



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**RAKENNUSAIKAISEN  
PÖLYNHALLINTALAITTEISTON  
MITOITTAMINEN**

Matti Käkälä

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö

Kesäkuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Rakennusaikaisen pölynhallintalaitteiston mitoittaminen

Matti Käkälä

Oulun yliopisto, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 31 s. + 1 liite

Työn ohjaaja yliopistolla: Iris Pulkkinen

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan pölynhallintaan liittyviin dokumentteihin. Työn päätavoitteena on selvittää raja-arvot hiukkaspitoisuuksille. Lisäksi tutkimuksen aikana suoritetaan rakennustyömaalla hiukkasmittauksia ja niistä saatuja tuloksia verrataan kirjallisuusselvityksen tuloksiin. Tämän jälkeen pyritään analysoimaan tutkimustyötä erityisesti rakennustyömaan käytännön kannalta.

Tutkimuksessa etsitään laajasti lähteitä, jotka sivuavat ilmanlaatua, rakentamisen turvallisuutta, syöpävaarallisuutta, pölyhiukkasia ja hiukkaspitoisuuksien raja-arvoja. Kenttätutkimukset suoritetaan hiukkaspitoisuusmittarilla, jonka avulla selvitetään hiukkasmääriä litrassa ilmaa ja mikrogrammoina kuutiometrissä.

Kandidaatintyön tutkimustuloksena on määritetty ohjeelliset hiukkaspitoisuusarvot keräysmittausten pohjalta. Näiden saatujen arvojen pohjalta voi rakennustyömaa määrittää omat toimivat raja-arvonsa suorittamalla mittauksia ja vertaamalla niitä määritettyihin arvoihin.

*Asiasanat: pölynhallinta, pölynhallintalaitteisto, laitteiston mitoittaminen,*

## **ABSTRACT**

Dust management equipment sizing during construction

Matti Käkälä

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Bachelor's thesis + 2022, 31 pp. + 1 Appendix

Supervisor at the university: Iris Pulkkinen

In this bachelor's thesis, documents related to dust management are introduced. The main goal of the work is to find out the limit values for particle concentrations. In addition, during the study, particle measurements are performed at the construction site and the results obtained from them are compared with the results of the literature review. After this, the aim is to analyze the research work, especially from the point of view of the practical construction site.

The study extensively looks for sources that bypass air quality, construction safety, carcinogenicity, dust particles, and particle concentration limits. Field studies are performed with a particle concentration meter to determine the amount of particles per liter of air and in micrograms per cubic meter.

As a result of the bachelor's thesis, indicative particle concentration values have been determined based on collection measurements. Based on these values obtained, the construction site can determine its own operating limit values by performing measurements and comparing them with the determined values.

*Keywords: dust management, dust management equipment, equipment sizing*

## ALKUSANAT

Työ tekijäänsä opettaa ja niin myös kandidaatintyö.

Kandidaatintyöni tarkoitus on syventyä pölyhiukkasten maailmaan tutustumalla siihen, missä tällä hetkellä Suomessa ollaan menossa. Alani eli rakennustekniikka ohjaa katsomaan pölyhiukkasia erityisesti niiden hallinnan kannalta. Työn aihetta on kypsytelty mielessä kesästä 2021, mutta varsinainen työ on tehty loppukeväästä 2022.

Kiitos NCC Suomi Oy:lle ja erityisesti Saijalle siitä, että minulle on annettu mahdollisuus tutkia ja kehittää sekä minun tekemisiini on luotettu ja minua on tuettu. Kiitoksen sana kuuluu myös Irikselle, joka on johdattanut minut akateemisten tekstien pariin sekä ystävälleni Meiralle, jonka kanssa kielioppi on hiottu kuntoon.

Oulu, 18.6.2022

*Matti Käkelä*

**Matti Käkelä**

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto .....	7
2 Tutkimusmenetelmät .....	8
2.1 Kirjallisuusselvitys .....	8
2.2 Mittaustyö .....	8
2.3 Analysointi .....	8
3 Lainsäädäntä .....	9
3.1 Valmistuvalle rakennukselle määritellyt vaatimukset .....	9
3.2 Rakennustöiden puhtausluokitus P1 .....	10
3.3 Rakennustöiden pölynhallinnan suunnittelu .....	10
3.4 Ilmanlaatu PM1, PM2,5 ja PM10 .....	12
3.5 Syöpävaaran torjunta .....	15
3.6 Ilmavirtojen mitoittaminen .....	19
4 Pölypitoisuuden mittaaminen .....	21
4.1 Velvoite mittaamiselle .....	21
4.2 Hiukkaspitoisuusmittaus .....	22
4.3 Eri hiukkaskokojen määrän suhde toisiin kokoihin .....	22
5 Tavoitetason määrittäminen .....	26
5.1 Hiukkaspitoisuuden tavoitearvot .....	26
5.2 Kustannustavoitteet .....	27
6 Yhteenveto .....	29

LÄHDELUETTELO

LIITTEET:

Liite 1. PC220-mittaustulosten analysointi

## MERKINNÄT JA LYHENTEET

1/h	ilmanvaihtokerroin, kertaa tunnin aikana
AQG level	ilmanlaadun ohjetaso (Air Quality Guideline)
1/m <sup>3</sup>	kappaletta kuutiometriä kohden
µg	mikrogramma
µg/m <sup>3</sup>	mikrogrammaa kuutiometriä kohden
µm	mikrometri
dm <sup>3</sup> /s/hlö	virtausnopeus, litraa sekunnissa henkilöä kohden
dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>	virtausnopeus, litraa sekunnissa neliometriä kohden

# 1 JOHDANTO

Työskennellessäni suuressa rakennusliikkeessä tehtävänkuvakseni siirtyi P1-puhtausluokasta eli kansankielellä pölynhallinnasta huolehtiminen. Tutustuessani paremmin pölynhallintaan, hiukkaspitoisuuksiin ja niitä koskevaan lainsäädäntöön, havaitsin selkeiden ohjeiden olevan vajavaiset eikä rakennusaikaisen pölynhallintalaitteiston mitoittamiseen löydy suoraan vastauksia. Haastavinta oli koettaa määrittää, mille tasolle työmaan yleinen pölypitoisuus tulee saada ja miten kyseinen taso tulee muodostaa.

Tässä kandidaatin tutkielmassa pölynhallintalaitteistolla tarkoitetaan rakennustyömaan ilmansuodatuslaitteita, jotka kierrättävät ilman lävitseen ja poistavat siitä epäpuhtauksia. Näiden laitteiden tehtävä on sama kuin rakennuksen lopullisella ilmanvaihdolla, mutta niiden tehoa kohdennetaan tarkemmin pölyntuoton suuruuden mukaan.

Tutkimustavoitteeni on selvittää lainsäädännön vaatimukset, yleiset käytössä olevat ohjeistukset ja analysoida niitä yhdessä omien tutkimustulosteni kanssa. Näiden pohjalta pyrin määrittämään toimivat laskentatavat rakennusaikaisen pölynhallintalaitteiston mitoittamiselle. Tutkimukseni tulee koostumaan kirjallisuusselvityksestä, jonka pohjalta luodaan tavoitellut pölypitoisuusarvot, nykyisen pölypitoisuuden selvittämisestä mittauksilla sekä ratkaisujen löytämisestä tavoiteltuihin pitoisuuksiin pääsemiseksi.

Käyn kandidaatin tutkielmassani aihetta läpi erityisesti työmaan kannalta. Lisäksi pohdin tehokkaan pölynhallintajohtamisen vaikutusta kustannuksiin. En keskity tässä kandidaatin tutkielmassa käymään läpi kohdepoiston tai siivouksen tärkeyttä, likaisten alueiden alipaineistusta tai ilmanvaihtoasennusalueiden ylipaineistusta.

## 2 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 2.1 Kirjallisuusselvitys

Tutkimuksessani etsin sisäilmaan ja pölynhallintaan liittyviä dokumentteja. Selvitän ja avaen löytämäni standardit, lait, asetukset, määräykset ja ohjeet sekä koostan näistä yhteenvedon. Käyn erityisesti läpi vuoden 2020 alussa kiristyneen lainsäädännön vaatimuksia ja sen mukanaan tuomia huomioita.

### 2.2 Mittaustyö

Suoritan suurella rakennustyömaalla pölypitoisuusmittauksia BQ20- ja PC220-hiukkaslaskureilla. Työmaan koon ansiosta käynnissä on kerroskohtaisesti lukuisia eri työvaiheita, joista kaikista pyrin ottamaan mittauksia eri etäisyyksiltä. Selvitän myös mittaamisen luotettavuutta ottamalla samoista pisteistä useampia mittauksia ja vertaamalla saatuja tuloksia.

Molemmat hiukkaslaskurit toimivat samalla periaatteella. Laskuri imee ilmaa lävitseen ja laskee ilmassa olevien hiukkasten määrät ja koot. Lisäksi laskurit määrittävät massapitoisuudet hiukkasille, joiden aerodynaamiset halkaisijat ovat 2,5 µm (mikrometriä) ja 10,0 µm. BQ20-hiukkaslaskurissa kanavina ovat hiukkaskoot 2,5 µm ja 10,0 µm. PC220-hiukkaslaskuri on arvokkaampi ja samalla toiminnallisuuksiltaan laajempi. Sen avulla pystyn selvittämään kerralla kuuden eri hiukkaskoon hiukkasmäärät. Kanavina PC220-hiukkaslaskurissa ovat hiukkaskoot, joiden aerodynaamiset halkaisijat ovat 0,3 µm, 0,5 µm, 1,0 µm, 2,5 µm, 5,0 µm ja 10,0 µm.

