

Teijo Tykkyläinen

# TURPEEN POLTON LOPETTAMISEN VAIKUTUKSET HOVINSAAREN VOI- MALAITOKSEN BFB-KATTILASSA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Energiatekniikan koulutus

2022



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike

Tekijä

Työn nimi

Toimeksiantaja

Vuosi

Sivut

Työn ohjaaja(t)

Insinööri (AMK), Energiatekniikka

Teijo Tykkyläinen

Turpeenpoltton lopetuksen vaikutukset Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilassa.

Kotkan Energia Oy

2022

47 sivua, liitteitä 4 sivua

Tuomo Pimiä

Prosessi-insinööri Teemu Fransas, Hovinsaaren voimalaitos

## TIIVISTELMÄ

Kotkan Energian suunnitelmissa on luopua turpeen poltosta Hovinsaaren voimalaitoksella vuoteen 2030 mennessä. Turpeen poltosta luopumisen vaikutusten selvittäminen Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilaan on siis ajankohtaista ja tarpeellista. Syksyn ja talven 2021–2022 aikana turpeen osuutta polttoaineessa tarkoituksellisesti vähennettiin seurausten arvioimiseksi.

Ensiksi työssä käydään palamisen teoriaa, palamisen hallintaa voimalaitoksissa sekä palamisesta aiheutuvia päästöjä. Lisäksi selvitetään Hovinsaaren BFB-kattilan rakennetta ja toimintaa sekä siinä käytettäviä polttoaineita turpeeseen erityistä huomiota kiinnittäen. Näiden tietojen pohjalta tarkastellaan turpeen poltosta mahdollisesti aiheutuvia seurauksia teoreettisesti.

Tämän jälkeen tutkitaan turpeen polton vähentämisen seurauksia Hovinsaaren voimalaitoksella käytännössä. Vertailu tehdään kahden vertailujakson avulla, joista toisen aikana turvetta oli polttoaineseoksesta 8 % ja toisen aikana 25 %. Aineistona käytetään Hovinsaaren voimalaitoksen polttotaseraportteja, automaatiojärjestelmän historiatietoja prosessista sekä voimalaitoskäyttäjien kanssa aiheesta käytyjä keskusteluita.

Tutkimusten tuloksena esitetään työssä turpeen polton lopettamisen aiheuttavan ongelmia petihiekan lisääntyvänä sintraantumisenä. Lisäksi esitetään kattilan lämmönsiirripintojen likaantumisen lisääntyvän sekä niiden korroosioriskin kasvavan. Ratkaisuna turpeen polton lopettamisen seurauksiin esitetään nuohouksen lisäämistä sekä petihiekan vaihtamisen tehostamista. Lisäksi kattilan materiaalien vaihtaminen korroosiota parempiin materiaaleihin sekä arinan rakenteen muuttaminen esitetään mahdollisina ratkaisuuina.

**Asiasanat:** turve, voimalaitos, leijupetikattila

Degree title	Bachelor of Engineering, Energy Technology
Author	Teijo Tykkyläinen
Thesis title	Effects of Ending Peat Burning in Hovinsaari BFB-boiler
Commissioned by	Kotkan Energia Oy (energy company)
Time	2022
Pages	47 pages, 4 pages of appendices
Supervisors	Tuomo Pimiä Teemu Fransas

## ABSTRACT

Kotkan Energia is planning to stop peat burning in Hovinsaari power plant by 2030. Therefore, it was necessary to examine the effects this could have on Hovinsaari BFB boiler. the company's plan was to reduce the amount of peat in fuel mixture during the autumn and winter 2021 – 2022 so that impacts could be examined.

First, the theory of burning process, burning management in power plant boilers, and burning emissions were studied. Then the construction and operating principles of Hovinsaari BFB-boiler are gone throughout as well as fuel types used in Hovinsaari were examined. After that, the impacts of ending peat burning were examined from a theoretical level and in practice during two examination periods. In the first period, the peat content in the fuel mixture was 8% and in the second period 25%. In the support of the study fuel reports, history data from Hovinsaari operating system and power plant operators' experiences were examined.

As a result, some possible impacts were found. When peat burning is ended bed sand will sinter more easily and boiler's heat exchange surfaces will become dirty more quickly. Also, risk of corrosion in boiler materials increases. As a solution for these problems, boiler sweeping intervals could be shortened and bed sand could be changed more frequently. Also, boiler materials could be changed with more corrosion resistant alternatives. Changing the structure of the furnace bed could be considered.

**Keywords:** peat, BFB-boiler, powerplant

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TOIMEKSIANTAJAN JA TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY.....	7
2.1	Kotkan Energia .....	7
2.2	Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattila .....	8
3	PALAMISEN TEORIAA .....	10
3.1	Palaminen.....	10
3.2	Palamisilma .....	11
3.3	Palamislämpötilan hallinta .....	13
3.4	Päästöt .....	14
4	POLTTOAINEET .....	17
4.1	Turve .....	17
4.2	Bio .....	19
4.3	Ref.....	20
5	TURVESUHTTEEN MUUTOSTEN TEOREETTISET VAIKUTUKSET .....	23
6	POLTTOAINESUHTTEEN KOEAJOT JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	24
6.1	Tarkasteluajanjakso.....	25
6.2	Havainnot .....	26
6.3	Johtopäätökset .....	31
7	TYÖN TULOKSET .....	36
8	YHTEENVETO .....	38
	LÄHTEET.....	40

## KUVALUETTELO

## TAULUKKOLUETTELO

## LIITTEET

- Liite 1. Tarkastelujaksojen vertailu
- Liite 2. Jakso – A:n polttotaseraportti
- Liite 3. Jakso – B:n polttotaseraportti
- Liite 4. Polttotaseraportti helmikuu 2022

## KÄSITTEET JA SYMBOLIT

% k.a.	prosenttia kiintoaineesta
°C	celsiusaste
$A_d$	tuhkapitoisuus kuiva-aineessa
$c$	lämpöarvo
$C$	lämpökapasiteetti
$E$	energiatiheys
$i$	ilma
$J$	joule
$K$	kelvin
$k$	kilo
$kg$	kilogramma
$m$	massa
$M$	mega
$M_{,ar}$	kokonaiskosteus saapumistilassa
$m^3n$	normikuutio
$mg$	milligramma
$pa$	polttoaine
$Q_{gr}$	kalorimetrinen lämpöarvo
$Q_{net}$	tehollinen lämpöarvo
$Q_{net,ar}$	tehollinen lämpöarvo saapumistilassa
$s$	sekunti
$Wh$	wattitunti
$\lambda$	ilmakerroin

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella turpeen polton lopettamisen mahdollisia vaikutuksia Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilaan. Aihe on ajankohtainen, sillä Kotkan Energia oy:n tavoitteena on luopua turpeen poltosta Hovinsaaren voimalaitoksella vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi syksyllä 2021 turpeen osuutta polttoainekokonaisuudesta oli Hovinsaaren voimalaitoksella pienennetty, mikä mahdollisti turpeen vähentämisen vaikutusten tarkastelun. Opinnäytetyön kirjoittamisen aikana maailman tapahtumat aiheuttivat Hovinsaarellakin väliaikaista turpeen polton lisäämistä, mutta turpeesta on silti tulevaisuudessa tarkoitus luopua.

Hovinsaaren Voimalaitoksella käytetään polttoaineena turvetta, biopolttoaineita kuten metsähaketta ja kuorta sekä kierrätyspuupolttoaineita. Kattilan suunnittelussa lähtökohtana on ollut, että siellä käytetään yhtenä polttoaineseoksen osana turvetta. Siksi voidaan olettaa, että turpeen polton lopettamisella on vaikutuksia kattilaan ja näitä vaikutuksia on tarpeen tarkastella tarkemmin.

Työn teoriaosuudessa käsitellään palamisen teoriaa ja palamisen hallintaa BFB-kattilassa. Lisäksi tarkastellaan palamisen päästöjä sekä voimalaitoksella käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia ja käyttäytymistä palamisprosessissa. Tutustutaan myös leijupetikattilaan ja tarkastellaan erityisesti Hovinsaaren Voimalaitoksen BFB-kattilan rakennetta.

Työssä tarkastellaan turpeen osuuden muutoksia aikavälillä 1.10.2021–31.1.2022 ja näiden muutosten vaikutuksia kattilaan. Tarkastelussa käytetään apuna teoriaosuuden tietoja sekä voimalaitokselta kerättyjä tietoja, sekä käyttäjien havaintoja. Tutkimusten tuloksista pyritään tekemään johtopäätöksiä siitä, minkälaisia vaikutuksia turpeen polton lopettamisella kokonaan voisi kattilaan olla. Lisäksi pohditaan, mitä nämä vaikutukset voisivat aiheuttaa, ja toimenpiteitä, joilla vaikutuksia voisi hillitä.

## 2 TOIMEKSIANTAJAN JA TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY

### 2.1 Kotkan Energia

Kotkan Energia on Kotkan kaupungin omistama energiakonserni, jonka päätuote on kaukolämpö. Kotkan Energia Oy perustettiin 1993 ja nykyisen muotonsa konserni sai vuonna 2016. Emoyhtiö Kotkan Energia Oy:n lisäksi konserniin kuuluvat kolme tytäryhtiötä Kotkan Energiaverkot Oy, KotkaGas Oy ja KotkaTec Oy. Kotkan Energialla on töissä noin 120 henkeä. Vuonna 2021 konsernin liikevaihto oli 92,7 miljoonaa euroa ja liikevoitto 7,9 miljoonaa euroa. ([www.kotkanenergia.fi](http://www.kotkanenergia.fi))

Kotkan Energian päätuotantolaitokset ovat Hovinsaaren Voimalaitos ja Korkeakoskella sijaitseva Hyötyvoimala, joissa tehdään kaukolämpöä Kotkan kaukolämpöverkkoon, sähköä sekä tehdashöyryä teollisuuden tarpeisiin. Hyötyvoimalaitoksella pääpolttoaineena toimii jäte ja tarvittaessa apuna maakaasu. Hovinsaaren voimalaitoksella käytetään polttoaineina BFB-kattilassa biopolttoaineita ja apukattilassa sekä kombikattilassa maakaasua. BFB-kattilan apupolttoaineena toimii myös maakaasu. Hovinsaaren voimalaitoksen bfb-kattilaan ja siinä käytettäviin polttoaineisiin perehdytään tarkemmin luvussa 4. Lisäksi lämmityskaudella on jatkuvasti ajossa Sunilassa sijaitseva biopolttoaineita käyttävä lämpölaitos Karbio. Tarvittaessa kaukolämpöä tehdään myös Alahovin, Itäkadun, Madesalmen ja Karhuvuoren lämpökeskuksissa pääasiassa öljyllä. Alahovin lämpölaitoksella on mahdollista käyttää öljyn lisäksi maakaasua kaukolämmön tuotantoon.

Päätuotteensa kaukolämmön lisäksi konserni tuottaa sähköä, höyryä teollisuuden tarpeisiin ja myy maakaasua. Kaukolämmön ja sähköntuotannon lisäksi Kotkan Energia tarjoaa mm. sähköauton latauspalveluita, aurinkopaneeleita ja muita älykkäitä energiaratkaisuja.



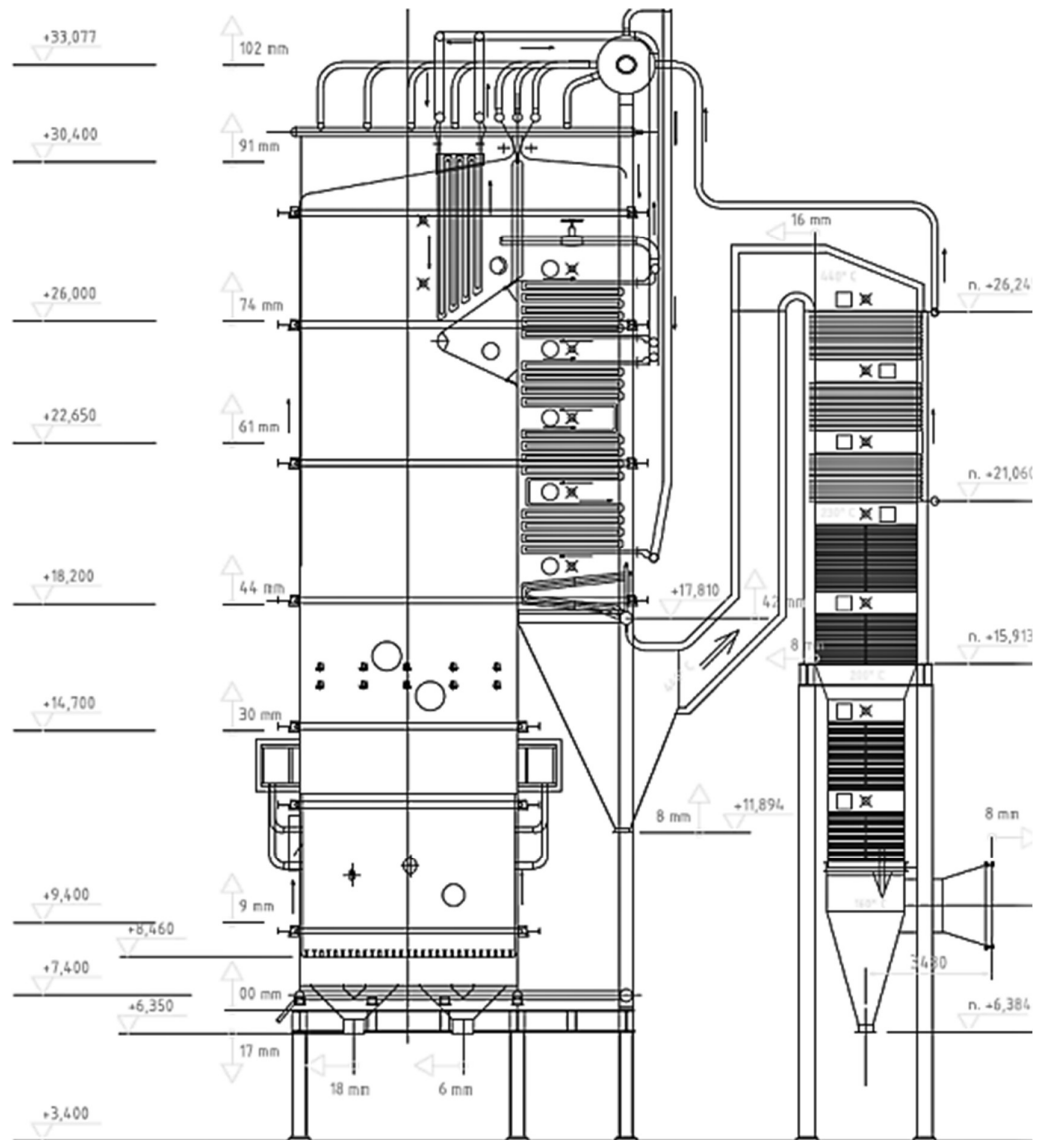
Kuva 1. Kotkan Energia Oy logo

## 2.2 Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattila

Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattila on niin sanottu kerrosleijukattila, jossa polttoaine poltetaan alhaaltapäin puhallettavan ilman avulla leijutettavan hiekan seassa. Tyypillisesti leijutettava hiekkakerros on tämän tyyppisessä kattilassa 0,4–0,8 metriä. Hovinsaaren BFB-kattilassa hiekkakerros pyritään pitämään 0,4–0,5 m korkuisena. Leijusuutarina, petihiekkakerros ja seinäputkia eroosiolta suojaavat muuraukset muodostavat polttilan. Polttoainetta syötetään kattilaan syöttötorvista pedin yläpuolelle. Hovinsaaren tapauksessa polttoaineen syöttötorvia on kaksi. Suuremmat polttoainepartikkelit palavat petihiekan seassa ja pienemmät partikkelit pedin yläpuolella. (Huhtinen 2008, 36–37.)

