



Akseli Alopaeus

# Sisäilman pölyn kenttämittaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

14.12.2021

# Tiivistelmä

Tekijä:	Akseli Alopaeus
Otsikko:	Sisäilman pölyn kenttämittaus
Sivumäärä:	32 sivua + 2 liitettä
Aika:	14.12.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Energiatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Ismo Halonen Projektimyynti- ja tuoteryhmäpäällikkö Mikko Lepistö

---

Työssä tutkitaan pölypitoisuuksien mittauksia sisäilmasta. Lähtökohtana työlle on löytää tapa jolla henkilön suorittamat mittaukset olisivat mahdollisimman vertailukelpoiset viranomaismääräysten kanssa. Keskittyen lähinnä teollisuudessa tehtävään mittaukseen, voidaan esitettyä teoriaa ja tietoa kuitenkin soveltaa myös muihin olosuhteisiin.

Aihetta käsitellään kahdessa osassa. Ensiksi pyritään määrittelemään lähtökohdat mittausten suorittamiselle. Teoria pölystä ja sen määritelmästä on esitelty lyhyesti. Esiteltynä ovat myös tärkeimmäksi katsotut lainsäädännöt, standardit ja suositukset. Nämä toimivat perustana ja ohjeistuksena työn suorittamiselle. Mittauksia varten käytetyt mittalaitteet ovat TSI Dusttrak DRX ja Aerotrak 9306. Teoriaa niiden osalta on käsitelty kertomalla valon sironnasta.

Toiseksi käydään läpi käytännön esimerkkejä suoritetuista mittauksista, niiden raportoinnista ja tulosten tulkinnasta. Tätä varten on mittauksia suoritettu kahdessa kohteessa.

Työn esittämään tietoon pohjautuen ja sen mittaustapoja hyödyntäen voidaan taholle kuten mittauskohteen haltijalle antaa arvokasta tietoa sisäilman laadusta.

Avainsanat: sisäilmanlaatu, pölymittaus

## Abstract

Author: Akseli Alopaeus  
Title: Indoor Air Dust Field Measurements  
Number of Pages: 32 pages + 2 appendices  
Date: 14 December 2021

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Technology  
Professional Major: Energy Engineering  
Supervisors: Ismo Halonen, Senior Lecturer  
Mikko Lepistö, Product sales and product group manager

---

The thesis studies how dust content measurements in indoor air should be performed, so that the received results would be comparable to given regulations and guidelines. The focus is mainly on measurements in industrial environments, but the theory and practice can also be helpful in other applications.

The subject has been broken into two parts. The first part explains the foundation for carrying out dust content measurements. This is done by introducing basic aerosol theory, and the definition of dust. The most noticeable and important laws, standards, and guidelines are also introduced and studied, forming a frame for performing measurements. The two measuring devices used for this thesis are the TSI Dusttrak DRX and Aerotrak 9306. The theory of light scattering is covered in its own chapter as its used by both of the devices.

The second part reports on the practical work. For this thesis, measurements were carried out in two properties and then analyzed and reported.

As a result, it was possible to determine what kind of value the results of dust content measurements can give, for example, to the property owner.

Keywords: indoor air quality, dust measurements

# Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Aihealueen raja	2
2	Pöly	2
2.1	Pölyn määritelmä	3
2.2	Standardi EN 481	3
2.3	PM-luokat	5
2.4	Pölytyypit	5
2.5	Palo- ja räjähdysvaarat	6
3	Raja-arvot sekä lainsäädännöt pitoisuuksille	7
3.1	Terveydensuojelulaki	7
3.2	Sosiaali- terveysministeriön asetus 545/2015	8
3.3	Työturvallisuuslaki	9
3.4	Sosiaali- terveysministeriön asetus 654/2020 ja HTP-arvot	10
3.5	WHO:n ohje arvot	10
3.6	TTL:n Perustelumuistio 2016	11
4	Mittaustekniikka	11
4.1	Valon sirontaa hyödyntävät tekniikat	12
4.2	Standardi SFS 689:2018	16
5	Käytännön osuus	17
5.1	Käytössä olevat mittalaitteet	17
5.1.1	TSI Dusttrak DRX	18
5.1.2	TSI Aerotrak 9306	22
5.2	Mittaus 1	23
5.3	Mittaus 2	24
5.4	Raportointi	25
5.5	Tulosten tulkinta	26
6	Yhteenveto	28

Liitteet

Liite 1: Mittaus 1

Liite 2: Mittaus 2

## Lyhenteet ja käsitteet

AR1-pöly: Arizona road dust luokan 1 pöly. Standardin ISO 12103-1 mukainen, hienoimman luokan testipöly.

DLS: Dynamic light scattering. Käsitteellä voidaan viitata dynaamista valon sirontaa mittavaan laitteeseen.

HTP-arvot: Haitallisiksi tunnetut pitoisuusarvot. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella vahvistetut raja-arvot työpaikan epäpuhtauksille.

LS: Laser diffraction. Käsitteellä voidaan viitata laservalon diffraktiota mittavaan laitteeseen.

OEL-arvot: Occupational exposure limits. Euroopan unionin määrittelemät työperäiset altistumis-arvot.

PCF: Photometric calibration factor. Muuttuja jota mittalaite Aerotrak DRX käyttää kokojakeen PM2.5 määrittämiseen.

PLS: Polystyrene latex sphere. Polyesteri lateksista valmistettuja palloja joita käytetään mittalaitteiden kalibroinnissa.

PM: Particulate matter. Yhdestä tai useammasta partikkelista koostuva aine. Lyhenteeseen yhdistetään yleensä partikkelin aerodynaamisen halkaisijan mikrometreinä kertova numero, esim. PM10.

TEOM: Tapered element oscillating microbalance. Massakonsentraatiota mittaava, reaaliaikainen gravimetrinen mittalaite.

## 1 Johdanto

Idea insinööriyön aiheelle tuli toimeksiannosta rakentaa konsepti pölymittaukselle Camfil Oy:lle. Camfil on maailmanlaajuisesti toimiva, puhdasilmaratkaisuja tuottava yritys jonka yhtenä sovelluksena on pölynhallintalaitteistot. Konseptin tulee ohjeistaa oikeaan pölynmittaustekniikkaan ja raportointiin sekä harmonisoida käytetyt menetelmät. Konseptin menetelmiä käyttäen saadaan tuloksena dataa jota voidaan hyödyntää pölynhallinta sovelluksien suunnittelussa. Oikeanalaisella sovelluksella voidaan edistää niin ihmisten terveyttä, tuotannon laatua ja turvallisuutta sekä pienentää energiankulutusta. Tämä kirjallinen työ tutkii aihealuetta teoreettisesti sekä esittää käytännön mittaamisen ja raportoinnin. Itse konsepti sen lopullisessa muodossa jää ainoastaan toimeksiantajana toimivan yrityksen käyttöön.

Työskennellessäni noin 12 vuotta prosessiteollisuudessa, olen tutustunut moneen sen eri alueeseen, kuten kaivos-, petrokemian-, sellu- ja paperiteollisuuteen. Myös konesali ja energiateollisuuden alueet lukeutuvat, alueisiin joissa olen projektityyppisessä työssä oleskellut useita kuukausia. Päätelmä kokemani perusteella on, että henkilö joka ei työskentele puhdasilma alalla, tuntee myös huonosti työni käsittelemän aiheen. Oletettavasti tuntien myös hyvin huonosti esimerkiksi pölypitoisuuksien raja-arvoja tai haittoja joita korkeista pitoisuuksista voi syntyä. Tehtaiden kaltaiset toimijat tuntevat varmasti monesti omassa prosessissaan syntyvät päästöt ja sille ominaiset haitalliset yhdisteet. Näitä varmasti myös mitataan ja pyritään hallitsemaan oman tuotannon ja henkilökunnan sekä lainsäädännön päästöarvojen takia. Silti joku joka on liikkunut vähänkään erilaisissa teollisuuden tiloissa, voi varmasti allekirjoittaa tehneensä aistinvaraisia havaintoja pölystä. Ilmassa, pinnoilla tai jopa tuntenut sen hengityksessään. Pölyä esiintyy melkein kaikkialla. Mutta mitä se on, mistä sitä syntyy, milloin se on haitallista ja miten tämä voidaan todeta? Nämä päätelmät toimivat hyvänä pohjana työlleni.

## 1.1 Aihealueen rajaus

Työn lähtökohtana on selvittää miten henkilö voi mahdollisimman hyvin suorittaa pölyn kenttämittauksia sisäilmasta. Henkilö voi työskennellä mittauksia suorittavassa yrityksessä, mutta ei välttämättä ole asiantuntija tai alaa valvova viranomainen. Tutkimustavan lähtökohtana ja aihealuetta rajaavina tekijöinä ovat toimineet muun muassa seuraavat asiat:

- Ympäristönä työssä keskitytään teollisuustiloihin. Esimerkiksi tuotantotilassa vallitseva ilma, jonka rajaa katto, seinät ja lattia. Tiloissa tapahtuva prosessi aiheuttaa sisäilmaan leviävää pölyä. Työssä ei mitata prosessin sisällä, kuten vaikka kanavistossa esiintyvää pölyä.
- Miten mittauksia tulee suorittaa ja tulkita jotta ne olisivat viranomaismääräysten ja ohjeistusten mukaiset. Jos niitä ei pystytä suorittamaan tällä tavoin, miten ja millä tasolla ne ovat näihin verrattavissa.
- Työssä käsitellään kaupallisesti yleisesti hyödynnettyjä ja tunnettuja tekniikoita sekä laitteita. Mittauksia ja tulosten tulkintaa varten ei ole käytössä laboratoriota tai vastaavia olosuhteita. Perusperiaatteena on että toimintaan sovelletaan mittalaitetta sekä sen dataa tulkitsevaa tietokoneohjelmistoa.

## 2 Pöly

Ihminen kokee useimmiten pölyn aistinvaraisesti. Jos pinnat ovat mustanaan jostain, sitä sanotaan yleensä pölyksi. Silmällä valossa erottuvat pienet hitaasti leijailevat hiukkaset, mielletään myös usein pölyksi. Kun hengitettävä ilma tuntuu sisältävän pientä hiukkasta, kuvaillaan ilmaa yleensä pölyiseksi. Monesti nämä aistinvaraiset havainnot eivät välttämättä aikaan saa mitään toimenpiteitä



esimerkiksi. työpaikalla. Asia koetaan monesti normaaliksi, tai pieneksi rasitteeksi. Tässä luvussa määritellään, mitä pöly on. Mikä määrää milloin sitä on liikaa ja kuinka sen pitoisuusmäärät voidaan todeta.

## 2.1 Pölyn määritelmä

Ilmassa esiintyvät yhdisteet voidaan jakaa kaasuihin ja aerosoleihin. Aerosolit ovat kaasuissa esiintyviä kiinteistä tai nestemäisistä pienistä partikkelihiukkasista koostuvia seoksia. Hiukkaset joko leijuvat tai voivat leijua, laskeutuen siten maan vetovoiman myötä alas.

