

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PÖLYMITTAUSLAITTEISTON TARPEELLISUUS JA KARTOITUS SUOMEN GPS-MITTAUS OY:N TARPEISIIN

TEKIJÄ Arttu Kinnunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Arttu Kinnunen	
Työn nimi Pölymittauslaitteiston tarpeellisuus ja kartoitus Suomen GPS-Mittaus Oy:n tarpeisiin	
Päiväys 25.4.2023	Sivumäärä/Liitteet 26/0
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Suomen GPS-Mittaus Oy	
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tilaajan käyttöön soveltuvan pölymittauslaitteiston tarpeellisuus sekä tilaajalla olevien Sigicom in data loggreiden hyödynnettävyys Sigicom in pölymittauslaitteiston kanssa. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös selvittää, mikä pölymittausmenetelmä olisi tilaajan tarpeisiin soveltuva. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää kyseisen pölymittauslaitteiston muut mahdolliset käyttökohteet. Tarve tämän työn laatimiselle syntyi tilaajan kiinnostuksesta laajentaa toimintaansa pölymittausten suorittamiseen.</p> <p>Työssä selvitettiin maa-ainesalueella tapahtuvaa pölyämistä, sen syyt ja vaikutukset. Lisäksi tarkasteltiin eri mittausmenetelmien hyvät ja huonot puolet tilaajan näkökulmasta ja menetelmien standardien pääkohtia. Työssä haastateltiin eri viranomaisia heidän näkemyksistään maa-ainesalueiden pölymittauksista, pölymittauksista yleensä sekä maa-ainesalueiden ulkopuolisista pölymittauksista. Lisäksi haastateltiin Sigicom in edustajaa heidän tarjoaman mittalaitteen toimintaperiaatteesta ja sen soveltuvuudesta Suomen olosuhteisiin sekä kyseisen mittalaitteen tulosten luotettavuudesta.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena tilaaja sai käyttöönsä selvityksen, jossa on arvioitu eri pölymittausmenetelmien soveltuvuus ja pölymittauslaitteiston käyttötarve. Työ auttaa sopivan menetelmän ja laitteiston valintaan myös tulevaisuudessa, jos tilaaja päättää investoida pölymittauslaitteistoon.</p>	
Avainsanat Maa-ainesalue, pölymittaus, jatkuvatoiminen mittaus, pölyntorjunta	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author(s) Arttu Kinnunen	
Title of Thesis Needs of Suomen GPS-Mittaus Oy for Dust Measurement Equipment	
Date 25.4.2023	Pages/Appendices 26/0
Client Organisation /Partners Suomen GPS-Mittaus Oy	
<p>The goal of this thesis was to determine the need for a suitable dust measurement system for the client's use and to find out how to use Sigicom's data loggers that the client already has. The goal of this thesis was also to find out which method of dust measurement would be best for the needs of the client. Also, the goal was to identify the other possible uses of the dust measurement systems to possible external projects of the client. The need for this thesis emerged from the client's interest in expanding their activity to dust measurement.</p> <p>The thesis covered dusting in the soil area and its causes and effects. The pros and cons of the different measurement methods were examined from the client's point of view and the key features of the standards of the methods were examined. Various authorities were also interviewed about their views on dust measurements in soil areas, dust measurements in general and dust measurements outside the soil areas. In addition, a representative of Sigicom was interviewed about the operating principle of the measuring instrument they have and its suitability for Finnish conditions and the reliability of the results of the measuring instrument.</p> <p>As a result of the thesis, the client became aware of the suitability of different measurement methods for the need of the client. This thesis will also help to select the appropriate method and equipment in the future, if the client decides to invest in the dust measurement equipment.</p>	
Keywords soil sites, dust measuring, continuous monitoring, dust suppression	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	PÖLY JA SEN MITTAAMINEN	6
2.1	Kiviainestuotannossa tapahtuvaan pölyämiseen liittyvät vaatimukset.....	9
2.2	Pölyn mittausmenetelmät ja niihin johdetut standardit	10
2.3	Pölymallintaminen maa-ainesalueilla	13
3	ERILAISTEN PÖLYMITTAUSMENETELMIEN VERTAILU.....	14
3.1	Ilmatieteen laitoksen jatkuvatoimisten mittalaitteiden tutkimus.....	16
3.2	Haastattelu Kuopion kaupungin lupaviranomaisten kanssa.....	18
3.3	Haastattelu viranomaisen kanssa	19
3.4	Haastattelu SIGICOM:n yhteyshenkilön kanssa	20
3.5	Mahdollisia pölymittauskohteita SGM:lle	21
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	23
5	POHDINTA.....	24
	LÄHTEET	25
	Kuva 1. Kiviainestuotannon prosessikaavio (Laurila, 2010, Laurila & Hakala 2010, 17).....	6
	Kuva 2. Kuvaleike vedellä suoritettun pölysidonnan näkyvät vaikutukset (Laurila & Hakala 2010, 27).	8
	Kuva 3. Kuvaleike. Keräimen osat. (SFS 3863, 2)	11
	Kuva 4. Kuvaleike. Suojakotelo ja keräin. (SFS 3863, 1977, 3)	12
	Kuva 5. Pölyn leviäminen Cadna A- ohjelmalla. Pölyn leviäminen 8 ilmansuuntaan tuule nopeuden ollessa 3m/s ja PM(2,5)-hiukkaspäästön vuorokauden maksiarvot ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). (Rytönen 2014, 43).	14
	Kuva 6. Osiris-mittalaite. (Walden ym. 2017, 18)	18
	Kuva 7. Infra Net kokonaisuus (Sigicom tuotekatalogi 2022, 7)	20