### 2.3 Analysointi

Analysoin mittaamalla saamiani tuloksia tuomalla ne Excel-taulukkolaskentaohjelmaan ja laskemalla niistä tila- ja kerroskohtaisia keskiarvoja. Näiden mittausten avulla selvitän myös eri jaekokojen väliset suhteet erilaisissa mittausolosuhteissa. Mittaamalla saamiani tuloksia vertaan kirjallisuusselvityksestä saamiini pitoisuusrajoihin.



### 3 LAINSÄÄDÄNTÄ

Sisäilmastoon, hengitysilmaan, pölynhallintaan ja rakentamiseen liittyy useita asetuksia, lakeja, määräyksiä ja ohjeita. Mikään näistä ei suoraan anna vastausta kysymykseen, mitkä ovat rakennusaikaisen sisäilman hiukkaspitoisuusrajat. Tässä luvussa esittelen kirjallisuusselvitykseni tulokset eli hiukkaspitoisuutta ja pölynhallintaa käsittelevät dokumentit ja niiden sisällöt.

#### 3.1 Valmistuvalle rakennukselle määritellyt vaatimukset

Yksi lähestymistapa rakennusvaiheessa vaadittavan puhtaustason selvittämiseen on valmiille rakennukselle asetettujen puhtaus- ja sisäilmatasojen läpikäynti. Sisäilmastoluokitus toimii määriteltynä sisäilmastotavoitteena ja sitä käytetään tavanomaisissa työ- ja asuinrakennuksissa, kuten toimistoissa, julkisissa rakennuksissa, kouluissa, päiväkodeissa ja asuinrakennuksissa. Laatuluokkia on kolme: S1 (yksilöllinen sisäilmasto), S2 (hyvä sisäilmasto) ja S3 (tyytyttävä sisäilmasto). Näistä S3-luokka täyttää tilan sisäilman laadun maankäyttö- ja rakennuslain sekä terveydensuojelulain perusteella määritellyt minimivaatimukset. Vastaavasti luokkien S1 sekä S2 vaatimukset ovat korkeammat. Vaikka sisäilmastoluokitus ei ole viranomaisohje, voi rakennuttaja määrittää jonkin sisäilmastoluokista tavoitetasoksi. Samalla urakoitsija voidaan velvoittaa kyseisen tason pitämiseen ja näin ollen muuttaa ohjeellisuus velvoitteeksi. (Ahola & Säteri, 2018, ss. 3,5)

Sisäympäristön tavoitearvot pitävät sisällään lämmön, äänen, valaistuksen ja ilman epäpuhtauksien tavoitelukemat (Ahola & Säteri, 2018, s. 3). Tässä työssä käyn läpi luokitukset vain hiukkaspitoisuuksien ja ilmanvaihdon puhtauden osalta. Taulukko 1 osoittaa sisäilmaston laatuluokkien hiukkaspitoisuusrajat pienhiukkasten eli aerodynaamiselta halkaisijaltaan 2,5 µm kokoisten hiukkasten suhteen (Valtioneuvosto, 2017, s. 2 §). Valmiissa rakennuksessa tulisi pitoisuuksien olla Aholan ja Säterin mukaan S1- ja S2- luokissa alle 10 µg/m<sup>3</sup> (mikrogrammaa kuutiometrissä) ja S3-luokassa alle 25 µg/m<sup>3</sup>, 24 tunnin mittauksen keskiarvona. Vaadittavat pitoisuudet tuleekin mitata standardin SFS-EN 12341 määrittämin tavoin rakennuksen normaalin käyttötilanteen

aikana. Mittaamisen käsittelen omana lukunaan myöhemmin tässä kandidaatintutkielmassa.

Taulukko 1. Sisäilman laadun tavoitearvot mukailten (Ahola & Säteri, 2018, s. 7).

	S1	S2	S3
<b>Hiilidioksidipitoisuuslisä, suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (ppm)</b>	< 350	< 550	< 800
<b>Radonpitoisuus (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	< 100	< 100	< 200
<b>PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>	< 10	< 10	< 25
<b>PM<sub>2,5</sub> sisällä/ulkona</b>	< 0,5	< 0,7	-

### 3.2 Rakennustöiden puhtausluokitus P1

Rakennustöiden puhtausluokitus P1 tavoittelee tilannetta, jossa rakennusaikaista pölyä ei pääse kulkeutumaan valmiin rakennuksen sisäilmaan, ja tilat voidaan ottaa heti luovutuksen jälkeen käyttöön. P1-puhtausluokka edellyttää, että kaikki sisätiloihin ja rakenteisiin tulevat rakennusmateriaalit asennetaan puhtaina ja ne suojataan likaantumiselta ja kastumiselta (Ahola & Säteri, 2018, s. 12). Lisäksi toimintakoevalmiit tilat osastoidaan irti muista tiloista ja merkitään ”Puhtausluokan P1 tila” -merkinnöillä (Ahola & Säteri, 2018, s. 13). Kokemukseni mukaan erityisen tärkeää on huomioida, että ilmanvaihdon asennustöiden aikana huolehditaan kyseisten tilojen ylipaineistuksesta puhtaalla ilmalla, minkä avulla varmistetaan, ettei tilaan pääse vuotamaan likaista ilmaa. Keskeisin osa P1-puhtausluokan varmistamisessa on rakennussiivouksen toimivuus, jonka tukena toimiva rakennusaikainen pölynhallintalaitteisto on.

### 3.3 Rakennustöiden pölynhallinnan suunnittelu

Rakennusprojekteissa tilaaja määrittää mitä halutaan, suunnittelija suunnittelee sen ja urakoitsija toteuttaa. Aholan ja Säterin (2018) mukaan samaan tapaan kuin kaikki muukin rakentamiseen liittyvä, myös pölynhallinta ja puhtaustaso on yksi edellä mainitut vaiheet läpikäyvä kokonaisuus. Myös valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (2009) määrittää toisen luvun seitsemännessä pykälässä, että rakennuttajan on huolehdittava, että rakennushankkeen toteuttamiseen liittyvissä suunnitelmissa on

otettava huomioon se, ettei työn tekeminen saa aiheuttaa haittaa sitä tekevän työntekijän terveydelle ja työ on pystyttävä suorittamaan turvallisesti.

Päätoteuttajan on esitettävä rakennuttajalle lukuisia turvallisuussuunnitelmia, joiden yksi erityismaininnoista on, että suunnittelussa on erityisesti kiinnitettävä huomiota pölyn vähentämiseen ja sen leviämisen estämiseen. Turvallisuussuunnitelmat on tarkastettava aina olosuhteiden muuttuessa, ne on pidettävä ajan tasalla ja lisäksi ne on tehtävä kirjallisesti. Turvallisuussuunnitelmien lisäksi päätoteuttajan tulee esittää rakennuttajalle työmaa-alueen käytön suunnitelmat. Pölynhallinnan näkökulmasta asetuksen mukaan terveyden haitan poistamisessa on erityisesti kiinnitettävä huomiota työmaan siisteyteen, pölyntorjuntaan sekä pölynhallintaan tarvittavien laitteiden sijoitteluun. (Valtioneuvosto, 2009, s. 10 ja 11 §)

Pölypitoisuus työmaalla vaihtelee merkittävästi aina työvaiheiden välillä, ja on tärkeää tarkastaa, että ennen työnteon alkamista luodut suunnitelmat pysyvät ajan tasalla ja vastaavat työmaan todellista tilannetta. Jos suunnitelmiin on tullut muutoksia, esimerkiksi oven paikka on muuttunut betoniseinässä valmiin aukon kohdalla valmiin seinän kohdalle, joudutaan betonia piikkaamaan tai leikkaamaan. Molemmat vaihtoehdot aiheuttavat runsaasti pölyntuottoa, ja jos rakentamisen suunnitelmissa ei ole käyty läpi kyseiseen työhön liittyvää osastoinnin, alipaineistuksen ja mahdollisen kastelun tarvetta tai henkilökohtaisen suojauksen vaatimuksia, on vaadittavat tiedot päivitettävä toteutussuunnitelmiin samalla kun muutossuunnittelu tehdään.

