



# **METALLINTYÖSTÖN KOHDEPOIS- TOILMAN KONDENSSISUODATUS**

Salonen Jussi

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Talotekniikan koulutus  
LVI-talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutus  
LVI-talotekniikka

JUSSI SALONEN:

Metallintyöstön kohdepoistoilman kondenssisuodatus

Opinnäytetyö 47 sivua  
Toukokuu 2015

---

Opinnäytetyössä tutkittiin kondenssisuodattimen toimintaa metallintyöstön kohdepoistossa. Työn aihe syntyi osana Työsuojelurahaston rahoittamaa konsortiohanketta: ”Kohdepoistoilman suodattaminen ja palauttaminen metallin työstössä – kannattavuus ja vaikutukset työilman laatuun”. Opinnäytetyötä varten tutustuttiin hankkeessa mukana olleiden verstaiden kohdepoistoilman käsittelytapoihin.

Metallintyöstössä käytetään ns. lastuamisnesteitä työkalun ja työstettävän kappaleen jäähtymiseen, sekä työstöstä syntyvän lastuamisjätteen poistoon. Työstössä muodostuva aerosoliseos pyritään poistamaan huoneilmasta kohdepoistojärjestelmillä. Metallintyöstön kohdepoistossa yleisesti käytössä olevilla suodatusmenetelmillä ei poistoilmaa saada riittävästi puhdistettua. Poistoilman ulospuhallus ei likaa huoneilmaa - mutta hukkaa lämpöenergiaa - koska lämmöntalteenottoa ei näissä järjestelmissä yleensä ole käytetty.

Huoneilmasta hengitettynä leikkuunesteen sisältämät yhdisteet voivat aiheuttaa mm. vakavia hengitystieoireita. Opinnäytetyössä tutkittiin, onko kondenssisuodatuksella mahdollista siepata ja talteenottaa erityisesti kaasumaisessa olomuodossa esiintyviä yhdisteitä. Huoneilmaan palauttavassa järjestelmässä kohdepoistoilma jälkisuodatetaan yleensä aktiivihiili- tai HEPA-suodattimilla.

Kondenssisuodatinlaitteisto suunniteltiin ja rakennettiin VTT:n ja TAMK:n yhteistyönä. Sitä koekäytettiin onnistuneesti ja sillä suoritettiin ilmanlaadun analyysi VTT:n ilmastointilaboratoriossa. Näitä kokeita varten rakennettiin kaksi erilaista kokoonpanoa. Työterveyslaitos otti ja analysoi näytteet suoritetuista käyttökokeista. Opinnäytetyössä on esitetty kokeiden mittausjärjestely, käytetyt näytteenottomenetelmät tuloksineen ja johdopäätöksineen.

Suoritettujen kokeiden perusteella kondenssisuodatin toimii ja sen käyttö näyttäisi vähentävän kohdepoistoilmasta haitallisia ainesosia. Laitteistolla olisi mahdollista suodattaa energiatehokkaasti kohdepoistoilmasta eritoten leikkuunesteen käytöstä syntyviä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Kondenssisuodattimen tarvitsema jäähtytysenergia voitaisiin pumpata esimerkiksi porakaivosta.

Kohdepoistoilman pisaroiden poistoon on suositeltavaa asentaa ns. pisaranerotin, joka tulisi asentaa työstökoneen kohdepoiston kanaviston alkupäähän. Näin voitaisiin mini-

moida ”muljun” kerääntyminen kanavistoon ja vähentää jälkisuodattimien kastumista. Kerääntynyt leikkuuneste-lastuamisjäteseos voi pahimmillaan aiheuttaa kanaviston tukkeentumista, tulipalovaaran riskiä ja kanaviston massan lisääntymistä. Kastunut suodatin taas voi menettää suodatuskykyään ja toimia epäpuhtauslähteenä.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC services

Jussi Salonen:  
Condense-Filtering in Metalworking Localized Ventilation Systems

Bachelor's thesis 47 pages  
May 2015

---

This thesis is about a research of using condensing filtering in metalworking localized ventilation systems. Subject was founded as a part of a project called “Local Exhaust Ventilation Air Recycling And Exposure To Metal Working Fluids”. The project was funded by The Finnish Work Environment Fund. Researching Partners in the project were Institute of Finnish Occupational Health (Coordinator), VTT Technical Research Centre of Finland and Tampere University of Applied Sciences. Partners in the field of metalworking were Agco Power Ltd., Valtra Ltd and Sandvik Mining And Construction Ltd. Local exhaust ventilation systems of these plants were examined for the thesis.

Metal working fluids are used to cool down machine tools and machining objects. It is also used to get rid of the metal waste out of the wrought objects. Compound of air and metal working fluid is developed in machining process. This aerosol is being extracted and filtered out of the room air by using local exhaust ventilation. The systems generally used for this operation cannot generate 100-percent clean air. Systems that blow the extracted aerosol out of the building can lose a great amount of heat energy because heat recovery is usually not used. Local exhaust ventilation circulation systems are used but there's a risk of contamination of the room air.

Breathing air contaminated with the aerosol can cause severe respiratory tract symptoms. The aim of the research was to find out if it is possible to filter and recover the gas phase of the developed aerosol by using the condensing filtering process. The Metal Working Local Exhaust Ventilation –circulating systems are generally used with active carbon or HEPA-class filtering.

The condensing filtering apparatus was designed and build with co-operation of VTT Technical Research Center and Tampere University of Applied Sciences. Two different configurations of the apparatus were operated successfully in the air-conditioning laboratory of VTT. Finnish Institute of Occupational Health took and analyzed samples of the air processed by the apparatus. VTT Technical Research Center analyzed the particle mass. Methods used in this research are demonstrated and the results are commented with conclusions.

According to the results the condensing filtering method is working and it decreases the amount of harmful compounds. The apparatus could be used, especially to separate organic volatile compounds (VOC). In order to make it operate energy-efficiently the cooling-energy should be pumped from drilled cold water well.

In order to extract fluid droplets from the exhaust air, it's very advisable to install separator. The separator should be installed to the ventilation duct departing from the ma-

chine casing. The aim of this setting is that it would minimize ducts and filters getting soiled. Accumulated fluid can cause obstructing of the ducts, it's fire-hazardous and it severely increases the mass of the ventilation system. Soiled filter might have decreased filterability and it can operate as a source of contaminants.

## SISÄLLYS

1	ALKUSANAT .....	9
2	JOHDANTO .....	10
3	LEIKKUUNESTEET .....	12
3.1	Yleistä.....	12
3.2	Työstönesteiden koostumus.....	12
3.3	Pitoisuus .....	13
3.4	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.....	14
3.4.1	Terveyshaitat .....	14
3.4.2	Torjunta.....	14
3.5	Alkanoliamiinit .....	14
3.6	Metallintyöstönesteiden käyttö ja altistuminen .....	15
3.7	Tyypillisiä oireita altistumisesta .....	16
3.8	HTP-arvot 2014 .....	16
4	KOHDEPOISTOJÄRJESTELMÄT .....	18
4.1	Yleisesti käytetyt kohdepoistoratkaisut metallintyöstössä .....	18
4.2	Metallintyöstökone.....	19
4.3	Metallintyöstön kohdepoistoilman huoneilmaan palautus .....	20
4.4	Metallintyöstön kohdepoistoilman ulospuhallus .....	21
4.5	Ratkaisuna - kondenssisuodatus ja huoneilmaan palautus .....	22
5	KONDENSISISUODATIN .....	23
5.1	Toimintaperiaate .....	23
5.2	Mollier diagrammi - tarkastelu .....	24
6	SUODATUSTEHON MITTAUKSET .....	25
6.1	Tutkimuspaikka.....	25
6.2	Kondenssisuodatin .....	25
6.3	Mittausten suorittaminen .....	26
6.4	Näytteenottomenetelmä.....	27
6.5	Alkanoliamiinien analyysimenetelmä .....	28
7	Laboratoriomittaukset 1. konfiguraatiolla .....	29
7.1	Alkanoliamiinit .....	29
7.2	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC).....	32
7.3	Massatase.....	35
8	Mittaukset 2.konfiguraatiolla .....	36
8.1	Mittaustulokset 2.konfiguraatio .....	37
9	Kondenssisuodattimen koekäyttö ja mittaukset kentällä.....	41
9.1	Käyttökoe kentällä. Kohde – Sandvik Mining Oy, Myllypuro .....	41

10 YHTEENVETO JA KEHITYSIDEOITA.....	43
10.1 Tutkimuksesta.....	43
10.2 Yhteenveto.....	44
10.3 Tutkimus ja kehitysideoita.....	45
LÄHTEET .....	47

**ERITYISSANASTO**

AKTIIVIHIIILI	Huokoinen ja pinta-alaltaan suuri adsorbenttimateriaali
HEPA	Partikkelisuodatin (High Efficiency Particulate Air Filter)
HTP-ARVO	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus (ppm)
KONDENSISISUOD.	Kondenssi-ilmiöön perustuva suodatustekniikka
LEIKKUUNESTE	Metallintyöstössä käytetty voiteleva fluidi
PALAUTTAVA	Huoneilmaan palauttava järjestelmä
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
TTL	Työterveyslaitos
ULOSPUHALUS	Huoneilmasta poistava järjestelmä
VTT	VTT teknologian tutkimuskeskus
VOC	Haihtuva orgaaninen yhdiste (Volatile Organic Compound)



## 1 ALKUSANAT

Mukana tässä tutkimuksessa on ollut joukko asiantuntijoita, joita ilman tämä opinnäytetyö ei olisi syntynyt. Opinnäytetyö on osa leikkuuneste-tutkimushanketta. Leikkuuneste-hankkeen projektipäällikkönä ja vanhempana asiantuntijana toimi Arto Säämänen (TTL), erityisasiantuntijana Tomi Kanerva (TTL), johtavana tutkijana Matti Lehtimäki (VTT), laboratorioteknikkona Matti Niemeläinen (VTT) ja LVI-tekniikan lehtorina ja opinnäytetyön ohjaajana Pirkko Pihlajamaa (TAMK). Haluan nöyrästi kiittää heitä saamastani avusta ja asiantuntevista neuvoista tätä työtä tehdessä. Haluan myös kiittää hankkeen rahoittajaa, mukana olleita yrityksiä ja heidän henkilöstöään. Pihlajamaan Pirkolle erityinen kiitos laadukkaasta opetuksesta ja motivoinnista LVI-ammattilaisen työhön.

## 2 JOHDANTO

Tässä hankkeessa mukana yhteistyökumppaneina ja metallintyöstöä harjoittavia yrityksiä edustivat Agco Power Oy Linnavuori, Valtra Oy Suolahti ja Sandvik Mining Oy Myllypuro. Tutkimuksesta vastasivat Työterveyslaitos (koordinaattori), Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Tampereen ammattikorkeakoulu. Hankkeen yhteyshenkilöt ovat:

Petri Laakkonen, AGCO Power Oy

Jari Laitinen, Valtra Oy

Ville Ylinen, Sandvik Mining Oy

Arto Säämänen, Työterveyslaitos

Matti Lehtimäki, VTT Teknologian tutkimuskeskus

Pirkko Pihlajamaa, Tampereen ammattikorkeakoulu

Anne-Maria Kurka, Työsuojelurahasto

Leikkuunesteelle altistuminen aiheuttaa tutkitusti mm. kohonnutta astmariskiä, hengitystieoireita ja erilaisia iho-oireita. Leikkuunestesumua suodatetaan ja käsitellään, jotta altistuminen ja oireilu sille olisi mahdollisimman vähäistä.

Opinnäytetyössä kerrotaan yleisesti leikkuunesteiden sisältämistä yhdisteistä, käytöstä ja altistumisesta. Työssä esitellään yleisesti käytössä olevia kohdepoistoratkaisuja ja niiden ominaisuuksia.

Opinnäytetyössä tutkitaan kondenssisuodatuksen vaikutusta kohdepoistoilman laatuun ja selvitetään, saadaanko kondenssisuodatuksella suodatettua leikkuunestesumusta haitallisia ainesosia. Kondenssisuodattimella on tarkoitus vaikuttaa kaasumaisessa muodossa olevan ilmaseoksen laatuun. Työssä tutkitaan erityisesti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja alkanoliamiinien suodattumista.

