



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

KRISTIAN KLANKKI

Kuparirikasteen kuivauksen pölyn- suodatuksen tehostus

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2023

Tekijä(t) Klankki, Kristian	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä huhtikuu 2023
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Kuparirikasteen kuivauksen pölynsuodatuksen tehostus		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tarkoituksen oli selvittää Boliden Harjavallan kuparirikasteen kuivauksen hiukkaspäästöjä suodattavan letkusuodattimen toiminta ja kuinka sitä voitaisiin tehostaa. Tavoite oli vähentää hiukkaspäästöjä, suodattimien vaihdosta aiheutuvia tuotantokatkoja sekä kunnossapitokustannuksia. Mahdollisen esisuodattimen liittämistä järjestelmään oli tarkoitus myös selvittää. Teoriaosuudessa käytiin läpi Boliden Harjavallan kuparituotannon prosessi pääpiirteittäin, hieman tarkemmin kuparirikasteen kuivaus ja siitä aiheutuvat päästöt, sekä vertailtiin pölynsuodatusjärjestelmiä. Tutkimukset aloitettiin selvittämällä poistokaasussa olevan pölyn ominaisuudet ja tarkastelemalla saatujen tulosten perusteella sopivinta suodatinmateriaalia yhdessä suodatinmateriaalin toimittajan kanssa. Tarkasteltiin myös kuparirikasteen kuivaimen keskeisimmät ajoparametrit ja niiden vaikutus hiukkaspäästöihin. Selvitettiin suodattimien puhdistukseen käytettävän paineilman laatu ja tarkasteltiin paineilmapuhdistusjärjestelmän toimivuutta. Tutkittiin myös suodatinta visuaalisesti sekä ulko- että sisäpuolelta. Vaihtoehtoinen ja huomattavasti halvempi suodatinmateriaali löydettiin. Tätä on jo 4 kuukauden ajan koekäytetty positiivisin tuloksin. Kehitys ja parannusehdotuksia on löydetty keskusteluissa asianosaisten ja suodatinlaitteistoja toimittavien yritysten edustajien kanssa.		
Avainsanat Hiukkaspäästöt, pölynsidonta, kuparimalmit		

Author(s) Klankki, Kristian	Type of Publication Bachelor's thesis	Date April 2023
	Number of pages 41	Language of publication: Finnish
Title of publication Improving the dust filtration of copper concentrate drying		
Degree programme Mechanical engineering		
Abstract The purpose of this thesis was to investigate the function of a baghouse filter that filters particle emissions from the drying of Boliden Harjavalta copper concentrate and how it could be made more efficient. The aim was to reduce particulate emissions, production breaks caused by filter replacement and maintenance costs. It was also planned to investigate the addition of a possible pre-filter to the system. In the theory section, we went through the process of copper production in Boliden Harjavalta in outline, a little more detail about the drying of copper concentrate and the emissions caused by it and compared dust filtration systems. The investigations began by determining the properties of the dust in the off-gas and based on the results obtained, by reviewing the most appropriate filter material together with the supplier of the filter material. The key operating parameters of the copper concentrate dryer and their effect on particulate emissions were also examined. The quality of the compressed air used to clean the filters was investigated and the functionality of the compressed air purification system was examined. We also examined the filter visually from both the outside and the inside. An alternative and significantly cheaper filter material was discovered. This alternative material has already been tested for 4 months with positive results. Development and suggestions for improvement have been found in discussions with interested parties and representatives of companies supplying filtering equipment.		
Keywords Particulate emissions, dust binding, copper ores		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 BOLIDEN HARJAVALTA OY	6
3 KUPARITUOTANTO	7
4 KUPARIRIKASTEEN KUIVAUS.....	10
4.1 Kuivain.....	10
4.2 Pölynerotus	12
4.3 Päästötilanteet.....	13
5 PÖLYNSUODATUSJÄRJESTELMIEN VERTAILU.....	15
5.1 Dynaamiset erottimet.....	17
5.1.1 Sykloni	17
5.1.2 Laskeutumiskammio	18
5.1.3 Lamellierotin	18
5.2 Kuitusuodattimet.....	19
5.3 Märkäerottimet	21
5.3.1 Pesutornit	22
5.3.2 Venturipesuri.....	22
5.4 Sähkösuodattimet.....	23
6 TUTKIMUKSET	24
6.1 Pölyn koostumus	24
6.2 Ajoparametrien vaikutus pölypäästöihin	26
6.3 Paineilmapuhdistus	28
6.4 Visuaaliset tutkimukset	30
7 YHTEENVETO.....	32
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Boliden Harjavalta Oy, joka on yksi maailman tehokkaimmista kuparin ja nikkelin tuottajista. Boliden konserni on sitoutunut minimoimaan toiminnastaan aiheutuneet ympäristövaikutukset (Boliden Harjavalta Oy, 2023a).

Kuparirikasteen kuivausprosessista irtoaa kuivaimen poistokaasuun pölyhiukkasia. Ennen poistokaasun johtamista piippuun, siitä poistetaan hiukkasia kuitusuodattimen avulla. Ympäristöluvassa on määritelty kuparirikastekuivaamon hiukkaspäästöjen vuorokausikeskiarvon ylärajaksi 5 mg/Nm³/vrk (Boliden Harjavalta Oy, 2021).

Nykyisellään pölyn-suodatuksessa käytettävä suodatinmateriaali tukkeutuu tai rikkoutuu kolmen kuukauden käytön jälkeen, josta aiheutuu hiukkaspäästöjä ilmaan, sekä tuotantokatkoja ja kunnossapitokustannusten nousua, joiden vähentäminen on tämän opinnäytetyön tavoitteena. Vuonna 2022 kuparirikastekuivaamon piipun hiukkaspitoisuus ylitti vuorokausikohtaisen luparajan 27 kertaa (Boliden Harjavalta Oy, 2023b).

Työssä vertaillaan erilaisia suodatusjärjestelmiä ja keskeisempiä prosessimuuttujia ja niiden vaikutuksia. Työssä arvioidaan myös suodatinmateriaalin sopivuutta pölyn koostumukseen nähden. Opinnäytetyössä esitellään myös pääpiirteittäin Boliden Harjavalta Oy sekä yrityksen kuparituotannon prosessin eri vaiheet.

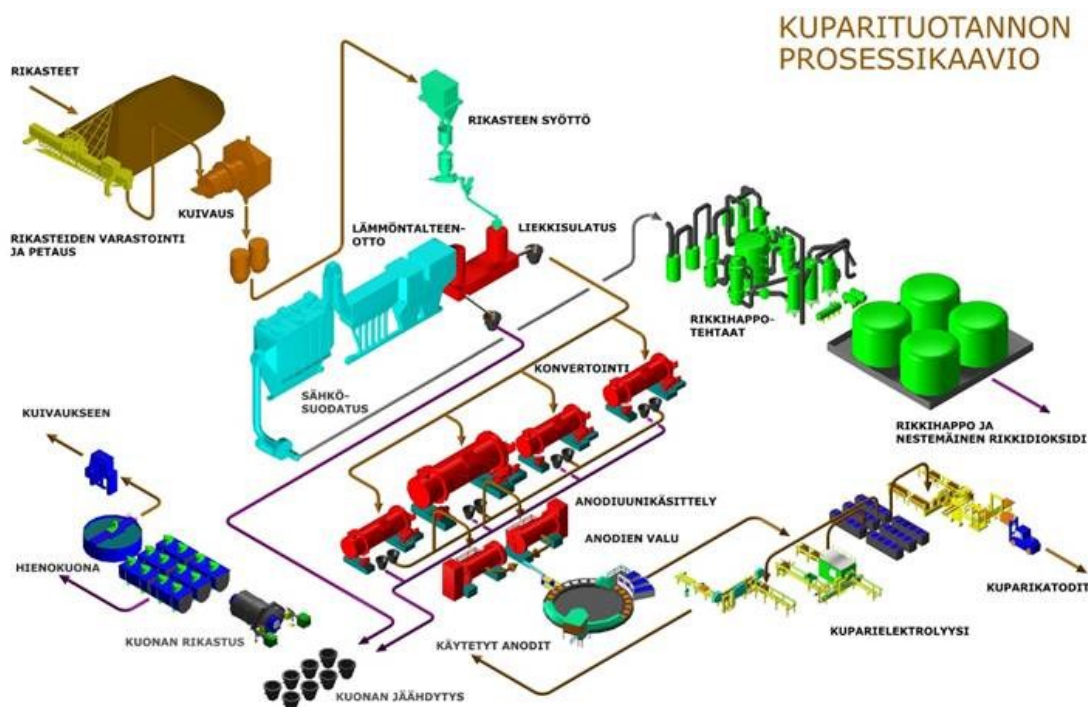
2 BOLIDEN HARJAVALTA OY

Harjavallan sulatto on saanut alkunsa 1940-luvulla, jolloin Outokummun omistuksessa oleva sulatto henkilöstöineen siirrettiin Imatralta Harjavaltaan pois sodan jaloista. Vuonna 2004 yritys siirtyi osaksi Boliden-konsernia. Boliden Harjavallan henkilöstömäärä on noin 550, joka jakaantuu Harjavallan sulaton ja Porin kuparielektrolyysin välillä, jossa työskentelee noin viidesosa koko henkilöstöstä. Koko konsernin henkilöstömäärä on noin 6000 ja liikevaihto 50 miljardia Ruotsin kruunua. Tuotantolaitokset sijaitsevat Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Irlannissa. (Boliden Group, 2022.)

Suomessa sijaitseva Boliden Harjavalta Oy on Satakunnassa toimiva metallinjalostaja, jonka tuotteisiin kuuluu korkealaatuinen kupari ja nikkelikivi. Sivutuotteina valmistuu kultaa, hopeaa ja erilaisia rikkituotteita, kuten rikkihappoa. Nikkelisulatto on ainoa laatuaan koko Länsi-Euroopassa. Harjavallan sulatolla kehitetyn energiatehokkaan liekkisulatusmenetelmän avulla valmistetaan lähes puolet maailman kuparista. Boliden Harjavallan kuparisulaton lopputuote on kuparianodi, joka jatkokäsitellään Porissa kuparielektrolyysissä kuparipitoisuudeltaan 99,998 % kuparikatodiksi. (Boliden Harjavalta Oy, 2020.)

3 KUPARITUOTANTO

Boliden Harjavalta Oy:n monivaiheinen kuparituotanto on kuvattu yksinkertaisesti kuvassa 1.



Kuva 1. Kuparituotannon prosessikaavio (Boliden Harjavalta Oy, 2022).

Eri kaivoksilla tuotettu kuparikaste saapuu Harjavaltaan junalla tai kuorma-autoilla. Rikasteet varastoidaan rikastevarastolla, jossa valmistetaan erilaisista kuparirikasteista syöttöseos kerrostamalla eri rikasteista peti. Kulloinkin saatavilla olevista rikasteista pyritään valmistamaan seos, jonka avulla saadaan liekkiuuniprosessin lämpötila, kiviprosentti ja kaasumäärä pidettyä hallussa. Syöttöseoksella on suora vaikutus niin konvertointiprosessiin ja lopputuotteen laatuun kuin myös happotehtaalle johdettavan rikkipitoisen kaasun määrään. (Johto ym., 2020.)

Syöttöseos kuivataan 7–10 % kosteudesta pyörivässä höyrykuivaimessa aina 0,3 % kosteuteen, jotta seos voidaan syöttää pneumaattisesti liekkisulatusuunin rikastepolttimelle. Kuivaus tehdään myös siksi, että liekkiuunin reaktiokuilussa tapahtuva palotapahtuma on oikeanlainen, eikä energiaa kulu veden

höyrystämiseen. (Johto ym., 2020.) Kuparirikasteen kuivausprosessia käsitellään tarkemmin luvussa 4.

Liekkisulatusuunin reaktiokuilussa tapahtuvassa rikasteen sisältämän rikin ja raudan palamisessa vapautuu prosessissa tarvittava energia. Kun reaktio vapauttaa energiaa kutsutaan prosessia eksotermiseksi. Rikasteseos sulaa palamisreaktiossa vapautuneen energian avulla. Liekkiuunin pohjalla sula materiaali erottuu kahteen kerrokseen, kuonaan ja pohjalle painuvaan kuparikiveen. Sulatusprosessi on jatkuvatoiminen. Uunia tyhjennetään aika ajoin joko kuonasta tai kuparikivestä. (Johto ym., 2020.)

Liekkiuunin pohjalta kuparikivi lasketaan patoihin, joilla se kuljetetaan konverttereihin. Konvertointiprosessi alkaa kuonapuhalluksella, jossa noin 65-prosenttisesta kuparikivestä poistetaan loppu rauta. Seuraavaksi rikkaaksipuhallusvaiheessa poistetaan vielä jäljellä oleva rikki. Tämän jälkeen blisteriksi kutsuttava kupari siirretään anodiuniin, jossa suoritetaan kupariin jääneen hapen poisto propaanilla pelkistämällä. Pelkistuksen jälkeen noin 99-prosenttinen kupari valetaan noin 400-kiloisiksi anodilevyiksi, jotka kuljetetaan junalla Poriin kuparielektrolyysiin. (Johto ym., 2020.)