Rakennustoissa työntekijä on suojattava ensisijaisesti työvälineisiin, koneisiin, menetelmiin ja ympäristöön kohdistuvilla toimenpiteillä, mikä tarkoittaa, että lähtökohtaisesti pyritään minimoimaan työn tuomat haitat muilla kuin henkilökohtaisilla suojavälineillä. Kolmannentoista luvun 70. pykälä määrittää myös yleisesti, että pölyntorjunnassa tulee käyttää riittävän tehokasta paikallispoistolaitteistoa ja että laitteiden on toimittava siten, ettei vaaraa pääse syntymään. (Valtioneuvosto, 2009)

### 3.4 Ilmanlaatu PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub>

Hiukkasmaiset ainekset (PM, Particulate Matter) voidaan jaotella hiukkaskokoalueiden mukaan, ja näistä jaotteluista tärkeimmät luokat ovat PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub>. Euroopan Unioni, Maailman terveysjärjestö WHO sekä Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto EPA määrittävät PM<sub>1</sub>-luokan hiukkasmaisena aineksena, joka läpäisee kokoselektiivisen sisäänmenon, jonka hiukkaskokoleikkurin tehokkuus on 50 % hiukkasille, joiden aerodynaaminen halkaisija on 1 µm. Sama määrittäminen on tehty luokkien PM<sub>2,5</sub> sekä PM<sub>10</sub> suhteen. Standardi lisää kuitenkin heti perään, että määritelmä ei ole täsmällinen, koska näytteenottomenetelmää, selkeästi määritettyä erotuskäyrää eikä näytteenoton sisäänmenoa ole määritetty tarkasti. (Metalliteollisuuden standardoimisyhdistys ry, 2016)

#### 3.4.1 Suodatinstandardi

Edellä käsitellyn standardin luokitusarvojen määrittämisen ollessa monimutkaista sekä mittausten haastavaa, on muun muassa Yhdysvaltain EPA:n kaltainen viranomaisen alkanut käyttämään julkaisuissaan yksinkertaistetumpaa esitystä, jossa PM<sub>10</sub> kuvataan hiukkaskokofraktiona hiukkasen koon ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin 10 µm. Suodatustehokkuuteen tällä määritelmällä ei ole suurta vaikutusta, minkä johdosta myös standardissa ISO 16890 viitataan kyseisiin määritelmiin.

Taulukko 2 määrittää esimerkiksi, että ePM<sub>2,5</sub>-hiukkaserotusaste koskee hiukkaskokoja suurempi tai yhtä suuri kuin 0,3 µm ja pienempi tai yhtä suuri kuin 2,5 µm (Metalliteollisuuden standardoimisyhdistys ry, 2016). Tämä tarkoittaa, että jos meillä olisi ilmansuodatin, jonka luokitus olisi ISO ePM<sub>2,5</sub> 60 %, se suodattaisi 60 % kaikista pölyhiukkasista, jotka ovat kokoalueella  $0,3 \mu\text{m} \leq x \leq 2,5 \mu\text{m}$ .

Taulukko 2. Hiukkaserotusasteiden määrittelyssä käytettävät optiset hiukkashalkaisija-alueet mukailen (Metalliteollisuuden standardoimisyhdistys ry, 2016, s. 5).

Hiukkaserotusaste	Kokoalue, µm
ePM <sub>10</sub>	$0,3 \mu\text{m} \leq x \leq 10$
ePM <sub>2,5</sub>	$0,3 \mu\text{m} \leq x \leq 2,5$
ePM <sub>1</sub>	$0,3 \mu\text{m} \leq x \leq 1$

### 3.4.2 Suomen laki

Suomen laki määrittää raja-arvot ilman epäpuhtauksille (taulukko 3). Hengitettävien hiukkasten PM<sub>10</sub> ja pienhiukkasten PM<sub>2,5</sub> osilta on määritetty raja-arvot niin, että vuosikohtaiset raja-arvot ovat PM<sub>10</sub> kohdalla 40 µg/m<sup>3</sup> ja PM<sub>2,5</sub> kohdalla 25 µg/m<sup>3</sup>. PM<sub>10</sub> arvolle on lisäksi määritetty 24 tunnin raja-arvo, joka on vuosikohtaista raja-arvoa suurempi eli 50 µg/m<sup>3</sup>. Tämä raja-arvo saa kalenterivuoden aikana ylittyä 35 kertaa. Vuosittainen raja-arvo tarkoittaa vuoden aikana mitattua keskiarvoa. (Valtioneuvosto, 2017) Ilmatieteenlaitoksen mukaan edellinen raja-arvon ylitys on tapahtunut vuonna 2015 typpidioksidin vuosiraja-arvon ylittyessä Helsingissä Mäkelänkadun ja Töölöntullin mittausasemilla (Ilmatieteenlaitos, 2022).

Taulukko 3. Ilman epäpuhtauksien raja-arvot mukaillen (Valtioneuvosto, 2017).

Aine	Keskiarvon laskenta-aika <sup>1)</sup>	Raja-arvo <sup>2)</sup> µg/m <sup>3</sup>	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa (vertailujakso)	Raja-arvot voimassa
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	1 tunti	350	24	1.1.2005
	24 tuntia	125	3	1.1.2005
Typpidioksidi (NO <sub>2</sub> )	1 tunti	200	18	1.1.2010
	kalenterivuosi	40	-	1.1.2010
Hiilimonoksidi (CO)	8 tuntia <sup>3)</sup>	10 000	-	1.1.2005
Bentseeni (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	kalenterivuosi	5	-	1.1.2010
Lyijy (Pb)	kalenterivuosi	0,5	-	15.8.2001
Hengitettävät hiukkaset (PM <sub>10</sub> )	24 tuntia	50	35	1.1.2005
	kalenterivuosi	40	-	1.1.2005
Pienhiukkaset (PM <sub>2,5</sub> )	kalenterivuosi	25	-	1.1.2010

<sup>1)</sup> Mittaustuloksia yhdistettäessä ja tilastollisia tunnuslukuja laskettaessa on noudatettava liitteen 9 perusteita.

<sup>2)</sup> Kaasumaisilla yhdisteillä tulokset ilmaistaan 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa. Lyijyn ja hiukkasten tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

<sup>3)</sup> Vuorokauden korkein kahdeksan tunnin keskiarvo valitaan tarkastelemalla kahdeksan tunnin liukuvia keskiarvoja. Kukin kahdeksan tunnin jakso osoitetaan sille päivälle, jona jakso päättyy.

### 3.4.3 WHO:n linjaus

Maailman terveysjärjestö WHO on syksyllä 2021 päivittänyt omat ohjeelliset hiukkaspitoisuusrajansa, jotka ovat tiukemmat kuin Suomen lain määrittämät raja-arvot. Taulukosta 4 havaitaan, että PM<sub>2,5</sub>:n vuosittainen tavoitekeskiarvotaso on 5 µg/m<sup>3</sup> ja 24 tunnin tavoitearvo on 15 µg/m<sup>3</sup>. Vastaavasti hengitettävän hiukkasen PM<sub>10</sub>:n vuosittainen tavoitekeskiarvotaso on 15 µg/m<sup>3</sup> ja 24 tunnin tavoitearvo on 45 µg/m<sup>3</sup>. WHO on lisäksi määrittänyt välitavoitteita maille, joilla on vielä haasteita saavuttaa ilmanlaadun ohjetasoissa (AQG, taulukko 4) määritetyt raja-arvot. Valtioneuvoston asetukseen ilmanlaadusta verrattuna WHO on määrittänyt myös tiukemmat rajat 24 tunnin raja-arvojen ylityksille. Se on linjannut tavoitetasoksi rajan 99-prosenttisen pitämisen. Se tarkoittaa kolmesta neljään ylityspäivää vuodessa, mikä on moninkertaisesti tiukempi verrattuna Valtioneuvoston asetuksessa määritettyyn 35 ylityksen sallimiseen.

Taulukko 4. WHO:n tavoitellut AQG-level (Air Quality Guideline) eli ilmanlaadun ohjetasot mukailien (World Health Organization, 2021)

Pollutant	Averaging time	Interim target				AQG level
		1	2	3	4	
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Annual	35	25	15	10	5
	24-hour <sup>1)</sup>	75	50	37,5	25	15
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Annual	70	50	30	20	15
	24-hour <sup>1)</sup>	150	100	75	50	45
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Peak season <sup>2)</sup>	100	70	-	-	60
	8-hour <sup>1)</sup>	160	120	-	-	100
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Annual	40	30	20	-	10
	24-hour <sup>1)</sup>	120	50	-	-	25
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	24-hour <sup>1)</sup>	125	50	-	-	40
CO (mg/m <sup>3</sup> )	24-hour <sup>1)</sup>	7	-	-	-	4

<sup>1)</sup>99-percentile (i.e. 3-4 exceedance days per year).

<sup>2)</sup>Average of daily maximum 8-hour mean O<sub>3</sub> concentration in the six consecutive months with highest six-month running-average O<sub>3</sub> concentration.

### 3.4.4 Vertailu

Taulukkoon 5 olen koonnut aiemmin käsittelemistäni dokumenteista peräisin olevat PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub> raja-arvot. Taulukko kertoo valittujen hiukkaskokojen vuoden ja 24 tunnin raja-arvoja niiltä osin, kuin ne on lähdemateriaaleissa esitelty.

Taulukko 5. Koontitaulukko PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub> raja-arvoista.

