

**SAVONIA**



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN ALA

# CFB-KATTILAN POLTTOAINEEN SYÖTTÖTORVIEN PARANNUSMAHDOLLISUUDET

UPM-Kymmene Oyj

TEKIJÄ

Matti Vesterinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Matti Vesterinen	
Työn nimi CFB-kattilan polttoaineen syöttötorvien parannusmahdollisuudet	
Päiväys	17.4.2025
	32/1
Yhteistyötaho UPM-Kymmene Oyj	
<p>Opinnäytetyö tehtiin UPM Kaukaan sellutehtaalle. Työn tarkoituksena oli tarjota parannus-/korjausehdotuksia Kaukaan Voiman biovoimalaitoksen kiinteän polttoaineen syöttöaukoille. Työn tavoitteena on valikoida vaihtoehtoja sopivin, jota tarjotaan toimeksiantajalle.</p> <p>Työssä perehdyttiin polttoaineensyöttötorvien nykytilaan sekä laitevalmistajien tarjoamiin vaihtoehtoisin konstruktiioihin. Nykyisille syöttötorville ja uusille konstruktiovaihtoehtoille laadittiin kunnossapitokustannusarviot aiempien raporttien ja kustannusten perusteella. Kustannusarvioita vertailtiin, ja lisäksi tarkasteltiin uusien konstruktioiden etuja ja haittoja.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena löydettiin nykyisillä olettamilla hintalaatu suhteeltaan sopivin konstruktio, joka myös minimoi kunnossapitotyöt ja -kustannukset. Konstruktion valintaa voidaan tukea lisämittauksilla, joita toimeksiantaja voi suorittaa päätöksenteon tueksi.</p>	
Avainsanat kiertopetikattila, polttoaineen syöttötorvet, suojavaippa, jäähdytysilma	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	UPM-KYMMENE OYJ:N ESITTELY.....	6
2.1	UPM-Kymmene Oyj.....	6
2.2	UPM Kaukas.....	6
3	KAUKAAN VOIMA OY.....	8
3.1	Kaukaan Voiman biovoimalaitos.....	8
3.2	Leijukerrospoltto.....	9
3.3	CFB-kattila.....	9
4	KIINTEÄN POLTTOAINEEN KÄSITTELY.....	12
4.1	Polttoaineen käsittely.....	12
4.2	Polttoaineen syöttö.....	13
5	PALAMISILMA- JA KIERTOKAASUJÄRJESTELMÄ.....	15
5.1	Primääri- ja sekundääri-ilma.....	15
5.2	Ilmanesilämmitimet (LUVO).....	15
5.2.1	Rekuperatiiviset ilman esilämmitimet.....	15
5.2.2	Höyryluvo.....	17
5.3	Kiertokaasun toiminta ja tarkoitus.....	17
6	POLTTOAINEEN SYÖTTÖTORVET.....	18
6.1	Syöttötorvien rakenne.....	18
6.2	Heitto- ja jäähdytysilma.....	19
6.3	Syöttöpäiden vauriot.....	19
6.4	Parannusvaihtoehdot.....	20
6.4.1	Konstruktio 1.....	20
6.4.2	Konstruktio 2.....	21
6.4.3	Konstruktio 3.....	22
6.5	Edut ja haitat.....	23
6.5.1	Konstruktio 1.....	23
6.5.2	Konstruktio 2.....	24
6.5.3	Konstruktio 3.....	24
7	KUSTANNUKSET.....	26
7.1	Nykyinen ratkaisu.....	26

7.2	Esitettyjen konstruktioiden kustannukset ja niiden vertailu .....	27
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
9	POHDINTA .....	30
	LÄHTEET .....	31
	LIITE 1: KUNNOSSAPITOKUSTANNUSARVIoidEN VERTAILU .....	33

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa korjaus- ja parannusvaihtoehtoja Kaukaan Voima Oy:n biovoimalaitoksen kiinteän polttoaineen syöttötorville sekä valita tarkasteltujen vaihtoehtojen joukosta hintalaatu suhteeltaan paras ratkaisu. Työssä keskitytään syöttötorvien rakenteellisiin ratkaisuihin sekä niiden vaikutuksiin kunnossapidon kannalta.

Opinnäytetyössä käytetään termiä syöttötorvi viitattaessa kokonaisvaltaisempaan rakenteeseen, kun taas termi syöttöpää tai syöttöaukko viittaa erityisesti tulipesän läheisyydessä sijaitsevaan rakenteen osaan. Syöttöpäihin kohdistuu toistuvaa kulumista ja vaurioitumista, minkä vuoksi niitä joudutaan kunnostamaan jokaisen ajokauden jälkeisen vuosihuollon aikana. Vauriot ovat toistuvia ja pitkälti samanlaisia vuodesta toiseen.

Syöttötorvien jäähdytysilman riittävä määrä on keskeisessä roolissa vaurioiden ehkäisyssä. Tässä tapauksessa konstruktio muutoksilla yritetään minimoida vaurioiden esiintyminen ja samalla haetaan käyttöiän pidentämistä. Työssä perehdytään hieman mikä voi olla vaurioiden aiheuttajiin, eri toimittajien tarjoamiin rakennevaihtoehtoihin ja niiden toteutukselliseen laajuuteen. Näille vaihtoehdoille laaditaan kunnossapitokustannusarviot aiempien tarkastusraporttien ja käytettävissä olevan tiedon avulla.

Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena on löytää ratkaisu, joka pienentää vuosittaisen korjaustarpeen määrää sekä laskee kohteen vuosittaisia kunnossapitokustannuksia.

Työn tuloksena esitetään toimeksiantajalle perusteltu ehdotus valittavaksi konstruktioksi. Ehdotuksen tueksi eri vaihtoehdoista esitetään niiden keskeiset edut ja mahdolliset haittapuolet, jotka toimivat päätöksenteon tukena.

## 2 UPM-KYMMENE OYJ:N ESITTELY

### 2.1 UPM-Kymmene Oyj

UPM-Kymmene Oyj on maailman suurimpiin metsäteollisuusyhtiöihin lukeutuva suomalaisyritys. Yhtiö sai alkunsa, kun Repola Oy, Kymmene Oyj ja Repolan tytäryhtiöt fuusioituivat. UPM-Kymmene aloitti 1.5.1996. Yhtiön vuosittainen liikevaihto on noin 10,3 miljardia. Työntekijöitä on noin 15 800 ja tuotantoa 11 eri maassa sekä myyntiverkostoa 6 mantereella. Liiketoiminta on jakautunut kuudelle eri alueelle: UPM Energy, UPM Fibres, UPM, Raflatac, UPM Specialty Papers, UPM Communication Papers ja UPM Plywood. (UPM 2025.)

Yhtiön historia ulottuu 1870-luvulle asti, kun ensimmäinen mekaaninen sellutehdas, paperitehtaat ja sahat aloittivat toimintansa. Selluntuotanto sai alkunsa 1880-luvulla ja paperin jalostus 1920-luvulla. Vanerintuotanto seurasi vuosikymmenyksen jäljessä ja se aloitettiin 1930-luvulla. (UPM n.d.)

UPM Energy, joka on Suomen toiseksi suurin sähköntuottaja tuottaa hiilidioksidivapaata sähköä omissa sekä yhteisomistuksessa olevissa voimalaitoksissa. UPM Fibres muodostuu sellu- ja sahaliiketoiminnoista. UPM Pulp tarjoaa monipuolisen selluvalikoiman, jota hyödynnetään esimerkiksi pehmo- ja erikoispaperien, graafisten paperien sekä pakkauskartonkien valmistuksessa. UPM Timber tarjoaa sertifioitua sahatavaraa. UPM Raflatac tuottaa itseliimautuvia paperi- ja filmituotteita mm. etiketöintiin, sekä irrotettavat itseliimautuvat tuotteet. UPM Specialty Papers tarjontaan kuuluu erikoispakkausmateriaaleja, joita käytetään joustopakkauksiin, etiketteihin ja teollisiin irrokepapereihin. UPM Communication Papers valmistaa graafisia papereita mm. sanoma- ja aikakauslehtiin sekä koti- ja toimistokäyttöön. UPM Plywood tarjoaa vaneri- ja viilutuotteita ajoneuvojen lattioihin, parkeetinvalmistukseen, rakentamiseen, LNG- laivanrakentamiseen sekä muihin teollisiin sovelluksiin. (UPM 2023.)

### 2.2 UPM Kaukas

Kaukas on Lappeenrannassa sijaitseva monipuolinen biometsäteollisuuden tehdasintegraatti (kuva 1). Kaukaalla valmistetaan uusiutuvasta raaka-aineesta sellua, sahatavaraa, aikakauslehtipaperia, energiaa, biopolttoaineita, biokemikaaleja sekä lääketieteellisten tuotteita. Kaukaalla sijaitsevat myös UPM:n suurin tutkimus- ja tuotekehityskeskus, UPM Metsän Itä-Suomen puunhankinnan johto ja Lappeenrannan metsäpalvelutoimisto. Henkilöstöä Kaukaalla on noin 1000 UPM:läistä sekä lähemmäs 500 alihankkijoiden työntekijää (UPM Kaukas n.d.)

Kaukaan sellutehdas tuottaa vuosittain noin 700 000 tonnia havusellua, josta jalostetaan pehmopapereita, kartonkia, hienopaperia ja aikakauslehtiä. Kaukaan saha valmistaa sertifioitua mäntysahatavaraa ja on tuotantokapasiteetiltaan 380 000 tonnia vuodessa ja on Euroopan suurin mäntysaha. Paperitehtaalla valmistetaan kotimaisesta havukuidusta MWC/LWC-paperia 300 000 tonnia vuodessa, jonka käyttökohteita ovat katalogit, aikakauslehdet sekä sanomalehtien liitteet. Biojalostamolla valmistetaan vuosittain 130 000 tonnia biopolttoaineita, jotka ovat peräisin mäntyöljystä (UPM Kaukas n.d.)



Kuva 1. Kaukaan tehdasintegraatti (UPM 2017)

### 3 KAUKAAN VOIMA OY

#### 3.1 Kaukaan Voiman biovoimalaitos

Kaukaan Voima Oy:n biovoimalaitos (kuva 2) sijaitsee UPM Kaukaan tehdasalueella Lappeenrannassa. Se on lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitos. Biovoimalaitos tuottaa prosessihöyryä UPM Kaukaan tehtaille sekä lämpöä ja sähköä Lappeenrannan energialle. Laitos on yhteydessä integraattin höyryverkkoon ja huolehtii höyryn riittävydestä. Laitos toimittaa kaukolämpöä noin 70 prosenttia Lappeenrannan kaupungin vuositarpeesta. Biovoimalaitos otettiin käyttöön marraskuussa 2009. Laitoksen käytöstä vastaa UPM Kaukaan henkilökunta (Pohjolan Voima n.d.)

