

Puun pölypolton optimointi arinakat- tilassa

Katariina Huhtanen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Huhtanen, Katariina	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2016
	Sivumäärä 61	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Puun pölypolton optimointi arinakattilassa		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Hytönen, Kari & Luosma, Petri		
Toimeksiantaja(t) Kumpuniemen Voima Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin Kumpuniemen Voima Oy:n toimeksiantona. Kumpuniemen Voiman voimalaitos tuottaa Metsä Woodin Suolahden vaneritehtaalle prosessihöyryä, sähköä ja lämpöä. Työn tarkoituksena oli selvittää voimalaitoksen arinakattilaan yhdistetyn puun pölypolton toiminnalliset arvot ja kehittää parannusehdotuksia pölypolton toimintaan.</p> <p>Opinnäytetyön toteutus sisälsi kattavan laiteselvityksen pölypolton polttoaineen varastoinnin, paineilma- ja polttojärjestelmän laitteista sekä polttoaineanalyysin kirjallisuuden pohjalta. Tuloksien pohjalta tehtiin arvio nykyisen pölypolttolaitteiston ja polttoaineen kuljetinjärjestelmän kapasiteetista.</p> <p>Pölypolttojärjestelmälle kehitettiin parannusehdotuksia ja niitä tukemaan tehtiin laskelmia. Polttoaineen kuljetinjärjestelmälle ehdotettiin uutta siirtolinjaa, joka parantaa polttoainevarmuutta. Pölypolton palamisilmamäärät päivitettiin nykyistä poltinjärjestelmää vastaavaksi ja ilmansyötölle määritettiin tarvittavat muutokset. Polttoainevirran mittalaitteita suositeltiin asennettavaksi polttoainelinjoille todellisten tilavuusvirtojen selvittämiseksi ja huoltovarmuuden parantamiseksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) arinakattila, pölypoltto, paineilma- ja polttoaineen kuljetinjärjestelmä		
Muut tiedot		

Author(s) Huhtanen, Katariina	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 61	Permission for web publication: x
Title of publication Optimization of wood dust combustion in a grate boiler		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Hytönen, Kari & Luosma, Petri		
Assigned by Kumpuniemen Voima Oy		
Abstract <p>The thesis was assigned by Kumpuniemen Voima Oy. Kumpuniemen Voima power plant produces process steam, electricity and heat for Metsä Wood Suolahti plywood mill. The purpose of the thesis was to determine the operational values for the wood dust combustion in the grate boiler and to develop suggestions for improving their dust burning activities.</p> <p>The implementation of the thesis contained a comprehensive analysis of the fuel storage equipment, the pneumatic conveyor and the dust burner. The thesis also contained a fuel analysis based on literature. Based on the results, the capacity of the current dust combustion equipment and the fuel conveyor system was assessed.</p> <p>Suggestions for improving the dust combustion systems were given and calculations were made to support them. A new transmission line for the fuel conveyor system was proposed to improve the fuel reliability. The amount of burning air in dust burning was updated to match the current burner system and necessary changes for the burning air blowers were determined. Fuel flow measurements were recommended for the fuel lines to find out the actual flow rates, and to improve maintenance.</p>		
Keywords/tags (subjects) grate boiler, dust combustion, pneumatic conveying system		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	Voimalaitoksen yleiskuvaus	7
	2.1 Polttoaineet.....	7
	2.2 Kattilat	8
3	Pölypolttojärjestelmän toimintaperiaate	9
	3.1 Kuljetinjärjestelmä	9
	3.1.1 Pneumatiikka- eli paineilmakuljetin	10
	3.1.2 Siilot, syklonit ja purkaimet	10
	3.1.3 Sulkusyötin, ruuvi ja korkeapainepuhallin.....	11
	3.2 Arinakattila	13
	3.3 Palamisilman esilämmitys ja syöttö	14
	3.4 Pölypoltto	14
4	Ongelmanasettelu	16
	4.1 Kuljetinjärjestelmä	16
	4.2 Pölypolttojärjestelmän muutokset	17
5	Kuljetinjärjestelmän laiteselvitys	18
	5.1 Koivupöly.....	18
	5.2 Koivupuru	20
	5.3 Havupöly.....	20
	5.4 Purun ja pölyn tilavuusvirta.....	21
6	Kuljetinjärjestelmään suositeltavat muutokset	24
	6.1 Uusi siirtolinja	24
	6.2 ATEX-luokitus.....	26
	6.2.1 Luokittelun periaate	26
	6.2.2 Pölyn kuljetinlaitteiden luokitukset.....	27
	6.2.3 Purun kuljetinlaitteiden luokitukset	27
7	Pölypolttimien rakenne.....	29

8	Kattilan ajotapa	31
9	Polttoaineen laskennalliset arvot.....	33
	9.1 Polttoainekoostumus	33
	9.1.1 Polttoaineen kuiva-aineen koostumus.....	33
	9.1.2 Polttoaineen kosteus ja irtotiheys.....	34
	9.1.3 Polttoaineen lämpöarvo	35
	9.2 Palamisilmantarve	36
10	Pölypolton laskennalliset arvot.....	37
	10.1 Yhden polttimen järjestelmä.....	37
	10.1.1 Teho	37
	10.1.2 Polttoaineen todellinen tilavuusvirta	37
	10.1.3 Palamisilmantarve	38
	10.2 Kahden polttimen järjestelmä.....	39
	10.2.1 Teho	39
	10.2.2 Palamisilmantarve	39
	10.3 Kahden polttimen järjestelmä – uusi siirtolinja	40
	10.3.1 Teho	40
	10.3.2 Palamisilmantarve	40
11	Arinakattilan kunnan seuranta	42
12	Tulosten pohdinta ja ehdotetut jatkotoimenpiteet.....	44
	Lähteet.....	46
	Liitteet	48
	Liite 1. Laitetiedot – Koivupöly.....	48
	Liite 2. Laitetiedot – Koivupuru	51
	Liite 3. Laitetiedot – Havupöly	53
	Liite 4. Vaaranarvioinnin päivitys	54
	Liite 5. Pölyn irtotiheysmittaus	56
	Liite 6. Koivun palamisilman laskut	57

Liite 7. Havupuun palamisilman laskut	58
---	----

Kuvat

Kuva 1. Siilo ja oheislaitteet	9
Kuva 2. Siilon purkain	11
Kuva 3. Sulkusyöttimen toimintaa havainnollistava kuva.....	12
Kuva 4. Viistoarina (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 151).....	13
Kuva 5 Polttoaineen kuljetinjärjestelmän kaavio.....	16
Kuva 6. Koivupölyn siilo ja oheislaitteet.....	19
Kuva 7. Uusi polttoaineen kuljetinjärjestelmä	25
Kuva 8. Syttymisryhmät (Mts. 13).....	27
Kuva 9. Pölyn kuljetinlaitteiden tilaluokat ja syttymisryhmät	27
Kuva 10. Pölypolttimen rakenne	29
Kuva 11. Pölypolttin kattilan sisältä ja ulkoa (Voimalaitoksen arkistokuvat).....	30

Taulukot

Taulukko 1. Puupolttoaineiden kosteuspitoisuuksia	8
Taulukko 2. Kumpuniemen Voiman kattiloiden yleiset tiedot	8
Taulukko 3. Puhaltimien tilavuusvirta.....	23
Taulukko 4. Koivun kuiva-aineen koostumus.....	34
Taulukko 5. Havupuun kuiva-aineen koostumus	34

Sanasto

Irtotiheys ($\text{kg}/\text{i-m}^3$), kuvaa kuinka paljon yksi kuutio (m^3) purua tai pölyä painaa (kg).

Kuiva-aine, yleisesti käytetty polttoaineanalyysien pohjana. Kuiva-aineen massa (kg) on polttoaineen vedettömän osan kokonaismäärä.

p-% (paino-%), kuvaa prosenttiosuutta tarkastellessa kohteen massaa (kg)

Saapumistila (saapumiskosteus), kuvaa polttoaineen kosteutta sen saapuessa voimalaitokselle poltettavaksi.

Starttipoltin, kattilassa oleva poltin, jolla lämmitetään kattilaa ennen pääpolttoaineen syötön aloittamista. Starttipoltin toimii yleensä öljyllä tai kaasulla.

Tilavuusvirta (m^3/h tai $\text{i-m}^3/\text{h}$), polttoaineen tai ilman virtausnopeus laitteen tai putken läpi kuutioina tunnissa

1 Johdanto

On taloudellisesti kannattavaa, että voimalaitos saa polttoaineensa mahdollisimman läheltä ja halvalla. Tehtaan yhteydessä toimivalle voimalaitokselle paras polttoaine voi usein olla tehtaan prosessijäte. Kun otetaan tarkasteluun vaneritehdas ja sen voimalaitos, polttoaineeksi kelpaavat erinomaisesti puun kuori, vanerijäte, sahanpuru ja hiontapöly. Jotta voimalaitos pystyisi polttamaan raekooltaan ja kosteudeltaan erilaisia polttoaineita, tulee sen harkita tarkoin kattilavalintansa ja polttotavat.

Suolahden Metsä Woodin vaneritehtaan prosessihöyryn, sähkön ja lämmön tuotannosta vastaa samalla tontilla sijaitseva Kumpuniemen Voima Oy:n voimalaitos. Heidän käytössään on kolme kattilaa; arinakattila pölypoltolla, kiertopetikattila sekä varalla öljykattila. Isomman raekoon polttoainetta, kuten kuorta ja haketta, poltetaan sekä arina- että kiertopetikattilassa. Purua ja pölyä poltetaan arinakattilassa pölypoltolla, puhaltamalla puru ja pöly sekundääri-ilman sekaan. Vaneritehdas muodostuu kolmesta tehdasrakennuksesta: koivu-, havu- ja jalostetehtaasta. Jokaisessa tehdasrakennuksessa syntyy polttoon kelpavaa purua ja pölyä sekä muuta puujätettä.

Pölypolttojärjestelmään tehtiin kesällä 2015 muutoksia polttotehon lisäämiseksi. Muutostyöt eivät kuitenkaan tuoneet toivottua parannusta polttoaineen kuljetuksen ja syötön ongelmien vuoksi. Työn tarkoituksena on tutustua pölypolton polttoaineen kuljetuksen ja syötön laitteisiin ja toimintaan sekä tehdä parannusehdotuksia.

2 Voimalaitoksen yleiskuvaus

Kumpuniemen Voima Oy:n voimalaitos sijaitsee Metsä Woodin vaneritehtaan yhteydessä Suolahdessa. Voimalaitos tuottaa tehtaan tarpeisiin prosessihöyryä, lämpöä ja sähköä. Tehtaan lisäksi lämpöä hyödynnetään lähialueen kaukolämpöverkossa ja sähköä voidaan ajaa verkkoon.

Vaneritehdas muodostuu kolmesta tehdasrakennuksesta: havu-, koivu- ja jalostetehtaasta. Havutehtaassa valmistetaan vaneria männystä ja kuusesta, koivutehdas valmistaa vaneria koivusta ja jalostetehdas jatkojalostaa koivuvanereita monipuolisiin käyttökohteisiin.

2.1 Polttoaineet

Voimalaitoksen polttoaineista 99 % tulee vaneritehtaalta tuotantoprosessien sivutuotteina. Polttoaineeksi käytetään

- puunkuori
- sahanpuru
- hiontapöly
- liimainen puuaines
- uittoaltaan liete sekä
- vioittuneet tai homeiset vanerit.

Jäljelle jäävä 1 % voimalaitoksen polttoaineesta koostuu kevytöljystä, jota käytetään kattiloiden starttipolttimissa sekä vara- ja huippukäyttöön tarkoitettussa öljykattilassa. Puupolttoaine sisältää puulajikkeiltaan sekä koivua (koivuvaneritehtaalta) että mäntyä ja kuusta (havuvaneritehtaalta). Männyn ja kuusen suhteellisia osuuksia havutehtaalta tulevasta polttoainevirrasta ei tiedetä. Lajikkeet ovat kuitenkin palamisominaisuuksiltaan hyvin lähellä toisiaan, jolloin on tarpeen puhua vain yleisesti havupolttoaineesta.

Puupolttoaineen kosteus riippuu suuresti prosessivaiheen osasta, josta puuaines on saatu. Taulukkoon 1 on kerätty vanerin valmistuksessa syntyvien puupolttoaineiden kosteuspitoisuuksia (Alakangas 2000, 41).

Taulukko 1. Puupolttoaineiden kosteuspitoisuuksia

Puupolttoainelaji	Kosteuspitoisuus p-% (puristamaton)
Havupuu, märkä kuorinta	60–70
Koivupuu, märkä kuorinta	65–70
Sahanpuru, kuiva sahatavara	5–15
Hiontapöly	5–10
Vanerin tasausreuna	5–10

2.2 Kattilat

Kumpuniemen Voimalla on käytössä kolme kattilaa: arina-, kiertopeti- ja öljykattila.

Kattiloiden yleiset tiedot löytyvät taulukosta 2.