	PM <sub>2,5</sub> (vuosi)	PM <sub>2,5</sub> (24-tuntia)	PM <sub>10</sub> (vuosi)	PM <sub>10</sub> (24-tuntia)
<b>WHO</b>	5 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>	45 µg/m <sup>3</sup>
<b>Suomen laki</b>	-	25 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>
<b>Sisäilmastoluokitus S1</b>	-	10 µg/m <sup>3</sup>	-	-
<b>Sisäilmastoluokitus S2</b>	-	10 µg/m <sup>3</sup>	-	-
<b>Sisäilmastoluokitus S3</b>	-	25 µg/m <sup>3</sup>	-	-

### 3.5 Syöpävaaran torjunta

Vuonna 2020 voimaan astunut valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta lisää tähän kandidaatintyöhön kenties merkityksellisimmän osan. Asetuksen päivityksen myötä syöpävaarallisten aineiden joukkoon on lisätty rakentamista vahvasti koskeva kiteinen piidioksidipöly. Lisäksi jo aiemmin syöpävaarallisten aineiden joukossa olleelle kovapuupölylle on asetettu huomattavasti tiukemmat altistumisrajat. Uudet kovapuupölyä koskevat rajat astuvat voimaan 19 §:n 1. momentin mukaisesti siten, että 1.1.2020-17.1.2023 aikavälillä sovelletaan raja-arvoa 3 mg/m<sup>3</sup> ja liitteessä II (kuva 1.) mainittu raja-arvo tulee voimaan 17.1.2023. (Valtioneuvosto, 2019)

Aineen nimi	EY-nro (1)	CAS-nro (2)	Raja-arvot						Huomautus	Siirtymäsäännös
			8 tuntia (3)			Lyhytaikainen (4)				
			mg/m <sup>3</sup> (5)	ppm (6)	f/cm <sup>3</sup> (7)	mg/m <sup>3</sup> (5)	ppm (6)	f/cm <sup>3</sup> (7)		
Kovapuupölyt	-	-	2 (8)	-	-	-	-	-	Hengitystieherkistyminen (12)	19 §:n 1 momentti
Kromi(VI)-yhdisteet, jotka ovat 2 §:ssä tarkoitettuja syöpää aiheuttavia aineita (kromina)	-	-	0,005	-	-	-	-	-	lho- ja hengitystieherkistyminen (10)	19 §:n 2 momentti
Tulenkestävät ke-raamiset kuidut, jotka ovat 2 §:ssä tarkoitettuja syöpää aiheuttavia aineita	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-
Kiteinen piidioksidipöly	-	-	0,1 (8)	-	-	-	-	-	-	-
Bentseni	200-753-7	71-43-2	3,25	1	-	-	-	-	lho (10)	-

(1) EY-numero eli EINECS-, ELINCS- tai NLP -numero on aineen virallinen numero Euroopan unionissa asetuksen (EY) N:o 1272/2008 liitteessä VI olevan 1 osan 1.1.1.2 kohdassa määritellyn mukaisesti.

(2) CAS-nro: Chemical Abstract Service -rekisterinumero.

(3) Mitattuna tai laskettuna suhteessa kahdeksan tunnin vertailuajan aikapainotettuun keskiarvoon (Time Weighted Average (TWA)). Hiukkasmaisten epäpuhtauksien osalta arvo koskee hengittyvää jaetta, ellei erikseen muuta ole määritetty.

(4) Lyhyen aikavälin raja-arvo (Short-Term Exposure Limit (STEL)). Raja-arvo, jota altistus ei saa ylittää ja joka koskee 15 minuutin ajanjaksoa, jollei toisin ilmoiteta. Hiukkasmaisten epäpuhtauksien osalta arvo koskee hengittyvää jaetta, ellei erikseen muuta ole määritetty.

(5) mg/m<sup>3</sup> = milligrammaa ilmakeuutiometriä kohti 20 °C:ssa ja 101,3 kPa:ssa (760 mm elohopeamittarilla).

(6) ppm = miljoonasosaa tilavuutena ilmassa (ml/m<sup>3</sup>).

(7) f/cm<sup>3</sup> = kuituja kuutiosenttimetrissä

(8) Jos kovapuupölyjä on sekoittunut muihin puupölyihin, raja-arvoa sovelletaan kaikkiin seoksessa mukana oleviin puupölyihin.

(9) Keuhkorakkeihin päätyvä osuus (alveoliage).

(10) Huomattava kehon kokonaiskuormituksen lisääntyminen ihon kautta altistumalla mahdollista.

(11) Alkuainehiilenä mitattuna.

(12) Aine voi aiheuttaa herkistymistä.

Kuva 1. Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta 1267/2019, liite II: työssä tapahtuvan altistumisen sitovat raja-arvot (Valtioneuvosto, 2019).

Kovapuupölyn osalta vuoden 2000 asetuksessa (kuva 2.) raja-arvona oli 5 mg/m<sup>3</sup> suhteutettuna kahdeksan tunnin viiteaikaan ja vuoden 2019 asetuksessa kyseinen raja on 2 mg/m<sup>3</sup> suhteutettuna kahdeksan tunnin aikapainotettuun keskiarvoon. Koska vuoden 2000 asetuksen maininnasta ”suhteutettuna kahdeksan tunnin viiteaikaan” ei ole tarkempaa mainintaa tai selitystä löytynyt, käsittelen molempia asetuksia samoin eli käytän kahdeksan tunnin TWA:ta (Time Weighted Average, aikapainotettu keskiarvo).



Aineen nimi	EINECS <sup>(1)</sup>	CAS <sup>(2)</sup>	Raja-arvot mg/m <sup>3</sup> <sup>(3)</sup> ppm <sup>(4)</sup>	Huomautus	Siirtymätoimenpiteet
Bentseeni	200-753-7	71-43-2	3,25      1	Iho <sup>(6)</sup>	Raja-arvo 3 ppm 01.06.2003 asti.
Vinyylidikloridi- monomeeri	200-831	75-01-4	7,77 <sup>(5)</sup> 3 <sup>(5)</sup>	-	Tulee voimaan 01.04.2003
Kovapuupölyt	-	-	5,00 <sup>(5), (7)</sup> -	-	Tulee voimaan 01.04.2003

(1) EINECS: European Inventory of Existing Chemical Substances

(2) CAS: Chemical Abstract Service Number

(3) mg/m<sup>3</sup> = milligrammaa ilmauutiometriä kohden 20 °C lämpötilassa ja 103 Kpa (760 mmHg) paineessa.

(4) ppm = tilavuuden miljoonasosaa ilmassa (ml/m<sup>3</sup>)

(5) Mitattu tai laskettu suhteessa kahdeksan tunnin viiteaikaan.

(6) Huomattava kehon kokonaiskuormituksen lisääntyminen on mahdollista ihon kautta altistumalla.

(7) Hengittävä osuus: jos kovapuupölyjä on sekoittunut muihin puupölyihin, raja-arvoa sovelletaan kaikkiin seoksessa mukana oleviin puupölyihin.

Kuva 2. Kumottu valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta 716/2000, liite: työssä tapahtuvan altistumisen raja-arvot (Valtioneuvosto, 2000).

Aikapainotettu keskiarvo tarkoittaa, että kaikkia saatuja mittaustuloksia verrataan määritettyyn ajanjaksoon. Kovapuupölyn ja kiteisen piidioksidipölyn kohdalla vertaaminen tehdään kahdeksaan tuntiin, joka viittaa normaaliin työpäivän pituuteen. Jos henkilö työskentelee esimerkiksi viisi tuntia, joista kolme tuntia hän on rasittuneena kovapuupölylle 4 mg/m<sup>3</sup> ja kahden tunnin rasitus on ollut 1,5 mg/m<sup>3</sup>, se tarkoittaa, että aikapainotettu kahdeksan tunnin keskiarvo lasketaan seuraavasti:

$$(1) (3h \cdot 4 \text{ mg/m}^3 + 2h \cdot 1,5 \text{ mg/m}^3) / 8h = 1,875 \text{ mg/m}^3$$

Saatu tulos on sallituissa rajoissa kaikissa kovapuupölyihin liittyvissä pitkän aikavälin raja-arvoissa. Koska Valtioneuvoston asetus ei määritä lyhyen aikavälin raja-arvoja, sallitaan 4 mg/m<sup>3</sup> rasitus, kunhan aikapainotettu keskiarvoraja ei ylity. Vastaavasti jos työntekijä tekee pidemmän työpäivän, esimerkiksi 11 tuntia ja on koko työpäivän ajan rasittuneena kovapuupölylle 1,5 mg/m<sup>3</sup>, aikapainotettu keskiarvo lasketaan seuraavasti:

$$(2) (11h \cdot 1,5 \text{ mg/m}^3) / 8h = 2,0625 \text{ mg/m}^3$$

Kyseinen laskettu kahdeksan tunnin aikapainotettu keskiarvo ylittää 17.1.2023 voimaan astuvassa asetuksessa määritellyn kovapuupölyn raja-arvon.

### 3.5.1 HTP eli haitallisiksi tunnetut pitoisuudet

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista 1.9.2020/654 määrittää työpaikan ilman epäpuhtauksille arvot, jotka työnantajan on huomioitava työpaikan ilman puhtautta, mittaustulosten merkitystä ja työntekijöiden altistumista arvioidessaan. Näitä arvoja asetus nimittää haitallisiksi tunnetuiksi pitoisuuksiksi eli HTP-arvoiksi. (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2020) Puupölyn kohdalla huomautetaan, että kovapuupölyn sitova arvo tulee ottaa Valtioneuvoston asetuksesta 1267/2019, mikä tässä työssä on käsitelty aiemmin ja johon HTP-arvot eivät tuo muutoksia.

Sosiaali- ja terveysministeriö määrittää kuvan 3. taulukossa kvartsipölyn kuuluvan kategoriaan piidioksidi, kiteinen. Piidioksidin alveolijae eli Valtioneuvoston asetuksen 1267/2019 mukaan keuhkorakkuloihin päätyvän pölyn osuus, tulee HTP-arvon mukaan olla korkeintaan  $0,05 \text{ mg/m}^3$  kahdeksan tunnin viitearvossa. Huomiona on kuitenkin viittaus sitovasta raja-arvosta edellä mainittuun valtioneuvoston asetukseen. Tiivistetysti Sosiaali- ja terveysministeriö määrittää terveyteen vedoten rajaksi  $0,05 \text{ mg/m}^3$  ja Valtioneuvosto syöpävaarallisuuden nimissä rajaksi  $0,1 \text{ mg/m}^3$ .