Kaukaan Voiman biovoimalaitos on yksi Suomen suurimpia uusiutuvien puuperäisten polttoaineiden käyttäjiä energiantuotannossa. Voimalaitoksen polttoaineista yli 80 % on puuperäisiä ja hiilidioksidineutraaleja. Laitos käyttää polttoaineenaan hakkuutähdettä, kuorta, muita puuperäisiä polttoaineita sekä turvetta. Vara- ja käynnistyspolttoaineita ovat maakaasu sekä polttoöljy (Pohjolan Voima n.d.)



Kuva 2. Kaukaan Voiman biovoimalaitos (Pohjolan Voima 2019)

### 3.2 Leijukerros poltto

Energiantuotannossa leijukerros polttoa ryhdyttiin hyödyntämään vasta 1970-luvulla. Polttotekniikkaa oli kuitenkin käytetty ennen sitä monissa teollisuuden sovelluksissa. Leijukerros poltto on yleistynyt viime vuosikymmenien aikana. Syynä on polttotapa, joka mahdollistaa eri polttoaineiden, myös huonolaatuisten polton samassa kattilassa korkealla palamishyötysuhteella. Tämän lisäksi poltossa käytetään alhaista lämpötilaa, joten typenoksidipäästöt jäävät alhaisiksi. Polttotekniikassa hyödynnetään myös kalkkia syöttämällä sitä tulipesään, jossa se toimii edullisena savukaasujen rikinpuhdistajana. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 153.) Palamisvaiheessa tulipesään syötettävä kalkki sitoo rikin kipsiksi (Palsanen 2009).

Leijukerros poltossa käytetyt kattilat voidaan jakaa kahteen tyyppiin: kupliva leijukerroskattila, josta käytetään myös nimitystä leijupetikattila (BFB) sekä kiertopetikattila (CFB). Leijukerroskattilat ovat yksilöllisesti suunniteltu tietynlaiselle polttoaineelle, höyrynpaineelle sekä lämpötilalle. Leijukerros poltto edellyttää, että pedin hiukkaskoko pysyy halutulla alueella. Riippuen polttoainetyypistä, keski-verta hiukkaskoko kasvaa tai pienenee. (Vakkilainen 2017, 212 & 224.)

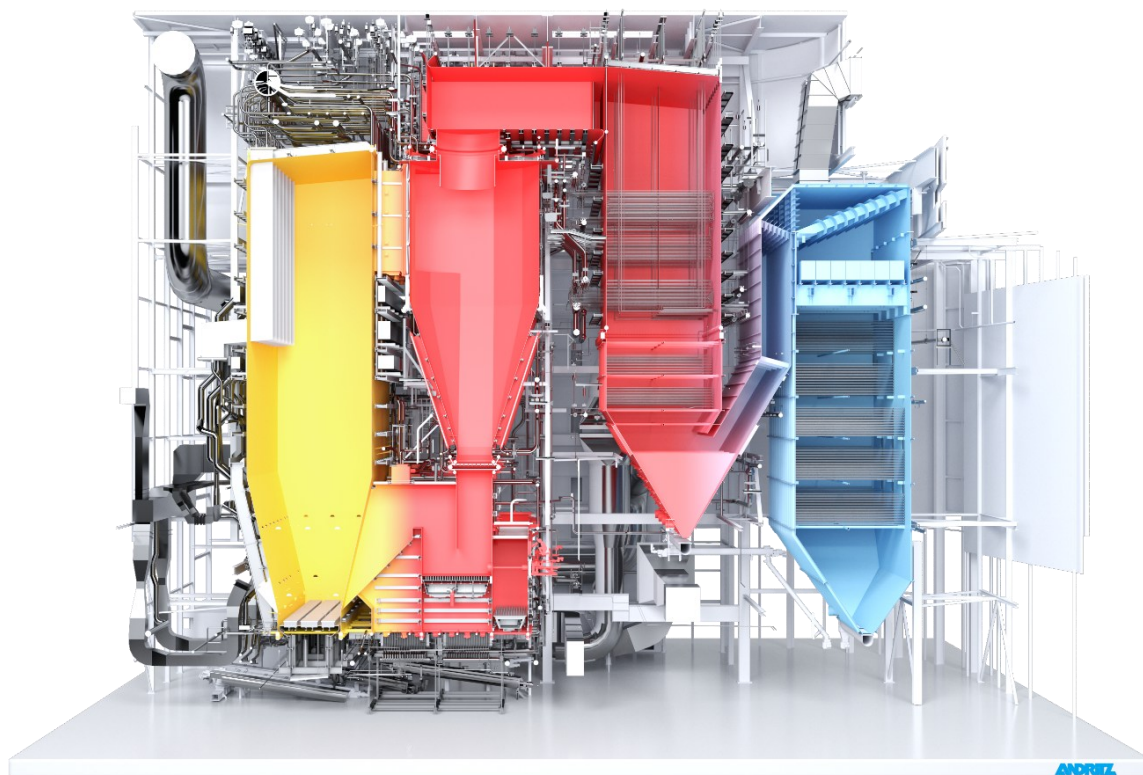
Vuosittain vanhoja kattiloita muutetaan leijukerroskattiloiksi. Muutostyö on halvempaa kuin uuden kattilan hankinta. Suurin ongelma muutoksessa on, että höyrynpaine ja lämpötila sekä usein savukaasujen poistumislämpötila pysyvät alkuperäisissä arvoissaan. Tämä tekee sähköntuotannon sekä tehokkuuden kasvattamisesta mahdotonta. Vanhat laitteistot rajoittavat kattilaan elinikää ja nostavat kunnossapitokustannuksia. (Vakkilainen 2017, 234–235.)

### 3.3 CFB-kattila

Ilman leijutusnopeuden ollessa suurempi kuin hiekkapartikkelien lentoonlähtönopeus, lähtevät hiukkaset kulkemaan leijutusväliaineen mukana. Tämä edustaa toista kattiloissa käytetyistä leijutustavoista ja koska petimateriaali kiertää leijutuskaasun mukana, käytetään nimitystä kiertopeti. Savukaasujen mukana kulkevat hiukkaset ja mahdolliset polttoaineet erotetaan savukaasuista syklonissa, jonka kautta ne palaavat takaisin tulipesään (Huhtinen 2000, 155). Sykloni on mahdollisesti myös suurin ja huomattavin rakenteellinen ero CFB- ja BFB-kattiloiden välillä.

CFB-kattilat mahdollistavat monipuolisen polttoaineen käytön, kuten kosteapitoisen biomassan ja jätteen, mikä lisää joustavuutta polttoaineen hankinnassa. Syklonin kautta kierrätettävä petimateriaali varmistaa tehokkaan palamisen kriittisissä höyryolosuhteissa, myös haastavilla polttoaineilla. Kattilat on suunniteltu kestäväksi syövyttäviä kaasuja ja tuhkapitoisia ympäristöjä, mikä vähentää korroosiota ja pidentää käyttöikää. Matalat palamislämpötilat vähentävät CFB-kattilan NO<sub>x</sub>-päästöjä. (Sumitomo SHI FW n.d.)

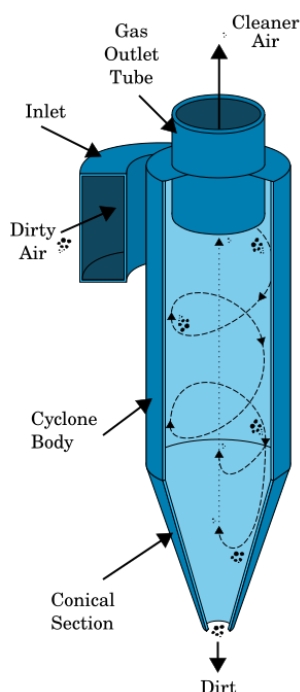
Leijupetikattiloihin nähden kiertopetikattiloissa käytetään suurempia leijutusnopeuksia ja hienompaa petimateriaalia. Leijutusnopeus kiertopetikattiloissa on 3–10 m/s ja petihiekan raekoko 0,1–0,5 mm. Kiertopetikattila (kuva 4) operoi leijutusalueella jolle pyörteet ja hiukkasten hyvä sekoittuminen on tyypillistä. Kiertopetissä ei muodostu selkeää rajapintaa, vaan petimateriaalin tiheys vähenee korkeuden kasvaessa, kun osa hiekasta kulkeutuu savukaasujen mukana. Kattilan keskeiset osat ovat tulipesä sekä siihen yhdistetty erillinen sykloni. Syklonin jälkeen savukaasukanavassa sijaitsee valtaosa osa tulistimista sekä ilman- ja vedenesilämmittimet. (Huhtinen ym. 2000, 159.)



Kuva 4. Kiertopetikattila (Andritz 2019)

Tulipesän pohjana toimii ilmanjakoarina, joka koostuu teräslevyyn tai jäähdytysputkistoon hitsatuista suuttimista. Tulipesän alaosan putket on vuorattu tulenkestävällä massalla, joka toimii kulumissuojana sekä estää ylikuumentumisen. Vaadittu palamisilma tuodaan kattilaan primääri- ja sekundääri-ilmana. Pohjasuuttimien kautta tuleva primääri-ilma eli leijutusilma on koko ilmamäärästä polttoaineen mukaan 40–60 %, ja tietyt vähän haittuvia komponentteja sisältävät polttoaineet voivat tarvita jopa 75 %. Sekundääri-ilma ohjataan leijukerrokseen muutama metri arinan yläpuolelle parille eri tasolle. Sekundääri-ilman säätö toteutuu portaattomasti 15–100 %. Primääri-ilman säätö onnistuu myös, ainoana rajoitteena on, että minimileijutusnopeutta ei voida alittaa. Käytännössä alue on siis 50–100 %. (Huhtinen ym. 158 & 161–162.)

Syklonien määrällä on vaikutus kattilan tulipesän muotoon. Tyypillisesti suuriin kattiloihin on sijoitettu useita sykloneita, koska niiden erotuskyky huononee halkaisijan kasvaessa, ja tämän takia halkaisija pyritään pitämään alle 8 metrissä Kuvasta 5 nähdään syklonin toimintaperiaate. Savukaasujen on virrattava tarpeeksi nopeasti sykloniin (n. 20 m/s), jotta syklonin erotusaste on hyvä. Syklonin alapäähän sijoitetulla polvella estetään savukaasujen virtaus tulipesästä sykloniin. Hiekkakierron mahdollistamiseksi polvien eri kohtiin syötetään suuttimista paineilmaa (1,4 bar), joka kierrättää hiekan polvesta tulipesään johtavaan laskuputkeen (Huhtinen ym. 2000, 160.)