Taulukko 2. Kumpuniemen Voiman kattiloiden yleiset tiedot

Kattilatyyppe	Arinakattila	Kiertopetikattila	Öljykattila
Valmistaja	Standard-Kessel	Ahlstrom	Foster-Wheeler
Hankintavuosi	1999	1991	1996
Teho	26 MW	20 MW	22 MW
Polttoaine	Puunkuori, puujäte, hiontapöly, sahan- puru	Puunkuori, puujäte	Kevytöljy

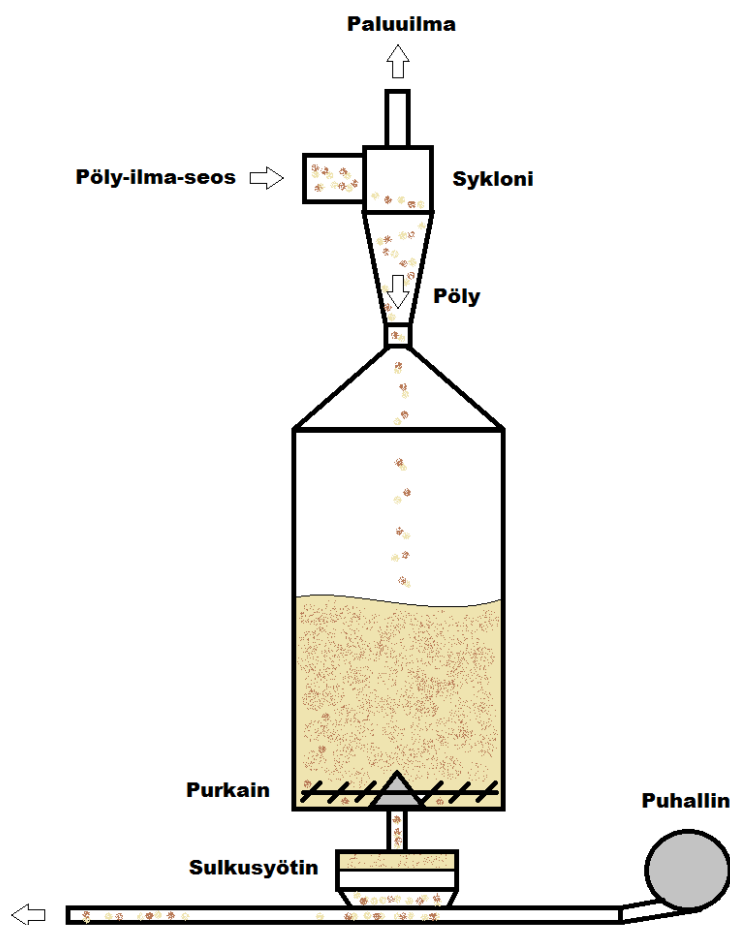
Kiertopeti- ja öljykattilaa ei tulla tarkemmin tässä työssä käsittelemään. Arinakattilan tarkempi kuvaus löytyy pölypolttojärjestelmän toimintaperiaatteen yhteydestä. Arinakattilan hyötysuhteeksi on ilmoitettu 87 %.

3 Pölypolttajärjestelmän toimintaperiaate

Pölypolttajärjestelmään oleellisena osana kuuluu polttoaineen kuljetinjärjestelmä, palamisilmajärjestelmä sekä kattila ja sen pölypolttolaitteet. Muut voimalaitoksen järjestelmät, kuten vedenkäsittely, savukaasujen puhdistus sekä turbiinin ja generaattorin toiminta on jätetty vähemmälle huomiolle tässä työssä.

3.1 Kuljetinjärjestelmä

Vaneritehtaalta tuleva puru ja pöly kerätään lukuisilta tuotantokoneilta imulla. Imulinjan päässä on sykloni, joka erottelee purun ja pölyn ilmavirrasta varastosiiloon. Siilon alaosassa on purkain ja sulkusyötin, jotka syöttävät purua ja pölyä voimalaitokselle menevään korkeapainelinjaan. Siiloa ja sen ohessa toimivia laitteita havainnollistaa kuva 1.



Kuva 1. Siilo ja oheislaitteet

3.1.1 Pneumatiikka- eli paineilmakuljetin

Paineilmatoimisissa kuljettimissa materiaali siirretään yhdestä tai useammasta lähteestä yhteen tai useampaan määränpään kaasuvirran avulla. Yleisin käytetty kaasu on ilma, mutta muitakin kaasuja voi käyttää, mikäli kuljetettava materiaali reagoi ilman kanssa tai järjestelmä on erityisen herkkä pölyräjähdyksille. Paineilmatoimiset kuljettimet ovat suhteellisen halpoja toteuttaa, materiaali on vähäisessä kosketuksissa kuljettimen osien kanssa ja järjestelmän laajentaminen/muutostyöt ovat helpompia toteuttaa verrattuna moniin muihin kuljetintyyppeihin, esim. hihnakuljettiin. Ainoana rajoituksena on kappaleen koko ja tiheys. Paineilmakuljettimella voidaan siirtää materiaali, jonka tiheys vaihtelee välillä 16–3200 kg/m³ ja kappalekoko ei ole yli 5 cm. (Bhatia n.d., 2)

Paineilmakuljettimet voi rakentaa joko etu- tai takavetoisiksi. Etuvetoisessa kuljettimessa paineilma puhaltaa materiaali eteenpäin putkessa ja takavetoisessa materiaali kulkee imussa lähtöpisteestään kohti puhaltimen imupuolella olevaa suodatinta. Putkessa olevan materiaalin ja ilman suhde ei saa olla suurempi kuin 1:2, jotta materiaali kulkee putkessa vapaasti eikä pakkaannu. (Mts. 3-6)

Tehtaalla purun ja pölyn siirtokuljettimissa on käytössä sekä etu- että takavetoisia paineilmakuljettimia. Siiloon tuleva puru ja pöly imetään takavetoisilla kuljettimilla. Siilosta voimalaitokselle puru ja pöly puhalletaan etuvetoisilla kuljettimilla.

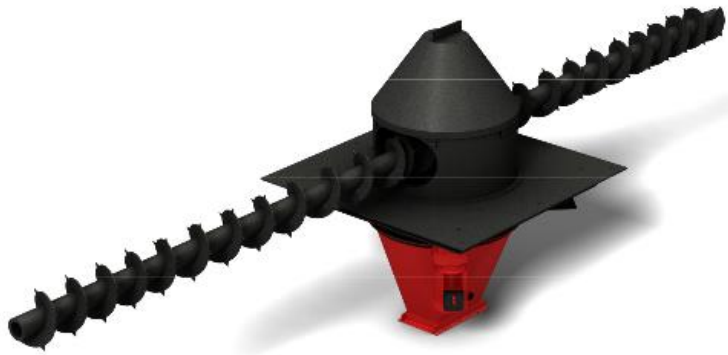
3.1.2 Siilot, syklonit ja purkaimet

Tehdasalueella sijaitsee kolme puru-/pölysiiloa: koivutehtaan puru- ja pölysiilot sekä havutehtaan pölysiilo. Havutehtaalta tuleva puru siirretään paineilmakuljettimella polttoainekentälle ja poltetaan voimalaitoksen arinalla. Siiloihin tuleva materiaali erotellaan paineilmalinjasta syklonilla.

Sykloni muodostuu kartiomaisesta terässylinteristä, jonka yläpään puhalletaan pöly-ilma-seosta tangentin suuntaisesti. Keskipakovoima saa pölyn painautumaan seinämille ja kulkeutumaan syklonin alaosaan ja siiloon. Puhdistunut ilma eli paluutilma nousee syklonin keskeltä ylös ja se voidaan käyttää tarvittaessa uudelleen kuljetinilmana. Syklonin erottelukyky paranee, mitä suuremmaksi keskipakovoima muo-

destuu. Keskipakovoimaa voidaan kasvattaa puhallusnopeutta kasvattamalla tai syklonin halkaisijaa pienentämällä. Nopeuden kasvattaminen aiheuttaa laitteiden nopeaa kulumista, joten sitä pyritään välttämään. Syklonin halkaisijan pienentäminen rajoittaa läpi virtaavan ilman määrää, joten pieniä sykloneja täytyy olla useampi. Tällaisia sykloniryhmiä kutsutaan usein multisykloneiksi tai syklonipatteristoksi. (Keskinen & Niemi 2011, 1)

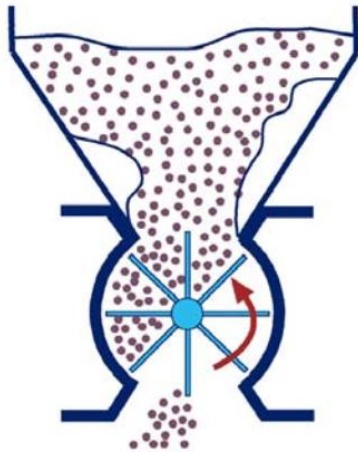
Siilon pohjalla sijaitsee purkain (kuva 2), jonka tehtävä on irrottaa siilon pohjalta purua ja pölyä. Purkain pyörii siilon pohjalla ja sen ruuvi siirtää puru ja pölyä pohjan keskellä olevaa purkausaukkoa kohti. Purkausaukon alla sijaitsee sulkusyötin.



Kuva 2. Siilon purkain

3.1.3 Sulkusyötin, ruuvi ja korkeapainepuhallin

Sulkusyöttimet ovat yleisimmin käytettyjä syötintyyppisiä paineilmakuljettimissa. Sulkusyötin annostelee polttoainetta siilosta kuljettimelle (kts. kuva 3) ja säätelee näin ollen polttoaineen syöttöä. Polttoaineen virtaus pysyy lähes vakiona sulkusyöttimen roottorin pyöriessä vakionopeudella ja virtausta voidaan muuttaa roottorin nopeutta muuttamalla. (Blackmore & Bradley n.d., 3)



Kuva 3. Sulkusyöttimen toimintaa havainnollistava kuva

Sulkusyöttimen tehtävänä on myös toimia ilmasulkuna siilon ja kuljettimen välillä. Ilmasulun ansiosta ei synny vetoa kuljettimelta siilon suuntaan ja mahdollinen kuljettimelle levinnyt palo ei näin ollen pääse leviämään siiloon. (Mts. 3)

Ruuvikuljettimen toimintaperiaate on ollut kautta aikojen sama; putkeen tai kouruun asennettu ruuvi kuljettaa pyöriessään materiaalia eteenpäin. Nykyään ruuvikuljetinta käytetään monenlaisissa käyttökohteissa, joissa materiaalia siirretään tai syötetään. Ruuvirakenne mahdollistaa materiaalin siirron pysty- ja vaakasuuntaan sekä kaltevassa kulmassa. Sulkusyöttimen tavoin ruuviakin voi käyttää annostelevaan polttoainetta. Ruuvikuljetin voi toimia myös kaksisuuntaisesti, ts. ruuvi voi syöttää kahteen eri kohteeseen riippuen ruuvin pyörimissuunnasta. (Screw conveyor catalogue and engineering manual 1986, 4)

Ruuvikuljettimen lisäksi myös sulkusyöttimessä on yleensä kaksisuuntainen säätö. Kuljetettavan materiaalin tukkiessa ruuvikuljettimen tai sulkusyöttimen, voidaan laitteita ajaa normaalista pyörimissuunnastaan poiketen takaperin. Tukko saattaa tällöin aueta itsestään ja nopeuttaa huomattavasti huoltotoimia.

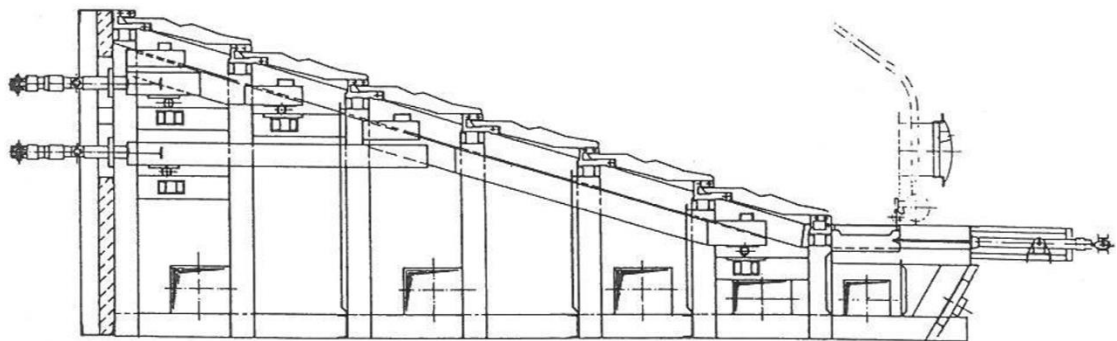
Korkeapainepuhallin muodostaa ilmanpaineen, joka siirtää purun ja pölyn kuljetin-putkea pitkin sulkusyöttimeltä voimalaitoksen tulipesään. Puhaltimen tuottama ilmamäärä tulee näin ollen huomioida palamisen ilmamääriä tarkastellessa.

3.2 Arinakattila

Voimalaitoksen arinakattilana toimii luonnonkiertoinen säteilykattila, joka on varustettu yksiväyläisellä työntöarinalla ja pölypolttimilla. Kattilan tulipesä on muurattu tulenkestävällä materiaalilla kattilaputkien suojaamiseksi liian kuuman liekin lämpötilaa vastaan. Tulipesän jälkeen sijaitsee säteilytila, jolla ei ole tulenkestävää päällystettä. Säteilytilassa hyödynnetään säteily veden höyrystämiseen kattilaputkissa. Säteilytilan jälkeen sijaitsevat tulistimet sekä syöttöveden ja palamisilman esilämmittimet. (Käyttöohjeistelmä 1999, 8)

Arinakattila toimii luonnonkiertoisesti. Kattila muodostuu höyrystimen osalta lieriöstä ja kattilaputkiseinäkokoojista, jotka on liitetty yhteen lasku- ja nousuputkilla. Lieriön tehtävä on jakaa tämä kiertojärjestelmä vesi- ja höyrytiloiksi. Syöttövesi syötetään esilämmittimen kautta lieriön, josta se lasku- ja nousuputkien kautta yhtyy kiertoon ja höyrystyy. Luonnonkierto syntyy lämpötilaeron aiheuttaman tiheyseron ansiosta. (Mts. 7)

Kuori ja puujäte palaa kattilassa koneistetulla työntöarinalla. Arina on viistoarina (kuva 4), jossa polttoaine liikkuu hitaasti arinan yläpäässä olevasta polttoaineen syööstä kohti arinan alapään tuhkanpoistoa. Arinassa olevien rautojen eteenpäin suuntautuvan työntöliikkeen ansiosta polttoaine työntyy arinan loppuosaa kohti alati sekoittuen ja palaen. Polttoaine vaatii palamiseen ilmaa, jota syötetään sekä arinan alta (primääri-ilma) että kattilan seinämiltä (sekundääri-ilma). (Mts. 10)



Kuva 4. Viistoarina (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 151)

3.3 Palamisilman esilämmitys ja syöttö

Palamisilma esilämmitetään ilman esilämmittimellä (LUVO, luftvorwärmer), joka sijaitsee viimeisenä lämmönsiirtimenä kattilassa. Palamisilman lämpötila riippuu polttoaineesta ja polttotavasta, yleensä 100-400 °C. Esilämmitetty palamisilma nopeuttaa polttoaineen kuivamista tulipesässä, tehostaa polttoaineen syttymistä ja nopeuttaa palamista. (Huhtinen ym. 2000, 196)

Ilmajärjestelmä syöttää ja jakaa palamiseen tarvittavan ilmamäärän eri puolille tulipesää. Primääri-ilma johdetaan arinan alla olevien ilmasuuttimien kautta tulipesään. Sekundääri-ilma ohjataan tulipesään pesän seinämien suuttimista. Sekundääri-ilma toimii palamisilmana primääri-ilman ohella ja saa aikaan polttoaineen lopullisen palamisen. Sekundääri-ilmaa voidaan käyttää myös kantoilmana polttoaineensyötössä, startti- tai kuormapolttimen palamis- ja jäähdytysilmana sekä nuohointen tiivistysilmana. Suuttimien asettelulla ja ilmajaolla voidaan vaikuttaa merkittävästi polttolaa- tuun ja päästöihin. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 40–42)

3.4 Pölypoltto

Pölypoltossa hienojakoinen kiinteä polttoaine syötetään polttimien kautta tulipesään. Polttoaine palaa muutamassa sekunnissa ja luovuttaa tulipesään suuret lämpötehot. Pelkkään pölypolttoon soveltuvissa kattiloissa kantoilmana pölylle käytetään yleensä primääri-ilmaa ja palamista tehostetaan sekundääri-ilman avulla. (Huhtinen ym. 2013, 93)

Arinapolttoon yhdistetyn pölypolton kantoilmana voidaan käyttää sekundääri-ilmaa, mutta periaate ei muutu. Tässä tapauksessa täytyy kuitenkin jakaa sekundääri-ilman suuttimet kahteen ryhmään käyttötarkoituksestaan riippuen; yksi tai useampi sekundääri-ilman suuttimista toimii pölypolttimena ja lopuilla säädetään paloilmaa. Kantoilmana toimivan sekundääri-ilman täytyy taata riittävä virtausnopeus pölypolttimille, jotta palo ei pääse leviämään syöttöjärjestelmään.

