

PUHDASTILAN  
PARTIKKELIPÄÄSTÖJEN  
PIENENTÄMINEN

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Suunnittelupainotteinen mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2015  
Ville Nurmi

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

NURMI, VILLE:

Puhdastilan partikkelipäästöjen pienentäminen

Suunnittelupainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 17 sivua

Syksy 2015

TIIVISTELMÄ

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Wipak Oy Nastolan-pussiosasto. Osastolla valmistetaan sterilointipusseja sekä -rullia. Pussiosasto on puhdastila, jota edellytetään sterilointituotteiden valmistuksessa. Tuotannossa käytetään erilaisia saumaus- ja leikkausmenetelmiä, joista vapautuu ilmaan puhdastilalle haitallisia partikkelipäästöjä. Päästöjä valvotaan neljä kertaa vuodessa tehtävillä partikkelimittauksilla, jotka suoritetaan eri pisteissä hallia.

Mittaustuloksissa on havaittu huomattavia partikkelipäästöjä yhden mittauspisteen osalta. Tämän opinnäytetyön tavoitteina oli tarkistaa mittauksien paikkaansa-pitävyys, selvittää, miksi kyseisessä kohdassa partikkelipitoisuus on koholla, sekä miettiä, millä keinoilla haitallisia partikkelipitoisuuksia saataisiin pienennettyä.

Kriittinen mittauspiste sijaitsee sterilointirullakoneen 5003455 lähellä. Tästä voidaan päätellä, että kyseisen koneen tuotantoprosessissa syntyy ilmaan muita tuotantokoneita huomattavampia määriä partikkeleita. Koneessa on entuudestaan yksi huuva saumausyksikön päällä, mutta sen tuottama ilmanvaihto on selvästi riittämätön partikkelipoistoon.

Partikkelipitoisuuksien pienentämiskeinoja sterilointirullakoneelle 5003455 ovat poistoilmasuuttimien lisääminen kriittisiin kohtiin sekä saumausyksikön päällä olevan huuvan kunnon ja toimivuuden tarkastaminen. Myös ilmanpoistossa käytettävä kanavapuhallin tulee tarkastaa ja tarpeen vaatiessa vaihtaa imutehon kasvattamiseksi. Lisäksi rullien leikkauksessa syntyviä partikkelipäästöjä on tarkoitus vähentää suunnittelemalla leikkausyksikköön parannuksia leikkaus-jätteen poiston osalta.

Avainsanat: puhdastila, ilmanvaihto, hiukkanen

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

NURMI, VILLE: Particle emissions reduction in a cleanroom

Bachelor's Thesis in Mechatronics 17 pages

Autumn 2015

## ABSTRACT

---

This thesis was made for Wipak Oy Nastola's Medical Packaging Unit which produces sterilization pouches and rolls. The Medical Packaging Unit is a cleanroom which is mandatory in the manufacturing of sterilization products. Different seaming and cutting procedures are used in the production. These procedures emit harmful particles for the cleanroom into the air. Particle emissions are monitored by measurements done four times per year in various points in the production hall.

Considerable particle concentration have been detected in one measurement point. The objectives of this thesis were double-checking the measurements, studying why the particle emissions of this point in question are elevated, and searching for ways how to reduce the harmful particle percentage. The critical measurement point is situated near the sterilization roll machine 5003455. The result from this measurement point lead to the conclusion that this particular machine creates more particles into the air than the the other production machines. An inverted funnel over the seaming unit already exists, but nevertheless, air ventilation is insufficient.

Procedures to reduce the particle concentration on the roll machine were to add exhaust nozzles into the critical points, and to check the condition and the functionality of the inverted funnel over the seaming unit. Also, the circular duct fan used in the air venting system of the inverted funnel should be checked, and, if necessary, changed to increase the suction power. Additionally, the intention is to reduce the particle emissions occurring when cutting the rolls by improvements made to the cutting unit.

Key words: cleanroom, ventilation, particle

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Työn rajaus ja tavoitteet	1
2	YRITYS	2
2.1	Wihuri-konserni ja Wipak Oy	2
2.2	Pussiosasto	2
3	PUHDASTILA	3
3.1	Puhdastila yleisesti	3
3.2	Puhdastilan ilmanvaihto	3
3.3	Suodattimet ja korvausilman tuotto	5
3.4	Haitallisten partikkelien aiheuttajat	5
4	PARTIKKELIPÄÄSTÖT	6
4.1	Mittausmenetelmä	6
4.2	Mittaustulokset	8
4.3	Partikkelipäästöjen aiheuttajat	8
5	ILMANPOISTON PARANTAMINEN	10
5.1	Huuva	10
5.2	Kanavapuhallin	11
5.3	Poistoilmasuuttimet	12
5.4	Leikkauksen ilmanpoisto	14
6	YHTEENVETO	15
	LÄHTEET	18

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn rajaus ja tavoitteet

Pussiosaston neljännesvuosittaisissa partikkelipäästömittauksissa on havaittu korkea hiukkaspartikkelimäärä yhdellä mittauspisteellä suhteessa muihin mittauspisteisiin. Koska pussiosasto on puhdas tila, tulee ilmassa olevien hiukkaspartikkelien määrää valvoa ja pyrkiä minimoimaan. Partikkelipäästömittauksissa todettu kriittinen mittauspiste sijaitsee sterilointirullakoneen 5003455 vieressä, joten sen voidaan olettaa olevan haitallisten partikkelipäästöjen lähde. Näin ollen opinnäytetyö rajataan tarkastelemaan kyseistä sterilointirullakonetta. Tavoitteiksi asetetaan pussiosaston mittaushavaintojen tarkistaminen, korkeiden hiukkaspartikkelimäärien syiden selvittäminen sterilointirullakoneelta 5003455 sekä selvitys partikkelipäästöjen pienentämisen keinoista kyseisellä tuotantokoneella. Toimeksiantajan pyynnöstä työ on osin salainen.