Kuva 5. Syklonin toimintaperiaate (Wikipedia 2022)

Kiertopetikattilan yhteen hitsatut eväputket muodostavat eväputkiseinämän. Putkien sisällä kulkeva vesi haihtuu, jolloin putkien seinämien lämpötila on 300–350°C (Vakkilainen 2017, 222). Kuten aiemmin mainittiin, niin kattilassa sijaitsevien muurauksien tehtävänä on suojata rakenteet ylikuumenemiselta ja eroosiolta. Muurauksia voidaan myös hyödyntää korroosiosuojana. (Lindström 2014, 39.) Tulipesän tulenkestävä muurauksen päättymiskohtaa kutsutaan nimellä ”kick out”, josta eteenpäin rakenne jatkuu paljaana eväputkiseinämänä. Kick out on suunniteltu suojaamaan eroosiolta ohjaamalla putoava petimateriaali pois liitosalueelta. (Chaibamrung 2013, 15.)

## 4 KIINTEÄN POLTTOAINEEN KÄSITTELY

### 4.1 Polttoaineen käsittely

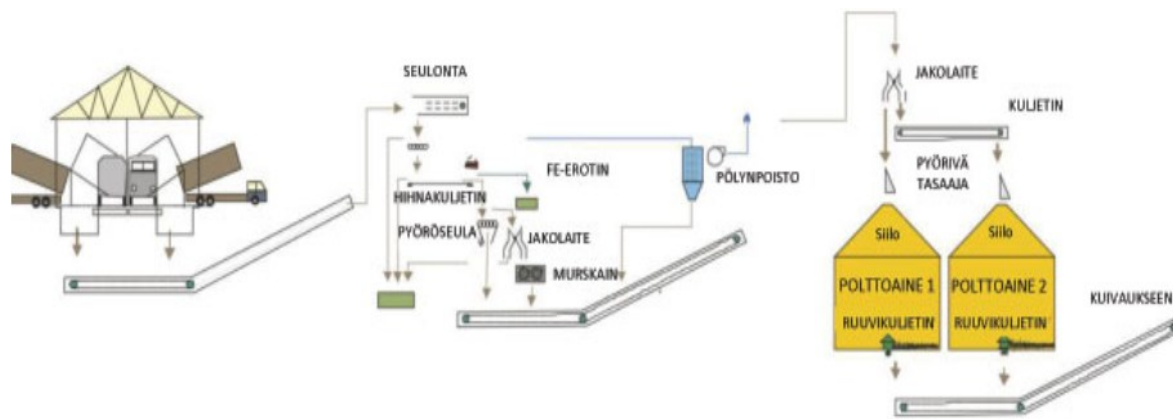
Kiinteä polttoaine (lyh. KPA) tarkoittaa siis polttoaineita, jotka ovat kiinteässä olomuodossa, esimerkiksi kuori, hakkuutähde ja turve. Polttoaineiden käsittelyyn (kuva 6) voimalaitoksilla tavanomaisesti kuuluu vastaanotto, varastointi, kuljetukset sekä esikäsitteily polttoa varten. Polttoaineen vastaanoton järjestettävyyteen vaikuttaa polttoaineen tuontitapa. Kiinteät polttoaineet voidaan toimittaa mm. autolla, junalla tai laivalla, kun taas maakaasu jaetaan kaasuverkostoa pitkin. Jotta saadaan takuu energiantuotannonhäiriöitä varten, on polttoaineen varastoinnin oltava riittävän suuri kapasiteetiltaan. (Huhtinen ym. 2000, 47.)

Puupolttoaine on pääasiassa sellu- ja paperiteollisuuden raaka-ainepuun kuorintajätettä. Puiden kuorinta tapahtuu kuorimarummuilla, jotka ovat hitaasti pyöriä, 3–5 metrisiä halkaisijaltaan ja useita kymmeniä metrejä pitkiä onttoja lieriöitä. (Huhtinen ym. 2000, 72.) Kaukaan Voima hyödyntää raaka-ainepuun kuorta, jota tulee kolmelta eri kuorimolta: sellutehtaan kuorimolta, paperitehtaan hio-  
mopuukuorimolta sekä sahan kuorimolta.

Kuoren lisäksi biovoimalaitos hyödyntää myös muuta integraatin hävikkiä, kuten lietettä sekä sahan jatkojalostuksesta sivuvirtana tulevaa purua. Voimalaitos hyödyntää näiden lisäksi erilaisia hakkuutähteitä, joita toimitetaan biopolttoaineen vastaanottoon. Kuitupuuksi kelpaamattomat energiapuut hyödynnetään energiantuotannossa. Energiapuut syötetään metsäenergiamurskan läpi, jonka jälkeen murskattu energijäte siirtyy varastoon.

Puuperäisiä kiinteitä polttoaineita varastoidaan aumavarastossa ja ulko-varastoissa. Varastoista polttoaine siirtyy hihnakuljettimia pitkin voimalaitoksella sijaitseviin päiväsiiloihin. Hihnakuljetin pudottaa polttoaineen kolakuljettimelle, joka jakaa polttoaineen tasaisesti siiloihin. Kaukaan Voiman biovoimalaitoksen kiinteän polttoaineen käsittelyyn kuuluu: punnitus, vastaanotto, seulonta, murskaimet, kuljettimet, polttoainesiihot, ruuvipurkaimet sekä sulkusyöttimet. Kiinteän polttoaineen käsittely on merkittävä osa voimalaitoksen toimintaa, ja se kattaa myös huomattavan osan laitoksen alueellisesta kokonaisuudesta.

Syötettävän polttoaineen soveltuvuuden varmistaminen on keskeinen osa voimalaitoksen toimintaa. Tätä tarkoitusta varten käytetään hihnamagneetteja, murskaimia sekä seuloja, jotka poistavat polttoaineen seasta mahdolliset epäpuhtaudet ja sinne kulumattomat kappaleet. Näiden laitteiden tehtävänä on estää mm. metallijätteen tai liian suurten kappaleiden, pääsyn polttoainejärjestelmään, mikä voisi muutoin aiheuttaa laiterikkoja, syöttökatkoja tai muita häiriöitä energiantuotantoon. Laitteiden pitkäikäisyyden takaamiseksi ne ovat säännöllisen huollon ja tarkastusten piirissä. Jokavuotisilla kunnossapitotöillä varmistetaan laitteiden moitteeton toiminta ja vähennetään käyttökatkosten riskiä.

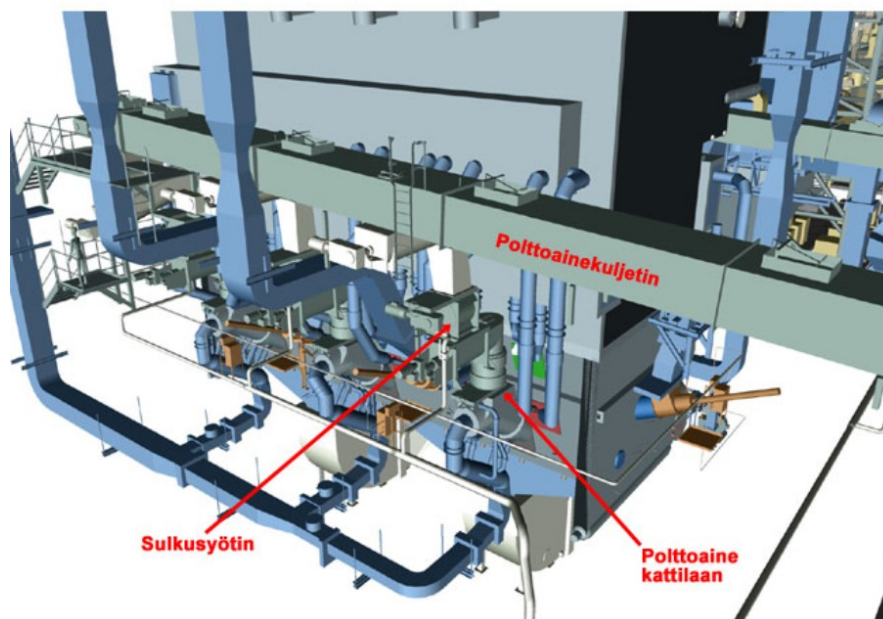


Kuva 6. Kuvaleike Knowpulp verkkosivulta Muiden polttoaineiden käsittely (KnowPulp 2025)

#### 4.2 Polttoaineen syöttö

Polttoaineen syöttö on tärkeä osa hyvin toimivaa leijukerroskattilaa. Polttoaine syötetään siten, että se jakautuu tasaisesti kattilan alaosaan. CFB-kattiloissa polttoaine syötetään syöttöruuveilla tai muilla ratkaisulla useasta syöttöaukosta, jotka ovat sijoitettu tulipesän alaosaan. Kiertopetikattiloissa polttoaine voidaan myös sekoittaa syklonista tulipesään palaaviin kiintoaineisiin. Polttoaine voidaan syöttää tulipesään yhdeltä tai kahdelta vastakkaiselta seinältä riippuen kattilan koosta (kuva 7). Useampi syöttöaukko mahdollistaa polttoaineen tasaisen levityksen tulipesään mutta on myös kalliimpi ratkaisu. Kiertopetikattilassa yksi syöttöaukko kattaa noin 9–27 m<sup>2</sup> pedin pinta-alasta. Polttoaineen syöttö alkaa päiväsiiloilta, jotka ovat tasapohjaisia siloja, joiden sisällä on pyörivä ruuvipurkain. (Vakkilainen 2017, 227.)

#### Höyrykattilan polttoaineen syöttölaitteet



Kuva 7. Polttoaineen syöttölaitteet (KnowPulp 2025)

Päiväsiiloja on Kaukaan Voimalla kolme, joista kaksi on puuperäiselle biopolttoaineelle ja yksi turpeelle. Puuperäiset polttoainesiilot sijaitsevat reunoilla ja turvesiilo keskellä. Turve purkautuu siilosta kammioon, josta se jakautuu kahdelle pitkälle ruuvikuljettimelle. Ruuvikuljettimet purkavat turpeen tasaisesti etu- ja takaseinien kolakuljettimille. Puuperäinen biopolttoaine puolestaan purkautuu suoraan päiväsiiloista kolakuljettimille, josta se matkaa kohti tulipesää. Kolakuljettimien pohjissa on 4 syvennystä per kuljetin eli 8 syöttökohtaa yhteensä, joissa sijaitsevat syöttö-/ryöstöruuvit. Kolakuljetin käydessä kiinteä polttoaine jakaantuu ruuveille, jotka purkavat polttoaineen sulkusyöttimien kautta tulipesään.

