

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK), tuotantotalous

2022

Aatu Lehtinen

Pelletin hyödyntäminen turvepolttoaineen vähentämiseksi leijupetikattilassa

Opinnäytetyö | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), tuotantotalous

2022 | 49 sivua

Aatu Lehtinen

Pelletin käyttäminen turvepolttoaineen vähentämiseksi leijupetikattilassa

Opinnäytetyö toimeksiantaja oli Stora Enso Oyj:n Heinolan Flutingtehdas. Tavoitteena oli selvittää teknisen koeajon avulla, kuinka pelletti soveltuu turvetta korvaavaksi polttoaineeksi tehtaan voimalaitoksen leijupetikattilassa (Primäärikattila 2), nykyisellä laitteistolla. Työssä tutkittiin pelletin käyttäytymistä voimalaitoksen hihnakuljettimilla ja polttoaineen syötössä sekä vaikutukset leijupetikattilaan ja ilmanpäästöihin. Keskeisenä tavoitteena oli selvittää tekijät, jotka rajoittavat pelletin osuutta polttoaineseoksessa. Teknisessä koeajossa pelletin osuus polttoaineseoksessa skaalattiin 0 % -> >20 %.

Stora Enso Oyj vastuullisena yhtiönä pyrkii eroon turpeen käytöstä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on osaltaan vauhdittaa ja edistää siirtymää eroon turpeesta.

Teknistä koeajoa pyrittiin tutkimaan laadullisin sekä määrällisin tutkimusmenetelmin. Opinnäytetyö oli toiminnallinen eli tutkiva kehitystyö perustuen kerättyyn dataan sekä tehtyihin havaintoihin. Teknisessä koeajossa mitattiin ja seurattiin useita parametrejä, joiden pohjalta pyrittiin saavuttamaan opinnäytetyölle asetetut tavoitteet. Tekninen koeajo oli kestoltaan 5 päivää.

Tutkimuksen perusteella turpeen osittainen korvaaminen pelletillä nykyisellä laitteistolla on mahdollista. Pelletin todettiin pölyävän merkittävästi nykyisellä syöttömenetelmällä, joka asettaa rajoitteen syöttökapasiteetille sekä nostaa riskejä räjähdys- ja paloturvallisuudessa. Mahdollisena jatkoselvityksenä prosessin ATEX-direktiivin mukaisuuden varmistaminen.

Asiasanat: Pelletti, Turve, Leijupetikattila

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Industrial Management and Engineering

2022 | 49

Aatu Lehtinen

Pellet use in Primary Boiler 2 to decrease usage of peat

This thesis was assigned by Stora Enso Oyj Heinola Fluting Mill. The objective of this thesis was to study the possibility of using pellet as an alternative fuel for peat in primary boiler 2, with current facilities. The thesis studied the behavior of pellets on the belt conveyors and in the fuel supply, as well as the effects on the Bubbling Fluidized-Bed Boiler and emissions. The main objective was to identify the factors limiting the proportion of pellets in the fuel mixture. In the technical test, the proportion of pellets in the fuel mixture was scaled from 0% up to > >20%.

Stora Enso Oyj as a responsible company strives to get rid of the use of peat. The purpose of this thesis was to contribute to acceleration of the transition away from peat.

The goal of the thesis was to study the technical test drive using qualitative and quantitative research methods. The thesis was functional, exploratory development work based on the collected data and the observations made. During the technical test drive, several parameters were measured and monitored. Duration of the technical test drive was 5 days.

Based on the study, partial replacement of peat with pellets, using current equipment is possible. The pellet was found to dust significantly with the current feed method, which imposes a limit on the supply capacity and increases risks in explosion and fire safety. As a possible follow-up study, ensuring the compliance of the process with the ATEX Directives.

Keywords: Pellet, Bubbling fluidized bed boiler, Peat

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	7
1 JOHDANTO	8
2 YRITYSESITTELY – Stora Enso Oyj	9
2.1 Vastuullisuus	9
2.2 Heinolan Flutingtehdas	9
3 ENERGIANTUOTANTO JA POLTTOAINEET	11
3.1 Polttoainetyypit ja lämpöarvot	11
3.1.1 Turve	12
3.1.2 Pelletti	13
3.2 Polttoaineen käsittely	15
3.3 Leijupetikattila	18
3.4 Päästöt	20
3.4.1 Päästöraja-arvon määrittäminen monipolttoaineyksikössä	21
3.4.2 NOx	22
3.5 Päästöjen hallinta	23
4 TEKNINEN KOEAJO JA TULOKSET	25
4.1 Koejärjestelyt ja suunnittelu	26
4.2 Koeajon dokumentointi	29
4.3 Koeajon mittaukset ja havainnot	30
4.3.1 Pelletin käyttäytyminen polttoaineen syötössä	32
4.3.2 Päästöt	38
4.3.3 Lämpötilat	42
4.4 Lietteen ja pelletin seos	44
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	45
Lähteet	48

Kaavat

Kaava 1. Monipolttoainekattilan päästöraja-arvo	21
---	----

Kuvat

Kuva 1. Heinolan Flutingtehdas (Stora Enso Oyj 2022)	10
Kuva 2. Pellettejä	14
Kuva 3. DNA, kiinteä polttoaine	15
Kuva 4. Ruuvitasku ulkopuolelta	16
Kuva 5. Leikkauspiirustus ruuvitaskusta	17
Kuva 6. Leijupetikattila, tärkeimmät komponentit (KnowPulp)	19
Kuva 7. Pellettikasa polttoainekentällä	27
Kuva 8. Ruuvitasku sisäpuoli, pelleteillä syötettynä	33
Kuva 9. Ruuvitaskun pudotus hihnakuljettimelle	34
Kuva 10. Pölyn kertyminen ruuvitaskussa	36
Kuva 11. Kuljetintunneli yläpää	37
Kuva 12. Kulmatornin kuljetinsilta	38
Kuva 13. Lietteen ja pelletin seos	44

Kuviot

Kuvio 1. Metsäteollisuuden polttoaineet 2021 (Metsäteollisuus ry 2022)	11
Kuvio 2. NO _x muodostuminen (Huhtinen ym. 2000, 93)	23
Kuvio 3. Suunnitelma polttoaineseoksesta	28
Kuvio 4. Ruuvitaskun kapasiteetti (m ³ /h)	30
Kuvio 5. Pelletin lämpöarvollinen osuus	31
Kuvio 6. Hiukkaspäästöt ja päästöraja-arvo vertailu	40
Kuvio 7. NO _x -päästöt ja päästöraja-arvo vertailu	41
Kuvio 8. NO _x -päästöt suhteessa polttotehoon ja pelletin osuuteen	41
Kuvio 9. Leijupeti lämpötilat	42

Taulukot

Taulukko 1. Puupolttoaineiden lämpöarvoja (Alakangas 2000, 152–154)	12
Taulukko 2. Stora Enso Pelletit – tekniset tiedot (Stora Enso, Pellets)	14
Taulukko 3. Rikkidioksidipäästöjen raja-arvot (mg/Nm ³)	20
Taulukko 4. NO _x -päästöjen raja-arvot (mg/Nm ³) (2010/75/EU)	21
Taulukko 5. Hiukkaspäästöjen raja-arvot (mg/Nm ³) (2010/75/EU)	21
Taulukko 6. Pellettien suunnitellut toimitukset	27
Taulukko 7. Seuratut muuttujat	29
Taulukko 8. Savukaasupäästöjen raja-arvot (Aluehallintovirasto 2020)	39

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

JIT	Just In Time
kWh	Kilowattitunti
m ³	Kuutiometri
mg	Milligramma
MW	Megawatti
NO _x	Yhteisnimitys typen oksideille
PR2	Primäärikattila 2
SNCR	Selective Non-Catalytic Reduction

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mahdollisuutta korvata osa tehtaan voimalaitoksen käyttämästä turpeesta pelletillä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on olla osaltaan vauhdittamassa ja edistämässä siirtymää eroon turpeesta Heinolan Flutingtehtaalla. Pelletin hyödyntäminen voisi mahdollistaa turpeen käytön vähentämisen ilman investointeja nopeallakin aikataululla.

Tämän opinnäytetyön keskiössä oli suoritettu tekninen koeajo, jonka avulla tutkittiin, kuinka pelletti toimisi käytännössä turpeen korvaajana. Kokeen avulla tarkasteltiin pelletin käyttäytymistä polttoaineensyötössä sekä mahdolliset vaikutukset leijupetiin ja päästöihin. Keskeistä oli selvittää, mitkä tekijät rajoittavat pelletin osuutta polttoaineseoksessa.

Teknisessä koeajossa pelletin osuus polttoaineseoksessa skaalattiin 0 % -> >20 %, korvaten turpeen osuutta. Pellettiä kokeiltiin myös sekoittaa tehtaan jätevedenpuhdistamolla muodostuvan lietteen kanssa, tukemaan lietteen palamista. Lietteiden palamisen vertailu rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle, keskittyen polttoaineensyöttöön teknisessä koeajossa.

Teoriaosuudessa esitellään ja käydään läpi opinnäytetyön aiheeseen liittyvä teoriaa, laitteistoa, polttoaineita ja päästöjä sekä päästörajien vaatimaa hallintaa. Opinnäytetyö sisältää myös toiminnankuvauksen polttoaineensyötöstä.

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Stora Enson Heinolan Flutingtehdas. Opinnäytetyön yhteyshenkilönä SE Heinolan Flutingtehtaan kehityspäällikkö Mikael Sillfors ja opinnäytetyöohjaajana Lehtori Harri Heikkinen (Turku AMK). Erityiskiitokset voimalaitoksen kehitysinsinööri Joonas Ylä-Hemmilälle sujuvasta yhteistyöstä ja saadusta tuesta. Opinnäytetyön toteutusaikataulu oli 09.–12.2022.

2 YRITYSESITTELY – Stora Enso Oyj

Stora Enso on vuonna 1998 perustettu yhtiö, joka kehittää ja valmistaa puuhun ja biomassaan perustuvia ratkaisuja maailmanlaajuisesti monien eri alojen toimijoille ja moniin käyttökohteisiin. Yhtiön ratkaisuja on käytössä monilla aloilla, kuten rakennusalalla, vähittäiskaupassa, elintarvike- ja panimoteollisuudessa, tehdasteollisuudessa, julkaisualalla, lääketeollisuudessa, kosmetiikkateollisuudessa, makeisteollisuudessa, hygieniatuotteissa ja tekstiileissä. Lisäksi Stora Enso on yksi maailman suurimmista yksityisistä metsänomistajista. Konsernissa työskentelee 22 000 henkilöä yli 30 maassa. Vuonna 2021 yhtiön liikevaihto oli 10,2 miljardia euroa (Inderes 2022; Stora Enso Oyj 2022).

2.1 Vastuullisuus

Stora Enso asetti 20.10.2021 uudet vastuullisuustavoitteet vuodelle 2030. Yhtiö sitoutuu päivitettyissä, tieteeseen perustuvissa tavoitteissaan vähentämään toiminnassaan tuotannon suoria hiilidioksidipäästöjä ja ostoenergiaan liittyviä epäsuoria absoluuttisia kasvihuonekaasupäästöjä 50 prosentilla vuoteen 2030 mennessä ilmastopöytäkirjan 1,5 asteen tavoitteen mukaisesti. Vertailuvuotena on 2019. Lisäksi Stora Enso sitoutuu kunnianhimoiseen tavoitteeseen vähentää arvoketjun kasvihuonekaasupäästöjä 50 prosentilla vuoteen 2030 mennessä vertailuvuodesta 2019. (Stora Enso Oyj, 20.10.2021).

2.2 Heinolan Flutingtehdas

Etelä-Suomessa sijaitseva Heinolan Flutingtehdas on integroitu sellu- ja kartonkitehdas, jossa tuotetaan laadukasta puolikemiallista flutingia eli aallotuskartonkia aaltopahviteollisuuden käyttöön. Kuvassa 1. ilmakuva tehtaasta, jonka taustalla näkyy Kymijoki. Tehdas on osa Stora Enson Packaging Materials divisioonaa. Tehdas on perustettu vuonna 1961 ja se työllistää 190 henkilöä. (Stora Enso Oyj, viitattu 27.9.2022).



Kuva 1. Heinolan Flutingtehdas (Stora Enso Oy 2022)

Heinolan Flutingtehtaan voimalaitoksen tuotanto jakaantuu seuraavasti; höyryä (~70 %) sekä sähköä (~20 %) tehtaan toimintoihin. Lisäksi syntyy kaukolämpöä (~10 %), jota jakelee Heinolan alueen kaukolämpöverkkoyhtiö Loimua Oy (entinen Elenia Lämpö Oy) Heinolan kaupunkiin. Prosessissa syntyy myös vettä tehtaan omaan käyttöön.