## 2 YRITYS

### 2.1 Wihuri-konserni ja Wipak Oy

Wihuri Oy on teollisuutta ja kauppaa harjoittava kansainvälinen suomalainen monialayritys. Ihmisiä yli 30 maassa työllistävä Wihuri-konserni muodostuu neljästä toimialaryhmästä: pakkausteollisuus, päivittäistavaratukkutoiminta, tekninen tukkukauppa ja liikelentotoiminta. (Wihuri 2015.)

Wipak Oy Nastola on osa pakkausteollisuuden toimialaryhmää. Tehdas perustettiin vuonna 1950 ja se yhdistettiin osaksi Wihuri-konsernia 1967. Wipak Oy Nastola työllistää noin 450 henkilöä. Tehdas keskittyy elintarviketeollisuuden ja terveydenhuollon pakkausmateriaalien ja -tuotteiden valmistukseen. (Wipak Europe Finland 2015.)

### 2.2 Pussiosasto

Opinnäytetyö tehdään Wipak Oy Nastolan pussiosastolle, joka työllistää noin 50 henkilöä. Osastolla valmistetaan sterilointipakkauksia sairaaloiden ja sairaalatarvikkeita valmistavan teollisuuden tarpeisiin. Osasto on puhdastila, jonka tavoitteena on puhdastilaluokka EN-ISO 8. Puhdastilassa sijaitsee yksitoista perustuotantokonetta. Näistä perustuotantokoneista seitsemän tuottaa sterilointipusseja. Lopuista koneista kolme on tarkoitettu sterilointirullien valmistamiseen ja yksi rullien leikkaamiseen. Lisäksi puhdastilassa sijaitsee yksi kalvoleikkuri, joka toimii erillisen leikkaamo-osaston alaisuudessa.

### 3 PUHDASTILA

#### 3.1 Puhdastila yleisesti

Puhdastilan perusajatuksena on minimoida haitallisten mikrobin ja hiukkasten aiheuttamia haittoja tuotantotiloissa ja laboratorioissa. Ilmassa esiintyvien partikkeleiden määrää kontrolloidaan pyrkimyksenä minimoida niiden sisään-pääsy, syntyminen ja viipymä tilassa. Tällaisia puhdastiloja käytetään monilla eri aloilla, kuten esimerkiksi elintarvike- ja lääketeollisuudessa.

(CleanRoomTech Oy 2015.)

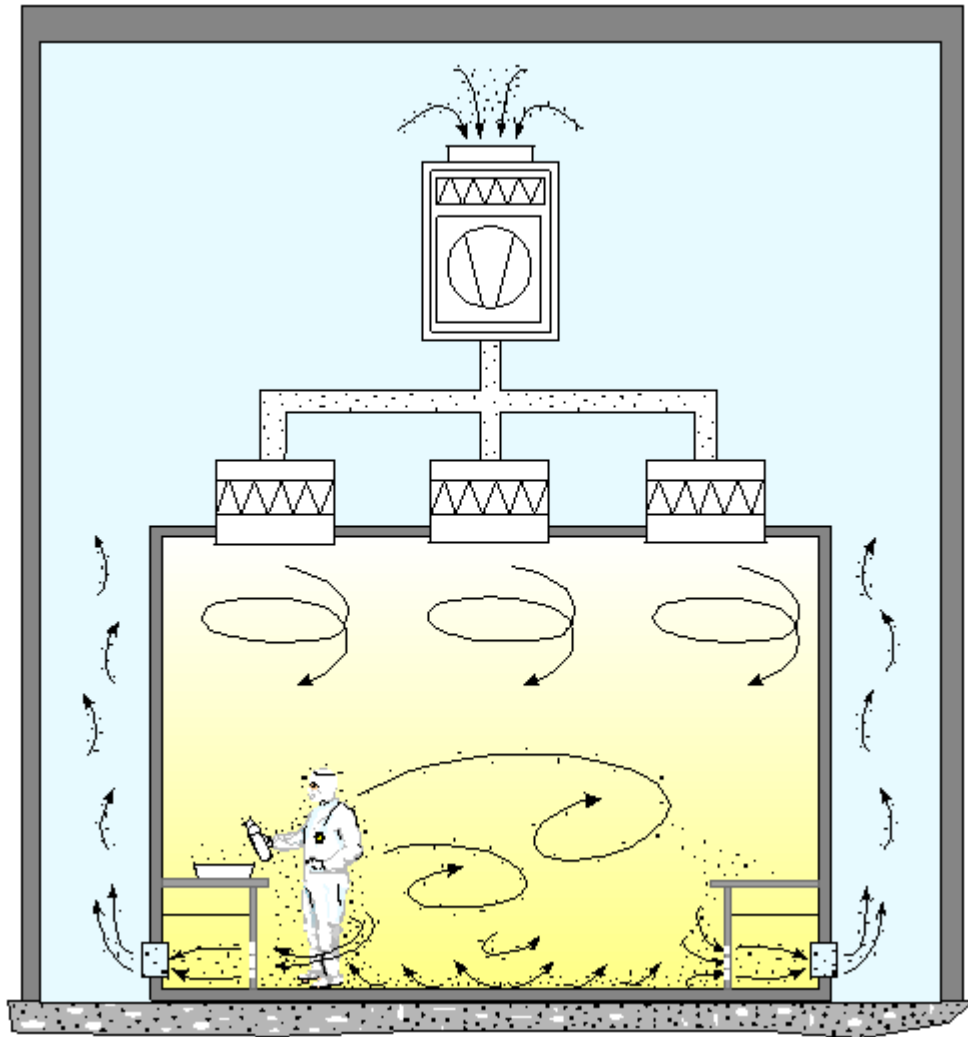
Euroopassa käytössä olevan standardin ISO 14644-1 mukaan puhdastila on määritelty ”huoneeksi, jossa ilman hiukkaspitoisuutta valvotaan, ja joka on rakennettu siten, ja jota käytetään sellaisella tavalla, että hiukkasten pääsy, kerääntyminen ja säilyminen huoneen sisällä on minimoitu. Lisäksi muita asiaankuuluvia suureita kuten lämpötilaa, kosteutta ja painetta valvotaan tarpeen mukaan”. (SFS-EN ISO 14644-1 2000.)