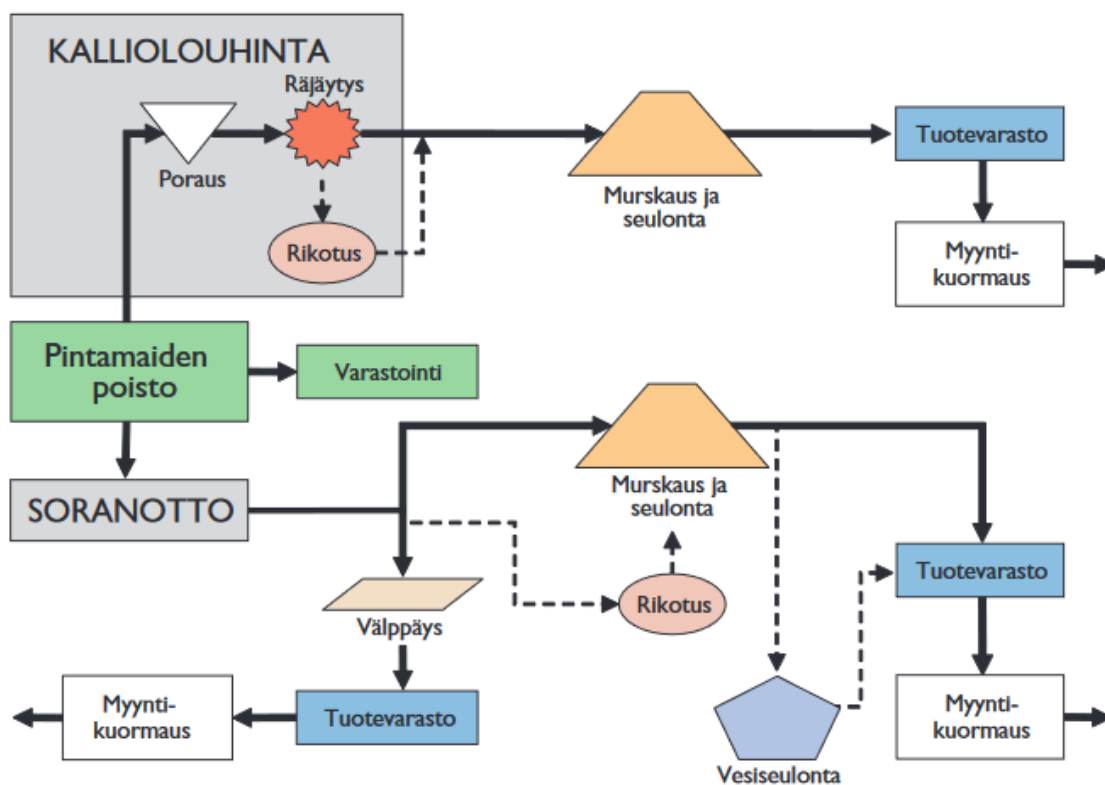
1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Suomen GPS-Mittaus Oy, johon olen opinnäytetyön lisäksi suorittanut kaksi ympäristötekniikan opetussuunnitelmaan vaadittua harjoittelujaksoa. Suomen GPS-Mittaus tekee muun muassa maa-aines- sekä ympäristölupahakemuksia maa-ainesten ottotoimintaan ja suorittaa näissä maa-aines- ja ympäristöluvissa vaadittuja tarkkailuvelvoitteita. Näitä tarkkailuvelvoitteita ovat muun muassa pohja- ja pintavesinäytteenotto, melu- ja värinämittaukset sekä pilaantuneen maan selvityksiä. Näitä kaikkia Suomen GPS-Mittaus pystyy omilla resursseillaan suorittamaan. Tilaajan suunnitelmissa on laajentaa toimintaansa myös maa-aines- ja ympäristöluvissa vaadittuihin, harvinaisempiin pölymittauksiin ja tarjota pölymittausta luotettavasti myös maa-ainesalueiden ulkopuolisiin hankkeisiin.

Suomen GPS-Mittauksella on käytössään 3 kpl Sigicom:n INFRA D10 – data logger-laitteita, jotka on suunniteltu keräämään dataa eri mittausantureista. Työn tarkoituksena on selvittää voisiko tähän kyseiseen data logger- laitteistoon liitettävät pölymittausanturit toimia tilaajan tarpeisiin ja soveltuvatko ne ympäristöluvissa mainittuihin pölymittausvaatimuksiin. Lisäksi tarkoituksena on selvittää kyseisten pölymittausantureiden muut mahdolliset käyttökohteet verrattuna tilaajan mahdollisiin ulkopuolisiin hankkeisiin sekä selvittää muita mahdollisia pölymittausmenetelmiä tilaajan tarpeisiin.

2 PÖLY JA SEN MITTAAMINEN

Maa-ainesalueilla pölyämistä tapahtuu yleensä kaikissa alueella tehtävissä toiminnoissa. Suurin yksittäinen kiviainespölyn lähde maa-ainesalueilla on kuitenkin murskausprosessi (kuva 1). Murskausprosessiin lasketaan mukaan muun muassa itse murskain, murskaimen syöttöaukko, kuormausta kuljettimessa, valmiin aineksen pudotuskorkeus kiviaineskasaan sekä prosessissa käytettävä seulonta. Myös porauksesta, louhintaräjähdyksistä ja valmiin aineksen kuormaamisesta syntyy maa-ainesalueilla murskauksen lisäksi kiviainespölyä merkittäviä määriä.



Kuva 1. Kiviainestuotannon prosessikaavio (Laurila, 2010, Laurila & Hakala 2010, 17)

Kiviainespölyllä tarkoitetaan tässä yhteydessä ilmassa olevia hiukkasia. Hiukkaspitoisuutta kuvaa kokonaisleijuma (TSP) ja hengitettävät hiukkaset (PM_{10}) jotka sisältävät myös pienhiukkaset ($PM_{2,5}$). Kokonaisleijumalla tarkoitetaan hiukkasten kokonaispitoisuutta, hengitettävillä hiukkasilla (PM_{10}) halkaisijaltaan alle $10\ \mu m$ kokoisia hiukkasia ja pienihiukkasilla ($PM_{2,5}$) halkaisijaltaan alle $2,5\ \mu m$ kokoisia hiukkasia. Suurin osa maa-ainesalueilla kiviaineksen tuotannossa muodostuvista pölypäästöistä on halkaisijaltaan yli $10\ \mu m$ hiukkasia. (Laurila & Hakala 2010, 23). Ei ole täysin yksiselitteistä kuinka pitkille etäisyyksille voivat $10\ \mu m$ kokoiset hiukkaset kulkeutua, vaan tähän vaikuttaa esimerkiksi sääolosuhteet, alueen topografia ja murskattava materiaali. Esimerkiksi kaivostoiminnassa muodostuvissa pölypäästöissä voi olla jopa yli $30\ \mu m$ kokoluokan hiukkasia, jolloin tavallinen kulkeutumismatka näille hiukkasille on 30–90 m luokkaa. (Ramboll 2022, 147).

Maa-ainesalueilla toimiessa kiviainespöly muodostaa haittaa ja harmia sekä terveydelle että ympäristölle. Ympäristölle haitalliset tekijät koetaan yleensä viihtyvyyteen vaikuttavina tekijöinä, esimerkiksi esineiden, autojen ja ulkona kuivumassa olevan pyykin tai rakennusten likaantumisenä. Ympäristölle haitallisia vaikutuksia on esimerkiksi kivipölyn kulkeutuminen alueella olevaan vesistöön esimerkiksi tuulen vaikutuksesta. Mahdollisia vaikutuksia näin ollen voisi olla veden sameuden lisääntyminen tai murskatun aineksen mukana pölyhiukkasiin tarttuneiden haitta-aineiden päätyminen vesistöihin. Haitta-aineet ja niiden pitoisuudet riippuvat murskatusta materiaalista ja niiden kulkeutuminen ympäristöön pölyntorjuntamenetelmien onnistumisesta. Kuten todettua, pölyä voi muodostua myös murskaustoiminnan ulkopuolelta esimerkiksi kuljetuksesta. Esimerkiksi räjäytyksissä käytettyä räjäytysainetta sekä jo poistettujen ja varastoitujen pintamaiden ravinteita voi joutua alueella olevaan vesistöön sekä sateiden ja siitä johtuvan valunnan vaikutuksesta. Kiviainespölyn negatiivisiksi terveysvaikutuksiksi luetaan sekä hengitettävät hiukkaset, jotka pystyvät tunkeutumaan hengitettynä ilman mukana keuhkoihin asti, että pienhiukkaset, jotka taas saattavat kulkeutua samalla tavalla aina keuhkorakkuloihin asti (Ympäristö 2015).