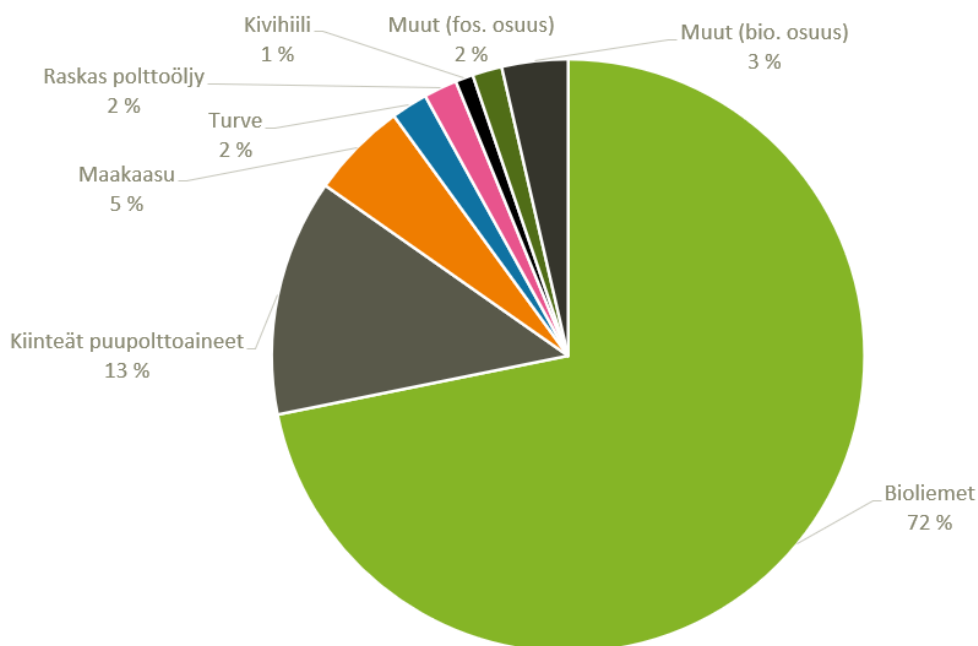
Voimalaitoksen pääasialliset kattilat ovat Tampellan valmistamat 1984 ja 1990 käyttöönotetut primäärikattila 2 (PR2) ja soodakattila 2 (SK2). PR2 käytetyt polttoaineet; turve 55 %, kuori 23 %, metsähake 21 %, muut 7 %. PR2 polttoaineteho 120 MW. SK2 polttoaineena 99 % mustalipeä, tukena öljy 1 % käynnistyksessä ja alasajossa. SK2 polttoaineteho 37 MW. Lisäksi tehtaalta löytyvät muut kattilat ovat sähkökattila ja rikkiuuni, jonka perässä jätelämpökattila. Sähkökattila toimii varalla ja sitä käytetään lähinnä seisokkien aikana kaukolämpöön sekä öljyn/veden lämmitykseen. Tuottaa myös starttihöyryä ylös ajoin. (Ylä-Hemmilä J. 2022).

3 ENERGIANTUOTANTO JA POLTTOAINEET

Teoriaosuudessa esitellään ja käydään läpi opinnäytetyön aiheeseen liittyvää teoriaa, Flutingtehtaan laitteista sekä metsäteollisuuden polttoaineita. Yleistä teoriaa on täydennetty tehdaskohtaisilla tiedoilla taustoittamaan suoritettua teknistä koeajoa. Teoriaosuuden lähdeaineisto koostuu alan tietokirjallisuudesta, artikkeleista, tutkimuksista sekä Stora Enso Heinolan Flutingtehtaan sisäisestä materiaalista.

3.1 Polttoainetyypit ja lämpöarvot

Metsäteollisuus ry julkaisee vuosittain Tilastokeskuksen keräämän koonnin tehdaspolttoaineiden osuuksista, joka on esitetty kuviossa 1. Bioliemet kattoivat 72 % polttoaineista. Bioliemiin kuuluu erilaisia lietteitä sekä mustalipeä, jota syntyy kemiallisen sellun valmistuksen sivuvirtana. Metsäteollisuuden tehdaspolttoaineista uusiutuvia oli 87 % vuonna 2020 (Metsäteollisuus ry 2022).



Kuvio 1. Metsäteollisuuden polttoaineet 2021 (Metsäteollisuus ry 2022)

Yleisin tapa ilmoittaa kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden lämpöarvo on megajouleina polttoainekiloa kohti (MJ/kg), eli kuinka paljon täydellisessä palamisessa syntyy lämpöä polttoaineen massaa kohti. Taulukossa 1. esitetty tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa kuvaa lämpöarvoa ottamatta huomioon energiankulutusta, joka kuluu polttoaineen sisältämän vedyn haihduttamiseen. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (toimituskosteana) puolestaan huomioi energiamäärän, joka kuluu veden haihduttamiseen polttoaineesta. (Alakangas 2000, 27–29).

Taulukko 1. Puupolttoaineiden lämpöarvoja (Alakangas 2000, 152–154)

Polttaine	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)
Bioliete	17,4	0
Jyrsinturve	20,9	9,66
Kokopuuhake	18,5–20	7–10
Metsätähdehake	18,5–20	6–9
Mustalipeä	13–15	-
Palaturve	21,3	11,9
Puupelletti	19,0–19,2	16,8

3.1.1 Turve

Bioenergia ry:n määritelmän mukaan turve on suokasvien jäännöksistä epätäydellisen hajoamisen tuloksena muodostunutta eloperäistä maa-ainesta, jota kerrostuu muodostumispaikalleen. Geologisesti turpeeksi luokitellaan aines, jonka orgaanisen aineen osuus kuivamassasta on vähintään 75 prosenttia. (Bioenergia ry. Mitä turve on?).

Turpeella on lukuisia käyttökohteita. Turvetta käytetään energiaksi mutta myös niin kutsuttuna ympäristöturpeena. Ympäristöturpeen käyttökohteita ovat; kasvualustat, eläinten kuivike, kompostoinnin tukiaine sekä maanparannuksissa. Globaalista turpeen käytöstä noin puolet on energiakäyttöä. (Soimakallio S., Sankelo P., Kopsakangas-Savolainen M.,

Sederholm C., Auvinen K., Heinonen T., Johansson A., Judl J., Karhinen S., Lehtoranta S., Rasanen S. & Savolainen H. 2020.)

Energiantuotantoon 2010-luvulla turvetta on keskimäärin käytetty noin 16 terawattituntia (TWh) vuodessa. Energiantuotannossa hyödynnetään pitkälle maatuneita, suuren lämpöarvon sisältäviä turpeita, jotka omaavat suuren hiilipitoisuuden. Turve mahdollistaa myös seospoltossa muiden vaikeammin hyödynnettävien polttoaineiden kuten metsähakkeen ja peltobiomassojen käyttöä. Turpeen energiankäyttö on kuitenkin laskussa johtuen päästöoikeuden hinnan noususta sekä tehdyistä poliittisista linjauksista. (Bioenergia ry. Turpeen energiankäyttö).

Turpeen poltto aiheutti vuonna 2017 noin 10 % (5,8 Mt CO₂-ekv.) Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Lisäksi turpeen tuotanto aiheutti päästöjä noin 1,4 Mt CO₂-ekv. ja kasvu-, kuivike- ja ympäristöturpeen hajoaminen noin 0,3 Mt CO₂-ekv. Energiayksikköä kohden laskettuna turpeen polttaminen aiheuttaa 100 vuoden aikajänteellä laskettuna suuruusluokaltaan kivihiilen polttamiseen verrannollisen ilmastovaikutuksen. (Soimakallio ym. 2020, 3).

Ympäristöjärjestöt ovatkin vaatineet turpeesta nopeaa irtautumista. Luonnonsuojeluliitto listaa seuraavia perusteluita turpeen energiakäytöstä luopumiselle: toimivat metsiäkin suurempana hiilivarastona, aiheutuva luontokato sekä vesistöille koituvat haitat. (Suomen luonnonsuojeluliitto).

3.1.2 Pelletti

Puupellettejä valmistetaan hyödyntäen teollisuuden sivuvirtoja, puutähteitä; puunkuorta, sahanpurua ja metsähaketta. Pelletti valmistuu puristamalla puutähteitä sylinterinmuotoisiksi rakeiksi (Alakangas 2000, 76). Biomassasta valmistetut puupelletit ovat luotettava, taloudellinen ja ympäristöystävällinen lämmityspolttoaine. Kun pelletit palavat, niistä vapautuu sama määrä hiilidioksidia, jonka puun biomassassa on kasvunsa aikana ottanut talteen. Siksi pelletit ovat hiilineutraaleja. Puupellettien pääasiallinen raaka-aine puu ja sen

sivuvirrat ovat uusiutuva luonnonvara. (Stora Enso, Pellets). Stora Enson valmistamien pellettien tekniset ominaisuudet ovat esiteltynä taulukossa 2.

Taulukko 2. Stora Enso Pelletit – tekniset tiedot (Stora Enso, Pellets)

Ominaisuus	Arvo
Halkaisija ja pituus	6/8 mm
Tiheys	650 kg/m ³
Energiaa / kg	4,85 kWh
Energiaa / m ³	3250 kWh
Kosteus, p-%	8 %
Tuhkapitoisuus	0,40 %
Tuhkan sulamispiste	1.400°C

Pellettien tuhkapitoisuus on huomattavan matala 0,40 %. Vertailuna turpeen tuhkapitoisuus vaihtelee 2–10 %:n välillä riippuen laatuluokasta.

Ominaisuuksiltaan huomattavaa on myös korkea tiheys. Tiheyden ansiosta voidaan varastoida suuri määrä energiaa pieneen tilaan. Kuvassa 2. on teknisessä koeajossa käytettyjä pellettejä.



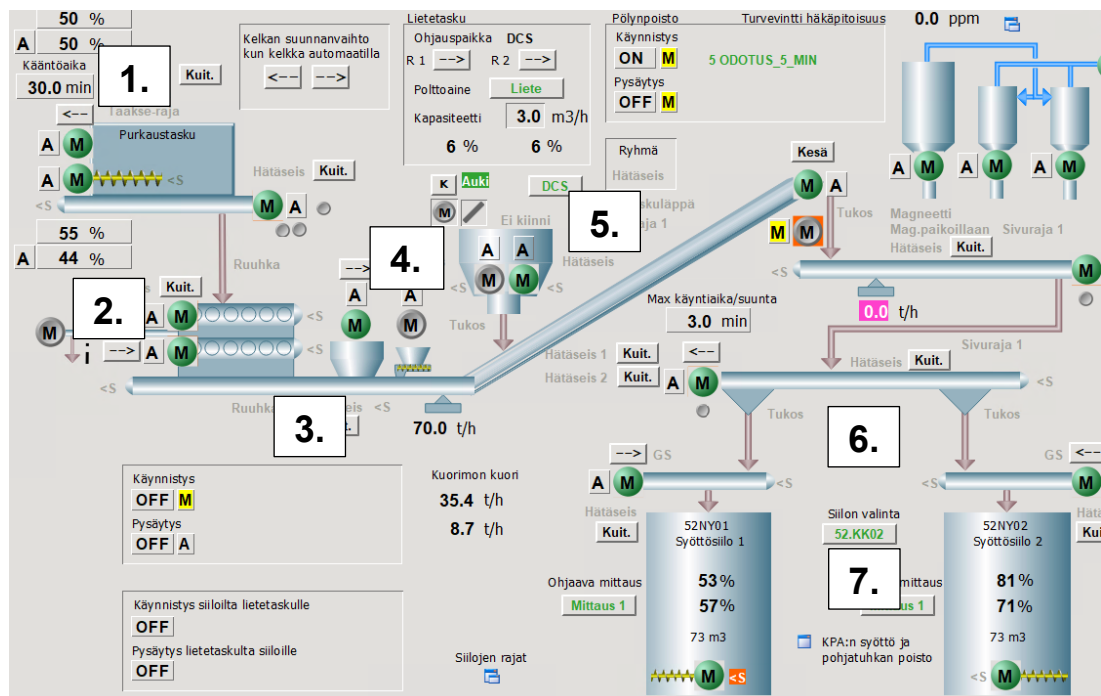
Kuva 2. Pellettejä

Puupelletit kestävät huonosti kosteutta. Pelletti turpoaa ja hajoaa joutuessaan kosketuksiin veden tai kosteuden kanssa. Tämän takia sateensuoja on välttämätön varastoinnissa. (Alakangas 2000, 77).