Aine tai aineryhmä	CAS-numero	HTP-arvot				H-lausekkeet	Huomautus
		8 h		15 min			
		ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>		
Puupöly			2				uusilla ja uudistetuilla tuotantolaitoksilla sovelletaan arvoa 1 mg/m <sup>3</sup> . Sitova arvo kovapuupölylle Vna 1267/2019
* Piidioksidi, kiteinen			0,05				alveolijae, sitova arvo Vna 1267/2019
Kristobaliitti	14464-46-1						
Kvartsi	14808-60-7						
Tridymiitti	15468-32-3						

\*lisätty tai muutettu tähän asetukseen \*\*CLP-asetuksen asteriski \*\*\*CLP-asetuksen asteriski

Kuva 3. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista 883/2021, taulukko 1: HTP-arvot

Alveolijakeen raja-arvon pohjalta kvartsipölyn määrälle on luotu prosenttikohtaiset rajat riskien arvioimiseksi. Näitä arvoja verrataan HTP-arvoon 0,05 mg/m<sup>3</sup> siten, että alle 10 % tarkoittaa altistumisen olevan vähäistä, 10-50 % kohtalaista, 50-100 % merkittävää ja yli 100 % liikaa. (Karjalainen;Linnainmaa;Mannonen;& Vehviläinen, 2012)

### 3.6 Ilmavirtojen mitoittaminen

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 velvoittaa erityissuunnittelijaa mitoittamaan oleskelutiloihin tulevan terveellisen, turvallisen ja viihtyisän ulkoilmavirran siten, että sen suuruus on vähintään 6 dm<sup>3</sup>/s/hlö. Tämä tarkoittaa, että jokaista huoneessa olevaa henkilöä kohden on tultava vähintään kuusi litraa puhdasta ilmaa sekunnissa.

Tämän lisäksi on huomioitava, että koko rakennuksen ulkoilmavirta on mitoitettava lattian pinta-alan suhteen tuomaan puhdasta ilmaa vähintään 0,35 dm<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup>. Koko rakennusta koskeva mitoitustapa tarkoittaa, että jokaista rakennuksen lattianeliötä kohden on rakennukseen tuotava puhdasta ilmaa vähintään 0,35 litraa sekunnin aikana. Edelliset mitoitusmääreet koskevat rakennuksen suunniteltua käyttöaikaa – esimerkiksi 8.00–16.00 – ja tilanteita, joissa rakennukseen ei aiheudu ylimääräistä lisäilmavirran tarvetta. Lisäksi tarkennuksena on määriteltävä, että mitoitettavan kohteen ollessa asuinhuoneisto

ilmavirran tulee olla vähintään  $18 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Kun kyseessä on muu kuin asumiskäytössä oleva rakennus, voidaan suunnitellun käyttöajan ulkopuolella mitoittaa ulkoilmavirta suuruuteen  $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ . (Ympäristöministeriö, 2017)

Huomioitavaa on, että asetuksessa puhutaan ulkoilmavirrasta, jolla tuodaan puhdasta ilmaa tilaan. Käytännössä rakennustyömaalla ei yleensä rakenneta väliaikaista ilmanvaihtojärjestelmää, jossa olisi sekä puhdas tuloilma että tilasta ulos viety poistoilma. Rakennustyömaalla alipaineistajat sekä suodattimilla varustetut ilmankierrätyskoneet kuten lämmittimet toimivat kierrätysilman tuottajina. Tällöin tilassa oleva likainen ilma kiertää laitteen läpi ja vapautuu puhdistettuna samaan tilaan tai vaihtoehtoisesti osastoidun seinän toiselle puolelle.

Rakennusaikaisen pölyhallintalaitteiston eli käytännössä väliaikaisen ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusta varten asetuksessa määritetyt ulkoilmavirran luvut on muutettava suodatuskertaa tunnissa -yksikköön, jotta puhdistuskaluston laskeminen olisi mahdollista. Käytön aikainen  $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ -virtaus tarkoittaa 2,5 metriä korkeassa tilassa ilmanvaihtokerrointa 0,504 1/h. Tämä tarkoittaa, että saavuttaakseen suunnitellun minimi-ilmanvaihtomäärän tulee tilan koko ilmamassan vaihtua kerran kahden tunnin aikana. Vastaava minimi-ilmanvaihtokerroin suunnitellun käyttöajan ulkopuolella on 0,216 1/h, mikä tarkoittaa, että tilan koko ilmamassan tulee vaihtua kerran viiden tunnin aikana.

Mitoitettaessa pölynpoistolaitteita työmaan yleiseen pölyhallintaan on käytännössä mahdotonta onnistua mitoituksessa hyödyntämällä vain laskennallisia minimi-ilmanvaihtomääriä ja suhteuttamalla laitteiden tehot tilan kuutiometrimäärään. Jokainen työmaan vaihe tuottaa pölyhiukkasia eri määrän, ja kohdepoiston tehokkuutta sekä pölyhallinnan onnistumista tai epäonnistumista on vaikea havaita ilman hiukkasmittaria. Tekemieni mittausten ja laskujen perusteella – 4 mittauspäivää, 308 mittauskertaa – päästäkseen  $\text{PM}_{2,5}$  hiukkasilla kokonaispitoisuuden keskiarvossa alle  $25 \text{ mg}/\text{m}^3$ :aan tulisi ilmamassa kierrättää noin 1,4 kertaa tunnin aikana hiukkassuodattimilla varustelluilla laitteilla. Tulos muodostuu rajallisesta määrästä mittauksia eikä se ole yleispätevä. Tulos osoittaa kuitenkin sen, että yleissiisteydeltään ja puhtaustasoltaan hyväkään työmaa ei pärjää ilmanvaihdon määritellyillä minimivirtausmäärillä.

## 4 PÖLYPITOISUUDEN MITTAAMINEN

Tämän luvun aiheena käsittelen pölypitoisuuden mittaamista ja siihen liittyvää dokumentaatiota. Käsittelen aihetta myös omien mittauskokemusten ja tutkimuksen aikana tekemiäni havaintojen pohjalta. Mielestäni pölynhallinnan ehdottomasti tärkein apuväline on hiukkasmittari. Sen avulla havaitaan poikkeamat, poikkeamien avulla puutteet ja puutteiden korjaamisten avulla saadaan hiukkaspitoisuudet laskuun.

### 4.1 Velvoite mittaamiselle

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009 sanoo 13. luvussa pykälässä 70 työhygieenisistä haittatekijöistä seuraavasti: ”Jos työntekijöiden altistumista vaarallisille pölyille ja kemiallisille tekijöille ei voida muutoin luotettavasti arvioida, on työnantajan suoritettava mittauksia säännöllisesti ja aina kun olosuhteissa tapahtuu työntekijän altistumista lisäävä muutos.” Lisäksi pykälässä sanotaan, että saatuja tuloksia on verrattava annettuihin raja-arvoihin ja mahdolliset vaaraa aiheuttavat tekijät on poistettava. Tilanteen pysyvyyden varmistamiseksi on suoritettava sopivin välein uusintamittauksia. Mitä lähempänä raja-arvoja saadut mittaustulokset ovat, sitä tiheämpään tulee mittauksia suorittaa. (Valtioneuvosto, 2009)

Työskennellessäni 2021–2022 välisenä aikana julkisessa rakennushankkeessa, käytännöksi vakioitui mitata koko rakennuksen hiukkaspitoisuudet kerran viikossa P1-puhtauskierroksen yhteydessä. Kun rakennuksen bruttoala alkoi lähestyä valmista eli 58700 m<sup>2</sup>, puhtauskierrokset ja samalla hiukkasmittaukset jaettiin kahteen osaan ja ne suoritettiin vuoroviikoin. Hyväksi havaitun mittaustiheyden lisäksi kierroksen aikana havaittujen korkeiden pitoisuuksien aiheuttajat korjattiin ja kyseiset alueet mitattiin uudestaan seuraavina päivinä. Näiden mittausten lisäksi pyrin seuraamaan uusien ilmanvaihtosennusalueiden ja poikkeavien työvaiheiden hiukkaspitoisuusmääriä. Oman kokemukseni mukaan mittaaminen on käytännössä ainoa toimiva tapa varmistaa esimerkiksi, että osastoinnit toimivat.

## 4.2 Hiukkaspitoisuusmittaus

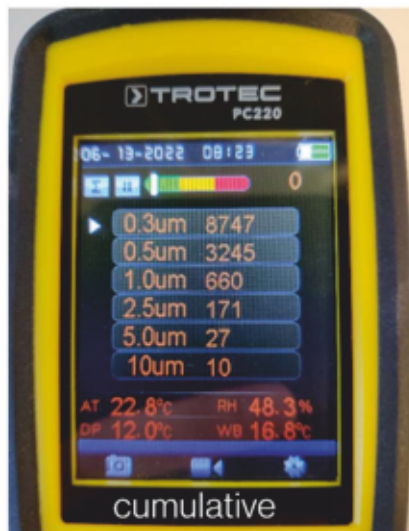
Hiukkaspitoisuusmittaus käsimittareilla PC220 ja BQ20 tarkoittaa, että mittaamalla saatu tulos kertoo kyseisen pisteen senhetkisen hiukkaspitoisuusmäärän. Kokemukseni mukaan mittaustulos voi vaihdella runsaasti jo muutaman metrin päässä edellisestä mittauspisteestä. Tähän syynä ovat monesti ilmavirrat, jotka kuljettavat hiukkasia pitkin rakennusta. Eniten haastavuutta lisää korkeiden rakennusten hormiefekti, joka laittaa ilman virtaamaan alhaalta ylös. Tämä voimakas virtaus on esimerkiksi kuljettanut pölyhiukkasia 7 kerrosta rakenteilla olevaa rakennusta ylöspäin tuoden ne auki jääneestä tarkastusluukusta huonetilaan. Huomioitavaa on myös se, että saman pisteen mittaaminen voi tunnin päästä näyttää helposti puolta pienempää lukemaa, vaikka alkuperäinen mittaustulos olisikin ollut hälyttävä.