Hovinsaaren BFB-kattilan tyyppisen leijupetikattilan hiekkapeti kuplii leijutettaessa ikään kuin kiehuvan veden tavoin. Tämän tyyppinen peti omaa suuren lämpökapasiteetin, mikä auttaa tasaamaan polttoaineen laatuvariaatioita sekä helpottaa kostean polttoaineen polttamista. Tuhka, vanha petihiekka sekä petiin päätyneet sinne kuulumattomat materiaalit poistetaan petistä poistamalla säännöllisesti hiekkaa pedin alapuolen aukoista. Osa palamisen vaatimasta hapesta tulee leijutusilman mukana ja loput pedin yläpuolelle syötettävästä sekundaari-ilmasta. Pedin lämpötilan hallinta on tärkeää, sillä pedin kuumentessa liikaa tuhka alkaa sulamaan, mikä taas aiheuttaa petihiekan sintraantumista. (Huhtinen 2000, 155–158.)

Kotkan Energian Hovinsaaren BFB-kattilan käyttöönotto suoritettiin 2003. Täydellä kuormalla operoitaessa lieriön paine on noin 68 baaria ja tulistetun höyryn lämpötila noin 480 °C. Tulipesän leveys on 6465 mm, syvyys 5610 mm ja korkeus pohjasta kattoon 21 m. Tulipesän nokan päällä sijaitsee tulistin 2 ja tulistimet 1 ja 3 löytyvät ensimmäisestä pystyvedosta. Myös konvektiohöyrystin sijaitsee ensimmäisessä pystyvedossa. Palamisilman esilämmittimet eli luvot ja syöttöveden esilämmittimet eli ekonomaiserit sijaitsevat toisessa pystyvedossa. Kuvassa 2 on kattilan rakenne toiseen pystyvetoon asti. (Kuumola 2001.)



Kuva 2. Hovinsaaren Voimalaitoksen BFB-kattilan sivuleikkaus (Kvaerner Pulping 2001)

### 3 PALAMISEN TEORIAA

Voimalaitoksessa palamisen tulee olla hallittua, jolloin tietämys palamisen teoriasta on tärkeässä asemassa voimalaitoskattilaa suunniteltaessa sekä sitä käytettäessä. Yleisen palamisen teorian lisäksi luvussa käsitellään palamislämpötilan hallintaa, palamisen päästöjä sekä ilmajakoa ja ilmakerrointa leijupetikattilassa. Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilan pääpolttoaineet, turve mukaan lukien, ovat kiinteitä polttoaineita, joten aiheita käsitellään erityisesti kiinteiden polttoaineiden kannalta.

#### 3.1 Palaminen

Palamisessa on kyse aineen kemiallisesta yhtymisestä happeen. Hapen kanssa reagoivia palavia aineita ovat typpi (N), vety ( $H_2$ ), rikki (S) ja hiili (C). Kun palavan aineen ja hapen välinen reaktio kiihtyy itseään ylläpitäväksi, puhutaan palavan aineen syttymisestä. Näin ollen lämpötilan noustessa riittävän korkeaksi, polttoaineilmaseos syttyy joko itse, tai pakottamalla se ulkopuolisella energialla. (Huhtinen 2000, 79–80.)

Kiinteän polttoainekappaleen kohdalla sen palaminen on riippuvainen sen kemiallisista, rakenteellisista ja fysikaalisista ominaisuuksista. Kemiallisia ominaisuuksia ovat

- reaktiivisuus
- pyrolysoitumislämpö
- lämpöarvo

rakenteellisia ominaisuuksia

- palakoko
- tiheys
- huokoisuus

ja fysikaalisia ominaisuuksia

- lämpökapasiteetti
- lämmönjohtavuus. (Alakangas 2008, 41.)

Palamistapahtuma voidaan jakaa useampaan vaiheeseen ja kiinteän polttoainepartikkelin palamisessa tai kaasutuksessa on erotettavissa seuraavat vaiheet:

- lämpeneminen kuivumislämpötilaan ja kuivuminen
- pyrolyysi
- jäännöshiilen palaminen tai kaasutus.

Suuremmille partikkeleille nämä vaiheet voivat olla osittain päällekkäisiä. Esimerkiksi puukappaleen palaessa oikeanlaisissa olosuhteissa voi kuivuminen, pyrolyysi ja jäännöshiilen palaminen tapahtua samanaikaisesti. Tällöin partikkelin pinnan jo palaessa on sisus vielä kostea. (Saastamoinen 2002, 186.)

Polttoainepartikkelin kuivuessa ja syttyessä siitä vapautuvien pyrolyysikaasujen pitoisuus ja lämpötila kohoavat, kunnes ne saavuttavat pisteen, jossa pyrolyysikaasut syttyvät. Tämä pyrolyysikaasujen syttyminen havaitaan liekkiä. Polttoaineen kosteudella on suuri vaikutus polttoaineen palamiseen ja pyrolyysiin. Mitä kosteampaa polttoaine on, sitä hitaampaa syttyminen ja pyrolyysi. (Alakangas 2008, 42.)

Pyrolyysi itsessään on kiinteän aineen muuntumista kaasuihin ja tervamaiseen muotoon lämmöntuotannon seurauksena. Kun on kyse kiinteistä polttoaineista, käytetään polttoaineesta pyrolysoituvasta osuudesta nimitystä haihtuvat aineet. Polttoaineesta pyrolysoituva osuus on riippuvainen loppulämpötilasta ja kuumennusnopeudesta, mutta voidaan arvioida, että käytettäessä hidasta lämpenemisnopeutta 800–900°C, on se puulla noin 80 % massasta ja turpeella noin 60–70 %. (Saastamoinen 2002, 192–193.)

Palamisen vaiheista hitain on jäännöshiilen palaminen. Jäännöshiilen palamisessa palaminen tapahtuu palavan kappaleen pintakerroksessa ja palamisreaktio on liekkiön. Palamisreaktiosta saatavan energian kannalta jäännöshiilen palaminen on kuitenkin merkittävä vaihe, sillä vaikka biomassapolttoaineilla jäännöshiilen osuus kuiva-aineesta on yleensä noin 10–30 % luokkaa, tuottaa jäännöshiilen palaminen 25–50 % palamisreaktion kokonaisenergiankehityksestä. Syynä tähän on jäännöshiilen korkea lämpöarvo. (Alakangas 2008, 44.)

### **3.2 Palamisilma**

Palamisen tarvitsema happi tuodaan prosessiin palamisilman mukana. Ilma sisältää lähinnä happea ja typpeä, joten palamisilman tarvetta määriteltäessä ilman katsotaan käytännöllisyyden tähden muodostuvan 21 % hapesta ja 79 % tpeestä. Polttoaineen ja palamisilman määrien oikea suhde on kattilan hyötysuhteen kannalta erittäin tärkeää. Kaiken kattilaan syötettävän polttoaineen halutaan luonnollisesti palavan täydellisesti, jotta polttoaineesta saadaan kaik-

ki hyöty. Toisaalta ylimääräisen palamiseen osallistumattoman ilman kierrätys kattilan läpi lisää savukaasuhäviöitä heikentäen kattilan hyötysuhdetta. (Huhtinen 2000, 85, 208.)

Yleensä palamisessa tarvittava ilmamäärä määritellään polttoainekiloa kohden. Näin saadaan palamisilman kulutuslukuja kg ilmaa / kg polttoainetta (kgi/kgpa). Kun tiedetään kattilan tarvitsema polttoainemäärä, pystytään tätä palamisilman kulutuslukua avuksi käyttäen määrittelemään palamisilman tarve. Seuraavassa taulukossa on valmiiksi laskettuja palamisilman kulutuslukuja turpeelle ja puupolttoaineelle. (Huhtinen 2000, 84.)

Taulukko 1. Palamisilman tarve (Huhtinen 2000, 89–90)

	<i>Turve</i> <i>kosteus 50 %</i>	<i>Turve</i> <i>kosteus 0 %</i>	<i>Puu</i> <i>kosteus 50 %</i>	<i>Puu</i> <i>kosteus 0 %</i>
<i>Hapentarve</i> <i>kgi/kgpa</i>	0,789	1,58	0,705	1,410
<i>Ilmantarve</i> <i>kgi/kgpa</i>	3,39	6,81	3,04	6,09
<i>Ilmantarve</i> <i>m<sup>3</sup>n/kgpa</i>	2,63	5,27	2,35	4,71

Teoreettisella ilmamäärällä ei kuitenkaan käytännössä päästä polttoaineen täydelliseen palamiseen. Tulipesään on siis syötettävä ilmaa jonkin verran tätä teoreettista palamisilmamäärää enemmän. Tätä teoreettisen ilmamäärän ja käytetyn todellisen ilmamäärän suhdetta kutsutaan ilmakertoimeksi. Taulukossa 2. esitetään voimalaitoskattiloiden tyypillisiä ilmakertoimia eri polttoaineilla. (Huhtinen 2000, 86.)

Taulukko 2. Tyypillisiä polton ilmakertoimia (Huhtinen 2000, 86)

<i>Polttoaine</i>	<i>Poltonilmakerroin(λ)</i>
<i>Hiili</i>	1,15–1,35
<i>Kaasu</i>	1,02–1,10
<i>Raskasöljy</i>	1,03–1,10
<i>Turve(kosteus50%)</i>	1,15–1,35
<i>Puujäte(kosteus50%)</i>	1,10–1,50
<i>Jätelipeä</i>	1,10–1,25

Vaikka palamiseen käytettävä ilma ei käytännössä ole koskaan täysin kuivaa, on ilman sisältämän kosteuden vaikutus palamisilman määrään normaaliolosuhteissa vain noin 0,1–1 %. Niinpä ilmankosteuden vaikutus palamisilmamäärään voidaan käytännössä jättää yleensä huomioimatta. (Huhtinen 2000, 84–86.)

Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilassa tarvittava palamisilma imetään ilmakehään palamisilmapuhaltimella ulkoa sekä kattilahallista sisältä. Ulkoa otetun ja kattilahallista sisältä otetun ilman suhdetta säädellään palamisilmapelleillä. Tämä palamisilma jaetaan leijutus- ja yläilmaksi. Leijutusilmasta käytetään nimitystä primääri-ilma. Yläilma jaetaan edelleen ylempään ja alempaan sekundääri-ilmatasoon sekä tertiääri-ilmatasoon. Lisäksi kattilaan syöttää ilmaa polttoaineen syöttötorvien kautta kantoilmapuhallin. Kantoilman tehtävänä on heittää syöttötorviin pudotettava polttoaine petiin sekä jäähdyttää syöttötorvia. Kantoilman määrä on joka tilanteessa vakio. (Fabritius 2003, 5–7.)

Ilmakehävasta palamisilma puhalletaan kattilaan ilman esilämmittimien kautta primääri- ja sekundääri-ilmapuhaltimilla. Primääri-ilmapuhallin on johtosii- pisäätöinen ja sekundääri-ilmapuhallin taajuusmuuttajatoiminen. Ennen näitä puhaltimia palamisilmaa on lämmitetty kuljettamalla se höyryluvon lävitse. Primääri-ilmapuhallin vastaa kattilan pedin leijutusilmasta ja se ohjataan kattilaan pedin alle mahdollisimman tasaisesti kattilanpohjassa sijaitsevien suuttimien kautta. Sekundääri-ilmapuhallin syöttää ilmaa pedin yläpuolelle sekundääri- ja tertiäärisuuttimille sekä polttimille. Sekundääri-ilma ohjataan kattilaan pedin yläpuolelle etu- ja takaseinissä sijaitsevien suuttimien kautta. Tertiääri-ilma syötetään kattilaan sekundääri-ilman yläpuolelle kattilan sivuseinissä sijaitsevien suuttimien kautta. (Fabritius 2003, 5–7.)