Opinnäytetyössä on esitetty kondenssisuodattimen toiminta-ajatus ja esimerkkikokoonpano. Laboratoriokokeiden tutkimusmenetelmä esitellään tuloksineen.

Lopuksi on raporttiin koottu työn suorittajan pohdintaa kondenssisuodattimen tutkimustuloksista, itse hankkeesta ja kehitysideoita aiheeseen liittyen.

### 3 LEIKKUUNESTEET

#### 3.1 Yleistä

Veteen sekoittuvat metallintyöstönesteet (lastuamisnesteet, leikkuunesteet) laimennetaan tyypillisesti noin 3-10 %:ksi emulsioksi veteen. Työstönesteet perustuvat mineraali- tai kasviöljyyn, puolisynteettiseen voiteluaineeseen tai täyssynteettiseen voiteluaineeseen, ja ne sisältävät runsaasti mm. pinta-aktiivisia ja säilyvyyttä parantavia lisäaineita.

Määrällisesti tärkeimmät lisäaineet ovat alifaattisia hiilivetyjä ja erilaisia rasvahappojohdannaisia sekä alkanoliamiineja, joiden osuus tiivisteissä on tyypillisesti 10-40 %. Tiivisteiden pH on 9-10 johtuen alkanoliamiinien lisäyksestä.

Muista lisäaineista formaldehydia vapauttavat biosidit ja rasvahappojen epäpuhtautena esiintyvät hartsihapot ovat terveysriskin kannalta huomioitavia yhdisteitä. Mainituista lisäaineista ainoastaan rasvahapot ja niiden esterit, joiden osuus tiivisteissä on tyypillisesti 5-10 %, ovat niin huonosti haihtuvia, että ne jäävät suodattimelle öljysumun pitkäaikaisessa keräyksessä.

(Henriks-Eckerman, Suuronen, 2009, s. 2)

#### 3.2 Työstönesteiden koostumus

Taulukossa 1. on esitetty lastuamisnestetiivisteiden ja leikkuuöljyjen tyypillinen koostumus, sekä ainesosien pääasiallinen käyttötarkoitus.

Taulukko 1. Työstönesteiden koostumus

Ainesosa	Pitoisuus (%)	Käyttötarkoitus
Mineraaliöljy, kasvisöljy	lastuamisöljyissä 100 öljyperustaisissa 30-85 puolisynteettiset 5-30	voiteluaine
Alkanoliamiinit, amino- boraatit	5-40	ruosteenestoaine, pH:n säätäjä, hapet- tumisen estoaine
Biosidit	0-2	estävät bakteeri ja homesienikasvustoa
Emulgaattorit, pintaaktii- viset aineet	5-20	muodostavat emulsion ja parantavat öljyn ja veden sekoittumista
Paineenkestolisäaineet	0-10	lisäävät voitelukalvon paineenkestä- vyyttä
Hitsautumisestoaineet	0-20	estävät työkalujen hitsautumisen työs- tettävään kappaleeseen, alentaa työstö- lämpötilaa
Hajusteet	0-0,05	peittävät muiden ainesosien pahaa hajua

(Metallintyöstö, 2006, TTL)

### 3.3 Pitoisuus

Monia leikkuunesteiden ainesosia ei ole luokiteltu vaarallisiksi ja joidenkin vaarallisiksi luokiteltujen ainesosien pitoisuus on niissä niin pieni, ettei niitä tarvitse ilmoittaa käyt-  
töturvallisuustiedotteessa. Siksi tiedotteissa on usein varsin vähän tietoa tuotesisällöstä.

Koneistustyössä käytetään pääasiassa laimennettuja lastuamislajeja, joissa tiivisteiden pitoisuus on yleensä noin 5-10 %. Näin ollen ainesosien pitoisuus käyttöliuoksessa on alle kymmenesosa tiivisteessä olevasta. Ainesosan pitoisuus saattaa olla huomattavasti tätä korkeampi, esimerkiksi veden haihtumisen seurauksena tai silloin, kun on lisätty biosidilisäainetta käyttöliuokseen, joka on pilaantunut.

(Metallintyöstö, 2006, TTL)

### **3.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet**

VOC-yhdisteet (Volatile Organic Compounds) eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet.. VOC-yhdisteiden päästölähteitä sisätiloissa ovat mm. rakennusmateriaalit, huonekalut, tekstiilit, toimistotarvikkeet, kosmetiikkatuotteet, (lastuamismestit). Myös ihminen ja kotieläimet ovat VOC-päästölähteitä.

VOC-mittausten tuloksissa tarkastellaan ensin yhdisteiden yhteispitoisuutta (TVOC). Vaikka yhteispitoisuus olisi pieni, voi yksittäisen yhdisteen pitoisuus olla tuloksissa selvästi vallitseva. Tällöin on syytä tehdä tarkempia selvityksiä tämän yhdisteen osalta. (Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, 2015, TTL)

#### **3.4.1 Terveyshaitat**

VOC-yhdisteisiin on liitetty haittoina hengitysteiden ärsytysoireet ja hajuhaitat. Matalien VOC-pitoisuuksien ei tiedetä aiheuttavan oireita. Jos tiloissa ei ole tavanomaista VOC-lähdettä, ärsytysoireita ei yleensä ilmene. Joidenkin yhdisteiden hajukynnys voi olla hyvinkin matala.

(Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, 2015, TTL)

#### **3.4.2 Torjunta**

Torjunnassa oleellista on tunnistaa päästölähde ja pyrkiä poistamaan se. Ilmanvaihdon tehostaminen vähentää epäpuhtauksien pitoisuutta sisäilmassa.

(Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, 2015, TTL)

### **3.5 Alkanoliamiinit**

Alkanoliamiinit ovat orgaanisia emäksiä, joissa amiiniryhmään on liittynyt yhdestä kolmeen alkoholiryhmää. Alkanoliamiineista työperäisen altistumisen kannalta merkittävimpiä ovat monoetanoliamiini (MEA), dietanoliamiini (DEA) ja trietanoliamiini (TEA), joskin näiden lisäksi on käytössä muitakin alkanoliamiineja tai niiden johdannaisia.

Alkanolamiinien tärkeimpiä käyttökohteita ovat veteen sekoitettavat metallintyöstönesteet. Alkanolamiineilla on nesteissä useita käyttötarkoituksia, kuten korroosioesto, pH-säätö ja bakteerikasvuston estäminen (alkanoliamiinit formaldehydia vapauttavien biosidien rakenneosina). Alkanolamiineilla ja erityisesti niiden rasvahappojohdannaisilla, kuten kookosrasvahappo-DEA:lla on metallintyöstönesteissä myös pinta-aktiivisia, emulsionmuodostumiseen vaikuttavia ominaisuuksia.

Metallintyöstönesteiden lisäksi alkanolamiineja käytetään myös mm. teollisuudessa käsiensuojavoiteissa, koti- ja suurtalouksien pesuaineissa, vahanpoistoaineissa ja kosmetiikan aineosana. Suomessa niitä on käytetty myös polyuretaanin vaahdotusprosessissa pinta-aktiivisena apuaineena.

(Henriks-Eckerman, Suuronen, 2009, s.2)

### **3.6 Metallintyöstönesteiden käyttö ja altistuminen**

Alkanolamiineja sisältäviä, veteen sekoitettavia metallintyöstönesteitä käytetään yleisesti metalliteollisuuden konepajoilla esimerkiksi sorvauksessa, porauksessa, hionnassa ja jyrinnässä työstöprosessin voiteluun ja jäähdyttämiseen sekä lastujätteen siirtoon pois työstökohdasta. Metallintyöstönesteiden sisältämille alkanolamiineille altistuu Suomessa arviolta 20 000 koneistajaa ja muuta metallintyöstäjää. Työstettäviä metalleja ovat mm. valurauta, teräs, ruostumaton ja haponkestävä teräs, alumiini ja muut metallisuokset.

(Henriks-Eckerman, Suuronen, 2009, s.3)

Koneistustyössä altistutaan pääasiassa lastuamislaitteiden käyttöliuoksille. Lastuamislaitteet ovat ilmassa aerosolina, jota muodostuu työstön aikana. Terveystahaittoja voivat aiheuttaa paitsi nestetiivisteiden aineosat, myös käyttönesteisiin työstön yhteydessä joutuneet raskasmetallit ja muut epäpuhtaudet, tai nesteissä kasvavat mikrobit ja endotoksiinit. Leikkuunestettä joutuu iholle roiskeina ja käsiteltäessä märkiä kappaleita.

(Metallintyöstö, 2006, TTL)

Kuvassa 1. on esitetty, miltä metallintyöstö näyttää käytännössä. Kappaletta työstetään ja työstettävään kappaleeseen suihkutetaan leikkuunestettä.



Kuva 1. Metallintyöstö ja leikkuunesteen syöttö.

(kuvan lähde <http://www.ytm.fi> )

### 3.7 Tyypillisiä oireita altistumisesta

Oireita ovat aiheuttaneet eniten lastuamisnesteiden antimikrobiset aineet, metallit ja etanoliamiinit. Hengitystieoireita voi ilmetä jo huomattavasti HTP-arvoja pienemmissä pitoisuuksissa. Työilman epäpuhtauksien määrään vaikuttavat monet tekijät, kuten lastuamisnesteiden ikä ja laatu, koneiden kotelointi ja kohdepoistot, työstötapa, työstettävän kappaleen koko ja muoto, kierrosnopeudet, yhden kappaleen työstöön käytettävä aika sekä paineilman käyttö puhdistukseen.

(Metallintyöstö, 2006, TTL)

### 3.8 HTP-arvot 2014

HTP-arvot eli haitallisiksi tunnetut pitoisuudet on Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisu työpaikan ilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista. Ne ovat arvioita työntekijän hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijän turvallisuudelle tai terveydelle taikka lisääntymis- ja terveydelle. Työnantajan on otettava ne huomioon työn vaarojen selvittämisessä ja arvioinnissa sekä työympäristön suunnittelussa työpaikan ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä arvioidessaan.

Taulukossa 2 on esitetty leikkuunesteissä esiintyvistä ainesosista haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Taulukossa on esitetty altistumisaika (8h ja 15min) ja pitoisuus hengitysilmassa. Pitoisuusarvot ovat vuodelta 2014. Seuraava julkaisu aiheesta on tulossa vuonna 2016.



Taulukko 2. Leikkuunesteen ainesosien HTP-arvot

Aine tai aineryhmä	HTP-arvot			
	8 h		15 min	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
2-Aminoetanol	1	2,5	3	7,6
Dietanoliamiini	0,46	2	-	-
Morfoliini	10	36	20	72
Öljysumu	-	5	-	-
Formaldehydi	0,3	0,37	1	1,2
Alkanoliamiinit (yh. lask.) *tavoitetaso		0,1*		

(HTP-arvot, 2014 )

(Henriks-Eckerman, Suuronen, 2009, s.8)

## 4 KOHDEPOISTOJÄRJESTELMÄT

### 4.1 Yleisesti käytetyt kohdepoistoratkaisut metallintyöstössä

Tässä hankkeessa mukana olleissa kohteissa metallintyöstön kohdepoistojärjestelmät oli pääsääntöisesti toteutettu kahdella eri tavalla. Metallintyöstöaerosolilla saastunut kohdepoistoilma - joko suodatetaan ja palautetaan huoneilmaan - tai suodatetaan ja puhalletaan ulos rakennuksesta. Kummassakin toteutustavassa on huonoja ja hyviä puolia.

Kuvassa 2 on esitetty eräs tapa toteuttaa metallintyöstökohdepoiston ulospuhallus.

Useita työstökoneita on liitetty kokoojakanavistoon, jota pitkin kohdepoistoilma vieään suodattimille. Suodattimet ovat asennettu keskitetysti hallin seinustalle. Suodatuksen jälkeen kanavointi on viety seinän läpi ulos. Rakennuksen ulkoseinustalla kanavisto on johdettu vesikatolle, jossa sijaitsee järjestelmään liittyvä puhallin. Ulkona ennen puhallinta voi olla asennettuna sykloniperiaatteella toimiva erotin, jonka on tarkoitus pitää puhallin puhtaana.