#### 3.2 Puhdastilan ilmanvaihto

Puhdastila on ympäröiviin tiloihinsa nähden ylipaineinen, jolloin ilma virtaa puhtaasta tilasta likaisempaan päin. Näin ollen myös ilmanvaihdon ilmanmäärällä on merkitystä pienten ilmassa esiintyvien hiukkasten kontrolloinnissa. Ilmanmäärän tulee olla erittäin suuri, suhteessa tilan kokoon, jotta saadaan estettyä hiukkasten pysyminen tilassa, niiden poistuessa jatkuvasti vaihtuvan ilman mukana ulos. (Tompuri 2008.)

Suodatetun ilman virtaus puhdastilassa voi olla joko laminaarista tai turbulენტtista. Lisäksi laminaarinen virtaus voi olla joko vertikaalista tai horisontaalista. Pussi-osastolla käytetty virtaus on turbulენტtista eli pyörteistä, jossa ulospuhallusaukot on sijoitettu useaan eri kohtaan hallissa (kuvio 1). (SFS-EN ISO 14644-4 2001.)

Turbulenttisen ilmavirran saavuttamiseksi on tärkeää, että suodattimet jakavat tulevan ilman nopeasti, sekoittaen sen samalla huolellisesti tilaan. Näin ollen siis myös ilman virtausnopeudella on merkitystä puhdastilojen ilmanvaihdossa. (SFS-EN ISO 14644-4 2001.)



KUVIO 1. Turbulenttinen ilmavirtauskaavio (Kiramio 2013)

Suodattimien ulospuhallusaukkojen sijoittelu on puhdastilan suorituskyvyn kannalta tärkeää, jotta mahdolliset epäpuhtaudet eivät pääse etenemään tilassa. Vaikka poistoilma-aukkojen sijoittelu turbulenttisessa virtauksessa ei ole niin kriittistä verrattuna laminaariseen virtaukseen, tulee poistoilma-aukkojen sijainti suunnitella tarkkaan, jotta puhdastilaan ei syntyisi virtauksettomia alueita. (SFS-EN ISO 14644-4 2001.)



### 3.3 Suodattimet ja korvausilman tuotto

Ilmastointilaitteen tuoman ilman suodatus tapahtuu erillisen HEPA-suodattimen avulla. HEPA on lyhenne sanoista High Efficiency Particulate Air filter. Suodattimia voi olla useita riippuen prosessin vaatimasta puhdistilaluokituksesta.

HEPA-suodatin suodattaa 0,3  $\mu\text{m}$ :n kokoiset tai suuremmat hiukkaset 99,97-prosenttisesti. (Oxygenium 2015.)

Korvausilmana tuleva kiertoilma on suodattimien kautta palautuvaa tilasta poistettua ilmaa. Sen osuus on jopa 75 % - 90 %. Se kuitenkin sisältää aina myös jonkin verran puhdasta ulkoilmaa. (Tompuri 2008.)

### 3.4 Haitallisten partikkelien aiheuttajat

Puhdastiloissa yleisesti suurin epäpuhtauksien lähde on ihminen. Epäpuhtauksia kuitenkin aiheuttavat myös kemiallisissa reaktioissa syntyvät erittäin hienojakoiset partikkelit, joiden määrä riippuu tavallisesti prosessiin käytetystä energiamäärästä. (Säämänen, Riipinen, Kulmala & Welling 2004.)

Pussiosaston puhdistilamääräyksissä on otettu huomioon ihmisistä aiheutuvat epäpuhtaudet ja niiden minimointi. Näin ollen suurimmat epäpuhtauksien aiheuttajat puhdistilan ilmaan voidaan olettaa syntyvän pussi- ja rullakoneiden saumausyksiköistä, joissa ESP-kalvo ja höyrypaperi saumataan yhteen käyttäen suuria lämpötiloja. Tällöin ilmaan pääsee paljon hienojakoisia partikkeleita, jotka ovat erittäin haitallisia puhdistilan laatukriteerien kannalta.