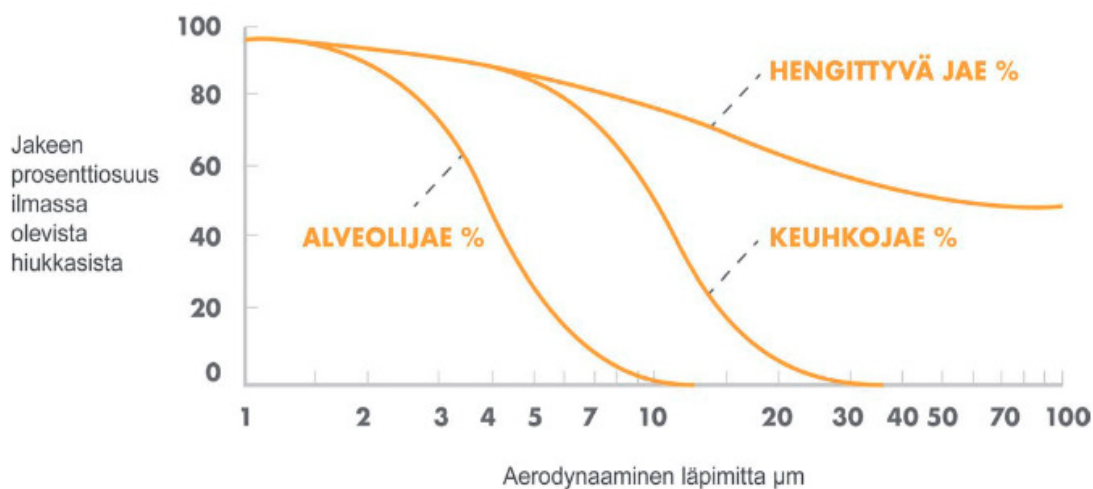
Pöly on yhdestä tai useammanlaisesta kiinteistä yhdisteistä koostuva aerosoli. Kooksi pölylle katsotaan alle yhden ja 1 – 100  $\mu\text{m}$ :n kokoiset hiukkaset [1]. Ihmissilmä ei keskimäärin pysty havaitsemaan alle 50 – 60  $\mu\text{m}$ :n kokoisia hiukkasia [2].

Hiukkasten muoto ja pinta-ala vaihtelevat laajasti riippuen niiden koostumuksesta. Tästä syystä pölyhiukkasten koonmäärittelyssä käytetään yleisesti hiukkasen aerodynaamista halkaisijaa. Aerodynaaminen halkaisija määritellään kuvitteelliselle, pallon muotoiselle hiukkaselle jonka tiheys on  $1 \text{ g/cm}^3$  ja laskeutumisnopeus sama kuin tarkasteltavalla partikkelilla [1]. Aerodynaamista halkaisijaa käytetään usein tarkastellessa pölyhiukkasia sen kuvastaen hyvin hiukkasen käyttäytymistä ilmassa ja tunkeutumista hengityselimiin.

## 2.2 Standardi EN 481

Eurooppalainen standardi EN 481 määrittelee tavoitetasot näytteenottotehokkuudelle eri hiukkaskoon välille. Koot ovat jaettu kolmeen eri ryhmään, kuvastaen hiukkasten mahdollisia terveysvaikutuksia ihmisen hengittäminä. Standar-

Standardin laskukaavojen mukaan, voidaan hiukkasen aerodynaamista halkaisijaa käyttämällä laskea, kunkin kokoluokan kokonaisosuus kerätystä ilmasta. Standardin näytejakaumat toimivat spesifikaationa mittalaitteille, jotka mittaavat hiukkaskonsentraatioita kyseisissä kokoluokissa. Standardin mukaan saadaan leikkausrajakoot hiukkasjakeille, tarkastelemalla näyteosuutta aerodynaamisen halkaisijan funktiona (kuva 1). [3.]



Työhygieniassa yleensä käytetty leikkausraja on määritelty 50% osuuksille näytteestä [5]. Standardin mukaiset hiukkasjakeet, niiden kuvaukset sekä leikkausrajakoko ( $D_{50}$ ) annettuna 50 %:n keräilytehokkuudella ovat seuraavat:

1. Hengitettävä jae (Inhalable fraction)

Suun ja nenän kautta hengitykseen kulkeutuvat hiukkaset.

$$D_{50} = 100 \mu\text{m}$$

2. Keuhkojake (Thoracic fraction)

Keuhkoihin pääsevät hiukkaset.

$$D_{50} = 10 \mu\text{m}$$

### 3. Alveolijae (Respirable fraction)

Keuhkorakkuloihin pääsevät hiukkaset.

$$D_{50} = 4 \mu\text{m}$$

Standardin mukaan esimerkiksi halkaisijaltaan 4  $\mu\text{m}$ :n kokoisella hiukkasella on 50% todennäköisyys kulkeutua ihmisen alveolialueelle [4].

## 2.3 PM-luokat

Lyhenne PM tulee englannin sanoista particular matter, viitaten partikkelista koostuvaan aineeseen. Terveysviranomaiset ja puhtasilmayritykset viittaavat monesti pölyn hiukkaskokoihin PM-luokilla joissa lyhenteen jälkeinen numero esittää aerodynaamista halkaisijaa mikrometreinä. Yleisimmät tarkasteltavat luokat ovat  $\text{PM}_{100}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_4$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  ja  $\text{PM}_1$ .

Mittalaite joka ilmoittaa konsentraation jakeelle  $\text{PM}_{10}$ , ilmoittaa siis konsentraation partikkeleille joiden aerodynaaminen halkaisija on 10  $\mu\text{m}$  tai pienempi.

## 2.4 Pölytyypit

Pölytyyppejä ja syntymekanismeja on useita. Luonnollisena syntymekanismina voidaan mainita vaikka tulivuorenpurkaus jossa hyvin korkeasta pölykonsentraatiosta johtuen ihminen havaitsee helposti siitä syntyvän pilven ilmassa. Ihmisten aiheuttamaa pölynsyntyä on esimerkiksi metallia poratessa vapautuvat metallihiukkaset ilmaan. Yleisimpiä mekanismeja joista pölyä syntyy ovat jauhaantuminen ja pölyäminen [6]. Jauhatuksella tarkoitetaan aineen mekaanista rikkoontumisprosessia kuten esim. poraaminen ja murskaaminen. Pölyämisessä jo rikottu aine vapautuu ilmavirtojen mukana ympäristöön sitä esiintyessä tyypillisesti lastauksessa, annostelussa ja tapahtumissa missä aineita siirrelään.

Yleisiä eri pölytyyppejä ja esimerkkejä niistä:

- Mineraalipöly (kvartsi, sementti, hiili)
- Metallipöly (lyijy, nikkeli, kupari)
- Orgaaninen pöly (jauhot ja puupöly)

Tyypillisiä terveyshaittoja ovat hengityselimiin päätyemisestä johtuvat hengityssairaudet. Myrkylliset pölytyypit voivat myös aiheuttaa terveyshaittoja ihon kosketuksen kautta. Lisäksi tiedetään että partikkelit joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 1µm voivat kulkeutua keuhkorakkuloista verenkiertoon, aiheuttaen haittoja laajemmin elimistössä [7].

## 2.5 Palo- ja räjähdysvaarat

Pölyt voivat myös toimia sytykkeenä aiheuttaen räjähdyksiä sekä tulipaloja. Suurin osa orgaanisista, sekä monet metallipölyistä ovat syttymisvaarallisia. Pinnoille kasaantunut pöly voi syttyä palamaan mikäli sen lämpötila nousee tarpeeksi korkealle. [6.]

Mitä isompi partikkelin konsentraation kattama pinta-ala on verrattuna sen massaan, sitä helpommin se syttyy [8]. Tästä syystä hienojakoiset pölyt kuten orgaaniset pölyt ovat syttymisherkkiä ja voivat aiheuttaa tietyissä olosuhteissa räjähdyksiä. Tyypilliset syttymislämpötilat vehnä-, maissi-, tai ruispölylle ovat välillä 400-500°C, ilman suhteellisen kosteuden ollessa 30–90 % [9]. Syttymisvaara ei välttämättä ole läsnä normaalin prosessin aikana, mutta voi esiintyä viikatilanteiden aiheuttamissa poikkeavissa olosuhteissa. Pölyt voivat aiheuttaa myös riskin toisio-paloille ja -räjähdyksille jonkin toisen lähteen syttyessä.

### 3 Raja-arvot sekä lainsäädännöt pitoisuuksille

Pölymittauksen tulkinnessa tärkeimpänä lähtökohtana ovat pölyn aiheuttamat terveyshaitat ihmiselle. Suomessa tahot kuten työterveyslaitos (TTL) terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) ja teknologian tutkimuskeskus (VTT) ovat tehneet kattavasti tutkimusta aiheesta. Maailmanlaajuisesti johtava tutkija on World Health Organization (WHO).

Tässä luvussa tarkastellaan minkä perustella voidaan tulkita ja asettaa hyväksyttävä pölytaso sisäilmalle. Suomessa pölyaltistumisia on käsitelty Terveydensuojelu- ja työturvallisuuslaissa. Terveydensuojelulaissa on asetus koskien asuntoja, oleskelutiloja ja yleisiä alueita. Se ei siis kata teollisia ympäristöjä, mutta käydään silti luvussa läpi. Työturvalaki velvoittaa toimijoita työympäristön valvonnasta, asettaen raja-arvot hiukkaspitoisuudelle. Yhteenvetona voidaan todeta että Suomessa tehtyjen pölymittausten tuloksia tarkasteltaessa tulee aina tukeutua sosiaali- ja terveysministeriön antamiin haitalliseksi tunnetut pitoisuudet-arvoon. Arvot on esitetty HTP-arvot (haitalliseksi tunnetut pitoisuudet) julkaisussa. Julkaisussa esitetään niin lain asettamat ohje-arvot sekä tietoa niiden hyödyntämisestä.

#### 3.1 Terveydensuojelulaki

Lain tarkoitus on ylläpitää hyvää terveystasoa elinympäristöissä ja ennaltaehkäistä sekä poistaa terveydellisesti haitallisia tekijöitä [10].

Se velvoittaa toiminnan harjoittajan estämään terveyshaittojen syntymistä mahdollisuuksien mukaan suorittamalla ns. omavalvontaa. Sosiaali- ja terveysministeriön lupa- ja valvontavirasto Valvira valvoo lain toimeenpanoa ja noudattamista sekä laatii valtakunnallisen valvontaohjelman. Laki ja valvontaohjelma käsittelevät kattavammin jätteitä sekä talous- ja jätevevettä. Valvontaohjelman luvussa 3.3 "Näytteenotto ja tutkiminen" on viitattu sosiaali- ja terveysministeriön

asetukseen 542/2015 koskien huoneiden ja muiden oleskelutilojen olosuhteita. [10.]

### 3.2 Sosiaali- terveysministeriön asetus 545/2015

Asetusta sovelletaan terveydensuojelulakiin perustuvissa oleskelutilojen valvontaan. Asetus puhuu mittauksista oleskeluvyöhykkeessä. Oleskeluvyöhyke on asetuksessa määritelty tilaksi jonka korkeus on 1,8 metriä lattiasta ja 0,6 metriä seinistä tai rakennuksen kiinteistä osista. [11.]

Hiukkasmaiset yhdisteet ovat asetuksessa määritelty kemiallisesti terveydelle haitallisiksi keskittyen hengitettävillä hiukkasilla jakeisiin PM<sub>10</sub> ja PM<sub>2.5</sub>. Mittaukset tulee asetuksen mukaan suorittaa tilassa tapahtuvaa normaalia toimintaa vastaavissa oloissa, käyttäen standardoituja tai luotettavia menetelmiä. Se ei siis viittaa mihinkään tiettyyn menetelmään tai standardiin. Käytetyt mittalaitteet tulevat olla aina kalibroitu valmistajan ohjeiden mukaan. Mikäli asetuksessa annetut raja-arvot ylittyvät tulee mittaukselle tehdä epävarmuustarkastelu, jatkoanalyysin muodossa. [11.]

Asetuksen mukaiset raja-arvot hengitettäville hiukkasille ovat esitetty alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. STM 545/2015 asetuksen mukaiset raja-arvot [11]

<b>Hiukkaskoko</b>	<b>Pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana.</b>
PM <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>

PM <sub>2.5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>
<b>Mineraalikuidut</b>	<b>Kuitua / cm<sup>2</sup> pinnoille laskeutuneena</b>
Teolliset mineraalikuidut	0,2 (kahden viikon aikana)
Asbestikuitu	0,01 (esiintymä pinnoilla pidetään toimenpiderajan ylittymisenä)

Huomioitavaa on että asetuksessa käydään läpi myös sisäilman meluhaittoja sekä ilmanvirtauksia koskevia rajoja. [11.]

### 3.3 Työturvallisuuslaki

Lain tarkoitus on edistää ja ylläpitää työntekijöiden henkistä ja fyysistä työkykyä työpaikoilla [12].