3.2 Polttoaineen käsittely

Kappaleessa esitellään pääpiirteissään Stora Enso Heinolan Flutingtehtaan polttoaineen käsittelyn sekä syötön toimenkuvaus. Polttoaineen syötön tarkastelu ruuvitaskun kautta oli myös keskeisessä asemassa suoritetussa teknisessä koeajossa. Kuvassa 4 on tehtaalla käytössä olevan DNA-automaatiojärjestelmän näkymä kiinteän polttoaineen syötöstä.

Polttoaineen käsittely tarkoittaa toimenpiteitä, jotka tapahtuvat ennen kuin polttoaine päätyy poltettavaksi voimalaitoksella. Tavallisesti prosessiin sisältyy vastaanotto, varastointi, kuljetukset sekä esikäsittely. Voimalaitoksella on oltava riittävän suuret polttoainevarastot, etteivät häiriöt toimituksessa aiheuta katkoa energiantuotannossa. (Huhtinen ym. 2000, 47).



Kuva 3. DNA, kiinteä polttoaine

Polttoainekenttä

Polttoainekentällä varastoidaan ja säilytetään tehtaan polttoaineita. Polttoainekentälle on myös johdettu tehtaan kuorimolta tuleva biomassa sekä lietelaitoksen liete. Polttoaineseoksen teko tapahtuu manuaalisesti kauhakuormaajalla. Polttoainekentältä polttoaineseosta syötetään purkaustaskuun. Purkaustasku kuvassa 4. numerolla 1.

Purkaustaskusta polttoaineseos jatkaa seulaan / murskausasemaan (numero #2), jonka tarkoituksena on seuloa ja murskata ylisuuret polttoainejakeet, kuten kannot ja juurakot.

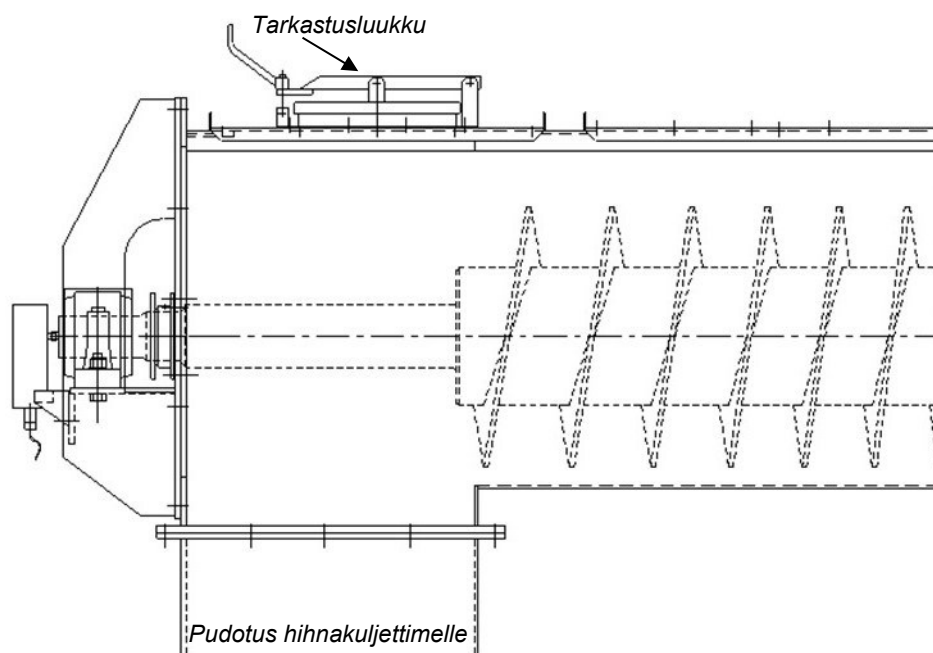
Ruuvitasku (lietetasku)

Raumaster Oy:n toimittama ruuvitasku. Kuvassa 5. näkyvän ruuvitaskun sijainti on merkittynä kuvassa 4. numerolla 4. Polttoaineen syöttäminen taskuun tapahtuu myös kauhakuormaajalla. Normaalisti taskun kautta on syötetty vain lietettä ja taskua kutsutaankin lietetaskuksi tehtaalla.



Kuva 4. Ruuvitasku ulkopuolelta

Ruuvitaskun polttoainetason seuranta tapahtuu kameralla. Kamera oli kuitenkin epäkunnossa teknisen koeajon aikaan, joten täytön tarpeen valvonta tapahtui manuaalisesti kentänhoitajan toimesta. Teknisessä koeajossa ruuvitaskua käytettiin pelletin syöttämiseen ja annosteluun. Kuvassa 6. on ruuvitaskun leikkauspiirustus. Leikkauspiirustuksesta on nähtävissä polttoainetta syöttävä ruuvi, pudotuskuilu hihnakuljettimelle sekä merkitty tarkastusluukku.



Kuva 5. Leikkauspiirustus ruuvitaskusta

Ruuvitasku purkaa polttoaineen taskusta maanalla kulkevalle hihnakuljettimelle. Taskun purkukapasiteetin skaala on 1–34 m³/h. Alhaiset purkukapasiteetit (1–2 m³/h) toteutetaan siten, että käytössä on vain toinen kahdesta taskun ruuvista kerrallaan. Taskun purkukapasiteettiin vaikuttaa käytetty polttoaine. (Raumaster Oy 2017, Stora Enso sisäinen materiaali)

Ruuvitaskun kapasiteetin säätö tapahtuu valvomosta automaatiojärjestelmän kautta. Ruovin pyörimisnopeudella voidaan määrittää haluttu syöttö prosentteina suhteessa hihnakuljettimen muuhun polttoainevirtaan. Hihnakuljettimen vaaka oli epäkunnossa koeajon aikana.

Kuljettimet

Kuljettimet liikuttavat polttoaineseosta läpi kuvatus prosessin. Kuvassa 4. numerolla 6. on merkitty siilon täyttökuljettimet, 2kpl vasen ja oikea.

Muut osat

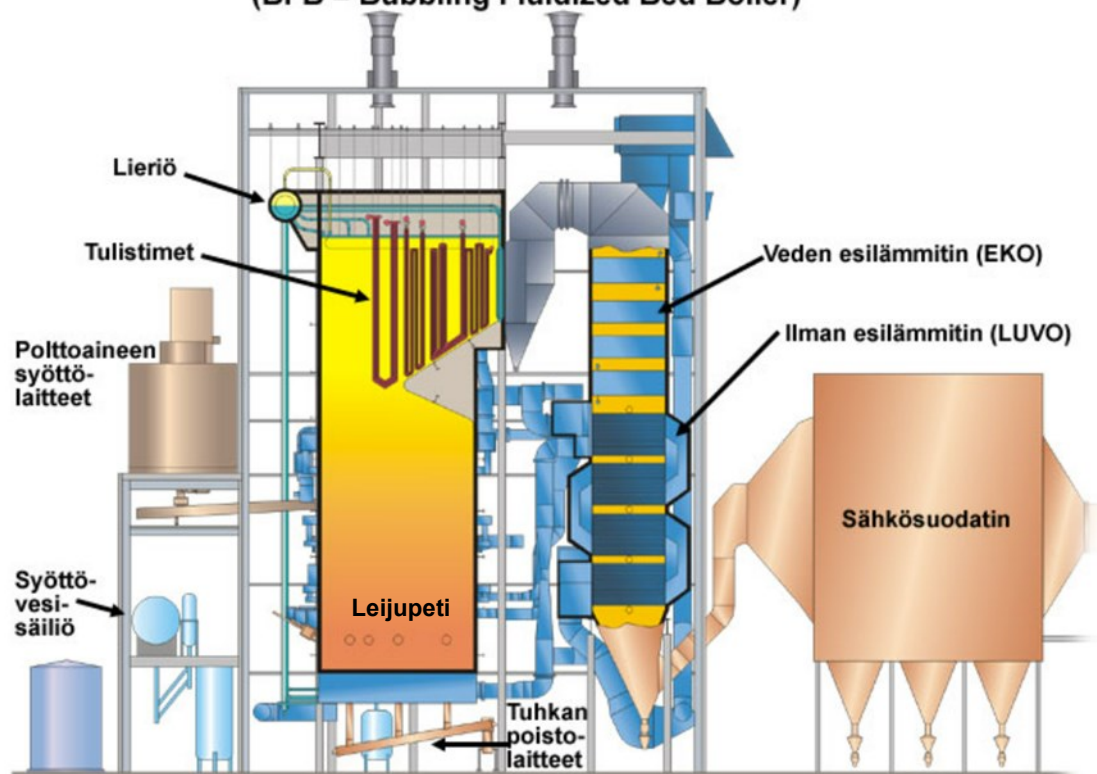
Kuvassa 4. numerolla 7. päiväsiilot 2kpl, kapasiteetti 48 m³. Siilot toimivat polttoaineen välivarastona. Siilojen alapuolella sijaitsevat ruuvisyöttimet sekä sulkusyöttimet, joilla polttoaine syötetään kattilaan. Syöttimiä on 4kpl eri puolilla kattilaa, polttoaineen tasaisen syötön takaamiseksi.

3.3 Leijupetikattila

Leijupetikattilan tulipesässä on petiksi kutsuttu hiekkaa sisältävä kerros, jossa polttoaineen palaminen tapahtuu. Hiekan keskiraekoko on 1–3 mm, leijutusnopeus 0,7–2 m/s. Hiekkakerroksen korkeus on 0,4–0,8 m, jolloin painehäviö on noin. 6–12 kPa. Kerroksen leijuttaminen tapahtuu kasvattamalla ilmavirtausta. Nopeuttaessa ilmavirtaa kasvaa painehäviö ja tietyssä nopeudessa se on kasvanut yhtä suureksi kuin hiekkakerroksen hydrostaattinen paine. Tällöin hiekkaan kohdistuva voima on yhtä suuri kuin maan vetovoima ja hiekkakerros alkaa leijua. Leijutusnopeutta lisätessä peti laajenee sekä hiekan sekoittuminen kasvaa. (KnowPulp; Huhtinen ym. 2000,154). Leijupetillä on selkeä raja, jossa peti loppuu ja sen yläpuolella sijaitseva kaasutila alkaa. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen, & Pakkanen 2000, 155).

Palamiseen tarvittava happi saadaan osittain leijutusilmasta, jota kutsutaan primääri-ilmaksi. Lisäksi petin päälle tuodaan tarvittaessa sekundääri-ilmaa palamisen tueksi (KnowPulp).

Esimerkki leijupetikattilasta (BFB = Bubbling Fluidized Bed Boiler)



Kuva 6. Leijupetikattila, tärkeimmät komponentit (KnowPulp)

Polttoaineen syöttöputkia on tavallisesti useita, jolla varmistetaan polttoaineen tasainen jakautuminen petin päälle. Petin suuren lämpökapasiteetin ansiosta leijupetikattilassa on mahdollista polttaa myös kosteita polttoaineita, kuten turvetta ja biopolttoaineita. Polttoaineet kuivavat nopeasti sekoittuessaan kuumaan hiekkakerrokseen ja saavuttavat syttymislämpötilansa. (KnowPulp). Petin suuri lämpökapasiteetti auttaa myös tasaamaan polttoaineessa mahdollisesti esiintyvää laatuheilahtelua (Huhtinen ym. 2000,157).

Leijupetikattilan säätöalue on 30–100 %. Minimi ja maksimitehoja määrittävät usea tekijä. Minimileijutusnopeus sekä petin vähintään 700 °C lämpötila määrittävät minimitehon. Maksimitehoa rajoittaa lämpötilan lisäksi petimateriaalin karkaaminen ja palamattoman määrän kasvu. Lämpötila tulisi pitää noin 100 °C tuhkan pehmenemispisteen alapuolella. Yleisimpien kotimaisten poltossa kyseinen lämpötila on noin 900 °C. Polttoaineen tuhkan

sulamisen johtaisi hiekan sintraantumiseen, joka vaatii lähes aina kattilan alasajon hiekan poistamista varten. (KnowPulp, Huhtinen ym. 2000,158–159). Lisäksi kappaleessa 3.5 esiteltävä SNCR-järjestelmä asettaa tavoitelämpötiloja.

3.4 Päästöt

Euroopan parlamentin ja neuvoston antama direktiivi 2010/75/EU rajoittaa polttolaitosten päästöjä (2010/75/EU). Direktiivi on täytäntöön pantu Suomessa valtioneuvoston asetuksella suurten polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta (936/2014) sekä ympäristönsuojelulailla (527/2014). Direktiivissä säädetyt päästörajat astuvat voimaan 1.7.2020 alkaen kansallisen siirtymäsuunnitelman mukaisesti (2010/75/EU).