## 4 PARTIKKELIPÄÄSTÖT

### 4.1 Mittausmenetelmä

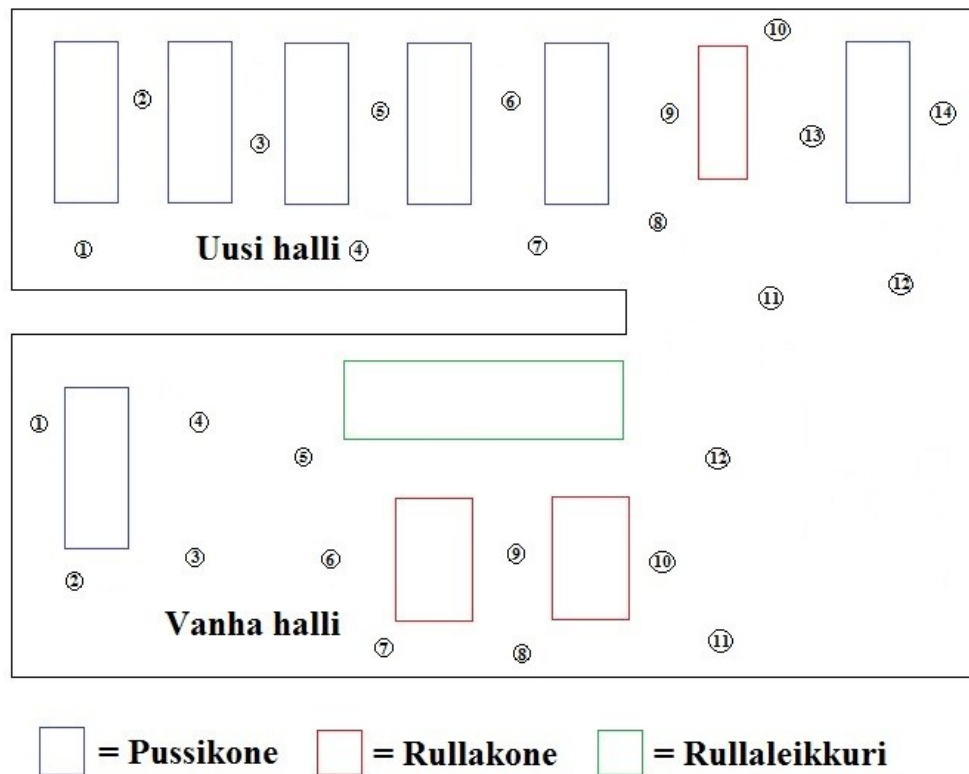
Pussiosastolla on käytössä Roycon valmistama hiukkaslaskurimalli 325 (kuva 1). Kyseisellä hiukkaslaskurilla pystytään mittaamaan hiukkasten kokoa ja lukumääräpitoisuutta ohjaamalla ne yksitellen fokusoidun valonsäteen läpi. Hiukkaset sirottavat valoa, ja tutkimalla sironneita valopulsseja saadaan hiukkasten pitoisuus ja koko. Pulssien saapumistaajuus ilmaisee hiukkaspitoisuuden ja korkeus hiukkasten koon. Epävarmuustekijöitä mittaustulokseen saattavat aiheuttavat muun muassa muutokset hiukkasten muodossa ja taitekertoimessa sekä suuria pitoisuuksia mitattaessa koinsidensi eli useamman hiukkasen saapuminen havaintotilavuuteen yhtä aikaa tai liian pienin väliajoin. (Hiukkastieto 2015.)



KUVA 1. Pussiosastolla käytössä oleva hiukkaslaskuri Royco 325

Pussiosastolla suoritettavissa mittauksissa käytetään 26:tä mittauspistettä, jotka sijaitsevat eri puolilla puhdistilalahallia. Puhdistila koostuu kahdesta osasta: uudesta ja vanhasta hallista. Kaksitoista mittauspistettä sijaitsee vanhan tehdashallin puolella ja neljätoista uuden hallin puolella. Noudatettava standardi on SFS-EN ISO 14644-1. Mittaukset suoritettiin normaalin tehdaskäytön aikana, eli kaikki tuotantokoneet olivat mittauksen aikana ajossa.

Mittaukset aloitettiin vanhan hallin puolelta. Ensin hiukkaslaskurin toiminta tarkastettiin asettamalla kalibrointisuodatin paikalleen ja suorittamalla koemittaus. Jos koemittauksen jälkeen kaikki partikkelikoot näyttävät nolaa, hiukkaslaskurilla voidaan aloittaa mittaukset. Jokaisella mittauspisteellä ilman partikkelipitoisuutta mitattiin yhden minuutin ajan. Käytettävä näyteilmavirta oli 28,32 l/min. Tämän jälkeen hiukkaslaskuri siirrettiin numerjärjestyksessä seuraavana olevaan mittauspisteeseen, jossa suoritettiin jälleen yhden minuutin pituinen mittausjakso. Tämä toimenpide toistettiin jokaisessa mittauspisteessä (kuvio 2). Kun mittaukset oli suoritettu jokaisella mittauspisteellä, tulostettiin hiukkaslaskurin mittaustulokset paperiseen muotoon.



KUVIO 2. Havainnekuva mittauspisteiden sijainnista

## 4.2 Mittaustulokset

Mittauksissa havaittiin korkea hiukkaspartikkelipitoisuus 0,5 – 5 µ:n kokoluokassa yhdellä mittauspisteellä suhteessa muihin mittauspisteisiin. Tämä mittauspiste sijaitsi sterilointirullakoneen 5003455 vieressä. Vaikka koneen yläpuolelle on sijoitettu poistoilmahuuva, sen imuteho osoittautui näin ollen liian vähäiseksi. Mittaustuloksia tarkasteltaessa havaittiin myös, että viereisen pussikoneen hydraulikkamoottorin poistoilma levitti haitallisia partikkeleita pidemmälle tehdashalliin.

## 4.3 Partikkelipäästöjen aiheuttajat

Koska sterilointirullakoneen 5003455 (kuva 2) läheisestä mittauspisteestä havaittiin korkea hiukkaspartikkelipitoisuus, voidaan olettaa, että kyseisen koneen valmistusprosessista syntyy ilmaan huomattava määrä partikkeleita. Yksi syy suureen partikkelipitoisuuteen on koneessa käytettävä jatkuvatoiminen rullaava prosessi. Siinä ESP-kalvo ja höyrypaperi saumataan toisiinsa saumausrummulla puristuspainetta hyväksikäyttäen. Materiaalien saumautuessa ilmaan pääsee haitallisia partikkeleita. Koska prosessi on jatkuvatoiminen, ilmaan pääsee enemmän partikkeleita kuin pussikoneista, joiden saumaus tapahtuu saumausyksiköissä. Tämä johtuu siitä, että saumausyksiköiden toiminta on jaksoittaista.