Hiukkaskoko vaikuttaa myös hiukkasten kulkeutumiseen. Kun hiukkasen halkaisija on yli 10 µm on todennäköisempää, että tämän kokoluokan hiukkaset laskeutuvat lähelle päästölähdettä, eli tässä tapauksessa lähelle joko murskaus- tai porausaluetta (Laurila & Hakala 2010, 23). Halkaisijaltaan suuremmat ja painavammat hiukkaset eivät kulkeudu tuulen vaikutuksesta niin kauas kohteesta, kuin pienemmän kokoluokan hiukkaset. Toisaalta Saharan autiomaan hiekkaakin mahdollista koviä myrskyjen seurauksena kulkeutua aina Suomeen asti. Kokonaisuudessaan kiviainestuotannossa pölypäästöjen ja hiukkasten leviäminen riippuu hiukkaskokojakaumasta, ympäristöstä ja murskattavasta materiaalista. Ympäristöllä tarkoitetaan tässä murskausprosessin sijaintia maa-ainesalueella sekä alueen pinnamuotoja, alueella olevaa kasvillisuutta ja sen välittömässä läheisyydessä olevalla kasvillisuudella sekä mahdollisesti lähistöllä olevaa vesistöä. Ennen kaikkea sääolosuhteilla kuten sateella ja tuulella on vaikutusta hiukkasten leviämiseen, sillä tuuli pystyy kuljettamaan pölypäästöjä pitkiäkin matkoja, kun taas vesipisarat pystyvät sitomaan hiukkasia itseensä. Vettä käytetäänkin pölyntorjuntamenetelmissä nimenomaan sitomaan hiukkasia veden kanssa pölyämisen estämiseksi. Kiviainesta murskatessa vaikuttaa hiukkaspäästöihin myös murskattava aines ja sen eri muuttujat. Näitä muuttujia ovat kiviaineksen kovuus, raekoko, tiheys, kosteus, syötettävän aineksen palakoko sekä mineraalirakenne. (Opasnet 2017.)

Helppompia tapoja vähentää pölypäästöjä maa-ainesalueilla kiviainestuotannon yhteydessä on pyrkiä pölyntorjunnan toimenpiteisiin jo murskausvaiheessa. Kaikista yksinkertaisin toimenpide tällöin on toiminnan sijoittaminen alueella. Pelkästään jo suunnitellessa toimintojen sijainteja pystytään yleensä vähentämään merkittävästi kivenmurskaustoiminnan pölypäästöjä. Toimintatapoja, joita voidaan suunnitella jo hyvissä ajoin ja joilla pystyy kiviainespölypäästöjä vähentämään ovat murskattavan materiaalin virtaaman suurentaminen ja murskauskorkeuden hihnoilta materiaalin pudotuskorkeuden pienentäminen, jolloin putoava aines ei pölyä niin paljon. (Laurila & Hakala 2010, 24). Jos sijoittamisella ja toimintatapojen suunnittelulla ei saada riittävän hyviä tuloksia kiviainespölypäästöjen vähentämisessä, käytetään lisäksi pölyntorjuntamenetelmiä. Pölyntorjuntamenetelmiä on hyvä käyttää siitä huolimatta, jos ne ovat jo valmiina liitettynä murskaimeen tai ne ovat jo valmiiksi olemassa yrityksellä, joka murskausta harjoittaa.

”Pölyntorjuntamenetelmät voidaan luokitella seuraavasti:”

1. ”Prosessin eristäminen ympäristöstä esimerkiksi koteloinnilla.”
2. ”Pölyn sidonta, jolla ehkäistään syntyneiden pölyhiukkasten nouseminen ilmaan”
3. ”Pölyn sieppaaminen ilmasta vesipisaroilla ja palauttaminen prosessiin niin sanotuilla suihkutusmenetelmillä”
4. ”Pölyn keräys” (Laurila & Hakala 2010, 25).

Pölyntorjuntamenetelmiä voidaan yhdistellä käyttökohteiden ja olosuhteiden mukaan, mutta nykytiedon valossa kyseisiä menetelmiä ei voi asettaa paremmuusjärjestykseen. Kotelointi itsessään on erittäin tehokas ja hyvin yksinkertainen pölyntorjuntamenetelmä. Koteloinnilla murskausprosessin pölyävät osat nimensä mukaisesti koteloidaan. Hyvin toteutettuna ja oikein huollettuna on mahdollista tehdä koko prosessista tai vain prosessin pölyävämmistä osasta suljettu. Näin ollen oikein toteutettuna muita pölyntorjuntamenetelmiä ei välttämättä tarvita. (Laurila & Hakala 2010, 25.)

Suomalaisilla maa-ainesalueilla kiviainestuotannossa yleisin käytössä ollut pölyntorjuntamenetelmä pölyämistä ja kiviainespölyä vastaan on pölynsidonta. Pölynsidontaan voidaan käyttää pelkkää vettä ja joskus myös pölynsidontakemikaaleja veden kanssa (kuva 2). Veden käyttö pelkästään pölynsidontamenetelmänä, on yleisesti halvin ja helpoin pölyntorjuntakeino toteuttaa. Vesi kuitenkin yleensä joudutaan tuomaan alueelle erikseen, joka lisää kustannuksia. Pölynsidonnalla voidaan vähentää ennen kaikkea hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) leviämistä sitomalla ne veteen ja näin ollen putoamaan päästölähteensä ympäristöön. Pölynsieppaamista voidaan suorittaa suihkutusmenetelmillä, joita ovat esimerkiksi paineruiskutus, jota käytetään usein koteloinnin kanssa. Vaikka menetelmän tarkoitus on yleensä minimoida veden kulutusta, tietoa pölynsieppaamisen puhdistustehokkuudesta on vähän (Laurila & Hakala 2010, 26–27).



Kuva 2. Kuvaleike vedellä suoritettujen pölynsidontan näkyvät vaikutukset (Laurila & Hakala 2010, 27).

2.1 Kiviainestuotannossa tapahtuvaan pölyämiseen liittyvät vaatimukset

Maa-ainesalueilla tapahtuvasta toiminnasta aiheutuvan pölyn raja-arvoista ja tarkkailusta säädetään valtioneuvoston asetuksissa 314/2017, 800/2010 sekä 79/2017, jotka on tehty ympäristöministeriön esityksistä. Kyseisillä asetuksilla täydennetään ympäristönsuojelulakia. Ympäristönsuojelulain tarkoituksena on

”1) ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja;”

”2) turvata terveellinen ja viihtyisä sekä luonnontaloudellisesti kestävä ja monimuotoinen ympäristö, tukea kestävää kehitystä sekä torjua ilmastonmuutosta;”

”3) edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä sekä vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta ja ehkäistä jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia;”

”4) tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja huomioinnin ottamista kokonaisuutena; sekä”

”5) parantaa kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöä koskevaan päätöksentekoon.” (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 1§).