Konvertointi- ja anodiuniprosessi ovat panosluonteisia. Harjavallan sulatolla on neljä konvertteria, joista aina kolme on ajossa ja yksi muuraushuollossa. Kolme pienempää konvertteria, joihin kuparikiveä mahtuu noin 120 tonnia ja yksi suurempi noin 200 tonnin vetoisuudella. Anodiuneja on kaksi, jotka ovat keskenään identtisiä. Anodiuneihin mahtuu blisterkuparia noin 220 tonnia. (Johto ym., 2020.)

Liekkiuunista tyhjennettävä kuona lasketaan myös patoihin. Nämä padat kuljetetaan patatruckeilla jäähdytykseen ja siitä edelleen murskaukseen. Kuonamurska syötetään kuonarikastamolle, jossa erotellaan vielä suurin osa kuonaan sitoutuneesta kuparista. Rikastamon prosessin jälkeen jäljelle jäävässä kuonassa kuparipitoisuus on alle 0,4 prosenttia. (Johto ym., 2020.)

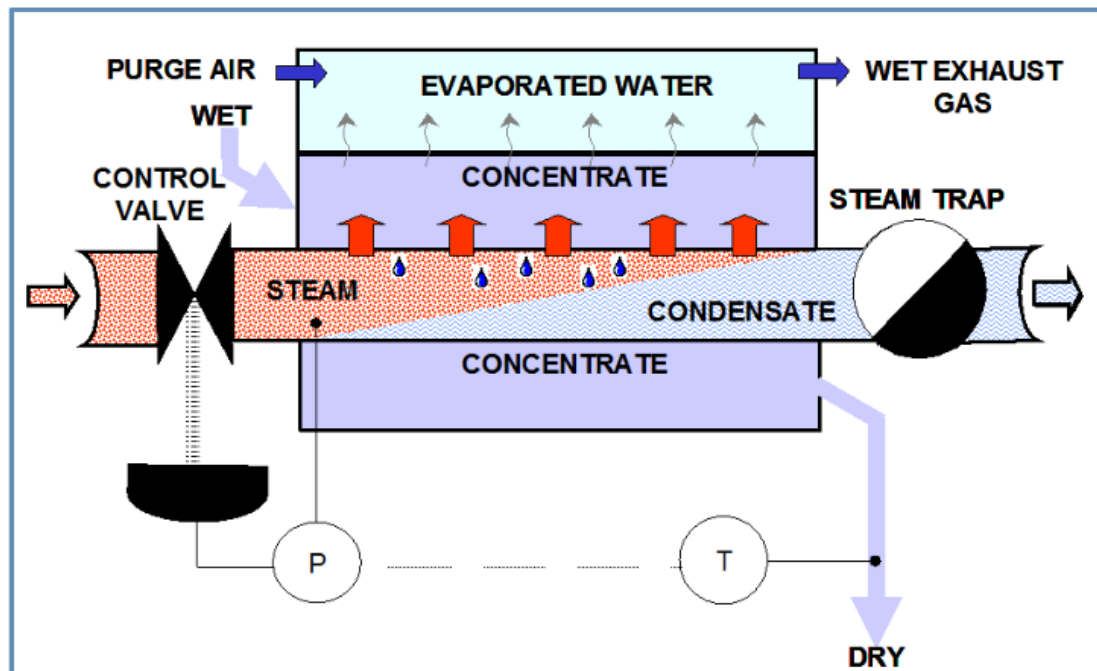
Liekkiuunin palokaasut johdetaan lämmöntalteenottokattilaan. Lämpöenergia otetaan talteen höyryn muodossa, jota käytetään esimerkiksi rikasteen kuivauksessa. Kattilassa jäähdytetty kaasu johdetaan sähkösuodattimeen, jossa kaasun mukana kulkevat pölyhiukkaset varautuvat sähkökentän vaikutuksesta ja erottuvat kokoojalektrodeille. Kumpaankin, kattilaan sekä sähkösuodattimeen jäävä pöly ravistellaan keräyssuppiloon, josta pölyt palautetaan takaisin sulatukseen. Sähkösuodattimesta kaasut johdetaan rikkihappotehtaille, jossa kaasusta tehdään rikkihappoa ja nestemäistä rikkidioksidia. (Johto ym., 2020.)

4 KUPARIRIKASTEEN KUIVAUS

Kuivauksen tarkoituksena on poistaa vesi ja muut nesteet kuivattavasta materiaalista osittain tai kokonaan. Rakeisessa kiinteässä rikasteessa voi esiintyä kosteutta monissa eri muodoissa. Vettä voi esiintyä muun muassa kiinteän aineen osasten välisissä raoissa vapaana nesteinä, pintaan imeytyneinä absorptiokosteutena tai kemiallisesti sitoutuneena nesteinä. Kuivausprosessissa tapahtuu yhtä aikaa aineen- ja lämmönsiirtoa. Aineensiirtoa tapahtuu materiaalissa olevan kosteuden haihtuessa ilmaan. Lämpöenergiaa voidaan tuoda kuivattavaan materiaaliin kuumen ilman mukana tai antamalla lämmön johtua erilaisten pintojen kautta. Kuivaus on kallis prosessi, jonka vuoksi materiaalin kosteus tulisi poistaa ensin mekaanisesti esimerkiksi suodattamalla tai linkoamalla. Loppukosteuden poistoon tarvitaan paljon lämpöenergiaa. (Pihkala, 2011, s. 116–118.)

4.1 Kuivain

Boliden Harjavallassa on käytössä kuparirikasteen kuivaamiseen pyörivä höyrykuivain. Höyrykuivain hyödyntää liekkisulatusuunin lämmöntalteenottokattilassa höyrynä talteen otettavaa energiaa kuivauksessa. Pyörivässä höyrykuivaimessa lämmitysputkien sisällä höyryn paine pysyy vakiona. Höyry tiivistyy putkiston sisäpinnalle ja faasimuutoksen seurauksena vapautunut lämpöenergia siirtyy putken seinämän ulkopinnalle. Putkiston ulkopinnalta lämpö siirtyy rikasteeseen lämmittäen ja haihduttaen rikasteeseen sitoutunutta kosteutta (Kuva 2). Rikastekerroksen tehokas sekoittuminen rummun pyörimisen takia takaa lämmön tasaisen jakautumisen. Rikasteen lämpötilan noustessa siinä oleva kosteus höyrystyy. Kosteuden poistamiseksi rummusta tarvitaan kanto kaasua, joka imetään ilmana kuivaimen avoimesta päädyistä. Rikasteen hapestumisen estämiseksi kantokaasuun lisätään typpeä. (Johto, 2020.)

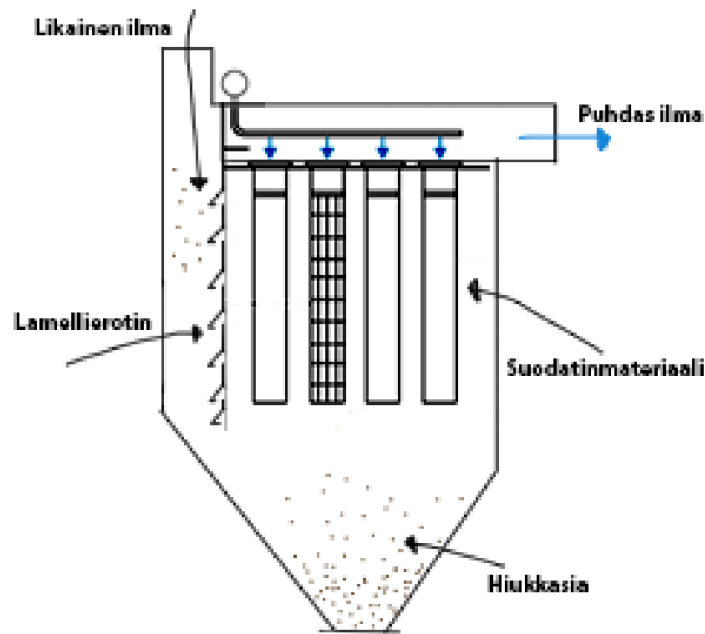


Kuva 2. Höyrykuivaimen toimintaperiaate (Johto, 2020).

Tämäntyyppisen höyrykuivaimen etuna on kasvannaisten muodostumisen vähäisyys, pienet kunnossapitokustannukset ja pieni energian kulutus. CO₂-päästöt ovat vähäiset, kun fossiilisia polttoaineita ei tarvita. Kantokaasuvirran ollessa verrattaen pieni muunlaisiin kuivaimiin nähden myös tarvittava suodatinlaitteisto ja pölypäästöt ovat pieniä. (Johto, 2020.)

4.2 Pölynerotus

Boliden Harjavallan kuparirikasteen kuivaamossa kuivaimen poistokaasun pölynerotus on toteutettu kahdella keskenään identtisellä lamellierottimen ja kuitusuodattimen yhdistelmällä (Kuva 3).



Kuva 3. Lamellierottimen ja kuitusuodattimen yhdistelmä. (mukaillen IAC's Ultimate Guide to Understanding Baghouse Dust Collectors)

Likainen kaasu johdetaan suodattimeen sisään yläosasta. Kammiossa on pysytysuorana seinämänä lamellit, jotka pakottavat kaasuvirran muuttamaan suuntaansa jopa 180-astetta. Suurimmat hiukkaset, jotka eivät pysty seuraamaan kaasuvirtaa putoavat kammion pohjalle. Lopullinen pölyn erottaminen tapahtuu suodatinkankaan avulla.

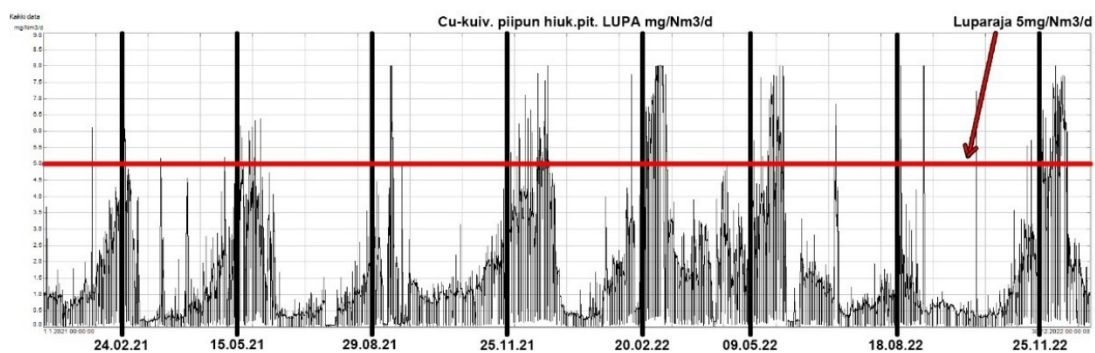
Näissä kahdessa kuitusuodattimessa on yhteensä 672 kappaletta suodatinletkuja. Suodatinkankaana on käytetty coretex-pinnoitettua lasikuitukangasta. Lasikuitukankaassa ilmenneiden laatupoikkeamien vuoksi on aikoinaan siirrytty teflon-kuidusta valmistettuun, sekä teflon-pinnoitettuun materiaaliin. (Lehtinen, 2022.)

Harjavallan tehtaalla suodatinmateriaalin puhdistukseen käytetään paineilmapuhdistusta. Menetelmä toimii niin sanottuna online-puhdistuksena, eli

ilmavirtaa suodattimeen ei katkaista paineiskun ajaksi. Yksi paineisku puhdistaa kerrallaan 16 suodatinpussia. Suodattimen sisässä on putki, jossa on 6,5 mm reikä jokaisen suodatinpussin kohdalla. Puhdistustehon määrittelee pulssein paine, tiheys, puhdistusjärjestys sekä puhdistuksen kesto. Suodattimen puhdistukseen on asetettu seuraavat arvot: paine 4,3 bar, pulssin kesto 0,1 s, puhdistusjärjestys on satunnainen ja puhdistuksen kesto määräytyy paine-eromittaukseen asetettujen raja-arvojen mukaan. Esimerkkinä paine-eron saavuttaessa arvon 15 mbar puhdistus käynnistyy ja loppuu paine-eron pudotessa arvoon 10 mbar. Molemmilla suodattimilla on omat paine-eron mittauksensa sekä puhdistuksen ohjaukset. (Industri Textil Job Oy, 2007.)

4.3 Päästötilanteet

Jo pidemmän aikaa tilanne kuparirikasteen kuivauksen poistokaasun suodatuksessa on ollut heikko. Tasaisin väliajoin tukkeutuvat tai rikkoutuvat suodattimet aiheuttavat pölypäästöjä ympäristöön. Noin kolmen kuukauden välein kuivaamon poistokaasupiipun hiukkaspitoisuuden mittauksista pystytään havaitsemaan hiukkaspitoisuuden nousseen (Kuva 4).



Kuva 4. Kuparirikastekuivaamon hiukkaspäästöt väliltä 01/2021–12/2022 (Trimble Inc, 2018).