## 5 PALAMISILMA- JA KIERTOKAASUJÄRJESTELMÄ

### 5.1 Primääri- ja sekundääri-ilma

Kattilalaitoksissa primääri- ja sekundääri-ilmaa käytetään pääsääntöisesti polttoaineiden palamista varten. Ilmaa hyödynnetään myös esimerkiksi polttoaineiden ja muiden kiinteiden aineiden syöttämisessä tulipesään. CFB-kattiloissa ilmaa tarvitaan myös syklonin polvessa takaisinkiertävän materiaalin leijutukseen (Vakkilainen 2017, 152–153).

Polttoaineen koostumuksen ja palamisreaktioiden pohjalta voidaan laskea palamisilman sekä muodostuvien savukaasujen määrä. Savukaasuja analysoimalla voidaan päätellä polttoaineiden palamisen ja ilmasuhteen täydellisyyttä. Kattilan tarvitseman polttoainemäärän selvittyä kartoitetaan palamisilman tarve, joka lasketaan tavallisesti yhtä polttoainekiloa kohti (Huhtinen ym. 2000, 84).

Primääri- ja sekundääri-ilma imetään kattilahuoneen yläosasta ja ulkoilmasta omien imukanaviensa kautta. Kattilahuoneen painetta valvotaan jatkuvasti, ja sen noustessa ilmanottoa lisätään sisätiloista, kun taas paineen laskiessa ilmanotto painottuu ulkoilmaan. Lisäksi kattilahuoneen ja ulkoilman seoksen on täytettävä asetettu minimilämpötilavaatimus, mikä rajoittaa ulkoilman käyttöä kylminä vuodenaikoina. Primääri-ilmajärjestelmään sisältyvät savukaasu- ja höyryesilämmittimet. (Foster Wheeler.)

Palamisilma johdetaan arinan suuttimien läpi varmistaen tasainen leijutusilman ja petimateriaalin sekoittuminen. Arina mahdollistaa ilman jakamisen leijukerroksen koko pinta-alalle. Sekundääri-ilmaa käytetään polttoaineen palamisen loppuunsaattamisessa, koska vain osa palamisilman kokonaismäärästä tarvitaan kierron luomiseen. (Foster Wheeler.)

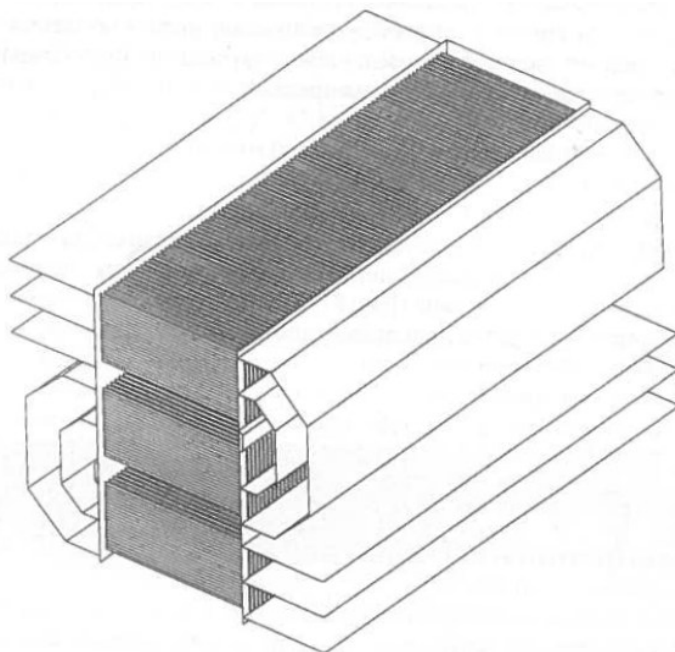
### 5.2 Ilmanesilämmittimet (LUVO)

Palamisilman esilämmityksellä on tärkeä tehtävä voimalaitoksen toiminnan kannalta. Esilämmityksellä voidaan kuivattaa polttoainetta, tehostaa polttoaineen syttymistä sekä nopeuttaa palamista. Vaikka polttoaine on helposti syttyvää, niin palamisilmaa esilämmitetään silti palamisen stabiilisuisuuden varmistamiseksi. Luvo sijaitsee viimeisenä lämmönsiirtimenä kattilan takavedossa. Esilämmittimen jälkeisen savukaasun lämpötila määritetään savukaasujen happokastepisteen mukaisesti. Savukaasujen loppulämpötilaa valvotaan tarkasti ja lämpötila pyritään pitämään happokastepistelämpötilaa korkeampana. Esilämmittimeen tulevaa ilmaa voidaan lämmittää jo ennen savukaasulämmitteistä lämmönsiirintä ns. höyryluvolla, jos on riski happokastepisteen alittumisesta. Esilämmittimet voidaan jakaa rekuperatiivisiin sekä regeneratiivisiin esilämmittäjiin (Huhtinen ym. 2000, 196–197).

#### 5.2.1 Rekuperatiiviset ilman esilämmittimet

Rekuperatiivisessa esilämmittimessä lämpö siirtyy lämmönsiirtopinnan läpi kuumemmasta ainevirrasta kylmempään. Savukaasut siis lämmittävät teräsputkissa virtaavaa ilmaa tässä tapauksessa. Rakennemateriaaliltaan rekuperatiiviset esilämmittimet voidaan jakaa teräsputkisiin, valurautaisiin ja lasiputkisiin esilämmittäjiin. (Huhtinen ym. 2000, 197.)

Terästä voidaan käyttää, kun ei ole vaaraa happokastepisteen alittumisesta. Yleensä teräsputkiluvot rakennetaan siten, että ne ovat kohtisuoraan savukaasujen virtaukseen nähden. Näin saadaan aikaan ristivirtaus savukaasujen ja palamisilman välille. Lämmönsiirtimiä voidaan kytkeä useita peräkkäin, joista saadaan ryhmien nimet U, N tai M (kuva 8). Joskus teräsputkiluvo valmistetaan päinvas- taisesti pystyputkista siten, että savukaasut virtaavat putkissa ja ilma niiden ulkopuolella. (Huhtinen ym. 2000, 197.)



Kuva 8. N-mallinen rekuperatiivinen teräsputkiluvo (Huhtinen ym. 2000, 198)

Valurauta sietää terästä paremmin savukaasuista mahdollisesti tiivistyvän rikkihapon syövytystä. Valurautaluvo voidaan valmistaa putkista tai vaihtoehtoisesti valurautaelementeistä. Elementit kiinnitetään toisiinsa pulteilla, joka tekee niistä helposti vaihdettavat. Valurautainen lämmönsiirrin on teräsputkiluvon tyyppisesti ristivirtasiirrin. Valurautaluvoja kytetään myös useampia päällekkäin. (Huhtinen ym. 2000, 197.)

Rekuperatiivisen ilman esilämmittimen suurimpana haittana on ollut kylmän pään lämpöpintojen korrosio ja likaantuminen. Savukaasupuolen kylmän ilman sisäänvirtauskohta on haasteellinen, koska lämpötila pyrkii tippumaan alle happokastepisteen. Myös valurautaiset esilämmittimet saattavat syöpyä puhki ajan kuluessa tässä positiossa. Mahdollinen vuoto tunnistetaan vertaamalla savukaasujen happipitoisuutta ennen ja jälkeen esilämmittimen. Lasi tarjoaa parhaan kestävyuden savukaasuista tiivistyvää rikkihappopitoista vettä vastaan. Siksi esilämmittimien rakentamisessa hyödynnetään myös lasia. Lasiputkiluvo on periaatteeltaan samanlainen kuin teräsputkiluvo. Lasimateriaalina toimii silikoboraatti, jonka lämpölaajenemiskerroin on vain 1/3 tavanomaiseen lasiin verrattuna. Luvopak- tin tukirakenteet valmistetaan teflonista. (Huhtinen ym. 2000, 199.)

### 5.2.2 Höyryluvo

Höyryluvoa käytetään, kun on riski, että savukaasun loppulämpötila pyrkii tippumaan alle happokas-  
tepisteen. Höyryluvossa lämmitetään esilämmittimeen menevää palamisilmaa pienentäen savukaa-  
sujen ilmanlämmitystarvetta ja nostaen savukaasujen loppulämpötilaa. Lämmityksessä käytetään  
turbiinilta saatua matalapainehöyryä. Höyryluvo rakennetaan ulkopuolilta rivoitetuista putkista. Rivoi-  
tus on hyödyllistä, koska lauhtuvan höyryn lämmönsiirto-ominaisuudet ovat paremmat kuin virtaavan  
ilman. Höyryluvoa hyödynnetään erityisesti pienillä kattilakuormilla. (Huhtinen ym. 2000, 201.)

### 5.3 Kiertokaasun toiminta ja tarkoitus

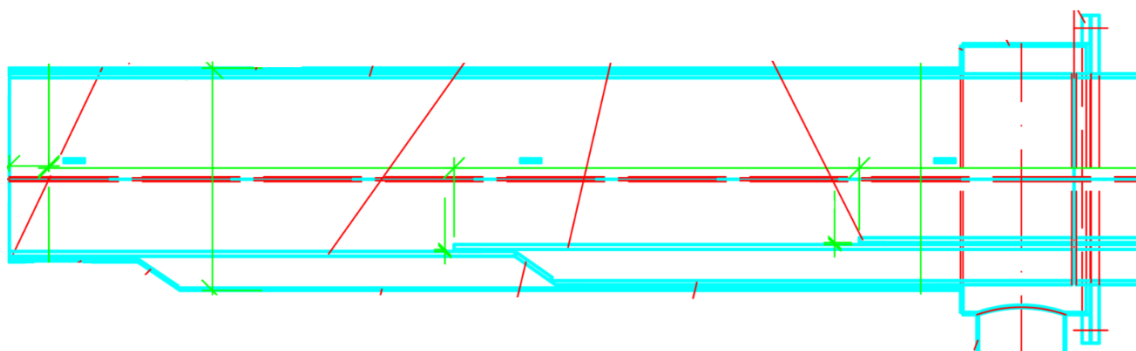
Leijukerroskattiloiden yhteyteen voidaan asentaa kiertokaasupuhallin. Kiertokaasua käytetään peti-  
lämpötilan ja NO<sub>x</sub>-arvojen hallintaan. Ilma- ja savukaasukanavien on oltava ilmatiiviitä sekä kestää  
yli- ja alipainetta riippuen suunnittelupaineesta, joka on vähintään  $\pm 5$  kPa ja joskus  $\pm 20$  kPa. Savu-  
kaasun seassa olevan rikin takia täytyy varmistua kanavien tiiviyydestä, jotta vältetään vaurioilta  
(Vakkilainen 2017, 153).

