jätevesilietteen pyrolyysi – laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeita*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus. Helsinki: Luke luonnonvarakeskus. Haettu 13. 4 2022 osoitteesta https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485874/luke-luobio_21_2015.pdf?sequence=4
- Riikonen, A. (2019). *Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa*. Haettu 29. 3 2022 osoitteesta <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-19-19.pdf>
- Rummukainen, A. (2017). *Biohiili ja hiiletin*. Haettu 16. 3 2022 osoitteesta <https://vartsi.net/2017/12/10/biohiili-ja-hiiletin/>
- Ruokamo, K. (25. 1 2022). *Panostoiminen pyrolyysilaitteisto*. Haettu 7. 1 2023 osoitteesta <https://blogit.lab.fi/labfocus/panostoiminen-pyrolyysilaitteisto/>
- Saario, T. (2019). *Monikäyttöinen biohiili*. (N. Laurila, Toimittaja; & Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu) Haettu 13. 4 2022 osoitteesta Biohiilellä puhtaampi ympäristöjä uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/168846/URNISBN9789523441651.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Salo, E. (2019). *Biohiili Suomessa*. (Suomen biohiiliyhdistys) Haettu 11. 3 2022 osoitteesta <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/04/Esko-Salo.pdf>
- Schenck process. (n.d.). *Screw Feeder*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://www.schenckprocess.com/glossary/screw-feeder>
- Schmidt, H. (2014). *Terra Preta – model of a cultural technique*. (S. The Biochar Journal. Arbaz, Tuottaja) Haettu 11. 3 2022 osoitteesta <https://www.biochar-journal.org/en/ct/4-Terra-Preta-%E2%80%93-model-of-a-cultural-technique>
- Schmidt, H.; & Wilson, K. (12. 5 2014). *The 55 uses of biochar*. (Biochar journal, Arbaz, Switzerland) Haettu 13. 3 2022 osoitteesta <https://www.biochar-journal.org/en/ct/2-The-55-uses-of-biochar>

- Siipola, V.;Koukkari, P.;Hakala, J.;Seppälä, O.;Björnmström, M.;& Karlsson, M. (2021). *Vesienpuhdistus ja jäteletteiden käsittely metsäteollisuuden sivuvirroista valmistetulla biohiilellä – PurCar*. VTT. Haettu 13. 4 2022 osoitteesta [https://mmm.fi/documents/1410837/12500944/PurCar_loppuraportti_VTT-R-293-21+\(1\).pdf/1a278b94-c273-596c-c659-e3eb7a558095/PurCar_loppuraportti_VTT-R-293-21+\(1\).pdf?t=1622460744362](https://mmm.fi/documents/1410837/12500944/PurCar_loppuraportti_VTT-R-293-21+(1).pdf/1a278b94-c273-596c-c659-e3eb7a558095/PurCar_loppuraportti_VTT-R-293-21+(1).pdf?t=1622460744362)
- Sirniö, J. (n.d.). *Ilmastojärjestelmän toimintaperiaate*. Haettu 23. 10 2022 osoitteesta Suomen työkalu: <https://www.suomentyokalu.fi/blog/2022/08/26/ilmastointijarjestelman-toimintaperiaate/>
- Starck, J. (15. 5 2014). *Biotalous Suomessa – Bioöljn merkitys ja potentiaali Suomelle*. (Green Fuel Nordic) Haettu 28. 3 2022 osoitteesta https://www.greenfuelnordic.fi/application/files/2115/8383/0519/Biooljyn_merkitys_Suomelle_v18_FINAL.pdf
- Suomen biohiilyhdistys. (n.d.). *Biohiili*. Haettu 11. 3 2022 osoitteesta <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiili/>
- Suopajarvi, H. (2013). *Biomaterian prosessitavat: Esikäsittelyt, termokemiallinen konverso ja käyttö masuunissa*. (Oulun Yliopisto) Haettu 13. 4 2022 osoitteesta http://cc.oulu.fi/~kamahei/z/research/2013_06_11/WP3-biomaterian%20prosessointitavat_netti.pdf
- Tehomaa, O. (12. 3 2019). Biohiileltä odotetaan paljon. *Metsäkesuksen asiakaslehti*. Haettu 3. 12 2022 osoitteesta <https://www.metsaan-lehti.fi/uutiset/metsien-kaytto/biohiilelta-odotetaan-paljon.html>

Liite 1: Syöttöruuvilla toimivan syöttöjärjestelmän kaupalliset osat

- 1) DIN 934-8 Zn M5 Kuusiomutteri (sinkitty)
Tuotenumero: 7016022005
<https://www.etra.fi/fi/din-934-8-zn-m5-kuusiomutteri-7016022005>
- 2) DIN 125/ISO 7089 200HV Zn M5/ 5,3 Aluslevy suora sinkitty
Tuotenumero: 702105905
<https://www.etra.fi/fi/din-125-iso-7089-200hv-zn-m5-5-3-702105905>
- 3) DIN 933 / ISO 4017 – 8.8 Zn M5x20 Kuusiokoloruuvi täyskierteinen sinkitty
Tuotenumero: 791068605020
<https://www.etra.fi/en/din-933-iso-4017-8-8-zn-m5x20-701068605020>
- 4) POP-niitti alumiini 4.8x9, 0 mm A
Tuotenumero: 500928447
<https://www.k-rauta.fi/tuote/pop-niitti-alumiini-48x90mm-a-500-kpl/7315230880289>
- 5) Pisla lasikuitunauha max. 550° 2 x 8 mm 3 m
Tuotenumero: 86-01633
<https://www.motonet.fi/fi/tuote/8601633/Pisla-lasikuitunauha-max-550-2-x-8-mm-3m>
- 6) Adam Hall 2270R TP Detachable Hinge
Tuotenumero: 103530
https://www.thomann.de/fi/adam_hall_2270.htm

Liite 2: Hydraulisyliinterillä toimivan syöttöjärjestelmän kaupalliset osat

- 1) DIN 934-8 Zn M5 Kuusiomutteri (sinkitty)
Tuotenumero: 7016022005
<https://www.etra.fi/fi/din-934-8-zn-m5-kuusiomutteri-7016022005>
- 2) DIN 125/ISO 7089 200HV Zn M5/ 5,3 Aluslevy suora sinkitty
Tuotenumero: 702105905
<https://www.etra.fi/fi/din-125-iso-7089-200hv-zn-m5-5-3-702105905>
- 3) DIN 933 / ISO 4017 – 8.8 Zn M5x20 Kuusiokoloruuvi täyskierteinen sinkitty
Tuotenumero: 791068605020
<https://www.etra.fi/en/din-933-iso-4017-8-8-zn-m5x20-701068605020>
- 4) POP-niitti alumiini 4.8x9, 0 mm A
Tuotenumero: 500928447
<https://www.k-rauta.fi/tuote/pop-niitti-alumiini-48x90mm-a-500-kpl/7315230880289>
- 5) Pisla lasikuitunauha max. 550° 2 x 8 mm 3 m
Tuotenumero: 86-01633
<https://www.motonet.fi/fi/tuote/8601633/Pisla-lasikuitunauha-max-550-2-x-8-mm-3m>
- 6) Adam Hall 2270R TP Detachable Hinge
Tuotenumero: 103530
https://www.thomann.de/fi/adam_hall_2270.htm
- 7) Hydraulisyliinteri 60x30x1500
Tuotenumero: HS60301500K
<https://www.ikh.fi/fi/hydraulisyliinteri-60x30x1500-hs60301500k>