Valtioneuvoston asetuksen kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta mukaan

”Toimintaa ei saa sijoittaa alle 400 metrin päähän sairaalasta, päiväkodista, hoito- tai oppilaitoksesta taikka muusta melulle tai pölylle erityisen alttiista kohteesta. Kivenlouhimo, muu kivenlouhinta ja kivenmurskaamo on lisäksi sijoitettava siten, että melua tai pölyä aiheuttavan toiminnon etäisyys asumiseen tai loma-asumiseen käytettävään rakennukseen tai sen välittömässä läheisyydessä sijaitsevaan oleskeluun tarkoitettuun piha-alueeseen tai muuhun häiriölle alttiiseen kohteeseen on vähintään 300 metriä.” (Valtioneuvoston asetus kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta annetun asetuksen muuttamisesta 314/2017, 3§).

Yleensä maa-ainesalueet sijaitsevat taajama-alueiden ulkopuolella kaukana kyseisistä kohteista. Ympäristön osalta mahdollisesti altistuvia kohteita maa-ainesalueiden läheisyydessä voivat olla esimerkiksi pellot ja vesistöt.

Alkuperäisen valtioneuvoston asetuksen kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristön suojelusta mukaan

”Pölylähteet on sijoitettava teknisten mahdollisuuksien mukaan toiminta-alueen alimmalle kohdalle. Kiven porauksessa syntyvän pölyn leviämistä on estettävä sijoittamalla porausvaunuihin pölynkeräyslaitteet tai käyttämällä muuta pölyn leviämisen estämisen kannalta parasta käyttökelpoista tekniikkaa. -- Jos kivenmurskaamo sijoitetaan alle 500 metrin päähän asumiseen tai loma-asumiseen käytettävästä rakennuksesta tai sen välittömässä läheisyydessä sijaitsevasta oleskeluun tarkoitettuun piha-alueesta tai muusta häiriölle alttiista kohteesta, on pölyn joutumista ympäristöön estettävä kastelemalla tai koteloimalla päästölähteet kattavasti ja tiiviisti taikka käyttämällä

muuta pölyn torjumisen kannalta parasta käyttökelpoista tekniikkaa.” (Valtioneuvoston asetus kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta 800/2010, 4§).

Jos maa-ainesalueen etäisyys mahdollisiin pölylle altistuviin kohteisiin on riittävän suuri, alueen topografia on suotuinen toiminnanharjoittajaa kohtaan ja BAT (Best Available Technology eli paras käytettävissä oleva tekniikka) on käytössä ei välttämättä tarvita pölypäästöjen tarkkailua ja mittaamista (Vna 800/2010, 13§). Myös pölymallinnuksella pystytään ennustamaan maa-ainesalueilla tapahtuvaa pölyämistä alueella tapahtuvien toimintojen mukaan.

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta (Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 79/2017, 4§, Liite 8) mukaan hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) 24 tunnin raja-arvo on 50 µg/m³, jolloin sallittujen ylityksien määrä kalenterivuotta kohtaan on 35 krt/vuosi. Vuosikeskiarvon mukaan tarkasteltuna raja-arvo on 40 µg/m³. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) osalta ei ole määritetty 24 tunnin raja-arvoa vaan pelkkä vuosikeskiarvo, joka on 25 µg/m³. Näin ollen terveyshaittojen vähentämiseksi ja ehkäisemiseksi hengitettävien- ja pienhiukkasten pitoisuudet eivät saa ylittää kyseisiä raja-arvoja.

Alueen kasvillisuuden ja väestön mahdollinen altistuminen ilmanlaadun epäpuhtauksille vaikuttaa seurannan toteuttamistapaan, jos mittaamista vaaditaan. Ilmanlaadun jatkuvilla mittauksilla saadaan tietoa alueen päästöjen vaihtelusta, sekä lyhyt- ja pitkäaikaisia tuloksia. Suuntaa antavilla mittauksilla taas pystytään selvittämään ilmanlaatua alueella, jonka pitoisuustasot eivät ole tiedossa. Suuntaa antavat mittaukset voidaan suorittaa sekä lyhyt- että pitkäkestoisina mittauksina, joiden kattavuus tai jokin muu laatutavoite tai velvoite ei täytä jatkuvatoimisen mittauksen vaatimuksia. (Ilmanlaadun mittausohje 2017, 17).

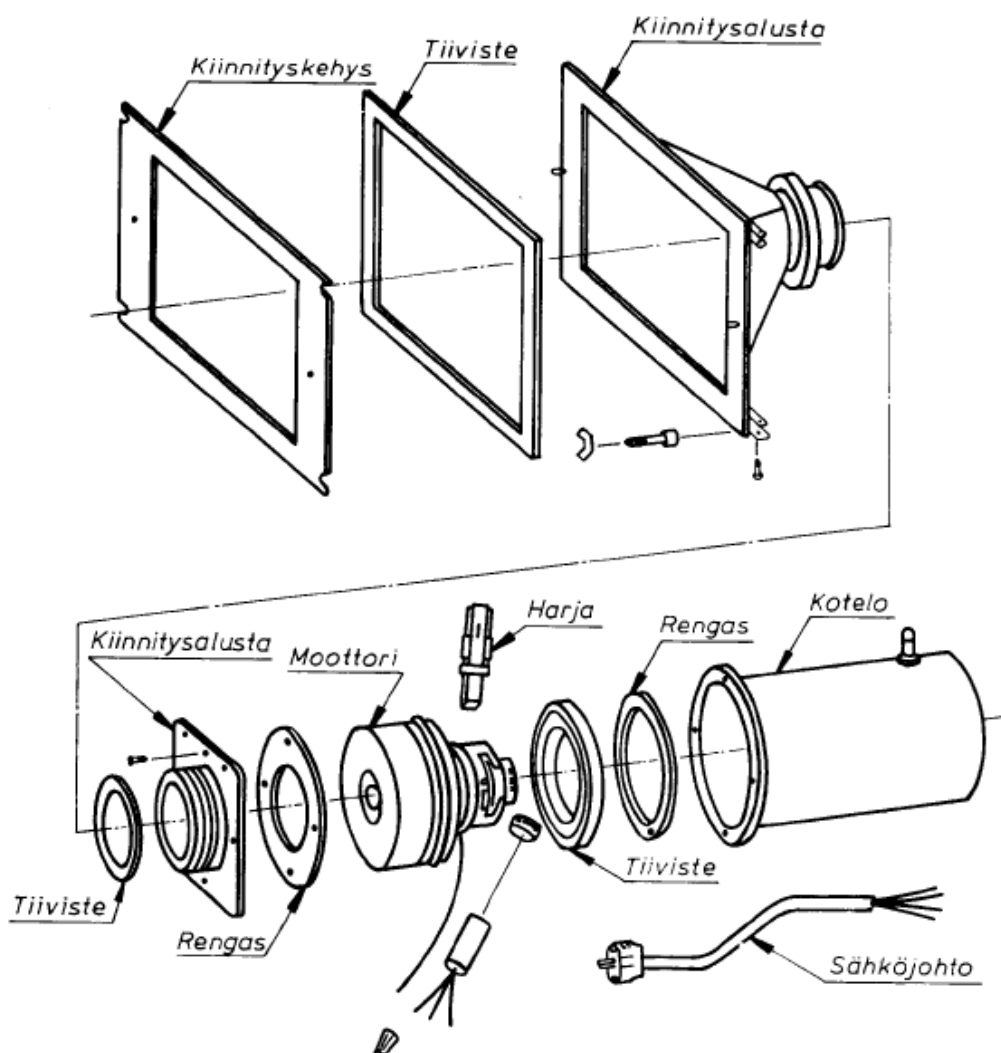
2.2 Pölyn mittausmenetelmät ja niihin johdetut standardit