### **3.3 Palamislämpötilan hallinta**

Palamisreaktion lämpötilan hallinta on voimalaitoksessa erittäin tärkeää. Toisaalta palamislämpötilan tulisi olla riittävän korkea, jotta saavutettaisiin hyvä palaminen mutta toisaalta liian korkea lämpötila aiheuttaa ongelmia. (Huhtinen 2008, 42.) Hovinsaaren voimalaitoksen tyyppisessä kerrosleijupetikattilassa liian korkeaksi nouseva petilämpötila aiheuttaa tuhkan pehmenemistä ja su-

lamista, mikä aiheuttaa petihiekan sintraantumista. Petin lämpötila pyritään pitämään noin 100 °C tuhkan pehmenemispistettä alempana. (Huhtinen 2000, 158.) Hovinsaaren voimalaitoksella petilämpötila pyritään pitämään 850 °C.

Pedin lämpötilan alentamiseksi voidaan pedin leijutusilman joukkoon johtaa kiertokaasua. Kiertokaasu johdetaan savukaasukanavasta savukaasupuhaltimen jälkeen omaa kanavaa pitkin kiertokaasupuhaltimelle, josta se johdetaan leijutusilmakanavaan. Kiertokaasun avulla leijutusilman happipitoisuutta saadaan laskettua ja siten palamistapahtumasta vapautuvaa lämpö määrää laskettua. (Huhtinen 2008, 42.)

Pedin lämpötilaa saadaan laskettua myös uutta petihiekkaa petiin lisäämällä ja vanhaa hiekkaa pohjatuhkaruuvien avulla poistamalla. Sekundääri-ilman, joka syötetään tulipesään tulipesän seinämällä olevien suuttimien kautta, ja primääri-ilman, joka johdetaan kattilaan leijupedin alapuolelta, suhde vaikuttaa myös palamislämpötilaan. Polttoaineen lopullinen palaminen tapahtuu sekundääri-ilman avulla ja sen avulla kontrolloidaan myös savukaasujen happipitoisuutta. (Huhtinen 2008, 42.)

### **3.4 Päästöt**

Palamisessa syntyvien päästöjen hallinta on myös tärkeää. Savukaasut sisältävät monia ympäristölle ja ihmisille haitallisia ainesosia, joiden määrää luonnollisesti pyritään minimoimaan. Savukaasujen sisältämien eri aineiden raja-arvot määritellään yleisellä tasolla kansainvälisissä sopimuksissa, jokaisen maan omassa lainsäädännössä ja asetuksissa sekä voimalaitoskohtaisesti voimalaitoksen omassa ympäristöluvassa. Keinoja savukaasujen puhdistamiseksi haitallisista ainesosista on monia. Tässä työssä keskitytään niihin keinoihin, jotka liittyvät palamisen hallintaan.

Savukaasujen sisältämiä palamistuotteita ovat vesi, hiilidioksidi ja rikkidioksidi. Lisäksi savukaasut sisältävät tietenkin lentotuhkaa, joka muodostuu polttoaineen palamattomista ainesosista. Palamisilman mukana savukaasuihin tulee typpeä, argonia ja happea. Koska käytännössä ei koskaan päästä täydelliseen palamiseen, vaan myös ilmaylimäärää käytettäessä esiintyy epätäydellistä palamista, sisältävät savukaasut myös häkää. (Huhtinen 2000, 91.)

Voimalaitoksen savukaasujen sisältämien aineiden raja-arvot määritellään ympäristöluvassa. Raja-arvot määritellään seuraaville päästöille:

- NO<sub>x</sub>-päästöt
- SO<sub>2</sub>-päästöt
- CO-päästöt
- Raskasmetallipäästöt (mm. Cd, Hg)
- Elohopeapäästöt
- Hiukkaspäästöt
- TVOC-yhdisteet
- HCl, dioksiinit ja furaanit

Nykytilanteessa Hovinsaaren kattila saavuttaa ympäristöluvassa vaaditut raja-arvot. Kuvassa 3 on taulukko, jossa esitetään Hovinsaaren päästöraja-arvot vuoden 2022 alusta lähtien.

Hiukkaset	21 mg/m <sup>3</sup> (n) 15 mg/m <sup>3</sup> (n)	Vuorokausikeskiarvo Vuosikeskiarvo
Orgaaninen hiili, TOC	15 mg/m <sup>3</sup> (n)	Vuorokausikeskiarvo
Suolahappo, HCl	15 mg/m <sup>3</sup> (n)	Vuorokausikeskiarvo
Fluorivety, HF	1,5 mg/m <sup>3</sup> (n)	Vuorokausikeskiarvo
Rikkidioksidi, SO <sub>2</sub>	198 mg/m <sup>3</sup> (n) 97 mg/m <sup>3</sup> (n)	Vuorokausikeskiarvo Vuosikeskiarvo
Typenoksidi, NO <sub>x</sub>	275 mg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> (n) 225 mg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> (n)	Vuorokausikeskiarvo Vuosikeskiarvo
Hiilimonoksidi, CO	170 mg/m <sup>3</sup> (n)	Vuorokausikeskiarvo
Cd + Tl	yht. 0,05 mg/m <sup>3</sup> (n)	Kalenterivuoden näytteiden keskiarvo
Hg	0,005 mg/m <sup>3</sup> (n)	Kalenterivuoden näytteiden keskiarvo
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	yht. 0,5 mg/m <sup>3</sup> (n)	Kalenterivuoden näytteiden keskiarvo
Dioksiini ja furaanit	0,1 ng/m <sup>3</sup> (n)	Kalenterivuoden näytteiden keskiarvo

Kuva 3. Hovinsaaren voimalaitoksen päästöraja-arvot vuoden 2022 alusta lähtien. (Rissanen 2022, 27)

Ihmisten terveydelle ja luonnolle aiheutuvien haittojen lisäksi poltossa syntyvät päästöt ovat haitallisia kattilan materiaaleille. Leijupetikattiloissa, joissa poltetaan bio- ja kierrätyspolttoaineita, on tulistinten kuumakorrosio yleisin korrosiotyyppi. Poltossa polttoaineen kloori ja tuhkan alkalit muodostavat yhdessä alkalikloridisuoloja, jotka esiintyvät savukaasussa sulapisaroina ja höyrynä. Tulistinpinnoille kondensoituvat kloridihöyryt muodostavat suolakerroksen,

jonka kloridisuolat rikkovat putkia suojaavan oksidikerroksen. Jo noin 0.1 %:n klooripitoisuus polttoaineen kuiva-aineesta riittää kloorikorroosion käynnistymiseen höyryn lämpötilan ylittäessä 500°C. Polttoaineen klooripitoisuuden kasvaessa voi korroosiota esiintyä jo höyryn lämpötiloilla 460–480 °C. Kierrätyspolttoaineissa esiintyvät raskasmetallit laskevat edelleen kloorikorroosion alkamislämpötiloja. (Vesanto 2007, 43–44.)

Kloorikorroosio ei välttämättä pysähdy, vaikka klooripitoisten polttoaineiden polttoa vähennetään. Tulistinpinnalle vähitellen muodostuvan, kasvavan tuhkakerroksen ja putkipinnan väliin voi kapseloitua klooria ja sen seurauksena muodostua korroosiota ylläpitävä ”kloorisilmukka”. (Vesanto 2007, 43–44.)

Palamisilman esilämmittimellä tai sen jälkeen voi esiintyä rikkihappokastepistekorroosiota. Sen aiheuttaa polttoaineessa olevan rikin muodostama SO<sub>3</sub>. Rikkihappokastepistekorroosio on ongelma toimittaessa alhaisilla lämpötiloilla. Sen muodostuminen alkaa, jos metallin pintalämpötila pääsee kastepisteen alapuolelle. (Vesanto 2007, 45.)

## 4 POLTTOAINEET

Leijupetikattila soveltuu monenlaisten polttoaineiden polttoon. Erilaisia teollisuuden jätteitä, jopa lietteitä ja kosteita polttoaineita kyetään käyttämään leijupetikattiloiden polttoaineena. Hiilenpoltto on sen sijaan osoittautunut leijupetikattiloissa haastavaksi. Ylösajossa ja ongelmatilanteissa apupolttoaineena toimii yleensä kaasu tai öljy. (Huhtinen 2000, s. 159.) Hovinsaaren voimalaitoksessa käytettävät polttoaineet on jaoteltu karkeasti kolmeen luokkaan:

- Bio
- Turve
- REF.

Kattilan suunnittelija on antanut kattilan prosessiarvoille takuupolttoaineseokset. Käytännössä kattilan nykytilannetta parhaiten vastaavan ja työn kannalta oleellimmän polttoaineseoksen koostumus esitetään seuraavassa taulukossa. Kuten seuraavista osioista käy ilmi, ei tämä takuupolttoaineseos täysin vastaa kattilassa viime vuosina käytettyä polttoaineseosta, mutta se antaa kuvan kattilan suunnittelun lähtökohdista.

Taulukko 3. Takuupolttoaineseos (Kuumola, 2001)

<i>Polttoaine</i>	<i>Osuus (%)</i>
<i>Jyrsinturve</i>	55 %
<i>Metsähake</i>	25 %
<i>REF1</i>	15 %
<i>Purkupuu</i>	5 %

Seuraavissa osioissa käymme tarkemmin läpi Hovinsaaren BFB-kattilassa käytettäviä polttoaineita.

### 4.1 Turve

Hovinsaaren BFB-kattilassa poltettava turve on jyrsinturvetta. Niinpä tässä työssä käsitellään lähtökohtaisesti jyrsinturvetta ja jätetään palaturve polttoainetyyppinä käsittelemättä. Jyrsinturve on yleisestikin huomattavasti enemmän polttoaineena käytetty näistä kahdesta, sillä jyrsinturpeen osuus energiaturpeen tuotannosta on 90 %. (Suomen turvetuottajat, 2022.)

Turve koostuu kuolleista kasvin osista, jotka ovat hapen puutteen ja hyvin märkien olosuhteiden takia maatuneet huonosti. Suomessa turve lajitellaan kasvitieteellisin perustein rahkaturpeisiin, saraturpeisiin ja ruskosammalturpeisiin. Toinen tärkeä turpeen ominaisuuksia määrittävä tekijä on sen maatumisaste. Turpeesta 53–56 % on hiiltä ja mitä suurempi on turpeen maatumisaste, sitä enemmän siinä on tavallisesti hiiltä. Suuren hiilipitoisuuden seurauksena turve palaa hitaammin kuin puu. (Alakangas 2000, 87–88.) Taulukossa 4 on kuvattuna eri polttoaineiden ominaisuuksia.

Taulukko 4. Polttoaineiden ominaisuuksia. (Ympäristöministeriö 2012)

Ominaisuus	Hake	Kuori	Puru	Jyrsinturve	Kivihilli
Kosteus %	45–55	50–60	50–60	45–55	10
Tuhka % k.a.	0,5–2	1–3	0,5–1	6	14
Haihtuvat aineet % k.a.	80–90	70–80	70–80	65–70	30
Q <sub>net,ka</sub> MJ/kg	19–20	19–20	19–20	20–21	29
Q <sub>net,ar</sub> MJ/kg	7–10	6–9	6–9	8–10	26
Hiili % ka	52	55	50	54	72
Vety % ka	6	6	6	5,5	4,5
Typpi % ka	<0,5	<0,5	0,5	1,7	1
Happi % ka	40	37	43	33	8
Rikki % ka	0,05	0,05	0,05	0,2	<1
Kloori % ka	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1

Turpeen sisältämä rikki on tarpeellista biomassojen sisältämän kloorin aiheuttaman tulistinalueen korroosion estämiseksi. Tätä polttoaineiden sisältämän kloorin aiheuttamaa korroosiota käsiteltiin työn osiossa 3.4. Hyvälaatuista haketta ja kuorta poltettaessa rikkiä tarvitaan vähemmän kuin runsaasti klooria sisältävää polttoainetta kuten neulasia tai latvuksia poltettaessa. Tyypillisesti korroosion ehkäisemiseksi turvetta tai muita rikkipitoisia polttoaineita on turpeen olla 20–30 % poltetuista polttoaineista. Toki tähän suhteeseen voidaan vaikuttaa suunnittelulla ja materiaalivalinnoilla. (Afry 2020, 11.)

Toisaalta turpeen suuri rikkipitoisuus tarkoittaa myös suurempia rikkidioksidipäästöjä kuin esimerkiksi puuhakkeella. Tavallisesti SO<sub>2</sub>-pitoisuudet savukaasuissa ovat 350–500 mg/m<sup>3</sup> luokkaa, mutta runsasrikkisiltä soilta tuotetulla turpeella jopa 750 mg/m<sup>3</sup>. Myös typen oksidien päästöt ovat turpeella suuremmat kuin puulla. (Ympäristöministeriö 2012, 29.)

Leijupetikattiloissa turve on sisältämänsä rikin takia hyödyllistä myös pedin kunnan kannalta. Turpeen polton lopettaminen lisää petihiekan vaihtamisen tarvetta. (Korpijärvi 2021, 19.) Turpeen hyöty petihiekan kunnan kannalta liittyy jälleen sen korkeaan rikkipitoisuuteen. Rikkiä tarvitaan, jotta sintraantumista aiheuttavat alkalikloridit muuttuisivat rikin kanssa reagoidessaan kemiallisissa reaktioissa vetykloridiksi ja alkalisulfaateiksi. (Haho 2021, 11–15.) Suuri turpeen määrä myös vaikuttaa siihen, että palaminen tapahtuu kattilassa suhteellisen ylhäällä pedin päällä. Hovinsaaren voimalaitoksen kattilassa normaalissa tilanteessa seinäilmoista lähes 40 % syötetään tertiäritasolle. (Kipinoinen 2020, 25.)

## 4.2 Bio

Hovinsaaren voimalaitoksella käytettävä bionimikkeellä kulkevat polttoaineet ovat erilaisia puupohjaisia polttoaineita eli metsäpolttoaineita. Tällaisia puupohjaisia polttoaineita ovat erilaiset metsäteollisuuden tarpeisiin kelpaamaton puu, kuten latvus- tai oksamassa. Suoraan metsästä energiakäyttöön tulevaa hakkeesta käytetään yleisnimitystä metsähake. Näiden lisäksi metsäteollisuuden prosessien sivutuotteena syntyy energiajakeita, kuten puun kuorta ja sahanpurua. Näitä sivutuotteita on jo pitkään käytetty polttoaineina. (Motiva 2020.)