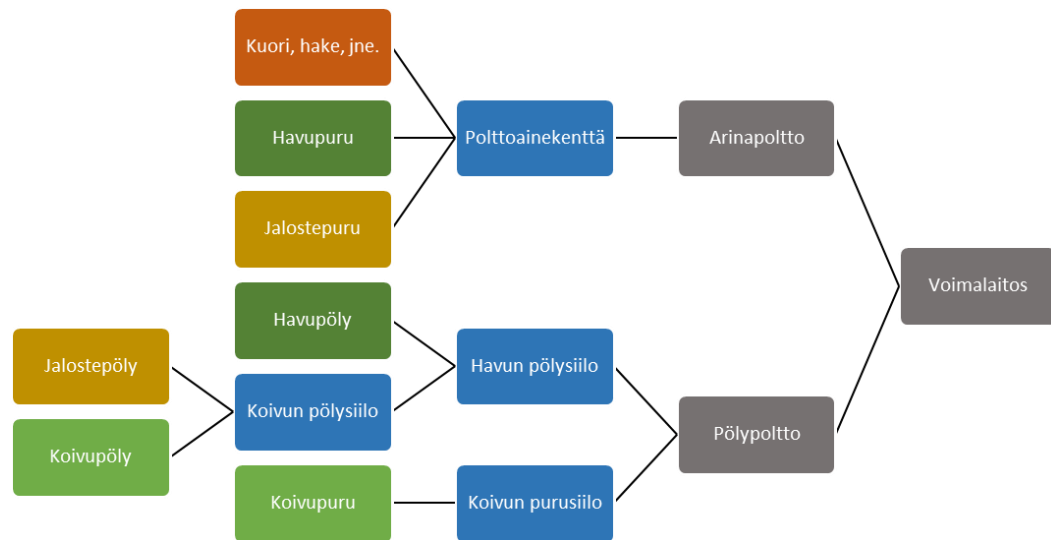
Pölypoltossa polttimeen kuuluu yleensä öljy- tai kaasutoiminen starttipoltin sekä tukipoltin (Huhtinen ym. 2000, 141). Arinapolttoon yhdistetyssä pölypoltossa ei välttämättä ole tarvetta käyttää erillistä poltinta pölylle, sillä pöly syttyy palamaan arinan

tulipesän lämmön vaikutuksesta ja palaa tulipesään muodostuvassa kaasuvirtauksessa. Pölypoltto vaatii kuitenkin polttoineen syttymislämpötilaa korkeamman lämpötilan arinalla ennen pölypolton käyttöönottoa.

4 Ongelmanasettelu

4.1 Kuljetinjärjestelmä

Kuljetinjärjestelmä muodostuu useista siiloista ja kuljetinlinjoista. Kuvassa 5 on esitetty vaneritehtaalla muodostuvan polttokelpoisen puujätteen matka voimalaitok-
selle lähteittäin. Kun tarkastellaan pölypolttoa, polttoaine tulee ensimmäiselle poltti-
melle havun pölysiilosta ja toiselle polttimelle koivun purusiilosta.



Kuva 5 Polttoaineen kuljetinjärjestelmän kaavio

Havun pölysiilon kautta kulkee kaikki tehtaasta tuleva ja polttoon menevä pöly, mikä kuormittaa huomattavan paljon havupölyn siiloa. Voimalaitoksella on huomattu, että vaneritehtaan toimiessa täydellä kapasiteetilla pölyä syntyy enemmän kuin sitä ehditään polttamaan. Tämä saa pahimmassa tapauksessa havun pölysiilon täyttymään ja ylimääräinen pöly joudutaan ajamaan konttiin. Kontista pölyä ei voida ajaa takaisin pölypolttajärjestelmään vaan pöly sekoitetaan polttoainekentällä arinalle menevän kuoren ja hakkeen sekaan. Koivun pölyn sekoittaminen on hankalaa, sillä pöly leviää herkästi tuulen mukana ja aiheuttaa haittaa alueella työskenteleville.

Koivun purusiilon tulee vain koivun purua, jota syntyy suhteellisen vähän. Purusiilo tyhjenee hyvin nopeasti ja purun poltto on käytössä vain ajoittain. Purua poltetaan siis nopeammin kuin sitä ehtii syntymään. Optimaalinen tilanne olisi saada molem-

mat polttimet toimimaan tasaisella syötöllä ilman katkoksia. Tarpeellista olisi selvittää, millaisia muutoksia kuljetinjärjestelmään pitäisi vähintään tehdä, jotta tilanne helpottuisi.

4.2 Pölypolttojärjestelmän muutokset

Arinakattilaan on alun perin suunniteltu yksi pölypoltin. Kattilahuoneessa olleella Y-pellillä säädettiin mistä siilosta, havun pölysiilosta vai koivun purusiilosta, polttoaine polttimelle tuotiin. Vaneritehtaan kasvanut tuotanto aiheutti kuitenkin tilanteita, joissa siilot ehtivät täyttymään nopeammin kuin voimalaitos ehti polttamaan. Ratkaisuna kesällä 2015 rakennettiin toinen pölypoltin alkuperäisen viereen.

Uusi poltin tehtiin vanhan polttimen piirustusten mukaisena kopiona ja tarkoituksena oli saada pölypolttoteho kaksinkertaistettua. Ensimmäinen poltin jäi polttamaan havupölyä ja toinen poltin alkoi polttamaan koivupuraa. Vaikka pölypolton laitekapasiteettia on kasvatettu, ei sitä ole vielä huomioitu palamisilman määrässä, koska uuden polttimen käyttö on ollut katkonaista koivupurun saatavuuden takia. Kattila on alun perin suunniteltu suuremmille pölypolttotehoille kuin sitä on tähän mennessä käytetty. On kuitenkin tarpeellista tarkastaa pölypolton palamisilmantarve ja pölypoltolla saavutettava teho kahden polttimen tapauksessa, jotta tarvittavat muutokset voidaan tehdä kattilan säätöihin. Lisäksi on tarpeen selvittää millaisiin kattilan kuntoon liittyviin seikkoihin on syytä kiinnittää huomiota pölypolton tehon kasvaessa.

5 Kuljetinjärjestelmän laiteselvitys

Laitetietojen keruu aloitettiin kiertämällä tehdasalueella ja kartoittamalla millaisia laitteita purun ja pölyn kuljetinjärjestelmään kuuluu. Pölypolton kannalta tärkeiksi laitteiksi todettiin siilo, siilon purkain, sulkusyötin sekä korkeapainepuhallin. Siilojen väliset siirtolinjat todettiin myös tärkeiksi.

Tehtaan kunnossapidolta saatiin tiedot useimpien laitteiden valmistajista ja malleista. Laitetietojen tarkentamiseksi käytiin kuvaamassa laitekilvet. Siilojen tilavuuden selvittämiseksi mitattiin siilojen halkaisija ja korkeus.

Selvitystyötä jatkettiin etsimällä laitteiden valmistajien antamia mallikohtaisia tietoja internetissä julkaistuista katalogeista. Uudemmissa laitteista tietoja löytyi hyvin, mutta muutaman vanhemman laitteen tiedot eivät olleet internetissä saatavilla. Puuttuvia tietoja etsittiin myös tehtaan kunnossapidon arkistoista.

Alla on esitelty koivupölyn, koivupurun ja havupölyn kuljetinlaitteet sekä yhteenveto laitteiden tilavuusvirroista (m^3/h). Tarkemmat laitetiedot löytyvät liitteistä 1-3.

5.1 Koivupöly

Koivun pölysiilo on vanhin tehdasalueen siiloista. Siilon korkeudeksi mitattiin 7,5m ja halkaisijaksi 4m (liite 1). Koivun pölysiilon tilavuus on siis

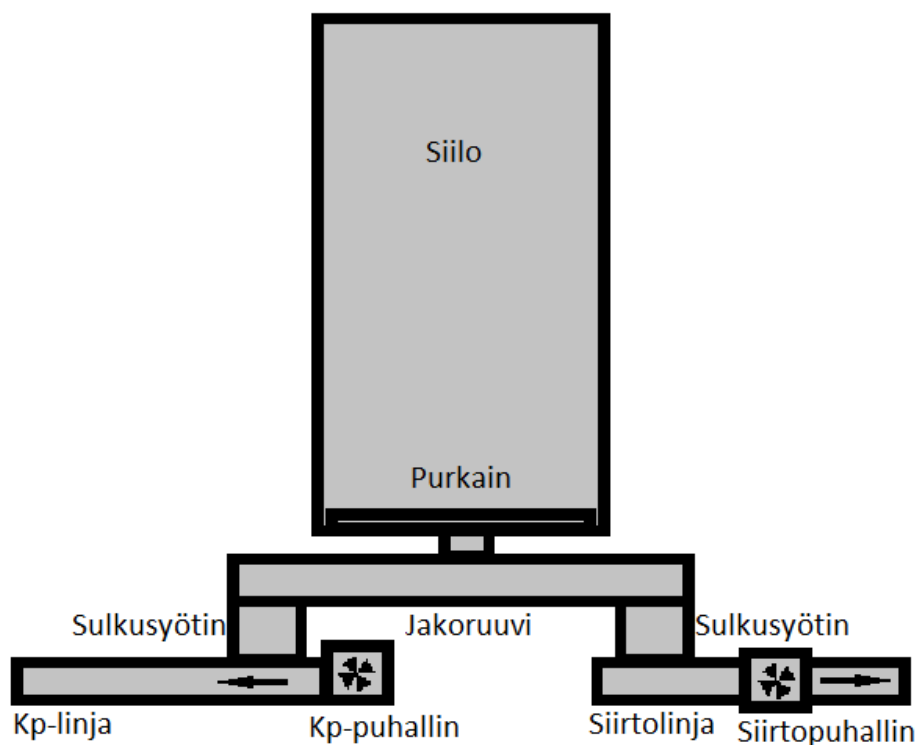
$$V_{k,pöly} = \pi r^2 h = \pi \cdot (2m)^2 \cdot 7,5m \cong 94m^3$$

Siilon alaosassa on purkain, joka irrottaa pölysiiloon pakkautunutta pölyä ja siirtää sitä siilon pohjan keskellä olevasta reiästä ulos. Purkain on tilavuusvirraltaan (m^3/h) suunniteltu kuljetinjärjestelmän rajoittavaksi tekijäksi, ts. sen tilavuusvirta on järjestelmän pienin.

Koivun pölysiilosta voidaan syöttää pölyä korkeapainelinjaan tai havupölysiilon siirtolinjaan. Pölyn siirrosta halutulle linjalle huolehtii jakoruuvi. Aiemmin käytössä ollut korkeapainelinja kuljetti pölyn voimalaitoksen kiertopetikattilalle, mutta nykyään kyseisessä kattilassa ei polteta enää koivupölyä. Tällä hetkellä pöly siirretään siirtolinjaa pitkin havupölysiiloon.

Siirtolinja koivupölyn siilosta havupölyn siiloon on lyhyt, sillä siilot on sijoitettu lähes vieretysten koivu- ja havutehtaan väliin. Sulkusyötin annostelee ruuvilta tulevan pölyn havun pölysiiloon johtavalle siirtolinjalle ja siirtopuhaltimena toimii siirtolinjaan yhdistetty tuuletin. Siirtolinjassa on tilavuusvirran mittaus, mikä helpottaa todellisen tilavuusvirran määrittämisessä.

Korkeapainelinjassakin on sulkusyötin, joka annostelee ruuvista tulevan pölyn korkeapainelinjalle. Korkeapainepuhallin on siirtopuhaltimeen verrattuna teholtaan suurempi, sillä korkeapainepuhaltimen on tarkoitus taata riittävä paine aina voimalaitosalueelle ja kattilaan asti. Korkeapainepuhallin kuljetti vuoteen 2009 asti pölyn siilosta kiertopetikattilaan. Nykyään kyseinen puhallin ja korkeapainelinja eivät ole käytössä, mutta ne voidaan ottaa uudelleen käyttöön, mikäli koivun pölysiilosta halutaan rakentaa uusi linja. Koivupölyn siilo ja sen oheislaitteet on hahmoteltu karkeasti kuvaan 6.