Ilmatieteenlaitos suosittelee hengitettäville hiukkasille ja pienhiukkasille vertailumenetelmää massa-pitoisuuden määrittämiseksi sekä jo käytännössä poistunutta menetelmää nimeltä kokonaisleijumamittaus, joka on kuitenkin vielä osin käytössä. Vaikka kyseisen menetelmän standardi on jo poistettu käytöstä Suomessa, se on edelleen käyttökelpoinen. Vertailumenetelmänä käytetään standardia SFS 12341 vuodelta 2014 ja kokonaisleijumamittausmenetelmänä käytetään standardia SFS 3863 vuodelta 1977. Jatkuvatoimisille mittauksille taas Ilmatieteen laitosa suosittelee standardia SFS 16450 vuodelta 2017. (Ilmanlaadun mittausohje 2017, 32–33, 37).

Vertailumenetelmää käyttäen saadaan pölyn kokonaismäärä. Vertailumenetelmä jakaa ulkoilman hiukkaset eri kokoluokkaan eli alle 2,5 µm sekä 2,5–10 µm halkaisijaltaan oleviin hiukkasiin. Jakaminen tapahtuu kokoa luokittelevan näytteenottimen avulla. Näytteenottimen toimintalaajuus on 1 µg/m³ aina 120 µg/m³ (PM_{2,5}) tai 150 µg/m³ (PM₁₀). Vertailumenetelmää käyttäessä pystytään käyttämään erilaisia näytteenottimia ja säätämään virtausnopeuksia. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon niiden vastaavuus menetelmän nähden. Lisäksi vertailumenetelmää käyttäen pystytään käyttämään erityyppisiä suodatinmateriaaleja, esimerkiksi lasikuitu ja teflon. Suodattimen punnitus on

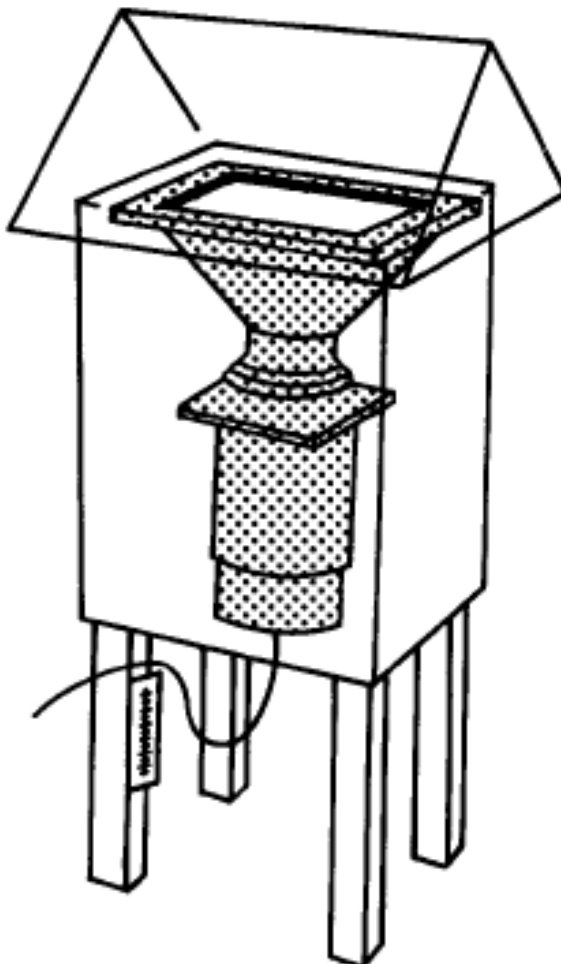
vaativaa ja tarkka toimenpide, jotta tulokset olisivat luotettavia. Punnituksessa ja tulosten käsittelyssä tarvitaan osaavaa henkilökuntaa ja hallitut laboratorio-olosuhteet. (SFS 12341, 2014, 7, 15–16.)

Kokonaisleijumamittaus soveltuu ulkoilman pölyn massan määrittämiseen, jos tarkoituksena on mitata päiväkohtaisia arvoja. Vaikka menetelmä on tarkoitettu päivittäiseen käyttöön, voi mittauksia suorittaa useita päiviä putkeen, jolloin saadaan pitempi aikaista tietoa alueen ilmanlaadusta. Vaikka tämä standardi on jo poistettu käytöstä Suomessa tätä menetelmää voi silti käyttää edelleen erityisissä kohteissa, kuten murskaamot ja rakennustyömaat. (Ilmanlaadun mittausohje 2017, 33.) Leijumamittauksiin käytetty keräin muodostuu kiinnityskehystä, suodattimen kiinnitysalustasta ja suodattimesta (Kuva 3), joka kiinnitetään moottoriin, joka imee ilmaa suodattimen läpi ennakkoon valitulla imunopeudella. Imunopeuden ollessa yleensä 20–30 l/s. (SFS 3863, 1977, 1–2).



Kuva 3. Kuvaleike. Keräimen osat. (SFS 3863, 2)

Keräimen suojaksi on rakennettava suojakotelo (kuva 4) säänkestävästä materiaalista. Suojakotelon katon on oltava sellainen, että keräin on suojassa sateelta ja suoralta pölyltä. Tulosten laskeminen vaatii tässäkin menetelmässä tarkkaa punnitusta laboratorio-olosuhteissa. (SFS 3863, 1977, 1–5.)



Kuva 4. Kuvaleike. Suojakotelo ja keräin. (SFS 3863, 1977, 3)

Kolmantena menetelmänä on jatkuvatoimiset hiukkanalysointilaitteet, jotka pystyvät mittaamaan ja määrittämään hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) massapitoisuudet kuin myös TSP:n mitattua muutamista minuuteista tunnin tarkkuuteen. Jatkuvatoimisista hiukkanalysointilaitteista saadaan edellisiin menetelmiin verrattuna huomattavasti tarkempaa tietoa ja selville hiukkaspitoisuuksien vaihteluita. Lisäksi on mahdollista seurata myös äkillisiä ilmanlaadun muutoksia, mikäli näin sattuu mittaushetkellä tapahtumaan. Halutessaan voidaan mittausjärjestelmään asettaa hälytys ennalta määritetyn raja-arvon ylitymisestä. Tämä hälytysviesti on mahdollista ohjelmoida saatavaksi tekstiviestiksi. Kun käytetään menetelmänä jatkuvatoimista hiukkanalysointilaitetta, on noudatettava standardia SFS 16450 vuodelta 2017. (Ilmanlaadun mittausohje, 2017, 37.) Standardi pitää sisällään ohjeet jatkuvatoimisten hiukkanalysointilaitteiden tyyppitestauksen vaatimuksia

sekä optisen mittauksen toteutuksessa huomioon otettavat asiat, esimerkiksi kalibroinnin (SFS 16450, 2017, 12–15, 32).