Pölynlähteen paikoittaminen on mielestäni yksi mittaamisen hyödyllisimmistä ominaisuuksista. Vain paikantamalla pölynlähde, voidaan keskittää resurssit olennaisimpaan osaan eli poistamaan pölynlähteet. Kokemukseni mukaan hiukkaspitoisuuksien noston yleisimpiä aiheuttajia ovat tasoite- ja maalaustöiden ruiskutusvaiheet, betoni- ja tasoitepintojen hionta, piikkaaminen sekä erilaiset sementtien ja tasoitteiden sekoittamisvaiheet. Näiden lisäksi mittarin avulla on selvinnyt myös moni kohdepoiston laiminlyönti sekä kohdepoiston ja alipaineistajien suodattimenvaihtotarve. Esimerkiksi ilman kohdepoistoa tehdyt kipsiseiniä reiät ovat näkyneet mittarissa puolikin tuntia työvaiheen jälkeen.

## 4.3 Eri hiukkaskokojen määrän suhde toisiin kokoihin

Analysoin Excelin avulla työmaaltamme vuoden 2021 kesäkuun ja lokakuun välillä 561 PC220-hiukkasmittarilla otettua hiukkasmittaustulosta. Mittaukset suoritettiin pääosin jokaviikkoisen puhtaudenhallintakierroksen aikana, ja alueena oli siten tasaisesti koko työmaamme. Laite mittasi ilmaa 21 sekunnin ajan eli tilavuudeltaan litran verran. Mittausasetuksena oli kumulatiivinen, jonka laskentatapa on esitetty kuvassa 4. Jokainen mittauskerta tehtiin hiukkaslaskutoiminnolla eli laite laski, montako hiukkasta litrassa ilmaa oli. Liite 1. näyttää 561 mittaustuloksen joukosta jokaista hiukkaskanavaa kohden

kymmenen suurinta ja kymmenen pienintä tulosta. Tuloksista havaitaan, että tietyistä mittauskanavasta saatu lukema ei pysty kertomaan mitä jostain toisesta mittauskanavasta olisi mahdollisesti tulossa. Esimerkiksi kahdesta suurimmasta 0,3 µm mukaan lajitellusta mittaustuloksesta (taulukko 6) suurempi antaa 10 µm kohdalla lukeman 236 hiukkasta litrassa ja toiseksi suurin tulos 1110 hiukkasta litrassa. Tuloksien 0,3 µm arvot ovat ensimmäisen kohdalla 480634 hiukkasta litrassa ja toisen kohdalla 422507 hiukkasta litrassa.



#### Kumulatiivinen:

Mittari ilmoittaa mittausajan aikana havaitut hiukkasmäärät seuraavasti

0,3µm: hiukkaset 0-10µm (8747kpl)

0,5µm: hiukkaset 0,31-10µm (3245kpl)

1,0µm: hiukkaset 0,51-10µm (660kpl)

2,5µm: hiukkaset 1,01-10µm (171kpl)

5,0µm: hiukkaset 2,51-10µm (27kpl)

10µm: hiukkaset 5,01-10µm (10kpl)

Kuva 4. Esimerkki PC220-mittarin kumulatiivisen mittaustoiminnon lukemien tulkitsemisesta. Kukaan mittauskanava mittaa hiukkaspitoisuuden yhtä pienemmästä hiukkaskanavasta ilmoitettuun hiukkaskanavaan ja lisäksi kumulatiivinen ominaisuus laskee yhteen kaikki sitä isompien hiukkaskanavien hiukkasmäärät.

Taulukko 6. PC220-hiukkasmittauksen kaksi suurinta tulosta 0,3 µm-hiukkaskoon mukaan lajiteltuna.

	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	2,5 µm	5,0 µm	10 µm
1.	480634	343720	89452	36251	1058	236
2.	422507	281927	73205	27817	3603	1110

PC220-hiukkasmittarin hiukkaslaskutavan selkeyttämiseksi käsittelen kuvassa 5 differentiaalisen mittaustavan toimivuutta. Differentiaalisessa mittaustavassa laitteen kanavakoko, esimerkiksi 0,5 µm mittaa kaikki hiukkaset, jotka ovat edellistä kanavaa (0,3 µm) suuremmat aina kyseiseen mittauskanavaan asti. Samalla tavalla mittarin

kumulatiivinen mittaustapa laskee hiukkaskoot, mutta ilmoittaa saadun tuloksen laskemalla lisäksi mukaan isompien kanavien hiukkastulokset.



#### Differentiaalinen:

Mittari ilmoittaa mittausajan aikana havaitut hiukkasmäärät seuraavasti

0,3µm: hiukkaset 0-0,3µm (4693kpl)

0,5µm: hiukkaset 0,31-0,5µm (3031kpl)

1,0µm: hiukkaset 0,51-1,0µm (361kpl)

2,5µm: hiukkaset 1,01-2,5µm (122kpl)

5,0µm: hiukkaset 2,51-5,0µm (20kpl)

10µm: hiukkaset 5,01-10µm (15kpl)

Kuva 5. Esimerkki PC220-mittarin differentiaalisen mittaustoiminnon lukemien tulkitsemisesta.

#### 4.3.1 Hiukkasmäärän suhde massapitoisuuteen

Tekemissäni vertausmittauksissa – 35 mittapistettä – mittasin hiukkasmäärän litraa kohden samasta pisteestä mistä mittasin hiukkasten massapitoisuuden kuutiometriä kohden. Havaitsin ettei hiukkasten PM<sub>2,5</sub> tai PM<sub>10</sub> massapitoisuusmittauksia mg/m<sup>3</sup> saanut suhteutettua hiukkasmääriin hiukkasko'issa 2,5 µm tai 10 µm. Suuremmissa mittausmäärissä hiukkasten ja massan välinen karkea suhde saattaisi löytyä, mutta epätarkkuustekijöitä on mittausteni perusteella runsaasti.

#### 4.3.2 Kvartsipölyn mittaaminen

Työterveyslaitoksen johtavan asiantuntijan Tapani Tuomen (2022) mukaan rakennustyömailla kvartsin osuus alveolijakeisesta pölystä vaihtelee niin paljon, ettei hiukkaspitoisuusmittarilla saadusta tuloksesta voi päätellä kvartsipitoisuutta luotettavasti eikä aina edes suuntaa antavasti. Hänen mukaansa materiaaleista ja tuotteista riippuen kvartsin pitoisuus pölyssä voi vaihdella alle prosentista yli viiteenkymmeneen prosenttiin. Kvartsin määrän luotettava arviointi ei ole täten toteutettavissa käyttämilläni hiukkasmittareilla, vaan se vaatii pölyn keräysmittauksen. Rakennustyömaallamme



mittaus suoritettiin syklonikeräimellä kesäkuussa 2021. Mittauksessa alveolijae jää suodattimelle ja laboratoriossa siitä analysoidaan kvartsin pitoisuus.

Mittauksessa mitattiin kolmen työmaalla työskentelevän henkilön kuormitus siten, että heillä oli mittarit mukanaan 5,5 tuntia työpäivästä. Työtehtäviä olivat rakennussiivous, lattioiden hionta ja työnjohto. Tuloksissa alveolijakeisen pölyn eli alle 4,25 µm (Suomen standardoimisliitto SFS, 1994, s. 7) hiukkasten määrä, oli siivoojalla 0,40 mg/m<sup>3</sup>, hiojalla 0,06 mg/m<sup>3</sup> ja työnjohtajalla 0,09 mg/m<sup>3</sup>. Vastaavasti alveolijakeessa olevan kvartsin pitoisuudet olivat 0,0050 mg/m<sup>3</sup>, 0,0070 mg/m<sup>3</sup> ja 0,0050 mg/m<sup>3</sup>.

## 5 TAVOITETASON MÄÄRITYS

Tässä luvussa käsittelen sitä, miten tavoitetason voi määrittää rakennusaikaiselle pölynhallinnalle. Olisiko syytä katsoa valmiille rakennukselle määritettyjä ohjearvoja, sisäilmastoluokkia, WHO:n suosituksia, mittarin mukana tulleita hälytysarvoja (Kuva 6.) vai perustaa tavoitetaso oman kokemuksen pohjalte?