Kuva 6. Koivupölyn siilo ja oheislaitteet

Siilo, siilon purkain, korkeapainelinjan sulkusyötin ja korkeapainepuhallin ovat asennettu 1993 tehdasalueelle. Siilo, purkain sekä sulkusyötin tuotiin Hämeenlinnan vanhalta vaneritehtaalta ja laitteiden mukana ei tullut laitetietoja. Sulkusyöttimessä on

laitekilpi, joka kertoo valmistajan, mallin ja valmistusvuoden (liite 1), mutta valmistaja on lopettanut toimintansa vuonna 1985. Sulkusyöttimestä tai valmistajan muusta tuotannosta ei löydy tietoja internetistä.

Puutteellisten laitetietojen vuoksi tehtiin vuonna 1993 korkeapainelinjalle pussituskoetilavuusvirran selvittämiseksi. Kyseisen kokeen dokumentoinnin etsinnöissä ilmeni kuitenkin ongelmia ja pussituskokeen tuloksia ei löytynyt. Tämän työn aikataulun puitteissa uutta pussituskoetta ei kyetty suorittamaan. Mikäli kyseiset laitteet ja korkeapainelinjat tullaan ottamaan uudestaan käyttöön tulevaisuudessa, pussituskokeen uusiminen on erittäin suositeltavaa.

Arviona koivupölyn korkeapainelinjan tilavuusvirrasta voidaan karkeasti ottaen käyttää koivupölyn siirtolinjan tilavuusvirtaa, sillä molempien linjojen tilavuusvirtoja rajoittaa siilon purkain. Laitteiden teoreettista tilavuusvirtaa ei saada selville ilman siilon purkaimen laitetietoja, mutta todellinen tilavuusvirta voidaan selvittää siirtolinjaa tutkimalla.

5.2 Koivupuru

Koivupurun siilo ja kuljetuslaitteisto ovat suhteellisen uudet, joten laitteista löytyi tietoa hyvin. Siilo laitteineen sijaitsee voimalaitoksen polttoainekentän läheisyydessä. Siilon korkeudeksi mitattiin 9m ja halkaisijaksi 4m (liite 2). Koivun purusiilon tilavuus on siis

$$V_{k,puru} = \pi r^2 h = \pi \cdot (2m)^2 \cdot 9m \cong 113m^3.$$

Koivupurun kuljetinjärjestelmä on yksinkertainen. Siilon alaosassa sijaitsee purkain, joka purkaa sulkusyöttimelle. Syöttimeltä puru siirtyy korkeapainelinjalle, josta korkeapainepuhallin siirtää purun suoraan voimalaitoksen kattilan uudemmalle pölypolttimelle. Laitteiden tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 2.

5.3 Havupöly

Havupölyn siilo ja kuljetinlaitteet sijaitsevat koivu- ja havutehtaan välissä koivupölyn siilon läheisyydessä. Siilon korkeudeksi mitattiin 6m ja halkaisijaksi 5m (liite 3). Havun pölysiilon tilavuus on siis

$$V_{h,pöly} = \pi r^2 h = \pi \cdot (2,5m)^2 \cdot 6m \cong 118m^3.$$

Siiloon tulee pölyä sekä havutehtaalta että koivupölyn siilosta. Kuten koivupurun siilossa, havupölyn siilon alaosassa sijaitsee purkain, joka purkaa sulkusyöttimelle. Sulkusyötin syöttää pölyä korkeapainelinjalle, josta korkeapainepuhallin siirtää pölyn voimalaitoksen kattilan vanhemmalle pölypolttimelle. Laitteiden tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 3.

5.4 Purun ja pölyn tilavuusvirta

Kuljetinjärjestelmän laitteiden selvitys tehtiin pääosin purun ja pölyn tilavuusvirran (m^3/h) määrittämiseksi, ts. kuinka paljon laitteet voivat siirtää purua ja pölyä voimalaitokselle. Kuljetinjärjestelmän laitteiden tilavuusvirtojen avulla voidaan selvittää kuljetinjärjestelmän teoreettinen tilavuusvirta. Todelliseen tilavuusvirtaan vaikuttaa kuitenkin heikentävästi purun ja pölyn rakennekoostumus sekä irtoavuus siilosta. Kuljetinlaitteista tilavuusvirtaa rajoittavin laite tulee olla aina purkain, sillä muutoin on vaarana linjan tukkeutuminen.

Koivupölyn teoreettista tilavuusvirtaa ei pystytä määrittelemään, koska rajoittavimman laitteen, eli purkaimen, laitetietoja ei tiedetä. Siirtolinjan sulkusyöttimen tilavuusvirta on $80 m^3/h$. Siirtolinjan todellinen tilavuusvirta siirtolinjasta mitattuna on $2,3 m^3/h$ 80 %:n käyttösuhteella (arkipäivän keskiarvo). Parhaimmillaan siirtolinjalla siirretään siis $(2,3 m^3/h) / (80 \%) = 2,875 m^3/h$. Todellinen tilavuusvirta on siis vain noin 3,6 % siirtolinjan sulkusyöttimen tilavuusvirrasta. Syynä on sekä purkaimen rajoittava ominaisuus että pölyn hankala purettavuus. Korkeapainelinjalle voidaan samasta syystä käyttää todellisen tilavuusvirran arvona $2,875 m^3/h$.

Koivupurun teoreettinen tilavuusvirta voidaan määrittää. Purkaimen tilavuusvirta on $7,9 m^3/h$ ja sulkusyöttimen $30 m^3/h$. Selvästi nähdään purkaimen olevan rajoittava tekijä ja koivupurun teoreettiseksi tilavuusvirraksi saadaan näin ollen $7,9 m^3/h$. Purun purkamisessa on vastaavanlaisia ongelmia kuin pölylläkin, joten todellinen tilavuusvirta on pienempi kuin teoreettinen tilavuusvirta.

Havupölyn teoreettinen tilavuusvirta voidaan myöskin määrittää laitteiden avulla. Havupölyn purkaimen tilavuusvirta on $7,9 m^3/h$ ja sulkusyöttimen $13 m^3/h$. Purkain

on siis jälleen rajoittava tekijä, kuten kuuluukin. Todellista tilavuusvirtaa rajoittaa jälleen pölyn vaikea purettavuus.

Puhaltimien tehtävä on siirtää purua ja pölyä sekä tuottaa palamisilmaa kattilaan. Puhaltimien tilavuusvirta on mitoitettu massan suhteella 1:2, ts. 1 kg purua tai pölyä vaatii 2 kg ilmaa siirtämiseen, jotta linja ei tukkiudu. Mikäli puhallinta ajetaan suuremmalla teholla kuin purun tai pölyn siirtoon vaaditaan, vaikutukset näkyvät vain siirtonopeudessa. Purulle ja pölylle ilman nopeudeksi vaaditaan vähintään $v = 18 \text{ m/s}$ polttimen virtausvahdin takia (liite 4).

Häviöitä siirtonopeuteen aiheutuu putken ja materiaalin välisestä kitkasta, jonka suuruus riippuu siirrettävän materiaalin koostumuksesta, linjan pituudesta ja linjassa olevien mutkien määrästä. Puru ja pöly ovat koostumukseltaan helposti kuljetettavia putkessa, tehdasalueen kuljetinlinjat ovat suhteellisen lyhyitä (arviolta 300 m) ja linjan mutkien määrät on pyritty minimoimaan. Tässä tapauksessa kitkan vaikutukset oletetaan suhteellisen pieniksi ja tarkempia laskelmia ei suoriteta.

Puhaltimelta vaadittu tilavuusvirta (m^3/h) saadaan selville tarkastelemalla linjan putkikokoja. Havupölyn ja koivupurun siiloilta polttimille saapuu DN100 (halkaisija $d = 114,3 \text{ mm}$) putkikoon linjat. Koivupölyn korkeapainelinja on myöskin DN100, mutta siirtolinja havupölyn siiloon on DN250 (halkaisija $d = 273 \text{ mm}$). Kyseisten putkikokojen poikkipinta-alat ovat

$$A_{DN100} = \pi \cdot \left(\frac{d_{DN100}}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{114,3 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 10261 \text{ mm}^2 = 0,010261 \text{ m}^2 \text{ ja}$$

$$A_{DN250} = \pi \cdot \left(\frac{d_{DN250}}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{273 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 58535 \text{ mm}^2 = 0,058535 \text{ m}^2.$$

Ilman vaadittava tilavuusvirta (m^3/h) saadaan kertomalla saadut poikkipinta-alat ilman nopeudella, jolloin

$$\text{tilavuusvirta}_{DN100} = v \cdot A_{DN100} = 18 \text{ m/s} \cdot 0,010261 \text{ m}^2 \cdot (3600 \text{ s/h}) = 664,9128 \text{ m}^3/\text{h} \approx 665 \text{ m}^3/\text{h}$$

ja

$$\text{tilavuusvirta}_{DN250} = v \cdot A_{DN250} = 18 \text{ m/s} \cdot 0,058535 \text{ m}^2 \cdot (3600 \text{ s/h}) = 3793,068 \text{ m}^3/\text{h} \approx 3793 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Puhaltimien tulee taata vähintään nämä tilavuusvirrat kyseisille putkille. Taulukossa 3 on listattuna kuljetinjärjestelmän jokaisen puhaltimen tilavuusvirta

Taulukko 3. Puhaltimien tilavuusvirta

Puhallin	Tilavuusvirta (m ³ /h)
Koivupölyn siirtopuhallin	4500
Koivupölyn korkeapainepuhallin	878
Koivupurun korkeapainepuhallin	1456
Havupölyn korkeapainepuhallin	1456

Korkeapainepuhaltimilla saavutetaan siis putkikoon DN100 vaatima 665 m³/h tilavuusvirta ja siirtopuhaltimella siirtolinjan DN250 vaatima 3793 m³/h tilavuusvirta.

6 Kuljetinjärjestelmään suositeltavat muutokset

Kuljetinjärjestelmän epätasaisen kuormituksen ongelman yksinkertaisin ratkaisuvaihtoehto on muuttaa sillojen välisiä linjoja siten että kuormitus jakautuu tasaisemmin havupölyn ja koivupurun sillojen kesken. Käytännössä ratkaisutapa tarkoittaa osan pölyn siirtoa koivupurun siiloon.

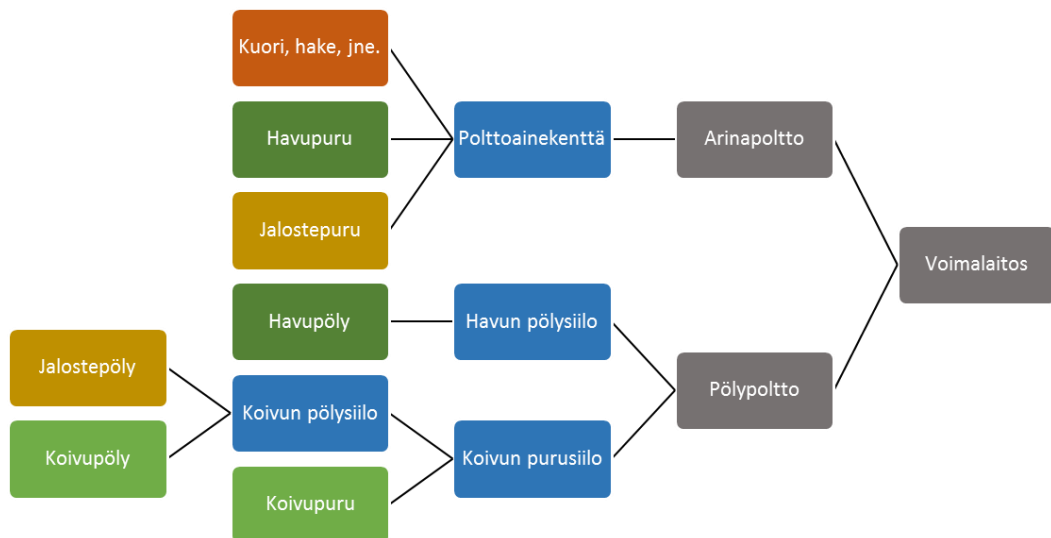
Koivupölylle siirtolinjan rakentaminen koivupurun siiloon olisi investoinnilta kannattavin, sillä koivupölyn korkeapainelinjaa voidaan jatkaa koivupurun siilolle. Koivupurun siilon yläosassa on valmiiksi asennettu myös käyttämätön sykloni, johon siirtolinja voidaan liittää. Siirtolinja havusiiloon voidaan säilyttää varalinjana.

Uusi siirtolinja lisää huomattavasti käyntivarmuutta. Mikäli nykyisellä järjestelmällä havusiilossa tai sen laitteissa tulee ongelmia ja vanhan pölypolttimen polttoainesyöttö katkeaa, pölypoltto on täysin koivupurun varassa. Koivupurua muodostuu kuitenkin niin vähän, että kattila on käytännössä vain arinapolton varassa. Pelkällä arinapoltoilla ei päästä kattilan maksimitehoihin kiinni. Etenkin talvikautena, jolloin tehontarve on suurimmillaan, joudutaan osa vaneritehtaan tarvitsemasta tehosta tuolloin tuottamaan öljykattilalla.

Ongelmana purun ja pölyn yhdistämisessä on ATEX-luokitus. Pölyräjähdysvaaran takia pölyä varastoivat silot ja oheislaitteet vaativat ATEX-luokituksen, joita koivun purusiilolle ja laitteille ei ole määritetty.

6.1 Uusi siirtolinja

Uusi siirtolinja koivupölyn siilosta koivupurun siiloon vaatisi arviolta 100 metrin jatko-osan koivupölyn korkeapainelinjaan. Uusi kuljetinjärjestelmä olisi tällöin kuvan 7 mukainen.