Euroopan Unionin direktiivi (2008/50/EY) määrittelee omille jäsenmailleen hiukkasmittausten vertailumenetelmän, joka pohjautuu hiukkasten gravimetrisen menetelmään. Ilmatieteenlaitos on suorittanut vuosina 2014–2015 $PM_{(2,5)}$ ja $PM_{(10)}$ mittausmenetelmien yhdenmukaisuuden osoittamisen vertailumenetelmää vastaan. Tutkimuksessa testattiin jatkuvatoimisten mittalaitteiden tulosten yhteneväisyyttä tavallisen gravimetrisen menetelmän tulosten kanssa. Näin ollen olisi mahdollista käyttää myös 2008/50/EY direktiivin mukaista jatkuvatoimista menetelmää. Kyseiseen tutkimukseen osallistui yhteensä kahdeksan eri jatkuvatoimista mittalaitetta, joista yksi ei läpäissyt hyväksytysti kumpakaan vaatimusta $PM_{(2,5)}$ ja $PM_{(10)}$ mittauksille. Yksi tutkimukseen valituista mittalaitteista läpäisi hyväksytysti pelkän $PM_{(10)}$ mittauksen vaatimukset ja loput kuusi suorittivat hyväksytysti molempien mitattavien suurteiden vaatimukset. (Walden, Walden, Laurila & Hakola 2017, 4.)

2.3 Pölymallintaminen maa-ainesalueilla

Pölymallintamisessa pystytään nimensä mukaisesti mallintamaan pölyhiukkasten leviämistä sekä pölyhiukkasten kulkeutumista ympäristöön. Mallit voidaan tehdä myös eri sääolosuhteiden mukaisesti. Mallintamisen avulla pystytään erottamaan tietyt toiminnot maa-ainesalueilla toisistaan sekä tietenkin yhdistämään eri toiminnot arvioitaessa pölyn vaikutuksia laajemmalle alueelle. Mallintamista pystytään käyttämään pölymittausten kanssa yhdessä, jolloin saadaan arvioitua mallinnusohjelman mallin luotettavuutta. Paremmat ja luotettavimmat lähtötiedot auttavat luomaan paremman mallin. Tätä yhteistä menetelmää on mahdollista käyttää myös toisinpäin. Eli mallia voidaan hyödyntää pölymittauspisteiden suunnittelussa. (Rytkönen 2014, 32.)

Työn tilaajalla Suomen GPS-Mittauksella on käytössään melumittausohjelma Cadna A, jota pystytään tarvittaessa käyttämään myös pölymallintamiseen. Tästä kattavan opinäytetyön on tehnyt tilaajalle 2014 Henri Rytkönen. Selventävän kuvan (kuva 5) pölymallintamisesta on tehnyt Henri Rytkönen (Rytkönen 2014, 43.). Kuva 5 kertoo hyvin maa-ainesalueella tapahtuvan pölyämisen leviämisestä luonnonmuotojen ja kasvillisuuden mukaan.



Kuva 5. Pölyn leviäminen Cadna A- ohjelmalla. Pölyn leviäminen 8 ilmansuuntaan tuule nopeuden ollessa 3m/s ja PM(2,5)-hiukkaspäästön vuorokauden maksiarvot ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). (Rytkönen 2014, 43).

3 ERILAISTEN PÖLYMITTAUSMENETELMIEN VERTAILU

Hiukkasten vertailumenetelmällä ja kokonaisleijumamittauksella on mahdollista siis saada vain päiväkohtaisia pitoisuuksia, kuten aiemmin kappaleessa 2.3 kerrottiin. Vertailumenetelmällä saadaan kuitenkin määritettyä vuorokaudelle sekä hengitettävät hiukkaset (PM_{10}) ja pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$) erikseen, kun kokonaisleijumamittausmenetelmä nimensä mukaisesti mittaa kokonaisleijumapitoisuuden (TSP). Vertailumenetelmän etuna on myös standardin SFS 12341 sallimat eri näytteenottimet ja suodattimet. Eri suodatinmateriaalin oikeaoppisella valinnalla on mahdollista suorittaa kerätyistä massasta kemialliset analyysit. Kuitenkin vertailumenetelmä vaatii osaavan henkilökunnan ja hallitut laboratorio-olosuhteet punnitusta varten, jotta tuloksista saadaan luotettavat. (Ilmanlaadun mittausohje, 2017, 29, 32.) Vertailumenetelmä soveltuu ulkoilman epäpuhtauksien mittaamiseen, mutta standardin SFS 12341 avulla vertailumenetelmä soveltuu myös hiukkasmittauksiin (Vna 79/2017, Liite 10).

Kokonaisleijumamittaus soveltuu näiltä osin Suomessa enää eräänlaisiin projektiluontoisiin mittauksiin. Näitä ovat esimerkiksi rakennustyömaiden ulkoilma, turvetuotantoalueet, maa-ainesalueet ja niiden murskausasemat. Näissä kohteissa ulkoilmassa tehtävät mittaukset pystytään suorittamaan standardin SFS 3863 mukaisesti, jota Ilmatieteenlaitos suosittelee käytettäväksi kyseisissä kohteissa. (Ilmanlaadun mittausohje, 2017, 33.)

Jatkuvatoimisen mittaustavan soveltuvuus maa-ainesalueille tulee hyvin ilmi työn tilaajan Suomen GPS-Mittauksen pölymittaussuunnitelmassa. Maa-ainesalueelle myönnetyssä ympäristöluvassa vaadittu pölymittaus suoritettiin ulkopuolisen konsulttiyrityksen laatimien mittaus- ja katselmussuunnitelmien mukaan jatkuvatoimisen pölymittauslaitteiston avulla. Mittauksessa tulisi käyttää jatkuvatoimista hiukkasanalysaattorina Sigicom:n tarjoamaa Infra DM2 pölymittauslaitteistoa, joka mittaa optista menetelmää hyödyntäen hiukkaskokojakaamaa. Infra DM2-menetelmällä saadaan selville $PM_{(10)}$, $PM_{(2,5)}$, $PM_{(1,0)}$ ja TSP. Kyseisen laitteen tarkkuus vastaa standardia ISO 10473 vuodelta 2000. Kyseisellä laitteella voidaan mitata $PM_{(10)}$ pitoisuudet minuutin, tunnin tai vuorokauden mittausajalta. Kyseisessä laitteessa hyödynnetään standardista 3863 tuttua keräintä, laser diffraktiometriä ja HEPA-suodatinta. (Kinnunen 2023.) Laser diffraktiometri tarkoittaa raekokoanalysaattoria, joka mittaa valon taipumista hyväksi käyttäen hiukkasten raekokojakaamaa (Niemelä, 2014, 25). HEPA-suodattimet taas ovat lyhenne sanoista High Efficiency Particulate Air Filter. HEPA-suodattimet ovat erittäin tehokkaita suodattamaan pieniä partikkeleita jopa 99,95 % tarkkuudella, joka auttaa määrittämään hiukkasten kokonaisuuden. (Suodatinmestarit julkaisuaika tuntematon.)

