

Aki Inkala

HAKEPOLTTIMEN KÄYTTÖ JA LIITTÄMINEN BIOHIILILAITOKSESSA

HAKEPOLTTIMEN KÄYTTÖ JA LIITTÄMINEN BIOHIILILAITOKSESSA

Aki Inkala
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Aki Inkala

Opinnäytetyön nimi: Hakepolttimen käyttö ja liittäminen biohiililaitoksessa

Työn ohjaaja(t): Jukka Ylikunnari, Juha Roininen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 40

Ympäristön suojeleminen on jatkuvasti tärkeämpää tulevaisuuden kannalta. Biohiili on hyödyllinen tuote hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi, ja sen tuottaminen tulee todennäköisesti olemaan jatkuvasti oleellisempaa ympäristön parantamisessa. Tämän takia biohiililaitokset ja niiden rakentaminen on tällä hetkellä hyvin kiinnostavaa.

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan, kuinka Carbon balance Finland Oy yrityksen valmistamaan biohiililaitokseen voidaan yhdistää hakepoltin. Polttimen toimintaa testataan ja selvitetään sen tuottama teho sekä verrataan sitä toimittajan antamiin arvoihin. Työssä myös mallinnetaan polttimelle polttila, jonka kautta sen tuottama energia johdetaan kyseiseen laitokseen.

Opinnäytetyö aloitettiin, kun toimeksiantajan rakentamaan biohiililaitokseen saatiin tilattua sopiva hakepoltin. Hakepolttimelle tilattiin ohjausjärjestelmä, jonka avulla pystyttiin muuttamaan tiettyjä arvoja polttimen optimoimiseksi. Tällä tavoin selvitimme polttimen toiminnan, sekä testasimme polttimelta saatava maksimi teho. Teho selvitettiin syöttämällä polttimelle haketta sen maksimi kapasiteetin verran ja mittaamalla, kuinka paljon sitä kului tietyn ajan kuluessa. Tämän jälkeen laskettiin polttimelle tehon hyödyntäen hakkeelle löydettyjä energiasisällön arvoja.

Laitokseen liittämistä varten polttimelle täytyi suunnitella polttila, josta voitaisiin johtaa polttimen tuottama energia laitokseen. Polttila suunniteltiin Solidworks-ohjelmistolla, jolla saadaan muodostettua 3D-malleja sekä piirustuksia malleista. Mallinnus perustui hyvin paljon laitoksen testauksessa olleisiin polttouuneihin ja niistä löytyneiden ongelmakohtien selvittämiseen.

Työssä saatiin selvitettyä polttimen tuottamaksi tehoksi 176,5 kW. Polttimen vaatima polttila saatiin suunniteltua siten, että se oli riittävän kestävä ja toimiva. Polttilan suunnitteluun löydettiin myös useita parannuskohteita jatkokehitystä varten. Oleellisin parannuskohta oli kuljetukseen ja asentamiseen tarvittavat kohdat trukkipiikeille.

Asiasanat: Biohiili, poltin, 3D-mallinnus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Energy technology

Author(s): Aki Inkala

Title of thesis: Installation and Usage of Wood Chip Burner at a Biochar Plant

Supervisor(s): Jukka Ylikunnari, Juha Roininen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 40

Environmental protection is constantly getting more and more relevant for future. Biochar is clearly a very useful product for reducing the carbon dioxide emissions and its production is most likely going to be continuously more relevant to improve the environment. Because of this, biochar plants and their construction are important.

This thesis deals with testing of a wood chip burner for a biochar plant built by Carbon Balance Finland Oy, finding out how much power can be gained from the burner and comparing that to the values provided by the manufacturer of the burner and how the burner will be implemented in the biochar plant. The implementation of the burner also includes the modelling of the burning chamber where the energy from the burner is transferred to the plant.

This project started as the burner for the biochar plant was delivered. The testing included figuring out the basic functions of the burner. For the testing, a control system was ordered, and it was used to make sure everything functioned and to see how much material the burner could go through. Once the maximum capacity for the burner was discovered, the power of the burner was calculated by using the calorific value for wood chips.

In addition to the burner testing, the project included modelling a burning chamber for the burner. The chamber was designed with SolidWorks program, which can be used to create 3D models and drawings. The modelling was based primarily on the old burning chambers used in the testing phase of the plant.

In this thesis the power of the burner was determined, and the burning chamber was modelled. During the modelling, several areas of improvement were identified for future development.

Keywords: Biochar, burner, 3D modelling

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	BIOHIILI.....	8
2.1	Pyrolyysi.....	9
2.2	Biohiilen käyttökohteita.....	9
3	KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO	10
3.1	Laitokseen valittu poltin	10
3.2	Polttopää	11
3.3	Polttoainesäiliö	12
3.4	Sammutusjärjestelmä.....	13
3.5	Toimintakuvaus	14
4	POLTTIMEN TESTAUS.....	15
5	POLTTOTILAN SUUNNITTELU	23
5.1	Etulevy	26
5.2	Katto.....	26
5.3	Sisärakenne	27
5.4	Uhrilevyt	28
5.5	Tiilet.....	30
5.6	Tuhkalaatikko	31
5.7	Kanava.....	32
6	POLTTIMEN JA POLTTOPESÄN ASENNUS LAITOKSEEN	35
7	POHDINTAA.....	37
	LÄHTEET.....	40

1 JOHDANTO

Biohiili on kasvattanut kysyntäänsä jatkuvasti ja todennäköisesti kasvu tulee vain nousemaan lähivuosien aikana. Biohiilen ympäristöä parantavat ominaisuudet ovat hyödyllisiä nykyaikana, jolloin ympäristöstä huolehtiminen on alkanut kasvattamaan suosiotaan ja sen laiminlyömisestä on hyvinkin selkeät tulevaisuuden uhkakuvat. Tästä syystä yritys, jolle opinnäytetyö tehtiin, perustettiin ja sen tavoitteena on valmistaa biohiililaitos, jonka kapasiteetti on Suomen tämänhetkisistä laitoksista suurin.

Työn tavoitteena on selvittää rakenteilla olevan biohiililaitokseen suunnitellun polttimen toiminta sekä suunnitella sen asentaminen. Biohiililaitos ideaalisti ei tarvitse paljoa ulkoista energiaa, sillä laitoksen hyödyntämä pyrolyysireaktio tuottaa palavia kaasuja, jotka voidaan hyödyntää reaktion ylläpitämiseksi. Reaktion aloittamiseen tarvitaan kuitenkin korkea lämpötila, joten laitokseen täytyy lisätä poltin. Työssä käytettävän polttimen tavallinen käyttötapa eroaa työssä halutusta tavasta, joten sen toiminnan tarkastelu ja testaaminen on tärkeää selvittää. Polttimen testauksessa selvitetään laitteen ohjaukselle sopivat arvot mahdollisimman hyvän toiminnan kannalta, sekä kuinka suuri mahdollinen teho polttimella on. Polttimen tehon tuoton tarkastelussa verrataan saatua tehoa toimittajan antamaan tehoon sekä tutkitaan, voidaanko saada jopa enemmän tehoa, kuin toimittaja lupaa.

Koska laitoksen tarkoituksena on olla mahdollisimman ympäristöystävällinen, oli aluksi suunniteltu, että polttimen polttoaineena käytettäisiin pellettiä. Tätä varten laitoksen testaukseen oli hankittu pyöriväpäinen pellettipoltin. Venäjän ja Ukrainan välinen sota aiheutti kuitenkin pelletin hinnan nousun ja saatavuuden heikkenemisen, sillä Venäjä oli vielä tuolloin yksi Suomen suurimpia pelletin maahantuojia. Tämän vuoksi poltintyyppi muutettiin hakepolttimeksi, joka on vielä kohtuullisen hintaista. Hakkeen käyttöönottamisesta saatiin myös se etu, että laitoksen käyttämä materiaali on myös pääosin haketta, joten samaa materiaalia voidaan käyttää sekä polttoaineena että tuotantomateriaalina.

Työssä suunnitellaan myös, kuinka poltin sekä polttotila yhdistetään laitoksen yhteyteen. Kyseinen laitos on käytännössä uniikki, joten sille ei ole olemassa valmiiksi sopivaa ratkaisua polttotilalle, joten se täytyi suunnitella itse. Tämän polttotilan täytyi kestää polttimen toimintaa ja toimia välikappaleena polttimen ja reaktorin välillä, jotta polttimen tuottama energia saataisiin käytettyä hyväksi

mahdollisimman hyvin. Koska laitoksen valmistumisen aikataulu oli erittäin kiireinen, täytyi suunnittelu pitää silti yksinkertaisena ja helppokäyttöisenä. Suunnitelmasta laaditaan 3D-piirrustukset käyttämällä Solidworks-ohjelmistoa.

2 BIOHIILI

Biohiili (kuva 1) on huokoista hiilipitoista materiaalia, jota tuotetaan keinotekoisesti kaikenlaisesta biomassasta käyttämällä pyrolyysireaktiota. Biohiili on tarkoitettu pitkäaikaiseen varastointiin, jolloin se toimii hiilinieluna, eikä sitä ole tarkoitettu poltettavaksi. Biohiilen rakenne on hyvin huokoista, mikä antaa sille kyvyn pidättää itsessään vettä ja ravinteita. Biohiilen rakenne on myös hyvin kestävä, jonka ansiosta se voi pysyä maaperässä satoja vuosia. Tämän ominaisuuden ansiosta se toimii erittäin hyvänä pitkäaikaisena hiilivarastona. Biohiilen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa esimerkiksi pyrolyysin lämpötilalla ja valmistuksessa käytetyllä biomassalla. (Bionenergia.fi. 2023.)



KUVA 1 Biohiiltä

2.1 Pyrolyysi

Biohiilen tuottaminen tapahtuu hapettomalla tai vähähappisella pyrolyysillä eli kuivatislauksella. Reaktio tapahtuu yleensä noin 300–650 °C:ssa. Pyrolyysi on prosessi, jossa biomassa hajotetaan altistamalla se korkealle lämpötilalle vähähappisessa olosuhteessa. (Basu, 2013. s. 147). Prosessista syntyy energiaa, kaasuja, lietteitä sekä jäljelle jäänyt hiili. Pyrolyysistä syntyneitä lopputuotteita voidaan käyttää muihin tarkoituksiin, esimerkiksi syntyviä lietteitä voidaan käyttää öljyn sijasta lämmityksessä tai sähköntuotannossa. Tämän työn kohteena olevassa biohiililaitoksessa käytetään hyväksi pyrolyysistä syntyvä kaasu siten, että se sytytetään reaktorissa ja käytetään lämmöntuotantoon laitoksen omaa toimintaa varten, jolloin laitoksen vaatima energia sen ulkopuolelta vähenee.