Polttotaseraporttien perusteella Hovinsaaren voimalaitoksella käytetään metsätähdehakea ja -murskaa, rankahakea, kuorta sekä sahanpurua. Helmikuussa 2022 näiden polttoaineiden yhteenlaskettu osuus oli 67 % kaikesta käytetystä kiinteästä polttoaineesta. Taulukossa 5 on eriteltynä näiden polttoaineiden osuudet niiden yhteenlasketusta kokonaismäärästä helmikuussa 2022. Tämä antaa kohtuullisen tarkan kuvan ns. normaalista tilanteesta.

Taulukko 5. Biopolttoaineiden jakauma helmikuussa 2022.

<i>Polttoaine</i>	<i>Osuus (%)</i>
<i>Metsätähdehake</i>	22 %
<i>Rankahake</i>	30 %
<i>Kuori</i>	45 %
<i>Sahanpuru</i>	3 %

### 4.3 Ref

Polttoainetaseraporttien perusteella tarkasteluvälillä 1.10.2021–30.3.2022 ref-nimityksen alla kulkevana polttoaineena Hovinsaaren voimalaitokselle on tullut AB-luokan kierrätyspuumursketta ja SFS 5873 standardin mukaista Ref-I-kierrätysjätettä. Helmikuussa 2022 näiden polttoaineiden osuus kiinteiden polttoaineiden kokonaismäärästä oli 11 %. 59 % tuosta määrästä oli kierrätysmursketta ja 41 % Ref-I standardin mukaista kierrätysjätettä. (Polttoainetaseraportti 2022.)

Luokan A ja B puupolttoaineisiin ei sovelleta jätteenpoltoasetusta, vaikka kyseessä on rakennus-, korjaus-, purku- ja puunjalostusteollisuudessa syntyvä tähdepuu. Luokan A kierrätyspuumurske sisältää kemiallisesti käsittelemätöntä puuta. Kemiallisesti käsitelty puu luokitellaan luokkaan B ja se voi sisältää esimerkiksi kyllästeaineita, maaleja tai liimaa. Luokan B puu ei kuitenkaan saa kyllästysaineilla tai pinnoitteilla tehtyjen käsittelyjen seurauksena sisältää halogeenisiä orgaanisia yhdisteitä tai raskasmetalleja enempää kuin luonnonpuu. (Alakangas 2014, 10.) Taulukoissa 6 ja 7 esitetään puutähdeluokkiin A ja B kuuluvia puutuotteita. Kuvassa 4 esitetään kierrätyspuutähteen luokittelun raja-arvot.

Taulukko 6. Esimerkkejä luokan A puutähteestä. (Alakangas 2014)

*Käsittelemätön puu teollisuudesta*    *Käsittelemätön käytöstä poistettu puu*

<i>kuori</i>	<i>Puupakkaukset</i>
<i>Sahanpuru</i>	<i>Rakennustyömaan raivauspuu</i>
<i>Hiontapöly</i>	<i>Rakennusten maalamaton puu</i>
<i>Lämpöpuu</i>	<i>Puistojen yms. harvennuspuu</i>

Taulukko 7. Esimerkkejä luokan B puutähteestä. (Alakangas 2014)

Metsä- ja puuteollisuuden sivutuotteet ja puutähteet Käytöstä poistettu puu tai puutuote

Vaneritähde	Vaneritähde
MDF-levytähde	MDF-levytähde
Puunsuoja-aineella käsitelty puu	Ammuslaatikot
Liimapuutähde	Puurakennusten runkolauta
HDF-levytähde	Betonilaidoitus
Listat	Kaapelikelat
Kalustelevytähde	Maalattu rakennuspuutähde

	Ominaisuus	Raja-arvo <sup>1</sup> , kuiva- aineesta	Luonnon puu, johon raja-arvo perustuu	Luokka A		Luokka B		Rajat uudelleen- luokituk- selle luokkaan B
				Velvoittavat	Opastavat	Velvoittavat	Opastavat	
	Rikki	S	≤ 0,2 p-%	kuori, lehtipuu		X	X	X
	Typpi	N	≤ 0,9 p-%	kuori, lehtipuu		X	X	X
	Kalium	K	≤ 5 000 mg/kg	kuori, lehtipuu			X	
	Natrium	Na	≤ 2 000 mg/kg	kuori, havupuu			X	
	Kloori	Cl	≤ 0,1 p-%	<sup>2</sup>	X	X		X
"Raskasmetallit"	ΣArseeni + Kromi + Kupari	As+ Cr+ Cu	≤ 70 mg/kg <sup>3</sup>	kuori, havupuu Σ 74 mg/kg			X	X
	Kadmium	Cd	≤ 1 mg/kg	kuori, havupuu			X	X
	Elohopea	Hg	≤ 0,1 mg/kg	kuori, havupuu			X	X
	Lyijy	Pb	≤ 50 mg/kg	kuori, havupuu			X	X
	Sinkki	Zn	≤ 200 mg/kg	kuori, havupuu			X	X

<sup>1</sup> Raja-arvoja sovelletaan vain kloorille, typelle, rikille ja raskasmetalleille. Kaliumin ja natriumin arvot ovat suositusarvoja (opastavia).

<sup>2</sup> Puun kuoren klooripitoisuus < 0,05 p-% kuiva-aineesta

<sup>3</sup> Arseenin arvo ei saa ylittää luokan B puulla 10 mg/kg huomioiden mittaustarkkuus ± 30 %.

Taulukossa 1 000 mg/kg vastaa 0,1 p-%.

Kuva 4. AB-luokan kierrätyspuun luokittelu ja raja-arvot (Alakangas, 2014)

Suomessa kierrätyspolttoaineiden laadunvalvontaa ja luokittelua käsittelee vuodesta 2000 käytössä ollut standardi SFS 5875. Standardissa määritellään kierrätyspolttoaineiden laadunvalvonnan perusmenettelyt, sekä määritellään polttoaineille kolme laatuluokkaa. Nämä kolme laatuluokkaa ovat REF I, REF II

ja REF III. (Vesanto 2007, 15.) Hovinsaaren voimalaitoksella käytetään laatu-  
luokituksen REF I kierrätyspolttoainetta. Kuvan 5 taulukossa on esitetty stan-  
dardin SFS 5875 mukainen kierrätyspolttoaineiden laatu luokittelu.

Kierrätyspolttoaineiden laatu luokitus SFS 5875 mukaan.

Kohta	Ominaisuus	Yksik- kö	Ilmoi- tus- tark- kuus	LAATULUOKITUS			Raja-arvon kohdistumi- nen
				I	II	III	
1	Cl-pitoisuus kuiva- aineessa	m- % <sup>2)</sup>	0,01	< 0,15	< 0,50	< 1,50	<sup>6)</sup>
2	S-pitoisuus kuiva- aineessa	m- % <sup>2)</sup>	0,01	< 0,20	< 0,30	< 0,50	<sup>6)</sup>
3	N-pitoisuus kuiva- aineessa	m- % <sup>2)</sup>	0,01	< 1,00	< 1,50	< 2,50	<sup>6)</sup>
4	K- ja Na -pitoisuus kuiva-aineessa <sup>1)</sup>	m- % <sup>2)</sup>	0,01	< 0,20	< 0,40	< 0,50	<sup>6)</sup>
5	Al - pitoisuus kuiva- aineessa (metallinen)	m- % <sup>2)</sup>	0,01	<sup>3)</sup>	<sup>4)</sup>	<sup>5)</sup>	<sup>6)</sup>
6	Hg -pitoisuus kuiva- aineessa	mg/kg	0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,5	<sup>6)</sup>
7	Cd-pitoisuus kuiva- aineessa	mg/kg	0,1	< 1,0	< 4,0	< 5,0	<sup>6)</sup>

1) Yhteenlaskettu (K+Na) vesiliukoisen ja ionivaihtuvan osan pitoisuus kuiva-aineessa.  
2) m- % tarkoittaa massan osuutta prosentteina.  
3) Metallista alumiinia ei sallita, mutta se on hyväksyttävissä ilmoitustarkkuuden rajoissa.  
4) Syntypaikkalajittelulla ja polttoaineen valmistusprosessilla pyritään poistamaan metallinen alumiini.  
5) Metallinen alumiinipitoisuus sovitaan erikseen.  
6) Raja-arvo kohdistuu enintään 1000 m<sup>3</sup>:n tai yhden kuukauden aikana valmistettuun tai toimitettuun polttoainemäärään ja tulee verifioida vähintään vastaavalla tiheydellä.

Kuva 5. SFS 5875 standardin mukainen kierrätyspolttoaineen luokittelu.

## 5 TURVESUHTEN MUUTOSTEN TEOREETTISET VAIKUTUKSET

Turpeen lämpöarvo on korkeampi kuin puupohjaisilla polttoaineilla, joten Hovinsaaren voimalaitoksen tyyppisissä leijupetikattiloissa on mahdollista, että kattilan huipputeho hieman laskee turpeen poltosta luovuttaessa. Varsinkin jos turve korvataan kokonaan puupolttoaineilla. (Korpijärvi 2021, 19.) Hovinsaaren voimalaitoksella turvetta ei ole kuitenkaan tarkoitus korvata suoraan puupolttoaineilla. Erilaisten, luvussa 4.3 kuvatun kaltaisten kierrätyspolttoaineiden osuus sen sijaan tulee todennäköisesti kasvamaan. Tämän takia huipputehon mahdollista muutosta on hyvin vaikea arvioida.

Kuten aiemmassa turvetta käsittelevässä osiossa 4.1 todettiin, sisältää turve biopolttoaineeksi paljon rikkiä. Tämä turpeen rikkipitoisuus päästöjen kannalta haasteellinen asia, mutta sillä on myös positiiviset puolensa. Turpeen sisältämä rikki estää puupolttoaineiden poltossa syntyvien haitallisten yhdisteiden muodostumista, ja siten ehkäisee kattilan pintojen korroosiota. Turpeen poltosta luovuttaessa olisi tämä otettava huomioon ja harkittava rikin syöttämistä kattilaan turpeen tuoman rikin korvaamiseksi. Tämän lisäksi nuhousta tulisi tehostaa. (Korpijärvi 2021, 19.)

Aiemmin työssä todettiin, että turpeen palaminen tapahtuu suuremmalta osin pedin yläpuolella kuin suurempijakeisten puu- ja kierrätyspolttoaineiden palaminen. Hienompijakeisen turpeen korvaamisen suurempijakeisilla polttoaineilla voidaan siis olettaa aiheuttavan pedin lämpötilan herkempää nousua. Työn palamislämpötilan hallintaa käsittelevässä osiossa 3.3 todettiin, että Hovinsaaren voimalaitoksen tyyppisessä leijupetikattilassa pedin lämpötila halutaan pitää tarkasti tietyllä alueella petihiekan leijutuksen toimivuuden takaamiseksi.

Pedin liian korkea lämpötila aiheuttaa petihiekan sintraantumista ja agglomeraatiota. Korkeissa 700–900 °C lämpötiloissa biopolttoaineiden tuhkan sisältämät alkalimetallit reagoivat polttoaineen mukana saapuneen ja petihiekassa olevan kvartsin kanssa aiheuttaen agglomeraatiota. Pitkälle edennyt agglomeraatio heikentää petimateriaalin leijumista, ja voi jopa estää sen kokonaan. Pahimmillaan pedin laaja sintraantuminen voi estää pohjahiekan purun pohja-

tuhkaruuvien kautta ja johtaa kattilan alasajoon, jotta peti päästään kunnostamaan. (Pitkänen 2018, 10–12.)

Näiden pohjalta voidaan olettaa turvesuhteen pienentämisellä olevan seuraavanlaisia mahdollisia vaikutuksia:

- Kattilan lämmönvaihdepintojen korroosion lisääntyminen
- Pedin lämpötilan nousu
- Petihiekan agglomeraatio ja sintraantuminen.

Osiossa 6 tutkitaan, onko näitä mahdollisia vaikutuksia havaittavissa tarkasteluajanjaksolla.

## **6 POLTTOAINESUHTEEN KOEAJOT JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

Tässä osiossa käydään läpi, miten turpeen osuutta Hovinsaaren voimalaitoksen polttoaineessa on muokattu 1.10.2021–31.1.2022 välisenä aikana. Tämän lisäksi käydään läpi turvesuhteen muokkauksen havaittuja ja oletettuja seurauksia kyseisen ajanjakson aikana. Voimalaitosprosessiin vaikuttavia muuttujia on suuri määrä, joten sen määrittäminen, missä määrin mitkään muutoksen johtuvat turvesuhteen muutoksista, ei ole aina yksiselitteistä. Havaintojen pohjalta teoriaosuuden tietoihin pohjaten esitetään päätelmiä turpeen polton vähentämisen mahdollisista seurauksista, ja mietitään toimenpiteitä haitallisten seurausten minimoimiseksi.

Hovinsaaren voimalaitoksella on suunnitelmissa turpeen polton vähentämisen ja lopettamisen lisäksi lisätä kierrätyspolttoaineiden ja jätteiden polttamista. Kotkan Energia haki Hovinsaaren voimalaitoksen uuteen ympäristölupaan kierrätyspolttoaineiden määrän kaksinkertaistamista, ja lupa tähän myös saatiin. Tämän lisäksi opinnäytetyön tarkastelujakson aikana laitoksella on kokeiltu eri kierrätyspolttoainekoostumuksia. Lisäksi erilaiset ajotilanteet vaikuttavat seurattaviin asioihin jo sinällään. Tämän vuoksi ei voida välttämättä tehdä täysin selviä johtopäätöksiä, että kaikki havaitut seuraukset johtuisivat pelkästään turpeen määrän vähentämisestä.