Kyseinen Infra DM2 laitteisto toimii etäohjattavana ja näin ollen sen lähettämiä tuloksia voidaan seurata web-pohjaisen ohjelman kautta. Infra DM2 mittaa mitattavien hiukkasten lisäksi myös kohteen ilman lämpötilan ja kosteuden. Infra DM2 -laitteistolla saadaan jopa standardia 10473 paremmin huomioitua tuloksiin säätila sekä tuulen nopeus ja tuulen suunnan vaihtelut. Infra DM2 mittaa lisäksi kokonaisleijumapitoisuudet (TSP) samanaikaisesti. (Kinnunen 2023.)

Pölymittaussuunnitelmassa mainittua Infra DM2 pölymittauslaitteistoa ei lopulta käytetty vaan päädyttiin käyttämään jatkuvatoimista mittalaitetta nimeltä Optical Particle Sizer, model 3330, jolla pystyttiin mittaamaan suunnitelmassa vaaditut hiukkaskokojakaumat. Mitatut pitoisuudet vuorokauden keskiarvopitoisuudet eivät ylittäneet valtioneuvoston ilmanlaadusta antaman asetuksen 79/2017 mukaisia raja-arvoja. (Kinnunen 2023.)

Jatkuvatoimisen mittauksen järjestäminen on leijumamittausta helpompi toteuttaa, sillä se ei vaadi päivittäistä suodattimen vaihtoa kuin leijumamittaus. Leijumamittaus myös on käytöstä poistuvaa tekniikkaa, mutta se on silti edelleen pätevä mittausmenetelmä.

3.1 Ilmatieteen laitoksen jatkuvatoimisten mittalaitteiden tutkimus

Mitattiinpa millä menetelmällä tahansa, on aina huomioitava, että tuloksiin vaikuttaa mittauspaikan paikkakohtaiset olosuhteet. Lisäksi on mahdollista, että haihtuva yhdisteet voivat hämätä optista mitta-anturia, mutta tämäkin on paikkakohdasta riippuvainen. Ilmatieteen laitoksen vuosina 2014–2015 suorittamaan tutkimukseen otettiin mukaan sellaisia jatkuvatoimisia mittalaitteita, jotka soveltuisivat käytettäväksi Suomen ilmastossa. Vertailuun otettiin mukaan kahdeksan eri jatkuvatoimista mittalaitetta, jotka olivat

1. "FH 62 I-R by Thermo Fisher Scientific, USA (FH 62 I-R);"
2. "Grimm Environmental Dust Monitor, model 180, by GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co. Member of Durag Group, Germany (Grimm 180);"
3. "MP101 CPM, by Environmental SA, France (MP101_CPM)"
4. "Osiris, by Turnkey Instruments Ltd, England (Osiris);"
5. "Synchronized Hybrid Ambient Real-time Particulate Monitor, model 5030 by Thermo Fisher Scientific, USA (SHARP);"
6. "Tapered element oscillating microbalance, TEOM 1405 by Thermo Fisher Scientific, USA (TEOM 1405);"
7. "BAM-1020 Continuous Particle Monitor, Met One Instruments, Inc. (BAM);"
8. "DustTrak Aerosol monitor, model 8535, TSI Incorporated, USA (DustTrak)." (Walden ym. 2017, 12-13).

Tutkimus suoritettiin Kuopiossa Tasavallankadulla sekä Savilahdentiellä, jossa jokainen mittalaite testattiin käytännössä. Tasavallankadulla mittaukset suoritettiin vuoden 2014 puolella ja Savilahdentiellä mittaukset suoritettiin vuoden 2014 lopulta vuoden 2015 kesälle. (Walden ym. 2017, 34–35). Taulukkoon 1 on koottu mittalaitteiden suoriutumisen tutkimuksessa vaatimusten mukaisesti (PM10) ja (PM2,5) hiukkaskoon osalta.

TAULUKKO 1. Mittalaitteiden suoriutuminen tutkimuksessa (Walden ym. 2017, 82)

Mittalaite	(PM ₁₀) kriteeri	(PM _{2,5}) kriteeri
DustTrak 8535	HYLÄTTY	HYLÄTTY
Osiris	HYVÄKSYTTY	HYLÄTTY
FH 62 I-R	HYVÄKSYTTY	HYVÄKSYTTY
Grimm 180	HYVÄKSYTTY	HYVÄKSYTTY
MP101_CPM	HYVÄKSYTTY	HYVÄKSYTTY
SHARP	HYVÄKSYTTY	HYVÄKSYTTY
TEOM 1405	HYVÄKSYTTY	HYVÄKSYTTY
BAM-1020	HYVÄKSYTTY	HYVÄKSYTTY

Vaikka vertailuun otettiin yhteensä kahdeksan mittalaitetta, mutta käyn tässä työssä vain Turnkey Instruments Ltd. tarjoamaa Osiris mittalaitetta (kuva 6). Kyseinen laite on integroitu Sigicom:n Infra Net-järjestelmään ja on osana heidän tarjoamiaan laitteita. Osiris toimii kuten käytännössä kuten muutkin jatkuvatoimiset mittalaitteet imemällä ilmaa itseensä ja määrittämällä optisella analysaattorilla laskemalla hiukkaskokojakaumaa. (Walden ym. 2017, 8, 17, 26.)

Osiris-mittalaite ei läpäissyt hyväksytysti PM(2,5) mittauksen vaatimuksia, mutta suoritti hyväksytysti kuitenkin PM(10) mittauksen vaatimukset. Siitä huolimatta kyseinen laite on Suomessa käytössä esimerkiksi Kuopion kaupungilla ja Helsingin seudun ympäristöpalveluilla (HSY). Esimerkiksi HSY tulee mittaamaan työmaapölyjä Osiris-mittalaitteella Espoon Keilaniemessä (Helsingin seudun ympäristöpalvelut julkaisuaika tuntematon).