2.2 Biohiilen käyttökohteita

Biohiilellä on useita eri käyttökohteita. Sitä käytetään esimerkiksi hiilensidonnassa maaperään, ja sen avulla voidaan puuttua hiilipäästöihin ja täten parantaa ympäristöä. Normaalisti biomassa hajoaa jossain välissä sen kiertokulkua, jolloin sen sisältämä hiilidioksidi vapautuu. Pyrolysoimalla tämä biomassa voidaan muuttaa biohiileksi ja tämä hiili voidaan sitoa maaperään sadoiksi vuosiksi. (Bioenergia.fi. 2023.)

Biohiili on hyödyllinen myös maataloudessa, sillä sen ravinteiden- ja kosteudensidontakyvyn avulla voidaan parantaa maanperää. Se toimii myös kompostissa, jossa se lyhentää maatumisaikaa ja parantaa lopputuloksen laatua. (Hyötykasviyhdistys.fi. 2023.)

Biohiiltä voidaan käyttää myös suodattimena, jolla voidaan parantaa esimerkiksi kaupunkien hulevesien laatua. Se kykenee absorboimaan ravinteita, raskasmetalleja sekä eloperäisiä yhdisteitä. Veden suodatuksen lisäksi sillä voidaan suodattaa myös sisäilmaa. (Bioenergia.fi. 2023.)

3 KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO

3.1 Laitokseen valittu poltin

Kohteena olevaan biohiililaitokseen lopulta hankittiin Veljekset Ala-Talkkarin Veto-Turvehakemaatti (kuva 2). Poltin on yksinkertainen stokeri, jonka polttopäässä on liikkuva arina. Polttopäitä on tarjolla useita eri tehoja 40–120 kW. Tähän projektiin hankittiin 120 kW:n malli suuren tehontarpeen takia.

Polttimeen kuuluu myös suljettava polttoainesäiliö, jonka tilavuus on 1 m³, kuljetinruuvi, puhaltimet sekä sammutusjärjestelmä. Poltin on suunniteltu pienten ja keskisuurien kiinteistöjen, kuten omakotitalojen lämmitykseen ja normaalisti se on tarkoitettu käytettäväksi lämmityskattilan yhteydessä. tokereilla voidaan polttaa hakkeen lisäksi muita kiinteitä polttoaineita, kuten pellettiä ja palaturvetta. (Ala-Talkkari.fi 2023.)



KUVA 2 Turvehakemaatti (Ala-Talkkari.fi 2023)

3.2 Polttopää

Polttopää on stokerin osa, jossa palaminen tapahtuu. Turvehakemaatin polttopää on varustettu liikkuvalla lineaarimootorilla varustetulla arinalla, joka vähentää tuhkan ja muun kuonan kasaantumista polttimelle. Arina on helposti vaihdettavissa, joten polttopään huoltaminen on yksinkertaista. Polttopään taakse asennetaan puhaltimet, jotka syöttävät polttimelle palamisilmaa. 120 kW:n polttimessa on kaksi puhallinta ja puhaltimien säätö tapahtuu käsin, puhaltimen kyljessä olevalla levyllä. Polttopäähän saa asennettua myös sähkösytytysjärjestelmän. (Kuva 3.)



KUVA 3 Polttopää ja puhaltimet

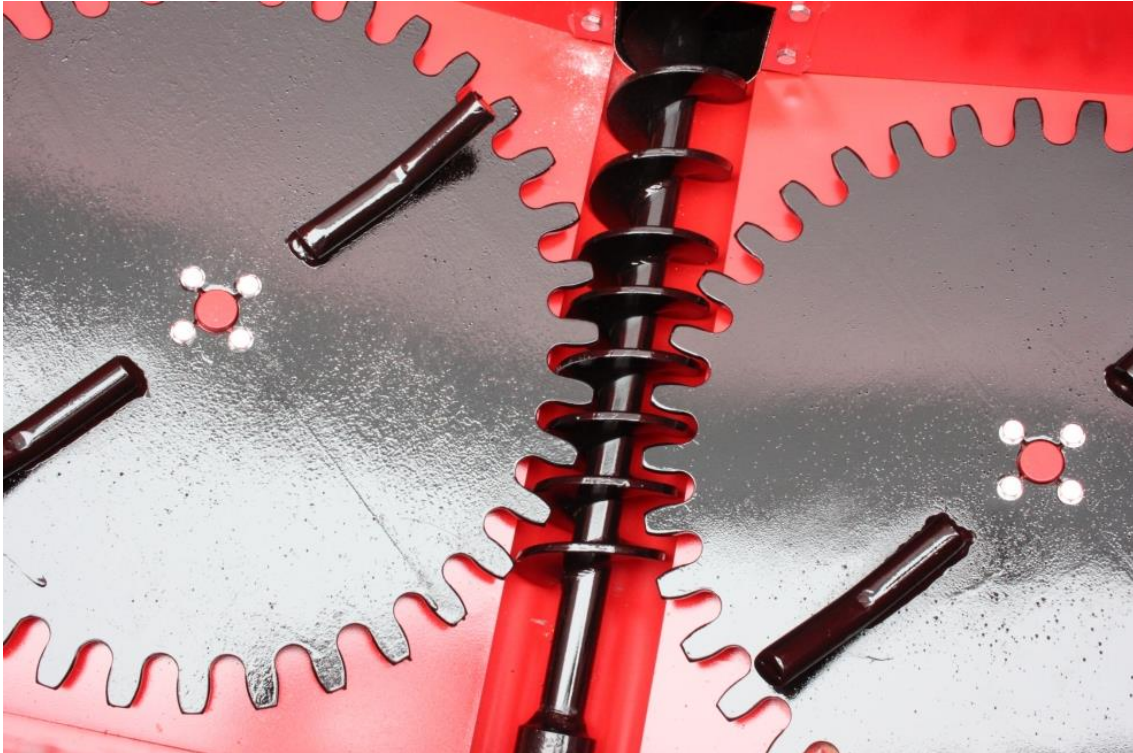
3.3 Polttoainesäiliö

Turvehakemaattiin polttoainesäiliö on yksinkertainen päältä täytettävä siilo (kuva 4), jonka pohjalla on kouru ruuville, sekä kaksi sekoituslautasta. Siilon tilavuus on 1 m³, mutta siihen on mahdollista asentaa jatkoa tarvittaessa.



KUVA 4 Polttoainesäiliö

Siilon pohjalla olevien lautasten tehtävänä on varmistaa, että materiaali pääsee ruuville koko siilon pohjalta ja ettei materiaali pääse tukkeutumaan ja haittaamaan polttoaineen kulkua. Lautaset on muotoiltu hammasratasmalliseksi siten, että ne pyörivät pelkästään käyttämällä ruuvin liikettä avuksi, joten ei ole tarvetta ylimääräisille moottoreille. (Kuva 5.)



KUVA 5 Sekoituslautaset sekä kuljetinruuvi (Veljekset Ala-Talkkari)

3.4 Sammutusjärjestelmä

Polttoainesäiliöstä lähtevä kuljetinruuvi sekä sen kuljettama materiaali menee suoraan esteettömästi kourua pitkin polttopäälle, minkä takia takapalon vaara on hyvin oleellinen. Normaalisissa toiminnassa takapalaa ei pitäisi tapahtua, mikäli palamistilan paine on matalampi kuin polttimen aiheuttama paine. Ongelmatilanteissa kuitenkin on mahdollista, että paineissa tapahtuu muutoksia, mikä voi aiheuttaa takapalon vaaran. Tämän takia polttoainesäiliöstä lähtevässä kourussa on valmiiksi liitännäkohdat hätäsammutusjärjestelmälle.

Projektiin tilatuissa stokereissa oli mukana kaksi eri hätäsammutusmenetelmää. Yksinkertaisin sammutusjärjestelmä toimi pelkän mehiläisvaha tulpan sekä vesisäiliön avulla. Tulppa asennetaan kourun sivussa olevan liitoskohtaan tukkimaan siinä olevan reiän. Liitoskohtaan asennetaan sitten johto, joka liitetään vesisäiliöön. Vesisäiliö asennetaan kourun yläpuolelle. Mikäli kouru alkaa kuumentamaan liikaa takapalon takia, mehiläisvaha tulppa sulaa pois ja vesi alkaa valumaan säiliöstä kouruun. Toinen menetelmä on BVTS-venttiili, joka asennetaan vesijohtoverkostoon. Venttiilissä on sensori, joka havaitsee, jos lämpötila nousee liian korkealle ja avautuu päästämällä veden kouruun.