Kiertokaasupuhaltimen imulinja on savukaasupuhaltimien painepuolella. Kiertokaasulinja liittyy etu-  
seinän polttimille johtavaan sekundääri-ilmakanavaan. Kiertokaasun avulla saadaan estettyä peti-  
lämpötilan nousu liian korkeaksi, kun poltetaan kuivia polttoaineita, joilla on hyvä lämpöarvo. Savu-  
kaasu on inerttiä kaasua, jonka takia se toimii hyvin petilämpötilan laskemiseen. (Foster Wheeler.)

## 6 POLTTOAINEEN SYÖTTÖTORVET

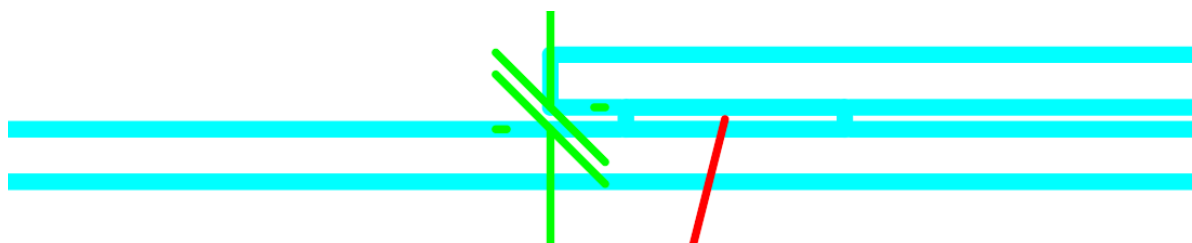
### 6.1 Syöttötorvien rakenne

Polttoaineen syöttöaukkoja on yhteensä kahdeksan, ja ne sijaitsevat tulipesän etu- ja takaseinillä, mikä mahdollistaa polttoaineen tasaisen jakautumisen petiin. Sulkusyöttimiltä putoava polttoaine ohjautuu tulipesän alaosaan, jossa se sekoittuu kuumaan petimateriaaliin. Syöttötorvien rakenne on toteutettu kaksikerroksisella putki-vaipparakenteella, joka on suunniteltu varmistamaan rakenteiden jäähdytys vaativissa käyttöolosuhteissa (kuva 9). Erillinen vaipparakenne on kiinnitetty syöttöputken ympärille laippaliitoksella. Laippaliitos sijaitsee kattilan ulkopuolella seinän läheisyydessä, josta läpivienni tulipesään alkaa, ja se näkyy kuvassa 9 oikeassa reunassa. Liitoksen vasemmalla puolella on alaspäin suunnattu putkiyhde, johon rakenteiden välinen jäähdytysilma syötetään. Jäähdytysilma virtaa laipan läheisyydestä tulipesään saakka rakenteiden välissä. Vaipparakenteen ja varsinaisen syöttöputken välissä on useita kymmeniä pieniä tukipaloja, joiden tehtävänä on pitää syöttöputken ja vaipan rakenteet erillään toisistaan, jotta varmistetaan jäähdytysilman esteetön virtaus. Syöttöputkea ympäröivä vaipparakenne kattaa kattilan seinän läpäisevän osan ja ulottuu tulipesään asti. Syöttötorvi koostuu kahdesta erityyppisestä teräksestä, joista ensimmäinen on austeniittista ruostumatonta terästä. Kattilan seinän läpiviennistä tulipesään syöttötorvi sekä suojavaippa koostuvat tulenkestävästä austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä.



Kuva 9. Kuvaleike syöttötorvien piirustuksista (Foster Wheeler)

Syöttötorvessa ei ole pneumaattista- tai ruuvisyötintä. Syöttötorven pohjalla on levyjä limittäin siten, että edellinen levy tulee hieman seuraavan päälle (kuva 10). Levyjä on ainoastaan syöttötorven Levyjen väliin jää muutaman millimetrin korkuinen rako, joista heittoilma syötetään polttoaineen syöttösuunnan mukaisesti. Kuvassa 10 polttoaineen syöttösuunta on oikealta vasemmalle.



Kuva 10. Kuvaleike syöttötorvien piirustuksista (Foster Wheeler)

## 6.2 Heitto- ja jäähdytysilma

Kiinteän polttoaineen syötössä käytetään primääri-ilmaa useampaan käyttötarkoitukseen. Suoraan puhaltimilta primääri-ilmaa käytetään sulkusyöttimien tiivistysilmana eli sen avulla pidetään kuumat savukaasut poissa syöttökuljettimilta. Tämän lisäksi ilmaa käytetään sulkusyöttimien lokeroiden puhdistamiseen. Sulkusyöttimessä on polttoaineen tulo- ja poistoyhde sekä roottori, jossa on useita siivekkeitä, jotka annostelevat polttoainetta roottorin pyöriessä (Kumpulainen, 2014, 18). Sulkusyöttimen roottorin siivekkeiden välit muodostavat lokeroita. Ilman savukaasuesilämmittimien jälkeen primääri-ilmaa virtaa polttoaineen syöttötorvien aukkoihin. Vinossa asennossa olevien syöttötorvien pohjalla olevista aukoista syötetään heittoilmaa, joka varmistaa polttoaineen liikkumisen ja leviämisen petiin sekä ehkäisee torvien tukkeutumisen. Tulipesän ylä- ja alaosan paine-erolla voidaan myös ehkäistä savukaasujen virtaus polttoaineen syöttölinjoihin. (Foster Wheeler.)

Kuumasta primääri-ilmasta osa virtaa vaipparakenteen sisällä tulipesään asti ja tämän tarkoituksena on jäähdyttää sekä estää mahdolliset muodonmuutokset. Syöttötorviin virtaavan primääri-ilman nopeutta voidaan säätää, mikä mahdollistaa polttoaineen hajautusalueen hallinnan pedissä. (Foster Wheeler.)

Kaukaan Voiman biovoimalaitoksen minimikuorman laskemiseen liittyen aletaan kiertokaasua hyödyntämään mm. polttoaineen heitto- ja jäähdytysilmana. Kiertokaasun lämpötila on noin 100 °C alhaisempi kuin esilämmitetyn primääri-ilman, joka tarkoittaa hieman tehokkaampaa jäähdytystä. Lämpötilaerolla ei ole vaikutusta syöttötorvien valintaan.

## 6.3 Syöttöpäiden vauriot

Syöttöpäät tarkastetaan vuosittain sekä ulkoisesti, että sisäisesti osana toimittajan määrittelemää huoltosuunnitelmaa. Viimeisin tarkastus toteutettiin kesällä 2024 vuosihuollon yhteydessä. Tarkastuksessa havaittiin merkittäviä muodonmuutoksia levyissä (kuva 11). Näiden muodonmuutosten taustalla on todennäköisesti riittämätön jäähdytys, jonka tehokkuus on heikentynyt ajan myötä ja samalla muodonmuutosten laajuus on edennyt. Vaipan ja syöttötorven väliset jäähdytyskanavat ovat tukkeutuneet, mikä on heikentänyt jäähdytysilman kulkua. Jäähdytysilman tehtävänä on estää levyjen liiallinen kuumeneminen, joka voi johtaa vakaviin muodonmuutoksiin ja materiaalivaurioihin. Tässä yhteydessä syöttöaukkoon liittyvä merkintä E3 viittaa kattilan etuseinän kolmanteen syöttöaukkoon. Keltaisella rasvaliidulla on merkitty vauriokohdat.



Kuva 11. Syöttöpään muodonmuutokset ja halkeamat (Lifetek 2024).

Yllä oleva kuva havainnollistaa syöttöaukon muodonmuutoksia sekä levyissä ilmeneviä halkeamia. Tämänkaltaiset vauriot toistuvat vuosittain ja vaativat samankaltaisia korjauksia jokaisen ajokauden jälkeen. Tähän asti vaurioituneet alueet on korjattu paikallisesti vauriokohdista, mutta levyn vaihdon yhteydessä ei ole toteutettu kattavampia korjaustoimenpiteitä, jotka olisivat mahdollistaneet vaurioituneiden alueiden pysyvän korjaamisen. Syöttötorven pohjalevyjen voimakkain kuluma ilmenee viimeisen putkiosuuden alussa, missä putoamiskulma muuttuu. Tämän kohdan sekä tulipesän päässä sijaitsevien vaurioituneiden levyjen välissä olevien pohjalevyjen kuluman ei kuitenkaan tiettävästi pitäisi olla merkittävää. Korjaustoimenpiteet, jotka kattavat syöttöaukon kunnon laajemman parantamisen, edellyttävät syöttöaukon perusteellisempaa uusimista. Tällainen laajempi korjaus/parannus vaatii myös vaipparakenteen osittaisen tai kokonaisvaltaisen uusimisen, millä varmistetaan jäähdytysilman esteetön virtaus.

## 6.4 Parannusvaihtoehdot

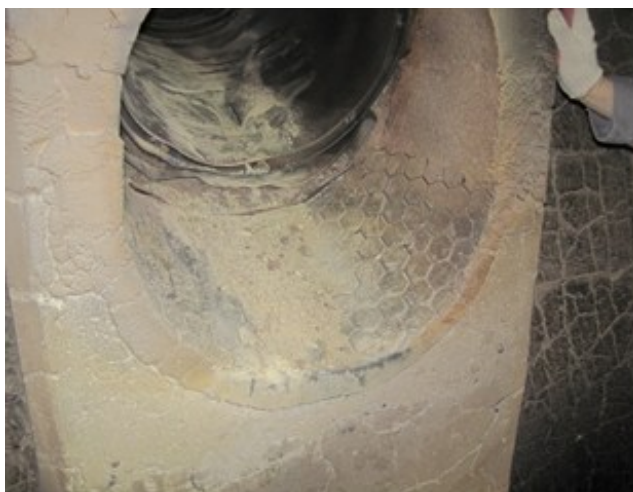
### 6.4.1 Konstruktio 1

Tässä vaihtoehdossa syöttöputket säilyvät alkuperäisessä muodossaan, eikä rakenteellisia muutoksia tapahdu. Toimenpiteessä syöttöputkesta katkaistaan ja poistetaan lyhyt osuus. Tämän jälkeen tilalle hitsataan alkuperäistä vastaava putki- sekä vaipparakenne. Tässä vaihtoehdossa korvataan ainoastaan palanut ja muovautunut osuus. Korjaustyö ei vaadi syöttöpäitä ympäröivien muurausten piikkausta, joka vaikuttaa työn nopeuteen ja kustannuksiin positiivisella tavalla. Putki sekä vaippa katkaistaan muurauksen sisälle, jonka jälkeen kappaleet vedetään ulos ja uudet hitsataan tilalle.