## 6.1 Tarkasteluajanjakso

Syksyllä 2021 turpeen osuutta polttoaineseoksessa pienennettiin. Tarkoituksena turpeen osuuden pienentämisessä oli seurata turpeen vähentämisen mahdollisia vaikutuksia, ja koittaa sitä kautta ennakoida turpeen polton lopettamisen vaikutuksia. Taulukossa 8 näkyy turpeen osuus kiinteästä polttoaineesta kuukausittain lokakuulta 2021 tammikuuhun 2022. Taulukosta nähdään, että ajanjaksolla 1.10.–30.11.2021 turpeen osuus polttoaineseoksesta on ollut 8 % ja välillä 1.12.2021–31.1.2022 se on ollut 25 %. Näiden tietojen perusteella voidaan turpeen vähentämisen vaikutuksia arvioida vertaamalla näitä kahta ajanjaksoa. Selvyyden vuoksi käytetään jatkossa ajanjaksosta 1.10.2021–30.11.2021 nimitystä jakso A, ja ajanjaksosta 1.12.2021–31.1.2022 nimitystä jakso B. Prosenttiosuudet on saatu laskemalla Hovinsaaren voimalaitoksen polttoainetaseraporttien tiedoista.

Taulukko 8. Turpeen osuus kiinteästä polttoaineesta kuukausittain (%).

	<i>Lokakuu</i>	<i>Marraskuu</i>	<i>Joulukuu</i>	<i>Tammikuu</i>
<i>Turpeen osuus</i>	8 %	8 %	25 %	25 %

Jakso A:n turvesuhteen keskiarvo on 8 % ja jakso B:n turvesuhteen keskiarvo on 25 %. Jaksojen turvesuhteen keskiarvon selkeä ero mahdollistaa hyvin turvesuhteen pienentämisen vaikutusten tarkastelun ja arvioinnin. Edellisessä osiossa käsitellyn polttoaineen vaihteluiden aiheuttaman haasteen lisäksi tarkasteluun ja arviointiin oman hankaluutensa tuo jaksojen välinen ero kattilan tehon keskiarvossa. Seuraavassa taulukossa on kattilan teho koko tarkasteluajaksolta kuukausittaisina keskiarvoina sekä jakso A:n ja jakso B:n keskiarvot.

Taulukko 9. Kattilan tehon keskiarvo (%) tarkasteluajanjaksona.

<i>Lokakuu</i>	<i>Marraskuu</i>	<i>Jakso A</i>	<i>Joulukuu</i>	<i>Tammikuu</i>	<i>Jakso B</i>
64 %	84 %	74 %	99 %	100 %	99 %

## 6.2 Havainnot

Hovinsaaren voimalaitoksen operaattoreiden kanssa käymieni keskusteluiden, sekä omien havaintojeni perusteella, kattilan lämmönsiirtopintojen lämpötiloissa näkyi syksyllä 2021 turpeen osuuden pienentämisen vaikutusta. Savukaasun lämpötila tulistimien, ekojen ja luvojen jälkeen tuntui nousevan nuohouksen jälkeen tavallista nopeammin korkeaksi. Tämä viittaisi kattilan lämmönsiirripintojen tavallista nopeampaan likaantumiseen, jonka voisi olettaa olevan seurausta turpeen osuuden pienentämisestä. Asiaa ennakoidaan teoreettisella tasolla työn osiossa 5. Lisäksi biopolttoaineiden polton aiheuttamaa kattilan lämmönsiirripintojen korroosiota käsitellään työn osiossa 3.4 ja turpeen sisältämän rikin roolia ilmiön ehkäisyssä osiossa 4.1.

Taulukko 10. Savukaasujen kattilan jälkeisen lämpötilan ylärajahälytykset (kpl).

<i>Lokakuu</i>	<i>20 kpl</i>	<i>Joulukuu</i>	<i>14 kpl</i>
<i>Marraskuu</i>	<i>46 kpl</i>	<i>Tammikuu</i>	<i>4 kpl</i>
<i>Jakso A</i>	<i>66 kpl</i>	<i>Jakso B</i>	<i>18 kpl</i>

Taulukkoon 10 on koottu savukaasujen kattilanjälkeisen lämpötilan ylärajahälytykset tarkasteluajanjaksolta. Taulukosta nähdään, että jakso A:n aikana hälytyksiä oli 3,6 kertainen määrä jakso B:hen verrattuna. Lisäksi taulukosta 8. nähdään että kattilaa on ajettu jakso A:n aikana keskimäärin pienemmällä teholla kuin Jakso B:n aikana, kattilan keskitehon ollessa jakso A:n aikana 74 % ja jakso B:n aikana 99 %. Näin ollen voidaan sulkea pois se vaihtoehto, että lämpötilan nopeampi nousu johtuisi kattilan ajamisesta kovemmalla teholla, sillä kattilaa on ajettu jakso A:n aikana keskimäärin huomattavasti pienemmällä teholla kuin jakso B:n aikana. Voidaan olettaa, että ilmiö johtuu pienemmän turvesuhteen aiheuttamasta kattilan lämmönsiirripintojen nopeammasta likaantumisesta.

Aiemmissa osioissa käsiteltyä oletusta turvesuhteen vähentämisen aiheuttamasta pedin lämpötilannoususta voidaan tarkkailla kiertokaasun kulutusta seuraamalla. Kuten osiossa 3.3 käsiteltiin, käytetään kiertokaasun johtamista primääri-ilman joukkoon pedin lämpötilan hallinnassa. Petilämpötilan noustessa jossain kuudesta mittauspisteestä yli 900 °C antaa järjestelmä mittauksesta

petilämpötilan ylärajahälytyksen. Hälytysten määrää tarkastelujaksojen välillä vertailemalla saadaan myös tietoa pedin lämpötilan käyttäytymisestä. Seuraavissa taulukossa on vertailtu kiertokaasun kulutusta, sekä petilämpötilan ylärajahälytysten määrää tarkastelujaksojen aikana.

Taulukko 11. Kiertokaasun virtauksen keskiarvo (Nm<sup>3</sup>/s).

<i>Lokakuu</i>	<i>2.55 Nm<sup>3</sup>/s</i>	<i>Joulukuu</i>	<i>1.47 Nm<sup>3</sup>/s</i>
<i>Marraskuu</i>	<i>1.47 Nm<sup>3</sup>/s</i>	<i>Tammikuu</i>	<i>1.58 Nm<sup>3</sup>/s</i>
<i>Jakso A</i>	<i>2.01 Nm<sup>3</sup>/s</i>	<i>Jakso B</i>	<i>1.52 Nm<sup>3</sup>/s</i>

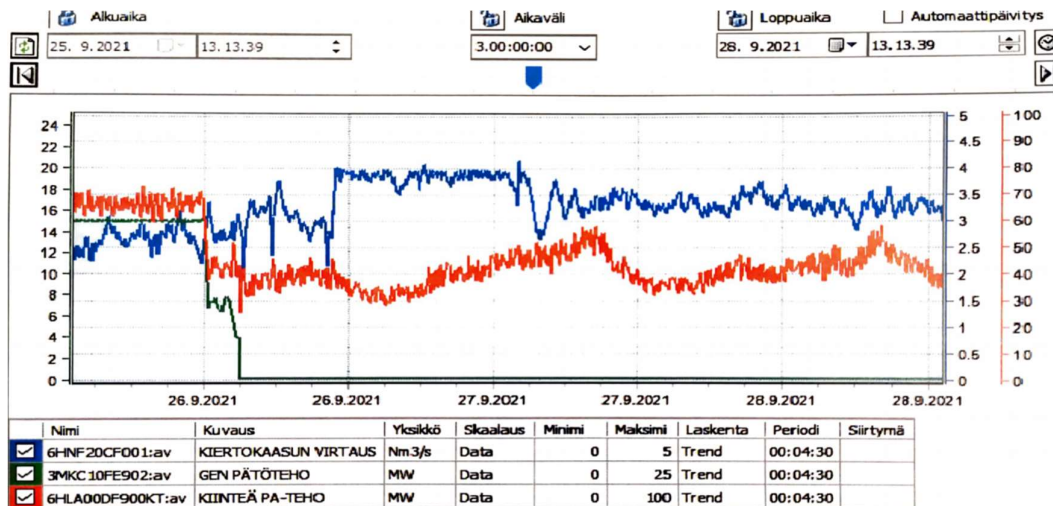
Taulukko 12. Petilämpötilan ylärajahälytykset (kpl).

<i>Lokakuu</i>	<i>44 kpl</i>	<i>Joulukuu</i>	<i>152 kpl</i>
<i>Marraskuu</i>	<i>30 kpl</i>	<i>Tammikuu</i>	<i>136 kpl</i>
<i>Jakso A</i>	<i>74 kpl</i>	<i>Jakso B</i>	<i>288 kpl</i>

Taulukkojen 11 ja 12 perusteella kiertokaasun kulutus oli jakso A:n aikana suurempi kuin jakso B:n aikana. Toisaalta petilämpötilan ylärajahälytysten määrä oli jakso B:n aikana melkein nelinkertainen verrattuna Jakso A:han. Kiertokaasun kohdalla huomio kiinnittyy erityisesti lokakuuhun, jonka aikana kiertokaasun kulutus on ollut selkeästi suurinta tarkastelukuukausista. Lokakuun suuri kiertokaasun kulutus nostaa koko jakso A:n kiertokaasun kulutuksen keskiarvoa huomattavasti. Koska marraskuun kiertokaasun kulutus on huomattavasti pienempi ja melko hyvin linjassa jakso B:n kiertokaasun kulutuksen kanssa, täytyy syytä lokakuun kiertokaasun kulutukselle etsiä muualta kuin pienestä turvesuhteesta.

Syytä lokakuun selkeästi poikkeavaan kiertokaasun kulutukseen voidaan etsiä lokakuussa suoritetusta höyryturbiinin akselin vaihdosta ja sen jälkeisistä turbiinin koeajoista. Turbiini ajettiin alas 26.9.2021 ja otettiin takaisin ajoon 15.10.2021. Turbiini oli siis pois ajosta puolet lokakuusta. Tänä aikana kattilaa ajettiin pienellä keskimäärin 48 % teholla. Voidaan pohtia, aiheutuuko näin pienillä tehoilla ajettaessa pienestä primääri-ilman virtauksesta se, ettei vir-

taukset riitä pedin jäähdyttämiseen ja kiertokaasun tarve kasvaa. Turbiinin huollosta johtuvat poikkeukselliset ajo-olosuhteet voivat selittää osan lokakuun muista tarkastelujakson kuukausista poikkeavasta kiertokaasun kulutuksesta. Seuraavassa kuvassa nähdään historiatiendi turbiinin alasajon ajankohdalta. Trendistä nähdään turbiinitehon laskun jälkeinen kattilan polttoainetehon lasku, ja samaan aikaan tapahtuva kiertokaasun määrän kasvu.



Kuva 6. Turbiinin alasajo, kiertokaasun määrä ja PA-teho.

Petilämpötilan ylärajahälytysten huomattavasti suurempi esiintyminen Jakso B:n aikana ei puolla turvesuhteen pienentämisen petilämpötilaa nostavaa vaikutusta. Jakso B:n aikana kattilaa ajettiin keskimäärin huomattavasti suuremmalla teholla kuin Jakso A:n aikana. Tämä voi osittain selittää pedin lämpötilan kohoamista tuona aikana. Kattilaa kovemmilla tehoilla ajettaessa myös petiin kohdistuva kuorma kasvaa, sillä pedistä otetaan irti enemmän lämpöenergiaa. Kovilla tehoilla marginaalit ovat pienemmät ja esimerkiksi polttoaineen epätasaisuuden vaikutukset prosessiin ilmenevät rajummin. Kattilaan syötettävä polttoaineseos ei ole optimaalisen tasalaatuista, vaan esimerkiksi polttoainelaatujen suhde tai polttoaineseoksen kosteus vaihtelevat hetkittäin. Nämä tekijät yhdessä voivat olla osaltaan yksi petilämpötilan ylärajahälytysten suurempaa määrää kovemmilla tehoilla ajettaessa selittävä tekijä.

Vuonna 2016 Hovinsaaren voimalaitoksella mietittiin turvesuhteen vaikutusta petilämpötiloihin. Tuolloin Hovinsaaren voimalaitoksen ja kattilan suunnittelussa mukana olleen Marko Fabritiuksen välillä asiasta käydyn sähköpostikeskustelun perusteella polttoaineseoksen laadun vaikutus petilämpötilaan ei ole

välttämättä yksiselitteistä. Polttoaineen kosteus ja bulkkitiheys vaikuttavat siihen palaako polttoaine pedissä vai sen yläpuolella. Eri polttoaineilla nämä tekijät vaikuttavat lisäksi asiaan eri tavoin. Pelkkää turvetta poltettaessa kevyen bulkkitiheyden omaava turve nostaa petilämpötiloja, kun taas korkean bulkkitiheyden omaava turve laskee petilämpötiloja. Puupolttoaineiden kohdalla bulkkitiheyden vaikutus petilämpötiloihin voi olla usein päinvastainen. Kun turvetta ja puupolttoaineita poltetaan sekaisin, eri suhteilla, kosteuksilla ja bulkkitiheyksillä, ei syy-seuraussuhteiden määrittely ole aivan yksinkertaista.

Petilämpötilaan vaikuttavat siis monet seikat erilaisista ajotilanteista polttoaineiden ominaisuuksiin. Tämän työn havaintojen ja edellä esitettyjen pohdintojen perusteella, ei turvesuhteen pienentämisellä yksistään havaittu olevan suoraa petilämpötiloja nostavaa, eikä toisaalta laskevaakaan vaikutusta.