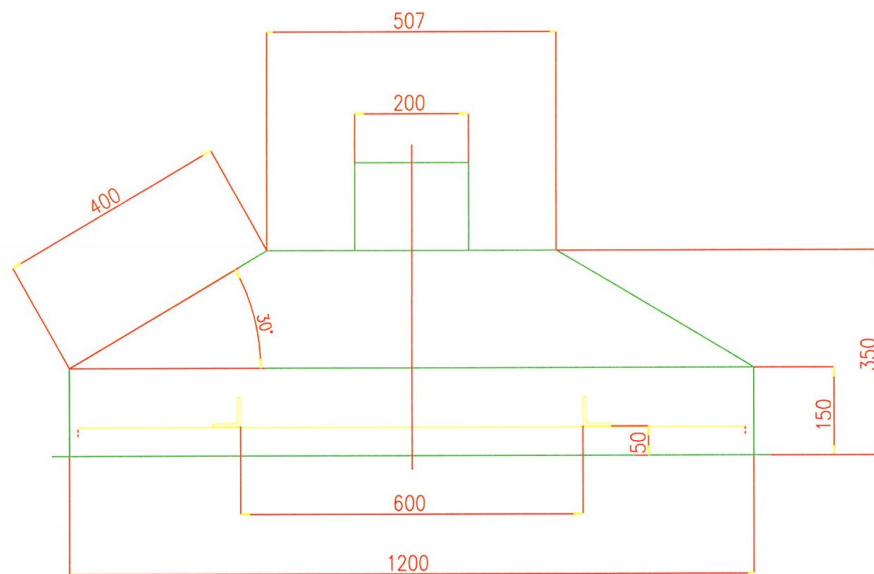


KUVA 2. Sterilointirullakone 5003455

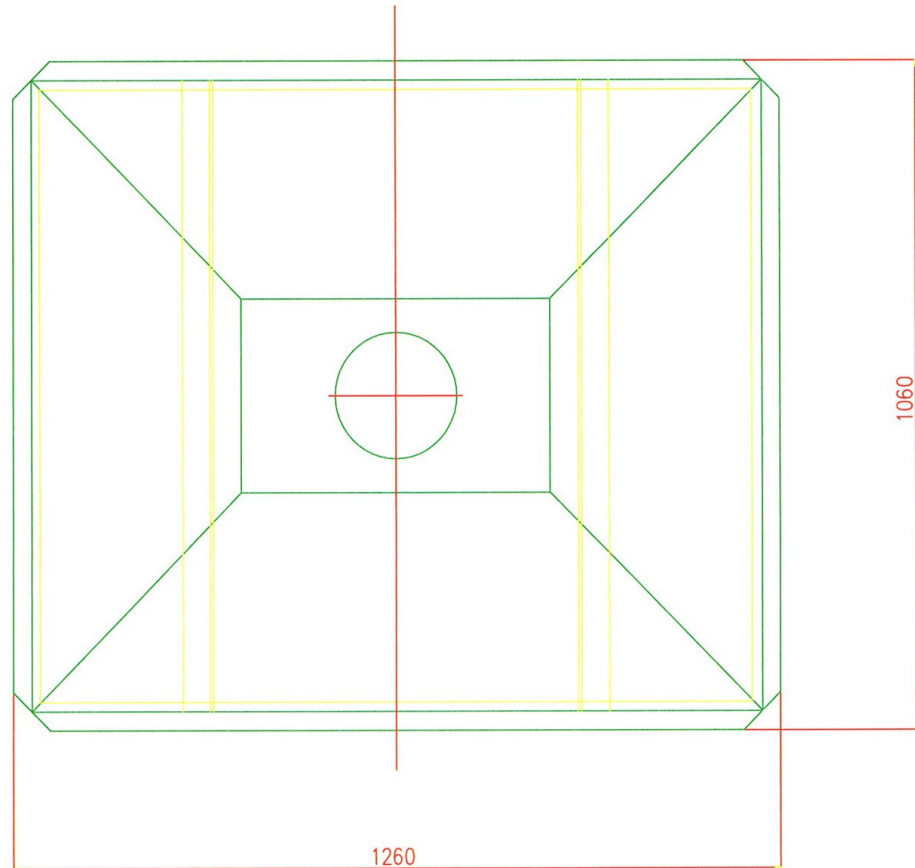
## 5 ILMANPOISTON PARANTAMINEN

### 5.1 Huuva

Rullakoneen päällä oleva huuva on osoittautunut tehtyjen mittausten perusteella riittämättömäksi partikkelien poistokeinoksi. Huuva koostuu koneen päällä olevasta suutinosasta sekä siihen liitetystä kanavapuhaltimesta. Suutinosan huoltoon tulee kiinnittää jatkossa tarkempaa huomiota esimerkiksi puhdistamalla suutin puolivuositain nykyisen vuosihuollon sijaan.