Kiinteitä tai nestemäisiä polttoaineita käyttävien polttolaitosten osalta lukuun ottamatta kaasuturbiineja ja kaasumoottoreita on asetettu omat raja-arvot rikkidioksidipäästöjen, NO_x-päästöjen sekä hiukkaspäästöjen osalta. Päästöjen raja-arvot sekä määrittymisen polttolaitoksen kokonaislämpötehon mukaan on esitelty taulukoissa 3, 4 ja 5. Esitetyt raja-arvot koskevat 30 artiklan 2 kohdassa tarkoitettuja polttolaitoksia (2010/75/EU).

Taulukko 3. Rikkidioksidipäästöjen raja-arvot (mg/Nm³)

Nimellinen kokonaislämpöteho (MW)	Kivihiili ja ruskohiili ja muut kiinteät polttoaineet	Biomassa	Turve	Nestemäiset polttoaineet
50–100	400	200	300	350
100–300	250	200	300	250
> 300	200	200	200	200

Taulukko 4. NO_x-päästöjen raja-arvot (mg/Nm³) (2010/75/EU)

Nimellinen kokonaislämpöteho (MW)	Kivihiili ja ruskohiili ja muut kiinteät polttoaineet	Biomassa ja turve	Nestemäiset polttoaineet
50–100	300 Ruskohiili 450	300	450
100–300	200	250	200
> 300	200	200	150

Taulukko 5. Hiukkaspäästöjen raja-arvot (mg/Nm³) (2010/75/EU)

Nimellinen kokonaislämpöteho (MW)	Kivihiili ja ruskohiili ja muut kiinteät polttoaineet	Biomassa ja turve	Nestemäiset polttoaineet
50–100	30	30	30
100–300	25	20	25
> 300	20	20	20

3.4.1 Päästöraja-arvon määrittäminen monipolttoaineyksikössä

Heinolan Flutingtehtaan primäärikattila 2 on monipolttoainekattila.

Monipolttoainekattilan päästöraja-arvo lasketaan keskimääräisen polttoaineen käytön perusteella kalenterivuoden ajalta. Uusille kattiloille päästöraja-arvo lasketaan suunnitelluilla käyttömäärillä ja vanhoille kattiloille toteutuneilla käyttömäärillä. Monipolttoainekattilan päästöraja-arvon laskennassa käytetään seuraavaa kaavaa:

$$Raja - arvo = \frac{raja - arvopolttoaineA \times A + raja - arvopolttoaineB \times B + raja - arvopolttoaineC \times C}{A + B + C}$$

Kaava 1. Monipolttoainekattilan päästöraja-arvo

Jossa,

A = polttoaineen A lämpöarvo (MJ/kg) x polttoaineen A määrä (kg/h tai t/a)

B = polttoaineen B lämpöarvo (MJ/kg) x polttoaineen B määrä (kg/h tai t/a)

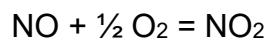
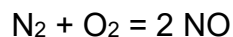
C = polttoaineen C lämpöarvo (MJ/kg) x polttoaineen C määrä (kg/h tai t/a)

(2010/75/EU)

3.4.2 NO_x

NO_x on yhteisnimitys typen (N) oksideille; NO typpimonoksidi ja NO₂ typpidioksidi. Muodostuu typen ja hapen reagoiessa keskenään, poltettaessa fossiilisia polttoaineita. Päästöjä mitatessa ei tehdä erittelyä NO ja NO₂ välillä, vaan puhutaan yhteenlasketuista NO_x -päästöistä, koska suuri osa typpimonoksidista hapettuu ilmakehässä suhteellisen nopeasti typpidioksidiksi. (Linde; Huhtinen ym. 2000, 92–93).

Nettoreaktioyhtälöt (Huhtinen ym. 2000, 92)



Jossa,

N₂ = Typpi

NO = Typpimonoksidi

NO₂ = Typpidioksidi

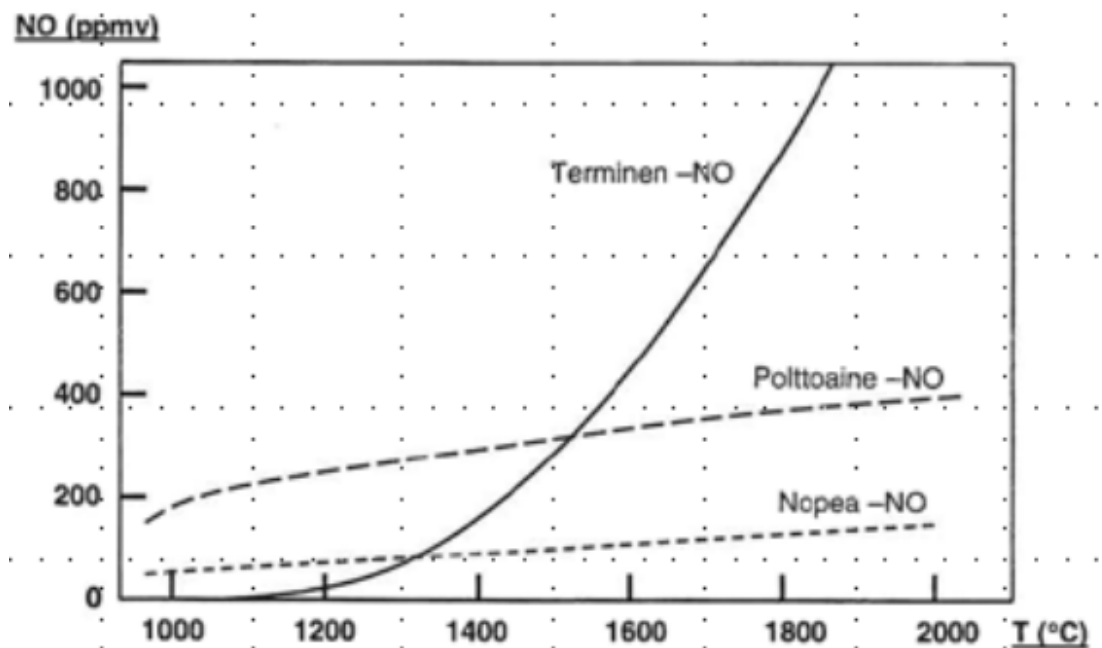
O₂ = Happimolekyyli

(Karkela ym. 2013, 154, 169–171)

Leijupetikattilan tulipesässä muodostuu pääasiassa typpimonoksidia (NO). Huhtinen ym. kirjassa Höyrykattilateknikka on eritelty NO_x päästöt kolmeen pääasialliseen syntymis- mekanismiin;

1. **Terminen typpioksidin muodostuminen;** Palamisilman typpi reagoi palamisilman hapen kanssa korkeassa lämpötilassa
2. **Nopea (prompt) typpidioksidien muodostuminen;** Palamisilman typpi reagoi palamisilman hapen kanssa hiilivetyradikaaleja runsaasti sisältävässä liekinosassa.
3. **Polttoaineperäisen typpioksidin muodostuminen;** Polttoaineen typpi reagoi palamisilman hapen kanssa.

(Huhtinen ym. 2000, 93)



Kuvio 2. NO_x muodostuminen (Huhtinen ym. 2000, 93)

Kuviossa 2 on esitelty tulipesälämpötilan (°C) vaikutus öljynpolton NO_x päästöihin (mg/MJ) eri syntymis- mekanismin mukaan. Lämpötilan noustessa terminen typpidioksidin muodostuminen kasvaa.

3.5 Päästöjen hallinta

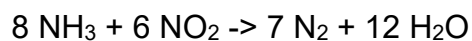
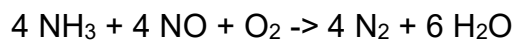
Päästöjen määrää voidaan hallita ja vähentää useilla eri menetelmillä ja toimintatavoilla. Heinolan Flutingtehtaalla NO_x-päästöjen vähentämiseksi

PR2:ssa on käytössä SNCR-järjestelmä, savukaasun kierrätys polttoilman joukkoon (FGR) sekä polttoilman vaiheistus (OFA). Päähöyrykattilan savukaasut puhdistetaan sähkösuotimella ja savukaasupesurilla. Savukaasut johdetaan 70 metriä korkean piipun kautta ilmaan.

SNCR-järjestelmä eli Selective Non-Catalytic Reduction on kemiallinen prosessi savukaasun NO_x päästöjen vähentämiseksi selektiivisellä ei-katalyyttisellä menetelmällä. Menetelmässä reagenssia ruiskutetaan leijupetikattilan tulipesään, suoraan palotilan yläpuolelle. Reaktiot tapahtuvat tehokkaimmin lämpötila-alueella 800–1000 °C. Reagenssina toimii yleisesti ammoniakki (NH₃) tai urea. (Valmet 2020; Huhtinen ym. 2000, 261). Stora Enso Heinolan Flutingtehtaalla käytetään reagenssina 32,5 p-% ureavesiliuosta (NH₂CONH₂) (Valmet 2020).

Reagenssin vaikutuksesta typen oksidit pelkistyvät vedeksi ja kaksi atomiseksi typpimolekyyleiksi. Eli lopputuotteena syntyy vettä ja typpikaasua eli puhdasta kaasua. Luonnossa ilmasta 78,08 % on typpeä (N₂) (Karkela ym. 2013, 154).

Reaktioyhtälö käytettäessä ammoniakkia;



Jossa,

NO = Typpimonoksidi

NO₂ = Typpidioksidi

NH₃ = Ammoniakki

O₂ = Happi

N₂ = Typpi

H₂O = Vesi

(Karkela ym. 2013, 154, 169–171; Valmet 2020)

4 TEKNINEN KOEAJO JA TULOKSET

Pellettien 5 päivää kestänyt tekninen koeajo suoritettiin viikolla 45. Koeajon toteuttamista helpotti se, että prosessiin tai laitteistoon ei tarkoituksenmukaisesti tarvinnut tehdä muutostöitä, vaan haluttiin selvittää nykytilan kyvykkyyttä. Opinnäytetyön kannalta koeajo jakautuu kolmeen osaan; 1. suunnittelu ja esivalmistelut, 2. toteutus ja 3. tulosten analysointi sekä johtopäätöksien tekeminen.

Koeajoa pyrittiin tarkastelemaan laadullisin sekä määrällisin tutkimusmenetelmin. Tutkimusaineistona on teknisen koeajon data sekä tehdyt havainnot. Käytännön tutkimustyö koostuu teorian rakennuksesta ja testausprosessista. Lähtökohtana on olemassa oleva teoria, jonka avulla muotoillaan hypoteesi. (KvantiMOTV).

Tutkimuskysymyksiä, joihin kerättävän aineiston avulla pyrittiin vastaamaan;

- Mikä rajoittaa pelletin osuutta polttoaineseoksessa?
- Onko puupelletin syöttö mahdollista ruuvitaskun tai kentän kautta?
- Pysyvätkö lämpötilat hallinnassa suuremmilla kattilakuormilla, pelletin osuuden ollessa >15 %?

Käytännön tutkimuksen hypoteesi oli seuraava; Suurilla kattilakuormilla pelletti (osuus >15 %) nostaa tulipesän loppulämpötilaa, johtaen NO_x reduktion heikkenemiseen ja päästöjen nousuun.

Hypoteesi pohjautuu teoriaan SNCR prosessista, NO_x muodostumisesta, pelletin ominaisuuksista sekä laitetoimittajan näkemykseen. Laitetoimittajan arvio pelletin osuuden ylärajasta oli ~15 % nykyisellä laitteistolla ilman muutoksia kattilaan.

4.1 Koejärjestelyt ja suunnittelu

Opinnäytetyön toiminnallinen osuus alkoi koeajon käytännön suunnitelmien ja järjestelyiden laatimisella.

Pellettien saatavuus johtuen maailmantilanteesta näytti alkuun epävarmalta. Koeajoa varten saatiin kuitenkin hankittua 192 tonnia pellettiä. Pelletit ostettiin sisäisenä kauppana. Myyjänä Stora Enso Timber AB, Ala Pellet mill. Kuljetus Ruotsista Suomeen Heinolan tehtaalle tilattiin ulkopuoliselta kuljetusyritykseltä. Opinnäytetyön valmisteluun ja suunnitteluun kuului myös osallistuminen pellettien hankintaan sekä toimituksien organisointiin.

Ennakolta kartoitettiin potentiaalisia ongelmakohtia polttoaineen syötössä ja pelletin etenemisessä kuljettimilla yhdessä voimalaitoksen operaattoreiden kanssa. Pelletit ovat kooltaan pieniä (6/8 mm), mutta hyvin erilaisia verrattuna normaaliin polttoaineseokseen (turve, metsähake, kuori). Pelleteillä voisi olla mahdollisuus jäädä jumiin pieniin rakoihin ja näin aiheuttaa toimintahäiriön linjassa. Erityistarkkailuun otettiin seuraavat kohteet: kulmatornin kuljetin, kuljettimen pudotustorni, puujätesiihon täyttökuljetin, 2x tasaustaskut. Pellettien tasaisesti sekoittuminen muuhun polttoaineseokseen mietitytti myös ennen koeajoa. Esiin nousi myös pellettien mahdollinen pyöriminen pois kuljettimelta nousukulman kasvaessa kulmatornin kuljettimella.