Laissa määritellään vastuut ja velvollisuudet sekä toimintatavat sisäilman epäpuhtauksien selvittämiseen, hallitsemiseen ja estämiseen. Lain pykälän 38 ”Kemialliset tekijät ja työssä käytettävät vaaralliset aineet” momentissa 3 viitataan valtioneuvoston asetukseen 205/2009 rakennustyön turvallisuudesta. Momentissa 4 viitataan sosiaali- ja terveysministeriön asetukseen haitallisista tunnetuista pitoisuuksista 654/2020. [12.]

### 3.4 Sosiaali- terveysministeriön asetus 654/2020 ja HTP-arvot

Asetus sisältää liitteen jossa HTP-arvot ovat esitelty. Arvoja tulee käyttää arvioi-  
dessa henkilön altistumista epäpuhtauksille sisäilmassa. Ohje-arvot ovat an-  
nettu hengitettävälle pitoisuuksille eri altistumisaikojen keskipitoisuuksina. Keski-  
pitoisuus on annettu milligrammoina per kuutio 8 tunnin ja 15 minuutin arvoina,  
sekä joillekin aineille hetkellisenä kattoarvona. Arvot ovat annettu hengitettä-  
välle jakeelle ellei sitä toisin mainita taulukon huomautuskentässä. Yleisesti pö-  
lylle, epäorgaaniselle ja orgaaniselle, arvot ovat ilmoitettu vain hengitettävälle  
jakeelle (kuva 2). [13.]

Aine tai aineryhmä	CAS-numero	HTP-arvot				H-lausekkeet	Huomautus	Voimaan- astumis- vuosi
		8 h		15 min				
		ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>			
Epäorgaaninen pöly			10				1981	

Kuva 2 STM:n HTP-arvo-julkaisusta. Epäorgaanisen pölyn 8 tunnin pitoisuus  
10mg/m<sup>3</sup> hengittävänä jakeena [14]

Asetus on esitetty kattavammin STM:n HTP-arvot-julkaisussa. Julkaisu sisältää  
asetuksen johdannon ja sen sisältämät taulukot liitteinä 1 ja 2. Se selvittää  
myös arvojen käyttöä mittaustuloksien tulkinnassa. Julkaisu mainitsee standar-  
din EN 481 hiukkasten jakeitten määrittelemiseen sekä standardin SFS  
689:2018 mittaamisen suorittamisen osalta. Julkaisussa on hyödyllistä tietoa  
kuten annetut kaavat ja esimerkit 8 tunnin keskipitoisuuksien laskemiselle. [14.]

### 3.5 WHO:n ohje-arvot

WHO:n 2021 julkaisema ”WHO global air quality guideline” käsittelee kattavasti  
ilmanlaadun ongelmia sekä hallinta- ja parannuskeinoja. Julkaisussa on myös  
esitetty ohje-arvoja ilmassa esiintyvälle pitoisuuksille, PM-luokille asetettuja ar-  
voja on jakeille PM2.5 ja PM10 (taulukko 2). Arvot eivät ole lainvoimaisia mutta  
toimivat tutkimuksiin perustuvina viite-arvoina tahoille kuten päättäjille ja ter-  
veysviranomaisille. [15.]



Taulukko 2. WHO:n 2021 antamat suositusarvot [15]

WHO Air quality guideline values	Vuosittainen keskiarvo	24 tunnin keskiarvo
PM2.5	5 $\mu\text{g} / \text{m}^3$	15 $\mu\text{g} / \text{m}^3$
PM10	15 $\mu\text{g} / \text{m}^3$	45 $\mu\text{g} / \text{m}^3$

### 3.6 TTL:n Perustelumuistio 2016

TTL:n laatima perustelumuistio vuodelta 2016 sisältää tietoa erimaissa käytettävistä raja-arvoista sekä tutkimustietoa pölyesiintymisistä toimialoittain suomessa ja pölynterveysvaikutuksista ihmiseen. Julkaisun esittämät suositusarvot hengittävälle ja alveolijakeiselle yleiselle pölylle ovat 2mg / m<sup>3</sup> ja 0,5mg / m<sup>3</sup>. [5.]

## 4 Mittaustekniikka

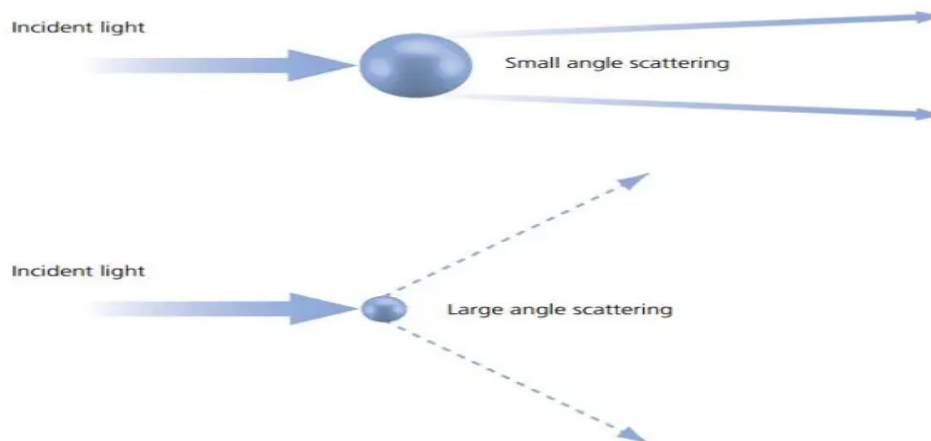
Partikkelimittaukseen käytettäviä tekniikoita on useita. Aktiiviset, osoittavat mittalaitteet, ovat kaupallisesti yleisimpiä partikkelikonsentraatioita mittavia laitteita. Ne mittaavat yleensä joko partikkelimäärää tai partikkelimassa. Näistä useimmat perustuvat valonsirontaan ja valmistajiin lukeutuu isoja mittalaittevalmistajia

kuten Fluke ja TSI. Luvussa käsitellään valon sirontaa. Huomattavaa on että siihen liittyvä matemaattinen teoria on suhteellisen monimutkaista. Mittaajan näkökulmasta on tärkeintä ymmärtää laitteiden toiminnan perustoimintaperiaate ja mihin ne perustuvat. Luvussa käsitellään myös standardia SFS 689:2018 mitausten suorittamisen osalta.

#### 4.1 Valon sirontaa hyödyntävät tekniikat

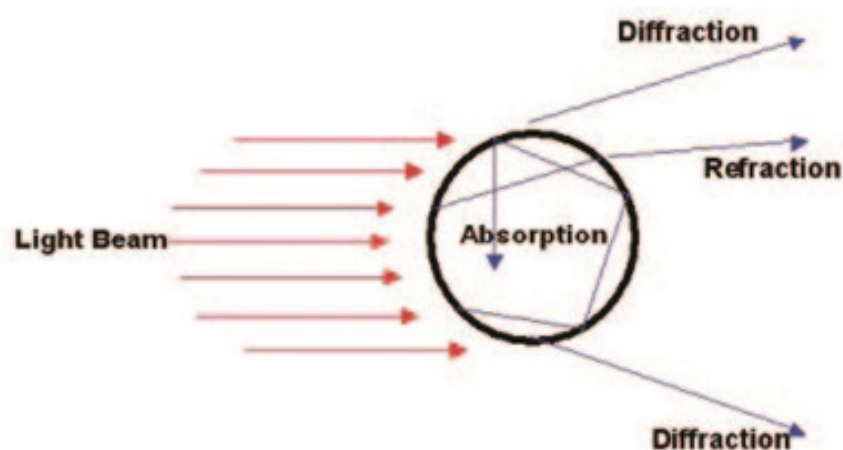
Fotometriset mittalaitteet jotka perustuvat valon sirontaan ajavat partikkelit yleensä imemällä suljettuun mittauskammioon. Mittauskammiossa on lähtin joka lähettää valoa sen vastapuolelle olevalle tunnistimelle. Ennen tunnistinta on usein asetettu linssi joka ohjaa valon tunnistimelle halutulla tavalla. Valon sirontaan perustuvat yleisimmät tekniikat ovat laserdiffraktio (eng. laser diffraction LS) ja dynaaminen valon sironta (eng. dynamic light scattering DLS). [16.]

Laserdiffraktiossa vastaanotin tunnistaa valon kulman sekä intensiteetin. Moderneissa mittalaitteissa valona käytetään useimmiten laseria. Partikkelin kulkeutuessa valoon se sirottaa sen, aiheuttaen muutoksen tunnistimen havaitsemaan kulmaan ja intensiteettiin. Partikkelin koko vaikuttaa suoraan valon sirontan kulmaan ja intensiteettiin. Isompi partikkeli aiheuttaa pienemmän kulman ja isomman intensiteetin, pienempi partikkeli taas päinvastoin (kuva 3). Laserdiffraktiossa partikkelin koko lasketaan siis valon intensiteetin vaihtelusta sen kulman funktiona. [16.]



Kuva 3 Isompi partikkeli sirottaa valoa pienemällä kulmalla kuin pieni partikkeli [17]

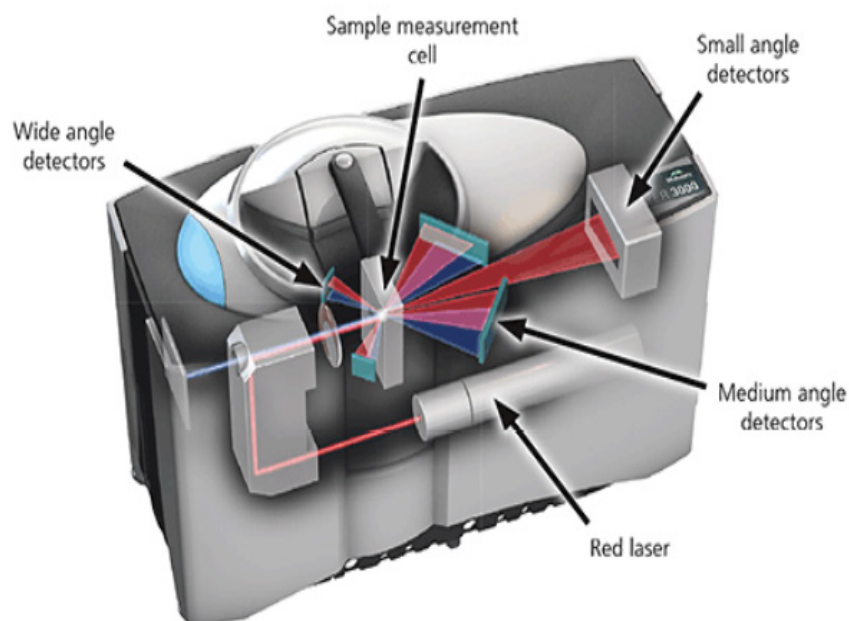
Partikkeli vaikuttaa valon sirontaan neljällä eri tavalla, diffraktiolla (eng. diffraction), taitumisella (eng. refraction), heijastumisella (eng. reflection) ja absorptiolla (eng. absorption). Diffraktiossa valo sirottuu osuessaan partikkelin reunoihin. Taitumisessa valo taittuu kulkeakseen partikkelin kehon yli. Heijastumisessa valo heijastuu partikkelin kehosta pois päin ja absorptiosta, valo absorboituu partikkelin sisälle. Valon sirontaa mitattaessa näistä hyödynnetään yleisesti diffraktiota ja taittumista. [16.]



Kuva 3 Partikkelin vaikutus valon sirontaan [18]

Valon absorboituminen partikkeliin ja siitä heijastuvaa valoa ei yleisesti ottaen hyödynnetä mittauksissa. Kyseiset sirostumistavat aiheuttavat vaikeasti laskettavaa ja helposti virheellisesti tulkittavaa dataa. Mittauksissa partikkeleita käsitellään yksinkertaistamisen vuoksi pallon muotoisina kappaleina. [16.]