Petihiekan kunto on leijupetikattilan toiminnan kannalta oleellisen tärkeää. Tarkastelussa Hovinsaaren BFB-kattilan pedissä havaittiin merkkejä ongelmista, jotka voisivat johtua turvesuhteen pienentämisestä. Pedin lämpötilaa mitataan kuudella erillisellä mittauksella. Tarkastelujakson aikana näiden mitausten välillä havaittiin merkittäviä lämpötilaeroja. Optimaalisessa tilanteessa pedin lämpötila on kauttaaltaan mahdollisimman tasainen, ja suuret lämpötilaerot pedin sisällä ovat ei toivottuja. Suuret lämpötilaerot pedin sisällä kielivät ongelmista petihiekassa ja voivat viitata agglomeroitumiseen sekä petihiekan sintraantumiseen. Myös pohjatuhkan silmämääräisessä tarkastelussa havaittiin tarkastelujakson aikana merkkejä sintraantumisesta. Kattilasta poistettua pohjatuhkaa tarkastelemalla saadaan tärkeää tietoa petihiekan kunnosta. Pohjatuhkasta nähdään heti, onko petihiekan seassa sinne kuulumattomia aineita kuten kiviä, tai onko petihiekassa havaittavissa sintraantumisen merkkejä. Kuvassa 7 on sintraantunutta petihiekkaa hovinsaaren voimalaitoksen leijupetikattilasta.

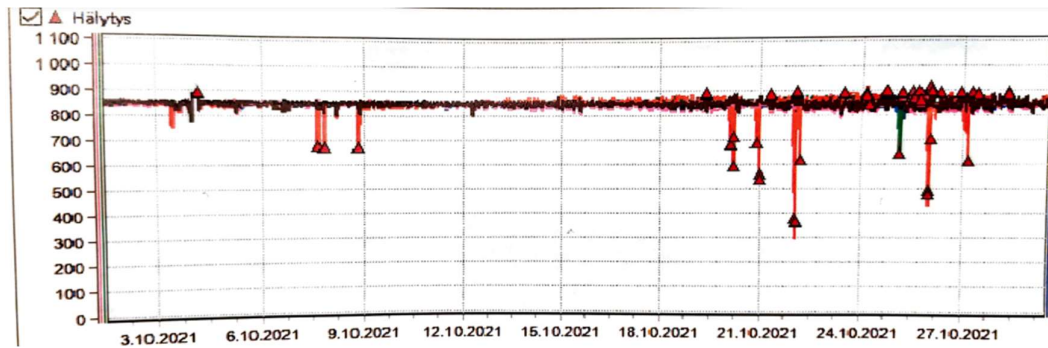


Kuva 7. Sintraantunutta petihiekkaa.

Yksittäisten lämpötilamittausten nopeat jäähtymiset, eli niin kutsutut nurkan kylmenemiset, ovat selkeä merkki vakavista ongelmista petihiekan kunnossa. Lämpötilan nopea, joskus jopa syöksymäinen laskeminen on seurausta siitä, että petimateriaali ei jostain syystä kunnolla leiju, esimerkiksi agglomeroitumisen ja hiekan sintraantumisen takia. Kuten osiossa 4.1 käsiteltiin, on turpeen sisältämä rikki oleellisessa roolissa petihiekan agglomeroitumista ja sintraantumista estettäessä. Muita syitä petihiekan huonolle leijumiselle ovat petiin kuulumattomien aineiden kuten soran, kivien ja erilaisten metallien päätyminen sinne polttoaineen mukana. Taulukossa 13 on koottuna edellä käsitellyt pedin lämpötilamittausten äkilliset jäähtymiset tarkastelujakson aikana. Taulukon jälkeisessä kuvassa on esitettyinä lokakuun lämpötilamittausten trendi, josta kuvatuunlaiset lämpötilan nopeat laskut on selkeästi nähtävissä.

Taulukko 13. Pedin lämpötilamittausten äkilliset kylmenemiset (kpl).

<i>Lokakuu</i>	<i>10 kpl</i>	<i>Joulukuu</i>	<i>5 kpl</i>
<i>Marraskuu</i>	<i>1 kpl</i>	<i>Tammikuu</i>	<i>0 kpl</i>
<i>Jakso A</i>	<i>11 kpl</i>	<i>Jakso B</i>	<i>5 kpl</i>



Kuva 8. Petilämpötilojen trendi lokakuulta 2021.

Jakso A:n aikana havaittu kaksinkertainen määrä petilämpötilan nopeissa puotomisissa viittaisi vahvasti turvesuhteen pienentämisen vaikutukseen petihiekan kuntoon. Varsinkin kun kattilaa ajettiin jakso B:n aikana keskimäärin huomattavasti suuremmalla teholla. Petihiekan kunnon tärkeyttä leijupetikattilassa on tässäkin työssä monesti korostettu. Huonosti leijuva ja sintraantumaan pyrkivä petimateriaali voi pahimmillaan johtaa pakotettuun kattilan alasaajoon, kuten työn osiossa 5 todettiin. Kyseessä on siis oleellinen ongelma, joka tulisi kyetä ratkaisemaan turpeen poltosta luovuttaessa.

### 6.3 Johtopäätökset

Edellisessä osiossa tarkasteltiin turvesuhteen pienentämisen vaikutuksia Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilaan käytännössä tehtyjen havaintojen perusteella. Tarkastelun keskiössä oli osion 5 teoreettisten pohdintojen perusteella kolme pääkohtaa

- Kattilan lämmönsiirripintojen likaantuminen ja mahdollinen korroosio
- Pedin lämpötilan kohoaminen
- Pedin agglomeraatio ja sintraantuminen.

Havaintojen perusteella voidaan todeta kahden näistä pääkohdista vaativan toimenpiteitä. Kattilan lämmönsiirripintojen likaantuminen ja korroosio, sekä pedin agglomeraatio ja sintraantuminen ovat havaintojen perusteella todellisia ongelmakohtia turpeenpoltosta luovuttaessa. Pedin lämpötilan kohoamisen ja turvesuhteen pienentämisen välille ei sen sijaan löytynyt suoraa syyseuraussuhdetta.

Kattilan pintojen enenevän likaantumisen vuoksi olisi turvesuhdetta pienennettävässä nuohousta syytä tehostaa. Nuohousväliä voi tarpeen mukaan lyhentää, sekä nuohointen sijoittelua mahdollisesti muuttaa, jos tarvetta ilmenee. Nuohouksen tarvetta voi ajon aikana tarkkailla savukaasun lämpötilaa seuraamalla. Savukaasun lämpötilan nousu kertoo kattilan lämmönsiirtopintojen lämmönsiirtokyvyn heikkenemisestä, mikä viittaa näiden pintojen likaantumiseen.

Kattilan pintojen suojaamiseksi korroosiolta voidaan miettiä lisärikin syöttöä kattilaan polttoaineen mukana tai erillisistä suuttimista kattilan yläosaan. Tällä pyrittäisiin korvaamaan rikkiä, joka ennen tuli kattilaan turpeen mukana. Mitä enemmän turvetta korvataan kierrätyspolttoaineilla ja jätemäisillä polttoaineilla, sitä todennäköisempi on tarve lisärikinsyötölle kattilaan. Kuten polttoaineiden ominaisuuksia käsitelleessä osiossa käytiin läpi, on näissä polttoaineissa korkeammat kloori- ja alkalipitoisuudet, mikä lisää korroosion ja likaantumisen riskiä. Kierrätyspolttoaineet ja jätemäiset polttoaineet sisältävät myös enemmän raskasmetalleja kuin turve ja puupohjaiset polttoaineet, mikä lisää myös korroosion riskiä. (Kipinoinen 2020, 29–31.)

Lisärikin syötöllä torjuttaisiin tulistimien korroosiota. Tämän myötä pitäisi kuitenkin ottaa huomioon rikin lisääntymisen myötä putkiluvoihin kohdistuvan ns. kylmäkorroosion eli happokastepistekorroosion lisääntynyt riski. Sen välttämiseksi olisi tärkeää pitää huolta seuraavista kolmesta asiasta:

1. Savukaasun loppulämpötila pidetään riittävän korkeana minimissään 145–150 °C.
2. Ilman sisääntulolämpötila pidetään korkeampana kuin savukaasun vesikastepiste, joka on noin 70 °C.
3. Kylmän pään materiaalien lämpötila ei pääse liian alhaiseksi.

Höyryluvon riittävä käyttö näiden asioiden takaamiseksi on tärkeää. (Kipinoinen 2020, 29–37.)

Kattilapintojen mahdollisesti lisääntyvän likaantumisen ja kohonneen korrosioriskin myötä aiheelliseksi tulee myös kattilamateriaalien vaihtamisen harkitseminen. Missä määrin erilaiselle polttoaineseokselle perustuneella suunnitellulla valikoidut materiaalit soveltuvat muuttuviin olosuhteisiin. Sumitomon Kotkan Energialle 2020 tekemässä selvityksessä pohditaan, olisiko syytä vaihtaa

tulistinten materiaali nykyisestä 10CrMo9-10 materiaalista austeniittiseen materiaaliin, jolla olisi suurempi korroosion kesto. Materiaalien vaihto on suuri operaatio ja tarvitsee huolellista riskien ja kustannusten paikallista arviointia.

Kuten osiossa 6.2 käytiin läpi, turpeen osuuden vähentäminen ja lopettaminen altistaa enenevälle petihiekan agglomeraatiolle ja sintraantumiselle. Jos turvetta korvataan kierrätyspolttoaineilla ja jätemäisillä polttoaineilla, aiheuttavat näiden polttoaineiden epäpuhtaudet kuten alkalit, raskasmetallit ja alumiini lisää ongelmia pedin kunnon kannalta. Näiden polttoaineiden ominaisuuksia ja epäpuhtauksia on käsitelty Hovinsaaren voimalaitoksella käytettäviä polttoaineita käsittelevässä osiossa 4.3.

Petihiekan kuntoon voidaan vaikuttaa petihiekan vaihtamista tehostamalla. Pedistä poistetaan petihiekkaa ja pohjatuhkaa pohjatuhkaruuvien kautta ja lisätään tilalle uutta petihiekkaa. Olosuhteiden muuttuessa petihiekan kunnon kannalta haastavammiksi, kannattaa hiekan poistoa tehostaa. 2019 Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilasta poistettiin pohjatuhkaa ja petihiekkaa noin 3200 tonnia. (Rissanen 2022.) Kuumaa hiekkaa pedistä poistettaessa ja uutta hiekkaa tilalle syötettäessä, poistetaan kattilasta samalla lämpöä ja energiaa joudutaan käyttämään uuden hiekan lämmittämiseen. Tämä energia on pois höyryntuotosta ja heikentää kattilan hyötysuhdetta. Luonnollisesti suurempi petihiekan vaihto lisää kustannuksia myös suurempana petihiekan ostotarpeena. Hiekan vaihto kannattaa siis mahdollisimman hyvin optimoida todellisen tarpeen mukaan.

Joulukuussa 2021 uutta petihiekkaa toimitettiin Hovinsaaren voimalaitokselle 271 400 kg. Ohessa on laskelma siitä, kuinka paljon energiaa tuon hiekan lämmittämiseen haluttuun 850 °C lämpötilaan menee. Kattilahallin keskilämpötila vuoden 2021 ajalta on 24 °C. Hiekkasiilo sijaitsee kattilahallissa sisällä, joten laskennassa käytettiin sitä lähtökohtana hiekan alkulämpötilalle. Hiekan lämpöarvona käytetään  $0,84 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ . (Tro 2011, 241.)

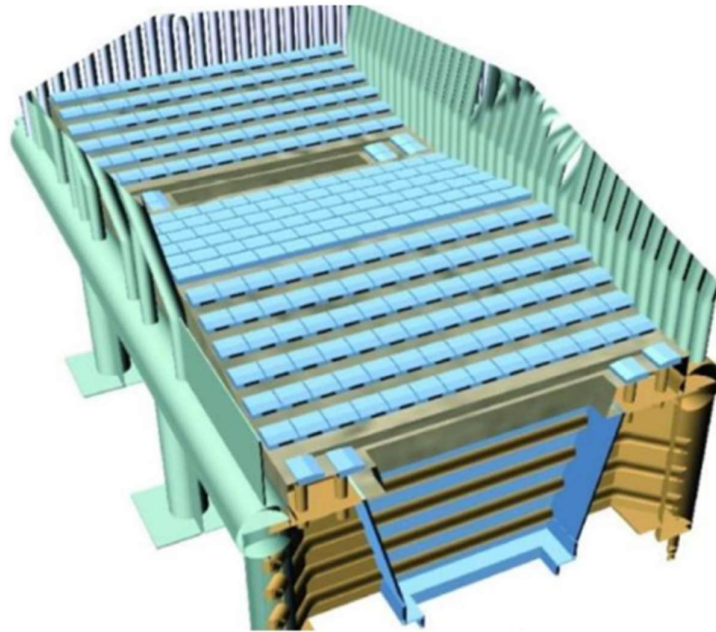
Tarvittava energiamäärä hiekan lämmittämiseen yhden asteen verran voidaan laskea kaavalla 1. Kun näin saatu hiekan lämpökapasiteetti muunnetaan kilo-



töjärjestelmä, jossa rikkigranulaattia syötetään polttoaineen mukana tulipesään. Myös kaoliinin syöttäminen kattilaan voidaan harkita, sillä kaoliinilla on kyky absorboida alkaliyhdisteitä. On havaittu, että kaoliinin syöttämisellä kattilaan, petihiekan sintraantumislämpötilaa on saatu nostettua jopa 100 °C. Lisäksi kaoliini ja kiinteä rikki toimivat kattilan lämmönsiirripintojen korroosion ehkäisyssä. (Haho 2021, 11–15.)

Päällekkäisten järjestelmien rakentaminen ei ole järkevää, saatikka kannattavaa. Aikaisemmin sivuttu rikin syöttäminen kattilan yläosaan erillisistä suuttimista kattilan pintojen korroosion ehkäisemiseksi ei auta pedin ongelmiin. Toisaalta taas rikkigranulaatin tai kaoliinin syöttäminen polttoaineen mukana petiin auttaa sekä petihiekan kunnossapitoon, että kattilan pintojen korroosion ehkäisyyn. Molempien järjestelmien rakentaminen ei ehkä ole siis järkevää, jos haluttu vaikutus saadaan myös pelkästään ratkaisulla, jossa kiinteitä lisäaineita syötetään kattilaan polttoaineen mukana.