Pelleteille ei ole tehtaalla varsinaista säilytyspaikkaa, joka olisi suojassa säältä. Tämän takia pellettien toimitus tehtaalle suoritettiin JIT – menetelmällä (Just In Time). Tavoitteena oli saada tehtaalle yksi kuorma jokaisena päivänä. Pellettien suojaksi hankittiin myös peite. Ensimmäinen kuorma toimitettaisiin jo sunnuntaina, jotta koeajo voitaisiin aloittaa heti maanantai aamuna. Ruuvitasku oli ohjeistettu ajamaan myös tyhjäksi aamuun mennessä. Päiväsiilojen tasot otettava myös huomioon arvioidessa mihin aikaan pellettiä varsinaisesti palaa kattilassa.

Kuvassa 7. kaksi kuormaa eli 64 tonnia pellettiä, jotka saapuivat sunnuntaina 6.11. Peite oli mitoitettu reilulle yhdelle kuormalle kerrallaan.



Kuva 7. Pellettikasa polttoainekentällä

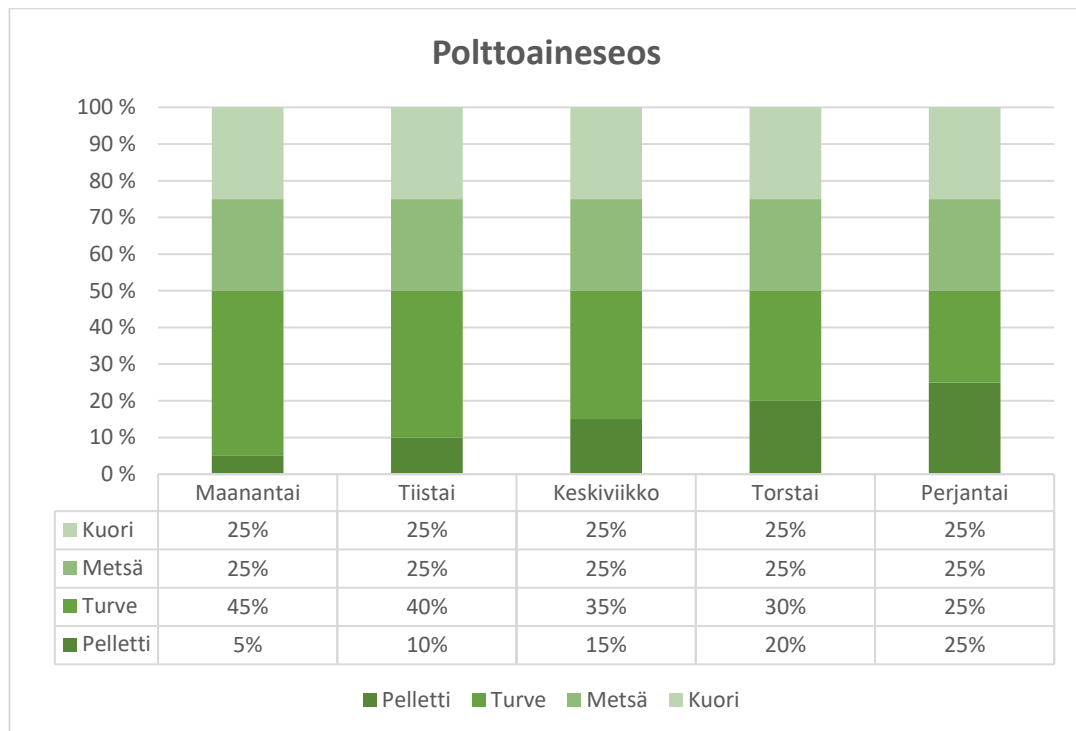
Pellettien toimituksesta oli tehty aikataulutettu sopimus kuljetusyhtiön kanssa. Sovituissa toimitusajoissa ei kuitenkaan täysin pysytty. Toimitusaikojen muutokset eivät lopulta kuitenkaan vaikuttaneet teknisen koeajon toteutukseen tai onnistumiseen.

Taulukko 6. Pellettien suunnitellut toimitukset

TOIMITUSAIKA	VOLYymi TONNIA
SU 6.11.	32 t
MA 7.11.	32 t
TI 8.11.	32 t
KE 9.11.	32 t
TO 10.11	32 t
PE 11.11	32 t
YHTEENSÄ	192 t

Kattilan tulevaa kuormaa ei täysin voida ennustaa. Koeajon suunnitteluun käytettiin historiallisia keskiarvoja. Hihnakuljettimen vaa'an epäkunto osaltaan vaikeutti pelletin osuuden tarkempaa suunnittelua.

Kuviossa 3 on esitetty tavoitteellinen polttoaineseoksen koostumus jokaisena päivänä. Suhteet ovat laskettu lämpöarvojen mukaan, voimalaitoksen historiallisen päivittäisen kuorman/polttotehon pohjalta. Polttoaineiden sekoittaminen ja syöttö lasketaan irtokuutioissa (i-m^3). Biomassa ja turve sekoitetaan polttoainekentällä manuaalisesti pyydetyllä suhteella kentänhoitajan toimesta. Biomassan eli kuori + metsätähdehake osuus olisi jatkuvasti yhteensä ~50 %. Pelletin osuus skaalattaisiin rauhallisesti ylös, korvaten turvetta.



Kuvio 3. Suunnitelma polttoaineseoksesta

Suunnitelmana oli aloittaa koeajo syöttämällä pellettiä ruuvitaskun kautta. Loppuviikosta siirryttäisiin ajamaan polttoainekentän purkaustaskusta. Viimeisenä tehtäisiin lyhyt koe sekoittamalla pellettiä jätevedenpuhdistamolla muodostuvien lietteiden kanssa. Lieteseoksen kvantitatiivinen tutkiminen päätettiin jättää pienemmälle huomiolle opinnäytetyössä.

4.2 Koeajon dokumentointi

Heinolan Flutingtehtaalla on käytössä Metso DNA-automaatiojärjestelmä (nykyinen Valmet DNA Automation System). Metso DNA on hajautettu automaation ohjausjärjestelmä prosessiautomaatioon. Järjestelmä mittaa ja kerää valtavan määrän dataa reaaliaikaisesti. (Valmet). Opinnäytetyön teknisen koeajon määrällinen seuranta, mittaukset sekä datan kerääminen toteutettiin mainitun järjestelmän avulla. Jokaisella anturilla ja mittarilla on järjestelmässä oma positiotunnus. Historiatietokannasta haettiin Exceliin seuraavien positioiden tiedot teknisen koeajon ajalta 7.11.2022 9:00 - 11.11.2022 10:00:

Taulukko 7. Seuratut muuttujat

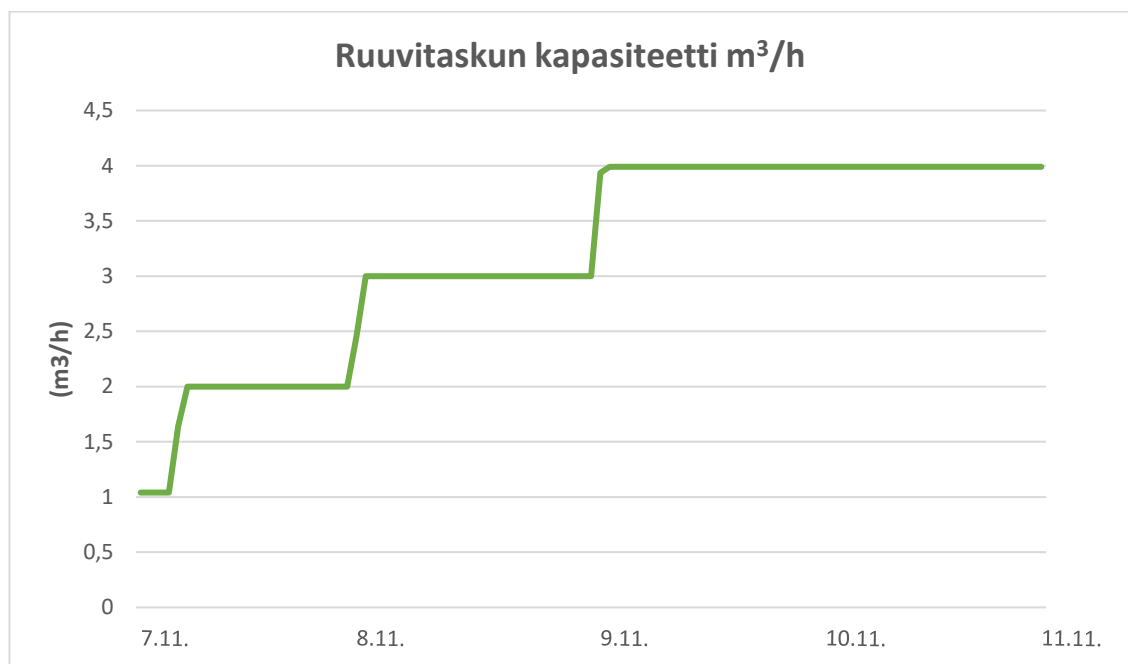
Data	Positio (DNA)
Nox päästöt	52.CFR-180:av
Lietetaskun kapasiteetti	52.KR08KAP:av
Polttoehto	52.UC-908_B+
Lämpöarvo	52.PC4-172_B+
Savukaasut	
Savukaasun Nox	52.QI-581:av
Savukaasun CO2	52.QI-576:av
Kiertokaasu virtaus	52.FC1/146
PR2 SNCR	
Urean virtaus	52.FIC-1025:me
PR2: NOx-pit. kuiva red. 6 % O2	52.QC-581
Lämpötilat	
Leijupedin lämpötila	52.TC1-914:me
Lämpötila 1	52.TIZ-364XQ01:av
Lämpötila 2	52.TIZ-365XQ01:av
Lämpötila 3	52.TIZ-366XQ01:av
Lämpötila 4	52.TIZ-367XQ01:av
Lämpötila 5	52.TIZ-368XQ01:av
Lämpötila 6	52.TIZ-369XQ01:av
Kaasutila 1 (Oikea)	52.TI-370:av
Kaasutila 2 (Etu)	52.TI-371:av
Kaasutila 3 (Vasen)	52.TI-372:av

Opinnäytetyön laadullisen osuuden dokumentointi tapahtui muistiinpanoja tekemällä, valokuvaamalla sekä videoimalla.

4.3 Koeajon mittaukset ja havainnot

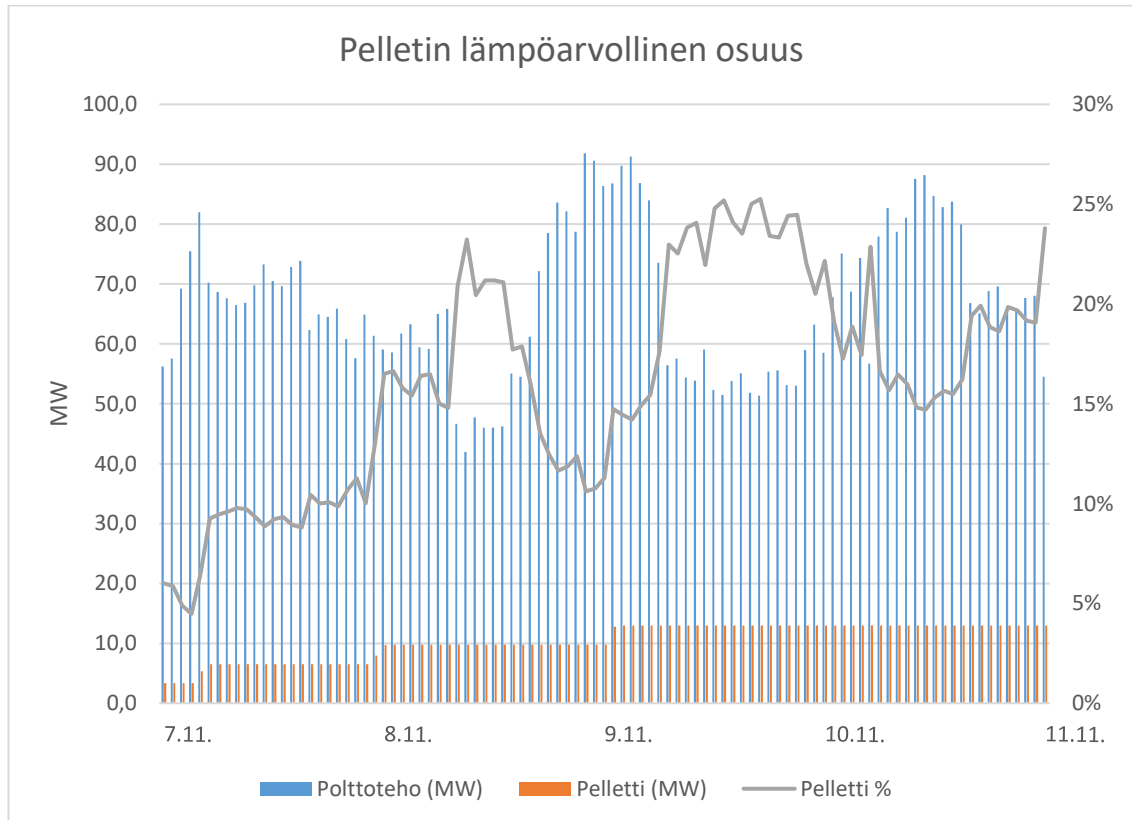
Teknisen koeajon tarkastelujakso, josta dataa kerättiin, rajattiin aikajaksolle 7.11.2022 klo 9:00 - 11.11.2022 klo 10:00.