Hiukkaspitoisuuksien hälytysrajat<sup>1)</sup>

Kanava	Vihreä	Keltainen	Oranssi	Punainen	Violetti	Ruskea
2,5 µm	0 - 545	546 - 1235	1236 - 2470	2471 - 3300	3301 - 4950	> 4950
10 µm	0 - 68	69 - 170	171 - 340	341 - 454	455 - 680	> 680

Hiukkaspitoisuuksien hälytysrajat<sup>1)</sup>

Ilmanlaatu	Arvo µg/m <sup>3</sup>	Indikaattoriasteikko
Eriomainen	0 - 10 µg/m <sup>3</sup>	Vihreä
Hyvä	10 - 35 µg/m <sup>3</sup>	Keltainen
Vähäinen kuormitus	35 - 75 µg/m <sup>3</sup>	Oranssi
Keskimääräinen kuormitus	75 - 150 µg/m <sup>3</sup>	Punainen
Voimakas kuormitus	150 - 250 µg/m <sup>3</sup>	Violetti
Erittäin voimakas kuormitus	> 250 µg/m <sup>3</sup>	Ruskea

<sup>1)</sup>Tässä ilmoitetut hälytysrajat viittaavat hiukkaspitoisuuden PM2.5 keskiarvoon yli 24 tunnin aikana, ja ne perustuvat WHO:n (World Health Organization, Maailman terveysjärjestö) antamiin ilmanlaatua koskeviin maailmanlaajuisiin suuntaviivoihin. Ne eivät ole oikeudellisesti sitovia ja ovat vain viitteellisiä.

Hiukkaspitoisuuksien hälytysrajat<sup>1)</sup>

Kanava	Vihreä	Keltainen (äänimerkki)	Punainen (äänimerkki)
0,3 µm	0 ~ 100000	100001 ~ 250000	250001 ~ 500000
0,5 µm	0 ~ 35200	35201 ~ 87500	87501 ~ 175000
1,0 µm	0 ~ 8320	8321 ~ 20800	20801 ~ 41600
2,5 µm	0 ~ 545	546 ~ 1362	1363 ~ 2724
5,0 µm	0 ~ 193	194 ~ 483	484 ~ 966
10 µm	0 ~ 68	69 ~ 170	170 ~ 340

<sup>1)</sup> Kutakin kanavaa varten listatut raja-arvot on määritetty standardin ISO 14644-1 pohjalta yhdessä käytännön kokemusten kanssa. Ne eivät ole oikeudellisesti sitovia ja ovat vain viitteellisiä.

Kuva 6. Hiukkaspitoisuuksien hälytysrajat BQ20 (vasemmalla) ja PC220-hiukkasmittareilla (oikealla)

### 5.1 Hiukkaspitoisuuden tavoitearvot

Tutkimukseni ja kokemuksieni mukaan toimivia ja selkeitä rajoja on vaikea määrittää, minkä vahvistaa myös se, että mittareiden mukana tulleissa ohjearvoissakin on huomio, että hälytysrajat ovat vain viitteellisiä eivätkä ne ole oikeudellisesti sitovia. Valmiin rakennuksen S3-luokan sekä Suomen lain määrittämä 2,5 µm hiukkasen pitoisuus 25 µg/m<sup>3</sup> voisi olla hyvä, joskin kunnianhimoinen tavoite rakennusaikaiselle hiukkaspitoisuudelle. Näistäkin arvoista on hyvä huomata, että ne viittaavat 24 tunnin keskiarvoon ja jos rakennustyömaalla työskentelee kahdeksan tuntia, vuorokaudesta on käytetty yksi kolmasosa. Jos työmaan rasiustaso on esimerkiksi 40 µg/m<sup>3</sup> pysyäkseen sallituissa 24 tunnin rajoissa, muun ajan rasitus tulisi olla alle 17,5 µg/m<sup>3</sup>. Rajan

alapuolella pysymiseen ulkoilmassa ja normaalissa sisäilmassa en ota kantaa muuten kuin että sisäilmastoluokat S1 ja S2 rajaavat 2,5 µm hiukkasen pitoisuudet alle 10 µg/m<sup>3</sup>.

Työmaamme sai vuonna 2021 tehdyissä kvartsipölymittauksissa hyvät arvot ja myös alveolipitoisen pölyn määrä oli hyvissä lukemissa. Työmaamme olosuhteet ovat pysyneet vakiona kvartsipölyn mittausta ennen ja sen jälkeenkin, joten kesäkuussa otettu kvartsipölymittaus verrattuna kesäkuun ja lokakuun välissä tapahtuneeseen hiukkasmittaukseen antaa suuntaa mitoittamiselle. Liitteen 1 mukaisesti keskiarvotulokset jokaisella yksittäisellä hiukkaskanavalla kumulatiivisella mittaustilalla ovat seuraavat: 0,3µm: 28018, 0,5µm: 12909, 1,0µm: 2746, 2,5µm: 866, 5,0µm: 175 ja 10µm: 60. Näitä tuloksia verratessa kuvan 6 hälytysarvoihin BQ20-mittarin 2,5 µm arvoissa ollaan kategoriassa keltainen ja 10µm hiukkasten suhteen kategoriassa vihreä. Vastaavasti PC220-mittarin taulukossa ollaan kaikilla hiukkasko'oilta lukuun ottamatta 2,5 µm hiukkasia kategoriassa vihreä.

Lopputuloksena voidaan todeta, ettei yleisesti pätevää ohjeistusta tässä kandidaatin työssä saatu selville. Kuitenkin pitämällä hiukkaspitoisuuden keskiarvo kumulatiivisella mittaustavalla edellä käydyissä lukemissa ja mielellään mahdollisimman tasaisena päivästä toiseen, voidaan varmistaa, ettei rakennuksen alveolijakeisesta pölystä ole merkittävää haittaa ihmiselle.

## 5.2 Kustannustavoitteet

Rakennustyömaan toteuttamisen kannalta olisi suotavaa, että laadusta ja turvallisuudesta tinkimättä rakentaminen olisi kustannustehokasta. Tehokkaat ja toimintavarmat alipaineistajat ovat hankinta- ja vuokrakustannuksiltaan arvokkaita investointeja. Kustannustehokasta ratkaisua etsiessä pidän erityisen tärkeänä, että jokaisella työmaalla on pölynhallintaan perehtynyt henkilö, joka puuttuu epäkohtiin.

Rakennushankkeissa kohtaa helposti haasteina ihmisten asenteet. Johdon sitouttaminen sekä selkeät ohjeet ja vaatimukset ovat tärkeitä osia toimivan ratkaisun etsimisessä. Esimerkiksi jos työmaalla ei kunnolla vaadita ja huolehdita kohdepoiston käytöstä, riittävän alhaisen pölypitoisuuden saavuttaminen vaatii moninkertaisen määrän

pölynhallintalaitteita verrattuna pelkästään runkoverkon vaatimuksiin. Runkoverkolla tarkoitan pölynhallintalaitteita, jotka on sijoitettu tasaisesti poistamaan pölyä, jota aina rakennustyömaalla syntyy kohdepoistoista huolimatta.

Asenteiden muuttamisen lisäksi yksi tärkeä osa pölynhallintaan perehtyneen henkilön tehtävistä on ohjaaminen. Kohdepoistokaluston huollolla, sijoittelulla ja ilmavirtojen ohjaamisella on suuret vaikutukset pölynhallinnan toimivuuteen. Vaikka mitoitaisi koko rakennukselle sopivan pölynhallintakaluston, mutta kolme alipaineistajaa olisi kytketty pois päältä huminan takia, yhden virtajohto olisi irrotettu, jotta päästäisiin ajamaan saksilavalla, yhdestä olisi suodatin tukossa ja kaksi alipaineistajaa olisi työnnetty vessakoppeihin, tehtävässä ei olisi onnistuttu. Kokemukseni mukaan on kustannustehokkaampaa muuttaa ihmisten ajatusmaailmaa kuin mitoittaa kalusto vastaamaan kaikkia poikkeamia.

Tutkimukseni mukaan kuuden eri hiukkaskoon (PC220) selvittäminen ei anna merkittävää hyötyä työmaan pölynhallinnalle. Siksi mielestäni kenties paras vaihtoehto työmaan pölynhallinnan seurantaan on mahdollisimman yksinkertainen kahdella kanavalla mittaava, BQ20-mittarin tapainen hiukkasmittari. Se on huomattavasti edullisempi kuin PC220-mittari ja mittaa hiukkaskanavia 2,5 µm ja 10 µm, joten sen antamia lukemia on helppo tulkita.

## 6 YHTEENVETO

Rakennusaikainen pölynhallintalaitteiston mitoitus on haastavaa eikä suoraa vastausta mitoitusarvoille löytynyt kirjallisuusselvitystä tehdessä. Työssäni kävin läpi valmistuvalle rakennukselle määriteltyjä arvoja ensin sisäilmastoluokituksen ja myöhemmin minimi-ilmavirtojen mitoittamisen kautta. Kävin lyhyesti läpi puhtausluokan P1 vaatimuksia sekä perehdyin valtioneuvoston asetuksissa rakennustöiden pölynhallinnan suunnittelulle ja työmaa-aikaiselle toteutukselle määritettyihin vaatimuksiin.

Pölyhiukkasten osalta tutkin niiden kokoon liittyviä määreitä sekä tietyille hiukkasko'orille määritettyjä raja-arvoja. Kävin erityisesti läpi PM<sub>2,5</sub>- ja PM<sub>10</sub>- hiukkasiin liittyviä määritteitä. Tutkin Suomen lain, WHO:n suosituksen ja sisäilmastoluokituksien antamia raja-arvoja. Lisäksi perehdyin erityisesti vuoden 2020 alussa kiristyneeseen työhön liittyvän syöpävaaran torjuntaa käsittelevään valtioneuvoston asetukseen. Rakennustyömaan syöpävaaran aiheuttajien eli kovapuupölyn ja kiteisen piidioksidin eli kvartsipölyn osalta käsitelin myös HTP-arvoja. Niiden osalta onkin omituista, että Sosiaali- ja terveysministeriö määrittää terveyteen vedoten rajaksi 0,05 mg/m<sup>3</sup> ja Valtioneuvosto syöpävaarallisuuden nimissä rajaksi 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Tämän osalta olisi kenties järkevää yhtenäistää määrityksiä.