Kaksi tunnettua teoriaa valon sironnasta ovat saksalaisten tutkijoiden Joseph Fraunhofferin (1787-1826) ja Gustav Mien (1868-1957) teoria. Fraunhofferin teoria esittää valon diffraktion ja sitä voidaan käyttää yksinkertaistettuna tapana esittää valon sirontaa. Mitä pienempi partikkeli on verrattuna lähetettävän valon aallonpituuteen, sitä enemmän se sirottaa valoa taivuttamalla. [18]. Tyypillisesti partikkelit alle  $20\mu\text{m}$  aiheuttavat sirontaa mittalaitteissa taivuttamalla [19]. Taivutuksen laskemiseen käytetään Mien teoriaa sekä tunnettuja indeksejä valon taivutukselle [18].



Kuva 4 Tyypillinen asetelma valonsirontaa mittavassa laitteessa [20]

Dynaamisen valon sirontaa hyödyntävät mittalaitteet perustuvat Brownin teoriaan. Brownin teorian mukaan (Robert Brown 1773-1858) ilmassa liikkuvat atomit ja molekyylit vuorovaikuttavat partikkeleihin aiheuttaen niissä liikkeen jota kutsutaan Brownin liikkeeksi. Brownin liikkeen määrä on riippuvainen partikkelin koosta. Partikkelin kulkiessa tietyn ajan lähettimen valon läpi se aiheuttaa tietynlaista vaihtelua valon intensiteettiin. Mittalaite laskee partikkelikoon valon intensiteetistä ajan funktiona. [21.]

DLS ilmoittaa partikkelikoon hydrodynaamisen halkaisijan mukaan kun taas LS aerodynaamisen halkaisijan mukaan. Mittaustapojen tulokset eivät ole verrattavissa keskenään, vaan vaihtelevat tyypillisesti noin 10 – 20 %. Molemmille tavoille yhteistä on niiden nopeus, näytteenottoaikojen ollessa noin minuutin tai alle. Tekniikan valinta perustuu pitkälti tarkasteltavaan näytteeseen ja haluttuun tarkkuuteen (taulukko 3). DLS tekniikalla voidaan mitata nanometrin murto-osan kokoisia partikkeleita kun taas LS mittaa tyypillisesti n. 0.1  $\mu\text{m}$  ylöspäin ulottuen jopa millimetreihin. Tarkastellessa eri mittalaitte valmistajien ja mittaustoimijoiden antamia tietoja, voidaan yhteenvetona huomattavammista eroavaisuuksista, pitää alla olevassa, taulukossa mainittuja ominaisuuksia. [19.]

Taulukko 3. Mittaustekniikoiden merkittävimmät eroavaisuudet

LS	DLS
Mittausalue tyypillisesti n. 0.1 $\mu\text{m}$ ylöspäin ulottuen jopa millimetreihin.	Voidaan mitata nanometrin murto-osan kokoisia partikkeleita. Yläraja yleensä noin 10 $\mu\text{m}$ .
Soveltuu paremmin isoilla tilavuuksilla ja konsentraatioilla.	Toimii pienillä tilavuuksilla ja konsentraatioilla.

## 4.2 Standardi SFS 689:2018

Suomessa kansallisstandardiksi vahvistetussa standardissa SFS 689 esitetään strategia toteuttaa mittauksia, joilla voidaan todeta työperäisten altistumis-arvojen (OEL-arvojen) noudattaminen. Standardin mukaan OEL-arvot voivat olla esimerkiksi kansalliset sitovat arvot tai tiedekuntien antamat ohjeelliset arvot. Näin ollen STM:n julkaisemat HTP-arvot toimivat OEL-arvoina. [22.]

Standardin mukaisesta altistumisen arvioinnista voidaan päätyä tekemään altistumismittauksia. Mittaustavan valinta sekä näytteenottoaika on määritelty suoritettavaksi niin että se kuvastaa parhaiten työntekijän todellista altistumista. Käytännössä tämä tarkoittaa henkilökohtaisilla näytteenottimilla, koko työvuoron kattavana aikana suoritetuilla mittauksilla. Näytteitä tulee verrata OEL-arvoissa annettuihin aikapainotettuihin arvoihin. Standardi ei käsittele alle 15 minuutin aikapainotettuja arvoja. Kuten aiemmin mainittu ovat HTP-arvot annettu yleisesti 8 tunnin tai lyhyelle altistumiselle 15 minuutin ajalle. Standardin mukaan referenssiajasta voidaan poiketa mikäli altistumistekijät ovat työvuoron ajan muuttumaton. Yli 2 tuntia kestävä työvuoron näytteenottoajan on oltava vähintään 2 tuntia. Näytteestä lasketaan keskipainotteinen altistuminen 8 tunnille. HTP-arvot julkaisussa on esitetty kaava aikapainotteisen altistumisen laskemiselle. [22.]

## 5 Käytännön osuus

Osuus koostui mittauksien suorittamisesta ja datan analysoimisesta sekä raportin luomisesta. Mittaukset suoritettiin toiminnassa olevasta varastosta ja tuotantotilasta. Kohteet käsitellään työssä anonymisti. Mittausten suorittamisen jälkeen data analysoitiin ja kohteiden toimijat saivat siitä raportin. Käytössä olevien mittalaitteiden osalta pyrittiin todentamaan, minkälaiseen mittaukseen ne soveltuvat. Mittaukset pyrittiin suorittamaan siten, että saatuja tuloksia voitaisiin ainakin mittaustekniikan puolesta verrata viranomais-suosituksiin.

### 5.1 Käytössä olevat mittalaitteet

Työtä varten oli käytössä kaksi yhdysvaltalaisen valmistajan TSI:n mittalaitetta. Molemmat näistä soveltuvat kenttätyyppisiin reaaliaikaisiin mittauksiin. Koska viranomaisten suositukset on annettu massakonsentraationa, käytettiin Dusttrak DRX:ää pääasiallisena mittauslaitteena. Aerotrakilla tehtiin mittauksia lähinnä laitteiden tulosten vertailun vuoksi. Molemmat laitteet on esitelty tarkemmin omissa luvuissaan.

Kyseisten mittalaitteiden soveltuvuutta teollisuudessa tapahtuviin kenttämittauksiin osoittaa ensisijaisesti laitteiden konsentraatorajat. Nämä ovat kerrottu molemmille laitteille omissa kappaleissaan. Konsentraatorajan vertailu olemassa olevaan tutkimustietoon, on esitetty Aerotrakin esittelevässä kappaleessa. Rajaukseksi voidaan asettaa, että kyseisistä mittalaitteista, DRX:ää tulisi ensisijaisesti käyttää kenttämittauksissa. Aerotrak soveltuu parhaiten puhdastiloihin ja asuinhuoneistoihin.

### 5.1.1 TSI Dusttrak DRX

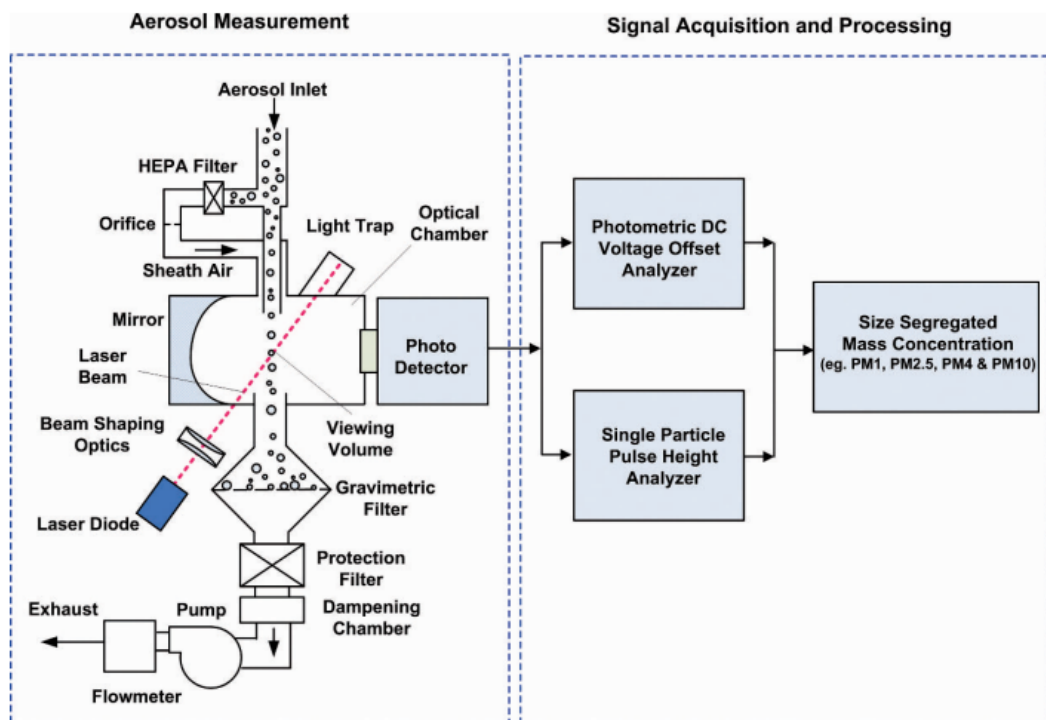
Dusttrak DRX on optisesti mittaavaa osoittava mittalaite (kuva 7). Se mittaa laserdiffraktiolla aerosoleja kuten pölyä, ilmoittaen tulokset kokoerotelluin massoina (eng. size segregated mass). Mitatulle hiukkasjakeelle ilmoitetaan aerodynaamisen halkaisija sekä paino kuutiometriä kohden. DRX mittaa luokissa PM1, PM2.5, RESP ja PM10. [23.]



Kuva 5 TSI Dustrak DRX

Hiukkasjake RESP (eng. respirable) esittää alveolijake ja on laitteessa sama kuin PM4. Laitteessa on kosketusnäyttö jota voi käyttää käsin tai laitteen mukana tulevilla kosketustikulla.





Kuva 6 Dusttrakin DRX mittauslaitteiston kaavio [24]

Laite imee ilmaa sisään virtausnopeudella 3l/s, josta osa ohjataan HEPA-suodattimen läpi. HEPA-suodatin poistaa näytteestä isoimmat partikkelit. Optisessa kammiossa, partikkelit osuvat laservaloon jota vastaanotin mittaa. Partikkelit voidaan mittauksen jälkeen kerätä gravimetriseen suodattimeen (kuva 8) ja tehdä erillinen gravimetrinen mittaus ja näyteanalyysi. Vastaanotin toimittaa signaalin kahteen analysointipiiriin. Yksi laskee PM2.5 massa konsentraation fotometrisesti käyttäen koko näytteen aiheuttamaa valon intensiteetin vaihtelua. Intensiteetin vaihtelusta syntyy fotometrinen tasavirtasignaali (photometric voltage). PM2.5 laskemiseen DRX on kalibroitu käyttäen Arizona road dust luokan 1 (AR1) pölyä joka on ultrahienoä pölyä. Fotometrit toimivat herkemmin hienoilla partikkeleilla, aliarvioiden liian pienien tai isojen partikkeleiden vaikutuksen [21]. Toinen piiri laskee partikkelikokojen  $>1\mu\text{m}$  yksittäiset partikkelimäärät. Partikkelin halkaisijaksi määritellään laitteen kalibrointiin käytetyn vastaavanlaisesti valon sirontaa aiheuttavan partikkelin halkaisija. DRX on kalibroitu käyttä-

mällä polyesteri lateksi palloja (eng. polystyrene latex sphere PLS). DRX hyödyntää siis yleisesti fotometrisissä laitteissa käytettävää tekniikkaa sekä partikkeli-määrämittareissa käytettävää tekniikkaa [25]. Se ei käytä yksittäistä tekniikkaa vaan laskee molemmista tulokset kaikille neljälle jakeelle sekä kokonaismäärälle. Kaavassa 1 on esitetty käytetty laskentamalli. Laskentamallissa  $R_{ARD}$  on tekijä joka muuttaa fotometrisen signaalin AR1-pölyn mukaiseksi massakonsentraatioksi, PCF on fotometrinen kalibrointi tekijä joka on vakiona 1 [24]. Syynä molempien tekniikoiden hyödyntämiseen on tarkkuus ja isompia konsentraatioita kattava alue.