Pelletin osuutta eli ruuvitaskun syöttökapasiteettia päätettiin alkaa nostaa heti maanantaina suunniteltua nopeammin. Ennen jokaista kapasiteetin nostoa suoritettiin tarkastuksia ja havainnointiin prosessista nykyisellä kuormalla. Kuviossa 4. on esitetty ruuvitaskun kapasiteetin asteittaiset nostot. Pelletin pölyämisen takia, kapasiteetti päästiin nostamaan korkeintaan 4 m³/h eli hiukan alkuperäistä suunnitelmaa alemmaksi. Pelletin pölyämistä käsitellään omassa kappaleessa.



Kuvio 4. Ruuvitaskun kapasiteetti (m³/h)

Kuvio 5. antaa hyvän yleiskuvan, kuinka koeajon toteuttaminen eteni. Ruuvitaskun syöttökapasiteetin pohjalta on mahdollista laskea arviona pelletin toteutunut osuus lämpöarvolliseen polttotehoon. Taulukon 2. mukaisesti; yksi kuutio (m³) pellettiä sisältää energiaa 3250 kWh eli 3.25 MWh.



Kuvio 5. Pelletin lämpöarvollinen osuus

Kuten kuvaajasta nähdään, pelletin syöttöä ei ole sidottu kattilan kuormaan vaan toteutettu tasaisella syötöllä. Kuormien kasvaessa pelletin osuus vähenee. Kuorman vaihtelu on suurta eikä syöttöä ole nykyisellä laitteistolla mahdollista tai välttämättä edes tarkoituksenmukaista sitoa kuormaan.

Pelletin osuus vaihteli koeajossa 5 % - 25 % lämpöarvallisesta osuudesta. Tuntitasolla huippu 25,3 % oli 10.11.2022 klo 02:00.

Koeajoon osui kaksi mielenkiintoista jaksoa opinnäytetyön hypoteesin ja tavoitteiden kannalta. Molemmissa jaksoissa pelletin syöttö oli 4 m³/h eli 13 MW. Muuttujana oli polttoteho eli kattilan kuorma.

1. 9.11. klo 16:00 ja 10.11. klo 6:00 välisenä aikana tuntitasolla polttoteho 54,3 MW, pelletin osuuden ollessa 23,9 %
2. 10.11. klo 11:00 ja 11.11. klo 01:00 välisenä aikana tuntitasolla polttoteho 78,7 MW, pelletin osuuden ollessa 16,7 %.

Pellettiä saatiin ajettua suuremmalla kuormalla >15 % osuudella noin 12 tuntia. Sekä matalammalla kuormalla ~24 % osuudella noin 14 tuntia.

4.3.1 Pelletin käyttäytyminen polttoaineen syötössä

Polttoaineen syöttöä havainnointiin fyysisesti kentältä käsin. Havainnointi tapahtui silmämääräisesti. Katselmukset ja prosessin dokumentointi valokuvien ja videon ajoitettiin aina hetkeen, kun pelletin syöttöä ruuvitaskusta kasvatettiin tai muu polttoaineseos muuttui, esimerkiksi turpeen osuuden laskettua.

Kuvassa 8. pelletin syöttäminen ruuvitaskuun aloitettiin puolikkaalla kauhallisella eli noin 5 m³ pellettiä. Siltä varalta, että mahdollisia tukkeita tai muita ongelmia ilmenisi välittömästi, olisi pienen määrän pellettiä poistaminen ruuvitaskusta mahdollisimman helppoa. Myös pelletin käyttäytymistä ruuvien pyöriessä oli mahdollista tarkkailla vajaalla täytöllä.

Ruuvitaskun lisäksi tarkkailussa olevat kohteet polttoaineen syötössä olivat: hihnakuljetin, kulmatornin kuljetin, kuljettimen pudotustorni, puujätesiilon täyttökuljetin, 2x tasaustaskut.



Kuva 8. Ruuvitasku sisäpuoli, pelleteillä syötettynä

Ruuvitasku

Ruuvitaskun syötön toimintaa seurattiin tarkistusluukusta (merkittynä kuvaan 6, sivulla 19). Ensimmäiseksi tarkasteltiin mahdollisuutta, että pelletti pääsisi vuotamaan ja valumaan ruuvin ohi. Jos ohivuotoa havaittaisiin ei säädetty ruuvitaskun kapasiteetti pitäisi tarkasti paikkaansa ja syötön säätely vaikeutuisi.

Ruuvien normaalin pyörittämisen/syötön jälkeen havaittiin, että pellettejä valui satunnaisesti hieman ylimääräistä. Ruuvien ollessa paikallaan, ei jatkuvaa ”vuotoa” havaittu. Todettiin, että ohivuoto ei ole merkittävää ja työlukuna syötön laskennassa voidaan käyttää ruuvitaskulle asetettua kapasiteettia.

Koeajon lopussa oli havaittavissa ruuvitaskun pohjalle kertyneen hajonnutta pellettiä sekä hienojakoista puupölyä. Hajonnut ja jauhautunut pelletti ei ole ongelma syötön kannalta, mutta lisää pölyämistä syötössä.

Kuvassa 9. on kuvattu pelletin pudotus ruuvitaskusta kuljetintunneliin hihnakuljettimelle.



Kuva 9. Ruuvitaskun pudotus hihnakuljettimelle

Pelletin tippuminen hihnakuiljettimelle sujui ongelmitta, ottamatta huomioon pölyämistä suuremmalla syötöllä. Pölyämistä käsitellään erillisenä kokonaisuutena.

Hihnakuiljetin

Ennakolta esiin nostettiin pellettien mahdollinen pyöriminen pois kuiljettimelta nousukulman kasvaessa kulmatornin kuiljettimella. Järjestyksessä ruuvitaskun syöttö sijaitsee polttoainekentän purkaustaskun jälkeen. Tarkoittaen sitä, että pelletit putoavat muun polttoaineseoksen päälle hihnakuiljettimella.

Purkaustaskun kautta syötetystä turpeesta ja biomassasta muodostuu "peti", jonka päällä pelletti pysyy hyvin paikallaan.

Kuiljettimien kanssa ei havaittu ongelmia. Tarkastuksia tehtiin läpikotaisesti polttoaineensyöttöön.

Pelletin sekoittuminen

Pelletit sekoittuivat tasaisesti muuhun polttoaineeseen prosessin edetessä. Sekoittumisen voidaan katsoa alkavan kulmatornin kuiljettimen pudottaessa polttoaineen voimalaitoksen sisään tuovalle kuiljettimelle. Ruuvipurkaimen kohdalla pelletti oli sekoittunut täysin muuhun polttoaineseokseen.

Sekoittumista edesauttoi ruuvitaskun tasainen syöttö. Vaihtoehtoisesti jos syöttö olisi tapahtunut polttoainekentän taskun kautta, sekoittuminen olisi ollut epävarmempaa. Polttoaineen tasalaatuisuuden voi siis arvioida olla korkeampi ruuvitaskun kautta syötettäessä.

Pölyäminen

Pölyämistä ei osattu ennen koeajoa nostaa merkittäväksi riskiksi tai ongelmaksi eikä siihen siten osattu erityisemmin varautua suunnittelussa.

Kuvassa 10. on dokumentoituina pölyn kertymistä ruuvitaskuun. Ruuvitaskussa oli koeajon alkaessa (vasen kuva 7.11.) vanhaa kuivunutta lietettä. Kuvista on kuitenkin selvästi nähtävissä, että itse ruuviin sekä taskun reunoille on kertynyt kerros merkittävästi hienompirakenteista pölyä koeajon aikana (oikea kuva

11.11.). Jos pölyäminen olisi tiedostettu ennalta, olisi vanhat kuivuneet lietteet puhdistettu ennalta helpottaen seuraamista. Kertyminen ei välttämättä olisi yhtä merkittävää ilman lietteen tartuntapintaa.



Kuva 10. Pölyn kertyminen ruuvitaskussa

Kuljetintunnelissa, johon ruuvitasku pudottaa pelletit, pölyäminen oli huomattavinta. Ilma ei pääse vaihtumaan tunnelissa ja FFP3 hengityssuojainta tulisi käyttää liikkeessä tunnelissa sekä kuljetinsillalla. Pölyn määrän dokumentointi ilmassa oli haastavaa valokuvin. Kuva 11. taskulampun valossa näkyvä pöly havainnollistaa määrää.



Kuva 11. Kuljetintunneli yläpää

Kuljetinsillan pohja on avoin, joten ilma vaihtuu kohtuullisen hyvin eikä pölyämistä enää juuri havaittu.



Kuva 12. Kulmatornin kuljetinsilta

Mitä pidemmälle polttoaineen syötön prosessia edetään, sitä vähemmän pelletti luonnollisesti pölyää. Pelletti myös sekoittuu muuhun polttoaineseokseen prosessin aikana. Voimalan sisätiloissa ei enää riskiä pölyämisestä havaittu.

4.3.2 Päästöt

Stora Enso Heinolan Flutingtehtaan ympäristöluvassa määritellyt pääkattilan PR2 savukaasupäästöjen raja-arvot ilmaan 1.7.2020 lähtien on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Savukaasupäästöjen raja-arvot (Aluehallintovirasto 2020)

Päästö	Päästöraja-arvo, 6 % O ₂
SO ₂	250 mg/m ³ (n)
Hiukkaset	20 mg/m ³ (n)
NO _x (kk)	250 mg/m ³ (n)
NO _x (vrk)	275 mg/m ³ (n)

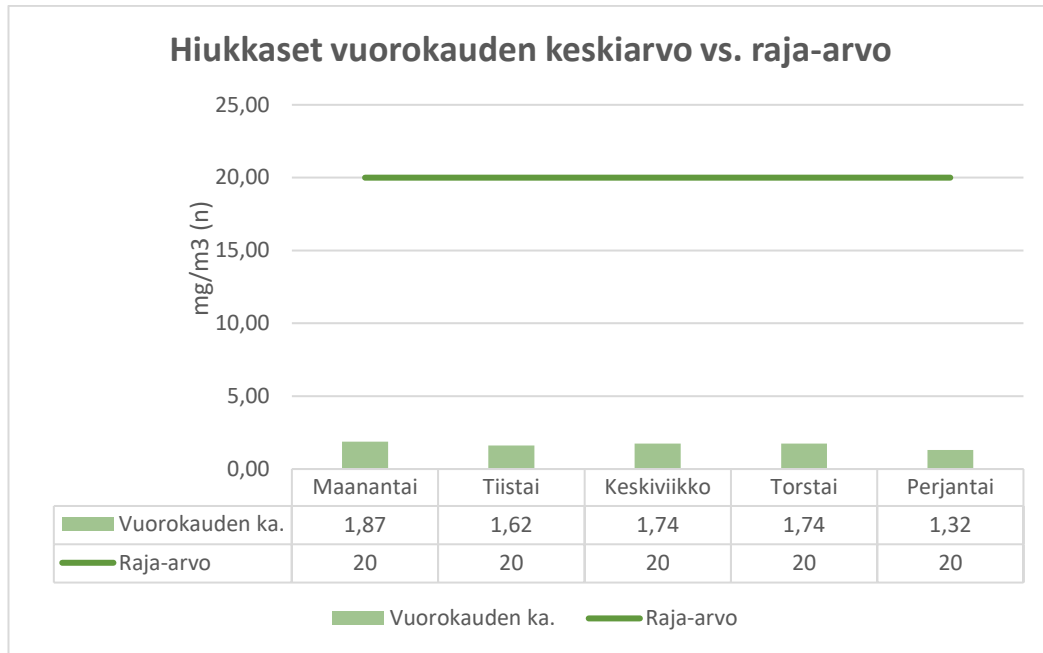
Teknisen koeajon päivittäisiä savukaasupäästöjen tuntiarvoja verrattiin raja-arvoihin. Savukaasun CO₂ pitoisuus koeajon aikana oli 10,97 %.