Kuva 7. Uusi polttoaineen kuljetinjärjestelmä

Kuten tilavuusvirtalaskelmissa todettiin, koivupölyn todellinen tilavuusvirta korkeapainelinjaan on $2,875 \text{ m}^3/\text{h}$. Koivupurun tilavuusvirta siilosta polttimelle voi olla parhaimmillaan $7,9 \text{ m}^3/\text{h}$ (teoreettinen tilavuusvirta). Pöly hyödyntäisi näin ollen purusiilon tilavuudesta arviolta

$$\frac{2,875 \text{ m}^3/\text{h}}{7,9 \text{ m}^3/\text{h}} \cdot 100\% = 36,4\%.$$

Vaikka todellinen tilavuusvirta siilosta olisi huomattavasti teoreettista tilavuusvirtaa pienempi, esimerkiksi $4,0 \text{ m}^3/\text{h}$, purun tuotanto on niin vähäistä, ettei purunsiilon ylikuormitus olisi kovinkaan todennäköistä. Pölyn osuus purunsiilon todellisesta tilavuusvirrasta olisi

$$\frac{2,875 \text{ m}^3/\text{h}}{4,0 \text{ m}^3/\text{h}} \cdot 100\% = 71,9\%$$

eli vielä kohtuuden rajoissa. Näiden laskelmien pohjalta voidaan todeta että linjamuutos saattaisi kuljetusjärjestelmän kuormituksen vähintäänkin parempaan suuntaan ja takaisi polttimille tasaisemman polttoainevirran.

6.2 ATEX-luokitus

6.2.1 Luokittelun periaate

ATEX-lainsäädäntö koskee räjähdysvaarallisia tiloja ja tiloissa käytettävien laitteiden turvallisuutta. Lainsäädäntö koskee sekä vaarallisia kemikaaleja että pölyräjähdysten torjuntaa. Lainsäädännön toteuttamista valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (ATEX – Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 3)

EX-tiloja on mm. energian tuotannossa, kemian- lääke-, elintarvike- ja puunjalostusteollisuudessa sekä palavien nesteiden tai syttyvien kaasujen valmistuksessa, käsittelyssä tai varastoinnissa. EX-laitteita ovat kaikki EX-tiloissa käytettävät koneet tai laitteet sekä niiden turva-, säätö- ja ohjauslaitteet, jotka voivat sijaita myös EX-tilan ulkopuolella. (Mts. 5)

EX-tilat luokitellaan räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyvyyden mukaan. Pölyä sisältävien ilmaseosten tilaluokat ovat:

- Tilaluokka 20: Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
- Tilaluokka 21: Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
- Tilaluokka 22: Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaali toiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.

(Mts. 11)

Palaville nesteille ja kaasuille on määritetty niiden itsesyttymislämpötilan mukaan syttymisryhmä (T1-T6). Sähkölaitteet on jaettu vastaaviin ryhmiin niiden suurimman sallitus pintalämpötilan mukaan. Syttymisryhmät löytyvät kuvasta 8. (ATEX-starttipaketti pk-yrityksille 2012, 13)

Syttymisryhmä	Kaasun (höyryn) itsesyttymislämpötila	Sähkölaitteen suurin sallittu pintalämpötila
	°C	°C
T1	>450	450
T2	>300...450	300
T3	>200...300	200
T4	>135...200	135
T5	>100...135	100
T6	>85...100	85

Kuva 8. Syttymisryhmät (Mts. 13)

6.2.2 Pölyn kuljetinlaitteiden luokitukset

Havu- ja koivupölyn kuljetinlaitteiden tilaluokat ja syttymisryhmät löytyvät kuvasta 9.

Havutehdas:

2	Pölysiilo		Syttymisryhmä T5
2.1	Pölysiilon sisätila siilopurkaimen yläpuolella	20	II 20 D
2.2	Pölysiilon sisätila siilopurkaimen alueella	21	II 20 D tai II 21 D
2.3	Pudotustorvi, kääntöpeltili, sulkusyötin	21	II 20 D tai II 21 D
2.4	Pölynsiirtolinjan sisätila	21	II 20 D tai II 21 D

Koivutehdas:

3	Pölysiilo Koivu		Syttymisryhmä T4
3.1	Pölysiilon sisätila siilopurkaimen yläpuolella	20	II 20 D
3.2	Pölysiilon sisätila siilopurkaimen alueella	21	II 20 D tai II 21 D
3.3	Siilon alapuolella pudotustorvi ja jakoruuvien sisätila	21	II 20 D tai II 21 D
3.4	Sulkusyötin 2 kpl	21	II 20 D tai II 21 D
3.5	Pölyn siirtopuhaltimen sisätila	21	II 20 D tai II 21 D
3.6	Pölyn rengaslinjan sisätila	21	II 20 D tai II 21 D
3.7	Pölysykköön sisätila (Havu pölysiilon päällä)	21	II 20 D tai II 21 D
3.8	Pölysykköön sulkusyöttimen sisätila	21	II 20 D tai II 21 D
3.9	Pölynsiirtolinjan (Pyro) sisätila	21	II 20 D tai II 21 D
3.10	Jakoruuvien (siilon päällä) sisätila	21	II 20 D tai II 21 D
3.11	Pölynsiirtokontin sisätila	21	II 20 D tai II 21 D

Kuva 9. Pölyn kuljetinlaitteiden tilaluokat ja syttymisryhmät

Kuvasta voidaan lukea, esimerkiksi havupölyn siilon sulkusyöttimelle vaaditaan tilaluokka 21 ja syttymisryhmä T5, jolloin sulkusyötin voi olla ATEX-luokitukseltaan tilaluokassa 20 tai 21.

6.2.3 Purun kuljetinlaitteiden luokitukset

ATEX-luokitukset eivät koske purun käsittelyä. Mikäli koivupurun siiloon kuitenkin halutaan uuden linjan myötä siirtää pölyä, tulee purusiilon ja sen oheislaitteiden ATEX-

luokitukset määritellä. Tämän työn aikataulun puitteissa selvitystyötä ei pystytty teettämään.

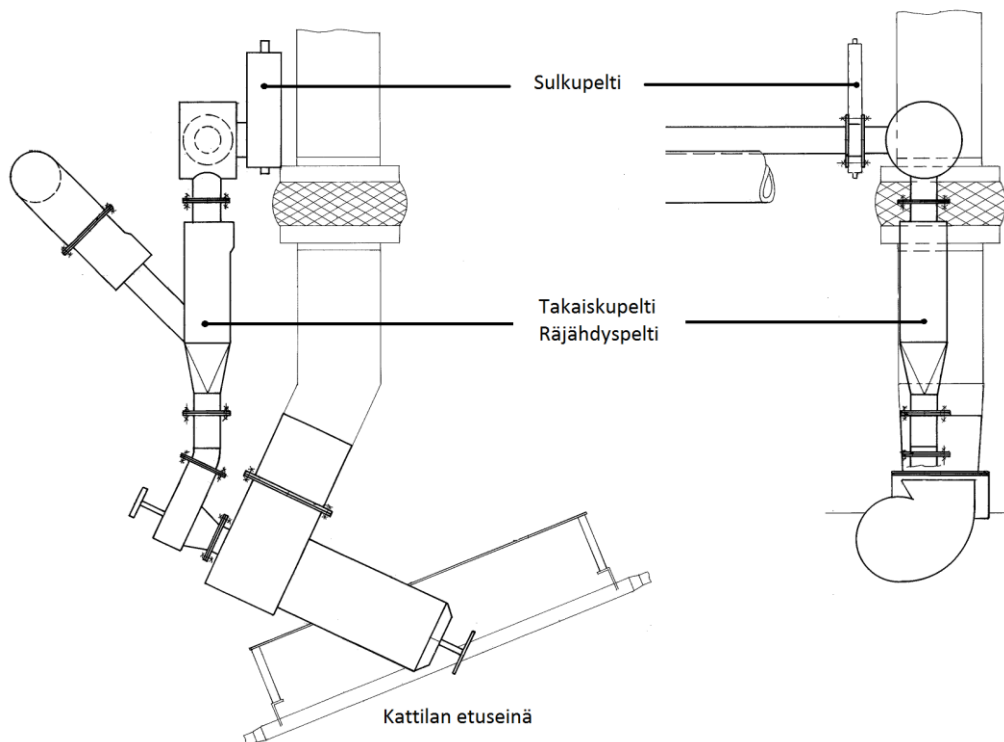
Alustavien laitetietojen mukaan koivupurun siilon ja havupölyn siilon useimpien oheislaitteiden valmistajat ovat olleet samoja. Purkaimet (WEISS), sulkusyöttimet (Laitex) ja korkeapainepuhaltimet (Roots) ovat siis hankittu molempiin siloihin samoilta valmistajilta. Koivupurun kyseiset laitteet saattavat olla näin ollen ATEX-luokitettuja, vaikka luokitusta ei ole otettu käyttöön. Luokitukset täytyy joka tapauksessa tarkistaa valmistajalta. Pölyävien tilojen, kuten siilon, laitteiden ja kuljetinputken, paloturvallisuus tulee tarkistaa. Tiloissa tulee olla sprinklerijärjestelmät.

Jotta ATEX-luokitukset saadaan hoidettua, voidaan joutua uusimaan laitteita tai tekemään muita muutostöitä. Kustannukset ovat ratkaisevassa asemassa kannattaako uuden kuljetinlinjan rakentaminen.

7 Pölypolttimien rakenne

Kesän 2015 muutostöissä vanha pölypoltin sai rinnalleen samoilla piirustuksilla rakennetun uuden pölypoltin. Liitteestä 4 olevista pölypoltinjärjestelmän vaaranarvioinnin muutoksista selviää tarkemmin pölypolton laite- ja automaatiomuutokset. Kumpaankin polttimeen tulee polttoaine omasta kuljetinlinjasta. Havupöly siirretään korkeapainelinjalla vanhalle polttimelle ja koivupuru uudelle polttimelle. Kumpaankin polttimeen vaaditaan virtausnopeudeksi vähintään 18 m/s, jotta palo ei pääse leviämään polttoainelinjaan.

Kuvassa 10 on esitelty pölypolttimen rakennetta. Sulkupelti, takaiskupelti ja räjähdyspelti toimivat polttimen turvalaitteina. Polttimessa on myös virtausvahti, joka pitää huolen, ettei virtausnopeus alita vähimmäisnopeutta.



Kuva 10. Pölypolttimen rakenne

Kuvassa 11 on voimalaitoksen arkistokuva pölypolttimesta sekä kattilan sisältä että ulkoa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nähdään kattilan ulkopuolella oleva pölypolttimen laitteisto. Kuvan siniseen sekundääri-ilmakanavaan puhalletaan polttoaine korkeapainelinjalla (harmaa putki).



Kuva 11. Pölypoltin kattilan sisältä ja ulkoa (Voimalaitoksen arkistokuvat)

8 Kattilan ajotapa

Kattilaan tulee ilmaa kolmesta lähteestä, primääri- ja sekundääri-ilmanpuhaltimilta sekä purun ja pölyn kuljettimista. Primääri- ja sekundääri-ilmaa säätelee arinapoltto ja sekundääri-ilmasta 8% ajetaan pölypolttimille kantoilmaksi. Pölypoltolle ei ole erikseen määritelty ilmamäärää, vaan riittävän paloilman oletetaan tulevan korkeapainepuhaltimilta ja sekundääri-ilman osuudesta. On tärkeää tarkastella, että kyseinen ilmansyöttötapa on riittävä myös uudistetussa kahden pölypolttimen järjestelmässä.

Jotta ilmamäärä on riittävä, tulee savukaasuissa olla hiukan jäännöshappea, ts. kaikki ilman sisältämä happi ei reagoi palamisprosessissa vaan osa kulkeutuu savukaasujen mukana ulos kattilasta. Tätä voidaan tarkastella savukaasujen happimittauksella. Mikäli ilmaa on saatavilla vähemmän kuin palaminen vaatisi, palaminen ei ole täydellistä ja jäännöshapen lukema mittalaitteelta on negatiivinen. Tällöin palamisilmaa kattilaan on lisättävä.

Sekundääri-ilmanpuhaltimen (ABB FN SL 97 S8) tilavuusvirraksi on annettu 27142 m³/h, jolloin pölypoltolle sekundääri-ilmaa saadaan

$$27142 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,08 = 2171 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Pölypolttoon tulevaa purua ja pölyä säädetään siilojen sulkusyöttimillä. Mikäli polttoainesyöttö siiloilta pysäytetään, korkeapainepuhaltimilta tuleva ilma syötetään joka tapauksessa kattilaan. Kyseinen ajotapa ei ole yleensä taloudellinen, koska jäännöshapen määrä kasvaa. Kattilaa ajaessa on kuitenkin huomattu, että jäännöshapen määrässä tapahtuu vain muutaman prosentin kasvua, jos pölypolton polttoainesyöttö pysäytetään. Vaikka tämä ajotapa ei ole taloudellisin vaihtoehto, vähentää se automaation ja instrumentoinnin tarvetta syöttöilman säädössä, mikä osaltaan tuo säästöjä. Ilman pölypolttoa ei arinakattilalla päästä kuitenkaan maksimitehoon asti, joten pölypolttoa pyritään ajamaan aina parhaalla teholla.

Kattilan palamisilman esilämmitin lämmittää palamisilman ennen kattilaan ajoa.

Tässä arinakattilassa tosin vain primääri-ilma ajetaan esilämmittimen läpi.

Sekundääri-ilma otetaan suoraan kattilahallista ja sitä ei lämmitetä. Esilämmitin on kaksiosainen. Esilämmitin 1 lämmittää ilman +25°C:sta 80°C :een ja on käytössä aina

polttoaineen kosteuden ollessa yli 45 %. Esilämmitin 2 lämmittää ilman -40°C :sta $+25^{\circ}\text{C}$:een ja on käytössä polttoaineen kosteuden ollessa yli 45% ja ilman lämpötilan ollessa alle 25°C . (Käyttöohjeistelmä 1999, 14)

9 Polttoaineen laskennalliset arvot

Laiteselvityksen perusteella saatiin selville, että pölypolttoon tulevan polttoaineen tilavuusvirta on teoriassa kaksinkertaistunut pölypolton muutostöiden ansiosta. Vaikka kuljetinjärjestelmä ei vielä takaakaan molempien polttimien jatkuvaa 100 %:n käyttöä, on hyvä tehdä selvitykset miten molempien polttimien yhtäaikainen käyttö vaikuttaa kattilan toimintaan.