Poistokaasun pölypitoisuutta mitataan jatkuvatoimisella Dusthunter SP100 mittalaitteella. Mittaus perustuu valon sirontaan. Laitteisto lähettää näkyvällä aallonpituudella olevaa valoa, joka siroaa osuessaan pölyhiukkasiin ja mittaa valon sironnan intensiteettiä, joka on suoraan verrannollinen pölyn määrään. Tämä menetelmä on tarkka myös pienillä hiukkaspitoisuuksilla. (SICK AG, 2023.)

Kun poistokaasun hiukkaspitoisuuden nousua tutkitaan tarkemmin, on tilanne yleensä kehittynyt hiljalleen huonompaan suuntaan. Suodattimien paine-erot ovat lähteneet tasaiseen nousuun, joka kertoo suodatinmateriaalin alkaneen tukkeutumaan. Hiljalleen tapahtuva suodattimen paine-eron kasvaminen ja erotuskyvyn heikkeneminen on tyypillinen ominaisuus kuitusuodattimissa, kuitenkin suodatinmateriaalin ollessa oikea ja suodattimen mitoituksen ollessa kohdallaan tyypillinen suodatinmateriaalien vaihtoväli on 2-3 vuotta (Ohlström ym., 2005, s. 24).

Metso Outotec Research Center on tutkinut useamman kerran tukkeutuneita suodatinmateriaaleja. Toisinaan tukkeutuminen on aiheutunut erittäin pienten partikkelien tukkiessa tukikankaan huokokset, toisinaan taas pinnalle kertyneet kerrostumat ovat tehneet ilman liikkumisen mahdottomaksi (Suortti, 2021).

Myös muunlaisia tilanteita on havaittu, jolloin pölypäästöjä tapahtuu. Esimerkiksi kuivauksen ylösajo tai odottamaton kuivauskatko saattaa aiheuttaa poistokaasun lämpötilan äkillisen nousun, joka taas johtaa suodatinmateriaalin haurastumisen tai jopa palamisen. Suodatinpussin rikkoutuminen pystytään havaitsemaan paine-eron äkillisestä laskusta, sekä hiukkaspäästöjen samanaikaisesta noususta.

Yksi viimeaikojen yleisimmistä pölypäästöjen aiheuttajista on ollut huolimattomuus huoltoa tehdessä. Suodatinkenttien kansia avatessa ja sulkiessa on tiivistemateriaali vaurioitunut tai on vain unohtunut suorittaa kansien perusteellinen kiristys. Suodattimen puhtaalla puolella olevat imuvuodot aiheuttavat mitausvirhettä paine-eroon. Tämä taas nostattaa poistopuhaltimien ohjausta, jotta saavutettaisiin kuivausrummun haluttu imupyynti. Näin ollen saattaa suodattimien läpi imettävä ilmamäärä moninkertaistua ja suodatinmateriaali ei tällä liian suurella ilman nopeudella pysty enää suodattamaan hiukkasia tehokkaasti.

5 PÖLYNSUODATUSJÄRJESTELMIEN VERTAILU

Ilman yleisimpiä epäpuhtauksia ovat rikkidioksidi sekä pöly. Pölyn mukana saattaa kulkeutua kemiallisia yhdisteitä, orgaanisia yhdisteitä, raskasmetalleja ja eläviä mikrobeja (Seppänen, 1991, s. 203). Ilman epäpuhtaudet ovat ilman-saasteita, kun niitä on ilmakehässä niin paljon, että ne aiheuttavat vahinkoa tai haittaa terveydelle, ekosysteemille tai rakennuksille (Pleym, 1991, s. 123).

Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttaville toiminnoilla tarvitaan ympäristösuojelulain mukainen lupa. Ympäristöluvassa voidaan antaa määräyksiä mm. Toiminnan laajuudesta, päästöistä ja niiden vähentämisestä. Luvan myöntämisen edellytyksenä on muun muassa, että toiminnasta ei saa aiheutua terveyshaittaa tai merkittävää ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa. (Ympäristöministeriö, 2019.)

Tämän vuoksi poistoilma on suodatettava ennen ilman johtamista ulos. Epäpuhtauksien erottamiseen kaasuvirrasta voidaan käyttää useita eri menetelmiä, joista yleisimpien erottimien ominaisuuksia on vertailtu taulukossa 1 ja myöhemmin kerrottu jokaisesta hieman enemmän.

Bolidenin kuparirikasteen kuivauksen poistokaasun suodatukseen on käytössä lamellierottimen ja kuitusuodattimen yhdistelmä. Tällä suodatusmenetelmien vertailulla pyritään selvittämään, olisiko jokin muu menetelmä tehokkaampi tai mahdollisesti liitettävissä järjestelmään esisuodattimeksi.

Taulukko 1. Yleisimpien pölynerottimien vertailu (Industri Textil Job Oy, 2022; Ohlström ym., 2005; Pihkala, 2011; Pley, 1991; Säämänen ym., 2004).

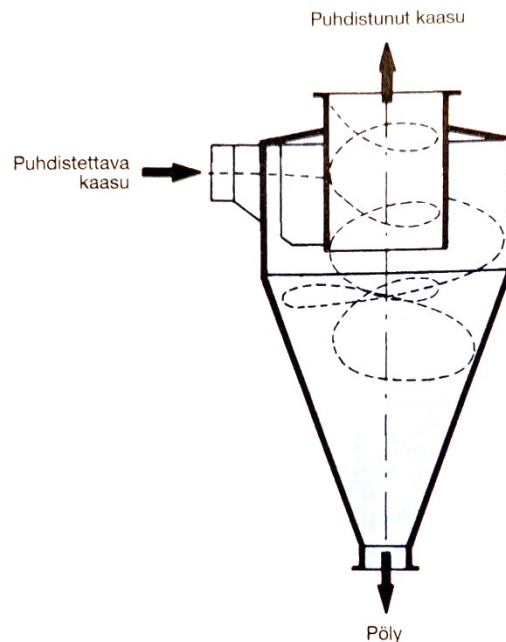
Suodatin	Hiuk- kas- koko minimi µm	Ero- tus- aste %	Paine- ero Pa	Tyypillinen kuormitus g/m ³	Edut	Haitat
Dynaamiset erottimet -Sykloni -Laskeutu- miskam- mio/lamel- lierotin	5-25 >50	50-90 <50	500- 1500	0,1-100	Yksinkertainen ja huoltovapaa. Alhainen han- kintahinta ja käyttökustan- nukset	Alhainen erotus- kyky. Tehoton pienien hiukkas- ten keräämiseen
Kui- tusuodatti- met	<1	>99	750- 1500	0,1-20	Korkea erotus- aste pienilläkin hiukkasilla. Han- kinta ja käyttö- kustannuksil- taan maltillinen.	Korkea painehä- viö. Ei sovellu korkeisiin läm- pötiloihin. Häi- riötilanteissa suodatinmateri- aalin uusiminen.
Märkäerotti- met -Pesutornit -Venturipe- suri	>10 >0,5	<80 <99	500- 4000	0,1-100	Yhtäaikainen kaasumaisten ja hiukkasmaisten päästöjen poisto. Voidaan käyttää myös syttyville pölyille. Hankintakustan- nus alhainen.	Korroosio ja erosio. Vaatii jäteveden käsit- telyn. Suojattava jäätymiseltä. Korkeat käyttö- ja huoltokustan- nukset
Sähkösuo- datin	<1	95-99	100-250	0,1-2	Alhainen paine- häviö. Korkea erotusaste pie- nilläkin hiukka- silla. Toimii myös korkeissa lämpötiloissa.	Teollisen mitta- kaavan suodatti- mien suuri tilan- tarve. Korkea hankintakustan- nus. Teho las- kee hitaasti ja huomaamatta.

5.1 Dynaamiset erottimet

Dynaamisten erottimien toiminta perustuu paino-, keskeis- tai hitausvoimiin. Kaasun kulkusuunnan muutoksesta aiheutuu kyseisiä voimia pölyhiukkasiin, jotka pyrkivät vastustamaan suunnanmuutosta. Kaasuun voimien vaikutus on heikompi ja näin ollen hiukkaset joutuvat kaasusta erilleen. Tavallisimpia dynaamisia erottimia ovat sykloni ja laskeutumiskammio. (Pleym, 1991, s. 195.)

5.1.1 Sykloni

Dynaamisista pölynerottimista yleisimmin käytettyjä ovat syklonit. Tavallisimmin sykloneita käytetään esierottimina ennen varsinaisia suodattimia. Syklonia voidaan käyttää pölyn tai nesteen erottamiseen kaasuista. Kaasu johdetaan sykloniin, jossa se kulkee spiraalimaisesti syklonin pohjaa kohti keskipakoisvoiman singotessa hiukkaset syklonin seiniä vasten (Kuva 5). Hiukkaset kulkeutuvat syklonin pohjalle ja puhdistunut kaasu imetään syklonin keskeltä pois. (Pihkala, 2011, s. 73.)



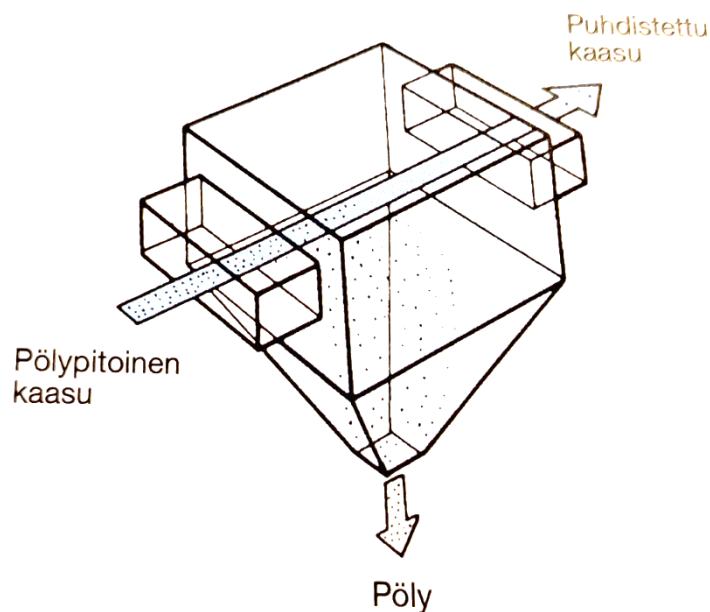
Kuva 5. Sykloni (Pihkala, 2011).

Syklonien erotuskykyyn vaikuttaa kaasun nopeus, viskositeetti, pölyhiukkasten koko ja tiheys, pölypitoisuus sekä syklonin koko. Kaasun nopeuden ollessa vakio, syklonin koon kasvaessa keskipakoisvoima ja tätä myötä erotuskyky

pienenee. Syklonit eivät ole tehokkaita erottamaan hiukkasia, jotka ovat pienempiä kuin 5 μm . (Pihkala, 2011, s. 72.)

5.1.2 Laskeutumiskammio

Laskeutumiskammio tai toiselta nimeltään sedimentaatiokammio on yksinkertainen dynaaminen erotin (Kuva 6). Kaasukanavassa on laajennus, jossa kaasun virtausnopeus laskee ja hiukkaset laskeutuvat kammion pohjalle. (Pleym, 1991, s. 195.)



Kuva 6. Laskeutumiskammio (Pihkala, 2011).

Kammio voidaan varustaa pystysuorilla väliseinämillä, joka lisää kammion erotuskykyä pakottamalla kaasun muuttamaan suuntaansa (Pleym, 1991, s. 195).

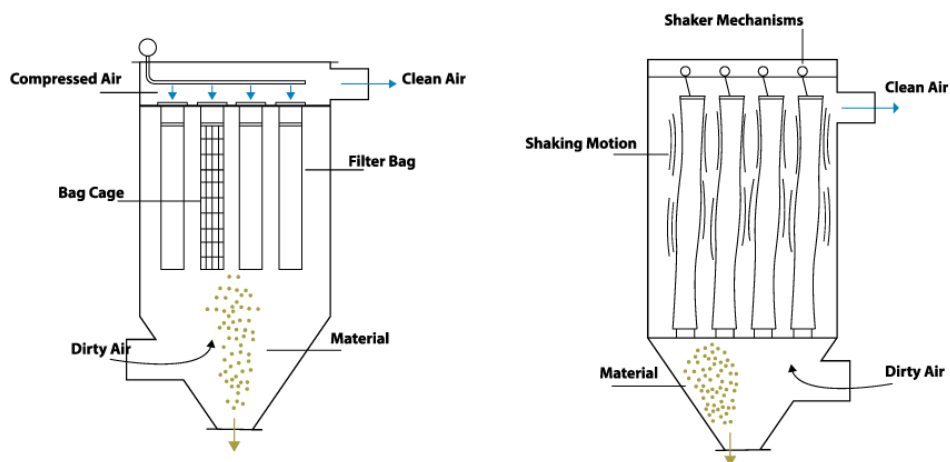
5.1.3 Lamellierotin

Lamellierottimia käytetään useimmiten esisuodatukseen. Ne ovat tehokkaita erottamaan runsaana esiintyvät karkeat ja hehkuvat hiukkaset. Lamellierottimessa kaasuvirran suunta pakotetaan muuttuman lähes 180-astetta, jolloin suuremmat hiukkaset eivät pysty seuraamaan vaan putoavat erottimen pohjalle. Ominaisuuksiltaan vastaava kuin laskeutumiskammio. (Pleym, 1991, s. 195.)