Uuden putki- ja vaipparakenteen hitsaus vaatii pienen siivun poistoa uuden syöttöputken kehältä, jotta ulomman vaipparakenteen hitsaus vanhaan onnistuu. Siivun poiston jälkeen yhdistetään vaipparakenteet ja hitsataan syöttöputken siivu takaisin paikoilleen.

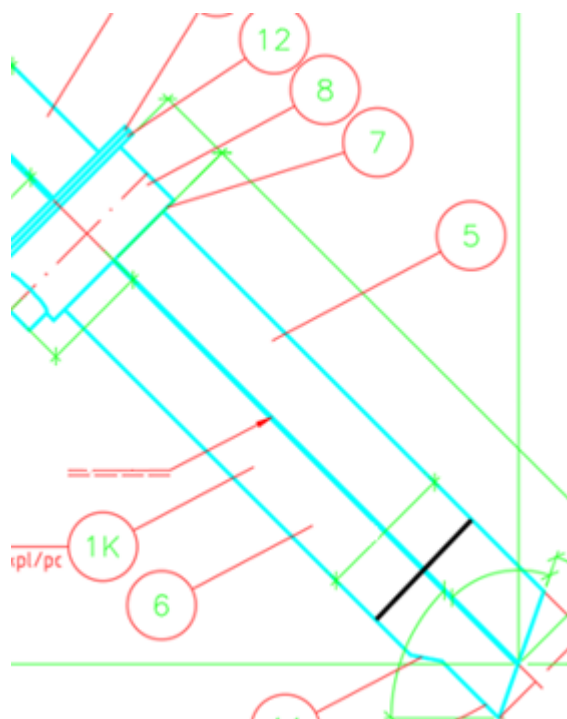
## 6.4.2 Konstruktio 2

Yksi mahdollisista ratkaisuista on syöttötorven pään lyhentäminen (kuva 12). Tässä ratkaisussa putken pää sijoittuu syvemmälle massauksen sisään, mikä parantaa putken jäähdystystehoa ja vähentää sen altistumista korkeille lämpötiloille. Tämän seurauksena putken lämpörasitukset pienenevät, mikä pidentää sen käyttöikää. Putken päätyvaiheen asennuksessa hyödynnetään hunajakenkoankureita, jotka asennetaan putken loputtua ja niiden päälle valetaan massaa. Putken katkaisu estää sen, että putken pää altistuisi suoraan tulipesän korkeille lämpötiloille, mikä pienentää mahdollisten muodonmuutosten riskiä sekä petikierrosta aiheutuvat päiden rasitukset minimoidaan. Tämä menetelmä on osoittautunut toimivaksi, ja toimittajan kokemusten perusteella muurausrakenne kestää polttoaineen syötöstä syntyvän muuraukseen kohdistuvan eroosion. Kuvan 11 syöttöputki on hie- man eri muotoinen, mutta työ toteutetaan samalla periaatteella.



Kuva 12. Lyhennetty syöttöputki

Vaippa sekä putki katkaistaan karkeasti mustalla viivalla merkitystä kohdasta (kuva 13). Katkaisukohta on muutaman sadan millimetrin päässä tulipesästä. Polttoaineen syöttöaukon alaosan muuraukseen poistetaan vesipiikkaamalla. Tämän jälkeen muotoillaan katkaistun syöttöputken heittoilma- aukko massaukselle sopivaksi ja asennetaan muurausankkurointi sekä kiinnitetään hexmesh verkko. Verkon asennuksen jälkeen muurataan syöttöpää massalla. Hexmesh verkko auttaa massasta vastustamaan eroosiota ja pitää tulenkestävän massauksen paikoillaan (Causeway Steel n.d.).



Kuva 13. Kuvaleike syöttötorvien piirustuksista (Foster Wheeler)

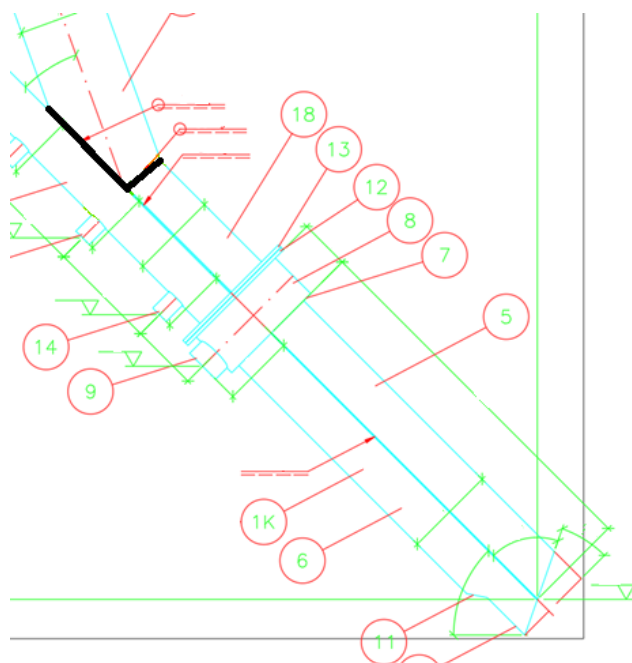
Katkaisukohta on ilmakammion puolella, joka alkaa tulipesästä katsottuna rakenteen laajetessa. Työ vaatii siis ilmakammion (kuva 14) muokkausta, jotta syöttöputken jäähdytys toimisi normaalisti katkaistulla rakenteella. Kammion rakenteellisella muutoksella ei pitäisi olla vaikutusta jäähdytysilman toimintaan.



Kuva 14. Kuvaleike syöttötorvien piirustuksista (Foster Wheeler)

### 6.4.3 Konstruktio 3

Työn laajuus on merkittävästi suurempi, ja syöttötorven laajamittaisella kunnostuksella pyritään sekä pidentämään rakenteen kokonaiskäyttöikää että ehkäisemään loppuosan muiden mahdollisten vaurioiden syntyminen tulevaisuudessa. Korjauksen yhteydessä uusitaan käytännössä kaikki kulutukselle alttiit alueet torven rakenteessa. Torven loppuosa katkaistaan mustilla viivoilla merkityistä kohdista, johon istutetaan uusi syöttötorven loppuosa (kuva 15).



Kuva 15. Kuvaleike syöttötorvien piirustuksista (Foster Wheeler)

Työn aloittaminen vaatii esivalmisteluita mm. eristeiden purkaminen ja telineet. Varsinainen syöttötorven purkaminen aloitetaan heitto- ja jäähdytysilmayhteiden katkaisemisella, jonka jälkeen irrotetaan syöttötorvi ja valmistellaan istutus. Ylempi putkiosa, johon valmistellaan istutus, joudutaan myös poistamaan väliaikaisesti, jotta saadaan vaadittava tila syöttötorven ulos vetämiselle. Mahdollinen muurauskotelo, joka sijaitsee suojavaipan ympärillä kattilan muurauksien sisällä, on myös leikatava vaipan kehältä irti. Syöttötorvi vedetään usealla taljalla pois kattilan seinästä samalla tukien rakennetta.

Uusien syöttötorvien asennus toteutetaan lähes purkuvaihetta vastaavassa, mutta käänteisessä järjestyksessä. Asennettujen syöttötorvien päät voidaan jättää täysmittaisiksi eli nykyisen mallisiksi tai vaihtoehtoisesti katkaista hieman samantyyppisesti kuin konstruktiossa 2. Yhden torven vaihto kestää kokonaisuudessaan muutamia päiviä. Mikäli useampia torvia vaihdetaan samanaikaisesti, työt jakautuvat kattilan vastakkaisille seinille.

## 6.5 Edut ja haitat

### 6.5.1 Konstruktiio 1

Etuja tällä konstruktiolla on kokemus, jonka pohjalta voidaan varautua ajokauden aikana tuleviin syöttöpäiden kunnostuksiin. Nykyisen tiedon pohjalta voidaan arvioida kunnostuksien laajuutta sekä kustannuksia ja voidaan mahdollisesti päätellä kuinka monta ajokautta korjaukset kestävät eli tässä tapauksessa useamman ajokauden jälkeen 1–2 vuotta. Lisäämällä tukipaloja vaipan sekä syöttöputken väliin voidaan potentiaalisesti ehkäistä jäähdytyskanavan tukkeutumista pidempiaikaisesti, joka vähentää muodonmuutosten ja halkeamien riskiä. Lisääntynyt kiertokaasun hyödyntäminen laskee myös petilämpötilaa hieman. Kiertokaasun lämpötila on noin 100 °C alaisempi kuin primääri-ilman, joka voi vaikuttaa positiivisesti muodonmuutoksien torjumiseen mutta oletettavasti muutos ei ole kovin suuri.

Tämän konstruktion merkittävimmät haitat ovat ennestään hyvin tiedossa, ja juuri näiden pohjalta tämä työ aloitettiin. Kokemuksen myötä sekä konstruktion edut että haitat tunnetaan perusteellisesti. Tavoitteena on ehkäistä syöttöpäiden vuosittainen korjaustarve, joka on ollut ongelmana. Tässä konstruktiossa on kuitenkin olemassa riski, että vuosittaisilta korjauksilta ei säästy. Raporttien perusteella syöttöpäiden korjaukset ovat olleet lähes jokavuotisia jo 2010-luvulla, ja 2020-luvulla niitä on jatkettu vuosittain. Voidaan siis olettaa, että tämä vaihtoehto käyttäytyy samantyyppisesti.

### 6.5.2 Konstruktio 2

Putken katkaisu ja tulenkestävä massaus on optimaalisin ratkaisu hyöty- ja hintasuhteeltaan. Ratkaisulla on useita mahdollisia teknisiä hyötyjä. Ensinnäkin putken lyhentäminen ja sijoittaminen syvemmälle massauksen sisään parantaa sen jäähdytystehoa merkittävästi, mikä vähentää materiaalin lämpörasituksia. Tämä voi johtaa pidempään käyttöikään ja vähentää kunnossapitotarvetta. Lisäksi tulipesän suoraa lämpösäteilyä vastaan saadaan hieman suojaa, jolloin muodonmuutosten riski ja teräksen ominaisuuksien heikkeneminen pienenevät. Ankkurointi ja hexmesh-verkon käyttö parantavat massauksen eroosionkestävyyttä, mikä on erityisen tärkeää.

Vaikka konstruktiolla on selvästi useita etuja, siihen liittyy myös tiettyjä epävarmuustekijöitä. Yksi keskeisimmistä on epäselvyys siitä, onko pelkkä putken katkaisu riittävä toimenpide muodonmuutosten estämisessä. Myös keskeinen haitta liittyy muiden syöttötorven pohjalevyjen kulumiseen, joka johtuu tulipesään syötettävän kiinteän polttoaineen aiheuttamasta jatkuvasta eroosiosta. Vaikka esitetyllä konstruktiolla voidaan mahdollisesti minimoida syöttötorven pään muodonmuutokset ja vauriot, sillä ei voida estää muiden rakenteellisten osien, kuten pohjalevyjen, vaurioitumista. Pohjalevyjen kulumisen voi ajan myötä johtaa polttoaineen epätasaiseen virtaamiseen ja sen kasautumiseen syöttötorven sisälle, mikä lisää tukkeutumiskärsiä.