Petihiekan agglomeraation ja sintraantumisen ongelmiin voidaan ratkaisuna miettiä myös pedin rakenteen muuttamista. Varsinkin, jos turpeen poltosta luopumisen yhteydessä lisätään kierrätys- ja jätepolttoaineiden polttoa, voi nykyinen suutinarina olla ongelmallinen. Kuten osiossa 6.2 todettiin, turvesuhteen pienentämisen aiheuttamien ongelmien lisäksi pedin kunnolle ongelmallisia ovat polttoaineen mukana petiin joutuvat sinne kuulumattomat ainekset, kuten kivet ja erilaiset metallit. Porrasarinalla saadaan tehokkaammin turvattua leijumattomien partikkeleiden ja muiden haitallisten aineiden poistuminen pedistä, ja se onkin yleisesti käytössä bio- ja jätepolttoaineita käytettäessä. (Kipinoinen 2020, 30.) Seuraavassa kuvassa on esimerkki porrasarinasta Sumitomon Kotkan Energialle toimittamasta selvityksestä.



Kuva 9. Esimerkkikuva porrasarinasta. (Kipinoinen 2020)

Arinan muuttaminen porrasarinaksi olisi tietenkin melkoisen suuritöinen ja kallis urakka. Sen kannattavuuden määrittelemiseksi olisikin tiedettävä voimalluksella käytettävien polttoaineiden koostumukset pitkälle tulevaisuuteen.

## 7 TYÖN TULOKSET

Työn tuloksena turvesuhteen pienentämisen ja samalla turpeen polton lopettamisen oletettavasti suurimmat vaikutukset ovat kattilan nopeampi likaantuminen, kattilapintojen korroosioriskin lisääntyminen ja petihiekan lisääntynyt taipumus agglomeraatioon ja sintraantumiseen. Sen sijaan työssä esitetyistä ennako-oletuksista poiketen suoraa yhteyttä turvesuhteen pienentämisen ja pedin herkemmän kuumenemisen välillä ei ilmennyt.

Turve on suhteellisen rikkipitoinen polttoaine ja rikki onkin edellä mainittujen vaikutusten yhteinen nimittäjä. Kuten osiossa 3.4 käytiin läpi, puu- ja jätepoltoaineiden sisältämät kloori, sekä tuhkan alkalit altistavat kattilapintoja likaantumiselle ja kuumakorroosiolle. Näiden polttoaineiden sisältämät alkalikloridit aiheuttavat pedin sintraantumista kuten osiossa 4.1 todettiin. Työn havainnot

ja johtopäätökset osiossa näin havaittiin myös käytännössä turvesuhdetta pienennettäessä Hovinsaaren BFB-kattilassa tapahtuvan. Ratkaisuna turpeen polton lopettamisen aiheuttamaan lisääntyneeseen likaantumiseen ja kohonneeseen korroosioriskiin, sekä pedin sintraantumiseen, voidaan kattilaan syöttää rikkigranulaattia tai kaoliinia. Jotta vaikutus saadaan sekä petiin että ylemmäs kattilan lämmönsiirrinpinnoille, tulisi rikki tai kaoliini syöttää kattilaan polttoaineen mukana.

Myös muutosten tekeminen kattilan materiaaleihin ja arinan rakenteeseen todettiin harkinnan arvoiseksi. Vastauksena kohonneeseen korroosion riskiin kattilan korroosiolle alttiita kohteita, kuten tulistimia, voitaisiin vaihtaa korroosiota nykyistä paremmin kestävästä materiaalista tehtyihin. Arinan rakenteen muuttaminen porrassarinaksi olisi myös harkinnan arvoinen ratkaisu, varsinkin kun Hovinsaarella on turpeesta luopumisen lisäksi tarkoituksena lisätä kierrätys ja jätepoltoaineiden käyttöä. Näistä aiheista Kotkan Energialla onkin jo tehty selvityksiä, joihin työssä myös viitataan.

Taulukkoon 14 on koottu työssä havaitut turvesuhteen pienentämisen vaikutukset ja niiden hillitsemiseksi ehdotetut toimenpiteet.

Taulukko 14. Turpeen polton lopettamisen vaikutukset ja ehdotetut toimenpiteet.

<i>Vaikutukset</i>	<i>Ehdotetut toimenpiteet</i>
<i>Kattilan lisääntynyt likaantuminen</i>	<i>Nuohouksen tehostaminen</i>
<i>Kattilamateriaalien korroosioriskin kasvaminen</i>	<i>Rikin tai kaoliinin syöttö kattilaan, Kattilamateriaalien vaihtaminen korroosiota paremmin kestäviin</i>
<i>Petihiekan agglomeraation ja sintraantumisen lisääntyminen</i>	<i>Petihiekan vaihtamisen tehostaminen, Rikin tai kaoliinin syöttö kattilaan polttoaineen mukana, Arinan muuttaminen porrassarinaksi</i>

## 8 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Kotkan Energia oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella turpeen polton lopettamisen mahdollisia vaikutuksia Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilaan. Tarkastelujaksoksi valittiin 1.10.2021–31.1.2022, jona aikana turpeen osuus polttoainekokonaisuudesta vaihteli. Näin saatiin tarkasteltua pienemmän ja suuremman turvesuhteen eroja ajossa olevassa kattilassa.

Opinnäytetyön aihe ja toimeksianto syntyivät luontevasti siitä, että Kotkan Energia Oy:llä on tarkoituksena luopua turpeen poltosta Hovinsaaren voimalaitoksella vuoteen 2030 mennessä. Siksi tarve tutkia turpeen poltosta luopumisen vaikutuksia ja mahdollisia tarvittavia muutoksia kattilaan on ajankohtainen. Hovinsaaren voimalaitoksen BFB-kattilan suunnittelun lähtökohtana on käytetty sitä, että kattilassa poltettavassa polttoaineseoksessa on mukana tietty määrä turvetta. Tästäkin syystä turpeen polton lopetuksen mahdollisten vaikutusten tutkimiselle oli tarvetta.

Opinnäytetyön tekemistä varten tuli tutustua lukuisiin kirja- ja verkkolähteisiin. Lisäksi aiheen tiimoilta käytiin suullisia keskusteluja Hovinsaaren Voimalaitoksen käyttöhenkilökunnan kanssa. Työn teoriaosuudessa käydään läpi palamisen teoriaa, palamisen hallintaa voimalaitoksissa sekä palamisen päästöjä. Lisäksi käydään läpi Hovinsaaren Voimalaitoksen BFB-kattilan rakennetta ja siellä käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Jotta turvesuhteen pienentämisen vaikutuksia pystyttiin työssä vertailemaan, laskettiin Hovinsaaren voimalaitoksen polttotaseraporteista tarkastelujakson kuukausittaiset todelliset turvesuhteet ja jaettiin tarkastelujakso pienemmän turvesuhteen jaksoon ja suuremman turvesuhteen jaksoon.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että turpeen polton lopettamisella on vaikutuksia Hovinsaaren BFB-kattilaan. Suurimmat vaikutukset kohdistuvat petihiekkaan ja kattilan pintojen materiaalien likaantumiseen sekä korroosioon. Turpeen sisältämällä rikillä on tärkeä rooli petihiekan sintraantumisen hillitsemisessä, sekä kattilan pintojen korroosion ehkäisyssä. Nämä asiat on otettava turpeen poltosta luovuttaessa huomioon.

Viimeiseksi työssä käydään läpi mahdollisia toimia, joilla turpeen polton lopettamisen aiheuttamia ongelmia voitaisiin estää tai ainakin hillitä. Pienimpinä toimenpiteinä esitetään petihiekan vaihtamisen lisäämistä, sekä kattilan nuohouksen tehostamista. Turpeen sisältämän rikin vaikutuksen korvaamiseksi käydään läpi erilaisten kemikaalien syöttämistä kattilaan. Käytännöllisimpänä ratkaisuna nähdään rikkigranulaatin syöttäminen kattilaan polttoaineen mukana. Suuritoisimpinä toimenpiteinä käsitellään kattilan materiaalien ja arinan rakenteen muuttamista. Nämä nähdään kalliina ja suuritoisina toimenpiteinä, jotka vaativat paljon tarkempaa selvitystyötä ja arviointia.

## LÄHTEET

- Afry. 2020. Selvitys turpeen energiakäytön kehityksestä Suomessa. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Pdf-tiedosto. Saatavana: [Selvitys turpeen energiakäytön kehityksestä Suomessa \(valtioneuvosto.fi\)](https://www.valtioneuvosto.fi) [viitattu 17.10.2022].
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Jyväskylä: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Pdf-tiedosto. Saatavana: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf> [viitattu 17.10.2022].
- Alakangas, E., Erkkilä, A. & Oravainen, H. 2008. Tehokas ja ympäristöä säästävää tulisijalämmitys – polttopuun tuotanto ja käyttö. Jyväskylä: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Pdf-tiedosto. Saatavana: <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2008/VTT-R-10553-08.pdf> [viitattu 17.10.2022].
- Alakangas, E. & Impola, R. 2014. Puupolttoaineiden laatuohje. VTT-M-07608–13-päivitys 2014. Jyväskylä: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Pdf-tiedosto. Saatavana: [https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13\\_2014\\_%20update.pdf](https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13_2014_%20update.pdf) [viitattu 9.5.2022].
- Alakangas, E., Kurki-Suonio, K., Tikka, T. & Fredriksson, T. 2014. Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön. VTT-M-01931-14. Jyväskylä: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Pdf-tiedosto. Saatavana: [https://www.bioenergia.fi/wpcontent/uploads/2020/03/Kaytosta\\_poistetun\\_puun-soveltamisohje\\_Lokakuu2014.pdf](https://www.bioenergia.fi/wpcontent/uploads/2020/03/Kaytosta_poistetun_puun-soveltamisohje_Lokakuu2014.pdf) [viitattu 19.5.2022].
- Ympäristöministeriö. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. Energiategollisuus ry:n ja ympäristöministeriön tilaama tutkimusraportti. Pdf-tiedosto. Saatavana: [https://www.ymparisto.fi/download/Kotimaista\\_polttoainetta\\_kayttavien\\_kattilalaitosten\\_tekniset\\_ratkaisutpdf/%7BC1EA01A4-C78E-4152-A601-3AE51323EDEB%7D/119826](https://www.ymparisto.fi/download/Kotimaista_polttoainetta_kayttavien_kattilalaitosten_tekniset_ratkaisutpdf/%7BC1EA01A4-C78E-4152-A601-3AE51323EDEB%7D/119826) [viitattu 17.10.2022].
- Fabritius, M., Heinonen, O. & Kuotola, J. 2003. Kotkan Energia Oy. Biovoima-projekti – Ilmajärjestelmä. Valmet.
- Haho, O. 2021. Turpeen poltosta luopumisen vaikutukset voimalaitosten toimintaan. Tampereen yliopisto. Kandidaatintyö – Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Pdf-tiedosto. Saatavana: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202104223278> [viitattu 17.10.2022].
- Hirvonen, P., Karjalainen, S., Korhonen, T. & Rämetsä, J. 2021. Turvetyöryhmän loppuraportti. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Pdf-tiedosto. Saatavana: [Turvetyöryhmän loppuraportti - Valto \(valtioneuvosto.fi\)](https://www.valtioneuvosto.fi) [viitattu 17.10.2022].
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. uusittu painos. Helsinki: Edita, Opetushallitus.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

Hupa, M., Kurki-Suonio, I., Raiko, R. & Saastamoinen, J. 2002. Poltto ja palaminen. 2. täydennetty painos. Jyväskylä: International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto.

Kipinoinen, M. 2020. Kotkan Energian Hovinsaaren BFB-kattilan ”Turvexit” selvitys. Sumitomo SHI FW. Asiakasselvitys Kotkan Energialle. Kotkan energian sisäinen materiaali.

Korpijärvi, K., Björnström, M., Karlsson, M., Raitila, J., Virkkunen, M., & Hurskainen, M. 2021. Biohiilen valmistus ja käyttö turvetta korvaavana tukipolttoaineena bioenergian tuotannossa. VTT-R-717-21. Pdf-tiedosto. Saatavana: [https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/52613617/VTT\\_Tutkimusraportti\\_BioTur21\\_VTT\\_R\\_717\\_21\\_Final.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/52613617/VTT_Tutkimusraportti_BioTur21_VTT_R_717_21_Final.pdf) [viitattu 17.10.2022].

Kotkan Energia oy:n Hovinsaaren voimalaitoksen vuorokausiraportti: PA\_käyttö (1.12.2021–01.01.2022). Kotkan Energian sisäinen materiaali.

Kotkan Energia oy:n verkkosivut. [www.kotkanenergia.fi](http://www.kotkanenergia.fi) [viitattu 17.10.2022]

Kuumola, V., Lohiniva, E. & Rantee, A. 2001. Kotkan Energia. Teknillinen Eritely No. 012050. Kerrosleijukattila. Kvaerner Pulping.

Motiva. 2020. Energiaa metsästä. Artikkelit motiva.fi www-sivustolla. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/energiaa\\_metsasta](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_metsasta) [viitattu 17.10.2022].

Pitkänen, M. 2018. Alkalikertymä leijupedissä käytettäessä luonnonhiekkaa ja granulointua masuunikuonaa petihiekkana. Savonia. Opinnäytetyö – Ammattikorkeakoulututkiminto, tekniikan ja liikenteen ala. Pdf-tiedosto. Saatavana: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/150323/Pitkanen\\_Tuomo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/150323/Pitkanen_Tuomo.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 17.10.2022].

Rissanen, H. & Tapio, M. 2022. PÄÄTÖS Nro. 36/2022, Dnro ESA-VI/6591/2021. Aluehallintovirasto. Ympärisöluvat.

Suomen turvetuottajat ry. 2022. Tietoa turpeesta. Artikkelit turvetuottajat ry:n www-sivuilla. <https://suomenturvetuottajat.fi/tietoa-turpeesta/> [viitattu 17.10.2022].

Tro, N. 2011. Chemistry: A Molecular Approach. Second Edition. New Jersey: Pearson Education, Inc.