Rikkidioksidipäästöt

Teknisen koeajon aikaiset rikkidioksidipäästöt olivat keskiarvoltaan 0,2605 mg/m³(n). Päästöt ovat käytännössä olemattomat ja merkittävästi alle päästöraja-arvon 250 mg/m³(n) .

Hiukkaspäästöt

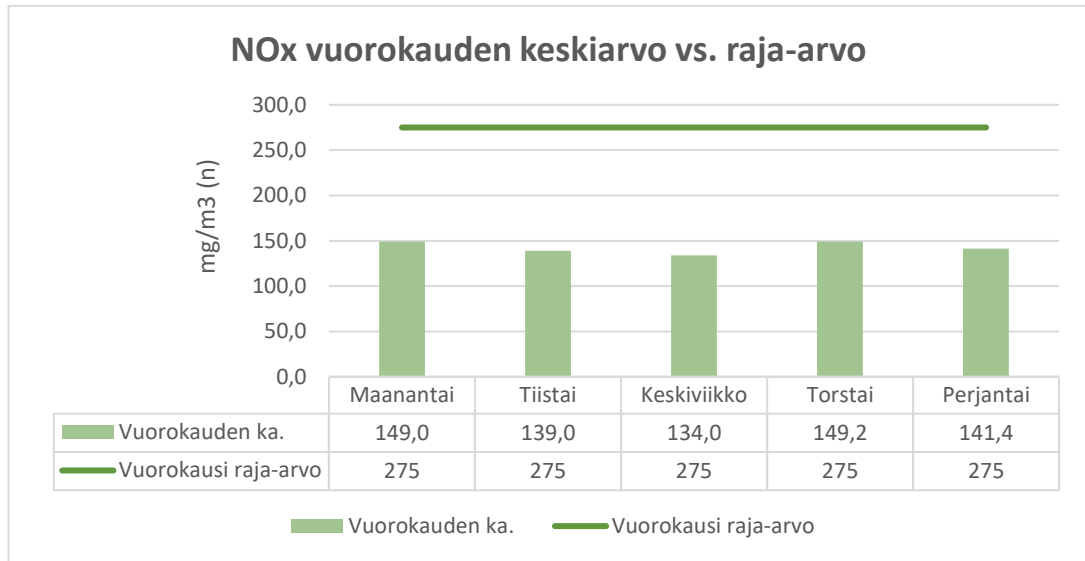
Hiukkaspäästöjä tarkasteltiin vuorokausitasolla. Hiukkaspäästöt vaihtelivat vuorokausitasolla 1,32–1,87 mg/m³(n), ollen merkittävästi alle päästöraja-arvon 20 mg/m³(n) eivätkä määrällisesti merkittäviä. Kuviossa 6. on esitetty hiukkaspäästöjen vuorokauden keskiarvot ja raja-arvot.



Kuvio 6. Hiukkaspäästöt ja päästöraja-arvo vertailu

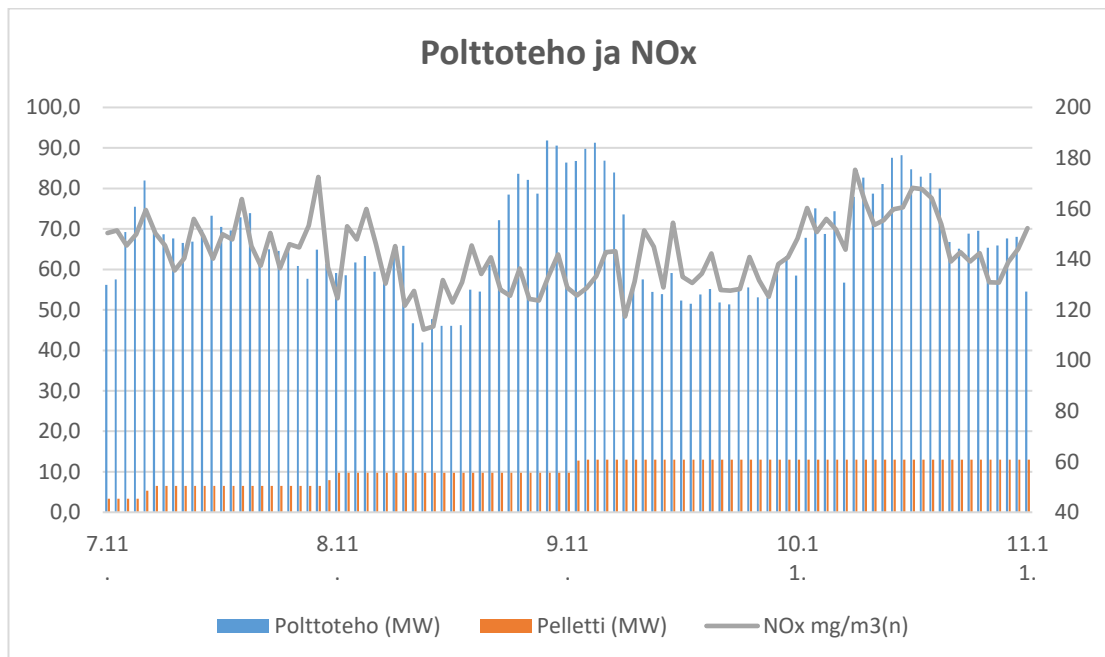
NO_x-päästöt

NO_x-päästöille on määritelty erikseen kuukausi (250 mg/m³) sekä vuorokausi (275 mg/m³) raja-arvo. Tarkasteluun otettiin vuorokausi raja-arvo, johtuen otannan kestosta. Kuviossa 7. on esitetty NO_x-päästöjen vuorokauden keskiarvo sekä raja-arvo jokaiselta päivältä. Päästöjen voidaan todeta olleen reilusti raja-arvon alapuolella koeajon jokaisena päivänä. Teknisen koeajon aikainen tunninkeskiarvon huippuarvo oli 175,35 mg/m³. NO_x-päästöt eivät siis ylittäneet myöskään tuntitasolla asetettuja raja-arvoja.



Kuvio 7. NOx-päästöt ja päästöraja-arvo vertailu

NOx-päästöjen kehitystä tarkasteltiin myös suhteessa polttotehoon ja pelletin osuuteen kuviossa 9. NOx-päästöt seuraavat hyvin polttotehoa. Pelletin osuuden kasvattamisen ei havaittu kasvattavan NOx-päästöjä poikkeavalla tavalla.



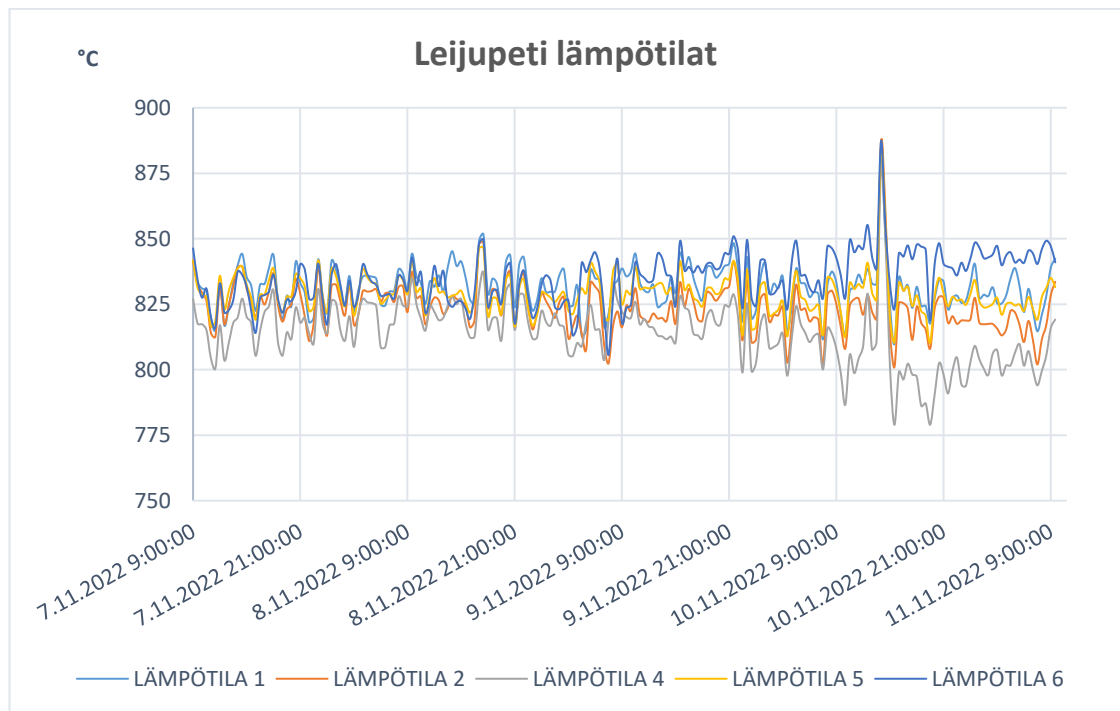
Kuvio 8. NOx-päästöt suhteessa polttotehoon ja pelletin osuuteen

4.3.3 Lämpötilat

Leijupetin lämpötilaa mitataan 6 eri anturilla sekä kaasutilaa kolmesta positiosta; vasen seinä, oikea seinä ja etuseinä. Lämpötila 3. positiio 52.TIZ-366XQ01:av, jätetään kuitenkin pois tarkastelusta havaitun epäluotettavuuden vuoksi. Lämpötila tulisi pitää noin 100 °C tuhkan pehmenemispisteen alapuolella. Yleisimpien kotimaisten polttoaineiden kyseinen lämpötila on noin 900 °C. Pelletin tuhkan sulamispiste on 1400 °C, eli pelletti ei asettanut tavoitteelliseen lämpötilaan muutoksia. SNCR-puhdistus NOx-päästöjen vähentämiseen toimii lämpötila alueella 750–1050 °C.

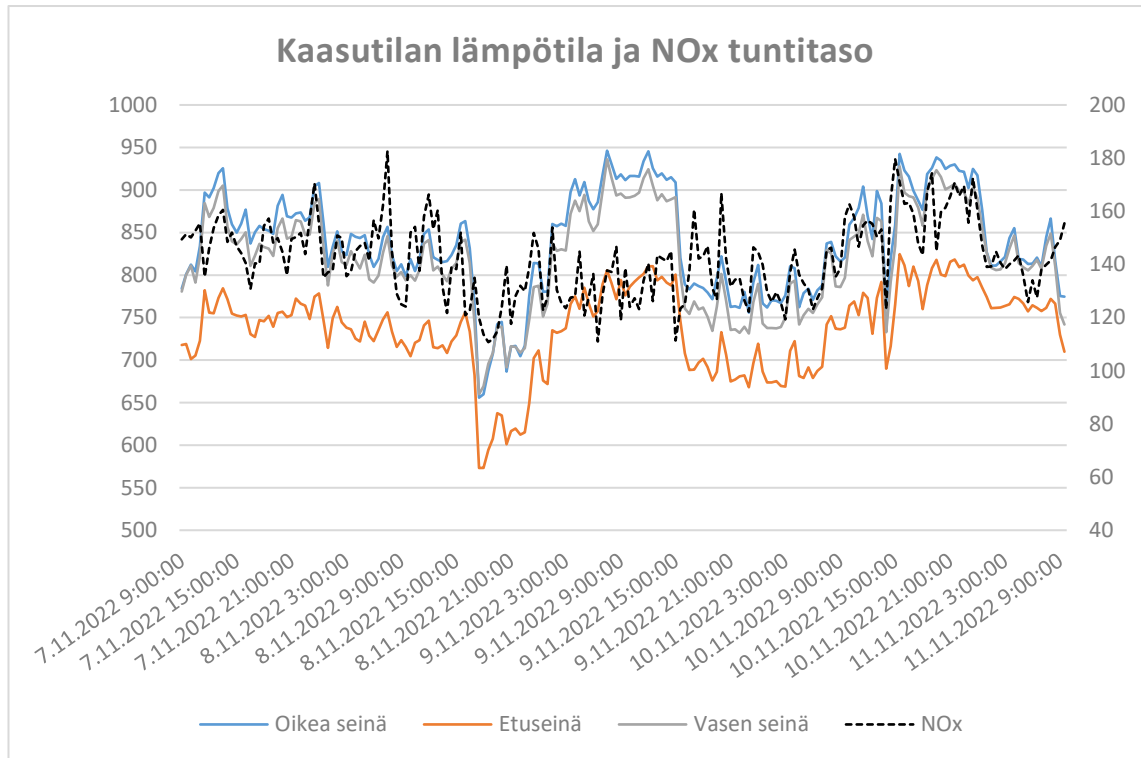
Tavoitteellisena lämpötila-alueena perustellusti voitaisiin siis pitää: Leijupeti <900 °C ja kaasutila 750–1050 °C (KnowPulp; Huhtinen ym. 2000, 158–159; Aluehallintovirasto 2020).