3.5 Toimintakuvaus

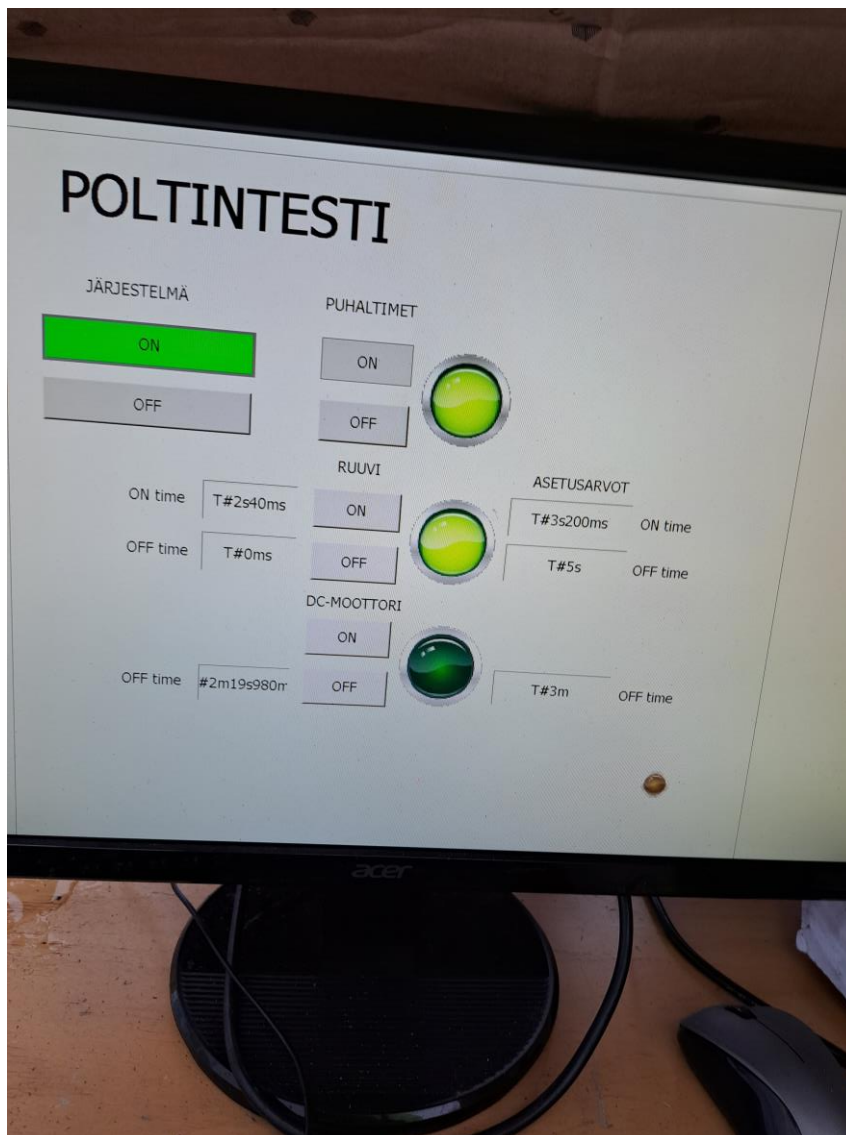
Veto-turvehakemaatin toimintaperiaate on hyvin yksinkertaista. Suljettuun siiloon syötetään poltettavaa materiaalia, josta se siirretään sekoituslautasten avustuksella siilon pohjalta lähtevälle ruuville. Ruuvi kuljettaa materiaalin tiivistettyä kourua pitkin polttopäälle. Polttopäälle syötetään palamisilmaa puhaltimilla ja sytyttäminen tapahtuu sähköisillä sytyttimillä tai manuaalisesti. Polttopäälle saapuva palamisilma syötetään pään reunoilla olevien reikien kautta, mikä varmistaa sen, että palaminen on tasaista joka puolelta. Palavaa materiaalia ja tuhkaa liikutetaan polttopäässä eteen päin lineaarimoottorilla varustetulla liikkuvalla arinalla, joka pitää palamisen tehon tasaisena sekä vähentää kuonan muodostumista arinalle (Ala-talkkari.fi 2023). Palamisilmapuhaltimien säätäminen tapahtuu manuaalisesti, muu toiminta tapahtuu pääasiassa automatisoidusti. Normaalisti poltin asennetaan lämmityskattilaan, jonka avulla voidaan lämmittää kiinteistöä.

4 POLTTIMEN TESTAUS

Työn ensimmäinen tehtävä oli selvittää polttimen perustoiminta- ja ohjausmenetelmät sekä testata, kuinka suuri teho on mahdollista saada aikaan. Työssä suoritettu polttimen testaaminen perustui polttimen toimittajan antamiin arvoihin ja niiden vertaamiseen testauksesta saatuihin tuloksiin. Testauksen päätavoitteena oli selvittää polttimen toiminta ilman sille tavanomaista kattilaa, mikä on hyvin epätavallinen tapa käyttää stokeri-mallista poltinta.

Testaus suoritettiin aluksi kasaamalla tilattu hakepoltin ja perehtymällä sen toimintaan. Polttimen käyttämistä sekä ohjaamista varten tilattiin erillinen ohjausjärjestelmä Probot Oy:ltä, jonka avulla pystyttiin testaamaan sen toimintaa. Tavallisesti kyseisen polttimen mukana tulee valmis ohjausjärjestelmä, mutta projektiin ei sitä haluttu, koska tarkoituksena oli liittää ohjausjärjestelmä projektissa käytettävän laitoksen omaan järjestelmään. Polttimessa olevat ohjattavat osuudet toimivat kaikki joko manuaalisesti tai päällä/pois -periaatteella, eli osat liikkuvat aina samalla nopeudella. Ainoa asia, johon vaikutetaan, on kuinka kauan ne ovat liikkeessä ja levossa.

Ohjattavia osia polttimessa olivat kuljetinruuvi, joka siirtää polttoaineen säiliöstä polttopäälle, polttopään arina sekä polttimen puhaltimet. Ruuvia ja arinaa säädetään sähköisellä ohjausjärjestelmällä ja puhaltimet säädetään manuaalisesti ja ainoastaan niiden käynnistys tapahtuu ohjausjärjestelmällä. Sähkömoottorin käyntiajan jaksotusta voidaan muuttaa. Arinan liikkeen lepoaikaa voitiin myös muuttaa ohjausjärjestelmässä. Sääto tapahtuu vaihtamalla käyttöliittymässä olevia ajan asetusarvoja (kuva 6).



KUVA 6 Ohjausjärjestelmän käyttöliittymä.

Puhaltimien ohjaus toimi manuaalisesti kääntämällä niiden imupuolella olevaa levyä, joka toimii esteenä imureiälle ja sitä kääntämällä voidaan kasvattaa tai pienentää imureiän pinta-alaa. (Kuva 7.)



KUVA 7 Puhallin ja manuaalinen ohjauslevy

Ohjausjärjestelmän toiminnan testauksen jälkeen haluttiin selvittää, kuinka paljon polttoainetta polttimelle syötetään. Koska syöttöruuvien kierrosnopeus on vakio, testattiin polttoaineen käyttöä asettamalla ruuvi liikkumaan halutuilla säädöillä ja annoimme sen syöttää materiaalia tietyin aikaväleihin. Syötetty materiaali otettiin valmiiksi punnittuun ämpäriin ja se punnittiin. Punnitusta painosta erotettiin ämpäriin paino ja siten saimme syötetyn materiaalin oman massan. Testin suorittamistilassa ei ollut tällaiseen tarkoitettua puntaria, joten käytimme normaalia kotitalous puntaria, joka sattui

olemaan testaustilassa. Tämän takia testin tulosten tarkkuus on suuntaa antavaa. Testejä suoritettiin 7 kappaletta. Testien tulokset olivat todella lähellä toisiaan, niin hyväksyttiin tämä riittävänä määränä ja oletettiin tulosten olevan tarpeeksi lähellä todellisuutta. Ensimmäiset neljä testiä suoritettiin toimittajan antamilla oletusarvoilla ja kolmessa viimeisessä testissä ruuvi oli jatkuvassa liikkeessä. Oletusasetuksen arvot ruuville ovat: 3 s 100 ms päällä ja 10 s pois päältä (taulukko 1).

TAULUKKO 1 Polttimelle syötetty materiaali tietyin aikaväleihin

Testi	Massa (kg)	Aika (min)	Asetukset
1	3,9	10	Oletus asetukset
2	4	10	Oletus asetukset
3	3,4	10	Oletus asetukset
4	3,9	10	Oletus asetukset
5	1,6	1	Jatkuva syöttö
6	8,1	5	Jatkuva syöttö
7	4,1	2,5	Jatkuva syöttö

Tuloksien avulla pystyttiin laskemaan, paljonko polttimelle tulee keskimäärin materiaalia. Oletusarvoilla saatiin keskiarvoksi noin 3,8 kg 10 minuutin aikavälillä, eli 0,38 kg/min. Jatkuvalle syötölle tehtyjen testien 6 ja 7 tuloksista laskettiin, paljonko materiaalia tulee minuutissa, jakamalla saatu tulos sen käyttämällä minuuttimäärällä ja vertasimme niitä testiin 5. Testille 6 saatiin tällä tavoin tulokseksi 1,62 kg/min, ja testille 7 saatiin 1,64 kg/min. Nämä arvot olivat riittävän lähellä toisiaan, joten päätettiin, että lisätestiä suorittaminen ei ole tarpeellista. Päätimme käyttää arvona 1,64 kg/min polttimen maksimi polttoaineen kulutukselle.

Tehon laskemista varten tarvittiin hakkeen kosteuden. Kosteus määritettiin käyttämällä sähköistä kosteusanalysointia. Analysointia varten valmistettiin pieni näyte, jota se kuumentaa ja määrittää siten kosteuden näytteen massan pienemisen perusteella. Materiaalin epätasaisuuden takia suoritimme useita testejä, jotta saisimme mahdollisimman tarkan tuloksen. Kyseinen hake oli laitoksen ensimmäisistä testeistä jäänyttä tavaraa, joka oli ollut pitkään ulkona, joten tiesimme sen olevan kostea. Analysointia varten suoritettiin viisi eri analyysia ottamalla näytteitä hakesäkin eri kohdista. (Taulukko 2)

TAULUKKO 2 Kosteusprosentti testi hakkeelle

Kosteusprosentti (%)
34
39
23
39
19

Näillä arvoilla saimme kosteudelle keskiarvon 30,8 %.

Seuraavaksi testattiin polttimelle parhaat asetusarvot mahdollisimman hyvän tehon saavuttamiseksi. Polttimen tehon tuotto selvitettiin polttoaineen kulutuksen mukaan käyttämällä yleisiä arvoja hakkeen energiasisällölle. Aiemmin jo selvitettiin, kuinka paljon polttoainetta poltin käyttää tietyssä ajassa, joten seuraavana täytyi selvittää paljonko materiaalia poltin kykenee polttamaan tehokkaasti. Mikäli materiaalia syötetään nopeammin kuin sitä voidaan polttaa, se saattaa aiheuttaa monia ongelmia. Jos polttoaine ei pala kokonaan, sen palaminen siirtyy polttopäältä tuhkalaatikkoon, jossa se voi suurissa määrin mahdollisesti aiheuttaa vaurioita tai tukkia tuhkalaatikon liikkeen. Palamaton materiaali on myös polttoaineen tuhlausta, joten siitä vähintään syntyy ylimääräisiä kustannuksia.