(1)

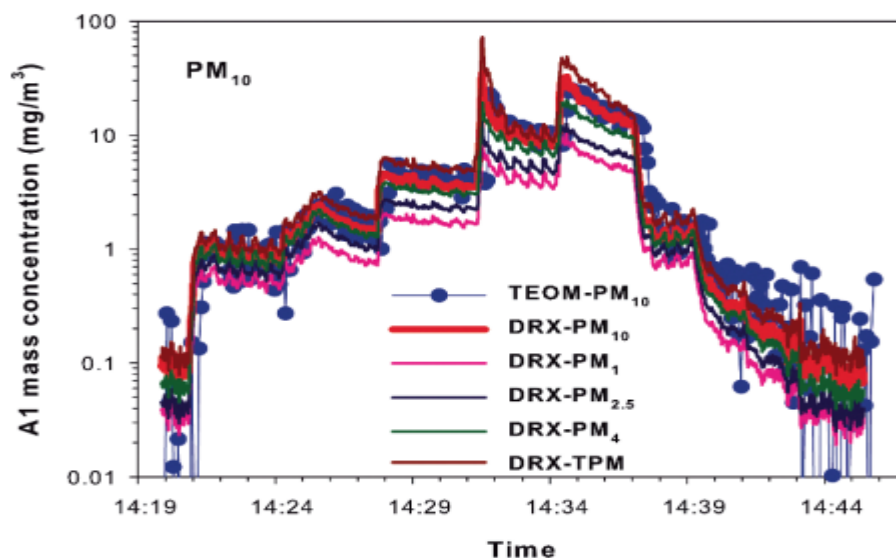
$$\begin{aligned}
 PM_1 &= PM_{2.5} - PM_{1-2.5} \\
 PM_{2.5} &= \text{Photometric Voltage} \times R_{ARD} \times PCF \\
 PM_4(\text{Respirable}) &= PM_{2.5} + PM_{2.5-4} \\
 PM_{10}(\text{Thoracic}) &= PM_4 + PM_{4-10} \\
 TPM &= PM_{10} + PM_{>10}.
 \end{aligned}$$

A1 pöly on standardin ISO 12103-1 mukainen ultrahieno testipöly joka koostuu pääosin kvartsista. Käyttäjän voi halutessaan kalibroida DRX:n myös eri näytteelle. Tämä voidaan tehdä kahdella tapaa. Voidaan ottaa gravimetrinen näyte testattavasta ilmasta ja analysoida se. Tämän jälkeen voidaan laskea uusi arvo muuttujalle PCF jolloin DRX mittaukset vastaa juurikin mitattavan tilan aerosoleja [26].

Toinen tapa soveltuu käytettäväksi kun gravimetrisen analyysiin ei ole mahdollisuutta. DRX laskee tällöin uuden arvon muuttujalle SCF (size calibration factor), joka on vakiona 1. Laite ohjeistaa kalibroinnin suorittamisen. Kalibrointia varten otetaan ensin näyte kohteena olevasta ilmasta. Tämän jälkeen sisäänottoon asetetaan suutin suodattamaan PM2.5 ylittävät partikkelit. Molempien

näytteen tuloksista DRX laskee arvon tekijälle SCF jota laite käyttää kertoimena partikkelikoon määrittämiseksi[27].

Muuttujalla PCF, määritetään siis kerroin jota DRX käyttää PM<sub>2.5</sub> määrittelemiseen, jotta fotometrinen mittaus vastaisi mahdollisimman tarkasti näytteen oikeata kokoa. Vakiona PCF on 1, joka vastaa A1-pölyä. Muuttujalla SCF taas määritetään kerroin jolla DRX muuntaa partikkelin todellisen halkaisijan, joka perustuu PSL-näytteisiin, aerodynaamiseksi halkaisijaksi. Tarve kalibroinnille tulee jos epäillään mitattavan näytteen eroavan liikaa A1-pölystä. Tehdaskalibroidun DRX:än mittaustuloksien verrattavuudesta on olemassa laitevalmistajan tutkimustietoa. Tutkimuksessa tuloksia on verrattu TEOM mittariin joka on eräänlainen gravimetrinen reaaliaikainen mittari [27]. Tuloksista voidaan todeta että A1-pölyllä kalibroitu DRX ja gravimetrinen mittaus osoittavat hyvää yhtenäisyyttä (kuva 9).



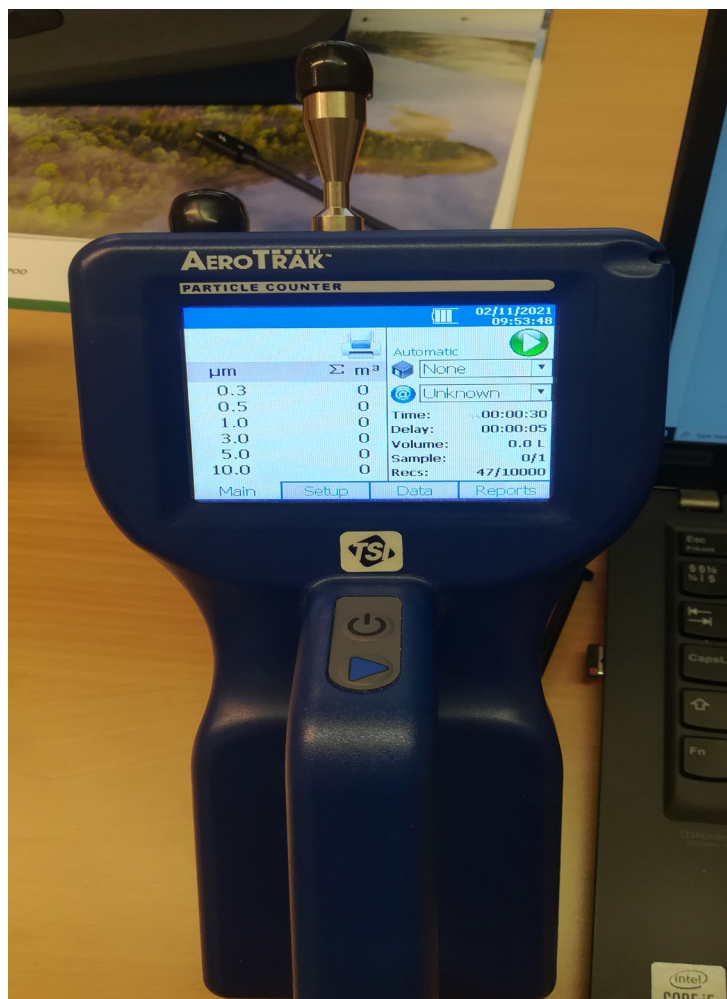
Kuva 9 Mittaustulosvertailu TEOM-mittarin ja DRX:n välillä. TEOM mittariin on asetettu yli PM<sub>10</sub> jakeita suodattava suulake[24]

DRX pystyy mittaamaan partikkelikokoja 0,1 - 15µm konsentraatiovälillä 0,001 – 150 mg/m<sup>3</sup>. DRX:n mittaustuloksia voidaan tulkitella suoraan laitteen näytöltä tai TrakPro-tietokonesovelluksella. TrakPro mahdollistaa raporttien kirjoittamisen,

ja niissä näkyy mittausstatistiikka sekä mittauskäyrät. Data voidaan myös siirtää tekstitiedostoon jota voidaan hyödyntää esimerkiksi Excelissä.

### 5.1.2 TSI Aerotrak 9306

Aerotrak 9306 (kuva 10) on optinen partikkelit mittari joka ilmoittaa partikkelimäärän tilavuutta kohden. DRX:n tapaan on Aerotrak kalibroitu mittaamalla PLS palloja, ja ilmoittaa partikkelikoot aerodynaamisen halkaisijan mukaan.



Kuva 10 TSI AeroTrak 9306

Laite kalibroidaan standardin ISO 21501-4 mukaan täyttämällä esimerkiksi puhtastilavaatimukset [28]. Laite mittaa kuutta eri jaetta, 0,3 , 0,5 , 1 , 3 , 5, ja

10 $\mu$ m. Koska laite mittaa yksittäisen hiukkasen valon sirontaa, se ei sovellu isoille konsentraatioille. Aerotrak-in konsentraatoraja on 210 miljoonaa partikkelia kuutiota kohden [29]. Jos partikkelin tiheytenä käytettäisiin kvartsin tiheyttä ja halkaisijalle aerodynaamista halkaisijaa, olisi Aerotrak-in konsentraatoraja mas-saksi muutettuna noin 0,29mg/m<sup>3</sup> (kaava 2).

(2)

$$c_m = (V_{PM1} \times \rho_{kvartsi}) \times n$$

$$\frac{0,29mg}{m^3} = 5,23 \times 10^{-19}m^3 \times \frac{265 \times 10^7mg}{m^3} \times \frac{210 \times 10^6}{m^3}$$

Jossa C<sub>m</sub> on massakonsentraatio (mg/m<sup>3</sup>), V<sub>PM1</sub> on PM1 partikkelin tilavuus (m<sup>3</sup>),  $\rho_{kvartsi}$  (mg/m<sup>3</sup>) on kvartsin tiheys ja n mitattava partikkelimäärä.

Kaava on teoreettinen eikä siinä otetaan huomioon mittaustekniikan vaikutuk-sia. Se antaa kuitenkin osviittaa siitä miten alhainen laitteen pölynkonsentraatio-  
raja on. THL:n tekemissä teollisuusmittauksissa vuosina 2004 - 2011 on kes-  
kiarvoksi hengitettävälle epäorgaaniselle pölylle saatu 5,8 mg/m<sup>3</sup> ja alveolija-  
keelle 0,68 mg/m<sup>3</sup> [5]. Tästä syystä Aerotrak soveltuu harvoin teollisuuteen.

Aerotrak-in dataa voidaan tulkita suoraan laitteen kosketusnäytöltä tai TrakPro-  
tietokonesovelluksella. Laitteesta voidaan myös luoda standardin ISO 14644-1  
mukaisia puhdastilaraportteja[29].

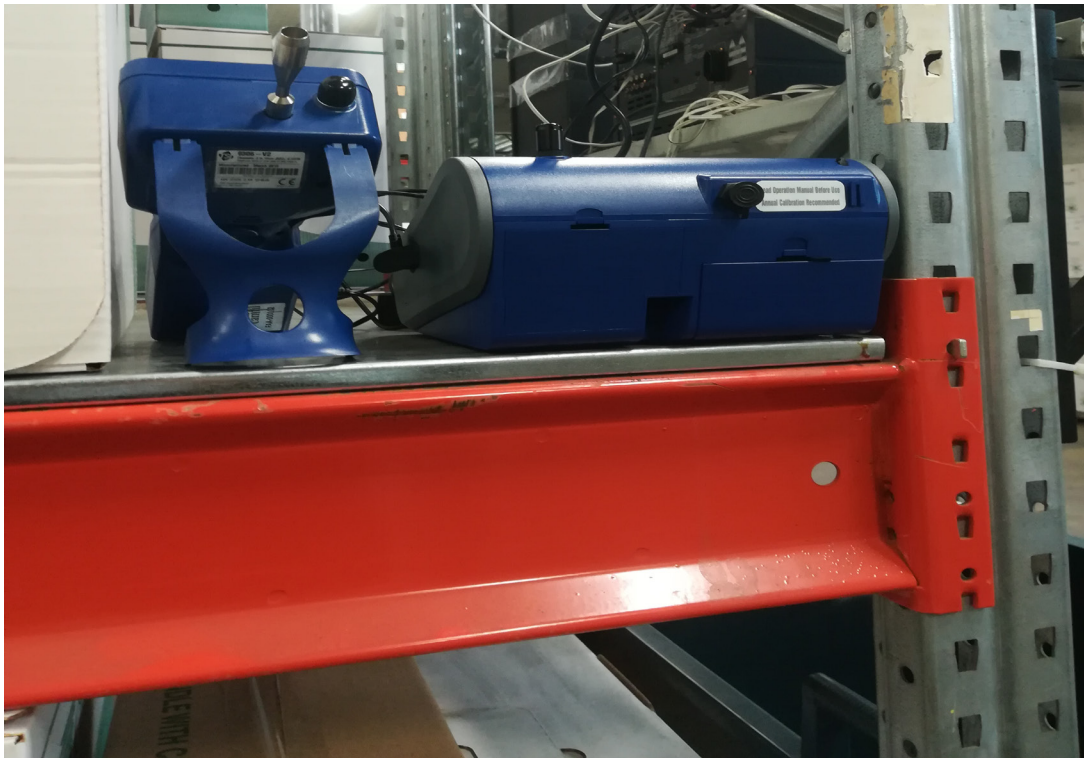
## 5.2 Mittaus 1

Teollisuuteen sijoittuvassa tuotantotilassa tehtiin mittauksia DRX:llä. Ennen mit-  
tauksia selvitettiin tilassa tapahtuva työprosessi jonka todettiin pysyvän hyvin  
vakiona koko työvuoron ajan. Prosessissa ei siis normaalisti esiinny mitään vai-  
hetta joka tuottaisi enemmän pölyä. Aistinvaraisesti hengitettävä ilma vaikutti

hyvältä. Tilassa oli entuudestaan jo erillinen pölypuhdistin joka kierrätti sisäilmaa suodatuksen läpi. Mittalaite asetettiin tilan keskelle noin 1,5 metrin korkeudelle lattiasta. Mittausajaksi asetettiin tunti ja näyteottotaajuudeksi 1 sekunti. Mittauspiste valikoitu kuvastamaan tilassa vallitsevaa yleisestä pitoisuustasoa. Mittausaika valikoitu työprosessin muuttumattomasta luonteesta sekä aikataullisista syistä. Huomattavaa on että mittaus kesti alle standardin SFS 689:2018 mukaisen 2 tunnin. Tunnin mittaukset sujuivat ongelmitta. Mittausraportti on liitteenä 1.