5.2 Kuitusuodattimet

Kuitusuodatin on käytetyin menetelmä pölyn erottamiseen, kun päästörajoitukset ovat tiukat ja sähkösuodattimen rakentaminen ei pölyn ominaisuuksien, tilan ahtauden tai kustannusten vuoksi ole kannattavaa. Kuitusuodatin on yksinkertainen, kustannuksiltaan maltillinen ja erotusasteeltaan tehokas myös hyvin pienillä hiukkasilla. (Ohlström ym., 2005, s. 23.)

Kuitusuodattimia on kahdenlaisia. Kuvassa 7 vasemmalla korkeakuormasuodatin, jossa kaasun nopeus on suurempi ja kaasu johdetaan suodatinmateriaalin ulkopinnalle. Korkeakuormasuodattimissa suodatinmateriaali on tuettu ns. letkukorilla (bag cage), joka pitää suodattimen muodossaan. Matalakuormasuodattimiin hiukkaspitoinen kaasu johdetaan pienellä nopeudella suodatinmateriaalin sisäpinnalle. (Pleym, 1991, s. 197.)



Kuva 7. Havainnekuva korkea- ja matalakuormasuodattimista (IAC's Ultimate Guide to Understanding Baghouse Dust Collectors).

Kuitusuodattimet ovat niin sanottuja törmäyssuodattimia. Suodatinmateriaali on huokoista, josta kaasu pääsee kulkemaan läpi, mutta hiukkaset kiinnittyvät suodatinmateriaalin kuituihin törmäyksen tai kosketuksen seurauksena. Uuden suodatinmateriaalin erotuskyky on hetkellisesti matala. Kun pölykakkua alkaa kertyä suodatinmateriaalin pinnalle erotuskyky paranee hiukkasten tiivistäessä materiaalia. (Pleym, 1991, s. 197.)

Aika ajoin pölykakku kasvaa liian suureksi ja ilma ei pääse enää kulkeutumaan lävitse. Tällöin suodatinmateriaali on puhdistettava joko ravistamalla (shaker mechanism), ilmavirta kääntämällä tai paineiskulla. Näin irrotetaan suurin osa suodatinmateriaalin pinnalle kerääntyneistä hiukkasista, muttei kuitenkaan kaikkia, ettei erotuskyky heikkene. Irronneet hiukkaset putoavat suodattimen pohjakartioon. (Pleym, 1991, s. 198.)

Kuitusuodattimien huonoja puolia on kuluminen, painehäviöt, laitteiston huollon tarve ja poistokaasujen tarttuvat partikkelit. Suodatinmateriaali joudutaan yleensä uusimaan 2–3 vuoden välein. (Ohlström ym., 2005, s. 22.)

Suodatinmateriaalin valinta on tärkeä osa kuitusuodattimen suunnittelua ja valintaa, koska se määrittää suodattimen käyttöiän ja tehokkuuden. Suodatinmateriaalin on oltava yhteensopiva sekä fysikaalisesti että kemiallisesti kaasun, hiukkasten ja olosuhteiden kanssa. Tärkeimmät tiedot suodatinmateriaalin valinnan kannalta on pölyhiukkasten koko sekä määrä, suodattimen käyttölämpötila, kosteustaso ja kaasun happamuus/emäksisyys. Taulukossa 2 vertailtuna eri suodatinmateriaalien ominaisuudet. Materiaalin lisäksi suodattimen tyyppillä on vaikutus siihen, minkä tyyppinen kangas siihen sopii. Matalakuormasuodattimissa käytetään yleensä kudottuja materiaaleja. Korkeakuormasuodattimissa käytetään kuitukangasmateriaaleja, jotka koostuvat kudotun taustan päälle tuettuihin satunnaisesti sijoitettuihin kuituihin. (GlobalSpec, 2023.)

Taulukko 2. Suodatinmateriaalien ominaisuuksia (Industri Textil Job Oy, 2022)

Kuitu	Kauppainimiä	Max lämpötila °C	Hapettavien ainesosien kestävyys	Happojen kestävyys	Emäksien kestävyys	Hydrolyysin kestävyys
Puuvilla	-	100	Hyvä	Huono	Hyvä	Hyvä
Lasikuitu	-	280	Erinomainen	Hyvä	Kohtalainen	Erinomainen
PVC	Rhovyl, Clevyl	100	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen
Polypropeeni	Herculon	100	Huono	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen
Nylon	Enka, Antron	120	Hyvä	Huono	Erinomainen	Hyvä
Homopolymeeri akryyli	Dolanit	120	Kohtalainen	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Polyesteri	Fortrel, Dacron	150	Hyvä	Hyvä	Huono	Huono
PPS	Torcon, Procon	230	Kohtalainen	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen
Aramidi	Nomex, Conex	220	Kohtalainen	Huono	Erinomainen	Huono
Polyamidi	P84	250	Hyvä	Kohtalainen	Kohtalainen	Hyvä
PTFE	Profilen, Toyoflon	280	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen

5.3 Märkäerottimet

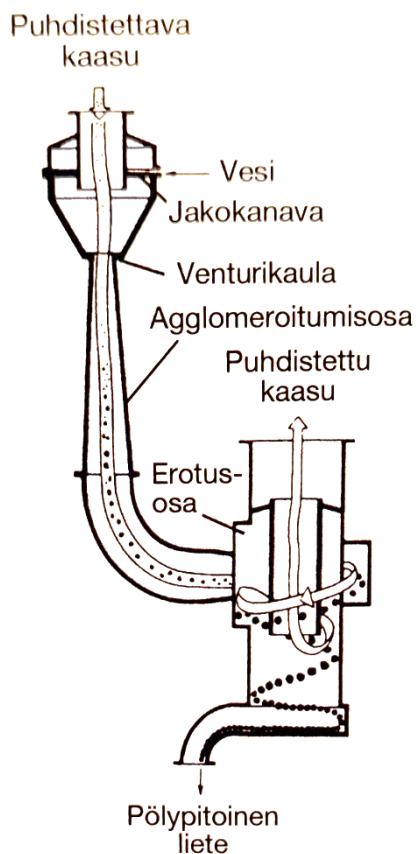
Märkäerottimet käyttävät nestettä hiukkasten erottamiseen. Toiminta perustuu hiukkasten suoraan kosketukseen nesteen kanssa, jolloin tapahtuu agglomeroitumista. Märkäerottimien poistoilman kosteus on korkea. Märkäerottimia ei tavallisesti käytetä ensisijaisena erotusmenetelmänä vaan yleensä jälkipuhdistukseen. Märkäerottimia on useita erityyppisiä, mutta pölynerotuksessa tärkein on venturipesuri. (Pihkala, 2011, s. 73.)

5.3.1 Pesutornit

Pesutorni on yksinkertainen märkäpesuri. Pesunestettä sumutetaan pesuriin joko myötä- tai vastavirtaan kaasuvirtaan nähden. Pesutornit erottavat parhaiten 10-25 μm hiukkaset. Pesutornit ovat niin sanottuja matalaenergisiä pesureita, joiden hiukkasten erotustehokkuus on alhainen. (Ohlström, 1998, s. 50.)

5.3.2 Venturipesuri

Hiukkasten erotukseen tehokkain märkäpesuri on venturipesuri (Kuva 8).

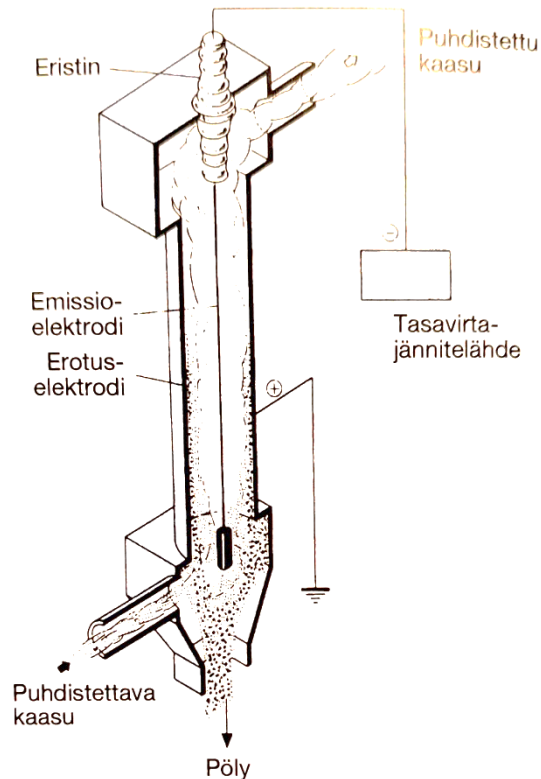


Kuva 8. Venturipesuri (Pihkala, 2011).

Kaasuvirta johdetaan venturiputkeen, jossa suppilomainen kavennus saa kaasun nopeuden kasvamaan merkittävästi. Kapeimmassa kohdassa, jossa kaasun nopeus on suurin, sumutetaan nestettä kaasun sekaan. Hiukkaset törmäävät pisaroihin ja kaasun jatkaessa matkaa laajenevassa putkessa kaasun virtaus hidastuu, jolloin hiukkaset erottuvat kaasuvirrasta pudoten pesurin pohjalle. (Pleym, 1991, s. 199.)

5.4 Sähkösuodattimet

Sähkösuodattimien toiminta perustuu hiukkasten sähköiseen varaamiseen ja niiden keräämiseen sähkökentän avulla. Kaasussa olevat hiukkaset varataan negatiivisesti niiden kulkiessa ionisoituneen kentän läpi. Hiukkaset erotetaan kaasusta korkean jännitteen kahden elektrodin väliin aiheuttamassa sähkökentässä (Kuva 9). (Pihkala, 2011, s. 79–80.)



Kuva 9. Sähköisen pölynerotuksen toimintaperiaate (Pihkala, 2011).

Negatiivisesti varautuneet hiukkaset kiinnittyvät positiivisesti varautuneeseen erotuselektrodiin. Erotuselektrodiin varautunut pöly voidaan irrottaa ravistamalla tai pesemällä. Sähkösuodattimella voidaan saavuttaa suuri, jopa yli 99 % erotuskyky pienilläkin hiukkasilla. Sähkösuodattimen käyttöalue kattaa kaasun lämpötilat aina 450 asteeseen asti. Sähkösuodattimen toiminta edellyttää kaasun viipymisen pitkään suodattimessa, jopa 10 sekuntia. Kaasun virtausnopeuden laskemiseksi sähkösuodattimen on oltava tilavuudeltaan melko suuri. (Pihkala, 2011, s. 79–80.)

6 TUTKIMUKSET

Tutkimusten tavoitteena oli selvittää, onko suodatettavan pölyn ominaisuudet merkittävästi muuttuneet, joka voisi selittää suodattimen kanssa ilmeneviä ongelmia. Yksi tarkastelun kohde on myös suodattimen puhdistuksen toiminta sekä kuparirikastekuivaimen ajoparametrien vaikutus suodattimeen.

6.1 Pölyn koostumus

Kuparirikastekuivaimen suodattimista otettiin molemmista yksi pölynäyte likaiselta puolelta. Näytteenotto suoritettiin keräyssuppilon pohjalta seisakkitilanteessa, kun suodatinmateriaalit oli kaasuvirran pysähdyttyä puhdistettu paineilmapulsseilla useaan kertaan. Näytteet toimitettiin Outotec Research Centeriin analysoitavaksi. Outotec on suorittanut myös aiemmat kuitusuodattimeen liittyvät tutkimukset. Näytteiden analysoinnin tarkoituksena oli vertailla partikkelikokojakaumaa aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Partikkelikokojakauman selvittämiseen käytettiin laserdifraktioanalyysiä. Lisäksi tutkittiin pölyn alkuainepitoisuudet röntgenfluoresenssi-, eli XRF-analyysillä. Näiden tutkimusten avulla voidaan määrittää oikea suodatinmateriaali pölyn ominaisuuksiin nähden.

Pölyn partikkelikoon jakauman tunnusluvut D_x (μm), jossa x on niiden partikkelien prosentuaalinen osuus, jotka ovat kooltaan alle luvun D_x , on esiteltynä taulukossa 3. Nyt analysoidut tulokset (Liite 1 ja 2) ovat linjassa aiempien tulosten kanssa, joten ei voida sanoa partikkelikoon merkittävästi muuttuneen hienompaan suuntaan. Taulukkoon 3 lisätty myös tunnusluvut vuodelta 2015.