Polttimen polttokapasiteetin testausta varten poltin siirrettiin ulos avoimelle alueelle, jossa on asfaltti alusta ja polttopää asetettiin laitoksen edellisissä testeissä käytettyyn polttotilaan (Kuva 8). Testissä pidimme myös mukana palosammutinta mahdollisia ongelmatapauksia varten. Testit suoritettiin muuntamalla syöttöruuvien lepo ja syöttöaikoja. Puhaltimien säädön vaikutusta myös tarkasteltiin, mutta huomattiin käytännössä välittömästi, että niiden ollessa täydellä teholla palaminen tapahtui parhaiten, joten niiden säätämiseen ei keskitytty enempää testien jatkuessa. Arinan säätämällä oli vaikutusta, sillä liian nopea liike heikensi palamista ja siirsi vielä palamatonta materiaalia polttimelta. Liian hidas liike johti palamisen kasaantumiseen polttopään perälle, ruuvien suulle, mikä oli huolestuttavaa takapalon mahdollisuuden takia ja liian kerääntymiseen polttopäälle. Täytyi siis löytää sopiva arvo arinan lepoajalle, jossa se ei haittaa palamista, mutta myös varmistaa, ettei palanut materiaali jää polttimelle.



KUVA 8 Polttimen maksimi tehon testaus.

Aluksi kokeilimme polttimen toimittajan antamia arvoja, joilla poltin toimi kiitettävästi. Ohjearvojen testauksen jälkeen testasimme jatkuvaa syöttöä, jolloin poltin ei enää pystynyt polttamaan kaikkea sille saapunutta materiaalia. Tämän jälkeen vähensimme tauko aikaa aina ohjearvosta alkaen 2 s verran, kunnes pääsimme 6 s:n kohdalle, minkä jälkeen taukoaikaa vähennettiin 1 s verran. Jokaisen vähennyksen jälkeen annoimme palamisen tasaantua noin 5–10 minuutin ajan, jotta näkisimme jos polttimelta jää palamatonta materiaalia. Taukoajan ollessa 2 sekuntia alkoi polttimelta jäädä hieman palamatonta haketta, joten saimme selville, että paras teho näissä olosuhteissa ilman materiaalin tuhlausta saadaan taukoajan ollessa noin 3 sekuntia. (Taulukko 3). Tehon optimoimiseksi olisimme halunneet vielä tehdä testejä säätämällä myös ruuvien käyntiaikaa, mutta testeihin

varattu materiaalmäärä oli hyvin rajoitettua ja se alkoi loppumaan, joten emme pystyneet jatka-

TAULUKKO 3 Poltintestitulokset

Tauko (s)	10	8	6	5	4	3	2
Tulos	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Huono

Tehon laskemiseksi tarvitsemme hakkeelle lämpöarvon, jota tässä työssä ei mitata, vaan käytämme aiempia tutkimuksia hyväksi. Eija Alakankaan VTT:lle tekemässä tiedotteesta Suomessa käytettävistä polttoaineista löytyy eri hakelajeille koottuja lämpöarvoja. Testeissä käytetty hake oli kokopuuta ja mäntyä, jolle Alakankaan tiedotteesta löytyy tehollinen lämpöarvo 19,6 MJ/kg (Alakangas 2000, s.44). Laskuissa käytetään saapumistilassa olevaa tehollista lämpöarvoa, joka ottaa huomioon myös polttoaineessa olevan veden. Tästä syystä muutamme saadun tehollisen lämpöarvon saapumistilassa olevaan lämpöarvoon seuraavalla kaavalla (Alakangas 2000, s. 29):

$$Q_{net,ar} = Q_{net,d} \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02441 \times M_{ar} \quad (1)$$

Jossa $Q_{net,ar}$ on saapumistilaisen polttoaineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)

$Q_{net,d}$ on kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo, eli alempilämpöarvo (MJ/kg)

M_{ar} on vastaavan polttoaine-erän kokonaiskosteus saapumistilassa (%) painotettuna kostean polttoaineen massalla

0,02441 (MJ/kg) on veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä.

Kaava käyttäen saamme saapumistilan tehollisen lämpöarvon polttoaineelle kosteudessa 30,8 % arvon 12,81 MJ/kg. Tehon laskemista varten muunnamme saadun lämpöarvon vielä yleisemmin käytettävään muotoon kWh/kg. Koska 1 MJ/kg vastaa 0,278 kWh:a/kg, saadaan arvo muunnettua kertomalla tulos 12,81 MJ/kg muuntokertoimella 0,278, josta saamme tuloksen 3,53118, eli noin 3,53 kWh/kg.

Testeissä saatu polttoaineen syötön tulos 1,64 kg/min muutetaan muotoon kg/h kertomalla tulos 60:llä, josta tulee 98,4 kg/h täydellä syötöllä. Kuitenkin polttimen tehokkaassa käytössä, poltin syöttää polttoainetta minuutin aikana vain 31 s ajan, sillä syöttöaika on 3,1 s ja syöttöjen välissä on

aina 3 s tauko. Yhteen minuuttiin, eli 60 sekuntiin, siis mahtuu 10 syöttö liikettä ja 10 taukoa, josta 1 s menee yli minuutin. Yhteen tuntiin mahtuu 3600 s, joten jakamalla tämä 61 s:lla saadaan, kuinka monta 61 sekunnin sykliä tapahtuu tunnissa. Tulokseksi saadaan 59,016 sykliä. Kertomalla syklien määrä syklin kokonaissyöttöajalla, eli 31 s:lla saatiin, kuinka monta sekuntia tunnin aikana polttoainetta syötetään. Vastaukseksi käyntiajalle saadaan 1829,5 s/h. Jakamalla tämä tunnin sisältämällä sekuntimäärällä eli 3600:lla saamme prosenttiosuuden verrattuna jatkuvaan syöttöön. Tulokseksi tulee noin 0,50819, eli noin 50,82 %. Kertomalla jatkuvalla syötöllä tunnin aikana saatu massamäärä tällä prosenttiosuudella saamme, kuinka paljon polttoainetta syötetään tunnin aikana näillä ohjaus arvoilla. Tulokseksi saadaan noin 50 kg/h. Polttimen teho saadaan kertomalla tämä arvo aiemmin saadulla saapumistilan tehollisella lämpöarvolla 3,53 kWh/kg, josta saamme tulokseksi noin 176,5 kW. Tämä on 56,5 kW korkeampi teho kuin polttimen toimittajan antama arvo 120 kW.

5 POLTTOTILAN SUUNNITTELU

Suunnittelussa käytettiin päätyökaluna Solidworks-ohjelmaa ja sen avulla mallinnettiin polttotilan sekä siihen tulevat osat ja muut kappaleet. Mallinnuksessa käytettiin pääosin Solidworksin sheet metal toimintoa, jonka avulla voidaan saada helposti malleja, jotka on tarkoitettu valmistaa ohutlevy teräksistä. Toiminnolla saadaan myös muodostettua helposti taivutuksia, mikä tekee monimutkaisten kappaleiden suunnittelusta nopeampaa ja yksinkertaisempaa.

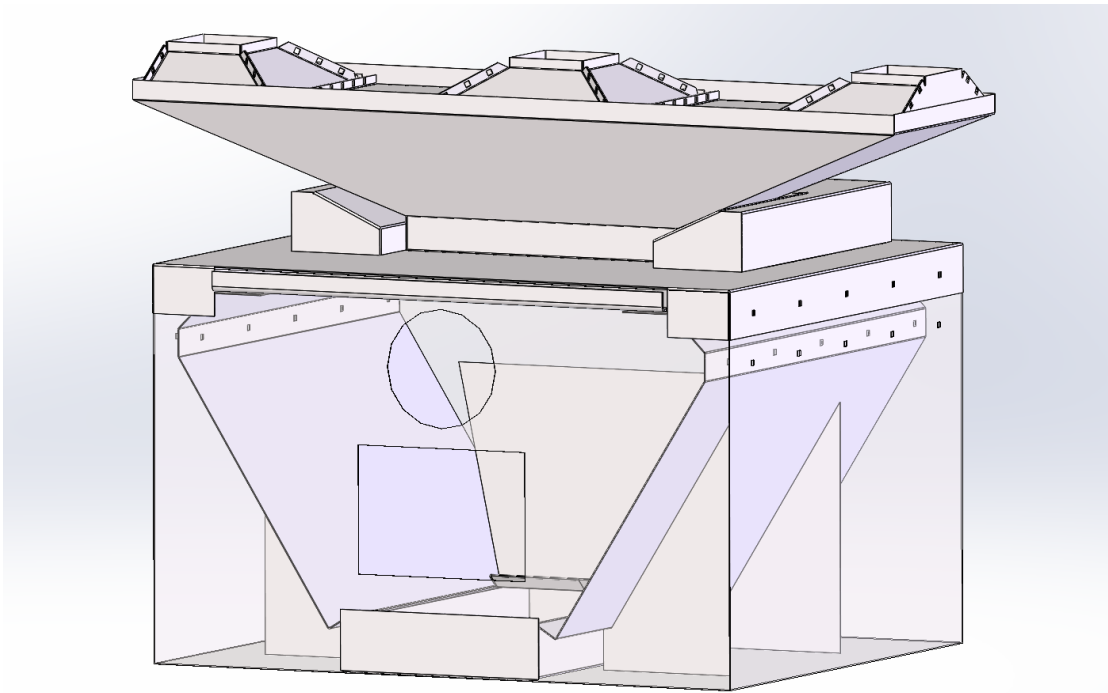
Valmiista malleista luotiin vielä STEP-tiedostot sekä piirustukset. STEP-tiedostot ovat ISO 10303-standardin mukaisia tiedostoja, joita käytetään 3D-mallien suunnittelussa ja jakamisessa. Tämän tyyillisillä tiedostoilla voidaan jakaa koko 3D-malli tarkkaa tulkintaa varten, joka ei välttämättä ole mahdollista pelkästään annettujen mittojen avulla. Näitä tiedostoja voidaan avata ja luoda useimmilla yleisillä 3D-mallinnusohjelmistoilla. (Adobe.com 2023.) Piirustukset ovat puolestaan kuvia 3D-malleista 2D-kuvana. Näissä kuvissa näkyy osien tai kokoonpanojen kuva tai kuvia halutusta kuvakulmasta ja yleensä niihin lisätään mitat kuvissa oleviin osiin. Piirustukset ovat helposti ja nopeasti tulkittavia, joten ne ovat hyödyllisiä osien valmistuksessa.