### 5.3 Mittaus 2

Toinen mittaus suoritettiin varastotilassa. Varasto koostui kolmesta eri hallista. Yhdestä lähettämöhallista, sekä kahdesta varastohallista jossa toisessa tapahtuu suurin osa pakkaamisesta ja työskentelystä. Tiloissa ajetaan kahdella sähkötrukilla. Työvaiheet ovat varastotyölle ominaisia, pakkaamista ja tavaroiden siirtelyä. Aistinvaraisesti hengitettävä ilma vaikutti hyvältä. Tiloissa on asennettuna kaksi erillistä pölynpuhdistinta jotka molemmat sijaitsevat varastohallissa missä työskentely pääosin tapahtuu. Molemmat mittalaitteet asetettiin varastohyllylle noin 1.8metrin korkeudelle lattiasta (kuva 11).



Mittauspisteen oli noin 2 metrin sisällä kolmesta työpisteestä joilla työntekijät työskentelevät suurimman osan ajastaan päivässä. Mittausajaksi asetettiin 6 tuntia jonka katsottiin kattavan normaalin työpäivän aikaset vaihtelut työproses- sissa. Mittaukseen käytettiin sekä DRX:ää että Aerotrakia. Molemmissa näyt- teenottotaajuudeksi asetettiin 1 sekunti. Aerotrakia haluttiin käyttää jotta partik- kelimäärää voitaisiin verrata massakonsentraatioon. Mittaukset sujuivat ongel- mitta. Mittausraportti on liitteenä 2. Liitteen raportista on jätetty pois osa yksittäi- sistä mittaustuloksista.

#### 5.4 Raportointi

TSI-mittalaitteita voidaan käyttää yhdessä valmistajan TrakPro-sovelluksien kanssa. Sovellukset ovat ladattavissa ilmaiseksi valmistajan verkkosivuilta. So- velluksella tehdyt raportit ovat hyvin pelkistettyjä. Niihin saadaan sisällytettyä

kolme eri näkymää joita ovat yhteenveto mittauksista, jokaisen näytteen tulokset ja mittausjakeitten käyrät. Yksinkertaisesta ulkonäöstään huolimatta raportti sisältää kaiken olennaisen ja on myös helposti tulkittavissa. Sen sisältämä data on myös täysin käsittelemätöntä, eikä sitä voida muokata. Mittauksen nimenä toimii aina laitteessa mittauksen järjestysnumero eikä sitä voi muuttaa. Käyttäjä voi ainoastaan lisätä asioita kuten kohteen nimen tai huomioita, näitäkin hyvin rajallisesti. Tästä syystä olisi raportin hyvä aina sisältää ohjelmasta tulostettu raportti josta voidaan todeta että dataa ei ole muokattu. Data saadaan myös ulostekstimuodossa, jolloin sitä voi hyödyntää esim. Excelissä. Työtä varten raporteista luotiin TrakPro:n tuottama raportti ilman käyränäkymää. Tähän yhdistettiin excelillä luotu tiedosto, sisältäen datan ja käyrät. Excelin hyödyntäminen raportoinnissa mahdollistaa haluamien arvojen esittämisen käyrissä. Käyrät ovat myös selkeämmin tulkittavissa verrattuna valmistajan sovellukseen. Molemmista mittauksista on raportit tämän työn liitteenä. Työtä varten luotiin kaavaa 2 käyttävä Excel laskuri jolla voidaan muuntaa partikkelimäärät massakonsentraatioksi.

## 5.5 Tulosten tulkinta

Suomen lain tulkintaan perustuen päädyttiin ensisijaisesti vertaamaan mittaus-tuloksia HTP-arvoihin. Verrattavana tuloksena käytettiin mittauksen keskiarvoa sillä pitoisuuksien on oletettu pysyvän vakiona työvuoron aikana. Pölytyyppi ei kummassakaan tapauksessa ollut tiedossa joten sen oletetaan olevan epäor-gaanisen- ja orgaanisenpölyn sekoitus. HTP-arvoissa on annettu molemmille pölytyypeille raja-arvot ainoastaan hengitettävälle jakeelle. Kumpikaan mittalait-teista ei kata koko EN 481 mukaista hengitettävää jaetta 10 - 100 µm. Näin ol-len vasta PM10 keskiarvon ylittyessä voidaan todeta raja-arvon ylittyvän maini-tuille pölytyypeille. Koska pölytyypit eivät ole tiedossa, ei tuloksia voida verrata mihinkään erityiseen raja-arvoon.



On myös otettava huomioon että HTP-arvot ovat annettu henkilön altistumisille. Saadut mittaustulokset ovat sisäilmasta saatuja eivätkä osoita henkilön altistumista. Seuraavaksi tuloksia verrattiin niin THL:n ja WHO:n antamiin suosituksiin. THL:n arvot ovat yleiselle pölylle, hengitettävälle ja alveolijakeelle. WHO:n arvot ovat jakeille PM2.5 ja PM10. Mittaustuloksista laadittu taulukko, jossa tuloksia vertaillaan eri raja-arvoihin on esitetty kuvassa 12. WHO:n antamat tulokset on taulukossa muunnettu milligrammoiksi.

Teollisuuden kohde, mittaus 1		Raja-arvot		
Mitattu jae	Mittaustulos	HTP Org.pöly Heng.jae 8h	HTP Epä- org.pöly Heng.jae 8	THL yleinenpöly Alve.jae
PM10	0,278 mg/m <sup>3</sup>	5 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	
PM4	0,275 mg/m <sup>3</sup>			0,5 mg/m <sup>3</sup>
PM2.5	0,268 mg/m <sup>3</sup>			
Mitattu jae	Mittaustulos	THL yleinenply Alve.jae	WHO PM2.5 (24h)	WHO PM2.5 (24h)
PM10	0,278 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>		0,045mg/m <sup>3</sup>
PM4	0,275 mg/m <sup>3</sup>			
PM2.5	0,268 mg/m <sup>3</sup>		0,015mg/m <sup>3</sup>	

Varasto, mittaus 2		Raja-arvot		
Mitattu jae	Mittaustulos	HTP Org.pöly Heng.jae 8h	HTP Epä- org.pöly Heng.jae 8	THL yleinenply Alve.jae
PM10	0,11 mg/m <sup>3</sup>	5 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	
PM4	0,009 mg/m <sup>3</sup>			0,5 mg/m <sup>3</sup>
PM2.5	0,008 mg/m <sup>3</sup>			
Mitattu jae	Mittaustulos	THL yleinenpöly Alve.jae	WHO PM2.5 (24h)	WHO PM2.5 (24h)
PM10	0,11 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>		0,045mg/m <sup>3</sup>
PM4	0,009 mg/m <sup>3</sup>			
PM2.5	0,008 mg/m <sup>3</sup>		0,015mg/m <sup>3</sup>	

Kuva 12 Mittaustulokset ja raja-arvot. Vihreä indikoi raja-arvon alittamista ja punainen ylittymistä.

On mielenkiintoista miten varastossa tehty mittaus 2 alittaa jopa WHO:n antamat raja-arvot. WHO:n antama PM10 arvo on huomattavasti pienempi kuin muiden viranomaisten. Arvo on kuitenkin annettu 24 tunnin ajalle ja esittää ihmisen altistumista pitoisuuksille. Henkilöt työskentelevät keskimäärin kohteessa 8 tuntia. Silti saaduista tuloksista voidaan päätellä että varastossa on normaalisti hyvä sisäilma. Teollisuuteen sijoittuvassa ensimmäisessä kohteessa (mittaus 1) WHO:n antamat arvot ylittyvät molemmissa jakeissa. On otettava huomioon että WHO antaa raja-arvot yleisellä tasolla, sisällyttäen myös huone- ja ulkoilman. Silti voidaan todeta että ilmanlaatua voitaisiin parantaa poistamalla pienhiukkasia esimerkiksi HEPA-suodatuksella.

Tuloksia voitaisiin myös esimerkinomaisesti verrata tutkimuksiin muilta teollisuusaloilta. THL 2016 perustelumuiustiossa on listattu tutkimustuloksia teollisuudesta kaivos, metalli ja betoniteollisuudessa. Keskiarvoksi alveolijakeelle vuosien 2004-2011 jaksolle sijoittuville mittauksille on saatu  $0,68\text{mg}/\text{m}^3$  [5]. M1 mitaustulos PM4 keskiarvo on  $0,257\text{mg}/\text{m}^3$ , jääden yli puoleen keskiarvosta ja noin puoleen THL:n suosituksesta.

Mittaustulokset ja raportit ovat esitetty tämän työn liitteinä 1 ja 2.

## 6 Yhteenveto

Tavoitteiden määrittely nousee tärkeäksi lähtökohdaksi aiheen kaltaiselle työlle. Mitä oikeasti mitataan? Työssä käytetyillä laitteilla sellaisinaan voidaan mitata sisäilman pitoisuuksia. Ne eivät kerro, kuinka paljon henkilö joka oleskelee tilassa ajanjaksolla oikeasti altistuu esitetyille pitoisuuksille. Altistumismittaukset suoritetaan työssä käytetystä tavasta poiketen. Virallisessa altistumismittauksissa näyte kerätään henkilön suulle asetetusta maskista tai mahdollisimman lähellä suuta asetetulla keräimellä.

Silti sisäilman mittaustulokset ovat hyviä indikaattoreita arvioitaessa altistumisen raja-arvojen ylittämisiä. Jos mittaustulokset alkavat lähentelemään raja-arvoja on syytä epäillä että tilassa liikkuva henkilö voi mahdollisesti altistua tuloksia isommille pitoisuuksille. Tässä tapauksessa on suositeltavaa tehdä tarkempia mittauksia. Tarkempia mittauksia olisivat juurikin altistumista mittaava keräin ja gravimetrisen näytteen analyysi. Näissä tapauksissa toimija voikin joutua käyttämään ulkopuolisen tahon, kuten vaikka laboratorion palveluita.

Voidaan kuitenkin nähdä että mittaukset ovat tuoneet arvokasta tietoa sisäilmanlaadusta kohteessa aiheuttaen mahdollisia jatkotoimenpiteitä. Jos mittaukset suoritettaisiin paikassa jossa voidaan varmasti sanoa esiintyvän tietyn tyyppistä pölyä voidaan myös yksittäisille yhdisteille annettuja HTP-arvoja tarkastella. Tällöin tiedon tulisi kuitenkin perustua prosessille ominaiseksi tunnetuille yhdisteille, aiempaan tutkimukseen tai kohteen omistajan lausuntoon. Laitteiden toimiminen tehdaskalibroituina tuo myös epävarmuutta mittaustuloksiin. Vastaako mitattava ilma kalibrointiin käytettävää näytettä? Mittalaitteiden tulisi käyttää kalibrointiin standardisoitua näytettä. Tällöin mittaustuloksia voidaan tulkita ottaen huomioon tiedostetut erot.