Kuva 2. Leikkuunestekohdepoiston ulospuhallus. Valtra Oy, Suolahti.

## 4.2 Metallintyöstökone

Metallintyöstössä leikkuunestettä syötetään korkealla paineella työkalun kärjestä työkalun ja työstettävän kappaleen väliin. Lisäksi työstettävää kappaletta jäähdytetään ruiskuttamalla sen päälle leikkuunestettä. Lisäksi tämä toimenpide huuhtelee lastuamisjätettä pois työstettävästä kappaleesta. Koska leikkuunestettä syötetään toisinaan työkalusta jopa yli 100 bar:n paineella, roiskuu leikkuunestettä ja työstettävän kappaleen lastuamisjätettä ympäriinsä. Työstökoneen kabinettiin muodostuu aerosoliseos. Yleensä työstökoneet ovat koteloituja. Kuvassa 3 on esitetty metallintyöstössä käytettävä työstökeskus.



Kuva 3. Mitsui Seiki työstökeskus.

(lähde <http://www.mitsuiseiki.com>)

Kotelointia hyödyntäen metallintyöstössä syntyvä aerosoliseos voidaan hallitusti kanavoida käsittelyä varten. Kotelointi ei ole aivan 100 %:n tiivis, eikä erillisiä korvausilmakanavia yleensä ole. Kohdepoiston kanavointi rakennetaan yleensä työstökoneen koteloinnin eli kabinettin yläosaan. Työstökoneen kabinettia täytyy toisinaan avata esimerkiksi työkalun vaihdon yhteydessä. Kuvassa 4 on esimerkkikuva työstökoneen kabinettin ylle rakennetusta ja huoneilmaan palauttavasta järjestelmästä. Järjestelmässä on ensin asennettuna sykloniperiaatteella toimiva pisaranerotin ja sen päällä HEPA-luokan suodatin. Suodatustehokkuutta voidaan parantaa asentamalla HEPA:n jälkeen lisäksi erillinen aktiivihiilisuodatin.



Kuva 4. Työstökeskus ja huoneilmaan palauttava järjestelmä. Sandvik Mining Oy, Myllypuro.

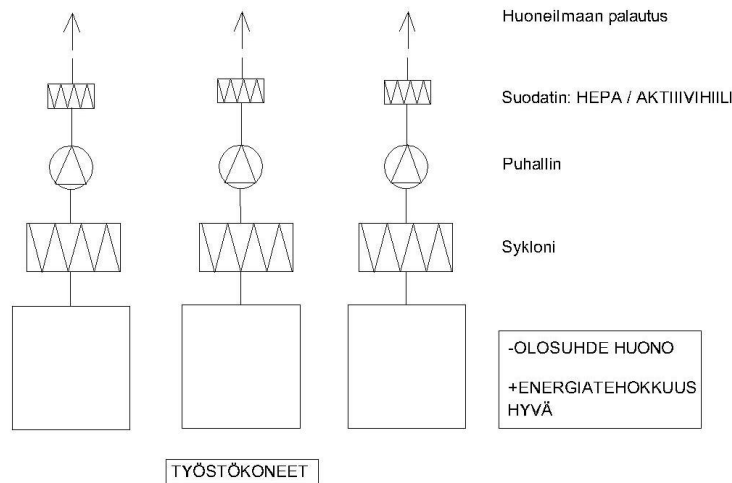
### 4.3 Metallintyöstön kohdepoistoilman huoneilmaan palautus

Kohdepoistoilma suodatetaan ja palautetaan huoneilmaan. Ratkaisu on energiatehokas, koska suodatettu kohdepoistoilma palautetaan huoneilmaan. Ongelmia voi aiheuttaa järjestelmän käytöstä johtuva huoneilman likaantuminen.

Yleensä tämän tyyppisessä ratkaisussa on ensimmäisenä suodatinyksikkönä syklonisuodatin, joka huolehtii poistoilmassa olevien pisaroiden erotuksesta. Sitten kaasumuodossa oleva poistoilma suodatetaan esimerkiksi HEPA- tai aktiivihiilisuodattimella. Pisaranerotuksessa kerätty leikkuuneste palautetaan toisinaan takaisin työstökoneelle käytettäväksi. Joillakin valmistajilla on käytössä tämän sykloniyksikön automaattinen puhdistustoiminto, jolla estetään yksikön tukkeentumista ja kasvatetaan sen käyttöikä. Kun tällaisessa järjestelmässä jälkisuodattimena käytetään aktiivihiilisuodatinta, täytyy sen olla sellainen, joka on käsitelty leikkuunestekäyttöä varten sopivaksi.

Suodatinyksiköt puhaltimien ovat yleensä asennettu välittömästi työstökoneen yläpuolelle tai sen läheisyyteen. Tällaisessa ratkaisussa kanaviston rakentamisen tarve on usein vähäinen.

Karkea esimerkkikaavio huoneilmaan palautuksesta on esitetty kuvassa 5.



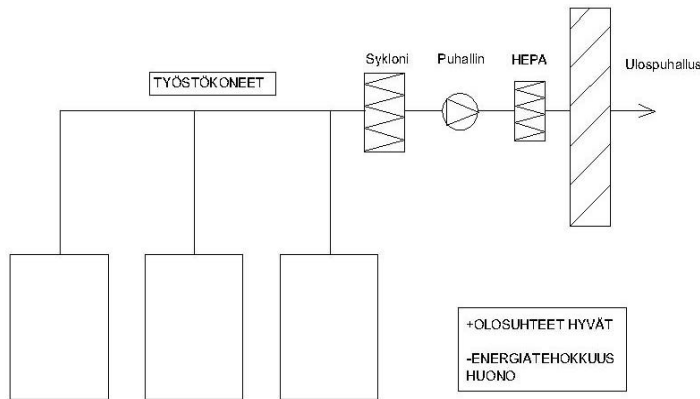
Kuva 5. Huoneilmaan palautus, esimerkkikaavio

#### 4.4 Metallintyöstön kohdepoistoilman ulospuhallus

Kohdepoistoilma suodatetaan ja puhalletaan ulos rakennuksesta sekä korvausilma otetaan usein hallitsemattomasti rakojen kautta. Ulospuhallus on huoneilman laadun kannalta parempi mutta ratkaisu hukkaa energiaa. Esimerkiksi jos ulos puhalletaan +22 °C asteista ilmaa tilavuusvirralla 2,0 m<sup>3</sup>/s, 0-kelillä hukkaa se lämpöenergiaa tunnissa:

$$2 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ}/(\text{K} * \text{kg}) * 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 * (22 - 0 \text{ °C}) * 1\text{h} = \mathbf{52,8 \text{ kWh}} \quad (1)$$

Ulospuhalluksessa suodatusmenetelmä on samankaltainen kuin huoneilmaan palautuksessa. Ensin erotetaan poistoilmasta pisarat ja mahdollinen työstöjäte, sitten suodatetaan kaasumaisessa olomuodossa oleva ilmaseos. Yleensä suodatinyksiköt ja puhallin ovat suurehkoja ja niihin on keskitetysti liitetty useita työstökoneita. Tämänkaltainen ratkaisu edellyttää toimiakseen kanaviston rakentamista. Suodatinyksiköt ovat koon ja massansa vuoksi asennettava kiinteästi lattiatasoon tai telineeseen. Kanavisto on kannakoitava hyvin, sillä leikkuuneste kerääntyy ja kovettuu kanaviston sisäpuolelle lisäten kanaviston massaa. Kanaviston puhdistuksesta on huolehdittava säännöllisesti, koska sinne kerääntynyt leikkuuneste on myös paloturvallisuusriski. Karkea esimerkkikaavio ulospuhalluksesta on esitetty kuvassa 6.

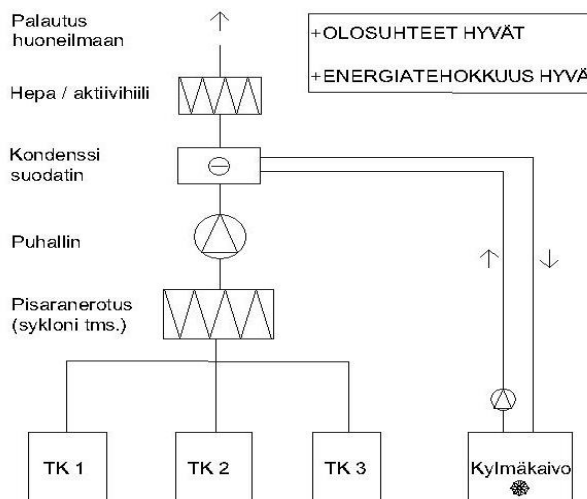


Kuva 6. Ulospuhallus

#### 4.5 Ratkaisuna - kondenssisuodatus ja huoneilmaan palautus

Keskitettyssä ratkaisussa kohdepoistoilmaa suodatetaan entistä tehokkaammin ja se palautetaan puhdistettuna huoneilmaan. Tavoitteena on, että saavutettaisiin huoneilmaan hyvät olosuhteet ja energiatehokkuus. Jotta tällainen järjestelmä olisi energiatehokas – ei tarvittavaa jäähdytysenergiaa kannata tehdä pelkästään sähköisesti jäähdytyskoneella. Kondenssisuodattimen tarvitsema jäähdytysenergia voitaisiin pumpata esimerkiksi kylmäkaivosta. Sähköä kuluisi näin ollen vain pumppaukseen ja jäähdytysveden kierrätykseen järjestelmässä.

Järjestelmän suodatinyksiköt asennettaisiin suoraan työstökoneen kabinetin päälle, eikä laajaa erillistä kanavointia tarvita. Suodattamien järjestys olisi esimerkiksi seuraavanlainen: pisaranerotin, kondenssisuodatin ja viimeisenä HEPA- ja tai aktiivihilisuodatin. Esimerkkikaavio tällaisesta toteutuksesta on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Kondenssisuodattimen käyttö metallintyöstön kohdepoistossa

## 5 KONDESSISUODATIN

### 5.1 Toimintaperiaate

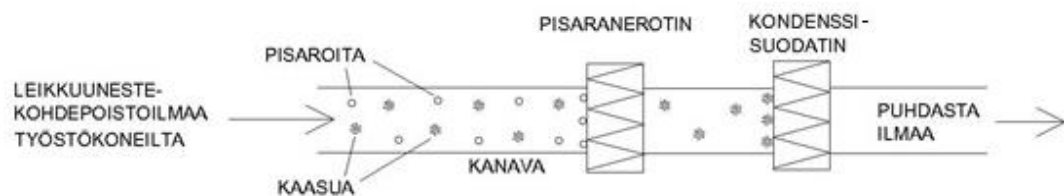
”Kondensoituminen on aineen olomuodon muutosprosessi, jossa kaasumainen aine muuttuu nesteeksi. Kaasumainen aine on joko kaasua tai höyryä.”

(Momentti 2, 2006, s.250)

Tämän tutkimuksen kondenssisuodatin on iv-kanavajähdytyspatteri, jota käytettäisiin joko yksinään tai suodatinlaitteiston muiden suodatinyksiköiden lisänä parantamaan suodatustehokkuutta.

Metallintyöstössä kohdepoistoilma on leikkuunesteestä ja huoneilmasta muodostunutta sumua eli ns. aerosoliseosta. Pisaramuodossa oleva leikkuuneste erotetaan mahdollisuuksien mukaan ennen kondenssisuodatinta. Esisuodatuksen jälkeen kondenssisuodattimella on tarkoitus siepata kohdepoistoilmasta kaasumaisessa olomuodossa olevia ainesosia. Lopuksi kohdepoistoilma puhdistetaan partikkelisuodatuksella.