Polttotilan suunnittelussa käytettiin lähtökohtana projektin laitoksen aiempien testien käyttämiä polttotiloja. Nämä olivat yksinkertaisia metallilaatikoita, joihin syötetään haketta ja se poltetaan niiden sisällä. Näihin laatikoihin ohjataan puhaltimelta palamisilmaa ja niiden päältä lähtee johteet reaktoriin. Kyseiset laatikot olivat kuitenkin turhan ohuita ja ne ruostuivat todella nopeasti, joten materiaali ja sen paksuus täytyi muuttaa. Myös kokoluokkaa haluttiin kasvattaa, jotta tilaan saataisiin tarvittava eristysmateriaali. Polttotilan koko oli kuitenkin rajoitettu, jotta se mahtuisi sille suunniteltuun tilaan. Koska projektiin haluttu käyttötarkoitus on niin omalaatuinen, täytyi polttotila suunnitella itse.

Työssä käytettävä poltin on suunniteltu toimimaan kattilassa, jossa sen hyötysuhde ja toiminta on erittäin tarkasti testattu ja varmistettu. Tässä projektissa ei kuitenkaan käytetä kattilaa ollenkaan, vaan tarkoituksena on hyödyntää palamistilassa lämmitetty ilma suoraan. Tällainen käyttö stokerille on hyvin epätavallista. Projektin tiukka budjetti sekä nopea aikataulu olivat myös oleellisia aiheita, jotka piti pitää mielessä suunnittelun aikana.

Haasteista ja käyttötarkoituksesta johtuen, polttotilan suunnittelussa piti varmistaa, että se olisi toimivuuden lisäksi mahdollisimman yksinkertainen, helppo valmistaa ja kasata sekä kohtuullisen hintainen. Ja koska projektin laitoksen tarkoituksena on toimia jatkuvasti, suunnittelussa oli myös tärkeänä osana tehdä polttotilasta helposti korjattava tekemällä osista helposti vaihdettavia. Tällä tavoin voidaan testata laitoksen sekä polttotilan toimintaa mahdollisimman paljon ennen kuin siirrytään suunnittelemaan uutta versiota.

Polttotilan suunnittelussa ensimmäisenä piti suunnitella pesä, jossa palaminen tapahtuu. Kuvassa on polttopesän kokoonpano, josta näkee kaikki pesään tulevat osat (kuva 10). Pesän tarkoituksena on varmistaa, että palaminen tapahtuu turvallisesti sen sisällä sekä minimoida hukkaenergia. Polttopesä toimii myös runkona, johon muut osat asennetaan.



KUVA 9 Polttopesän kokoonpanokuva. Kuvassa myös kanava jako pesän päällä.

Suunnittelussa oli tärkeää pitää polttotila yksinkertaisena sekä helposti kasattavana ja purettavana. Tämä johtui nopeasta aikataulusta ja siitä, että mahdolliset korjauksien tarpeet voitaisiin suorittaa nopeasti ja tehokkaasti. Polttotilan täytyi olla helposti korjattava, sillä sen varsinainen testaus onnistuisi vasta kun itse laitos on käytännössä täysin valmis, ja jos jokin osa hajoaa tai jos löytyy ongelmakohtia, niiden korjaaminen tai paikkaaminen on huomattavasti helpompaa, halvempaa sekä nopeampaa kuin uuden kokonaisen pesän tilaaminen. Jotta polttopesän osien vaihtaminen

ja korjaaminen olisi mahdollisimman helppoa, päädyttiin käyttämään pulttiliitoksia rakenteen pääkiinnitys menetelmänä yksinkertaisuuden vuoksi. Mahdollinen toinen ratkaisu olisi ollut suunnitella erilaisia liitoskohtia, joihin liitettävät osat istutetaan ja lukitaan tai kiristetään erilaisilla lukitsimillä. Tähän kuitenkin ei riittänyt aika, sillä projektin aikataulu oli hyvin kiireinen.

Pesä on suunniteltu siten, että sen ulkorakenne ei lämpenisi juurikaan energiahukan minimoimiseksi ja mahdollisten tapaturmien minimoimiseksi. Tavoitteena on pitää lämpö sisä rakenteessa, josta lämmitetty ilma ja savukaasut ohjataan pesän päällä oleviin kanaviin.

Pesä itsessään koostuu kolmesta levystä. Pesän sivut ja pohja on yksi taivutettu levy, johon etu- ja takalevyt on kiinnitetty hitsaamalla. Sivuissa on kaksi riviä pultti reikiä, joista ylempi rivi on tarkoitettu katon kiinnitykseen ja alempi rivi on puolestaan tarkoitettu pesän sisä rakenteen tukemiseksi ja kiinnittämiseksi. Katto on puolestaan erillinen osa, joka asennetaan pesän päälle ja kiinnitetään ruuviliitoksilla. Katon päälle tulee suoraan kanava jako osa sekä laatikko, joka on täytetty villalla katon rakenteen suojaamiseksi.

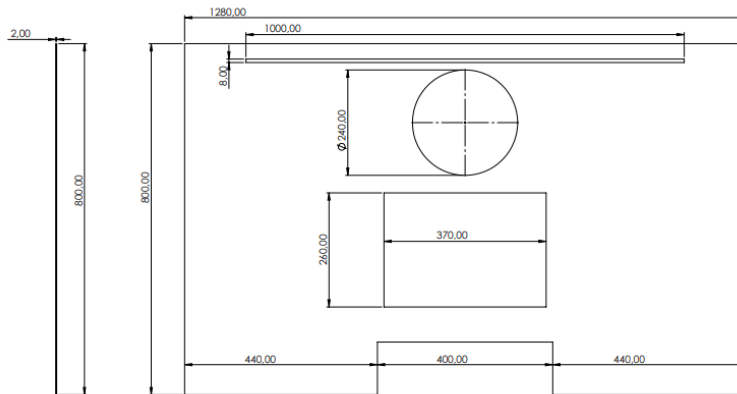
Polttopesän sisälle tulee erillinen rakenne, joka istuu pesän sisällä tukien päällä ja kiinnitetään pitkällä muttereilla ja pulteilla. Tarkoituksena on minimoida lämmön siirtyminen ulkorakenteeseen konduktion, eli johtumisen avulla. Sisä rakenteen päälle istutetaan niin sanottu ”uhrilevy”, jonka tarkoituksena on ottaa vastaan polttimesta tuleva energia ja ohjata sitä ylöspäin kanavan suuntaan. Polttopesän sisällä on myös toinen uhrilevy, joka sijaitsee ennen kattoa. Tämän tarkoituksena on ottaa vastaan polttimelta nouseva energia ja minimoida siitä aiheutuvat mahdolliset vahingot kattoon sekä ohjata se kanavalle. Pesän pohjalla on vielä yksinkertainen tuhkalaatikko.

Pesän materiaalina käytettiin pääosin 2 mm paksua ferriittistä terästä (laatu 1.4003), uhrilevyihin käytettiin 5 mm paksua samaa ferriittistä terästä. Materiaali valittiin sen ruostumattomuuden ja kohtuullisen hinnan perusteella.

5.1 Etulevy

Polttopesän etulevy (kuva 11) on yksinkertainen levy, jossa on liitoskohdat polttimen päälle, kier-toilmalle, tuhkalaatikolle sekä uhrilevyille. Polttimen pää asennetaan neliömäisestä reiästä ja se lepää etulevyä vasten.

Kiertoilman reikä on tarkoitettu sitä varten, että jos laitoksesta tuotettu pyrolyysissä syntyvä energia on tarpeeksi, sitä voidaan mahdollisesti kierrättää takaisin polttopesän kautta reaktion ylläpitämisen tehostamiseksi. Tätä ei ole kuitenkaan vielä testattu, joten reikä on toistaiseksi käyttämätön ja se on suljettu.



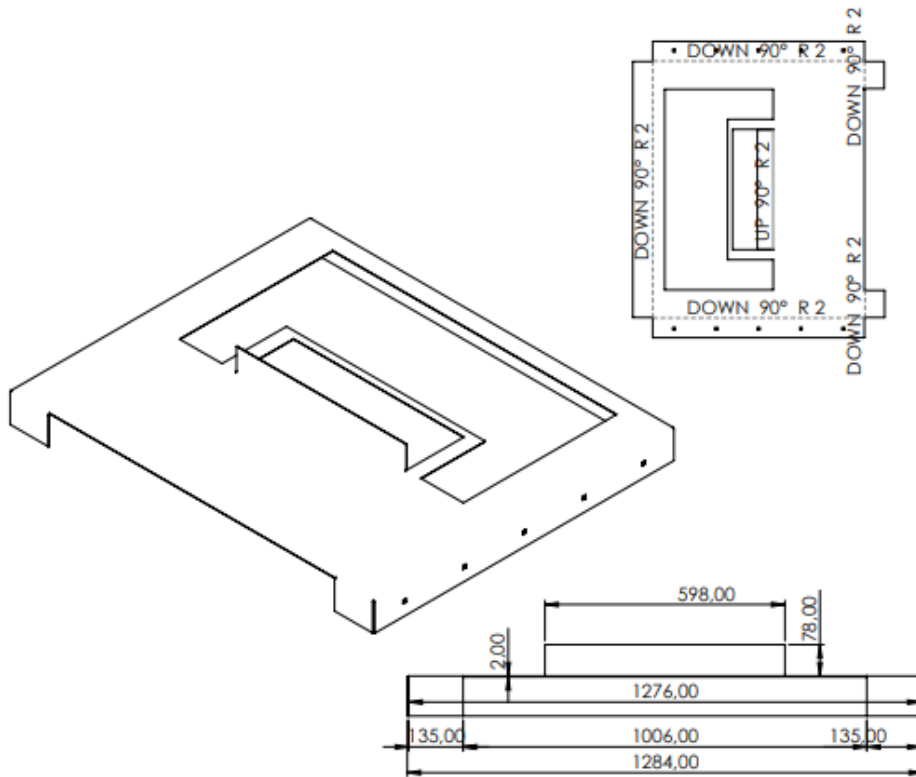
KUVA 10 Etulevy.