Kokonaisuutena kyseessä on kuitenkin lupaava ratkaisu, joka edellyttää alkuperäisen syöttötorvien huoltosuunnitelman seuranta ja löydösten dokumentointia, jotta voidaan seurata syöttötorvien kuntoa raporteista myös tulevaisuudessa.

### 6.5.3 Konstruktio 3

Työn laajuus on huomattavasti suurempi kuin kahden muun vaihtoehdon, ja se luonnollisesti tarkoittaa suurempaa panostusta sekä ajallisesti että taloudellisesti. Laajamittaisella syöttötorven kunnostuksella on kuitenkin selkeitä etuja, sillä sen avulla pyritään pidentämään rakenteen kokonaisikäkärsiä merkittävästi. Samalla ehkäistään muiden mahdollisten vaurioiden syntyminen tulevaisuudessa, mikä voi vähentää odottamattomia korjaustarpeita ja niihin liittyviä kustannuksia. Korjauksen yhteydessä uusitaan käytännössä kaikki kulutukselle alttiit alueet, kuten kappaleessa 6.4.3 mainitaan, mikä parantaa syöttötorven kestävyttä ja luotettavuutta pitkällä tähtäimellä. Näiden etujen lisäksi tämä vaihtoehto tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää konstruktion 2 tarjoamia etuja, jos syöttötorven pää halutaan muotoilla samantyyppisesti.

Toisaalta työn haittapuolena on osittainen tietämättömyys pohjalevyjen kulumisesta. Jos pohjalevyt ovat kuluneet vain minimaalisesti, se voi tarkoittaa, että syöttötorvilla olisi vielä käyttöikä jäljellä ilman näin suurta korjausta. Tämä epävarmuus voi herättää kysymyksen siitä, onko laajamittainen kunnostus tässä vaiheessa täysin välttämätöntä. Lisäksi työn vaatima aika, muutamasta päivästä useampaan riippuen vaihdettavien torvien määrästä tekevät prosessista vaativan muihin konstruktioihin nähden.

Tämäkin konstruktio tarjoaa hyviä ja huonoja puolia mutta puhtaasti käyttöikä ja tulevaisuuden kunnossapitotöiden minimointia ajatellen se olisi ehkä järkevin. Laajamittaisen syöttötorvien kunnostuksen hyödyt ovat ilmeiset, sillä se pidentää rakenteen käyttöikä ja estää uusien vaurioiden syntyä tulevaisuudessa, mikä voi pitkällä aikavälillä säästää kustannuksia. Toisaalta haittana on epävarmuus pohjalevyjen kunnosta, mikä saattaa viitata siihen, että laajalle remontille ei olisi vielä tarvetta, ja prosessi itsessään on työläämpi. Syöttötorvien täsmällinen tarkastaminen vuosihuollon aikana antaa vaadittavan tiedon päätöksen tekoa varten. Kokonaisuudessaan kyseessä on kuitenkin järkevä ratkaisu, joka minimoi rakenteen vauriot laajemmalla alueella.

## 7 KUSTANNUKSET

### 7.1 Nykyinen ratkaisu

Nykyisiä syöttöpäitä pitää kunnostaa vuosittain noin 10 000–13 000 €. Luodaan kunnossapitokustannusarvio viime vuosien tuntimäärien sekä hinnastojen perusteella seuraavalle kymmenelle vuodelle, ja tarkastellaan vuosittaisia sekä kumulatiivisia kustannuksia. Arvio ei ole tarkka, koska torvet tulisi seuraavan kymmenen vuoden aikana todennäköisesti kunnostaa laajemmin mutta se on suuntaa antava. Taulukosta 1 nähdään, että myös nämä arviot osuvat lähes vuosittain samaan hintahaarukkaan. Taulukoista on piilotettu tuntimäärät ja tuntihinnat, jotta toimittajien hinnastot pysyvät salattuina.

Taulukko 1. Nykyisten syöttöpäiden kunnossapitokustannusarvio

Vuosi	Tuntimäärä (h)	Tuntihinta (€)	Kustannus	Kumulatiivinen kustannus
2025	XX	XX €	11 200,0 €	11 200,0 €
2026	XX		11 500,0 €	22 700,0 €
2027	XX		10 500,0 €	33 200,0 €
2028	XX		12 200,0 €	45 400,0 €
2029	XX		9 100,0 €	54 500,0 €
2030	XX		11 200,0 €	65 700,0 €
2031	XX		12 900,0 €	78 600,0 €
2032	XX		9 800,0 €	88 400,0 €
2033	XX		13 300,0 €	101 700,0 €
2034	XX		9 800,0 €	111 500,0 €

## 7.2 Esitettyjen konstruktioiden kustannukset ja niiden vertailu

Uusien konstruktioiden kunnossapitokustannusarviot on laadittu karkealla tasolla ja suuntaa antavasti, jotta saadaan yleiskuva niiden pitkäaikaisista vaikutuksista. Kustannusarvioiden tarkastelujaksona on käytetty kymmentä vuotta, sillä lyhyemmällä aikavälillä mahdolliset kustannuserot eivät välttämättä tule esiin riittävän selkeästi tai merkittävinä. Pitkäaikainen arviointi mahdollistaa paremman vertailun eri vaihtoehtojen välillä ja auttaa tunnistamaan potentiaaliset säästöt. Yksi päätöksentekokriteereistä muodostuu kustannusarvioista. Kustannusarviot alkavat vuodesta 2026 olettaen, että muutostyöt tehdään kesällä -25. Tämä ei koske konstruktioita 3, mutta sillä ei ole vaikutusta arvioihin.

Taulukko 2 sisältää kunnossapitokustannusarvion ainoastaan. Kahdeksan syöttötorven asennushinnan sekä kymmenen vuoden kumulatiivisten kustannusten summa on noin 150 000 €.

Taulukko 2. Konstruktion 1 kunnossapitokustannusarvio

Vuosi	Tuntimäärä (h)	Tuntihinta (€)	Kustannus	Kumulatiivinen kustannus
2026	XX	XX €	1 400,0 €	1 400,0 €
2027	XX		4 200,0 €	5 600,0 €
2028	XX		7 000,0 €	12 600,0 €
2029	XX		8 400,0 €	21 000,0 €
2030	XX		9 800,0 €	30 800,0 €
2031	XX		10 100,0 €	40 900,0 €
2032	XX		10 800,0 €	51 700,0 €
2033	XX		10 500,0 €	62 200,0 €
2034	XX		12 200,0 €	74 400,0 €
2035	XX		12 600,0 €	87 000,0 €

Taulukosta 3 nähdään kuinka paljon pienempiä katkaistun putken arvioidut kunnossapitokustannukset ovat. Kunnossapitokustannusarviosta nähdään mahdollisesti konstruktion 2 suurin etu eli pienet kustannukset verrattuna konstruktion 1 tai nykyisiin. Arvioitu kunnossapitokustannusten ja jokaisen kahdeksan syöttöpään muutostyön summa on noin 85 000 €.

Taulukko 3. Konstruktion 2 kunnossapitokustannusarvio

Vuosi	Tuntimäärä (h)	Tuntihinta (€)	Kustannus	Kumulatiivinen kustannus
2026	XX	XX €	1 400,0 €	1 400,0 €
2027	XX		2 800,0 €	4 200,0 €
2028	XX		6 600,0 €	10 800,0 €
2029	XX		1 700,0 €	12 500,0 €
2030	XX		3 500,0 €	16 000,0 €
2031	XX		11 200,0 €	27 200,0 €
2032	XX		2 100,0 €	29 300,0 €
2033	XX		2 800,0 €	32 100,0 €
2034	XX		7 000,0 €	39 100,0 €
2035	XX		2 800,0 €	41 900,0 €

Kunnossapitokustannusarvioissa on huomioitu ainoastaan syöttöpäiden alkuosan vauriot tulipesästä katsottuna, sillä ne perustuvat raportoituihin tietoihin ja ovat olleet merkittävin vaiva. Syöttötorvien muuta vikaantumista ei ole siis huomioitu. Konstruktioiden kunnossapitokustannuksien erot on havainnollistettu kaaviossa (liite 1). Konstruktion 3 asennushinta laskee karkeasti arvioituna lineaarisesti mitä enemmän torvia uusii kerralla. Yhden torven asennus on noin 45 000 € ja uusissa jokainen syöttötorvi saadaan kappalehinnaksi noin 30 000 €. Kustannukset ovat asennushintansa takia huomattavasti suuremmat, mutta siinä uusittaisiin viimeinen putki- ja vaipparakenne, joka sisältää kulutusherkimmät osat. Näin saataisiin elinikää syöttötorville.

Konstruktioille 3 ei laadita erillistä kunnossapitokustannusarviota, sillä laitetoimittaja on tarjonnut kaksi vaihtoehtoista ratkaisua syöttötorven pään toteutukselle: lyhennetty malli sekä täysimittainen versio, joka ulottuu tulipesän muurauksen rajalle saakka. Koska näiden vaihtoehtojen rakenteelliset ratkaisut ovat vastaavanlaisia kuin aiemmin tarkastellut konstruktiot 1 ja 2, ei erillisen kustannustaulukon laatimista katsota tarpeelliseksi. Konstruktion 3 syöttötorven pään vaihtoehdot ovat teknisesti samankaltaisia kuin konstruktiolla 1 ja konstruktiolla 2, minkä vuoksi voidaan perustellusti olettaa, että kunnossapitokustannukset käyttäytyvät samankaltaisesti. Näin ollen voidaan arvioida, että valittaessa lyhennetty syöttötorven pää, kunnossapitokustannukset ovat pienemmät vastaavalla tavalla kuin konstruktiota 1 ja 2 (ks. taulukot 2 ja 3).

Lisäksi on huomioitava, että konstruktiolla 3 kunnossapitokustannukset syöttötorven viimeisen osan osalta ovat kokonaisuutena merkittävästi alhaisemmat. Tämä johtuu siitä, että kyseisessä rakenteessa käytännössä kaikki kulutukselle alttiit komponentit, kuten aiemmin mainitut pohjalevyt korvataan uusilla.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Syöttötorvien vaurioitumisiin täytyy reagoida, sillä on riski niiden laajenemisesta entisestään. Vuositain teräksen mekaaniset ominaisuudet heikkenevät ajan funktiona, joka voi johtaa samankaltaisiin (ks. kuva 11) tai laajempiin muodonmuutoksiin sekä vaurioihin. Ne muodostavat ylimääräisen kuluuerän, kun vaihtoehtoisesti voidaan toteuttaa korjaustyöt, jotka mahdollisesti laskevat kustannuksia nykyisiin nähden kohtuullisen huomattavalla tavalla.