Tämän kaltaisten mittausten suorittamiseen ohjeistuksena toimivat hyvin tämän työn esittelemät standardit. Seuraamalla niitä mahdollisimman tarkasti voidaan mittaustuloksia tulkita raja-arvoja vastaan ottaen huomioon aiemmin mainitut asiat. Myös esiteltyjä eri tahojen antamia pitoisuusarvoja voidaan pitää perustana tulosten vertailussa. Merkittävää on että näistä ainoastaan WHO:n arvot ottavat kantaa alveolijaetta pienempään hiukkaskokoon. Raja-arvojen puute pienhiukkasille korostaa työssä suoritetun mittauksen arvoa. Tuloksia voidaan myös vertailla tutkimustuloksiin pienhiukkasten terveysvaikutuksista. Mittauksia ei suoriteta vain todentamaan suositusten täyttämistä, vaan ihmisten terveyden takia.

## Lähteet

- 1 Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust. WHO.1999. Verkkoaineisto. <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/66147>>. Luettu 3.10.2021
- 2 Filtration, particle size. Nilfisk Inc. Verkkoaineisto. <<https://nilfiskcfm.com/filtration/>>. Luettu 9.12.2021
- 3 Standardi SFS-EN 481. Workplace atmospheres. Size fraction definitions for measurement of airborne particles. 1994.
- 4 Good practice guide – Workers’ Health Protection through the Good Handling and Use of Crystalline Silica and Products Containing it. The european network of silica. 2012. Verkkoaineisto. <[https://www.nepsi.eu/sites/nepsi.eu/files/content/editor/good\\_practice\\_guide\\_-\\_english\\_original\\_additional\\_task\\_sheets\\_-251006\\_modified\\_16072012-.pdf](https://www.nepsi.eu/sites/nepsi.eu/files/content/editor/good_practice_guide_-_english_original_additional_task_sheets_-251006_modified_16072012-.pdf)>. Luettu 21.10.2021
- 5 Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn tavoitetasoperustelumuistio. Työterveyslaitos. 2016. Verkkoaineisto. <<https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/12/hengittyva-ja-alveolijakeinen-poly-tavoitetaso.pdf>>. Luettu 18.10.2021
- 6 Pölyverkko, tietoverkko pölytorjunnan avuksi. VTT. 2004. Verkkoaineisto. <<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>>. Luettu 15.10.2021
- 7 PM1-pienhiukkaset, vaara terveydelle. Camfil Oy. 2016. Verkkoaineisto. <[https://www.camfil.com/damdocuments/32420/1217438/pm1-info-2016-04-07-final-indd\\_fi.pdf](https://www.camfil.com/damdocuments/32420/1217438/pm1-info-2016-04-07-final-indd_fi.pdf)>. Luettu 13.12.2021
- 8 Center for chemical process safety of the American institute of chemical engineers New York. 2017. Guidelines for combustible dust hazard analysis.. ISBN 978-1-119-01016-6.
- 9 Tasneem Abbasi, S.A. Abbasi. 2006. Dust explosions–Cases, causes, consequences, and control. Verkkoaineisto. <[https://www.researchgate.net/publication/6605341\\_Dust\\_explosions\\_-\\_Cases\\_causes\\_consequences\\_and\\_control](https://www.researchgate.net/publication/6605341_Dust_explosions_-_Cases_causes_consequences_and_control)>. Luettu 13.10.2021

- 10 Finlex. Suomen terveydensuojelulaki. 1994. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763#L7P27>>. Luettu 9.12.2021.
- 11 Finlex. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus 545/2015. 2015. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>>. Luettu 9.12.2021.
- 12 Finlex. Suomen työturvallisuuslaki. 2002. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>>. Luettu 9.12.2021.
- 13 Finlex. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus 654/2020. 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200654>>. Luettu 9.12.2021.
- 14 HTP-ARVOT 2020. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 2020. Verkkoaineisto. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162457>>. Luettu 17.10.2021
- 15 WHO Global air quality guidelines. World Health Organization. 2021. Verkkoaineisto. <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>>. Luettu 24.10.2021
- 16 Ian Treviranus. Horiba Scientific 2013. Introduction to laser diffraction for particle size analysis. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=ZFbs-sXF7Ss&t=129s>. Horiba Scientific. Static Light Scattering (SLS) / Laser Diffraction Particle Size Distribution Analysis. Verkkoaineisto. [https://www.horiba.com/en\\_en/staticlight-scattering-sls-laser-diffraction-particle-size-distribution-analysis/](https://www.horiba.com/en_en/staticlight-scattering-sls-laser-diffraction-particle-size-distribution-analysis/) Luettu 14.10.2021
- 17 Laser light scattering method. 2014. Rxpharmacist. Verkkoaineisto. <https://technologypharmaceutical.wordpress.com/2014/12/10/laser-light-scattering-method/>. Luettu 13.10.2021
- 18 Beckman Coulter. Mie, Fraunhofer Diffraction Theories. Verkkoaineisto.. <https://www.beckman.ch/resources/technologies/laser-diffraction/mie-fraunhofer-theories>. Luettu 16.10.
- 19 Choosing Laser Diffraction or Dynamic Light Scattering. Horiba Scientific. Verkkojulkaisu. [https://www.horiba.com/en\\_en/products/scientific/particle-characterization/particle-education/choosing-laser-diffraction-or-dynamic-light-scattering/](https://www.horiba.com/en_en/products/scientific/particle-characterization/particle-education/choosing-laser-diffraction-or-dynamic-light-scattering/). Luettu. 01.11.2021.

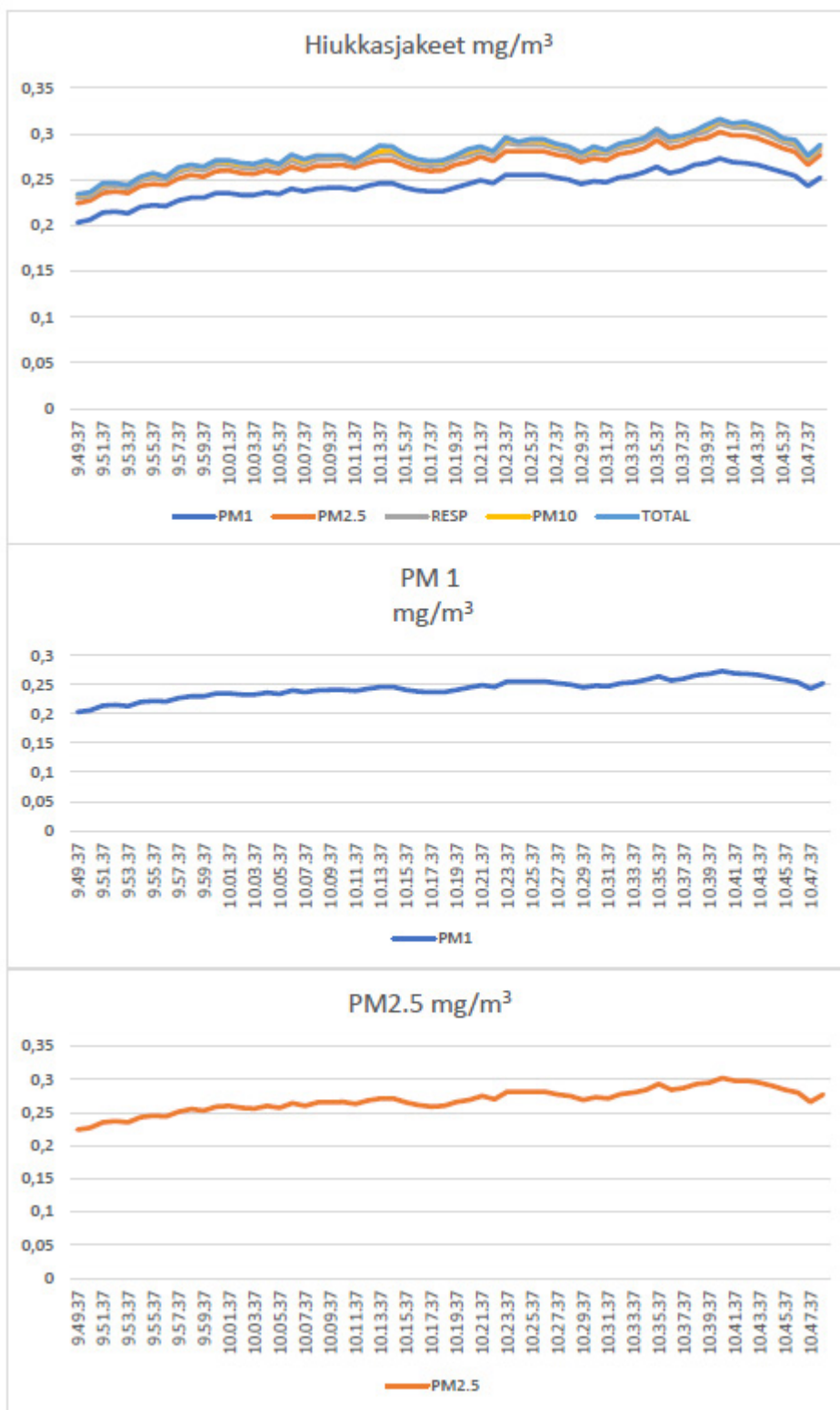
- 20 Particle Characterization Guide. 2015. Malvern Instruments Worldwide. Verkkoaineisto. [https://www.cif.iastate.edu/sites/default/files/uploads/Other\\_Inst/Particle%20Size/Particle%20Characterization%20Guide.pdf](https://www.cif.iastate.edu/sites/default/files/uploads/Other_Inst/Particle%20Size/Particle%20Characterization%20Guide.pdf). Luettu 2.11.2021.
- 21 Anne Marie Helmenstine. 2017. An Introduction to Brownian Motion. Verkkoaineisto. Päivetty 6.7.2019. Luettu 23.10.2021. <https://www.thoughtco.com/brownian-motion-definition-and-explanation-4134272>
- 22 Standardi SFS 689:2018. Työperäinen altistuminen. Hengitysteitse tapahtuvan kemiallisille tekijöille altistumisen mittaus. Strategia altistumisen raja-arvojen noudattamisen varmistamiseen. Luettu 9.12.2021
- 23 DustTrak DRX tekniset tiedot. TSI Incorporated. 2014.
- 24 Xiaoliang Wang , George Chancellor , James Evenstad , James E. Farnsworth , Anthony Hase , Gregory M. Olson , Avula Sreenath & Jugal K. Agarwal. A novel optical instrument for estimating size segregated aerosol mass concentration in real time. 2009. Verkkoaineisto. <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02786820903045141?needAccess=true>>. Luettu 26.11.2021.
- 25 DustTrak DRX käyttöopas. TSI Incorporated. 2021.
- 26 DustTrak DRX – Real time size correction factor calibration. TSI Incorporated. Opetusvideo. 2012. <<https://www.youtube.com/watch?v=dV0KTV5Jbgc&t=260s>>
- 27 TEOM Technology for particulate matter measurement. Thermo Fisher Scientific Verkkoaineisto. <<https://www.thermofisher.com/se/en/home/industrial/environmental/environmental-learning-center/air-quality-analysis-information/teom-technology-particulate-matter-measurement.html>>. Luettu 03.11.2021
- 28 AeroTrak sovellusesite. TSI Incorporated. 2021.
- 29 Aerotrak tekniset tiedot. TSI Incorporated. 2014.