Mittaamista käsittelevässä luvussa pohdin hiukkasmittauksen haastavuuksia, kun jokainen mittaus on vain tulos senhetkisestä hiukkasmäärästä tietyssä yksittäisessä pisteessä. Muutettaessa aikaa tai paikkaa vähän mittaustulos voi muuttua nopeasti hyvin erilaiseksi. Ainoa varma keino mitata hiukkaspitoisuuksien aiheuttama altistuminen on pitkän ajan keräilymittaus. Tästä huolimatta sain määriteltyä suuntaa antavat sallitut hiukkaspitoisuuslukemat vertaamalla hiukkasmittauksen tuloksien keskiarvoa työmaamme keräilymittauksen tuloksiin.

Pölynhallinnasta olisi hyvä tehdä tutkimusta, jonka avulla voidaan varmemmin määrittää, mitkä ovat riittävän alhaiset hiukkasmittauksen tulokset. Se auttaisi työmaita hallitsemaan pölyjä paremmin, kun olisi selkeät raamit, joissa hiukkaspitoisuuden tulee olla.

## LÄHDELUETTELO

Ahola, M. & Säteri, J. (2018). *Sisäilmastoluokitus 2018*. Espoo: Grano.

Ilmatieteenlaitos. (11. Kesäkuu 2022). *Ilmatieteenlaitos*. Noudettu osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/saadokset-ja-ohjeet#1eNfeCcIb3r5OtjTVLmTnm>

Karjalainen, A.; Linnainmaa, M.; Mannonen, P. & Vehviläinen, T. (2012). *Pölyntorjunta betoniteollisuudessa*. Helsinki.

Metalliteollisuuden standardoimisyhdistys ry. (2016). SFS-EN ISO 16890-1:2016 Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet. Osa 1: Tekniset määritelmät, vaatimukset ja hiukkasmaisen aineksen erotusasteeseen perustuva luokitusjärjestelmä (ePM) .

Sosiaali- ja terveysministeriö. (2020). *Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet*. Helsinki.

Suomen standardoimisliitto SFS. (1994). SFS-EN 481. Helsinki.

Tuomi, T. (15. 6 2022). Johtava asiantuntija, työterveyslaitos. *Sähköposti*. Helsinki.

Valtioneuvosto. (2000). Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta 716/2000. Helsinki.

Valtioneuvosto. (2009). Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009. Helsinki.

Valtioneuvosto. (2017). Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 79/2017. Helsinki.

Valtioneuvosto. (2019). Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta 1267/2019. Helsinki.

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines*. Bonn, Germany: WHO European Centre for Environment and Health.

Ympäristöministeriö. (2017). Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Helsinki.

## Liite 1. PC220-mittaustulosten analysointi

PC220, kumuliittinen, 21s, Iltra													
	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um							
Keskitarvo/hluikkaskoko	28018	12909	2746	866	175	60							
Suurin arvo/hluikkaskoko	480634	343720	89452	36251	3798	1202							
Pienin arvo/hluikkaskoko	633	144	26	9	1	1							
10 suurinta 0,3um hluikkasen tulosta						10 pieninta 0,3um hluikkasen tulosta							
	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um		0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um
1.	480634	343720	89452	36251	1058	236	1.	633	144	26	9	1	1
2.	422507	281927	73205	27817	3603	1110	2.	704	381	105	33	6	3
3.	376557	214989	49450	16561	3532	1118	3.	711	388	110	38	12	7
4.	369902	211244	48849	17152	2881	971	4.	906	490	111	39	3	3
5.	369538	204664	47421	15616	3798	1202	5.	1202	540	140	32	10	5
6.	346268	131251	19842	3322	281	73	6.	1768	664	95	42	5	2
7.	287778	152912	36218	13463	2516	836	7.	2018	932	135	64	18	12
8.	284730	148199	31764	9650	1953	639	8.	2018	666	212	30	7	4
9.	235592	86642	12733	2220	238	59	9.	2294	1123	187	61	21	10
10.	186542	86589	19060	6228	1730	610	10.	2337	847	201	57	15	8
10 suurinta 0,5um hluikkasen tulosta						10 pieninta 0,5um hluikkasen tulosta							
	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um		0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um
1.	480634	343720	89452	36251	1058	236	1.	633	144	26	9	1	1
2.	422507	281927	73205	27817	3603	1110	2.	704	381	105	33	6	3
3.	376557	214989	49450	16561	3532	1118	3.	711	388	110	38	12	7
4.	369902	211244	48849	17152	2881	971	4.	906	490	111	39	3	3
5.	369538	204664	47421	15616	3798	1202	5.	1202	540	140	32	10	5
6.	287778	152912	36218	13463	2516	836	6.	1768	664	95	42	5	2
7.	284730	148199	31764	9650	1953	639	7.	2018	666	212	30	7	4
8.	346268	131251	19842	3322	281	73	8.	2337	847	201	57	15	8
9.	235592	86642	12733	2220	238	59	9.	2809	898	202	76	16	9
10.	186542	86589	19060	6228	1730	610	10.	2018	932	135	64	18	12
10 suurinta 1,0um hluikkasen tulosta						10 pieninta 1,0um hluikkasen tulosta							
	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um		0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um
1.	480634	343720	89452	36251	1058	236	1.	633	144	26	9	1	1
2.	422507	281927	73205	27817	3603	1110	2.	1768	664	95	42	5	2
3.	376557	214989	49450	16561	3532	1118	3.	704	381	105	33	6	3
4.	369902	211244	48849	17152	2881	971	4.	711	388	110	38	12	7
5.	369538	204664	47421	15616	3798	1202	5.	906	490	111	39	3	3
6.	287778	152912	36218	13463	2516	836	6.	2018	932	135	64	18	12
7.	284730	148199	31764	9650	1953	639	7.	3016	934	136	46	3	1
8.	346268	131251	19842	3322	281	73	8.	1202	540	140	32	10	5
9.	186542	86589	19060	6228	1730	610	9.	6763	1375	159	51	7	4
10.	141104	68729	14357	4584	1116	367	10.	3319	1259	179	72	20	7
10 suurinta 2,5um hluikkasen tulosta						10 pieninta 2,5um hluikkasen tulosta							
	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um		0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um
1.	480634	343720	89452	36251	1058	236	1.	633	144	26	9	1	1
2.	422507	281927	73205	27817	3603	1110	2.	2018	666	212	30	7	4
3.	369902	211244	48849	17152	2881	971	3.	1202	540	140	32	10	5
4.	376557	214989	49450	16561	3532	1118	4.	704	381	105	33	6	3
5.	369538	204664	47421	15616	3798	1202	5.	711	388	110	38	12	7
6.	287778	152912	36218	13463	2516	836	6.	906	490	111	39	3	3
7.	284730	148199	31764	9650	1953	639	7.	1768	664	95	42	5	2
8.	186542	86589	19060	6228	1730	610	8.	3016	934	136	46	3	1
9.	97750	45215	11275	5300	392	161	9.	4221	1211	209	46	3	1
10.	116990	57084	12866	4614	1270	444	10.	6763	1375	159	51	7	4
10 suurinta 5,0um hluikkasen tulosta						10 pieninta 5,0um hluikkasen tulosta							
	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um		0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um
1.	369538	204664	47421	15616	3798	1202	1.	633	144	26	9	1	1
2.	422507	281927	73205	27817	3603	1110	2.	906	490	111	39	3	3
3.	376557	214989	49450	16561	3532	1118	3.	3016	934	136	46	3	1
4.	369902	211244	48849	17152	2881	971	4.	4221	1211	209	46	3	1
5.	287778	152912	36218	13463	2516	836	5.	1768	664	95	42	5	2
6.	284730	148199	31764	9650	1953	639	6.	704	381	105	33	6	3
7.	186542	86589	19060	6228	1730	610	7.	2018	666	212	30	7	4
8.	116990	57084	12866	4614	1270	444	8.	6763	1375	159	51	7	4
9.	141104	68729	14357	4584	1116	367	9.	6583	2357	494	114	7	5
10.	480634	343720	89452	36251	1058	236	10.	8576	2682	422	114	8	6
10 suurinta 10um hluikkasen tulosta						10 pieninta 10um hluikkasen tulosta							
	0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um		0.3um	0.5um	1.0um	2.5um	5.0um	10um
1.	369538	204664	47421	15616	3798	1202	1.	633	144	26	9	1	1
2.	376557	214989	49450	16561	3532	1118	2.	3016	934	136	46	3	1
3.	422507	281927	73205	27817	3603	1110	3.	4221	1211	209	46	3	1
4.	369902	211244	48849	17152	2881	971	4.	1768	664	95	42	5	2
5.	287778	152912	36218	13463	2516	836	5.	906	490	111	39	3	3
6.	284730	148199	31764	9650	1953	639	6.	704	381	105	33	6	3
7.	186542	86589	19060	6228	1730	610	7.	6995	1841	400	73	13	3
8.	116990	57084	12866	4614	1270	444	8.	6516	2018	357	86	16	3
9.	141104	68729	14357	4584	1116	367	9.	10879	3398	518	120	16	3
10.	116616	55156	11782	4042	1022	351	10.	4635	1656	408	120	20	3