KUVIO 3. Käytössä olevan huuvan sivuprofiili



KUVIO 4. Käytössä olevan huuvan yläprofiili

## 5.2 Kanavapuhallin

Sterilointirullakoneella käytössä olevaan huuvaan on kytketty Systemairin kanavapuhallinmalli K 315 L (kuva 3). Puhaltimen maksimaalinen ilmavirtaus on 482 l/s. Ilmavirtauksen tehoa nostamalla saataisiin haitallisia partikkeleita paremmin pois tehdasilmasta. Näin ollen kanavapuhaltimen vaihto suurempi-tehoiseen malliin toisi ilmanpoistoon tehokkuutta.



KUVA 3. Systemair K 315 L – kanavapuhallin (Systemair 2012b)

Systemairin kanavapuhaltimen KD 355 S1 (kuva 4) maksimaalinen ilmavirtaus on 598 l/s. Vaihtaminen kyseiseen malliin toisi huomattavan parannuksen imutehoon, minkä johdosta ilmassa olevia haitallisia partikkeleita saataisiin vähennettyä merkittävästi.



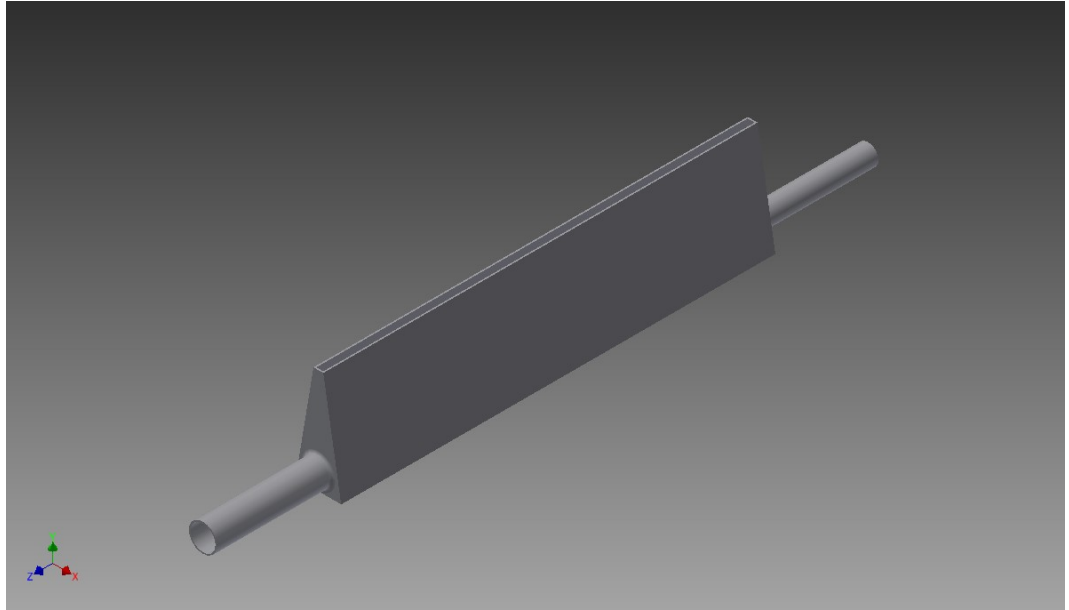
KUVA 4. Systemair KD 355 S1 – kanavapuhallin (Systemair 2012a)

### 5.3 Poistoilmasuuttimet

Kuten mittauksissa todettiin, pelkästään huuva on riittämätön tehokkaaseen ilmanpoistoon. Näin ollen huuvan lisäksi tarvitaan koneelle poistoilmasuuttimia (kuvio 5). Sijoittamalla poistoilmasuuttimet kriittisiin kohtiin saadaan vähennettyä haitallisten partikkeleiden pääsy ilmaan lähellä niiden syntypaikkaa. Vastaavia poistoilmasuuttimia on sijoitettu myös kahteen muuhun pussipuolen rullakoneeseen. Hiukkaspattikkelipitoisuudet näiden koneiden läheisyydessä ovat huomattavasti pienempiä kuin 5003455:llä, joten poistoilmasuuttimien lisääminen myös 5003455:lle on perusteltua.

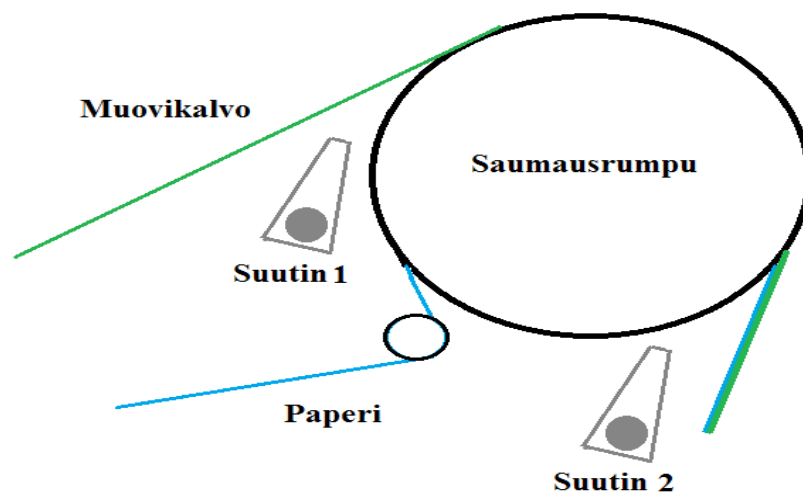
Toinen poistoilmasuutin tulisi sijoittaa saumausrummun alkupäähän (kuvio 6), jossa toisiinsa saumattavat ESP-kalvo ja höyrypaperi kohtaavat. Kohta on kriittinen, sillä saumauksesta syntyvät päästöhöyryt poistuvat ilmaan pääosin tätä kautta. Suuttimen lisäyksellä osa haitallisista höyryistä saataisiin samantien poistettua tehdasilmasta. Suutin pystytään valmistamaan tehtaan huoltopajalla. Mallina voitaisiin käyttää toisissa rullakoneissa olevia suuttimia, jotka myös on valmistettu tehtaan huoltopajalla.