Polton kannalta on tärkeää selvittää pölypolton ilmantarve, jonka laskemiseksi tulee selvittää polttoilmaa säätelevät tekijät ja polttoainekoostumus. Erityisesti tulee huomioida laskuissa polttoaineen mukana korkeapainelinjasta tuleva ilma.

Kattilan kannalta tärkeä tekijä on tehon kasvu. Selvitettävä on, kuinka paljon pölypolton teho on suhteessa arinapolttoon ja voiko se aiheuttaa ongelmia kattilan palopesässä.

9.1 Polttoainekoostumus

Pölypolttoon syötetään kolmea erilaista polttoainetta: koivupölyä, koivupurua ja havupölyä. Polttoaineille voidaan selvittää polttoaineen kuiva-ainekoostumus, polttoaineen kosteus, irtotiheydet ja lämpöarvot. Arvoja käytetään laskiessa polttoaineen palamisilmantarvetta ja palamistehoa. Koska purun ja pölyn näytteenotto kuljetinjärjestelmästä osoittautui vaikeaksi, päädyttiin hyödyntämään tutkimusarvoja muista lähteistä. Luotettavaksi lähteeksi todettiin VTT:n tiedote Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksista (Alakangas 2000).

9.1.1 Polttoaineen kuiva-aineen koostumus

Koivun kuiva-aineen alkuainekoostumus valitaan hieskoivun mukaan. Erot koivulajien runkopuun välillä ovat suhteellisen pienet. Koivun kuiva-aineen koostumus on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Koivun kuiva-aineen koostumus

Komponentti	Pitoisuus (p-%)	Lähde
Hiili (C)	50,97	Mts. 61
Vety (H)	5,86	Mts. 61
Typpi (N)	0,12	Mts. 61
Rikki (S)	0,009	Mts. 36
Happi (O), erotus	43	

Havupuulle kuiva-aineen alkuainekoostumus valitaan männyn mukaan. Erot männyn ja kuusen runkokuun välillä ovat suhteellisen pienet. Havupuun kuiva-ainekoostumus on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Havupuun kuiva-aineen koostumus

Komponentti	Pitoisuus (p-%)	Lähde
Hiili (C)	52,34	Mts. 61
Vety (H)	6,09	Mts. 61
Typpi (N)	0,08	Mts. 61
Rikki (S)	0,0116	Mts. 36
Happi (O), erotus	41	

9.1.2 Polttoaineen kosteus ja irtotiheys

Polttoaineen kosteudeksi kuivalle purulle on annettu 5-15 % ja hiontapölylle 5-10 % (Mts. 41), joten pölypolton polttoaineille käytetään yhteisenä oletuskosteutena 10 %:a.

Jotta polttoaineen massan ja tilavuuden välille saadaan yhteys, tarvitsee selvittää polttoaineen irtotiheys ($\text{kg}/\text{i-m}^3$). Purun irtotiheydeksi saadaan $300 \text{ kg}/\text{i-m}^3$ (Mts. 9). Pölyn irtotiheyden määrittämiseen onnistuttiin saamaan käyttöön pieni näyte pölyä. Näyte kerättiin havupölyn siilon kuljetinlaitteilta 23.4.2016, jolloin pöly oli holvautunut siiloon ja purkain ei kyennyt pölyä purkamaan. Irtotiheyden mittaussarvot, käyetyt laitteet ja tulokset löytyvät liitteestä 5. Irtotiheys määritettiin aluksi irtonaiselle

pölylle, jollaisena pöly on siilon yläosassa. Irtotiheydeksi irtonaiselle pölylle saatiin 124 kg/i-m³. Irtotiheys määritettiin myös tiivistetylle pölylle, jollaisena pöly on siilon alaosassa purkaimen kohdalla. Irtotiheydeksi tiivistetylle pölylle saatiin 270 kg/i-m³. Tiivistetyn pölyn arvoa tullaan käyttämään jatkolaskelmissa.

9.1.3 Polttoaineen lämpöarvo

Polttoaineen palaessa luovuttama lämpöteho saadaan selville tarkastelemalla polttoaineiden lämpöarvoja. Havupuun kuiva-aineen teholliseksi lämpöarvoksi saadaan 19,31 MJ/kg ja koivulle 18,62 MJ/kg (Mts. 42). Saapumistilassa lämpöarvoihin otetaan huomioon polttoaineen kosteus.

Saapumistilan lämpöarvot saadaan laskettua kaavalla

$$Q_{net,ar} = Q_{net,d} \cdot \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02441 \cdot M_{ar} ,$$

missä $Q_{net,ar}$ on saapumistilassa olevan polttoaineen lämpöarvo (MJ/kg), $Q_{net,d}$ on kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg), M_{ar} on polttoaineen kosteus saapumistilassa (%) ja 0,02441 (MJ/kg) veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä (Mts. 29).

Havupuulle saapumistilan lämpöarvoksi saadaan

$$19,31 \text{ MJ/kg} \cdot \frac{100 - 10}{100} - 0,02441 \text{ MJ/kg} \cdot 10 = 17,13 \text{ MJ/kg}$$

ja koivulle saadaan

$$18,62 \text{ MJ/kg} \cdot \frac{100 - 10}{100} - 0,02441 \text{ MJ/kg} \cdot 10 = 16,51 \text{ MJ/kg}.$$

Havu- ja koivupölyn sekoitukselle voidaan käyttää näiden lämpöarvojen keskiarvoa eli

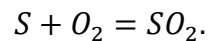
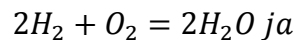
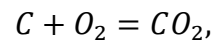
$$\frac{(17,13 + 16,51) \text{ MJ/kg}}{2} = 16,82 \text{ MJ/kg}.$$

Todellisuudessa arvo vaihtelee alati havu- ja koivupölyn hetkellisen suhteen mukaan.

9.2 Palamisilmantarve

Polttoaineen palamiseen tarvittava ilmamäärä voidaan laskea, kun tiedetään polttoaineen koostumus sekä palamisreaktiot. Ilmamäärän selvittäminen on tärkeää, jotta palaminen tapahtuu täydellisesti. Tutkimalla savukaasun jäännöshapen määrää, saadaan selville onko laskennallinen ilmamäärä laskettu oikein. (Huhtinen ym. 2000, 83)

Polttoaineiden palavat komponentit ovat hiili (C), vety (H₂) ja rikki (S). Palamisilmantarvetta laskiessa on tärkeää selvittää kuinka paljon kyseiset komponentit tarvitsevat palamiseen happea. Palamisreaktiot komponenteille ovat



Palamisilmantarve lasketaan yleensä yhtä polttoainekiloa kohti. (Mts. 84)

Koivulle ja havupuulle laskut löytyvät liitteistä 6 ja 7. Koivun palamisilmantarpeeksi saapumistilassa saatiin 4,178 m³/kgpa ja havupuulle 4,389 m³/kgpa. Havu- ja koivupölyn sekapoltoissa palamisilmantarve voidaan laskea havupuun ja koivun palamisilmantarpeiden keskiarvona eli

$$\frac{(4,178 + 4,389) \text{ m}^3/\text{kgpa}}{2} = 4,284 \text{ m}^3/\text{kgpa}.$$

10 Pölypolton laskennalliset arvot

Kattilan tehonkasvua voidaan selvittää vertaamalla vanhaa yhden polttimen järjestelmää uuteen kahden polttimen järjestelmään. Kahden polttimen järjestelmää tarkastellaan sekä nykyisen kuljetinjärjestelmän että ehdotetun uuden siirtolinjan tapauksissa.

10.1 Yhden polttimen järjestelmä

10.1.1 Teho

Vanha yhden polttimen järjestelmä poltti vuorotellen havu-koivupölyä ja koivupuraa. Tarkkoja arvoja polttoaineen määristä tai suhteista ei ole. Voimalaitoksen käyttö- ja huoltohenkilökunnan arvion mukaan pölypolton osuus on noin 3-4 MW kattilan 26 MW:n tehosta. Pölypolton osuus kattilan tehosta on siis 11,5–15,4 %, mikä on suhteellisen pieni osa, mutta välttämätön kattilan maksimikuorman saavuttamiseksi.

Arinakattilan hyötysuhde on 87 %, jolloin pölypolton polttoainetehoksi saadaan

$$\frac{3MW}{0,87} = 3,4 M \text{ ja } \frac{4 MW}{0,87} = 4,6 MW$$

eli 3,4–4,6 MW (12240–16560 MJ/h). Koska pöly purkautuu siilosta hiukan huonommin kuin puru, tehdään karkea oletus havupölyn siilosta tulevan polttoaineen tehoksi 3,4 MW ja koivupurun siilosta tulevan polttoaineen tehoksi 4,6 MW.

10.1.2 Polttoaineen todellinen tilavuusvirta

Havu-koivupölylle halutaan tietää tehoa vastaava polttoaineen tilavuusvirta (m^3/h). Tähän päästään hyödyntämällä aiemmin määritettyä havu-koivuseoksen saapumistilan lämpöarvoa (MJ/kg) ja pölyn irtotiheyttä ($kg/i-m^3$). Massavirraksi saadaan

$$\frac{12240MJ/h}{16,82 MJ/kg} = 727,705 kg/h$$

ja edelleen tilavuusvirraksi

$$\frac{727,705 kg/h}{270 kg/i - m^3} = 2,695 i - m^3/h$$

Havunpölyn siilon laitteiden todellinen tilavuusvirta on näin ollen noin 2,7 m³/h.

Tämä vastaa 34 %:a purkaimen teoreettisesta tilavuusvirrasta, mikä kertoo huomattavan paljon pölyn vaikeasta purettavuudesta.

Koivupurulle voidaan tehdä vastaavat laskut käyttäen koivun saapumistilan lämpöarvoa (MJ/kg) ja purun irtotiheyttä (kg/i-m³). Massavirraksi saadaan

$$\frac{16560 \text{ MJ/h}}{16,51 \text{ MJ/kg}} = 1003,028 \text{ kg/h}$$

ja edelleen tilavuusvirraksi

$$\frac{1003,028 \text{ kg/h}}{300 \text{ kg/i} - \text{m}^3} = 3,343 \text{ i} - \text{m}^3/\text{h}$$

Koivupurun siilon laitteiden todellinen tilavuusvirta on näin ollen noin 3,3 m³/h.

Tämä vastaa 42 % siilon purkaimen teoreettisesta tilavuusvirrasta, mikä on parempi kuin pölylle mutta silti suhteellisen alhainen, mikä kertoo myös purun vaikeasta purettavuudesta.

10.1.3 Palamisilmantarve

Polttimelle tuleva havu-koivupöly (727,705 kg/h) vaatii palamisilmaa 4,284 m³/kgpa eli palamisilmaa tarvitaan

$$727,705 \text{ kg/h} \cdot 4,284 \text{ m}^3/\text{kgpa} = 3117,488 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Havupölyn korkeapainepuhallin syöttää kattilaan täydellä teholla 1456 m³/h (kts. luku 5.4). Erotuksena saatava jäljelle jäävä palamisilmantarve on siis noin 1661 m³/h, joka tulisi saada sekundääri-ilmanpuhaltimelta.

Polttimelle tuleva koivupuru (1003,028 kg/h) vaatii palamiseen 4,178 m³/kgpa eli palamisilmaa tarvitaan

$$1003,028 \text{ kg/h} \cdot 4,178 \text{ m}^3/\text{kgpa} = 4190,651 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Koivupurun korkeapainepuhallin syöttää kattilaan myöskin täydellä teholla 1456 m³/h (kts. luku 5.4). Erotuksena saatava jäljelle jäävä palamisilmantarve on siis noin 2735 m³/h, joka tulisi saada sekundääri-ilmanpuhaltimelta.

Sekundääri-ilmanpuhallin pystyy syöttämään pölypoltolle 2171 m³/h (kts. luku 8). Palamisilmaa tarvitaan etenkin koivupurua poltettaessa enemmän kuin sitä on pölypolttimelle määritelty, mikä vaikuttaa polttoaineen täydelliseen palamiseen. Palamisilman määrää kattilaan voidaan kuitenkin hienosäätää vielä voimalaitoksen valvomosta, jotta täydellinen palaminen saadaan aikaan. Palaminen on täydellistä kun savukaasuissa on jäännöshappea. Jäännöshapen mittaustulos on näkyvissä valvomon näytöllä, joten palamisilman säätäminen kohdilleen on helppo tehdä seuraamalla jäännöshapen määrää säädön aikana.

10.2 Kahden polttimen järjestelmä

10.2.1 Teho

Nykyinen kahden polttimen järjestelmä vastaa hyvin paljon yhden polttimen järjestelmän havu-koivupölyn polttoa, 3 MW. Hetkittäin pystytään myös ajamaan rinnalla koivupurun polttoa, jolloin pölypoltosta voidaan saada jopa 3 MW+ 4 MW = 7 MW irti. Pölypolton teho on tällöin 27 % kattilan tehosta (26 MW). Pölypolton teholuokemat ovat edelleen voimalaitoksen käyttö- ja huoltohenkilökunnan arvioiden pohjalta saatuja ja suuntaa antavia.

10.2.2 Palamisilmantarve

Molempien polttimien ollessa käytössä 100 % syötöllä, on hyvä tarkastella pölypolton vaatimaa palamisen ilmamäärää. Yhden polttimen järjestelmän pohjalta saadaan kahden polttimen palamisilmantarpeen summaksi

$$3117,488 \text{ m}^3/\text{h} + 4190,651 \text{ m}^3/\text{h} = 7308,139 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Polttoainelinjojen korkeapainepuhaltimien yhteenlaskettu syöttöilmamäärä on täydellä teholla 2912 m³/h. Palamisilmaa tarvitaan vielä 4396 m³/h. Sekundääri-ilmasta saatava osuus (2171 m³/h) ei riitä kattamaan edes puolta tästä tarpeesta. Jotta sekundääri-ilman osuus kattaisi palamisilmantarpeen, tulisi osuuden olla 8 %:n sijaan

$$\frac{4395 \text{ m}^3/\text{h}}{27142 \text{ m}^3/\text{h}} \cdot 100\% = 16,2\%$$

eli noin kaksinkertainen.