Taulukko 3. Partikkelikokojakauman tunnusluvut D_x (μm)

Näyte	D10 / μm	D50 / μm	D90 / μm
Suodatin 1	3,65	12,0	29,9
Suodatin 2	3,89	12,8	32,8
2015	3,64	14,3	48,4

Pölynäytteistä on koottu taulukkoon 4 merkittävimmät komponentit pölyn koostumuksesta. Pöly koostuu pääosin kuparista (Cu), raudasta (Fe) ja rikistä (S) sekä pieneltä osin piistä (Si), magnesiumista (Mg), alumiinista (Al) ja sinkistä (Zn). Muiden alkuaineiden pitoisuudet ovat verrattaen pieniä muihin pitoisuuksiin nähden. Yleisesti tukkiviksi tiedettäviä aineita, kuten kalsiumia (Ca) havaittiin näytteistä vain hyvin pieniä määriä. Kaikki pitoisuudet esillä liitteessä 3.

Taulukko 4. Pölyn koostumus

Näyte	Cu m-%	Fe m-%	S m-%	Si m-%	Mg m-%	Al m-%	Zn m-%
Suodatin 1	25,2	25,9	23,3	6,02	2,04	1,86	1,27
Suodatin 2	24,8	26,3	23	5,64	2,02	1,67	1,49

Pölyn ominaisuuksien selvityksen jälkeen käytiin keskustelu suodatinmateriaalitoimittajan kanssa. Käytössä ollut teflon suodatinmateriaali on aikoinaan valikoitunut käyttöön ajatuksella, että kallein on paras. Tarkempaa selvitystä sopivasta materiaalista ei tuolloin ole tehty.

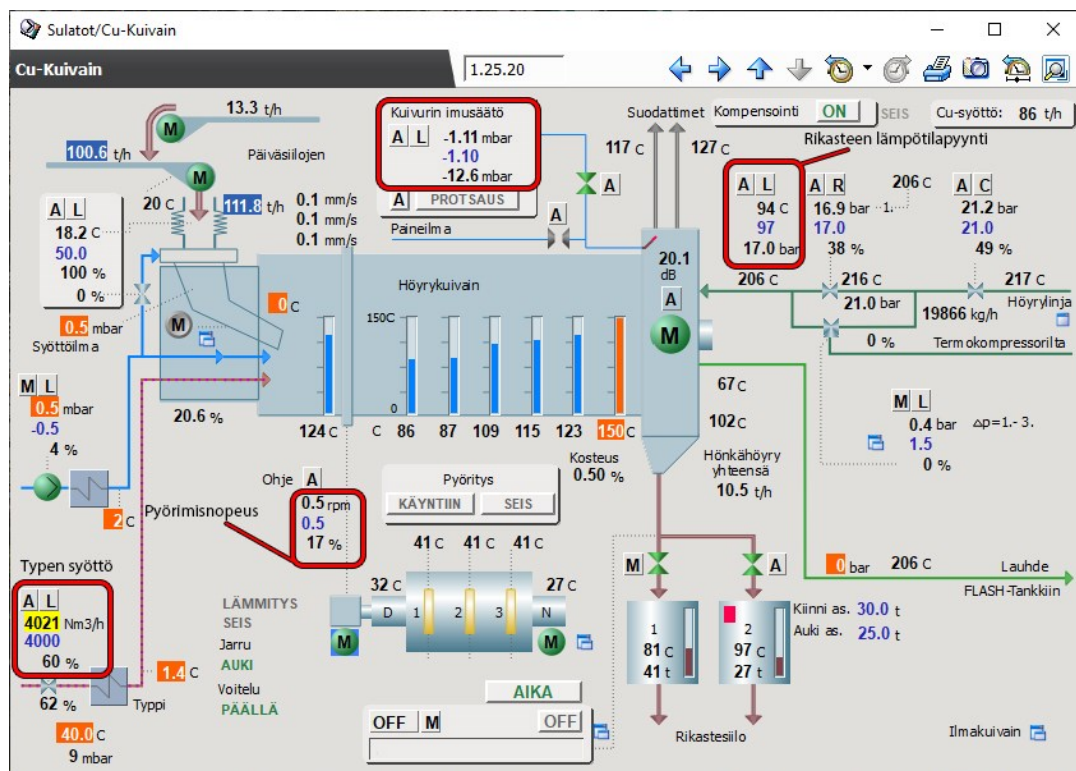
Nyt toimitettujen lähtötietojen perusteella oli toimittajalla tarjota huomattavasti edullisempi suodatinmateriaali. Hintaan vaikuttaa tukikankaan vaihtaminen arvokkaimmasta päästä olevasta PTFE (polytetrafluorieteeni) kuidusta halvempaan PPS (polyfenyleenisulfidi), joka lämpötilankestonsa puolesta on täysin käyttökelpoinen tässä kohteessa. Tässä PPS materiaalissa on lisänä PTFE loimituki ja suodattavasta pinnasta on avotulella poltettu avonaiset kuidun päät pölykakun irtoamisen tehostamiseksi. Uutena ominaisuutena on erikoiskäsittely teflon ja fluorohiilihartsi kylvyssä, joka luo hyvin vettä ja öljyä hylkivä suodattavan pinnan. (Lehtinen & Ikäheimo, 2022).

Suosituksen perusteella tilattiin pieni koe-erä tästä materiaalista valmistettuja suodattimia. Ensimmäiset koesuodattimet ovat nyt olleet käytössä neljän kuukauden ajan yhdessä suodatinkentässä hyvin tuloksin. Pölypäästöt ovat olleet koejakson aikana muutamaan otteeseen nousussa. Koska suodatinkentässä ei ole erillisiä hiukkaspitoisuuden mittauksia, on suodatinkentät tarkasteltava

visuaalisesti tai suljettava ilmavirtaus yhteen kenttään kerrallaan pidemmäksi ajaksi, jolloin voidaan havaita poistokaasupiipun mittauksen muutoksista mahdollisesti vuotava kenttä. Tarkastusten yhteydessä ei ole havaittu pölypäästöä testikentässä.

6.2 Ajoparametrien vaikutus pölypäästöihin

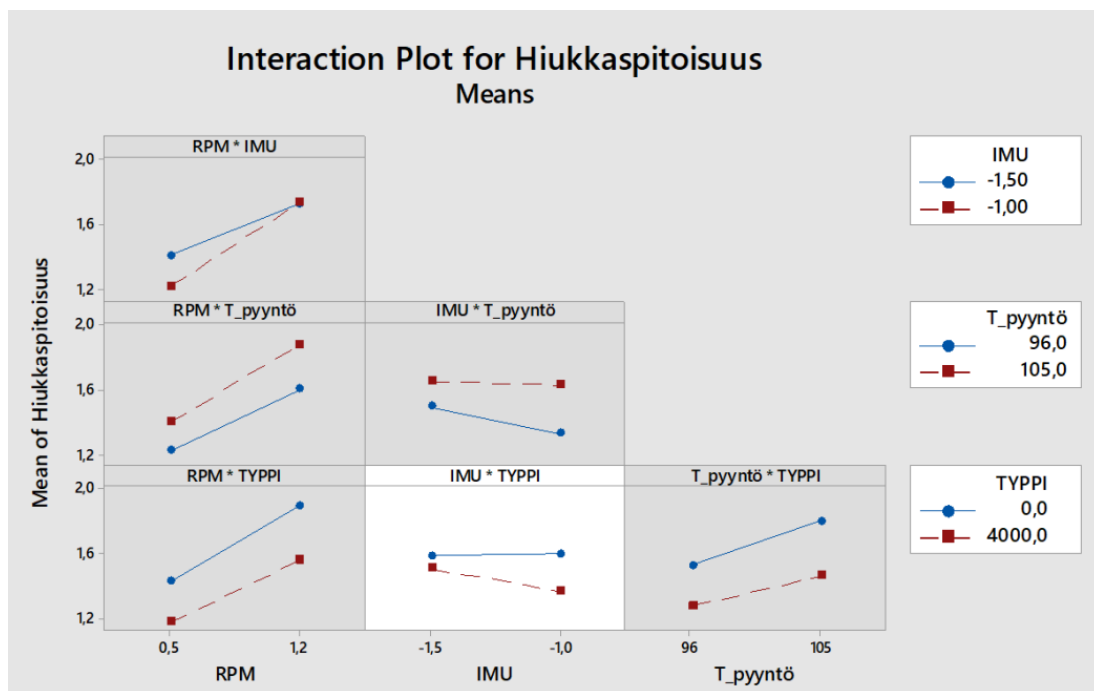
Kuparirikasteen kuivauksen prosessissa on useita muuttujia. Joitain näistä pystytään kontrolloimaan, toisia taas ei. Kaikilla on kuitenkin vaikutuksensa lopputulokseen, jonka on tarkoitus olla kuiva, enintään 0,3 % kosteuden omaava rikasteseos. Kulloinkin vallitsevaan ulkoilman lämpötilaan tai kosteuteen sekä kuivaimeen syötettävän seoksen kosteuteen ei pystytä vaikuttamaan. Itse kuivaustapahtumaan vaikuttavia ja kontrolloitavia prosessimuuttujia ovat kuivausrummun pyörimisnopeus, rikasteen lämpötilapyynti, imusäättö sekä typen syöttö (Kuva 10).



Kuva 10. Kuparirikastekuivaimen operointinäyttö (Valmet, 2023).

Miikka Marjakoski on tutkinut kuparirikastekuivaimen optimointia SixSigma Green Belt opinnäytetyössään (2019, s. 30). Kuivaimen hiukkaspitoisuutta

suodattimen jälkeen on työssä otettu huomioon toissijaisena vasteena. Tutkimuksessa on havaittu, että keskinäisvaikutuksista ainoastaan imusäädön ja typpisyötön keskinäisvaikutus on merkittävä hiukkaspäästöä laskemaan (Kuva 11). Pyörimisnopeuden, imusäädön ja lämpötilan kasvattamisella on hiukkaspäästöä nostava vaikutus.



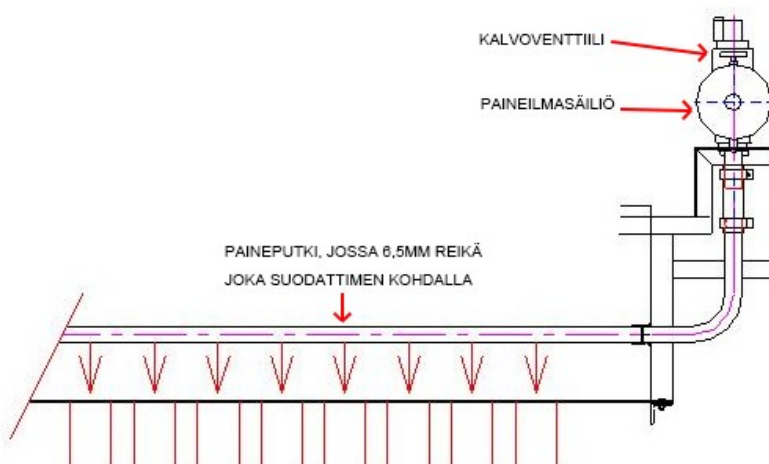
Kuva 11. Keskinäisvaikutusten vaikutussuunnat hiukkaspitoisuuteen (Marjakoski, 2019).

Kuparirikastekuivaimen operointitilanteista ylös- ja alasajo ovat haastavimpia kuitusuodatinta ajatellen. Näissä tilanteissa poistokaasun lämpötila saattaa herkästi päästä nousemaan niin korkeaksi, että suodatinmateriaali haurastuu tai jopa palaa. Näitä tilanteita varten yleensä rakennetaan ohituskanava. Ohitusta käytettäessä päästötaso kuitenkin kasvaa hetkellisesti. (Ohlström ym., 2005, s. 24.)

Hiukkaspitoisen kaasun lämpötilan ollessa suurempi kuin vallitsevan ilman lämpötila, jäähtyy kaasu kulkiessaan suodattimen läpi. Koska kuparirikastekuivaimen poistokaasun kosteuspitoisuus on korkea, jopa 40 % on poistokaasun lämpötila pidettävä vähintään 20 °C kastepisteen yläpuolella, jotta kaasun sisältämä kosteus ei ala tiivistymään suodatinmateriaalin pinnalle jäähtyessään. (Industri Textil Job Oy, 2008, s. 7.)

6.3 Paineilmapuhdistus

Kun ongelmana on tukkeutuva suodatinmateriaali, ajatusta huonosti toimivasta puhdistusjärjestelmästä ei voi täysin pois sulkea. Tässä kyseisessä kuitusuodattimessa on käytössä paineilmapuhdistus. Paine-eron yläraja-arvon mukaan käynnistyvä puhdistussekvenssi irrottaa pölykakkua 16 suodatinelementistä kerrallaan (Kuva 12). Puhdistus tapahtuu niin sanottuna online-puhdistuksena, eli puhdistettavan kentän ilmavirtaa ei katkaista puhdistuksen ajaksi. Ajastin suorittaa puhdistusta suodatinrivi kerrallaan niin kauan, kunnes paine-ero on pudonnut asetetun asetusarvon alle. Paineilmasäiliön paine on asetettu 4,2 baariin ja kalvoventtiilin aukioloaika n. 100ms. Kyseiset puhdistuksen muuttujat on peruja suodattimen käyttöönoton ajalta, jotka on ollut myöhemmin tarkoitus tarkastaa toimiviksi. (Industri Textil Job Oy, 2007.)