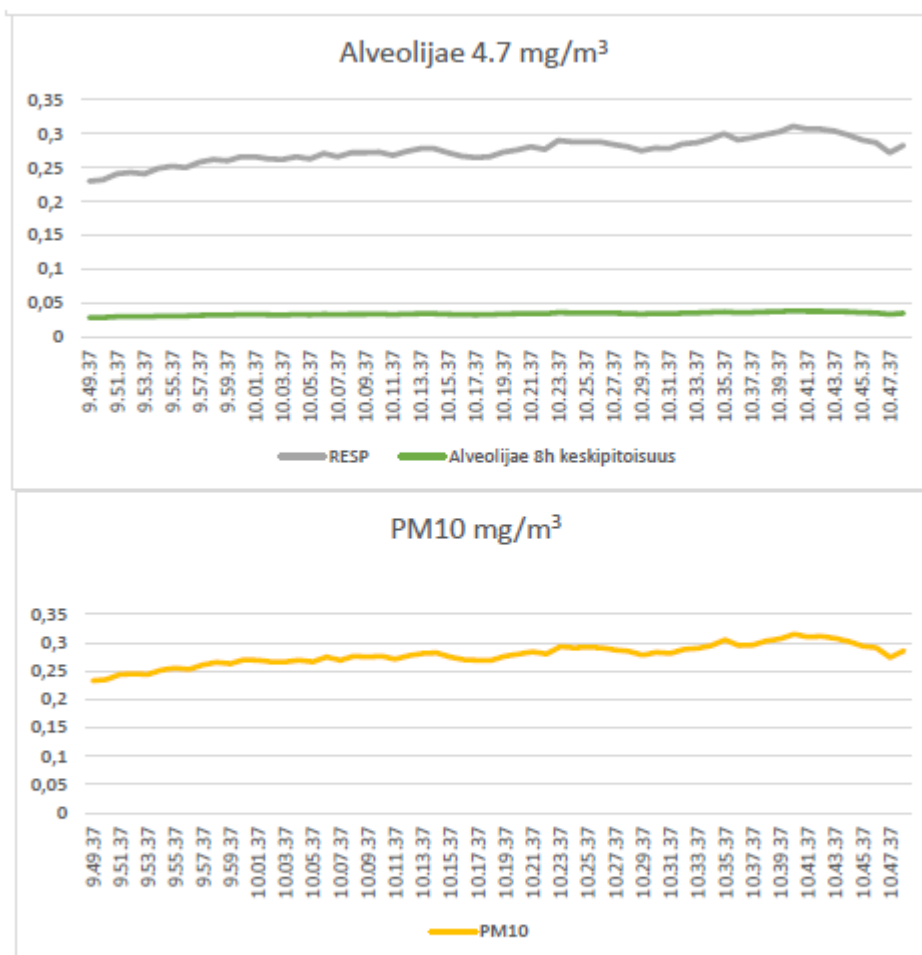
## Liite 1 Mittaus 1

TrakPro Version 4.70 ASCII Data File						
Model:	DustTrak DRX					
Model Number:	8533					
Serial Number:	8533191404					
Test ID:	035					
Test Abbreviation:	MANUAL_035					
Start Date:	22.10.2021					
Start Time:	09:48:37					
Duration (dd:hh:mm:ss):	0:01:00:00					
Log Interval (mm:ss):	01:00					
Number of points:	60					
Notes:						
Statistics	Channel:	PM1	PM2.5	RESP	PM10	TOTAL
	Units:	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
	Average:	0,243	0,268	0,275	0,278	0,280
	Minimum:	0,203	0,224	0,230	0,233	0,234
	Time of Minimum:	09:49:37	09:49:37	09:49:37	09:49:37	09:49:37
	Date of Minimum:	22.10.2021	22.10.2021	22.10.2021	22.10.2021	22.10.2021
	Maximum:	0,273	0,302	0,311	0,315	0,316
	Time of Maximum:	10:40:37	10:40:37	10:40:37	10:40:37	10:40:37
	Date of Maximum:	22.10.2021	22.10.2021	22.10.2021	22.10.2021	22.10.2021
Calibration	Sensor:	AEROSOL				
	Cal. date	23.03.2020				
Date	Time	PM1	PM2.5	RESP	PM10	TOTAL
dd.MM.yyyy	hh:mm:ss	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
22.10.2021	09:49:37	0,203	0,224	0,230	0,233	0,234
22.10.2021	09:50:37	0,206	0,227	0,232	0,235	0,236
22.10.2021	09:51:37	0,214	0,235	0,241	0,244	0,246
22.10.2021	09:52:37	0,215	0,237	0,243	0,245	0,246
22.10.2021	09:53:37	0,213	0,235	0,241	0,244	0,244
22.10.2021	09:54:37	0,220	0,243	0,249	0,252	0,253
22.10.2021	09:55:37	0,222	0,245	0,252	0,255	0,257
22.10.2021	09:56:37	0,221	0,244	0,250	0,253	0,253
22.10.2021	09:57:37	0,227	0,251	0,258	0,261	0,263
22.10.2021	09:58:37	0,230	0,255	0,262	0,265	0,266
22.10.2021	09:59:37	0,230	0,253	0,260	0,263	0,264
22.10.2021	10:00:37	0,235	0,259	0,266	0,270	0,271
22.10.2021	10:01:37	0,235	0,260	0,266	0,269	0,271
22.10.2021	10:02:37	0,233	0,257	0,263	0,266	0,268
22.10.2021	10:03:37	0,233	0,256	0,262	0,266	0,267
22.10.2021	10:04:37	0,236	0,260	0,266	0,269	0,271
22.10.2021	10:05:37	0,234	0,257	0,263	0,266	0,267
22.10.2021	10:06:37	0,240	0,264	0,271	0,275	0,277
22.10.2021	10:07:37	0,237	0,260	0,266	0,269	0,272
22.10.2021	10:08:37	0,240	0,265	0,272	0,276	0,276
22.10.2021	10:09:37	0,241	0,265	0,272	0,275	0,276
22.10.2021	10:10:37	0,241	0,266	0,273	0,276	0,276
22.10.2021	10:11:37	0,239	0,263	0,268	0,271	0,271
22.10.2021	10:12:37	0,243	0,268	0,274	0,277	0,279
22.10.2021	10:13:37	0,246	0,271	0,278	0,281	0,287
22.10.2021	10:14:37	0,246	0,271	0,278	0,282	0,286

22.10.2021	10:15:37	0,241	0,265	0,272	0,275	0,277
22.10.2021	10:16:37	0,238	0,261	0,267	0,270	0,272
22.10.2021	10:17:37	0,237	0,259	0,265	0,269	0,270
22.10.2021	10:18:37	0,237	0,260	0,266	0,269	0,271
22.10.2021	10:19:37	0,241	0,266	0,273	0,276	0,276
22.10.2021	10:20:37	0,245	0,269	0,276	0,280	0,283
22.10.2021	10:21:37	0,249	0,275	0,281	0,284	0,286
22.10.2021	10:22:37	0,246	0,270	0,277	0,280	0,281
22.10.2021	10:23:37	0,255	0,281	0,290	0,293	0,296
22.10.2021	10:24:37	0,255	0,281	0,288	0,291	0,291
22.10.2021	10:25:37	0,255	0,281	0,288	0,292	0,294
22.10.2021	10:26:37	0,255	0,281	0,288	0,291	0,294
22.10.2021	10:27:37	0,252	0,277	0,284	0,287	0,289
22.10.2021	10:28:37	0,250	0,275	0,281	0,285	0,286
22.10.2021	10:29:37	0,245	0,269	0,275	0,278	0,279
22.10.2021	10:30:37	0,248	0,273	0,279	0,283	0,286
22.10.2021	10:31:37	0,247	0,271	0,278	0,281	0,282
22.10.2021	10:32:37	0,252	0,278	0,285	0,288	0,289
22.10.2021	10:33:37	0,254	0,280	0,287	0,290	0,292
22.10.2021	10:34:37	0,258	0,284	0,292	0,295	0,295
22.10.2021	10:35:37	0,264	0,293	0,300	0,305	0,305
22.10.2021	10:36:37	0,257	0,284	0,291	0,295	0,296
22.10.2021	10:37:37	0,260	0,287	0,294	0,296	0,298
22.10.2021	10:38:37	0,266	0,293	0,299	0,303	0,303
22.10.2021	10:39:37	0,268	0,295	0,303	0,307	0,310
22.10.2021	10:40:37	0,273	0,302	0,311	0,315	0,316
22.10.2021	10:41:37	0,269	0,298	0,307	0,310	0,311
22.10.2021	10:42:37	0,268	0,298	0,307	0,311	0,313
22.10.2021	10:43:37	0,266	0,295	0,304	0,308	0,309
22.10.2021	10:44:37	0,262	0,290	0,298	0,302	0,304
22.10.2021	10:45:37	0,258	0,284	0,291	0,294	0,295
22.10.2021	10:46:37	0,254	0,280	0,287	0,291	0,293
22.10.2021	10:47:37	0,243	0,266	0,272	0,274	0,276
22.10.2021	10:48:37	0,252	0,277	0,283	0,286	0,288







## Liite 2 Mittaus 2

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7
TrakPro Version 4.70 ASCII Data File						
Model:	DustTrak DRX					
Model Number:	8533					
Serial Number:	8533191404					
Test ID:	036					
Test Abbreviation:	MANUAL_036					
Start Date:	02.11.2021					
Start Time:	10:21:27					
Duration (dd:hh:mm:ss):	0:06:00:00					
Log Interval (mm:ss):	01:00					
Number of points:	360					
Notes:						
Statistics	Channel:	PM1	PM2.5	RESP	PM10	TOTAL
	Units:	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
	Average:	0,008	0,008	0,009	0,011	0,013
	Minimum:	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
	Time of Minimum:	11:10:27	11:40:27	11:52:27	12:10:27	12:10:27
	Date of Minimum:	02.11.2021	02.11.2021	02.11.2021	02.11.2021	02.11.2021
	Maximum:	0,051	0,053	0,057	0,104	0,152
	Time of Maximum:	12:41:27	12:41:27	12:41:27	12:41:27	12:41:27
	Date of Maximum:	02.11.2021	02.11.2021	02.11.2021	02.11.2021	02.11.2021
Calibration	Sensor:	AEROSOL				
	Cal. date	23.03.2020				
Date	Time	PM1	PM2.5	RESP	PM10	TOTAL
dd.MM.yyyy	hh:mm:ss	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
02.11.2021	10:22:27	0,014	0,015	0,015	0,018	0,022
02.11.2021	10:23:27	0,018	0,018	0,019	0,028	0,046
02.11.2021	10:24:27	0,013	0,014	0,014	0,019	0,029
02.11.2021	10:25:27	0,007	0,008	0,008	0,011	0,013
02.11.2021	10:26:27	0,008	0,008	0,009	0,013	0,016
02.11.2021	10:27:27	0,009	0,009	0,010	0,016	0,019
02.11.2021	10:28:27	0,006	0,006	0,007	0,008	0,009
02.11.2021	10:29:27	0,006	0,007	0,007	0,009	0,010
02.11.2021	10:30:27	0,007	0,007	0,008	0,010	0,012
02.11.2021	10:31:27	0,008	0,008	0,009	0,011	0,014
02.11.2021	10:32:27	0,007	0,007	0,008	0,010	0,012
02.11.2021	10:33:27	0,007	0,007	0,008	0,011	0,012
02.11.2021	10:34:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,008
02.11.2021	10:35:27	0,007	0,007	0,008	0,009	0,011
02.11.2021	10:36:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,008
02.11.2021	10:37:27	0,006	0,006	0,007	0,008	0,008
02.11.2021	10:38:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007
02.11.2021	10:39:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007
02.11.2021	10:40:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007
02.11.2021	10:41:27	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008
02.11.2021	10:42:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,008
02.11.2021	10:43:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,008
02.11.2021	10:44:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,008
02.11.2021	10:45:27	0,006	0,006	0,006	0,007	0,009
02.11.2021	10:46:27	0,005	0,005	0,006	0,007	0,007
02.11.2021	10:47:27	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006
02.11.2021	10:48:27	0,005	0,005	0,006	0,006	0,008
02.11.2021	10:49:27	0,005	0,005	0,005	0,006	0,007
02.11.2021	10:50:27	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005
02.11.2021	10:51:27	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005
02.11.2021	10:52:27	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006