10.3 Kahden polttimen järjestelmä – uusi siirtolinja

10.3.1 Teho

Uusi siirtolinja muuttaisi polttoainejakoa polttimien kesken. Vanhempi poltin polttaisi vain havupölyä ja uusi poltin koivupurun ja koivupölyn sekoitusta. Havupölyä pystyttäisiin syöttämään 727,705 kg/h ja havupölyn lämpöarvon ollessa saapumistilassa 17,13 MJ/kg, havupölyn polttoainetehoksi saataisiin

$$727,705 \text{ kg/h} \cdot 17,13 \text{ MJ/kg} = 12466 \text{ MJ/h} = 3,5 \text{ MW}.$$

Koivupurun ja -pölyn sekoitusta voitaisiin syöttää uudelle polttimelle 1003,028 kg/h ja koivun lämpöarvon ollessa saapumistilassa 16,51 MJ/kg, koivupurun ja -pölyn polttoainetehoksi saataisiin

$$1003,028 \text{ kg/h} \cdot 16,51 \text{ MJ/kg} = 16560 \text{ MJ/h} = 4,6 \text{ MW}.$$

Polttoaineiden yhteenlaskettu teho olisi 3,5 MW + 4,6 MW = 8,1 MW. Kattila kykenisi hyödyntämään polttoaineen tehosta 87 % eli noin 7 MW. Se muodostaisi 27 % kattilan kokonaistehosta (26 MW).

Teholtaan järjestelmä ei eroaisi merkittävästi nykyisestä kahden polttimen järjestelmästä, mutta uusi siirtolinja parantaisi kuljetinjärjestelmän tasaisemman kuormituksen ja mahdollistaisi uuden polttimen paremman käyttösuhteen.

10.3.2 Palamisilmantarve

Vanhalle polttimelle tuleva havupöly (727,705 kg/h) vaatisi palamisilmaa 4,389 m³/kgpa eli palamisilmaa tarvittaisiin

$$727,705 \text{ kg/h} \cdot 4,389 \text{ m}^3/\text{kgpa} = 3193,897 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Uudelle polttimelle tuleva koivupuru ja -pöly (1003,028 kg/h) vaatisivat palamisilmaa 4,178 m³/kgpa eli palamisilmaa tarvittaisiin

$$1003,028 \text{ kg/h} \cdot 4,178 \text{ m}^3/\text{kgpa} = 4190,651 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Yhteenlaskettuna palamisilmaa tarvitaan pölypolttimille

$$3193,897 \text{ m}^3/\text{h} + 4190,651 \text{ m}^3/\text{h} = 7384,548 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Polttoainelinjojen korkeapainepuhaltimien yhteenlaskettu syöttöilmamäärä on 2912 m³/h. Palamisilmaa tarvittaisiin vielä 4473 m³/h. Sekundääri-ilmalla tästä kyetään kattamaan 2171 m³/h, joka ei ole kuitenkaan edes puolta tarvitusta ilmamäärästä. Jotta sekundääri-ilman osuus kattaisi palamisilmantarpeen, tulisi osuuden olla 8 %:n sijaan

$$\frac{4473 \text{ m}^3/\text{h}}{27142 \text{ m}^3/\text{h}} \cdot 100\% = 16,5\%$$

eli hiukan yli kaksinkertainen nykyiseen verrattuna.

Ero nykyisen kahden polttimen järjestelmän ja mahdollisen uuden siirtolinjan järjestelmän välillä palamisilman kannalta on hyvin pieni, vain 77 m³/h.

11 Arinakattilan kunnon seuranta

Kuten pölypolton tehoja laskiessa ilmeni, pölypolton osuus kattilan kokonaistehosta oli yhden polttimen järjestelmässä 11,5–15,4 % ja kahden polttimen järjestelmässä täydellä teholla poltettaessa 27 %. Pölypoltto muodostaa siis parhaimmillaankin vain neljäsosan kattilan kokonaistehosta.

Mikäli pölypoltolla päästään ajamaan täyttä kuormaa eli molemmat polttimet olisivat käytössä maksimikuormalla pitkäjaksoisesti, on mahdollista että polttimien läheisyydessä havaitaan muutoksia edeltävään yhden polttimen järjestelmään verrattuna. Vaikka kattila on mitoitettu suuremmille pölypolton tehoille kuin tähän mennessä on ollut käytössä, on aina tarpeellista kartoittaa mahdolliset riskit. Muutoksia yhden polttimen järjestelmään verrattuna saattaisi tulla arinakattilan tulipesän muuraukseen, mittalaitteiden käyttöikään sekä lentotuhkan määrään.

Tulipesän muurauksia uusitaan kattilassa joka kesä vuosihuollon yhteydessä. Etenkin pölypolttimen ympärillä oleva muuraus murenee vuoden aikana. Mikäli kahden polttimen järjestelmää aletaan ajaa täydellä teholla jatkuvasti, muuraus joutuu vielä suuremmille kuormituksille. Muutoksia muurauksen kunnossa tulee seurata tarkoin, mikäli polttimia käytetään täydellä teholla jatkuvasti, jotta mahdollisiin muurauksessa ilmeviin ongelmiin voidaan puuttua ajoissa. Muurauksen kestävyyttä voidaan parantaa puhaltamalla polttoaine pidemmälle tulipesään. Tämä saadaan aikaiseksi lisäämällä palamisilman virtausta, mikä on osoitettu välttämättömäksi myös pölypolton palamisilmantarvelaskuissa.

Tulipesään on sijoitettu mittalaitteita tulipesän lämpötilan ja paineen tarkkailua varten. Mikäli laitteita sijaitsee lähellä pölypolton palovyöhykettä, saattavat laitteet kokea pölypolton tehonnoston myötä suurempia lämpökuormia. Laitteiden toiminnassa saattaa ilmetä häiriöitä tai vioittumista. Altistuminen suuremmille lämpökuormille ei välttämättä vioita laitteita välittömästi, mutta voi lyhentää mittalaitteiden käyttöikää.

Pölypoltossa muodostuu arinapolttoon verrattuna enemmän lentotuhkaa polttoainekiloa kohti, koska purusta ja pölystä muodostunut tuhka päätyy herkemmin savu-

kaasuvirtojen mukaan kuin arinalla palavan polttoaineen tuhka. Purun ja pölyn poltossa syntyy kuitenkin suhteessa vähemmän tuhkaa (0,08 p-% kuiva-aineesta) kuin esimerkiksi männyn kuoren poltosta (1,7 p-% kuiva-aineesta) (Alakangas 2000, 38).

Lentotuhkan määrän kasvu savukaasuvirrassa saattaa aiheuttaa tulipesän yläosaan ja tulistimille myös puutuhkan sintraantumisongelmia. Sintraantumista tapahtuu tuhkan lämpötilan lähestyessä sulamispistettä. Tuhka voi tällöin muodostaa kovan tuhkakerroksen esimerkiksi tulistimen lämmönvaihtopinnalle ja heikentää tulistimen toimintakykyä. (Mts. 37)

Kattilan kunnon seurannassa on tärkeä opastaa käyttö- ja huoltohenkilökuntaa pitämään silmällä mahdollisia muutoksia kattilan toiminnassa. Muurauksen nopea mureneminen, mittalaitteiden vikaantuminen tai muu kattilan normaalista toiminnasta poikkeava käyttäytyminen tulee kirjata ylös ja selvittää onko pölypoltto mahdollisesti aiheuttanut kyseiset ongelmat. Mikäli ongelmiin ei kiinnitetä huomiota, saattaa kattilassa tai sen oheislaitteissa syntyä rakenneaurioita, jotka olisi kyetty välttämään riittävän ajoissa tehdyillä korjauksilla.

12 Tulosten pohdinta ja ehdotetut jatkotoimenpiteet

Purun ja pölyn kuljetinlaitteiden laiteselvitystä ei kyetty tekemään kattavaksi koivupölyn siilonpurkaimen, jakoruuvin ja korkeapainelinjan sulkusyöttimen puutteellisten laitetietojen vuoksi. Mikäli koivupölyn korkeapainelinja tullaan tulevaisuudessa ottamaan uudelleen käyttöön, tulisi linjalle tehdä pussituskoee tilavuusvirran määrittämiseksi.

Polttoaineen tilavuusvirtojen mittalaitteet olisi suositeltavaa sijoittaa havupölyn ja koivupurun korkeapainelinjoihin. Mittaustulosten avulla voitaisiin selvittää pölypolton todellinen polttoaineen tilavuusvirta ja polttoaineteho. Ajantasaiset lukemat tilavuusvirtojen mittalaitteilta olisi hyvä saada voimalaitoksen valvomon näytölle ja niihin yhdistettyä alarajahälytys. Esimerkiksi pölyn holvautuessa siiloon ja pölynsyötön katketessa, valvomoon tulisi tällöin hälytys ja huoltotoimenpiteet saataisiin nopeammin aloitettua. Tällä hetkellä polttoainesyötön katkeamisen voi huomata vain pölypoltinta ennen olevasta korkeapainelinjan putken kurkistuslasista ja arinapolton hitaasti lisääntyvästä polttoainesyötöstä sekä jäännöshapessa tapahtuvasta pienestä muutoksesta. Mikäli valvomotyöntekijä ei huomaa pölypolton polttoainevirran katkeamista, saattavat siilot täyttyä ja kattilan teho laskea.

Uusi koivupölyn siirtolinja koivupurun siiloon toisi ehdottomasti parannusta polttoaineen kuljetinjärjestelmän kuormitukseen. Uuden linjan aiheuttamat investointikulut olisivat pienet, sillä käytöstä pois otettu koivupölyn korkeapainelinja soveltuisi siirtolinjaksi jatkamalla sitä noin 100 metriä koivupurun siilon vapaana olevalle sykilonille. Uuden linjan käyttöönoton kannalta suurimmaksi haasteeksi muodostuu pölyn varastointi- ja kuljetinlaitteilta vaadittava ATEX-luokitus, jota purusiilolla ei ole. ATEX-luokituksen päivitys purusiilolle ja kuljetinlaitteille saattaa aiheuttaa kuluja.

Käyntivarmuuden kannalta uuden koivupölyn siirtolinjan rakentaminen olisi hyvin suositeltavaa. Jos toinen koivupurun tai havupölyn kuljetinjärjestelmistä vaatisi huoltoa tai korjaustoimenpiteitä, toinen järjestelmä takaisi edelleen riittävän polttoaineen saannin kattilalle. Nykyinen kuljetinjärjestelmä ei sitä takaa, mikäli havupölyn syöttö ei toimi, sillä koivupuru ei riitä yksinään kattilan maksimitehon ylläpitoon.

Laiteselvitysten ja tilavuusvirtamäärittelysten pohjalta voidaan todeta pölyn ja purun vaikea purettavuus siloista. Silojen purkamista voisi parantaa esimerkiksi erilaisella purkaimella tai siiloon asetetulla täryttimellä. Tällöin siilossa oleva puru tai pöly purkautuisi paremmin, siilo tyhjenisi nopeammin ja polttoaineen tilavuusvirta kasvaisi. Mikäli tämä olisi ollut tiedossa jo ennen toisen polttimen suunnittelua ja asennusta, olisi voitu harkita erilaista lähestymistapaa pölypolton lisäämiselle. Kuljetinjärjestelmä on mitoitettu paljon suuremmille polttoainevirroille kuin siloista kyetään tällä hetkellä purkamaan.

Kahden pölypolttimen yhtäaikainen käyttö vaatisi enemmän palamisilmaa kuin nykyisillä laitteilla ja asetuksilla kattilaan ajetaan. Pölypolttimen palamisilman osuus sekundääri-ilmasta tulisi kasvattaa nykyisestä 8%:sta vähintään 16%:tiin, jotta palaminen olisi täydellistä. Pölypolton ilmantarve sekundääri-ilmasta polttimien yhtäaikaisella käytöllä on noin 4500 m³/h.

Pölypolttojärjestelmälle tehdyt laskelmat nojautuvat suurelta osin pölypolton arvioituihin tehoarvoihin. Laskelmia voidaan käytännössä kutsua suuntaa antaviksi. Tarkemmat laskut polttoainevirrälle ja pölypolton teholle voitaisiin toteuttaa mikäli havupölyn ja koivupurun korkeapainelinjojen tarkat tilavuusvirrat tiedettäisiin.

Laiteselvityksistä tullaan kokoamaan erillinen raportti vaneritehtaan kunnossapidolle. Työn muita tuloksia ja havaintoja voidaan hyödyntää voimalaitoksissa, joissa pohditaan pölypolton käyttöä arinapolton rinnalla. Opinnäytetyön aihe on hyvä esimerkki tavoitteista päästä polttamaan kattilassa monenlaisia polttoaineita hyödyntäen erilaisia polttoprosesseja.

Lähteet

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien pottoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT.

ATEX – Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. 2015. Turvallisuus- ja

kemikaaliviraston (Tukes) laatima opas. Viitattu: 20.04.2016.

http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/ATEX_opas.pdf

ATEX-starttipaketti pk-yrityksille. 2012. Työterveyslaitos: ATEX-foorumi. Viitattu:

20.4.2016.

http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/atex/Documents/atex_starttipaketti.pdf

Bhatia, A. Pneumatic Conveying Systems. New York: CED Engineering Oy. Viitattu:

3.2.2016.

<https://www.cedengineering.com/userfiles/Pneumatic%20Conveying%20Systems.pdf>

f

Blackmore, I. & Bradley, M. A Practical Guide to Rotary Valves. Viitattu: 24.2.2016.

http://www.rotaval.co.uk/uploads/technical_papers/A_Practical_Guide_to_Rotary_Valves.pdf

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000.

Höyrykattilatekniikka. Opetushallitus.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka.

Helsinki: Opetushallitus.

Keskinen, R. & Niemi, P. 2011. Pölynerotuslaitteet. Valuatlas & Tampereen

ammattiopisto. Viitattu: 9.3.2016.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_kaavausaineet_34.pdf

Käyttöohjeistelmä. 1999. Standard-Kessel kattilavalmistajan teettämä käyttöohje voimalaitokselle.