KUVIO 5. Poistoilmasuutin

Toinen suutin tulisi sijoittaa rummun alapuolelle (kuvio 6) imemään saumauslevyjen mukana kulkevia partikkeleja poistoilmasta. Tämä suutin olisi toissijainen ensimmäiseen nähden ja lisättäisiin varmistamaan poistoilman puhtautta. Tämäkin suutin pystyttäisiin valmistamaan tehtaan pajalla, ja sen malli olisi sama kuin saumausrummun alkupäähän tulevalla suuttimella. Suuttimet kytkettäisiin samaan ilmanpoistokanavaan huuvan kanssa, joten kanavapuhaltimen vaihtamisesta saatava lisäilmanvirtausteho tulee tarpeeseen.



KUVIO 6. Havainnekuva poistoilmasuuttimien asennuskohdista

#### 5.4 Leikkauksen ilmanpoisto

Mahdollinen haittahiukkasten lähde on myös rullakoneen takapäässä sijaitseva rullan leikkausyksikkö, jossa rullista leikataan halutun levyisiä. Ylimääräiset sivunauhat rullista imeytyvät poistoputkiin, joista ne menevät eteenpäin hakkuriin ja makkeliönnttöön. Sivunauhojen poistoputkien konetta kohden olevat päät ovat taipuisaa materiaalia, jolloin imupäät pystytään säätämään halutulle leveydelle.

Tällä hetkellä sivunauhojen poistoputkien päät ovat varsin kaukana itse leikkauskohdasta. Etäisyyttä lyhentämällä saataisiin imu kohdennettua paremmin leikkauskohtiin, jolloin myös ilmaan pääsevät partikkelit vähenisivät. Koska ajo-levyksiä on useita, tulee poistoputkien olla säädettäviä myös sivuttaissuuntaan. Näin ollen lisäämällä poistoputkien juureen 30 cm:n pituiset lisäpalat saadaan imupäät tarpeeksi lähelle leikkauskohtaa menettämättä säädettävyyttä. Tämä toimenpide vähentäisi osaltaan ilmaan pääsevien partikkelien määrää.

## 6 YHTEENVETO

Pussiosaston neljännesvuosittaisissa hiukkaspattikkelimitoituksissa havaittiin korkeita pitoisuuksia yhden mittauspisteen osalta suhteessa muihin mittauspisteisiin. Suoritetuissa tarkastusmittoituksissa tämä korkean partikkelipitoisuuden piste havaittiin sijaitsevan tuotantokoneen 5003455 vieressä, minkä seurauksena voitiin olettaa kyseisen koneen tuottavan ilmaan haitallisia partikkeleita muita prosesseja enemmän.

Tuotantokone 5003455 on jatkuvatoiminen sterilointirullia valmistava kone, jossa ESP-kalvo ja höyrypaperi saumataan toisiinsa saumausrummulla. Tämän vuoksi koneen saumauksessa ei ole muille pussikoneille ominaisia saumaussyklejä, vaan saumaaminen on keskeytymätöntä. Tämän voidaan olettaa olevan suurin haitallisia partikkeleja ilmaan aiheuttava prosessi.

Jatkuvatoimisesta saumauksesta ilmaan pääsevät partikkelit tulee kerätä talteen mahdollisimman pian saumauksen tapahduttua. Sterilointirullakoneen pääasiallinen hiukkaspattikkelien poistokeino on saumausrummun päällä oleva huuva. Kuten mittauksen perusteella voitiin todeta, tämä on riittämätön keino saavuttaa haluttu ilmanvaihto koneelle. Ilmanvaihtoa tulisi näin ollen tehostaa huomattavasti, jotta suuria hiukkaspattikkelipäästöjä puhdistilan ilmaan saataisiin parhaiten pienennettyä.

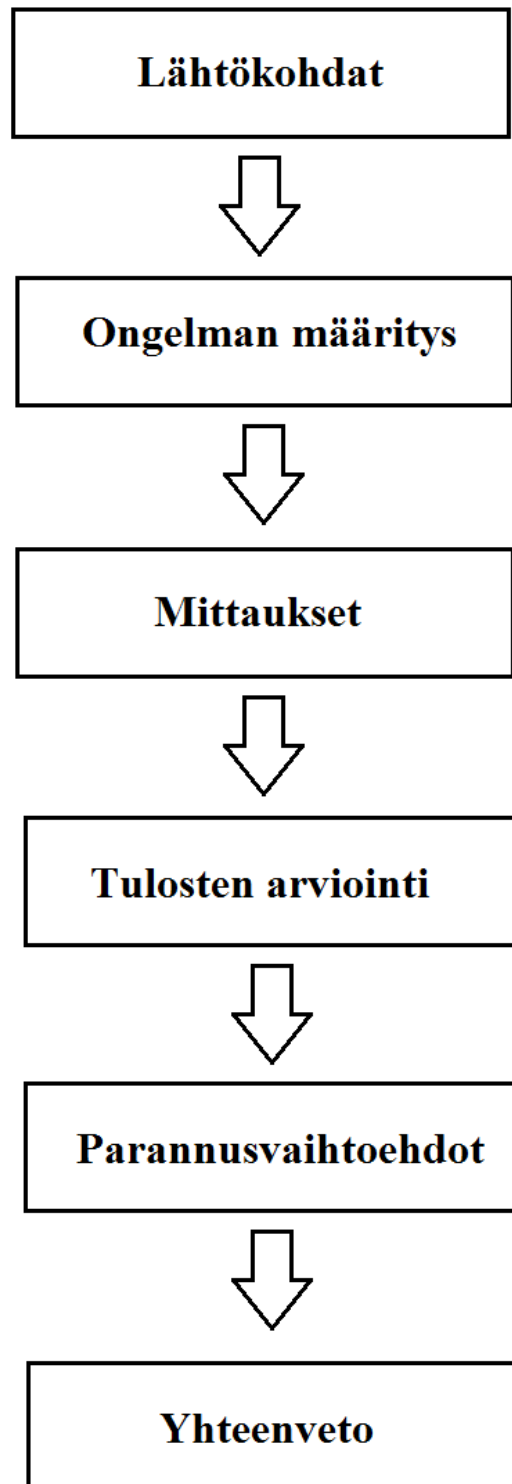
Ilmanvaihdon kehittämiseksi seurattiin sterilointirullakoneen tuotantoprosessia. Kriittisimmiksi kohdiksi havaittiin ESP-kalvon ja höyrypaperin kohtaamispiste saumausrummulle mentäessä sekä kohta, jossa saumatut materiaalit poistuvat saumausrummulta. Lisäämällä näihin kohtiin imusuuttimet ilmaan pääseviä hiukkaspattikkeleita saataisiin vähennettyä huomattavasti.