Kuviossa 9. tarkastellessa leijupetin lämpötiloja tuntitasolla koeajon ajalta. Kuvaajasta voimme todeta, että petilämpötilat pysyivät hallinnassa ja olivat tavoitteellisen lämpötilan <900 °C alapuolella.



Kuvio 9. Leijupeti lämpötilat

Kaasutilan lämpötilat ja PR2:n NOx-pitoisuus kuiva red. 6 % O₂ on esitetty kuviossa 10. Kaasutilan arvioitu tavoitteellinen lämpötila-alue oli 750–1050 °C.



Kuvio 10. Kaasutilan lämpötilat

Lämpötilat kohosivat suuremmilla kuormilla, mutta pysyivät alle ylärajan. Vasen ja oikea seinän mitatut lämpötilat pysyivät myös alarajan yläpuolella. Etuseinän luona lämpötilat ovat systemaattisesti matalammat ja kävivät alimmillaan <math><600^{\circ}\text{C}</math>. NOx muodostuminen näyttäisi korreloivan hyvin lämpötilan sekä kuorman kanssa. Ajetuilla pelletti osuuksilla on haastavaa arvioida pelletin vaikutusta nähtyihin muutoksiin. Muutokset eivät olleet vielä erityisen poikkeavia koeajossa saavutetulla pelletin osuudella. Lämpötilat sekä NOx-päästöt pysyivät alle tavoitetasojen myös suuremmilla kuormilla (tuntitasolla 78,7 MW) pelletin osuuden ollessa >15 %.

4.4 Lietteen ja pelletin seos

Pellettiä sekoitettiin myös jätevedenpuhdistamolla muodostuvien lietteiden kanssa. Pelletti voisi toimia tukemassa lietteen palamista.

Pelletin ja lietteen välinen suhde seoksessa oli 50 % pelletti ja 50 % liete. Liete + pelletti seosta ajettiin kapasiteetilla 3 m³/h normaalin polttoaineseoksen päälle.

Pelletin ja lietteen syöttö tapahtui täysin vastaavasti kuin pelkän pelletin. Pelletin ja lietteen seosta ajettiin viikolla 46. Hyötyä voi olla vaikea arvioida osuuden ollessa pieni polttoaineseoksessa.



Kuva 13. Lietteen ja pelletin seos

Pelletti imee itseensä kosteutta lietteestä. Kuvassa 13 on sekoitettuna pellettiä lietteeseen. Pelletti turpoaa ja hajoaa ”muhjuksi”, kuten kuvasta on nähtävissä. Turpoaminen ja hajoaminen tapahtuu ajallisesti varsin nopeasti. Tarkempi tarkastelu vaatisi lietteen ja vettyneen pelletin lämpöarvon selvittämisen näytteitä ottamalla. Polttoaineen syötössä ruuvitaskun kautta ei havaittu ongelmia.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kappaleessa pohditaan koeajosta saatujen havaintojen ja datan pohjalta, kuinka koeajo onnistui suhteessa sille asetettuihin tavoitteisiin. Koeajo toteutus tapahtui turvallisesti. Laitteiston toimintakykyä eikä henkilöstöä vaarannettu kokeen aikana. Havaittuihin potentiaalsiin riskeihin reagoitiin koeajon aikana alkuperäistä suunnitelmaa muuttaen.

Pelletin osuutta polttoaineseoksessa rajoitti ennalta tunnistamaton ongelma, pelletin pölyäminen. Pelletti pölysi erityisesti ruuvitaskusta pudottaessa tunnelin hihnakuljettimelle. Pölyämisen takia koeajon toteutustapaa päätettiin osittain muokata. Ruuvitaskun kapasiteetti rajoitettiin $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Arvioitiin, että muutokset eivät estä koeajolle asetettujen tärkeimpien tavoitteiden saavuttamista. Polttoainekentän purkutaskun kautta ajamista ei päästy kokeilemaan. Ruuvitaskun syötön kautta saatua kokemusta voidaan kuitenkin mahdollisesti soveltaa myös purkaustaskun syötön toiminnan arviointiin. Muita ongelmia polttoaineensyötössä ei havaittu. Syöttö ruuvitaskun kautta on siis mahdollista, kapasiteetin ollessa kuitenkin rajallinen. Varauksena mahdolliset pidempiaikaisesta vielä tuntemattomat seuraukset.

Opinnäytetyön hypoteesin: ”Suurilla kattilakuormilla pelletti (osuus $>15 \%$) nostaa tulipesän loppulämpötilaa, johtaen NOx reduktion heikkenemiseen ja päästöjen nousuun”, osalta voimme todeta seuraavaa. Poikkeavaa lämpötilan nousua, joka johtaisi NOx reduktion heikkenemiseen ja päästöjen nousuun poikkeavalla tavalla ei havaittu suuremmilla kuormilla (tuntitasolla $78,7 \text{ MW}$) pelletin osuuden ollessa $>15 \%$ (tuntitasolla $16,7 \%$).

Leijupetikattilan käyttäytymistä vieläkin suuremmalla pelletin osuudella, hakien raja-arvoja ei päästy kokeilemaan pelletin pölyämisen takia. Koeajon perusteella voidaan arvioida, kuinka paljonko turvetta on ainakin mahdollista korvata ilman investointeja. Koeajon aikana ruuvitaskun syötön ollessa $4 \text{ m}^3/\text{h}$, tuntitasolla polttotehon keskiarvo oli 68 MW ja pelletin osuus $19,7 \%$.

Todistetusti pellettiä kyettiin ajamaan keskiarvollisesti ~20 % osuudella, lämpötilojen ja päästöjen pysyessä yhä hallinnassa korkeillakin kattilakuormilla. Turpeen osuus voitaisiin laskea vähintäänkin 30 prosenttiin polttoaineenkulutuksesta. Pelivaraa jää vielä lämpötilojen ja päästöjen osalta. Päästöistä NO_x-päästön voidaan todeta olevan ainoa seuraamista vaativa savukaasupäästö, joka voi mahdollisesti rajoittaa pelletin osuutta.

Teknisen koeajon pohjalta on mahdollista nimetä mahdollisia jatkotoimenpiteitä. Havaitun pelletin pölyämiseen liittyen jatkoselvitys ATEX direktiivien 1999/92/EY ja 2014/34/EU pohjalta. Erityisesti ATEX-olosuhdedirektiivi 1999/92/EY artikla 4 mukainen räjähdysvaaran arviointi. Pölykerroksiin, -kertymiin ja -kasaantumiin on suhtauduttava kuten mihin tahansa lähteeseen, joka saattaa aiheuttaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen (1999/92/EY). ATEX luokitellussa tilassa on huolehdittava, ettei pölykertymiä muodostu pinnoille. Mahdolliset muut kuin tässä raportissa nostetut seuraukset ja vaikutukset pölyn kertymisestä pidemmältä ajanjaksolta ovat tuntemattomat.

Muita mahdollisia tehtäviä muutoksia voisivat olla syöttölaitteistoon ja/tai prosessiin. Pölyämistä voitaisiin pyrkiä minimoimaan ja hienoaineen kertymistä vähentämään vesisumulla ruuvitaskussa. Sumu ei saisi kostuttaa pellettiä, vaan rajoittaa pölyä. Pellettien säilyminen polttoainekentällä vaatisi myös toisenlaisen pidempiaikaisen vaihtoehtoon. Pelletit tarvitsevat ehdottomasti sääsuojallisen varastoinnin. Koeajossa käytetty peite ei ole kestävä ratkaisu ympärivuotiseen pidempään käyttöön. Pakkasella ja talvella lumen kanssa on suuri todennäköisyys ilmetä uusia haasteita. Varsinaisesti itse lämpötila ei aiheuta ongelmia, vaan lämpötilan vaihtelusta syntyvä kosteus.

Opinnäytetyö oli prosessina opettavainen ja kasvatti ehdottomasti ammatillista osaamistani. Opinnäytetyön tekeminen lisäsi erityisesti kokemusta projektityöskentelystä. Toimeksiantaja asetti raamit, resurssit ja tavoitteet, joiden pohjalta sai lähteä itseohjautuvasti suunnittelemaan ja järjestelemään opinnäytetyön sekä teknisen koeajon toteuttamista. Opinnäytetyön tekemisen mielekkyyttä lisäsi työn toiminnallisuus sekä konkreettinen hyöty toimeksiantajalle. Teknisen koeajon voidaan arvioida vastaavan kohtalaisen

hyvin opinnäytetyölle asetettuihin tavoitteisiin, ottaen huomioon ilmennyt ongelma pölyämisen kanssa sekä rajoitettu kapasiteetti. Rajoitteista huolimatta pystyttiin todistamaan pelletin toimivuus turpeen osittaisena korvaajana Heinolan Flutingtehtaan voimalaitoksella.

Lähteet

- 1999/92/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 1999. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0092&from=FI>
- 2010/75/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2010. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=SK>
- 936/2014. Valtioneuvoston asetus suurten polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta. 2014. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140936>
- Alakangas, E. 2000. Otamedia Oy, Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2045. <https://www.motiva.fi/files/685/t2045.pdf>
- Aluehallintovirasto. 2020. Stora Enso Heinolan Flutingtehdas ympäristölupa. <https://ylupa.avi.fi/api/v1/documents/attachment/7399621>
- Bioenergia ry. Mitä on turve? Viitattu 22.10.2022. <http://turveinfo.fi/turve/mita-on-turve-ja-turvemaa/>
- Bioenergia ry. Turpeen energiankäyttö. Viitattu 22.10.2022. <http://turveinfo.fi/kayttotavat/energiakaytto/turpeen-energiakaytto/>
- Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P. & Pakkanen H. 2000. Höyrykattilatekniikka, 5., uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Inderes 2022. Stora Enso Oyj yhtiösivut. Viitattu 19.10.2022. <https://www.inderes.fi/fi/yhtiot/stora-enso>
- Karkela, L.; Kervinen, M.; Meriläinen, P.; Parkkila, I. & Seppänen, R. 2014. MAOL-taulukot. 1.–3. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- KnowPulp. Taitotalo, Prowledge Oy. <https://www.knowpulp.com/>
- KvantiMOTV. Päivitetty 2009, Tutkimusprosessi. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/tutkimus/prosessi.html>
- Linde. NOx. Viitattu 22.10.2022. <https://linde-stories.com/fi/osaatko-tulkita-nox-tuloksiasi/>

Metsäteollisuus 2022. Tehdaspolttoaineet. Viitattu 19.10.2022.

<https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/metsateollisuuden-kayttamat-tehdaspolttoaineet>

Raumaster Oy 2017. Stora Enso sisäinen materiaali, polttoaineen käsittelyn toiminnankuvaus.

Stora Enso Oyj 2021. SIJOITTAJAUUTINEN 20.10.2021. Viitattu 28.9.2022, <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/regulatory-and-investor-releases/2021/10/stora-ensolta-kunnianhimoinen-tavoite-siirtya-kokonaan-uudistaviin-ratkaisuihin-vuoteen-2050-mennessa-ja-uudet-vastuullisuustavoitteet-vuodelle-2030>

Stora Enso Oyj 2022. Heinolan flutingtehdas. Viitattu 27.9.2022, <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/heinola-fluting-mill>

Stora Enso, Pellets. Viitattu 22.10.2022. <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/pellets>.

Suomen luonnonsuojeluliitto. Viitattu 24.10.2022, <https://www.sll.fi/mita-me-teemme/suot/nain-toimimme/turve/>

Soimakallio S., Sankelo P., Kopsakangas-Savolainen M., Sederholm C., Auvinen K., Heinonen T., Johansson A., Judl J., Karhinen S., Lehtoranta S., Rasanen S. & Savolainen H. Turveraportti: Turpeen rooli ja sen käytöstä luopumisen vaikutukset Suomessa. 2020. Helsinki: Sitra. <https://www.sitra.fi/app/uploads/2020/06/turpeen-rooli-ja-sen-kaytosta-luopumisen-vaikutukset-suomessa-tekninen-raportti.pdf>

Valmet. Distributed control system (DCS).

<https://www.valmet.com/automation/distributed-control-system/>

Valmet 2020. Stora Enso sisäinen materiaali, prosessi ja toimintakuvaus SNCR-laitteisto.

Ylä-Hemmilä J. 2022. Stora Enso sisäinen esitysmateriaali.