Tarkastellut kolme konstruktiovaihtoehtoa tarjoavat selkeästi eritasoisia ratkaisuja syöttötorvien kunnostukseen. Vaihtoehtojen välillä on merkittäviä eroja niin työn laajuudessa, teknisessä toteutuksessa kuin kustannuksissakin. Kustannusten lisäksi valinnassa huomioidaan rakenteiden käyttöikä sekä mahdollinen kunnossapitotarve. Konstruktioiden vaatimat aikatauluerot eivät ole niin oleellisessa asemassa tässä työssä, koska korjaustyöt toteutetaan osana voimalaitoksen vuosihuoltoa, joka tarjoaa riittävän jouston ajallisesti.

Konstruktio 1 perustuu nykyiseen toteutustapaan, jonka heikkouksista on olemassa laajasti käytännön kokemuksia. Tämä luo pohjan ennustettavuudelle, mutta samalla on syytä tunnistaa vaihtoehdon rajoitteet. Vaikka konstruktion toteutus on ajallisesti suhteellisen nopeaa ja kustannuksiltaan maltillista, niin vaihtoehdon tuomat riskit ovat silti suuret ja tässä vaihtoehdossa tavoiteltuun tulokseen ei päästä pitkällä aikavälillä.

Konstruktio 2 nousee esiin erityisesti kustannustehokkuutensa sekä mahdollisten teknisten hyötyjensä vuoksi. Lyhennetty syöttötorvi tarjoaa suojaa tulipesän lämpörasituksia vastaan ja ehkäisee muodonmuutoksia. Voidaan siis olettaa, että konstruktion muutokset tarjoavat riittävän suojan ja näin ollen se täyttää asetetut vaatimukset. Tämän vaihtoehdon eduksi nousee myös nopea toteutettavuus sekä kohtalaisen pienet asennus- ja kunnossapitokustannukset kymmenen vuoden tarkastelujaksolla. Epävarmuustekijänä on kuitenkin se, kuinka hyvin ratkaisu toimii pidemmällä aikavälillä muiden kuluvien osien, kuten pohjalevyjen osalta. Vaikka putken pää suojataan tehokkaammin muut rakenteet edelleen kuluvat. Toimeksiantajaa suositellaan ottamaan paksuusmittaukset niistä syöttötorven pohjalevyistä, joista se on mahdollista, mikä antaa vaadittavan tiedon konstruktion valinnasta.

Konstruktio 3 tarjoaa pitkäaikaisen ratkaisun, joka minimoi syöttötorven kuluvien rakenteiden kunnossapitotarpeen. Vaikka alkuinvestointi voi olla suurempi ja työn toteutus vaativaa, sen tarjoama luotettavuus ja rakenteen kestävyys kompensoivat näitä haittoja. Uusien syöttötorvien asennuksen jälkeen rakenteen odotetaan kestävän käyttöä samankaltaisesti kuin nykyiset, jotka ovat olleet käytössä voimalaitoksen käyttöönotosta. On tärkeää tarkastaa syöttötorven sisäinen kunto, koska kulu-neet levyt tekisivät tästä vaihtoehdosta parhaan valinnan. Mikäli levyt ovat hyvässä kunnossa, voidaan näin laajaa remonttia lykätä tulevaisuuteen. Pohjalevyjen oletetaan olevan vielä riittävän hyvässä kunnossa toimittajan ja toimeksiantajan toimesta, joka vaikuttaa laajemman korjauksen tarpeeseen.

Yhteenvedona voidaan todeta, että nykyisillä olettamilla konstruktio 2 on hintalaatu suhteeltaan sopivin tähän kohteeseen. Toimittajan kokemuksien perusteella todettiin, että tämän vaihtoehdon korjaustarve on nykyistä huomattavasti harvempi sekä kunnossapitotöiden kustannukset ovat alhaisempia.

## 9 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli kartoittaa ja vertailla eri syöttötorvikonstruktioiden soveltuvuutta Kaukaan Voima Oy:n biovoimalaitoksen käyttöön. Polttoaineen syöttöpäät altistuvat jatkuvasti korkeille lämpötiloille sekä kiertopetikattilan vaativille olosuhteille, mikä aiheuttaa vuosittain toistuvia vaurioita ja muodonmuutoksia. Näiden vaurioiden luonne ja niistä aiheutuvat kunnossapitokustannukset ovat vuosittain lähes identtisiä, minkä vuoksi tarve rakenteellisiin parannuksiin on ilmeinen.

Tarkastelujen perusteella havaittiin eroavaisuuksia eri konstruktioiden kunnossapitotarpeissa ja toteutuksellisissa ratkaisuisa. Valittu ehdotus perustuu sekä kustannustehokkuuteen, että vaurioitumisen riskin minimoimiseen. Työn tavoitteena oli löytää kokonaisuutena paras ratkaisu hintalaatusuhteeltaan, ja tämä voidaan katsoa toteutuneen onnistuneesti.

Työhön oli alun perin tarkoitus sisällyttää selvitys kiertokaasun ja palamisilman lämpötilaeron mahdollisesta vaikutuksesta syöttötorvien valintaan, mutta tätä ei lopulta pidetty työn kannalta riittävän oleellisena, ja aihe jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Opinnäytetyö toteutettiin tarkastelemalla aikaisempia tarkastusraportteja ja korjauskertomuksia sekä kartoittamalla uusien konstruktioiden vaihtoehtoja laitetoimittajilta. Lisäksi käytiin läpi eri vaihtoehtojen toteutukselliset vaatimukset ja työvaiheet. Kokonaisuudessaan työ tarjoaa toimeksiantajalle hyödyllistä tietoa päätöksenteon tueksi.

## LÄHTEET

- ChatGPT 2023. OpenAI. GPT-4o. Käytetty kielentarkistukseen, huhtikuu 2025. <https://chatgpt.com/>
- UPM n.d. Yhtiön historia. Verkkajulkaisu. <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/yhtion-historia/>. Viitattu 18.12.2024.
- UPM 2024. Tietoa meistä. Verkkajulkaisu. <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/>. Viitattu 18.12.2024.
- UPM 2023. Vuosikertomus. Verkkajulkaisu. <https://user-fudicvo.cld.bz/UPM-Vuosikertomus-2023>. Viitattu 19.12.2024.
- UPM n.d. UPM Kaukas. Verkkajulkaisu. <https://www.upmpulp.com/fi/upm-kaukas/>. Viitattu 6.1.2025.
- UPM 2017. UPM Kaukas näyttää mallia kiertotaloudessa. Valokuva. <https://www.upm.com/fi/ajan-kohtaista/artikkelit/2017/05/upm-kaukas-nayttaa-mallia-kiertotaloudessa/>. Viitattu 6.1.2025.
- Pohjolan Voima n.d. Kaukaan Voima, Lappeenranta. Verkkajulkaisu. <https://www.pohjolanvoima.fi/voimalaitokset/kaukaan-voima-lappeenranta/>. Viitattu 7.1.2025.
- Pohjolan Voima 2019. Valokuva. <https://www.pohjolanvoima.fi/kehittynyt-palamisprosessin-hallintatuo-energiatehokkuutta-ja-vahentaa-paastoja/>. Viitattu 7.1.2025.
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 6. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Palsanen, J. 2009. Leijukerros poltto, pyroflow kuorikattila. Puunjalostusinsinöörit ry. Luku 10.2 <https://www.puunjalostusinsinöörit.fi/biometsateollisuus/innovaatiot/10-energia/10.2-leijukerros-poltto-pyroflow-kuorikattila>. Viitattu 25.3.2025.
- Vakkilainen, E. 2017. Steam generation from biomass: Construction and Design of Large Boilers. Amsterdam: Butterworth-Heinemann.
- Sumitomo SHI FW n.d. Circulating fluidized bed boilers. Verkkajulkaisu. <https://www.shi-fw.com/our-solutions/energy-generation/circulating-fluidized-bed-boilers/>. Viitattu 27.3.2025.
- Andritz 2019. Andritz to supply a highly efficient fluidized bed boiler for a biomass power plant in Japan. Valokuva. <https://www.andritz.com/newsroom-en/environmental-solutions/2019-07-17-ishikari-powerfluid-cfb-boiler>. Viitattu 10.1.2025.
- Wikipedia 2022. Sykloni (laite). Valokuva. [https://fi.wikipedia.org/wiki/Sykloni\\_\(laite\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Sykloni_(laite)). Viitattu 13.1.2025.
- Lindström, J. 2014. Kattilatarkastusten huomioiminen seisokkis suunnittelussa. Opinnäytetyö. Energiatekniikan koulutusohjelma, käyttö ja kunnossapito. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71340/Lindstrom\\_Jyri.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71340/Lindstrom_Jyri.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Viitattu 15.1.2025.
- Chaibamrung, P. 2013. CFB boiler basic design, operation and maintenance. Verkkajulkaisu. <https://www.slideshare.net/slideshow/cfb-boiler-basic-design-operation-and-maintenance/19482338#15>. Viitattu 20.3.2025.

Knowpulp 2025. Leijukerrospoltto. Taitotalo & Prowledge Oy. [https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/monipolttt\\_kattilat/5\\_leijukattilat/frame.htm](https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/monipolttt_kattilat/5_leijukattilat/frame.htm). Viitattu 17.1.2025.

Knowpulp 2025. Muiden polttoaineiden käsittely. Taitotalo & Prowledge Oy. [https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/monipolttt\\_kattilat/4\\_muut\\_polttoain\\_kasittely/frame.htm](https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/monipolttt_kattilat/4_muut_polttoain_kasittely/frame.htm). Viitattu 17.1.2025.

Foster Wheeler. Palamisilmajärjestelmä. Järjestelmäkuvaus. UPM Arkisto.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Rekuperatiivinen teräsputkinen ilman esilämmitin. Valokuva, kuvauspäivä tuntematon. Helsinki: Oy Edita Ab.

Lifetek. Kiertopetikattilan tarkastuksen 2024. Tulipesä. UPM Arkisto

Foster Wheeler. Savukaasujärjestelmä. Järjestelmäkuvaus. UPM Arkisto.

Causeway Steel n.d. Hexmetal (hexmesh). Verkkojulkaisu. <https://www.causeway-steel.co.uk/products/refractory-armour-systems/hexmetal-hexmesh/>. Viitattu 4.3.2025.

## LIITE 1: KUNNOSSAPITOKUSTANNUSARVIOIDEN VERTAILU