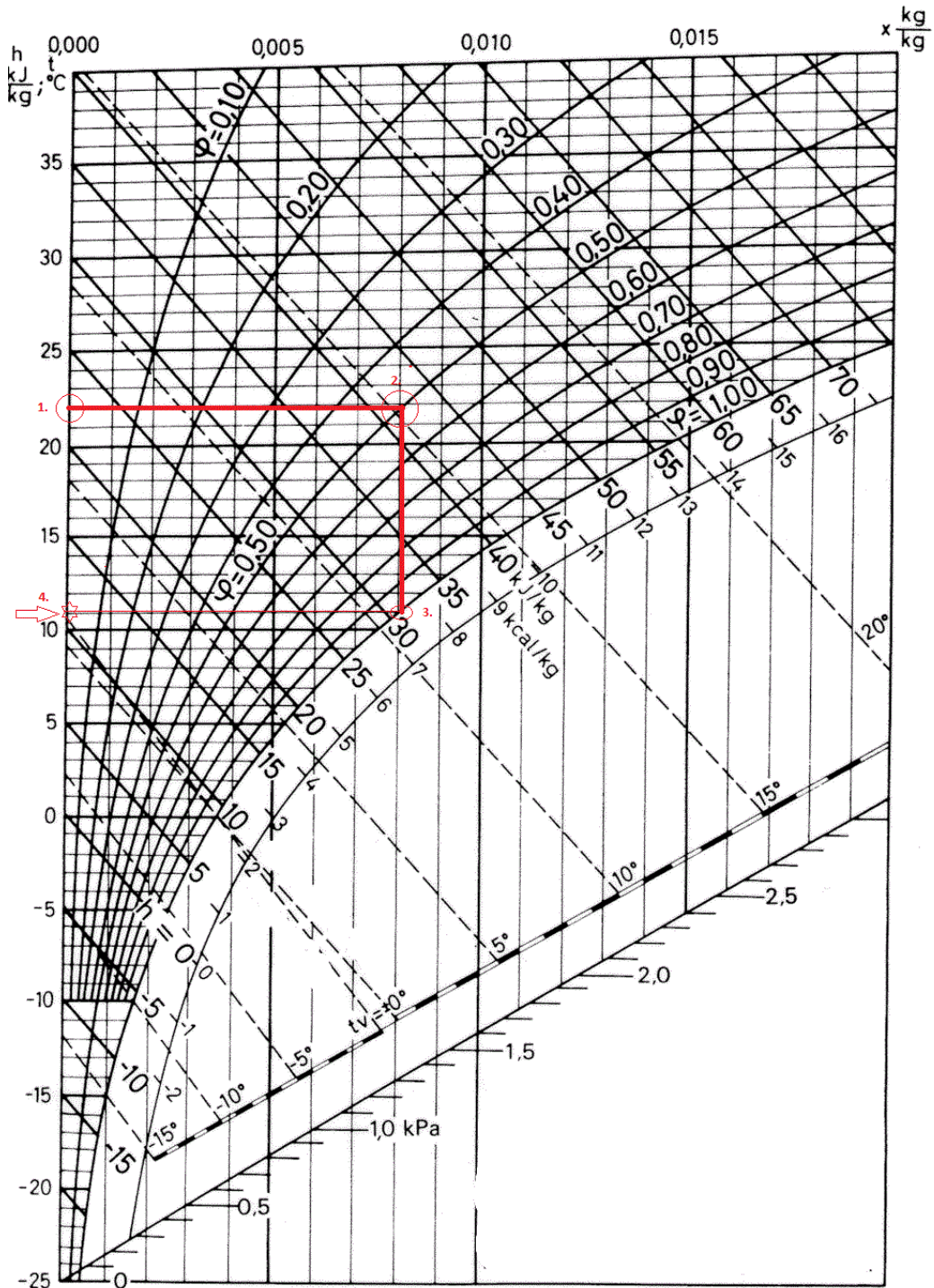
Teoriassa kondenssisuodatin toimii seuraavanlaisesti. Leikkuunestesumua ja siinä olevia ainesosia kondensoituu (suodattuu) kylmän jäähdytyspatterin pintaan. Leikkuunestesumusta kondensoituu nestettä jäähdytyspatterin pinnalle, josta se valuu kondenssivesialtaaseen. Jotta kondensoituminen tapahtuisi, on jäähdytyspatterin pintalämpötilan oltava suodatettavan sumun kastepistelämpötilan alapuolella. Periaatekuva toiminnasta on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kondenssisuodattimen toimintaperiaate

## 5.2 Mollier diagrammi - tarkastelu

Kastepiste saadaan selville helposti ns. Mollier –diagrammista, kun tiedetään ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Kuvassa 9 on piirretty esimerkkitarkastelu. Siinä on haettu kastepisteen lämpötila, kun kuivan ilman ja vesihöyryn seoksen lämpötila on 22 °C ja suhteellinen kosteus 50 %:a.



Kuva 9. Mollier –diagrammin tarkastelu



## 6 SUODATUSTEHON MITTAUKSET

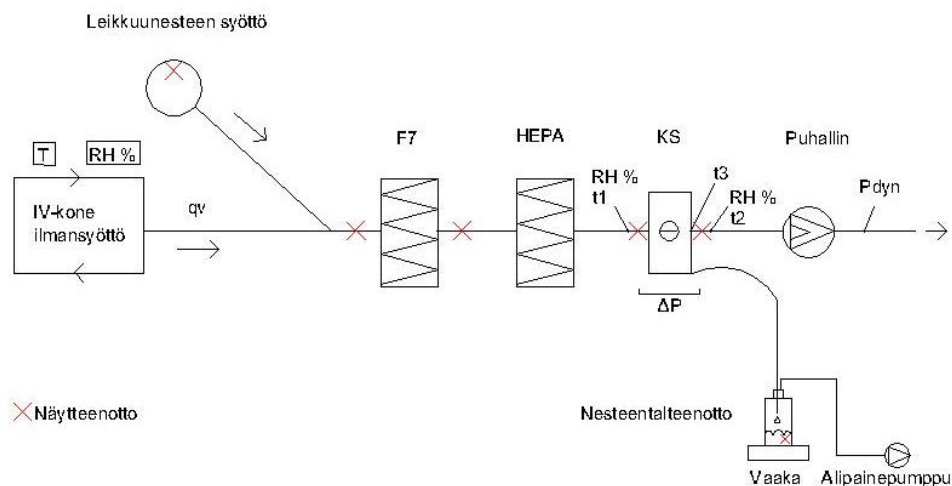
### 6.1 Tutkimuspaikka

Kondenssisuodatinlaitteisto rakennettiin VTT:n iv-tutkimuslaboratoriossa. Tätä työtä varten sieltä löytyi asianmukainen koejärjestelyn rakentamista varten tarvittava välineistö, mittalaitteet ja henkilöstö.

Iv-laboratoriossa on ilmanvaihtokonetta simuloiva ilmaa kierrättävä laitteisto tulo- ja poistoilmakojeineen. Laitteistolla voidaan luoda hallitut olosuhteet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden osalta. Ilmavirta voidaan säätää halutun suuruiseksi ja siitä voidaan erillisestä kanavaa pitkin ohjata ilmavirtaa esimerkiksi tämän kokeen kaltaiselle koelaitteistolle.

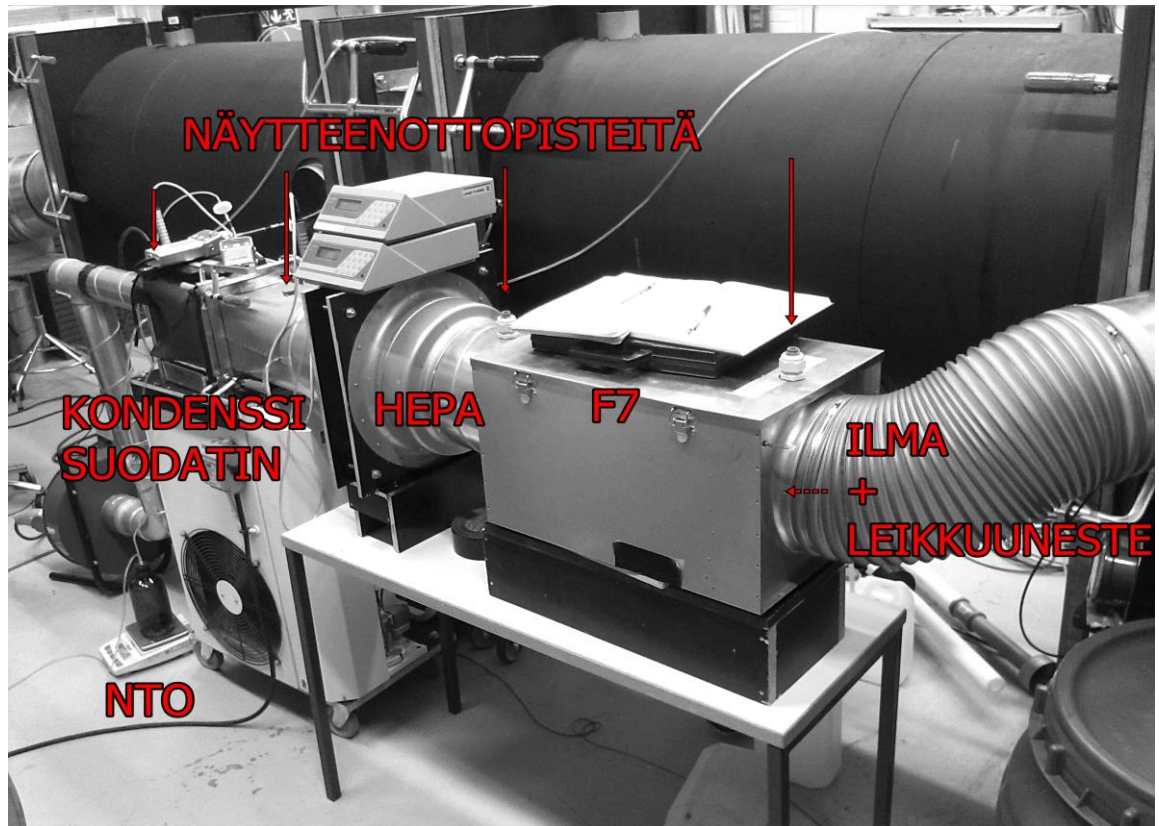
### 6.2 Kondenssisuodatin

Leikkuunesteestä muodostettiin sumua paineilman avulla suljetussa astiassa, josta se virtaavan ilmavirran sieppaamana kulkeutuu kanavistoa pitkin suodattimille. Koelaitteistoon on rakennettu tulpattavia läpivientejä eri vaiheisiin, joista näytteenoton voi halutessaan suorittaa. Jäähdytyspatterille kondensoitunut neste pumpataan alipaineella lasiseen astiaan. Koelaitteistossa on erillinen taajuusmuuttajaohjattu puhallin. Jäähdytyspatterin jäähdytysenergia tuotettiin tässä kokeessa sähköisesti jäähdytyskoneella. Periaatekuva ensimmäisestä koejärjestelystä on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Koejärjestely 1.konfiguraatio

Kuvassa 11 esitetty on valmis kokoonpano VTT:n ilmastointilaboratoriossa. Kuvan järjestely on kaaviokuvaan nähden käänteinen.



Kuva 11. Koejärjestely laitteineen laboratoriossa

### 6.3 Mittausten suorittaminen

Koe suoritettiin seuraavasti: Ensin iv-koneen tulo- ja poistoilmakoneet käynnistettiin sopivalla ilmavirralla. Niiden annettiin käydä ja laitteiston lämmitä noin vartin verran, jonka jälkeen lämpötila ja kosteus säädettiin sopivaksi.

Tämän jälkeen kondenssisuodatinkoelaitteiston puhallin käynnistettiin ja ilmavirta säädettiin sopivaksi. Seuraavaksi jäähdytyspatteri kytkettiin päälle ja sen annettiin jäähtyä haluttuun lämpötilaan. Laitteiston annettiin käydä hetki, jonka jälkeen kytkettiin leikkuunesteen syöttö päälle.

Leikkuunesteen syötön päälläolo varmistettiin mittaamalla kanavistosta orgaanisten haihtuvien yhdisteiden kokonaislukumäärää (TVOC-mittari), ennen ja jälkeen syötön päällekytkemisen. Nyt laitteisto oli valmis näytteiden ottoa varten.