5.2 Katto

Polttopesän katto (kuva 12) on yksinkertainen teräslevy, jonka reunat on taivutettu alaspäin. Katto on mitoitettu siten, että sen taivutetut reunat ovat tiiviisti polttopesän reunoja vasten. Reunat on hitsattu toisiinsa kiinni kulmista ja sivuille tuleviin reunoihin on tehty reiät pulteille, jotka vastaavat polttopesän reunojen pulttien reikiä. Katon kiinnitykseen hitsataan pesän sisärakenteen reikien sisäpuolelle mutterit ja pultit kiinnitetään ulkopuolelta. Käytännössä pulttiliitosta ei tarvita, sillä katto on niin raskas, että se painautuu tiukasti pesää vasten.

Katossa on myös reikä kanavalle, savukaasun ja kuuman ilman siirtoa varten, sekä sen päälle asennetaan laatikko, jonka sisällä on villaa. Villalaatikkoa käytetään, koska kattoon vasten oleva uhrilevy ei yllä tarpeeksi pitkälle polttopesässä, joten haluttiin jokin muu ratkaisu katon kestävyys- ja eristämisen parantamiseksi. Kanavan reiän edustalla on ylöspäin taivutettu pala, joka on jäännös

alkuperäisistä suunnitelmista, jossa materiaalia yritettiin käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Ideana oli, että kanavan voisi kiinnittää siihen pulteilla. Lopullisesta pesästä kuitenkin leikattiin se osa pois, sillä se oli tarpeeton.



KUVA 11 Katto

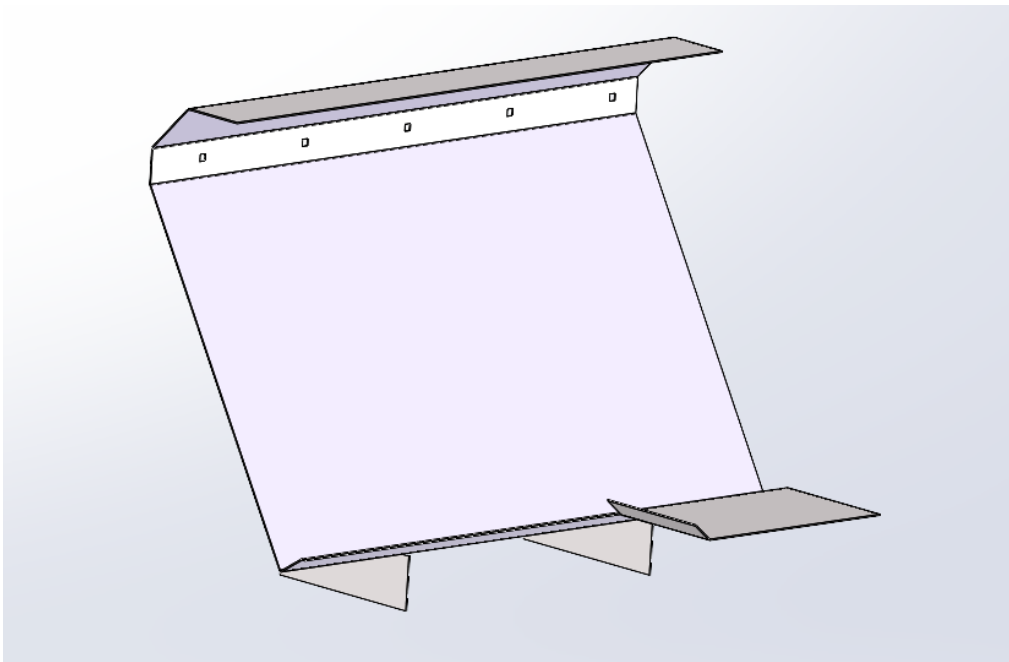
5.3 Sisärakenne

Pesän sisärakenteen (kuva 13) suunnittelussa oli useita eri haasteita, kuten konduktion estäminen ulkorakenteeseen sekä sen muotoilu tiilien kannattelua ja energian suuntaamista varten. Sisärakenne koostuu kahdesta taivutetusta teräslevystä ja niiden tukijaloista. Teräslevyt ovat peilikuvia toisistaan, ja ne on hitsattu toisiinsa keskellä olevasta väliosasta. Levyjen taivutus suunniteltiin siten, että se ohjaisi polttopesän sisälle tuleva lämpö ylöspäin ja ylhäältä kohti kanavaa. Levyjen väliin syntyvästä kohdasta on taivutettu pieni läppä, jonka tarkoitus on pitää uhrilevyä paikallaan.

Sisärakenne erotettiin mahdollisimman hyvin pesän ulkorakenteesta asentamalla sen pohjalle kaksi tukijalkaa molemmille puolille. Näitä jalkoja ei ole hitsattu kiinni pesän pohjaan, vaan koko sisärakenne on irtaimena pesän sisäpuolella. Tällä tavoin jalkojen alle voidaan asettaa tarpeen vaatiessa eristys ainetta, jotta saataisiin vähennettyä lämmön johtumista vielä lisää. Sisärakenteen

ja ulkorakenteen väliin myös asennettiin 50 mm:n paksuinen lämpöä hyvin kestävä villakerros eristeeksi.

Sisärakenne kiinnitetään ulkorakenteeseen kuitenkin sen yläosasta pulteilla, että rakenne ei liikkuisi vapaasti pesän sisällä. Tällä tavoin saimme varmistettua, että sisärakenne on aina mahdollisimman keskellä polttopesää. Kiinnitys myös estää lämpölaajenemisesta johtuvan liikettä, sekä tukee rakenteen kestävyyttä. Sisärakenne suunniteltiin myös kannattelemaan tulitiiliä eristysmateriaalina, joten sen tuli olla riittävän tukeva kantamaan noin 70 kg:n lisäkuorma.

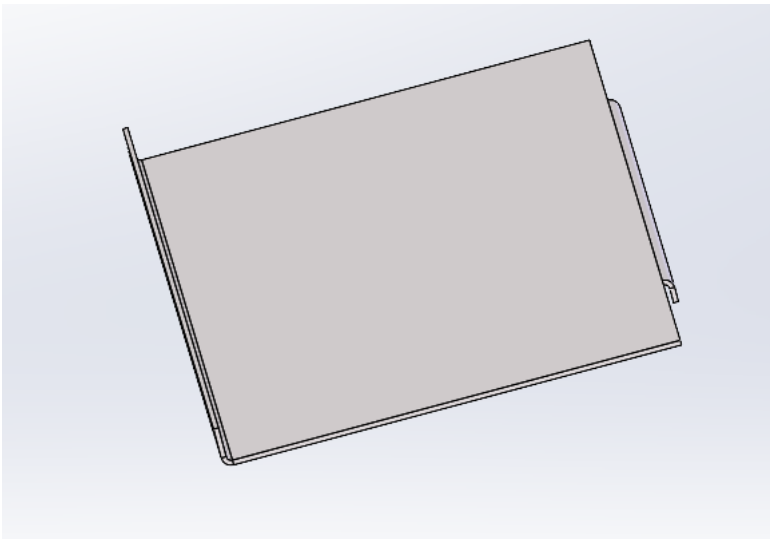


KUVA 12 Sisärakenteen toinen puoli.

5.4 Uhrilevyt

Koska polttopesän suunnittelu oli hyvin kiireinen tehtävä ja projektin budjetti oli rajallinen, täytyi suunnittelun aikana tehdä päätöksiä, joiden avulla pesä olisi käyttökelpoinen mahdollisimman varmasti ilman perusteellisen testauksen mahdollisuutta. Tämän takia päädyttiin käyttämään niin sanottuja uhrilevyjä. Nämä levyt on tarkoitettu ottamaan vastaan suurin energiamäärä pesän sisällä ja niiden on tarkoitus kestää se mahdollisimman hyvin, joten ne on valmistettu paksummasta teräksestä kuin muut polttopesän osat. Suurin etu uhrilevyissä on kuitenkin se, että ne voidaan vaihtaa todella helposti.

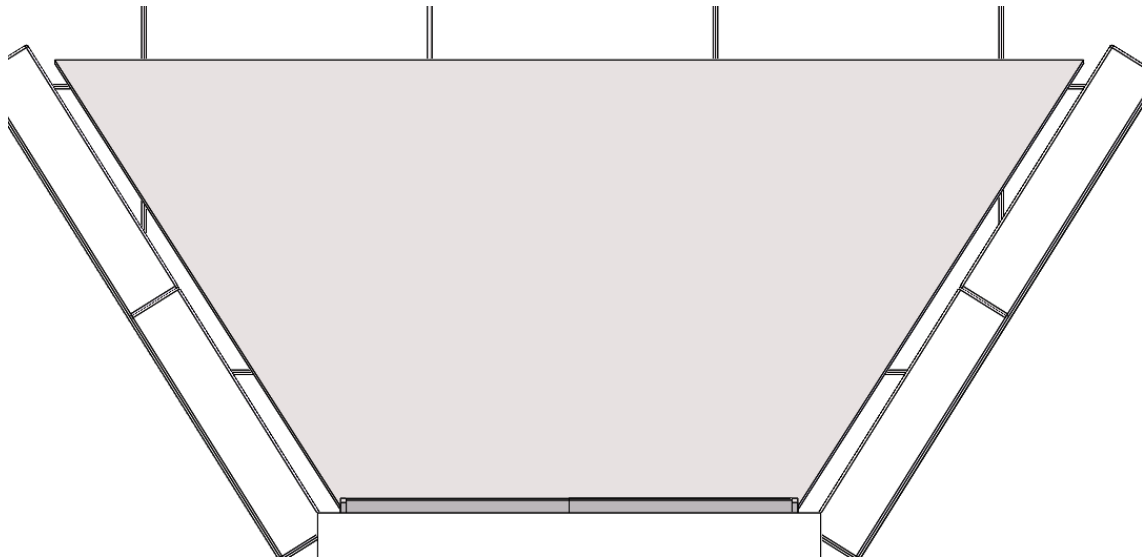
Ensimmäinen uhrilevy asennetaan etulevyn yläosassa olevasta lovesta katon ja suoraan polttimen pään yläpuolelle (kuva 14). Uhrilevy on taivutettu molemmista päistä siten, että se kannattelee itseään polttipesän etupuolta vasten ja että sen peräpää ohjaa pesän sisällä olevaa lämpöä kanavalle. Levy asennetaan asettamalla sen perällä oleva ohuempi taitos etulevyn lovesta sisään ja se sitten taitetaan eteenpäin. Levyn etupuoli puolestaan estää sen putoamista pesän sisään ja toimii kahvana, josta sitä voidaan vetää.