Kuva 12. Paineilmapuhdistuksen toimintaperiaate(mukaillen Industri Textil Job Oy, 2007)

Puhdistuksen tehokkuudesta käytiin puhelinkeskustelu suodattimen toimittaneen yrityksen edustajan kanssa. Keskustelua käytiin muun muassa puhdistusilman paineen nostosta tai kalvoventtiilien aukioloajan lisäämisestä puhdistuksen tehostamiseksi. Edustaja lupasi selvittää mallinnuksen puhdistusjärjestelmän tehokkuudesta. (Salonen, 2022.)

Liitteessä 4 raportti mallinnuksesta. Mallinnus laskettiin käyttäen 500 kPa, eli 5 baarin puhdistusilman painetta. Tällä paineella mallinnus antaa pienimmäksi puhdistustekijän (cleaning factor) arvoksi 1,68 ja suurimmaksi 1,89.

Puhdistustekijän tulisi olla arvoltaan noin 1,5, joten jos ajatellaan puhdistusilman painetta nostettavan 5 baariin voidaan todeta puhdistuksen olevan tällöin ainakin riittävä (Salonen, 2023).

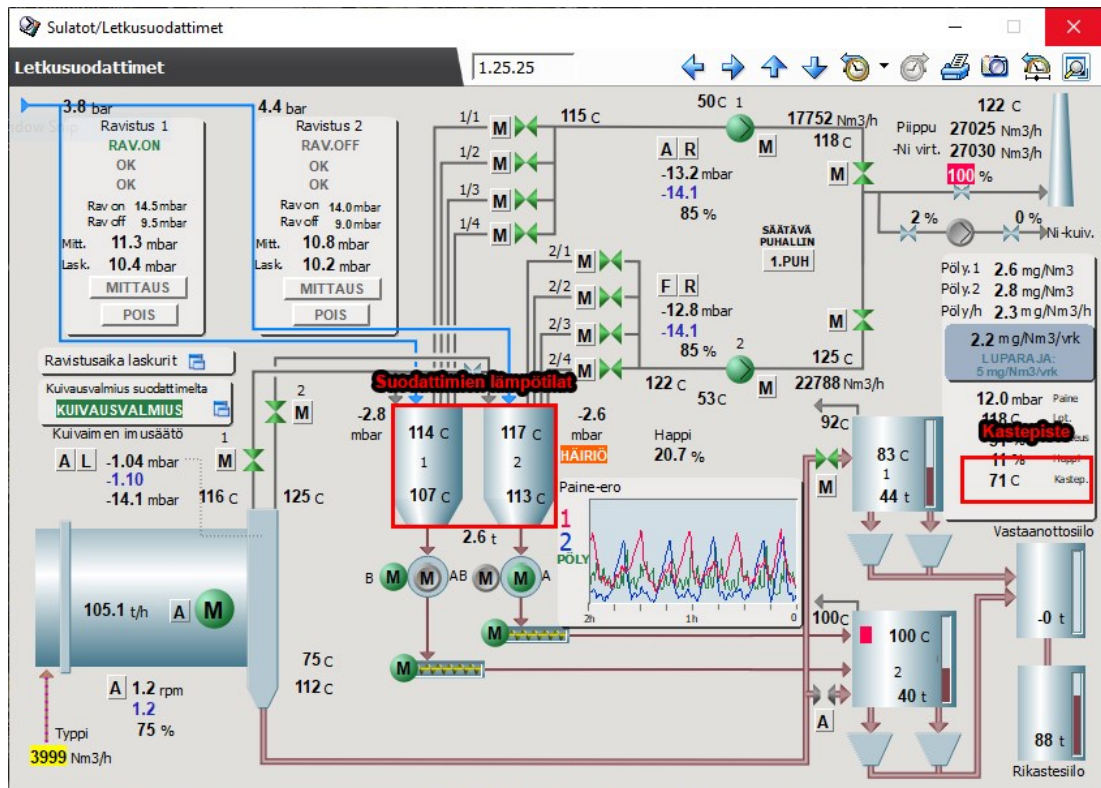
Suodatin on alun perin suunniteltu online-puhdisteiseksi. Mikäli halutaan tehostaa puhdistusta huomattavasti, suodattimen muuttaminen offline-puhdisteiseksi lisää puhdistuksen tehoa huomattavasti, kun vastasuuntaista virtausta ei ole (Salonen, 2022). Tarkempaa suunnitelmaa tämän muutoksen suhteen ei ole tehty, joten ei voida varmuudella sanoa vaatiiko muutos puhdistusjärjestelmän logiikkaan vain ohjelmallisia muutoksia vai myös logiikan komponenttien uusimista.

Paineilman tuotantolaitokseen toimittaa ulkopuolinen taho ja heidän kanssaan käytiin keskustelua paineilman laadusta. Kysymykseni liittyi mahdollisuuteen paineilman sisältämästä kosteudesta, joka voisi suodattimiin imeytyä puhdistuspulssin aikana. Paineilma tuotetaan kompressoreilla märän ilman säiliöihin, joissa on veden poisto. Seuraavaksi paineilma kulkee karkeudeltaan 0,1 mikrometrin esisuodattimien läpi, jossa poistetaan suurimmat pölyt, öljy ja vesi. Ilma kuivataan adsorptiokuivaimilla ja paineilman laatukriteerinä pidetään -40°C kastepistettä. Viimeisenä jälkisuodatus 0,01 mikrometrin karkeudella. Näillä tiedoilla voidaan olettaa paineilman olevan kuivaa. Jos näin ei olisi, muodostuisi paineilman kosteus ongelmaksi monessa muussakin kohteessa. (Lehtikangas, 2022.)

Vaikka itse paineilma onkin kuivaa, on mahdollista, että paineilmapuhdistus jäähdyttää suodattimessa olevan ilman hetkellisesti kastepisteen alle, jolloin kosteutta pääsee tiivistymään. Puhdistukseen käytettävän paineilman säiliöt ovat eristämättömiä, joten paineilman lämpötila mukailee ulkoilman lämpötilaa. Eristeiden puuttuminen muodostaa suuremman ongelman varsinkin talvi-aikaan. Paineenalainen ilma kun vapautetaan pienistä rei'istä, putoaa ilman lämpötila entisestään. (Mathhews, 2017, s. 2.)

Kun ajatellaan ulkoilman lämpötilan olevan 0°C ja paineilman lähellä tätä, paineilmapulssin aikana suodattimeen johdettavan ilman lämpötila laskee

pakkasen puolelle. Suodattimen normaali toimintalämpötila pyörii 110–120°C välissä ja kastepiste vuodenajan mukaan 65–75°C välillä (Kuva 13).



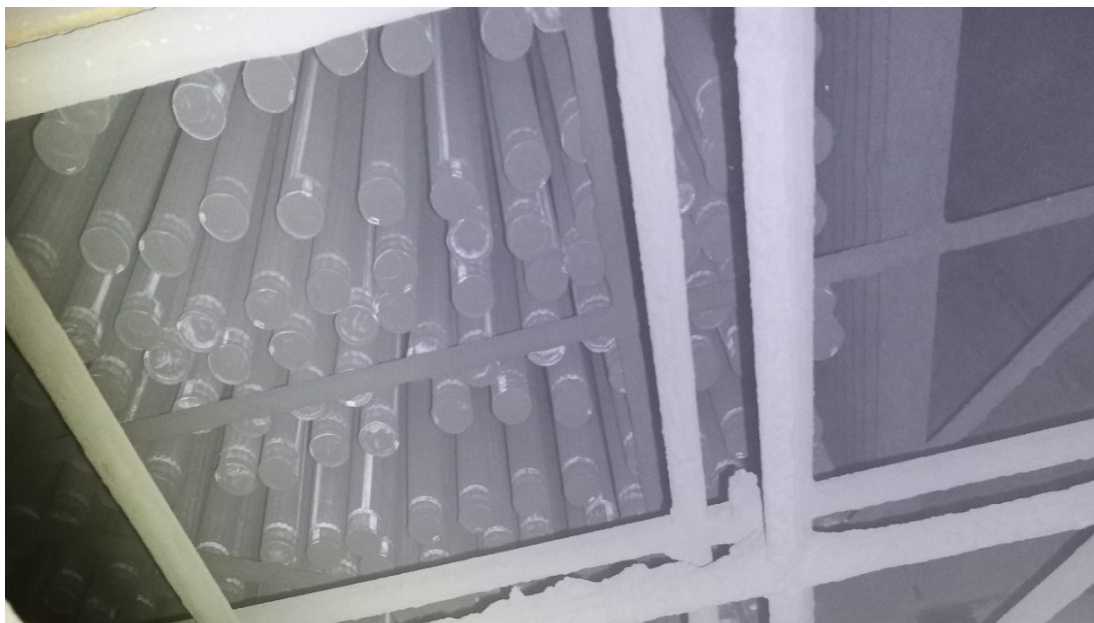
Kuva 13. Letusuodattimen operointinäyttö (Valmet, 2023).

Paineilmapuhdistus yksiköt suositellaan saattolämmittämään ja eristämään jo pelkästään puhdistusventtiilien toiminnan vuoksi (Industri Textil Job Oy, 2008). Kosteuden tiivistyminen suodatinmateriaaliin kylmää paineilmaa käytettäessä on teoriassa täysin mahdollista, joten tämän ongelman pois sulkemiseksi kannattaisi paineilmasäiliöiden / venttiilipakettien eristämistä ja lämmittämistä harkita.

6.4 Visuaaliset tutkimukset

Visuaalisia tutkimuksia suodattimen ympäristössä on suoritettu vuoden 2022 kesäkuusta alkaen. Tähän kirjattu havaintoja, joilla saattaa olla vaikutusta suodattimen toimintaan.

Suodattimien pohjakartioiden miesluukuista katsottuna suodattimien seinustoille ja palkkien päälle on kertynyt reilusti pölykuormaa. Kuvasta 14 voidaan myös havaita suodatinletkujen olevan suodattimen sisällä epäsymmetrisesti. Tämä voi kertoa asennusvirheestä, letkukorien vääntymisestä tai rikkoutumisesta. Kuvan oikeassa reunassa nähdään lamellierottimet, jotka näyttävät olevan osittain jopa umpeen muurautuneen pölykuormasta.



Kuva 14. Suodatin likaisen kaasun puolelta.

Ylimääräinen pölykuorma lamellierottimissa vaikuttaa kaasun tasaiseen jakautumiseen suodattimessa. Näin ollen osa letkuista voi kuormittua enemmän kuin toiset. Kaikki suodattimen sisälle kertyneet pölyt olisi hyvä poistaa suodatinletkujen vaihdon yhteydessä.

Rikkoutuneet tai vääntyneet letkukorit saattavat tarpeettomasti aiheuttaa suodatinmateriaalin kulumista. Letkukorin katkenneet rautalangan päät tai pettäneet hitsausaumamat voivat repiä suodatinmateriaalin rikki. Aiemmasta kuvasta 14 nähdään suodatinletkujen olevan osittain jopa kiinni toisissaan. Tämä aiheuttaa ongelman varsinkin puhdistuspulssin aikana, kun letkut pääsevät hankaamaan toisiaan vasten. Puhdistus ei myöskään ole tehokas, kun letku ei ole oikeassa linjassa tulevan puhdistuspulssin kanssa. Osa suodatinmateriaalin pinnasta saattaa jäädä vallan puhdistumatta ja osaan kohdistuu liiallinen pulssi, joka saattaa jopa kuluttaa suodatinmateriaalia. Letkukorien kunto tulisi tarkastaa ja uusia rikkoutuneet ja vääntyneet.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli vähentää kuparirikasteen kuivauksen poistokaasun mukana ilmaan päätyviä hiukkaspäästöjä, suodattimien vaihdosta aiheutuvia tuotantokatkoja sekä kunnossapitokustannusten vähentäminen. Yhtenä osa-alueena oli myös mahdollisen esisuodatuksen tarpeen arviointi.

Opinnäytetyön haastavin osuus oli tiedon kerääminen kuitusuodattimien toiminnasta. Tietoa löytyy paljon erilaisista lähteistä ja sen kokoaminen yhteen tiiviiseen pakettiin vaati ponnistelua. Tiedonhaun ja tutkimusten aikana on saatu paljon arvokasta tietoa ilmansaasteista ja niiden vähentämistekniikoista, jota pystytään hyödyntämään Boliden Harjavallan alueella muuallakin, kuin kuparirikastekuivaimen poistokaasun suodatuksessa.

Alkuperäisen olettamuksen mukaan pöly olisi partikkelikooltaan hienompaa kuin aiemmin. Tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että pölyn ominaisuudet vastaavat lähes täysin aiempien tutkimusten tuloksia. Myöskään pölyn kemiallinen koostumus ei anna selitystä suodattimien tukkeutumiselle. Suodatinmateriaalitoimittajan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella saatiin ehdotus vaihtoehtoisesta PPS-suodatinmateriaalista. Uuden suodatinmateriaalin hankintahinta on 55 % edullisempi, joten taloudellinen hyöty on jo merkittävä. Uutta suodatinmateriaalia on koekäytetty neljän kuukauden ajan yhdessä suodatinkentässä hyvin tuloksin. Näitä uusia suodattimia on tilattu nyt suurempi erä ja on tarkoitus aloittaa suuremman mittakaavan koekäyttö. Yhden kentän testin perusteella voidaan jo olettaa uuden materiaalin kestävän vähintään yhtä pitkään kuin aiemmat materiaalit.