Jäähdytyspatterin mitoitustiedot on esitetty taulukossa 3. Laitteiston käyntiparametrit ensimmäisistä mittauksista on esitetty taulukossa 4. Taulukosta voi

Taulukko 3. Jäähdytyspatterin tiedot

Teho	1,6 kW
Ilma	0,05 m <sup>3</sup> /s
Lämpötila	+21 / -5 °C
Suht. kosteus	5 / 31 %
Kylmäaine	R404A

Taulukko 4. Käyntiparametrit kondenssisuodatin

KLO	Qv (l/s)	t <sub>pinta</sub> (°C)	RH <sub>1</sub> (%)	T <sub>1</sub> (°C)	RH <sub>2</sub> (%)	T <sub>2</sub> (°C)
13.20	75	8,4	89,9	8,3	43,6	23,0
13.40	75	7,8	89,8	7,8	42,3	23,0
14.30	75	7,3	89,3	7,5	41,2	23,5
KA	75	7,8	89,7	7,9	42,4	23,2
.: VIITTAUKSET .:						
t <sub>pinta</sub>	Kondenssisuodattimen jäähdytyspatterin pintalämpötila					
RH <sub>1</sub>	Prosessoidun ilman suhteellinen kosteus ennen kondenssisuodatinta					
T <sub>1</sub>	Prosessoidun ilman lämpötila ennen kondenssisuodatinta					
RH <sub>2</sub>	Prosessoidun ilman suhteellinen kondenssisuodattimen jälkeen					
T <sub>2</sub>	Prosessoidun ilman lämpötila kondenssisuodattimen jälkeen					

#### 6.4 Näytteenottomenetelmä

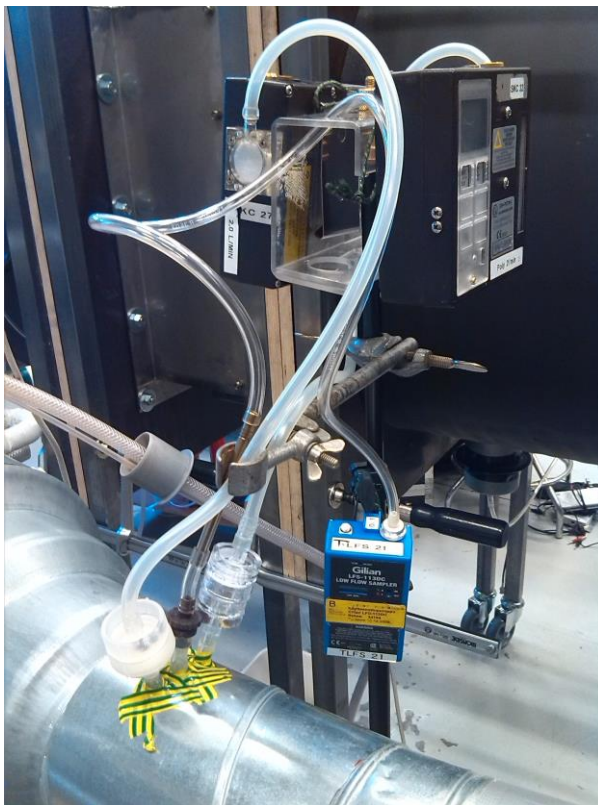
Näytteet otti ja analysoi Työterveyslaitoksen asiantuntijat. Menetelmä on seuraavanlainen. Alkanoliamiinit esiintyvät monoetanoliamiinia lukuun ottamatta pääasiassa sumuina ilmassa, koska niiden höyrynpaineet ovat hyvin matalia. Ne kerätään rikkihappokäsitellylle lasikuitusuodattimelle. Kaikki etanoliamiinit, sekä sumu- että höyrymuodossa olevat, jäävät keräyksessä happosuodattimelle sulfaatisuoloina. Formaldehydistä ja alkanoliamiinista tai morfoliinista koostuvat biosidit jäävät myös happosuodattimelle, mistä ne kerätään amiineina. Keräysnopeus on 1,5-2 l/min. Keräysaika 15-120 min.

(TTL – alkanoliamiinit – keräysohje)

## 6.5 Alkanoliamiinien analyysimenetelmä

Työterveyslaitos analysoi seuraavat metallintyöstössä esiintyvät amiiniyhdisteet: monoetanoliaami, dietanoliaami, trietanoliaami, N-metyylidietanoli-amiini, amino-2-propanoli, aminoetaksietanoli, N,N-dimetyyliaminoetanoli, aminometyylipropanoli ja morfoliini. Analyysi tehdään nestekromatografisesti MS/MS-menetelmällä, käyttäen kolmoiskvadrupoli-massaspektrometriä. Menetelmän määrittäminen on yhdisteestä riippuen 1,0-0,1 µg/näyte, eli 0,01 – 0,001 mg/m<sup>3</sup> 100 litran näytteelle. Kuvassa 12 on esitetty näytteenottomenetelmä. Kanavistoon on tehty reikiä, joita pitkin laitteiston analysoitavaa kohdepoistoilmaa pumpataan näytealustoille. Kuvan mustat laatikot ovat pumppuja.

(TTL – alkanoliamiinit – keräysohje).



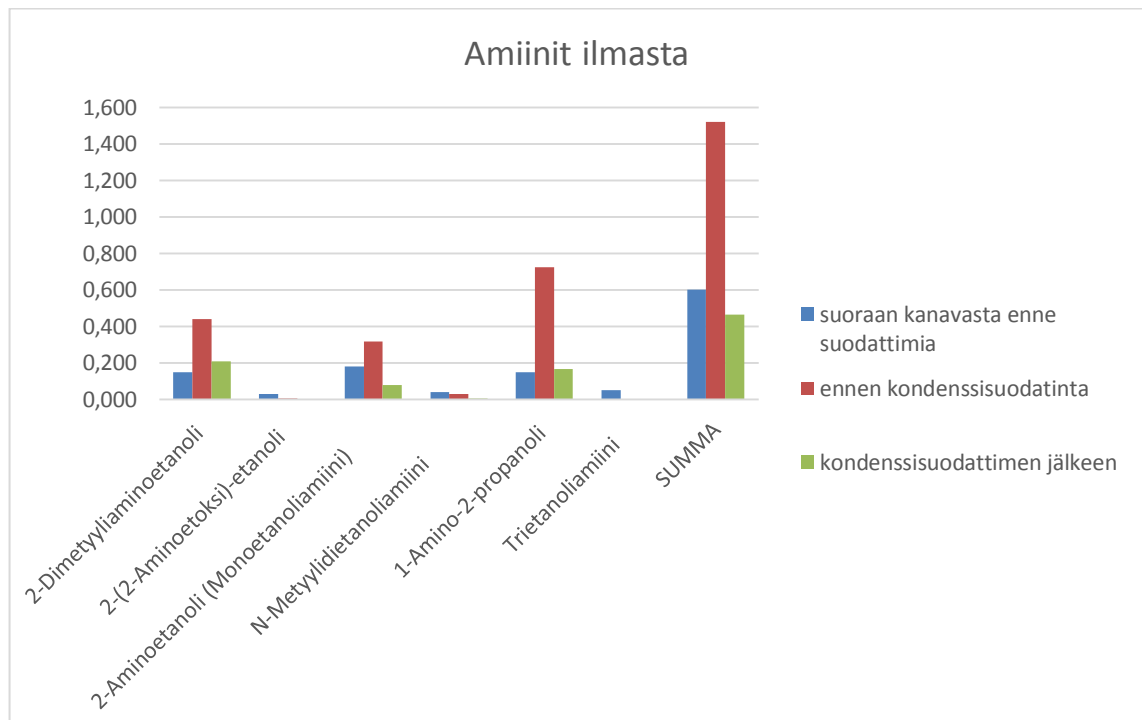
Kuva 12. Työterveyslaitoksen ammatilaisten näytteenotto-laitteistoa.

## 7 Laboriorimittaukset 1. konfiguraatiolla

Kokeessa selvitettiin laboratorio-olosuhteissa kondenssisuodattimen kykyä suodattaa leikkuunestesumusta alkanoliamiineja ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä.

### 7.1 Alkanoliamininit

Otettujen näytteiden eriteltyt alkanoliamiinien pitoisuudet on esitetty taulukoissa 5-6 ja kuvissa 13-14. Taulukoissa on esitetty analysoidun ainesosan nimi ja sen keskimääräinen pitoisuus. Lisäksi on esitetty HTP-2014 suositusten mukaiset vertailuarvot. Kokeessa käytetyn leikkuunesteen kaikille aineisosalille ei ole määritetty HTP-arvoa. Työterveyslaitoksen suosittelema tavoitetaso amiinien kokonaispitoisuuden osalta jää saavuttamatta.



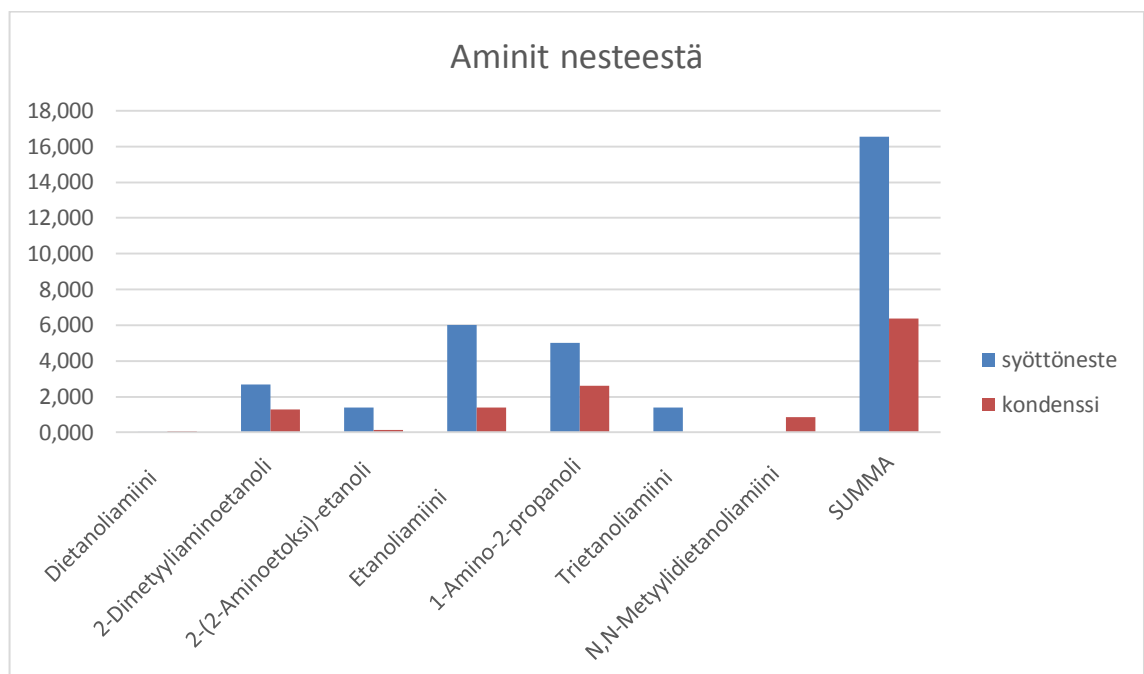
Kuva 13. Alkanoliamiinit ilmasta

Taulukko 5. Alkanoliamiinit ilmasta

Suoraan kanavasta ennen suodattimia		Vertailuarvo	
2-Dimetyyliaminoetanol	0,151	mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,031	mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanol (Monoetanoliamiini)	0,180	mg/m <sup>3</sup>	HTP 2,5 mg/m <sup>3</sup>
N-Metyylidietanoliamiini	0,041	mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	0,149	mg/m <sup>3</sup>	
Trietanoliamiini	0,050	mg/m <sup>3</sup>	HTP 5 mg/m <sup>3</sup>
Amiinien summa	0,602		0,1 mg/m <sup>3</sup> TTL tavoitetaso
Kanavasta ennen kondenssisuodatinta		Vertailuarvo	
2-Dimetyyliaminoetanol *	0,442	mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,005	mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanol (Monoetanoliamiini)	0,317	mg/m <sup>3</sup>	HTP 2,5 mg/m <sup>3</sup>
N-Metyylidietanoliamiini	0,031	mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli *	0,725	mg/m <sup>3</sup>	
Amiinien summa	1,520		0,1 mg/m <sup>3</sup> TTL tavoitetaso
*Pitoisuus ylitti suurimman käytetyn vertailuainepitoisuuden, jonka takia tulokseen saattaa sisältyä tavallista suurempi epävarmuus			
Kanavasta kondenssisuodattimen jälkeen		Vertailuarvo	
2-Dimetyyliaminoetanol	0,208	mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,001	mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanol (Monoetanoliamiini)	0,080	mg/m <sup>3</sup>	HTP 2,5 mg/m <sup>3</sup>
N-Metyylidietanoliamiini	0,007	mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	0,168	mg/m <sup>3</sup>	
Amiinien summa	0,464		0,1 mg/m <sup>3</sup> TTL tavoitetaso