Vesanto, P., Hiltunen, M., Moilanen, M., Kaartinen, T., Laine-Ylijoki, J., Sipilä, K. & Wilén, C. 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö – Selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijutuspoltoon. VTT tiedotteita 2416. Jyväskylä: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Pdf-tiedosto. Saatavana: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2007/T2416.pdf> [viitattu 17.10.2022].



## KUVALUETTELO

Kuva 1. Kotkan Energia Oy logo .....	7
Kuva 2. Hovinsaaren Voimalaitoksen BFB-kattilan sivuleikkaus (Kvaerner Pulping, 2001.) .....	9
Kuva 3. Hovinsaaren voimalaitoksen päästöraja-arvot vuoden 2022 alusta lähtien. (Rissanen, 2022, s.27).....	15
Kuva 4. AB-luokan kierrätyspuun luokittelu ja raja-arvot (Alakangas, 2014) ..	21
Kuva 5. SFS 5875 standardin mukainen kierrätyspolttoaineen luokittelu. ....	22
Kuva 6. Sintraantunutta petihiekkaa.....	30
Kuva 7. Petilämpötilojen trendi lokakuulta 2021.....	31
Kuva 8. Esimerkkikuva porrastarinasta. (Kipinoinen, 2020) .....	36

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Palamisilmantarve (Huhtinen 2000, s. 89–90) .....	12
Taulukko 2. Tyypillisiä polton ilmakertoimia (Huhtinen 2000, s. 86) .....	12
Taulukko 3. Takuupolttoaineseos (Kuumola, 2001) .....	17
Taulukko 4. Polttoaineiden ominaisuuksia. (Ympäristöministeriö 2012).....	18
Taulukko 5. Biopolttoaineiden jakauma helmikuussa 2022. ....	19
Taulukko 6. Esimerkkejä luokan A puutähteestä. (Alakangas, 2014).....	20
Taulukko 7. Esimerkkejä luokan B puutähteestä. (Alakangas, 2014).....	21
Taulukko 8. Turpeen osuus kiinteästä polttoaineesta kuukausittain (%). ....	25
Taulukko 9. Kattilan tehon keskiarvo (%) tarkasteluajanjaksona.....	25
Taulukko 10. Savukaasujen kattilan jälkeisen lämpötilan ylärajahälytykset (kpl). ....	26
Taulukko 11. Kiertokaasun virtauksen keskiarvo (Nm <sup>3</sup> /s).....	27
Taulukko 12. Petilämpötilan ylärajahälytykset (kpl). ....	27
Taulukko 13. Pedin lämpötilamittausten äkilliset kylmenemiset (kpl). ....	30
Taulukko 14. Turpeen polton lopettamisen vaikutukset ja ehdotetut toimenpiteet.....	37

Tarkastelujaksojen vertailut			
Kattilan teho (%) Jakso - A		Kattilan teho (%) Jakso - B	
	Lokakuu		Joulukuu
vko 40	34	vko 48	99
vko41	62.5	vko 49	94.4
vko 42	87	vko 50	98
vko 43	72	vko 51	100
avg loka	63.9	vko 52	101
	Marraskuu	avg joulu	98.5
vko 44	71		Tammikuu
vko 45	81.5	vko 1	100
vko 46	84	vko 2	99
vko 47	99	vko 3	100
avg marra	83.9	vko 4	102
Jakso - A avg	73.9	avg tamm	100.25
		Jakso - B avg	99.4
Petilämpötilan sukellukset kpl			
Lokakuu	10	Joulukuu	5
Marraskuu	1	Tammikuu	0
Jakso - A	11	Jakso - B	5
Kiertokaasun virtaus keskiarvo Nm <sup>3</sup> /s			
Lokakuu	2.55	Joulukuu	1.47
Marraskuu	1.47	Tammikuu	1.58
Jakso - A	2.01	Jakso - B	1.52
Savukaasun lt k. jäl. yläraja halytykset kpl			
Lokakuu	20	Joulukuu	14
Marraskuu	46	Tammikuu	4
Jakso - A	66	Jakso - B	18
Pedin LT ylärajahälytykset			
Lokakuu	44	Joulukuu	152
Marraskuu	30	Tammikuu	136
Jakso - A	74	Jakso - B	288

## Liite 2/4

<b>Polttotaseraportti (aine, kuukausikohtainen) 01.11.2021-30.11.2021</b>						
Kuukausi	Aine	M,ar (%)	Qnet,d (MJ/kg)	m3	Netto (t)	Energia (MWh)
<b>Käyttöpaikka: Hovinsaari</b>		51	20	63708	17697	42255
<b>Aineryhmä: 21 Turve</b>		44	21	3835	1333	3940
11.2021	Jyrsinturve (14.10.10)	44	21	3835	1333	3940
<b>Aineryhmä: 111 Kaasut</b>		0	49	4972	4	50
11.2021	Maakaasu (131)	0	49	4972	4	50
<b>Aineryhmä: 311 Metsäpolttoaine, puu</b>		37	19	19444	5078	15426
11.2021	Rankahake, pienpuu 100% (21.10.21.2)	35	19	12310	2815	8777
11.2021	Metsätähdehake tai -murske (21.10.30)	40	19	7134	2264	6649
<b>Aineryhmä: 312 Teollisuuden puutähdde</b>		60	19	25090	8584	14282
11.2021	Kuori (21.20.10)	61	19	22995	7937	13022
11.2021	Sahanpuru (21.20.20)	56	19	2095	647	1260
<b>Aineryhmä: 315 Kierrätyspuu</b>		44	19	6969	1510	3972
11.2021	Kierrätyspuumurske (A,B) (21.50.10.1)	44	19	6969	1510	3972
<b>Aineryhmä: 323 Sekapolttoaineet</b>		57	35	3398	1188	4585
11.2021	Ref 1 (31.10.10.1)	57	35	3398	1188	4585
<b>Yhteensä</b>		51	20	63708	17697	42255
Turpeen osuus (%)		8%				
Bio osuus (%)		77%				
REF osuus (%)		15%				
<b>Polttotaseraportti (aine, kuukausikohtainen) 01.10.2021-31.10.2021</b>						
Kuukausi	Aine	M,ar (%)	Qnet,d (MJ/kg)	m3	Netto (t)	Energia (MWh)
<b>Käyttöpaikka: Hovinsaari</b>		45	20	49532	11425	30802
<b>Aineryhmä: 21 Turve</b>		43	21	2444	861	2654
10.2021	Jyrsinturve (14.10.10)	43	21	2444	861	2654
<b>Aineryhmä: 111 Kaasut</b>		0.0	49	9720	7	99
10.2021	Maakaasu (131)	0.0	49	9720	7	99
<b>Aineryhmä: 311 Metsäpolttoaine, puu</b>		35	19	16237	4511	14308
10.2021	Rankahake, pienpuu 100% (21.10.21.2)	34	19	5373	1238	3938
10.2021	Metsätähdehake tai -murske (21.10.30)	36	19	10864	3273	10370
<b>Aineryhmä: 312 Teollisuuden puutähdde</b>		57	19	14094	4644	8516
10.2021	Kuori (21.20.10)	58	19	13174	4388	7961
10.2021	Sahanpuru (21.20.20)	52	19	920	256	555
<b>Aineryhmä: 315 Kierrätyspuu</b>		33	18	5496	1084	3423
10.2021	Kierrätyspuumurske (A,B) (21.50.10.1)	33	18	5496	1084	3423
<b>Aineryhmä: 323 Sekapolttoaineet</b>		47	40	1541	317	1802
10.2021	Ref 1 (31.10.10.1)	47	40	1541	317	1802
<b>Yhteensä</b>		45	20	49532	11425	30802
Turpeen osuus (%)		8%				
Bio osuus (%)		80%				
REF osuus (%)		12%				

## LIITE 3/4

Polttotaseraportti (aine, kuukausikohtainen) 01.12.2021-31.12.2021						
Kuukausi	Aine	M,ar (%)	Qnet,d (MJ/kg)	m3	Netto (t)	Energia (MWh)
<b>Käyttöpaikka: Hovinsaari</b>						
<b>Aineryhmä: 21 Turve</b>		43	21	1766448	20285	68705
12.2021	Jyrsinturve (14.10.10)	43	21	13640	4701	14491
<b>Aineryhmä: 111 Kaasut</b>		0	49	1700023	1263	17236
12.2021	Maakaasu (131)	0	49	1700023	1263	17236
<b>Aineryhmä: 311 Metsäpolttoaine, puu</b>		38	19	18413	5087	15051
12.2021	Rankahake, pienpuu 100% (21.10.21.2)	36	19	12982	3242	9897
12.2021	Metsätähdehake tai -murske (21.10.30)	42	19	5431	1845	5154
<b>Aineryhmä: 312 Teollisuuden puutähde</b>		59	19	19768	6126	10546
12.2021	Kuori (21.20.10)	61	19	17509	5830	9644
12.2021	Sahanpuru (21.20.20)	37	19	2259	296	902
<b>Aineryhmä: 315 Kierrätyspuu</b>		33	19	11256	2311	7408
12.2021	Kierrätyspuumurske (A,B) (21.50.10.1)	33	19	11256	2311	7408
<b>Aineryhmä: 323 Sekapolttoaineet</b>		52	40	3348	796	3972
12.2021	Ref 1 (31.10.10.1)	52	40	3348	796	3972
<b>Yhteensä</b>		43	22	1766448	20285	68705
Turpeen osuus (%)		25%				
Bio osuus (%)		59%				
REF osuus (%)		16%				
Polttotaseraportti (aine, kuukausikohtainen) 01.01.2021-31.01.2022						
Kuukausi	Aine	M,ar (%)	Qnet,d (MJ/kg)	m3	Netto (t)	Energia (MWh)
<b>Käyttöpaikka: Hovinsaari</b>						
<b>Aineryhmä: 21 Turve</b>		42	21	27649	4788	14749
01.2022	Jyrsinturve (14.10.10)	42	21	14009	4788	14749
<b>Aineryhmä: 111 Kaasut</b>		0	49	131348	98	1332
10.2021	Maakaasu (131)	0	49	131348	98	1332
<b>Aineryhmä: 311 Metsäpolttoaine, puu</b>		39	19	39019	5708	31837
01.2022	Rankahake, pienpuu 100% (21.10.21.2)	43	19	10769	2860	7790
01.2022	Metsätähdehake tai -murske (21.10.30)	37	19	9837	2848	8996
<b>Aineryhmä: 312 Teollisuuden puutähde</b>		60	19	37828	5396	19647
01.2022	Kuori (21.20.10)	62	19	14237	4938	7572
01.2022	Sahanpuru (21.20.20)	32	19	3823	458	1529
<b>Aineryhmä: 315 Kierrätyspuu</b>		33	19	24692	2729	16379
01.2022	Kierrätyspuumurske (A,B) (21.50.10.1)	33	19	13436	2729	8971
<b>Aineryhmä: 323 Sekapolttoaineet</b>		52	40	5588	524	6473
01.2022	Ref 1 (31.10.10.1)	53	39	2240	524	2500
<b>Yhteensä</b>		44	21	1966147	19242	122144
Turpeen osuus (%)		25%				
Bio osuus (%)		58%				
REF osuus (%)		17%				

## Polttotaseraportti (aine, kuukausikohtainen) 01.02.2022-28.02.2022 (Hovinsaari)

Kuukausi	Aine	M,ar (%)	Qnet,d (MJ/kg)	m3	Netto (t)	Energia (MWh)
<b>Käyttöpaikka: Hovinsaari</b>		<b>49.4</b>	<b>19.90</b>	<b>111205</b>	<b>18990.865</b>	<b>47157.73</b>
<b>Aineryhmä: 21 Turve</b>		<b>42.9</b>	<b>20.91</b>	<b>12852</b>	<b>4186.300</b>	<b>12651.64</b>
02.2022	Jyrsinturve (14.10.10)	42.9	20.91	12852	4186.300	12651.64
<b>Aineryhmä: 111 Kaasut</b>		<b>0.0</b>	<b>49.13</b>	<b>45929</b>	<b>34.125</b>	<b>465.67</b>
02.2022	Maakaasu (131)	0.0	49.13	45929	34.125	465.67
<b>Aineryhmä: 311 Metsäpolttoaine, puu</b>		<b>40.3</b>	<b>19.04</b>	<b>23413</b>	<b>6611.800</b>	<b>19089.86</b>
02.2022	Rankahake, pienpuu 100% (21.10.21.2)	43.5	18.70	13676	3833.520	10116.39
02.2022	Metsätähdehake tai -murske (21.10.30)	35.9	19.52	9737	2778.280	8973.47
<b>Aineryhmä: 312 Teollisuuden puutähde</b>		<b>64.9</b>	<b>18.67</b>	<b>20389</b>	<b>6073.540</b>	<b>8386.26</b>
02.2022	Kuori (21.20.10)	67.2	18.66	16339	5720.620	7127.63
02.2022	Sahanpuru (21.20.20)	28.2	18.83	4050	352.920	1258.62
<b>Aineryhmä: 315 Kierrätyspuu</b>		<b>39.3</b>	<b>18.85</b>	<b>5791</b>	<b>1234.885</b>	<b>3592.85</b>
02.2022	Kierrätyspuumurske (A,B) (21.50.10.1)	39.3	18.85	5791	1234.885	3592.85
<b>Aineryhmä: 323 Sekapolttoaineet</b>		<b>56.6</b>	<b>30.84</b>	<b>2831</b>	<b>850.215</b>	<b>2971.47</b>
02.2022	Ref 1 (31.10.10.1)	56.6	30.84	2831	850.215	2971.47
<b>Yhteensä</b>		<b>49.4</b>	<b>19.90</b>	<b>111205</b>	<b>18990.865</b>	<b>47157.73</b>
<b>Turpeen osuus (%)</b>		<b>22%</b>				
<b>Bion osuus</b>		<b>67%</b>		<b>Bio (t)</b>	<b>12685.340</b>	
Metsätähdehake, -murska		22%				
Rankahake		30%				
Kuori		45%				
Sahanpuru		3%				
<b>Ref osuus (%)</b>		<b>11%</b>				
Kierrätyspuumurske (A,B)		59%				
Ref-I		41%				