KUVA 13 Uhrilevy katon ja polttimen välissä.

Toinen uhrilevy (kuva 15) puolestaan asennetaan polttipesän perälle. Sen tarkoitus on ottaa vastaan ja kääntää polttipesään tulevan kuumen ilman ja savukaasun virtausta ylöspäin. Kovan rasituksen takia, levy suunniteltiin kannattelemaan tiiliä vielä ylimääräisenä suojana.

Levy on suunniteltu sopimaan sisärakenteen muodostamaan muotoon. Levy istuu sisärakenteen keskiosassa olevan lipan päällä ja lepää sisärakenteen päällä olevia tiiliä vasten.



KUVA 14 Uhrilevy polttopesän perällä.

5.5 Tiilet

Polttoposän sisärakenteen suojaamiseksi käytettiin tavallisia tulitiiliä. Niiden tarkoitus on minimoida sisärakenteeseen aiheutuva kuormitus polttimesta. Sisärakenne oli suunniteltu siten, että tiilet voidaan asentaa yksinkertaisesti lepäämään niiden sen päälle (kuva 16). Tiilien lisäksi sisärakenteen yläosaan asennettiin villa kerros, koska sisärakenne taittuu sisään päin, mikä estää tiilien järkevän asennuksen. Myös uhrilevyn yläpuolelle asennettiin tanko, joka on vuorattu villalla.

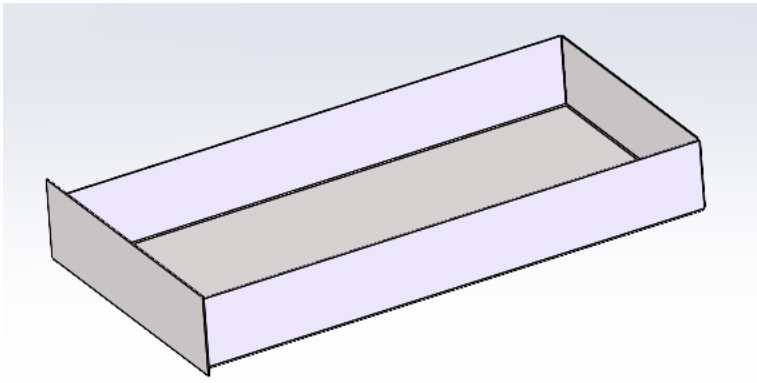


KUVA 15 Tiilien asettelu polttopesään.

5.6 Tuhkalaatikko

Tuhkalaatikon tehtävänä on kerätä polttopesään saapuva tuhka. Se on tärkeä osa pesän toimintaa, sillä kasaantuva tuhka heikentää pesän toimintaa ja lopulta estää sen, ellei sitä poisteta jatkuvasti riittävän tehokkaasti. Ilman tuhkalaatikkaa tai muuta tuhkan poisto menetelmää, pitäisi pysäyttää laitoksen toiminta jatkuvasti tuhkan poistamista varten.

Polttopesän tuhkalaatikko (kuva 17) on suunniteltu hyvin yksinkertaisesti. Se koostuu yhdestä levyistä, joka on leikattu ja taivutettu laatikon muotoon. Laatikon etuseinämä on leveämpi ja korkeampi kuin muu laatikko, mikä estää sen joutumisen polttopesän sisäpuolelle vahingossa ja helpottaa reiän eristyksessä. Laatikkoon on myös myöhemmin lisätty terästangosta taivutettu kahva, mutta sitä ei ole piirrustuksissa.



KUVA 16 Tuhkalaatikko.

5.7 Kanava

Haastavin osa polttopesän suunnittelussa oli kanavasuunnittelu. Suurin haaste oli saada kanavasta oikean kokoinen, sillä laitoksen testi alueen ja loppusijoitus paikan maaperät olivat eri tasaisia. Lisäksi laitokseen tuli myöhemmin pieniä muutoksia, jotka vaikuttivat suoraan kanavan maksimi korkeuteen. Myös muotoilu oli haasteellista, koska kanava tehtiin eri kulmiin taivutetusta pelleistä, jotka olivat hyvin riippuvaisia toisistaan. Ohutmetallimallinnus oli silloin täysin uusi asia minulle, joten siitä aiheutui haasteita.

Laitoksessa on jokaisessa reaktorissa kolme riviä materiaalia, jota täytyy kuumentaa. Tämän saavuttamiseksi ja laadun tasaisuuden parantamiseksi täytyy energia jakaa mahdollisimman hyvin jokaiselle riville.

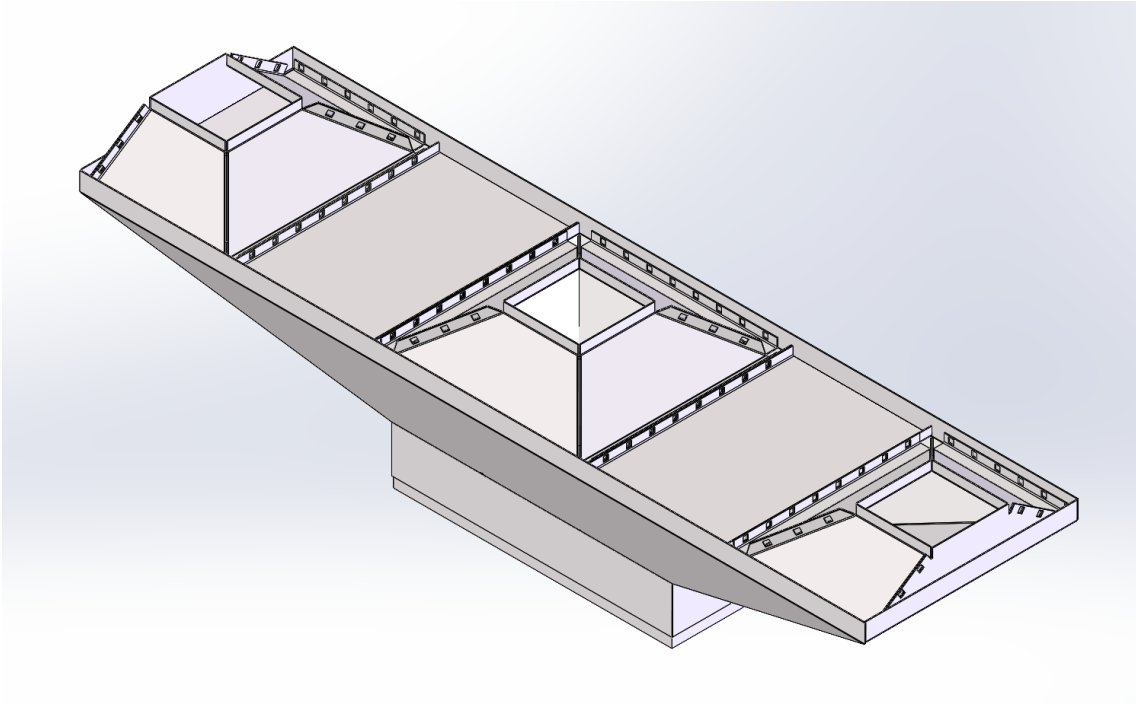
Kanava (kuva 18) koostuu kahdesta runko osasta, kolmesta jako huuvasta ja niiden välikappaleista sekä savukaasunjako-osasta. Kanavan sisällä on myös kaksi jakolevyä, jotka estävät savukaasujen pääsyn kanavan toisiin osiin.

Toinen runko osista muodostaa kanavan takaseinän ja reunat, toinen levyistä on puolestaan kanavan etulevy. Runko osat kiinnitetään toisiinsa pulttiliitoksilla, joita varten on reunat muodostavaan osaan hitsattu kulmatanko, joka on taivutettu vastaamaan rungon muotoa.

Kanavan päällä olevien huuvien on tarkoitus ohjata savukaasut suoraan laitoksen reaktorin sisään. Huuvat on suunniteltu yksinkertaisilla pulttiliitoksilla, sillä mikäli ne hajoavat, täytyy pystyä korjaamaan ne mahdollisimman helposti. Huuvat on muotoiltu mahdollisimman symmetrisiksi, joten jokainen samanmuotoinen osa on vaihtokelpoinen muiden samanlaisten osien kanssa. Tämä helpottaa kasaamista sekä valmistuksen hinta pienenee. Huuvien välissä on välilevyt, joiden tarkoitus on tukea kanavan rakennetta sekä toimia kantena kohdissa joihin huuvat eivät yllä. Välilevyjen sijasta huuvat olisi voinut muotoilla eri muotoisiksi, mutta se olisi ollut huomattavasti haastavampaa sekä aikaa vievämpää. Huuvat asennetaan runkoon pulttiliitoksilla, mutta koska suunnitteluvaiheessa ei ollut vielä täysin selkeätä, kuinka paljon varaa on korkeus suunnassa, niin kuvaan ei vielä ole piirretty vastaavia pultin reikiä.

Savukaasun jako osa on pala kanavan pohjassa, joka tulee polttopesän sisään ja kanavan rungon sisään. Sen tarkoituksen on toimia säätökappaleena, jonka avulla voidaan säätää, kuinka paljon energiaa menee kullekin huuvalle. Ideana oli yksinkertaisesti se, että suurin määrä energiasta todennäköisesti menee keskimmaiselle huuvalle, joten jos sen huuvan suuaukkoa kuristetaan, voidaan vähentää sinne pääsevän savukaasun määrä verrattuna reunoilla oleviin huuviin. Tällä tavoin voitaisiin optimoida reaktorin tasaista toimintaa.

Kanavan käyttöön ottaessa päädyttiin kuitenkin käyttämään putkia, jotka kulkevat kanavan sisällä ja menevät suoraan reaktoriin polttopesästä. Kanavia siis ei käytetä niiden alkuperäiseen käyttötarkoitukseen lopullisessa laitoksessa. Ne eivät kuitenkaan ole täysin turhia, vaan niitä käytetään eriste kotelona sekä tukirakenteena savukaasuputkille.



KUVA 17 Kanava osa.