Vertailtaessa eri suodatusmenetelmiä ainoastaan sähkösuodatin voisi ominaisuuksiltaan olla riittävä korvaamaan nykyisen kuitusuodattimen. Käytännössä kuitenkin sähkösuodattimen vaatiman suuren tilavarauksen vuoksi tämä olisi mahdoton toteuttaa nykyisiin tiloihin. Kun tarkastellaan suodatusmenetelmiä esisuodatus mielessä, voisi sykloni olla varteenotettava vaihtoehto. Ahtaiden tilojen puitteissa syklonin sovittaminen esisuodattimeksi ei helposti onnistu,

mutta voisi olla tehtävissä. Ongelmat nykyisen suodattimen kanssa eivät kuitenkaan todennäköisesti johdu liiasta pölyn määrästä, joten esisuodatuksen rakentaminen ei ole mielestäni kannattavaa.

Tutkimuksissa selvisi, että kuparirikastekuivaimessa käytettävät ajoparametrit kaikki vaikuttavat tavallaan kuitusuodattimen toimintaan. Tärkein on muistaa pitää poistokaasun lämpötila kastepisteen yläpuolella, jottei kosteutta pääse muodostumaan suodatinmateriaalin pinnoille. Ylös- ja alasajo tilanteissa täytyy olla tarkkana suodattimen lämpötilojen kanssa, ettei polteta suodatinmateriaalia. Pyörimisnopeuden, imusäädön ja lämpötilan kasvattaminen laskevat lopputuotteen kosteutta, joka myös lisää hiukkaspäästöjä. Typpisyöttöä kasvattamalla on havaittu saavutettavan hiukkaspäästöä laskeva vaikutus.

Tutkimuksissa havaittiin muutamia ongelmia liittyen paineilmapuhdistukseen. Yksi havaittu ongelmakohta on kylmän paineilman puhaltaminen suodatinletkuihin. Tämä on yksi todennäköisimmistä syistä kosteuden tiivistymiseen suodatinmateriaalin pintaan ja liiallisen pölykakun kerääntymiseen suodattimen pinnalle. Suodatinvalmistaja suosittelee puhdistusjärjestelmän lämmittämistä ja eristämistä jo pelkästään toiminnan varmistamiseksi, minä suosittelisin tätä myös kosteuden tiivistymisen ehkäisemiseksi. Suunnittelutyö yrityksen sisällä on aloitettu paineilman lämmittämisen toteuttamiseksi. Toinen havainto liittyy puhdistuksessa käytettävän paineilman paineeseen. Mallinnuksen mukaan riittävä puhdistusteho saavutetaan hieman korkeammalla paineella kuin nyt on käytössä. Paineet on nostettu noin 5 baariin ja tämän myötä on havaittu paineerojen laskevan puhdistuksen jälkeen alemmas kuin aiemmin matalammalla noin 4,2 baarin paineella.

Visuaalisessa tarkastuksessa havaittiin suodatinletkujen epäsymmetrinen asettelu, jonka vuoksi suosittelen tarkastamaan perusteellisesti letkukorien kunto. Rikkoutuneet ja vääntyneet korit tulisi uusia, jotta varmistetaan letkujen symmetrinen asettelu suodattimessa ja estetään letkujen hankautuminen toisiinsa. Symmetrinen asettelu yhdessä pölykasvettumien poiston kanssa takaavat ilmavirran tasaisen kulun ja suodatinletkujen tasaisen kuormittumisen.

LÄHTEET

Boliden Group. (2022). Boliden Harjavalta - Boliden. Haettu 26.10.2022 osoitteesta <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-harjavalta>

Boliden Harjavalta Oy. (2020). Yritysesite 2020. Haettu 26.10.2022 osoitteesta <https://indd.adobe.com/view/978b9e46-3492-45e2-9ad7-ae1c844ab22b>

Boliden Harjavalta Oy. (2021). Ympäristölupamääräykset - Harjavallan tehtaات (s. 10). Haettu 25.3.2023 osoitteesta <https://bit.ly/3njAeuX>

Boliden Harjavalta Oy. (2022). BOHAN Ohjeet ja prosessikuvaukset - BMS.

Boliden Harjavalta Oy. (2023a). Ympäristö. Boliden Harjavalta Intranet. Haettu 25.3.2023 osoitteesta <https://bit.ly/40eTiJy>

Boliden Harjavalta Oy. (2023b). Ympäristötietojen vuosiraportti 2022 - Harjavallan tehtaات (s. 31). Haettu 10.4.2023 osoitteesta <https://bit.ly/40UGjwV>

GlobalSpec. (2023). Baghouses and Baghouse Filters Selection Guide: Types, Features, Applications. Haettu 2.4.2023 osoitteesta https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/baghouses

IAC's Ultimate Guide to Understanding Baghouse Dust Collectors. Haettu 9.3.2023 osoitteesta <https://iac-intl.com/baghouse/>

Industri Textil Job Oy. (2007). Letkusuodatinkoulutus.

Industri Textil Job Oy. (2008). Pulstex suodattimet - Käyttö ja huolto-ohje (s. 7).

Industri Textil Job Oy. (2022). Suodatinmateriaalien ominaisuuksia -Esite.

Johto, H. (10.3.2020). Syöttöseoksen teko ja kuivaus. Boliden Harjavalta Intranet. Haettu 26.10.2022 osoitteesta <https://bit.ly/3FRiGNi>

Johto, H., Lindgren, M., Luomala, M., Suikkanen, P. & Suortti, T. (2020). Prosessikoulutuksen koulutusmateriaalit. Boliden Harjavalta Intranet. Haettu 25.3.2023 osoitteesta <https://bit.ly/3n9JTef>

Lehtikangas, E. (2022). Sähköpostikeskustelu Suomen Teollisuuden Energia-palvelut Oy:n tuotantoinsinöörin Elisa Lehtikankaan kanssa.

Lehtinen, M. (2022). Keskustelu Boliden Harjavalta Oy:n rikastealueen käyttöpäällikön, Markus Lehtisen kanssa.

Lehtinen, M. & Ikäheimo, V. (2022). Keskustelu suodatinmateriaalitoimittajan edustajan Villiina Ikäheimon ja rikastealueen käyttöpäällikön Markus Lehtisen kanssa.

Marjakoski, M. (2019). SixSigma Green Belt opinnäytetyö: Kuparirikastekuivaimen optimointi (s. 30).

Mathhews, B. (2017). Preventing moisture problems in your dust collector (s. 2). Scientific Dust Collectors. Haettu 9.4.2023 osoitteesta https://www.scientificdustcollectors.com/userimages//Preventing_Moisture_PBE_March2017.pdf

Ohlström, M. (1998). Energiantuotannon pienhiukkaspäästöt Suomessa (s. 50). Haettu 2.4.2023 osoitteesta <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>

Ohlström, M., Tsupari, E., Lehtilä, A. & Raunemaa, T. (2005). Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa (s. 22–24). Haettu 9.3.2023 osoitteesta <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2005/T2300.pdf>

Pihkala, J. (2011). Prosessitekniikka (s. 72–118).

Pleym, H. (1991). Ympäristötekniikka (s. 123–199). Tammertekniikka.

Salonen, S. (2022). Sähköpostikeskustelu Job Group Finlandin myyntijohtajan Samu Salosen kanssa.

Salonen, S. (2023). Sähköpostikeskustelu Job Group Finlandin myyntijohtajan Samu Salosen kanssa.

Seppänen, H. (1991). Ympäristönsuojelutekniikan perusteet (Viides painos, s. 203). Otatieto.

SICK AG. (2023). Valon sirontaan perustuvat pölymittarit | DUSTHUNTER SP100. Haettu 23.4.2023 osoitteesta <https://www.sick.com/fi/fi/poelymittarit/valon-sirontaan-perustuvat-poelymittarit/dusthunter-sp100/c/g64160>

Suortti, T. (2021). Tutkimus muistio. CuLSU - rikastekuivaimen tukkeutunut pussisuodin, talvi 2021. Outotec Research Center.

Säämänen, A., Riipinen, H., Kulmala, I. & Welling, I. (2004). Pölyntorjunta. Haettu 2.4.2023 osoitteesta <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>

Trimble Inc. (2018). Boliden Harjavalta Oy Prosessianalyysijärjestelmä Wedge (8.2).

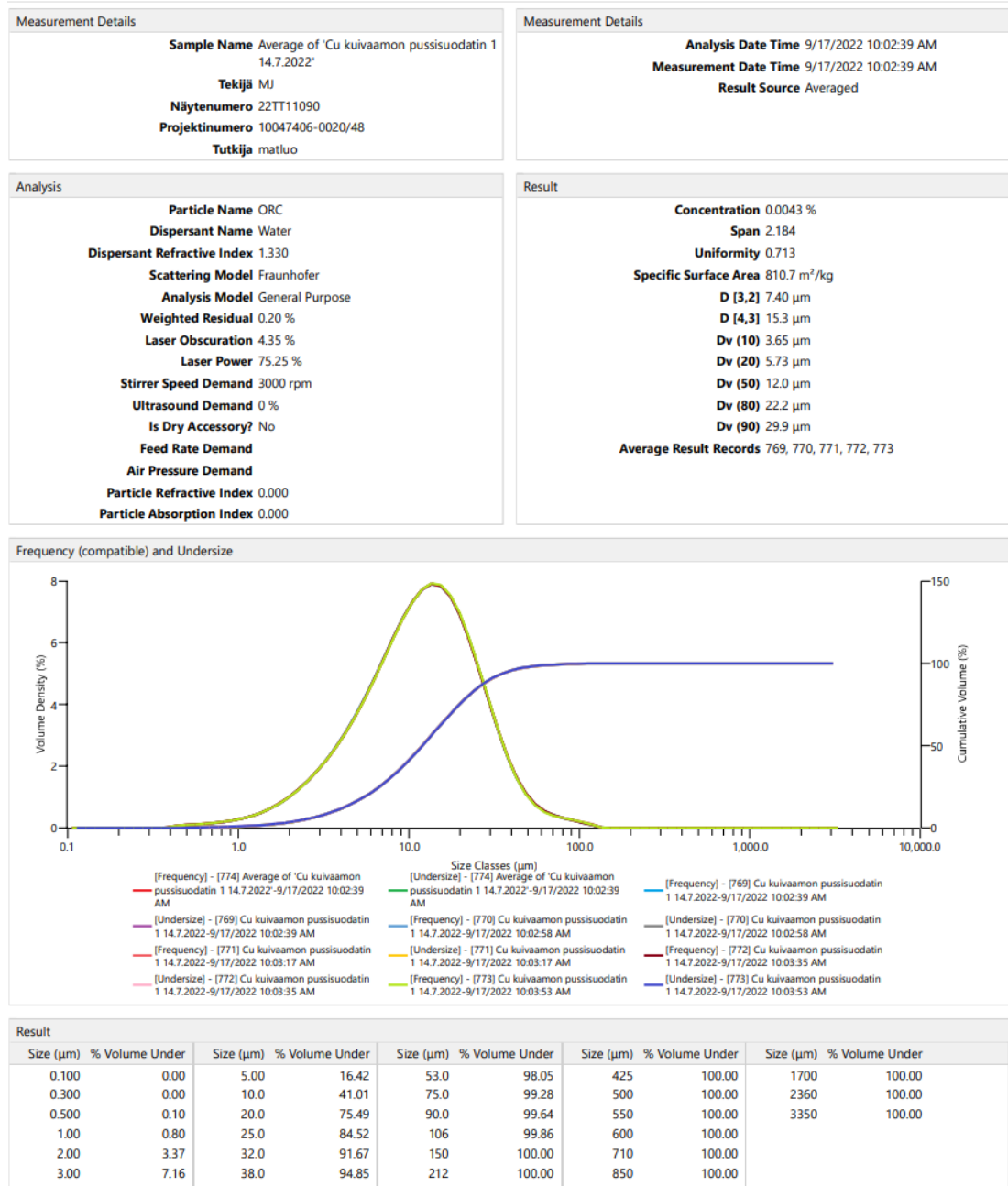
Valmet. (2023). Boliden Harjavalta Oy - Valmet DNA prosessinohjaus.

Ympäristöministeriö. (2019). Ymparisto > Ilmansuojelu. Haettu 31.1.2023 osoitteesta https://www.ymparisto.fi/fi-fi/ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu

LIITE 1. PÖLYN PARTIKKELIKOKOJAKAUMA SUODATIN 1

Result Analysis Report

Metso:Outotec



Malvern Instruments Ltd.