Taulukko 6. Aminien nestenäytteet

Syöttöneste		
Dietanoliamiini	<b>0,035</b>	mg/ml
2-Dimetyyliaminoetanol	<b>2,7</b>	mg/ml
2-(2-Aminoetoksi)-etanol	<b>1,4</b>	mg/ml
Etanoliamiini	<b>6,0</b>	mg/ml
1-Amino-2-propanoli	<b>5,0</b>	mg/ml
Trietanoliamiini	<b>1,4</b>	mg/ml
Aminien summa	<b>16,535</b>	mg/ml
Kondenssineste		
Dietanoliamiini	<b>0,05</b>	mg/ml
2-Dimetyyliaminoetanol	<b>1,30</b>	mg/ml
2-(2-Aminoetoksi)-etanol	<b>0,15</b>	mg/ml
Etanoliamiini	<b>1,40</b>	mg/ml
N,N-Metyylidietanoliamiini	<b>0,86</b>	mg/ml
1-Amino-2-propanoli	<b>2,60</b>	mg/ml
Aminien summa	<b>6,360</b>	mg/ml



Kuva 14. Alkanoliamiinit nesteestä

## **7.2 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC)**

Kokeessa selvitettiin kohdepoistoilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) ja erityyppisten yhdisteiden esiintyvyys (VOC). Taulukossa 7 on esitetty VOC-analyysin tulokset. Vaikuttaisi siltä että laitteistolla saadaan suodatettua haihtuvia orgaanisia yhdisteitä.



Taulukko 7. VOC-analyysi.		
<b>Ennen kondenssisuodatinta</b>		
Yhdiste	Tulos	Yksikkö
<b>ALIFAATTISET HIILIVEDYT</b>		
Undekaani	3	µg/m <sup>3</sup>
<b>AROMAATTISET HIILIVEDYT</b>		
Tolueeni	2	µg/m <sup>3</sup>
<b>YKSIARVOISET ALKOHOLIT</b>		
2-Etyyli-1-heksanoli	3	µg/m <sup>3</sup>
1-Oktanoli	6	µg/m <sup>3</sup>
<b>ALKOHOLI JA FENOLIEETTERIT</b>		
Fenoksiopropanoli	11	µg/m <sup>3</sup>
<b>TYPPIYHDISTEET</b>		
2-Dimetyyliaminoetanoli	130	µg/m <sup>3</sup>
1-Amino-2-propanoli	42	µg/m <sup>3</sup>
Disykloheksyyliamiini	2	µg/m <sup>3</sup>
<b>HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)</b>	<b>280</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Jälkeen kondenssisuodattimen</b>		
Yhdiste	Tulos	Yksikkö
<b>ALIFAATTISET HIILIVEDYT</b>		
Undekaani	4	µg/m <sup>3</sup>
<b>AROMAATTISET HIILIVEDYT</b>		
Tolueeni	2	µg/m <sup>3</sup>
<b>YKSIARVOISET ALKOHOLIT</b>		
2-Etyyli-1-heksanoli	3	µg/m <sup>3</sup>
1-Oktanoli	9	µg/m <sup>3</sup>
<b>ALKOHOLI JA FENOLIEETTERIT</b>		
Fenoksiopropanoli	17	µg/m <sup>3</sup>

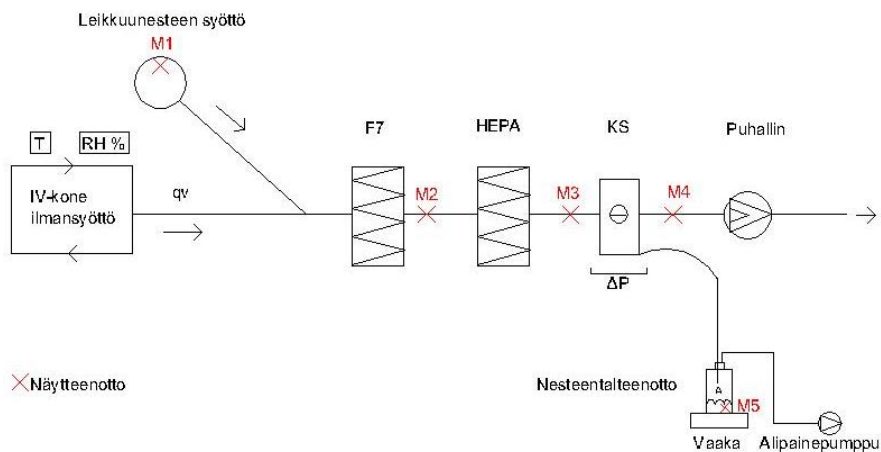
<b>ESTERIT JA LAKTONIT</b>		
Texanol 1)	5	µg/m <sup>3</sup>
<b>TYPPIYHDISTEET</b>		
2-Dimetyyliaminoetanoli	77	µg/m <sup>3</sup>
1-Amino-2-propanoli	9	µg/m <sup>3</sup>
Disykloheksyyliamiini	7	µg/m <sup>3</sup>
<b>HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)</b>	<b>180</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Kanava ennen suodattimia</b>		
Yhdiste	Tulos	Yksikkö
<b>ALIFAATTISET HIILIVEDYT</b>		
Undekaani	4	µg/m <sup>3</sup>
<b>AROMAATTISET HIILIVEDYT</b>		
Tolueeni	2	µg/m <sup>3</sup>
<b>YKSIARVOISET ALKOHOLIT</b>		
2-Etyyli-1-heksanoli	5	µg/m <sup>3</sup>
1-Oktanoli	8	µg/m <sup>3</sup>
<b>ALKOHOLI JA FENOLIEETTERIT</b>		
Fenoksipropanoli	74	µg/m <sup>3</sup>
<b>HAPOT</b>		
2-Etyyliheksaanihappo	13	µg/m <sup>3</sup>
<b>ESTERIT JA LAKTONIT</b>		
Texanol 1)	5	µg/m <sup>3</sup>
<b>TYPPIYHDISTEET</b>		
2-Aminoetanoli	61	
2-Dimetyyliaminoetanoli	190	µg/m <sup>3</sup>
1-Amino-2-propanoli	59	µg/m <sup>3</sup>
Disykloheksyyliamiini	87	µg/m <sup>3</sup>
<b>HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)</b>	<b>680</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>

1) 2,2,4-Trimetyyli-1,3-pentaanidiolimonoisobutyraatti

### 7.3 Massatase

Näytteiden analysoinnista saatiin selville tutkittavien aineiden pitoisuus mittaustaikassa. Pitoisuus ei kerro todellisesta suodatustehosta, vaan sitä varten on laskettava massatase. Se voidaan laskea yksinkertaisella kertolaskulla, kun tiedetään massavirta ja kulunut aika. Mitattu kokonaispitoisuus x massavirta x aika = massatase.

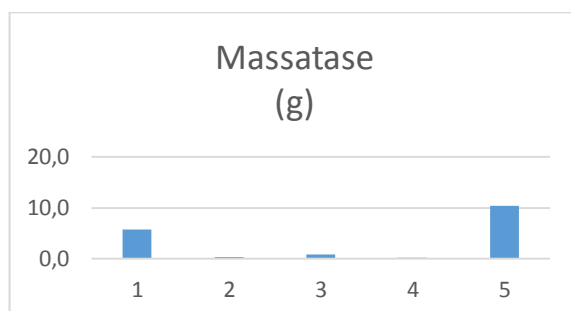
Kuvassa 15 on esitetty analyysien ottopaikat. Taulukossa 8 on esitetty mitatut alkanoliamiinien kokonaispitoisuudet, massavirta ja lasketut massataseet. Kuvassa 16 on kokeen massatase-diagrammi.



Kuva 15. Ensimmäinen koe – näytteidenottopaikat merkitty punaisella

Taulukko 8. Mitatut pitoisuudet, massavirta ja laskettu tase.

Näyte	Mitattu Kokonaispitoisuus	Massavirta (mg/s)	Laskettu tase (g)	Aika (s)
M1	16,335 mg/ml	0,7984	5,7	7200
M2	0,62 mg/m <sup>3</sup>	0,0465	0,3	
M3	1,52 mg/m <sup>3</sup>	0,1140	0,8	
M4	0,464 mg/m <sup>3</sup>	0,0348	0,3	
M5	6,36 mg/ml	1,4398	10,4	



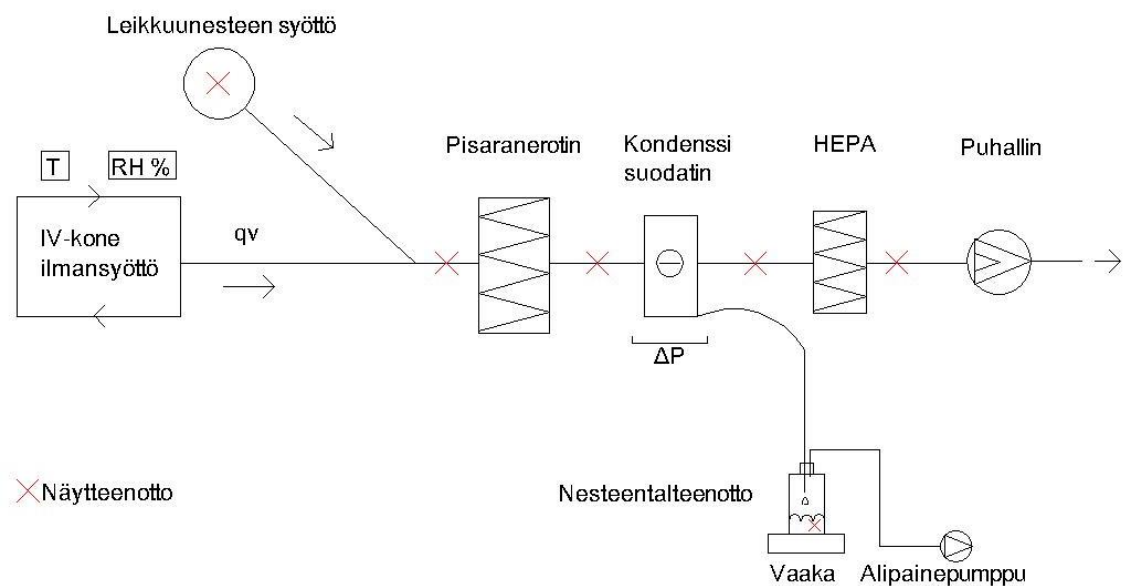
Kuva 16. Massatase

## 8 Mittaukset 2.konfiguraatiolla

Ensimmäisessä laboratoriokokeessa havaittiin, että käytetyt esisuodattimet keräävät itseensä leikkuunestettä ja kastuessaan toimivat epäpuhtauslähteenä aiheuttaen siten epäluotettavuutta mittaustuloksiin. Siksi kokoonpanoa muutettiin siten, että esisuodattimien tilalle asennettiin pisaranerotin. Tarkoitus on, että pisaroina ilmassa oleva leikkuunesteen ainesosat saataisiin erotettua ja poistettua kanavistosta ennen kondenssi- ja HEPA-suodatinta.

Oletuksena on, että pisaranerotin ei kerää itseensä leikkuunestettä, eikä juurikaan luovuta sitä kanavistoon. Kondenssisuodattimella erotetaan sitten ilmasta kaasumuodossa olevat ainesosat ja kuivataan poistoilmaa. Kondenssisuodattimen jälkeen asennettiin viimeiseksi suodatintyksiköksi edellisessäkin kokeessa käytetty HEPA-suodatin.