Huuvan poistoilmaputkeen on kytketty Systemairin kanavapuhallin. Jotta imukykyä saadaan parannettua, kanavapuhallin on vaihdettava suurempitehoiseen malliin. Käytännöllisistä syistä johtuen valinta kohdistetaan Systemairin vastaavaan, mutta tehokkaampaan malliin. Kanavapuhaltimen vaihdolla saavutetaan ilmanvirtaukseen 24,1 prosentin tehonnosto.

Sterilointirullakoneen tuotantoprosessin loppupäässä rullat leikataan leikkausyksikössä haluttuun leveyteen. Tästä saattaa aiheutua myöskin haitallisia partikkeleita puhdastilan ilmaan. Leikkausmakkelin poistoputket ovat varsin kaukana itse leikkauskohdasta, joten tuomalla niitä lähemmäs itse leikkauskohtaan imuteho suurenee ja mahdolliset haitalliset partikkelit ilmassa saadaan poistettua.

Edellä esitettyjen parannusten myötä haitallisten partikkelihiukkasten pitoisuus puhdastilan ilmassa tulisi laskea. Näin ollen kaikki opinnäytetyölle asetetut tavoitteet, eli mittaushavaintojen tarkistaminen, korkeiden hiukkaspartikkelimäärien syiden selvittäminen sekä partikkelipäästöjen pienentäminen, täyttyvät. Työ eteni kuvion 7 mukaan.

Mikäli kyseisten parannusten jälkeen ilmanvaihtoa tarvitsee edelleen parantaa, tulisi sterilointirullakoneen 5003455 ilmanvaihtoon suorittaa jatkotutkimuksia esimerkiksi ilman suodatuksen, huuvin muotoilun tai ilmanpoiston riittävyyden osalta. Saumattavista materiaaleista tulisi selvittää, pystytäänkö saumautuvuutta parantamaan, jotta ilmaan pääsisi vähemmän haitallisia partikkeleita. Myös materiaalien kemiallisia koostumuksia tulisi tarkistaa mahdollisten parannusten osalta.



KUVIO 7. Työn eteneminen

## LÄHTEET

CleanRoomTech Oy. 2015. Puhdastilat [viitattu 26.11.2015]. Saatavissa:  
<http://crtoy.com/cleanroom/puhdastilat>

Hiukkastieto. 2015. Optiset menetelmät [viitattu 26.11.2015]. Saatavissa:  
<http://www.hiukkastieto.fi/node/45>

Kiramo, E.-N. 2013. Teollisuuden puhdastilat [viitattu 26.11.2015]. Saatavissa:  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/62041/Kiramo\\_Elli-Noora.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/62041/Kiramo_Elli-Noora.pdf?sequence=1)

Oxygenium. 2015. HEPA- ja ULPA-suodattimet [viitattu 26.11.2015]. Saatavissa:  
<http://oxygenium.pro/puhdistustekniikat/hepa-ja-ulpa-suodatus/>

SFS-EN ISO 14644-1. 2000. Puhtausluokitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 14644-4. 2001. Suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Systemair. 2012a. KD 355 S1 – kanavapuhallin [viitattu 26.11.2015]. Saatavissa:  
<http://www.systemair.com/Templates/Pages/KD-355-S1-Circular-duct-fan-1291-ensg.aspx>

Systemair. 2012b. K 315 L – kanavapuhallin [viitattu 26.11.2015]. Saatavissa:  
<http://www.systemair.com/Templates/Pages/K-315-L-Circular-duct-fan-1012-arae.aspx>

Säämänen, A., Riipinen, H., Kulmala, I. & Welling, I. 2004. Pölyntorjunta [viitattu 13.11.2015]. Saatavissa:  
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>

Tompuri, V. 2008. Puhdastilaa tarvitaan yhä enemmän. Artikkelit Tekniikka & Talous-lehden sivustolla 31.3.2008 [viitattu 15.3.2015]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/innovaatiot/puhdastilaa+tarvitaan+yha+enemman/a75970>

Wihuri. 2015. Suomalainen kansainvälinen monialakonserni [viitattu 26.11.2015]. Saatavissa: <http://www.wihuri.fi/suomalainen-kansainvalinen-monialakonserni>

Wipak Europe Finland. 2015. Wipak Oy, Nastola Plant [viitattu 26.11.2015]. Saatavissa: <http://www.wipak.com/units/eu/fi>