6 POLTTIMEN JA POLTTOPESÄN ASENNUS LAITOKSEEN

Projektissa käytetty biohiililaitoksen reaktorit on asennettu yksinkertaisuuden vuoksi konttirakenteeseen. Kontti on istutettu betonipalikoista laaditun alustan päälle 120 cm korkeuteen ja tähän jalustaan on jätetty kohdat polttopesää varten, suoraan reaktorien alle. Reaktoreissa istuvat biohiili panokset ovat asetettu kolmeen riviin ja jokaisen rivin alapuolelta lähtee reikä suoraan kontin pohjalle. Nämä reiät on kohdistettu siten, että ne sopivat polttopesän kanavan päällä olevien huuviin kohdalle. Koska reikien oikea kohdistaminen oli erittäin kriittistä, täytyi polttopesä asentaa erittäin tarkkaan oikeaan kohtaan. Kuvassa 19 näkyy polttopesän asennus laitokseen.

Kun polttopesä on asennettu oikeaan kohtaan, asennetaan reaktorin kautta liitoskappale huuviin päälle, joka ohjaa polttimesta tulevan energian kohdistetusti reaktorissa olevien panosten alle. Reaktorin katossa on huuva, jonka on tarkoitus ohjata reaktorissa syntyvä lämpö takaisin polttopesään ja kierrättää tämä energia uudestaan reaktorissa. Tällä tavoin voitaisiin hyödyntää pyrolyysistä syntyvä lämpöenergia ja vähentää polttimen käyttötarvetta, mikä säästäisi polttoainetta. Tämä on kuitenkin vielä testaamaton ja sen suunnittelu on vielä kesken, joten se ei ole käytössä.



KUVA 18 Kanavan liittäminen reaktorin pohjaan.

Poltin asennetaan hyvin yksinkertaisesti polttopesään. Polttopää sijoitetaan polttopesän etulevyssä olevasta neliskanttisesta reiästä ja se istuu polttopesän sisällä ja väliin asennetaan villaa tiivisteeksi energiahukan minimoimiseksi (kuva 20).



KUVA 19 Polttimen asennus polttopesään.

7 POHDINTAA

Polttimen testauksen tavoitteena oli selvittää, saadaanko polttimesta sen verran tehoa kuin polttimen toimittaja ilmoitti ja onko sitä mahdollista saada vielä jopa enemmän. Testauksien tulokset ovat hyvin suuntaa antavia, sillä testiolosuhteet, materiaali sekä välineet olivat kaikki hyvin rajoitettuja. Paremmissa olosuhteissa ja paremmalla välineistöllä voitaisiin saada mahdollisesti hyvinkin tarkat tulokset. Saaduista tuloksista kuitenkin nähdään, että tehoa pitäisi olla saatavilla noin 176,5 kW, mikä on selkeästi enemmän kuin toimittajan antama 120 kW. Ero johtuu siitä, että työssä mitatun arvon testauksessa polttimelle syötetään materiaalia yli kaksinkertainen määrä verrattuna asetusarvoihin. Myös olosuhteet sekä menetelmät ovat hyvin erilaiset, joten tuloksissa on pakosta vaihtelua.

Polttotilan suunnittelu oli haastavaa johtuen käyttötarkoituksen ainutlaatuisuudesta sekä vähäisestä kokemuksesta 3D-suunnittelussa, minkä takia monet pienet asiat jäivät huomaamatta suunnittelun aikana. Projektin laitokseen saattoi tulla sen valmistuksen aikana oleellisia muutoksia, joista aiheutui pieniä ongelmia, jotka täytyi korjata osien jo saavuttua. Kun osat ja polttopesät saapuivat, huomattiin välittömästi useita kehitys- ja parannuskohteita suunnittelussa.

Suunnittelussa oli tärkeää, että pidettiin asiat mahdollisimman yksinkertaisina. Kuitenkin käytännöllisyyden takia olisi mahdollisesti ollut järkevämpää tehdä pesästä eri muotoinen. Esimerkiksi etulevy voitaisiin taivuttaa polttimen liitos kohdan jälkeen pieneen kulmaan sisäänpäin, mikä antaisi enemmän tilaa siihen tuleville muille liitoksille sekä ohjaisi pesässä olevaa energiaa kohti kanavaa. Nykyisessä versiossa oleva liitoskohta on polttimen puhaltimien takia estetty, joten sen käyttö on käytännössä mahdotonta.

Kanavien rakenteesta tuli suunnittelun aikana turhan monimutkainen. Koska päädyttiin käyttämään putkia kanavan sisällä, olisi ollut huomattavasti helpompaa tehdä vain yksinkertainen kotelo rakenne, johon voidaan asentaa eristettä putkien suojaamiseksi. Mikäli kanavan sisälle ei haluta putkia, olisi sen päällä olevat huuvut hyvä suunnitella yksinkertaisemmin ja ilman ylimääräisiä pultiliitoksia. Pulttiratkaisu on paljon huonompi kanavan tiiveyden kannalta, johtaen enemmän häviöihin. Pultiliitoksen hyöty on myös kyseenalaista, sillä jos huuviin tulee vahinkoa, niin täytyy todennäköisesti korvata kaikki sen osat joka tapauksessa.

Pesän katossa oleva villalaatikko on myös mahdollisesti ylimääräinen polttopesässä ja sen tilalla voisi olla yksinkertaisesti toinen uhrilevy. Villalaatikon muoto vaikutti myös kanavan suunniteluun tekemällä siitä monimutkaisempaa.

Tuhkalaatikon suunnittelu sekä sen toiminta jäi erittäin yksinkertaiseksi. Laatikko on vain hyvin yksinkertainen päältä avoin laatikko, johon tuhka putoaa polttimen toiminnan aikana. Tuhkalaatikon liike on hyvin vapaata ja se rajoittuu pääasiassa pelkästään sen etuosan avulla. Liikkeen rajoitukseen voitaisiin käyttää trukkipiikeille tarkoitettuja putkipalkkeja, tai asentaa jonkinlaiset kiskot pesään laatikon reunoille. Paras ratkaisu olisi kuitenkin suunnitella jonkinlainen automaattinen tuhkanpoistomenetelmä.

Pesään ei suunnittelun aikana huomattu lisätä trukin nostopiikeille tarkoitettuja nostokohtia. Tämän takia pesiä täytyi kuljettaa niiden pohjasta. Ongelmia syntyi, kun pesät piti asentaa laitoksen alle, sillä laitoksen alla ei ollut tilaa pesälle, jos se oli trukin piikkien päällä. Seuraavaan versioon laitetaan paksut trukin piikeille sopivat neliskanttiset putkipalkit polttopesän pohjaan ja läpi sen etuseinästä sekä takaseinästä. Tämä helpottaa huomattavasti polttopesän asennusta ja kuljettamista. Palkit myös vahvistaisivat pesän rakennetta ja toimisivat liikkeen rajoittimina tuhkalaatikolle.

Polttimen asennuksen suurin ongelma oli se, että polttimen polttopäähän kuuluu paksu kaareva metallinen kilpi, joka istuu polttopään päällä. Suunnittelun aikana, kilpi ei ollut ongelma, koska suunnittelussa se laskettaisiin polttopään päälle siten, että polttimen katto on irrallaan. Käytännössä kuitenkin tämä oli mahdotonta, koska pesän päälle tuleva laitos oli paikoillaan ennen polttopesää, joten kannen irrottaminen ei ollut enää mahdollista laitoksen alla. Tämän syystä kilven asentaminen täytyi tehdä roikuttamalla sitä pesän sisällä ennen, kun polttopää on paikoillaan. Seuraavaan versioon täytyy ottaa huomioon kilven asennus järkevämmiin.

Katto on suunnittelussa mitoitettu siten, että se istuu mahdollisimman tiiviisti pesän päällä. Kanttaukseen ja pesän väliin jätetty 2 mm:n mittavara ei kuitenkaan ollut tarpeeksi suuri, sillä kanttausten hitsauksen jälkeen katon asennus oli todella hankalaa. Ja asennusta hankalampaa oli katon irrottaminen, sillä kattoon ei ollut huomattu suunnitella minkäänlaista tarttumakohtaa, josta sitä voitaisiin nostaa. Jatkossa on järkevämpää antaa enemmän varaa ja asentaa kattoon jonkunlaiset tarttumakohdat, jotta vastaavaa ei tapahdu.

Ongelmana suunnittelussa projektin aikana oli todella tiukka aikataulu. Tämän takia päädyttiin paljon hyvin nopeisiin, yksinkertaisiin ja helposti paikattaviin ratkaisuihin. Materiaalin paksuus päätettiin testijakson aikana käytettyjen uunien perusteella, sillä ne toimivan pitkässä, noin kuukauden jatkuvassa testikäytössä, riittävän hyvin. Osien suunnittelussa oli tärkeänä tekijänä niiden korjattavuus sekä vaihdettavuus. Näillä tavoin pystyttiin tekemään suunnittelua mahdollisimman pienellä riskillä ja päästiin eteenpäin hyvin nopeasti. Vaikka tämä menetelmä on tarpeeksi hyvä laitoksen toiminnan kannalta, olisi hyvä jatkossa investoida lisää aikaa tutkimustyöhön sekä testaukseen, mikäli mahdollista. Riittäväällä tutkimustyöllä voitaisiin päästä eroon ylimääräisistä osista, sekä optimoida polttopesän ja polttimen toimintaa, mikä parantaisi laitoksen hyötysuhdetta ja laskisi kustannuksia pitkällä aikavälillä.

LÄHTEET

Ala-Talkkari.fi. Veto-turvehakemaatti tuotesivu. Hakupäivä 23.3.2023. <https://ala-talkkari.fi/veto-turvehakemaatti/>.

Ala-Talkkari.fi. Tuoteseloste. Hakupäivä 23.3.2023. <https://drive.google.com/file/d/1Nlo2rmYMm-ZpHyoCYnXe3ogVD-FLxNSu/view>.

Adobe.com. Step-tiedostot. Hakupäivä 15.4.2023. <https://www.adobe.com/fi/creativecloud/file-types/image/vector/step-file.html>.

Alakangas Eija. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 2045. Hakupäivä 28.5.2023. <https://www.motiva.fi/files/685/t2045.pdf>.

Basu Prabir Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction (Second Edition), Elsevier, 2013.

Bioenergia.fi. Biohiili. Hakupäivä 12.4.2023. <https://www.bioenergia.fi/biohiili/#hiilensidonta>.

Hyötykasviyhdistys.fi. Biohiilen käyttö. Hakupäivä 12.4.2023. <https://hyotykasviyhdistys.fi/puutarhatieto/biohiilen-kaytto/>.