Periaatekuva mittauksista on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Periaatekaavio 2.konfiguraation mittaus

## 8.1 Mittaustulokset 2.konfiguraatio

Taulukoissa 9-10 on esitetty 2.konfiguraation mittaustulokset ja ilman laadun mittausanalyysi. Mittaukset on suorittanut ja analysoinut Työterveyslaitos. Kuvassa 18 on esitetty 2.konfiguraation mittauksien massatase. Massatase on laskettu yhdisteiden kokonaismäärällä (TVOC+amiinit). Massatasetta tarkastelemalla voi havaita, että suodatus-teho on parempi, kun suodatinjärjestystä muutettiin.

Taulukko 9. Toisen konfiguraation mittaustiedot

	Amiinit	TVOC	non-N TVOC	Poistuma amiinit	Poistuma TVOC	Poistuma non-N TVOC	ilmavirta m <sup>3</sup> /s
Ennen pisanerotinta	3,45	430	187				0,075
Ennen kondenssisuodatinta	2,64	320	142	23 %	26 %	24 %	
Kondenssisuodattimen jälkeen	0,92	170	100	65 %	47 %	30 %	
HEPAn jälkeen	0,06	30	30	93 %	82 %	70 %	
Massatase	mg	6300		Kokeen kesto (s)			
Syötetty leikkuuneste	5407,82	235		Syötetty nestemäärä (ml)			
Ennen pisanerotinta	1630,59	3777,22					
	8	3					
Ennen kondenssisuodatinta	1248,81	381,78	23 %				
	8	814,117					
Kondenssisuodattimen jälkeen	434,7	5	65 %				
		405,877					
HEPAn jälkeen	28,8225	5	93 %				
Kondenssivesi	810,52	920		Kerätty nestemäärä			

Taulukko 10. Mittaustulokset 2.konfiguraatio

Altiste	Mitattu pitoisuus	HTP
Dietanoliamiini	0,002 mg/m <sup>3</sup>	2
2-Dimetyyliaminoetanol	0,83 mg/m <sup>3</sup>	
Disykloheksyyliamiini	0,16 mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,083 mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanol (Monoetanoliamiini)	1,02 mg/m <sup>3</sup>	2,5
N-Metyylidietanoliamiini	0,096 mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	1,07 mg/m <sup>3</sup>	
Trietanoliamiini	0,19 mg/m <sup>3</sup>	5

Dietanoliamiini	0,001 mg/m <sup>3</sup>	2
2-Dimetyyliaminoetanoli	0,86 mg/m <sup>3</sup>	
Disykloheksyyliamiini	0,19 mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,047 mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanoli (Monoetanoliamiini)	0,11 mg/m <sup>3</sup>	2,5
N-Metyylidietanoliamiini	0,099 mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	1,26 mg/m <sup>3</sup>	
Trietanoliamiini	0,076 mg/m <sup>3</sup>	5
2-Dimetyyliaminoetanoli	0,25 mg/m <sup>3</sup>	
Disykloheksyyliamiini	0,087 mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,029 mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanoli (Monoetanoliamiini)	0,18 mg/m <sup>3</sup>	2,5
N-Metyylidietanoliamiini	0,036 mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	0,21 mg/m <sup>3</sup>	
Trietanoliamiini	0,069 mg/m <sup>3</sup>	5
2-Dimetyyliaminoetanoli	0,059 mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	0,002 mg/m <sup>3</sup>	
Dietanoliamiini	0,002 mg/m <sup>3</sup>	2
2-Dimetyyliaminoetanoli	0,82 mg/m <sup>3</sup>	
Disykloheksyyliamiini	0,17 mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,073 mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanoli (Monoetanoliamiini)	1,11 mg/m <sup>3</sup>	2,5
N-Metyylidietanoliamiini	1,17 mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	1,13 mg/m <sup>3</sup>	
Trietanoliamiini	2,07 mg/m <sup>3</sup>	5
2-Dimetyyliaminoetanoli	0,82 mg/m <sup>3</sup>	
Disykloheksyyliamiini	0,19 mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,046 mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanoli (Monoetanoliamiini)	1,06 mg/m <sup>3</sup>	2,5
N-Metyylidietanoliamiini	0,1 mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	1,22 mg/m <sup>3</sup>	
Trietanoliamiini	0,12 mg/m <sup>3</sup>	5
2-Dimetyyliaminoetanoli	0,22 mg/m <sup>3</sup>	
Disykloheksyyliamiini	0,061 mg/m <sup>3</sup>	
2-(2-Aminoetoksi)-etanoli	0,01 mg/m <sup>3</sup>	
2-Aminoetanoli (Monoetanoliamiini)	0,11 mg/m <sup>3</sup>	2,5
N-Metyylidietanoliamiini	0,017 mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	0,15 mg/m <sup>3</sup>	
Trietanoliamiini	0,024 mg/m <sup>3</sup>	5
2-Dimetyyliaminoetanoli	0,068 mg/m <sup>3</sup>	
1-Amino-2-propanoli	0,001 mg/m <sup>3</sup>	
ALIFAATTISET HIILIVEDYT	-	
Undekaani	2 µg/m <sup>3</sup>	

AROMAATTISET HIILIVEDYT	-
Tolueeni	3 µg/m <sup>3</sup>
TERPEENIT JA NIIDEN JOHDANNAISET	-
Limoneeni	1 µg/m <sup>3</sup>
YKSIAARVOISET ALKOHOLIT	-
1-Butanoli	2 µg/m <sup>3</sup>
2-Etyyli-1-heksanoli	5 µg/m <sup>3</sup>
1-Oktanoli	6 µg/m <sup>3</sup>
ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT	-
2-(2-Etoksietoksi)etanoli	8 µg/m <sup>3</sup>
Fenoksiopropanoli**	40 µg/m <sup>3</sup>
ESTERIT JA LAKTONIT	-
Texanol	4 µg/m <sup>3</sup>
TYPPIYHDISTEET	-
2-Dimetyyliaminoetanoli**	210 µg/m <sup>3</sup>
Disykloheksyyliamiini**	33 µg/m <sup>3</sup>
HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)	430 µg/m <sup>3</sup>

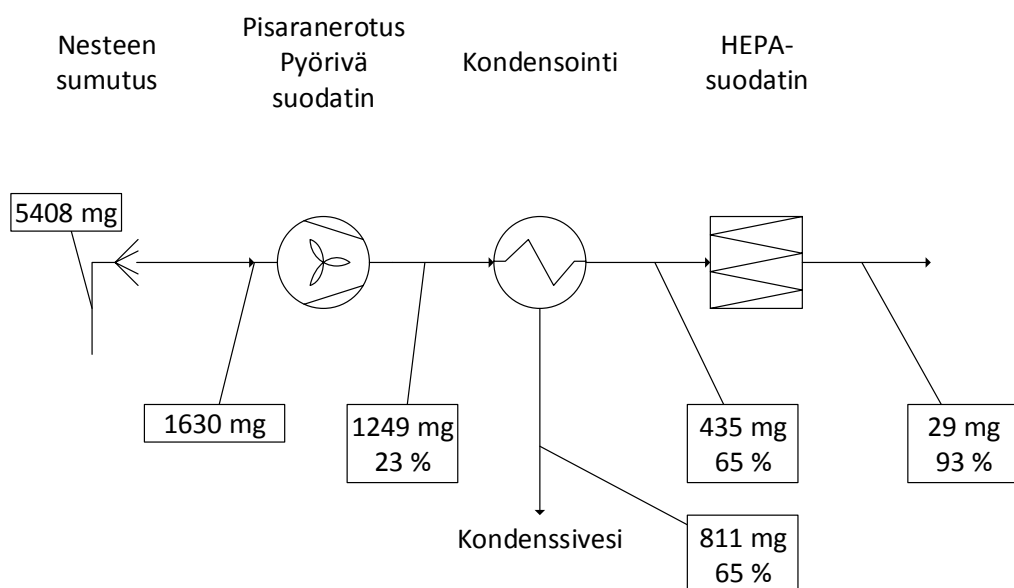
---

ALIFAATTISET HIILIVEDYT	-
Undekaani	2 µg/m <sup>3</sup>
AROMAATTISET HIILIVEDYT	-
Tolueeni	2 µg/m <sup>3</sup>
TERPEENIT JA NIIDEN JOHDANNAISET	-
Limoneeni	1 µg/m <sup>3</sup>
YKSIAARVOISET ALKOHOLIT	-
1-Butanoli	2 µg/m <sup>3</sup>
2-Etyyli-1-heksanoli	5 µg/m <sup>3</sup>
1-Oktanoli	4 µg/m <sup>3</sup>
ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT	-
2-Butoksietanoli	1 µg/m <sup>3</sup>
2-(2-Etoksietoksi)etanoli	7 µg/m <sup>3</sup>
Fenoksiopropanoli**	42 µg/m <sup>3</sup>
ESTERIT JA LAKTONIT	-
Texanol	4 µg/m <sup>3</sup>
TYPPIYHDISTEET	-
2-Dimetyyliaminoetanoli**	150 µg/m <sup>3</sup>
Disykloheksyyliamiini**	28 µg/m <sup>3</sup>
HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)	320 µg/m <sup>3</sup>

---

ALIFAATTISET HIILIVEDYT	-
Undekaani	1 µg/m <sup>3</sup>
AROMAATTISET HIILIVEDYT	-
Tolueeni	4 µg/m <sup>3</sup>
TERPEENIT JA NIIDEN JOHDANNAISET	-
Limoneeni	1 µg/m <sup>3</sup>
YKSIAARVOISET ALKOHOLIT	-
1-Butanoli	7 µg/m <sup>3</sup>
2-Etyyli-1-heksanoli	2 µg/m <sup>3</sup>
1-Oktanoli	4 µg/m <sup>3</sup>
ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT	-
2-(2-Etoksietoksi)etanoli	4 µg/m <sup>3</sup>
Fenoksiopropanoli**	10 µg/m <sup>3</sup>
KETONIT	-

4-Hydroksi-4-metyyli-2-pentanoni**	6 µg/m <sup>3</sup>
ESTERIT JA LAKTONIT	-
Texanol	3 µg/m <sup>3</sup>
HALOGEENIYHDISTEET	-
1,1,1-Trikloorietaani**	19 µg/m <sup>3</sup>
TYPPIYHDISTEET	-
2-Dimetyyliaminoetanoli**	50 µg/m <sup>3</sup>
Disykloheksyyliamiini**	20 µg/m <sup>3</sup>
HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)	170 µg/m <sup>3</sup>
<hr/>	
ALIFAATTISET HIILIVEDYT	-
Undekaani	1 µg/m <sup>3</sup>
AROMAATTISET HIILIVEDYT	-
Tolueeni	2 µg/m <sup>3</sup>
TERPEENIT JA NIIDEN JOHDANNAISET	-
Limoneeni	1 µg/m <sup>3</sup>
YKSIARVOISET ALKOHOLIT	-
1-Butanoli	0,90 µg/m <sup>3</sup>
2-Etyyli-1-heksanoli	3 µg/m <sup>3</sup>
1-Oktanoli	2 µg/m <sup>3</sup>
ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT	-
2-(2-Etoksietoksi)etanoli	2 µg/m <sup>3</sup>
Fenoksipropanoli**	2 µg/m <sup>3</sup>
ALDEHYDIT	-
Heksanaali	2 µg/m <sup>3</sup>
Heptanaali	0,80 µg/m <sup>3</sup>
Nonanaali	6 µg/m <sup>3</sup>
Oktanaali	1 µg/m <sup>3</sup>
ESTERIT JA LAKTONIT	-
Texanol	3 µg/m <sup>3</sup>
HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)	30 µg/m <sup>3</sup>



Kuva 18. 2.konfiguraation mittauksien massatase –  
Kuvan lähde: Työterveyslaitos.



## 9 Kondenssisuodattimen koekäyttö ja mittaukset kentällä

Kondenssisuodattimen toiminnan ja kehityskelpoisuuden varmistamiseksi täytyisi sitä kokeilla todellisessa käyttötilanteessa kentällä. Tällaisen kokeen aikana saataisiin arvokasta tietoa käytöstä, soveltuvuudesta ja toimivuudesta metallintyöstön kohdepoistossa.