Pneumatic Conveying and Carrying Velocities. Engineering Toolbox. Viitattu

29.4.2016. http://www.engineeringtoolbox.com/pneumatic-solids-transport-d_134.html

Screw conveyor catalogue and engineering manual. 1986. Katalogi SC 100/86E.

Quebec: Continental Conveyor & Machine Works Ltd. Viitattu 24.2.2016.

http://www.continentalconveyor.ca/images/product_pdf/Screw_Conveyor_Catalogue.pdf

Liitteet

Liite 1. Laitetiedot – Koivupöly

Koivupölyn siilo	
Korkeus (m)	7,5
Halkaisija (m)	4

Koivupölyn purkain	
-	-

Koivupölyn jakoruuvi	
-	-

Koivupölyn jakoruuvin moottori	
Valmistaja	Nord
Malli	SK 22 – 90 S/4
Gear ratio	42,82 M1
Nopeus (rpm)	33
Max vääntö (Nm)	285

Koivupölyn sulkusyötin siirtolinjaan	
Valmistaja	Dantherm
Malli	NRSZ 4-32 St1-2
Sarjanumero	74004.032
Tilavuusvirta (m ³ /h)	80
Moottori (kW)	0,75
Paino (kg)	69

Koivupölyn siirtopuhallin	
Valmistaja	Nordfab
Malli	T0.40-250/D RDO
Teho (kW)	12,9
Kierrosnopeus (rpm/rpm-max)	3000/3500
Tilavuusvirta (Nm ³ /h)	4500
Paine-ero Δp (mbar)	1013

Koivupölyn sulkusyötin korkeapainelinjaan	
Valmistaja	Matador Tampere
Malli	200LUE
Valmistusvuosi	1983

Koivupölyn kp-linjan sulkusyöttimen moottori	
Valmistaja	ASEA
Malli	UABF 248
Kierrosnopeus (rpm _{in} /rpm _{out})	1410/36

Koivupölyn korkeapainepuhallin	
Valmistaja	Aerzen
Malli	GMA 12.5
Teho (kW)	22,7
Kierrosnopeus (rpm)	2940
Tilavuusvirta (m ³ /h)	878
Paine-ero Δp (mbar)	800

Koivupölyn korkeapainepuhaltimen moottori	
Valmistaja	VEM
Malli	KPER 160 MX2
Teho (kW)	15
cos φ	0,90
Δ/Y (V)	380/660
I (A)	28,5/16,5
Kierrosnopeus (rpm)	2920
Käyttötaajuus (Hz)	50
Paino (kg)	118

Liite 2. Laitetiedot – Koivupuru

Koivupurun siilo	
Korkeus (m)	9
Halkaisija (m)	4

Koivupurun purkain	
Valmistaja	WEISS
Malli	NFU 600/16
Tilavuusvirta (m ³ /h)	1,9–7,9
Moottori (kW)	0,37–1,5
Paino (kg)	30

Koivupurun sulkusyötin	
Valmistaja	Laitex
Malli	LSS 400
Syötinosan pituus (mm)	400
Syöttöaukon leveys (mm)	315
Roottorin lokerot (kpl)	8
Tilavuusvirta (m ³ /h)	30
Teho (kW)	1,5
Paino (kg)	330

Koivupurun sulkusyöttimen moottori	
Valmistaja	SEW
Malli	FAF DV100M4
Teho (kW)	2,2
Kierrosnopeus (rpm)	29

Koivupurun korkeapainepuhallin	
Valmistaja	Roots
Malli	U-RAI DSL 59
Kierrosnopeus (max-rpm)	2850
Tilavuusvirta (m ³ /h)	1456
Paine-ero Δp (mbar)	483
Paino (kg)	95

Liite 3. Laitetiedot – Havupöly

Havupölyn siilo	
Korkeus (m)	6
Halkaisija (m)	5

Havupölyn purkain	
Valmistaja	WEISS
Malli	NFU 600/8
Tilavuusvirta (m ³ /h)	1,9–7,9
Moottori (kW)	0,37–1,5
Paino (kg)	30

Havupölyn sulkusyötin	
Valmistaja	Laitex
Malli	LSS 315
Syötinosan pituus (mm)	315
Syöttöaukon leveys (mm)	250
Roottorin lokerot (kpl)	8
Tilavuusvirta (m ³ /h)	13
Teho (kW)	1,1
Paino (kg)	245

Havupölyn korkeapainepuhallin	
Valmistaja	Roots
Malli	U-RAI M 59
Kierrosnopeus (max-rpm)	2850
Tilavuusvirta (m ³ /h)	1456
Paine-ero Δp (mbar)	483
Paino (kg)	95

Liite 4. Vaaranarvioinnin päivitys



1.2.2016

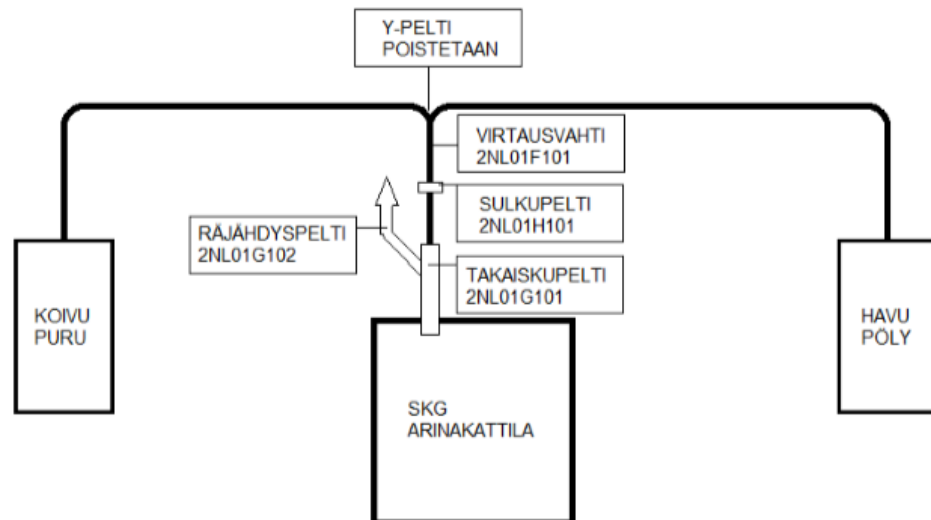
VAARANARVIOININ PÄIVITYS

Vaaranarvioinnin päivityksen kohteena on toisen pölypolttimen lisääminen Kumpuniemen Voiman Arinakattilaan.

Lähtötilanne

Kattilassa yksi pölypoltin johon on mahdollista ajaa joko tehtaiden hiomapöly tai vaihtoehtoisesti koivutehtaan puru. Molemmilla polttolinjoilla on samanlaiset lukitukset kantoilman paineesta ja kattilan turvalogiikan ” poltto seis”- lukituksista. Poltinkohtaisesti lukituksia tulee virtausvahdilta (nopeus oltava yli 18m/s) ja polttimen takaiskupeltien rajoilta.

Linjat on yhdistetty Y- jakopellillä kattilahuoneessa

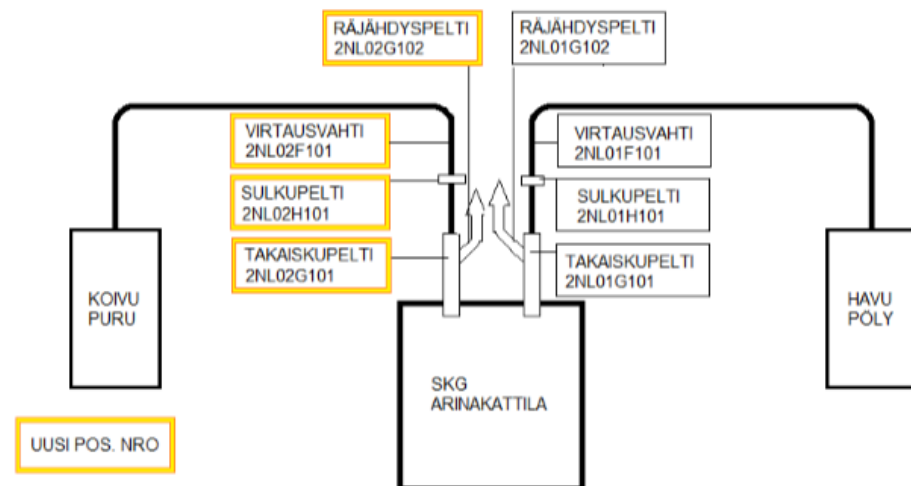


Muutokset

Y- jakopelti 2NL01H102 ja pellin rajatiedot 2NL01_X100 / 2NL02_X100 poistetaan. Myös sulkupellit ennen Y – jakopeltiä poistetaan rajatietoineen. Polttinlinjastot eriytetään niin, että ne jatkuvat omia linjoinaan omille polttimilleen. Alkuperäistä yhden polttimen laitteistoa suunniteltaessa kiinnitettiin huomiota riskeihin, joita aiheutuu kahden erillisen laitteiston yhdistämisestä. Muutoksessa nämä pieniksi arvioidut riskit poistuvat.

Kattilaan lisätään toinen pölypolttin, johon tullaan syöttämään koivun puru jo olemassa olevalla syöttölinjalla. Kaikki kattilahuoneen ulkopuolelle jäävät laitteistot ja lukitukset jäävät ennalleen. Uuteen polttimeen lisätään takaiskupeltien rajat ja virtausvahti. Tiedot näistä viedään kattilan turvalogiikkaan. Uudet lukitustoiminnot rakennetaan toiminnaltaan vastaaviksi kun vanhassa polttimessa. Polttimelle lisätään vastaava kameravalvonta kuin vanhalla polttimella.

Vanha pölypolttin jää ennalleen polttamaan havutehtaan hiomapölyä. Lukitukset säilyvät ennallaan, ainoastaan takaiskupeltien rajatietojen 2NL01G101 ja 2NL01G102 vaikutus koivun purunpolttoon poistetaan. Samoin havulinjan virtausvahdin vaikutus koivunpurun polttoon poistetaan.



Liite 5. Pölyn irtotiheysmittaus

Irtotonaininen pöly			Tiivistetty pöly		
purkki	97,20	g	purkki	43,73	g
purkki ja näyte	110,88	g	purkki ja näyte	57,25	g
näyte	13,68	g	näyte	13,52	g
	0,01368	kg		0,01352	kg
näytteen tilavuus	110	ml	näytteen tilavuus	50	ml
	0,00011	m ³		0,00005	m ³
irtotiheys	124	kg/m ³	irtotiheys	270	kg/m ³

$$\text{irtotiheys (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{näytteen massa (kg)}}{\text{näytteen tilavuus (m}^3\text{)}}$$

Mittalaitteet

- Vaaka: KERN & SOHN GmbH KBJ 650-2NM
- Mitta-astiat:
 - o irtonainen pöly, 500 ml muovinen mitta-astia, luentavirhe ± 5 ml
 - o tiivistetty pöly, 100 ml metallinen mitta-astia, luentavirhe ± 5 ml

Liite 6. Koivun palamisilman laskut

Palamisilman laskut toteutettiin 1 kg:lle koivua saapumistilassaan (kosteus 10 p-%).

Komponentti	Pitoisuus kuiva-ai- neessa (p-%)	Pitoisuus saapumisti- lassa (p-%)	Massa (g)	Mooli- massa (g/mol)	aine- määrä (mol)	O ₂ -tarve (mol)
C	50,970	45,873	458,730	12,011	38,192	38,192
H ₂	5,860	5,274	52,740	2,016	26,161	13,080
N ₂	0,120	0,108	1,080	28,013	0,039	0,000
O ₂	43,041	38,737	387,369	31,990	12,109	-12,109
S	0,009	0,008	0,081	32,066	0,003	0,003
H ₂ O	0,000	10,000	100,000			
Yhteensä	100,000	100,000	1000,000			39,166

O₂-tarve on näin ollen 39,166 mol. Ilman happipitoisuus on 21 %, jolloin ilmantarve on

$$\frac{O_2\text{-tarve}}{21\%} = \frac{39,166 \text{ mol}}{0,21} = 186,505 \text{ mol}.$$

Ilman molekyylipaino on 28,96 g/mol, jolloin tarvittavan ilmamäärän massa on

$$186,505 \text{ mol} \cdot 28,96 \text{ g/mol} = 5401,185 \text{ g} = 5,401 \text{ kg}.$$

Ilman moolitilavuus on 22,40 l/mol, jolloin tarvittava ilmamäärä on

$$186,505 \text{ mol} \cdot 22,40 \text{ l/mol} = 4177,712 \text{ l} = 4,178 \text{ m}^3.$$

Liite 7. Havupuun palamisilman laskut

Palamisilman laskut toteutettiin 1 kg:lle havupuuta saapumistilassaan (kosteus 10 p-%).

Komponentti	Pitoisuus kuiva-ainessa (p-%)	Pitoisuus saapumistilassa (p-%)	Massa (g)	Moolimassa (g/mol)	ainemäärä (mol)	O ₂ -tarve (mol)
C	52,340	47,106	471,060	12,011	39,219	39,219
H ₂	6,090	5,481	54,810	2,016	27,188	13,594
N ₂	0,080	0,072	0,720	28,013	0,026	0,000
O ₂	41,478	37,331	373,306	31,990	11,669	-11,669
S	0,012	0,010	0,104	32,066	0,003	0,003
H ₂ O	0,000	10,000	100,000			
yht	100,000	100,000	1000,000			41,147

O₂-tarve on näin ollen 41,147 mol. Ilman happipitoisuus on 21%, jolloin ilmantarve on

$$\frac{O_2\text{-tarve}}{21\%} = \frac{41,147 \text{ mol}}{0,21} = 195,938 \text{ mol.}$$

Ilman molekyylipaino on 28,96 g/mol, jolloin tarvittavan ilmamäärän massa on

$$195,938 \text{ mol} \cdot 28,96 \text{ g/mol} = 5674,364 \text{ g} = 5,674 \text{ kg.}$$

Ilman moolitilavuus on 22,40 l/mol, jolloin tarvittava ilmamäärä on

$$195,938 \text{ mol} \cdot 22,40 \text{ l/mol} = 4389,011 \text{ l} = 4,389 \text{ m}^3.$$