Mastersizer - v3.81

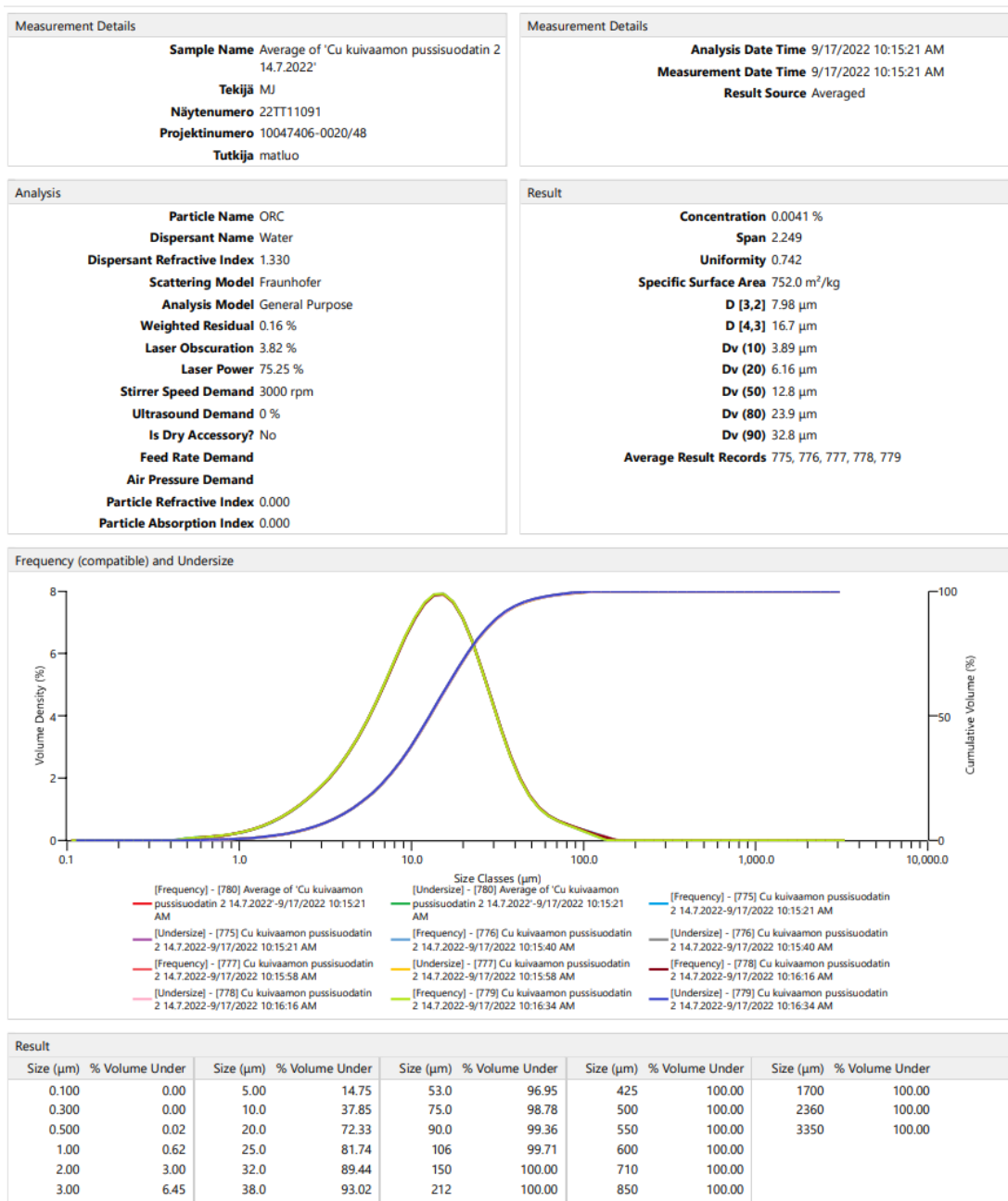
9. Syyskuu22

Created: 3/24/2021

LIITE 2. PÖLYN PARTIKKELIKOKOJAKAUMA SUODATIN 2

Result Analysis Report

Metso:Outotec



Malvern Instruments Ltd.

Mastersizer - v3.81

9. Syyskuu22

Created: 3/24/2021

LIITE 3. PÖLYN ALKUAINEPITOISUUDET SUODATIN 1 JA 2

22/11/2022 10.23.45

PANalytical

Quantification of sample 22TT11090

R.M.S.: 0,009
 Result status:
 Sum: 89,00 %
 Sample type: Pressed powder
 Initial sample weight (g): 5,004
 Weight after pressing (g): 6,007
 Compton validation factor: 0,94
 Oxygen validation factor: 0,05
 Correction applied for medium: No
 Correction applied for film: No
 Results database: omnian 2020
 Results database in: c:\panalytical\superq\userdata

Compound Name	Conc. (%)
1	
2 H	
3 He	
4 Li	
5 Be	
6 B	
7 C	
8 N	
9 O	
10 F	
11 Ne	
12 Na	0,534
13 Mg	2,04
14 Al	1,86
15 Si	6,02
16 P	0,0195
17 S	23,3
18 Cl	0,0489
19 Ar	
20 K	0,366
21 Ca	0,727
22 Sc	
23 Ti	0,116
24 V	
25 Cr	0,0479
26 Mn	0,0338
27 Fe	25,9
28 Co	0,0346
29 Ni	0,308
30 Cu	25,2
31 Zn	1,27
32 Ga	
33 Ge	0,00415
34 As	0,291
35 Se	0,0268
36 Br	
37 Kr	
38 Rb	
39 Sr	0,00695
40 Y	
41 Zr	0,00428
42 Nb	
43 Mo	0,0536
44 Tc	
45 Ru	
46 Rh	
47 Pd	
48 Ag	
49 Cd	
50 In	
51 Sn	0,0836
52 Sb	0,0488
53 Te	
54 I	
55 Xe	
56 Cs	
57 Ba	0,0627
58 La	
59 Ce	0,0209
60 Pr	
61 Nd	
62 Pm	
63 Sm	
64 Eu	
65 Gd	
66 Tb	
67 Dy	
68 Ho	
69 Er	
70 Tm	
71 Yb	
72 Lu	
73 Hf	
74 Ta	
75 W	

22/11/2022 10.27.39

PANalytical

Quantification of sample 22TT11091

R.M.S.: 0,01
 Result status:
 Sum: 88,20 %
 Sample type: Pressed powder
 Initial sample weight (g): 5,003
 Weight after pressing (g): 6,007
 Compton validation factor: 0,91
 Oxygen validation factor: 0,05
 Correction applied for medium: No
 Correction applied for film: No
 Results database: omnian 2020
 Results database in: c:\panalytical\superq\userdata

Compound Name	Conc. (%)
1	
2 H	
3 He	
4 Li	
5 Be	
6 B	
7 C	
8 N	
9 O	
10 F	
11 Ne	
12 Na	0,591
13 Mg	2,02
14 Al	1,67
15 Si	5,64
16 P	0,0187
17 S	23
18 Cl	0,0465
19 Ar	
20 K	0,342
21 Ca	0,632
22 Sc	
23 Ti	0,112
24 V	
25 Cr	0,0508
26 Mn	0,0352
27 Fe	26,3
28 Co	0,0225
29 Ni	0,267
30 Cu	24,8
31 Zn	1,49
32 Ga	
33 Ge	
34 As	0,253
35 Se	0,0273
36 Br	
37 Kr	
38 Rb	
39 Sr	0,00761
40 Y	
41 Zr	0,0044
42 Nb	
43 Mo	0,0466
44 Tc	
45 Ru	
46 Rh	
47 Pd	
48 Ag	0,0137
49 Cd	
50 In	
51 Sn	0,09
52 Sb	0,0541
53 Te	
54 I	
55 Xe	
56 Cs	
57 Ba	0,0503
58 La	
59 Ce	
60 Pr	
61 Nd	
62 Pm	
63 Sm	
64 Eu	
65 Gd	
66 Tb	
67 Dy	
68 Ho	
69 Er	
70 Tm	
71 Yb	
72 Lu	
73 Hf	
74 Ta	
75 W	

Binder	Chemical formula	76 Re 77 Os 78 Ir 79 Pt 80 Au 81 Hg 82 Tl 83 Pb 84 Bi 85 Po 86 At 87 Rn 88 Fr 89 Ra 90 Ac 91 Th 92 Pa 93 U 94 Np 95 Pu 96 Am 0,49 0,0206		76 Re 77 Os 78 Ir 79 Pt 80 Au 81 Hg 82 Tl 83 Pb 84 Bi 85 Po 86 At 87 Rn 88 Fr 89 Ra 90 Ac 91 Th 92 Pa 93 U 94 Np 95 Pu 96 Am 0,589 0,0241	
		Weight (g)	1,0034	Weight (g)	1,0049

LIITE 4. RAPORTTI PUHDISTUSJÄRJESTELMÄN TEHOKKUUDEN MALLINNUKSESTA.

Steam Dryer Copper
2/11/2022 7:07:07 AM

Industri Textil Job Oy
Samu Salonen

Finland
Filtration

Goco 8 Cleaning System Report **GOYEN**

● VNPS12

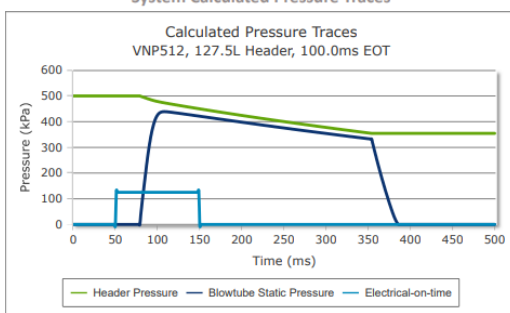
System Inputs

Parameter	VNPS12
Header Pressure	500kPa
Electrical-on-time	100ms
Pilot Type	Integral Pilot
Filter Type	Filterbag with Venturi
Filter Parameters	Bag Dia:118mm, Length:3.7m
Flow Details	A/C Ratio:0.02m/s, Forward Flow:22.1L/s
Head Loss	1000Pa
Blowtube Geometry	Dia: 41.9mm, Length:2930mm
Filters per Blowtube	16 filters with 1 bends (R=5D)
Nozzle Type	Plain Outlets with 200mm sep. distance
Temperatures	Header:20°C, Baghouse:20°C
Advanced Parameters	

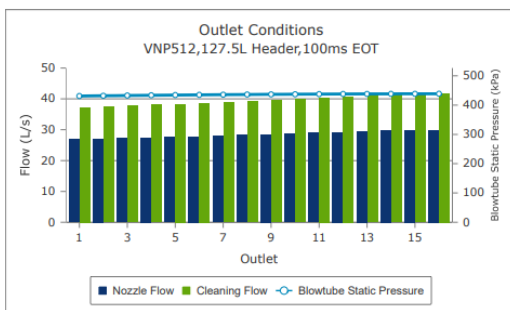
System Results

Parameter	VNPS12
Solve Mode	Full Manual
Header Pressure	Initial:500kPa, Final:354kPa, Decay:29.1%
Blowtube Pressure	Peak:439kPa, Final:332kPa
Header Volume	127.5L
Mechanical-On-Time	275ms
Free Air Consumption	137.1L
Outlet Diameter	Max:6.5mm, Min:6.5mm
An/AP	0.39
Cleaning Factor	Max:1.89, Min:1.68

System Calculated Pressure Traces



Outlet Conditions



Version - Code: 8.0, Database: 1.3.

Note that data supplied is for guidance only.

Final system design remains the responsibility of the baghouse manufacturer.

Outlet Metrics

Orifice No	Blowtube Static Pressure (kPa)	Hole Size Ø (mm)	Overpressure (Pa)	Cleaning Flow (L/s)	Cleaning Factor	Angle	Misalignment (deg)	% Flow Entering Filter
1	431.1	6.5	1684.0	37.2	1.68	▶	6.2	100.0
2	432.0	6.5	1696.1	37.5	1.70	▶	5.9	100.0
3	432.8	6.5	1708.4	37.8	1.71	▶	5.5	100.0
4	433.6	6.5	1721.1	38.0	1.72	▶	5.1	100.0
5	434.4	6.5	1734.0	38.3	1.73	▶	4.8	100.0
6	435.0	6.5	1747.4	38.6	1.75	▶	4.4	100.0
7	435.7	6.5	1761.2	38.9	1.76	▶	4.0	100.0
8	436.2	6.5	1775.7	39.2	1.78	▶	3.7	100.0
9	436.8	6.5	1790.9	39.6	1.79	▶	3.3	100.0
10	437.2	6.5	1807.0	39.9	1.81	▶	2.9	100.0
11	437.6	6.5	1824.4	40.3	1.82	▶	2.5	100.0
12	438.0	6.5	1843.4	40.7	1.84	▶	2.2	100.0
13	438.3	6.5	1864.6	41.2	1.86	▶	1.8	100.0
14	438.5	6.5	1886.4	41.7	1.89	▶	1.4	100.0
15	438.7	6.5	1887.1	41.7	1.89	▶	1.0	100.0
16	438.8	6.5	1887.6	41.7	1.89	▶	0.7	100.0