### 9.1 Käyttökoe kentällä. Kohde – Sandvik Mining Oy, Myllypuro

Kentällä suoritettava käyttökoe voisi olla esimerkiksi seuraavanlainen:

-Laitteisto vietäisiin yhteen kohteeseen ainakin vähintään kuukauden ajaksi.

-Työstökoneen (suodattamaton) kohdepoistoilma johdetaan kanavaa pitkin koelaitteistolle suodatettavaksi ja se palautettaisiin takaisin huoneilmaan tai puhalletaan ulos rakennuksesta.

-Työstökone ja suodatinlaitteisto käynnistettäisiin ja niiden toimintaa seurattaisiin aluksi esimerkiksi parin päivän ajan. Varmistutaan siitä, että laitteisto pysyy toimintakykyisenä ja pidennetään tarkistusväliä esimerkiksi viikolla.

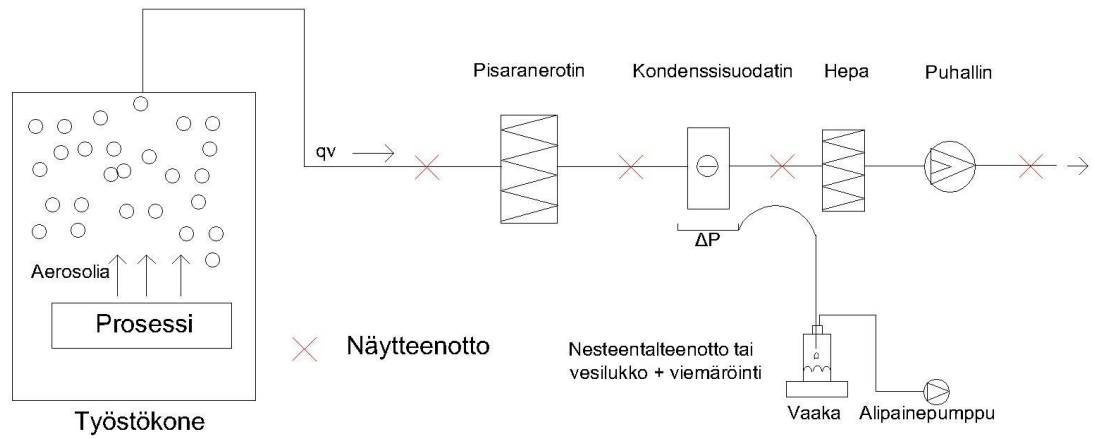
-Syötettävän ja palautettavan kohdepoistoilman analyysi testijakson alussa ja lopussa.

-Kaikki käyttökokemukset ja siihen liittyvät asiat kirjataan ylös

-Toiminnan indikaattoreina toimisi mm. jäähdytyskennon likaantuminen, talteenotetun nesteen laatu, suodattamattoman ilman laatu, suodatetun ilman laatu ja muut käyttökemukset.

-Kokeilupaikassa on oltava luotettava esim. huollon yhteyshenkilö, joka voi tarvittaessa käynnistää/sulkea laitteiston ja silmämääräisesti tarkistaa toimintakuntoisuuden.

Kuvassa 19. on esitetty kenttäkokeen koejärjestelyn periaate.



Kuva 19. Kenttämittauksien periaate

Laitteiston järjestelyperiaate kentällä olisi hyvin samankaltainen kuin 2.konfiguraation laboriokokeissa. Laitteisto asennettaisiin sellaiseen työstökoneeseen, jonka käyttö on päivittäistä, eikä laitteen kokeilu häiritse tuotantoa.

## 10 YHTEENVETO JA KEHITYSIDEOITA

### 10.1 Tutkimuksesta

Opinnäytetyön aikana itselle tuli hyvinkin selväksi, että tieteellinen tutkimustyö vaatii aikaa, rahaa, osaamista ja resursseja. Resursseista puhuttaessa tarkoitan esimerkiksi luotettavia mittalaitteistoja ja mittausympäristöä (tutkimuslaboratoriota).

Mielestäni tämän tyyppisessä tutkimuksessa voisi olla hyväksi, jos tekisi yhteistyötä laitevalmistajien ja toimittajien kanssa. Heiltä voisi saada tuotteita sekä laitteistoa tutkimusta varten, ja he saisivat vastapalkaksi tutkimustuloksia.

Tätä opinnäytetyötä varten tehdyt mittaukset olisi kannattanut suunnitella huolellisemmin. Tutkimusta tehdessä oli usein ongelmallista mm. se, että ammattitaidon puutteen takia aina ei tiennyt mitä pitäisi tehdä ja miten se pitäisi tehdä. Mitä pitäisi mitata ja minkälaisella laitteella pitäisi mitata, miten tuloksia tulkitaan, voiko mittaukset toistaa ja ovatko tulokset luotettavia ?

Vaikka tutkimus voi olla tarkkaan suunniteltu, voi se todellisuudessa poiketa hyvinkin paljon suunnitellusta. Jotenkin pitäisi määrittää myös se millainen tulos on tyydyttävä. Olisi hyvä määritellä sellainen rajapyykki tai tulos, minkä ohitettua hanketta voidaan viedä eteenpäin – tai se kuopataan.

Tällä koelaitteistolla kannattaisi suorittaa kunnollinen kenttäkoe. Ilman sitä ei voi tietää, kuinka laitteisto oikeasti toimisi todellisessa käyttötilanteessa. Tällaisesta kokeesta saataisiin kattavaa tietoa mm. suodattimen likaantumisen kehityksestä ja ylipäätään laitteiston käyttäytymisestä.

Tässä hankkeessa oli mukana useita osapuolia. Se on kiistatta etu esimerkiksi mainitun osaamisen kannalta. Tässä tutkimuksessa kuitenkin ajoittain muodostui ongelmaksi aikataulujen yhteensovittaminen. Aikaa olisi ollut, mutta aikataulujen yhteensovittamisen vuoksi aina ei ollut mahdollista viedä tutkimusta eteenpäin.

## 10.2 Yhteenveto

Kondenssisuodatinlaitteistoa testattiin onnistuneesti laboratorio-olosuhteissa kahdella erilaisella kokoonpanolla. Ensimmäisen kokeen perusteella suodatinlaitteisto toimi – mutta suodatinyksiköiden järjestelyä tarvitsi muuttaa - koska pisarapitoinen kohdepoistoilma kasteli esisuodattimen ja kontaminoi sen. Järjestelyitä muutettiin siten, että ensimmäiseksi suodatinyksiköksi asennettiin pisaranerotin, sitten kondenssisuodatin ja viimeiseksi HEPA-suodatin. Muutetulla laitteistolla suoritettiin samanlaiset analyysit kuin ensimmäisessä kokeessa. Suodatusteho parantui huomattavasti muutoksien jälkeen.

Kondenssisuodatinlaitteisto vaikuttaa toimivan ihan hyvin ainakin laboratorio-olosuhteissa. Kokeiden perusteella sillä voitaisiin erottaa kohdepoistoilmasta kohtalaisella tehokkuudella ainakin haihtuvia orgaanisia yhdisteitä.

Työssä tehtyjen kokeiden perusteella alkanoliamiinien erotukseen laite ei sovellu hyvin. Työterveyslaitoksen suosittelemasta tavoitetasosta jäädään kauas. Testatuilla suodatinjärjestelyillä voitaisiin kuitenkin parantaa käytössäolevien kohdepoistomenetelmien suodatustehokkuutta jonkin verran.

Itse henkilökohtaisesti en osannut odottaa, että laite toimisi ollenkaan. Sen kuitenkin tarvitsisi toimia tehokkaammin - jotta kannattaisi panostaa lisätutkimuksiin ja kehittää toimiva tuote - jonka voisi myydä kaikkialle ympäri maailman. Koekäyttö todellisissa käyttö-olosuhteissa todennäköisesti kertoisi ko. laitteiston soveltuvuuden metallintyöstön kohdepoistossa. Lisäksi olisi mielenkiintoista kokeilla, kuinka kondenssisuodattimen jäähdytyspinnan lisääminen – ja pinnan muotoilu - vaikuttaa suodatustehokkuuteen.

Metallintyöstön kohdepoistoihin kannattaisi tutkimuksen aikana ilmenneiden asioiden perusteella asentaa erillinen pisaranerotin siten, että se on mahdollisimman lähellä työstökoneelta lähtevään huuvaan asennettuna, ja ennen muita suodatusyksiköitä. Tämä vähentäisi mm. ”muljun” eli leikkuuneste-työstöjäteseoksen kerääntymistä kanavistoon. Tästä olisi etua etenkin keskitetyissä järjestelmissä, joihin kanavistoa yleensä joudutaan enemmän rakentamaan. Kanavistoon kerääntynyt mulju kovettuu aikanaan ja voi aiheuttaa kanaviston tukkeutumisen. Tulipaloriski on suuri ja kerääntynyt seos kasvattaa kanaviston massaa lisäten kannakoimistarvetta. Metallintyöstön kohdepoisto-

kanaviston tukkeutumista tulee seurata esimerkiksi kuvaamalla ja kanaviston puhdistaminen suorittaa säännöllisesti. Lisäksi ”liian kostea” kohdepoistoilma kontaminoi muita suodatintyksiköitä, heikentää niiden suodatustehoa ja lyhentää suodattimien käyttöikää. Keskitetyn järjestelmän puhaltimen toimivuutta ja kanaviston ilmavirran riittävyttä on erittäin suositeltavaa seurata. Kuvassa 20 on esitetty kanavaan ennen pisaranerotinta kertynyttä muljua.



Kuva 20. Muljua kanavistossa.

### 10.3 Tutkimus ja kehitysideoita

Tutkimus ja kehitysideoita:

-Testataan erilaisella kokoonpanolla. Voitaisiin kokeilla muuttaa esimerkiksi jäähdytyspatterin kokoa -> jäähdytyspinta-alan lisääminen ja sen vaikutus suodatustehokkuuteen.

-Testataan muotoilultaan erilaisia jäähdytyspattereita, esim. hunajakkenno-muoto.

-Aktiivihiihli-suodattimen käytön tutkiminen metallintyöstön kohdepoistojärjestelmissä kondenssisuodattimen lisäksi.

- Kondenssisuodattimen käytön tutkiminen keskitetyissä järjestelmissä.
  
- Kondenssisuodattimen käytön tutkiminen konekohtaisissa järjestelmissä.
  
- Kondenssisuodattimen käytön tutkiminen muunlaisissa prosesseissa ja soveltuvuus.
  
- Pisaranerotin käyttö keskitetyissä järjestelmissä vähentämään kanaviston likaantumista.
  
- Jäähdytysenergiälähteen, jäähdytysenergian pumppauksen ja jäähdytysputkiston suunnittelun selvitys.
  
- Kondenssisuodattimen tuotteistaminen ja markkinointi.

## LÄHTEET

Alkanoliamiinien keräysohje-tietokortti. TTL ohje. Luettu 29.3.2015

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). TTL ohje 2015. Luettu 18.4.2015.

[http://www.ttl.fi/fi/tyOymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman\\_epapuhautaudet/VOC/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyOymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhautaudet/VOC/Sivut/default.aspx),

Hendriks-Eckerman, M. & Suuronen, K. Metallityöstönesteiden alkanoliamiinien tavoiteperustelumuuisto. TTL ohje 2009. Luettu 4.2.2015.

[http://www.ttl.fi/fi/tyoturvaluisuus\\_ja\\_riskien\\_hallinta/riskien\\_hallinta/ohjearovot\\_tavoitetasot\\_haittatekijöille/tavoitetasot/Documents/alkanoliamiinit.pdf](http://www.ttl.fi/fi/tyoturvaluisuus_ja_riskien_hallinta/riskien_hallinta/ohjearovot_tavoitetasot_haittatekijöille/tavoitetasot/Documents/alkanoliamiinit.pdf)

HTP-arvot, Sosiaali ja terveystministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista, 2014.

Metallintyöstö-tietokortti. TTL ohje 2006. Luettu 23.2.2015

<http://www.ttl.fi/partner/kamat/tietokortteihin/Documents/Metallintyosto.pdf>