Kuva 6. Osiris-mittalaite. (Walden ym. 2017, 18)

3.2 Haastattelu Kuopion kaupungin lupaviranomaisten kanssa

Kuopion kaupungin ympäristötarkastaja Mikko Sokuran (Sokura 2023) mukaan ei hänen työurallaan Kuopion kaupungille ole pölymittauksia suoritettu maa-ainesalueilla. Sokura aloitti työnsä vuonna 2014, joten yhtään pölymittausta ei ole suoritettu maa-ainesalueilla noin yhdeksään vuoteen. Poikkeuksia kuitenkin on. Hän nosti esiin kuitenkin Hepomäen alueen, jossa oli noussut huoli pölystä ja melusta tämän alueen luvituksessa. Taas Kuopion kaupungin ympäristönsuojelutarkastajan Erkki Pärjälän mukaan Hepomäen alueella on mitattu vuosina 2006-2009 hiukkaspitoisuuksia, mutta vain PM_{10} pitoisuuksien osalta. Mittaukset suoritettiin Hepomäellä sijaitsevien Ruduksen kivenlouhimon ja Skanskan asfalttiaseman läheisyydessä sekä jätekeskuksen ja pelastusopiston harjoitusalueen läheisyydessä. (Pärjälä 2023.) Kuopion kaupungin myöntämässä maa-aines- ja ympäristöluvissa, joissa asutusta on alle puolen kilometrin päässä, todetaan yleensä lupaehdoissa mittaukset suoritettava tarvittaessa. Kuopion kaupungin toimesta lupamääräykset maa-aines- ja ympäristöluvissa pölyjen osalta ovat keskittyneet suurimmaksi osaksi pölyntorjuntaan kuin sen mittaamiseen. Tällä tarkoitetaan siis parasta käytettävissä olevaa tekniikka eli BAT. Kun Kuopion alueella maa-ainestenottoa harjoitetaan ja jos asutusta on MURAS-asetuksen mukaisten raja-arvojen eli noin 300 metrin päässä Kuopion käytäntönä on ollut luvan myöntämisvaiheessa, että pölyjen osalta lupamääräyksessä on maininta mitattava tarvittaessa. (Sokura 2023.)

Sokuran mukaan pölymittausta käytännöllisempi ja hyödyllisempi menetelmä on pölynleviämismallinnus. Jos itse pölymittauksiin päädytään maa-ainesalueilla Kuopion alueella, on lähiasukkaalta tultava ilmoitus alueen ilmanlaadun huononemisesta. Ja jos tällöin paikan päällä tehdystä tarkastuksesta

tulee ilmi huomattavasta ilmanlaadun heikkenemisestä, tulee tällöin mittaukset tarpeellisiksi. Kuten pölymittaukset myös melumittaukset ovat säästä riippuvaisia. Molempiin vaikuttaa tuuli sekä sateet. Tämän perusteella hän pitää pölyn leviämismallintamista parempana menetelmänä. Näin ollen Sokura itse edellyttäisi Kuopion kaupungin toimesta luvitusvaiheessa mallinnusta, jolla saa kokonaisvaltaisemman kuvan alueen mahdollisista pölyhaitoista ja pölyämisestä. (Sokura 2023).

Kuopion kaupungin käyttää Osiris-mittalaitetta, joka mittaa optisella menetelmällä jatkuvatoimisesti TSP, PM₍₁₀₎, PM_(2,5) ja PM₍₁₎ hiukkasia (Hnunordion julkaisuaika tuntematon.) Kyseinen laite on Kuopion kaupungilla käytössä suuntaa antavana mittalaitteena. Osiris-mittalaite on PM_(2,5) hiukkasten mittausten osalta suuntaa antava, sillä se ei onnistunut täyttämään jatkuvatoimisen mittalaitteen vaatimuksia Ilmatieteen laitoksen tutkimuksessa, mutta PM₍₁₀₎ hiukkasten mittauksen osalta kyseinen on mittalaite suoritti hyväksytysti vertailumittaukset (Walden, Hillamo, Aurela, Mäkelä & Laurila 2010. 52, 66; Pärjälä 2023). Kuopion kaupungilla on käytössään myös AQ Guard Ambient-mittalaitteita, jotka tällä hetkellä ovat Siilinjärven Yaran- kaivoksen ympäristössä. AQ Guard Ambient-mittalaitteet luokitellaan vielä suuntaa antaviksi mittalaitteiksi, mutta vertailumittaukset ovat parhaillaan menossa Helsingissä. (Pärjälä 2023.)

Sokuran mukaan maa-ainesalueiden ulkopuolella Kuopion kaupunki on käyttänyt suuntaa antavaa mittaustilaitetta nimeltään Osiris, jota ei tosiaan luokitella virallisiin tuloksiin soveltuvaksi laitteeksi. Kuopion kaupunki on käyttänyt Osiris-mittalaitetta esimerkiksi puupölyn mittaukseen. Kuopion kaupungissa mittausveloitteet ovat harvassa ja pölyntorjuntamenetelmien on oltava kunnossa. Teollisuuslaitoksissakin Kuopiossa ei pelkästään pölyjen mittauksia suoriteta, vaan mitataan päästöjä, joihin pölyt sisältyvät. Pölyjen käsittelystä ytimekkäästi Sokura ilmoittaa selkeästi, että Kuopio keskittyy pölyjen osalta asujaimistolle tapahtuvaan haittaan. Jos ei semmoista haittaa ole, ei silloin mittaustarvetta nähdä tarpeelliseksi. (Sokura 2023.)

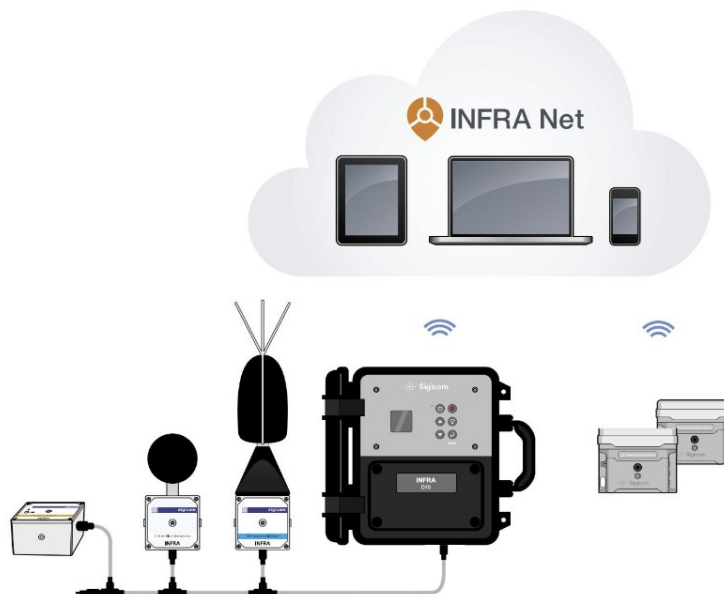
3.3 Haastattelu viranomaisen kanssa

Tässä suoritettiin haastattelu viranomaisen kanssa, jonka tulokset tulevat vain työn tilaajan käyttöön.

3.4 Haastattelu SIGICOM:n yhteyshenkilön kanssa

Sigicom:n myyntipäällikkö Geoffrey Rigsby toi lyhyessä haastattelussaan esille sen, että Sigicom:n tarjoama pölymittausanturi INFRA X20DM2 ei ole heidän itsensä suunnittelema ja rakentama mittausanturi. Kyseinen laite on Turnkey Instruments Ltd. tarjoama Osiris pölymittauslaite, johon he ovat integroineet oman Infra-ohjelman. Kyseinen Infra-ohjelma pohjautuu Infra System ja Infra Net-järjestelmien yhteensopivuuteen ja niiden saumattomaan yhteyspeliin (kuva 7). Infra System mahdollistaa siis useiden Sigicom:n mitta-antureiden liittämistä samanaikaisesti heidän dataloggeriin. Uusimmat mitta-anturit eivät enää tarvitse suoraa yhteyttä dataloggeriin, vaan ne pystyvät lähettämään mittausdataa Infra Net-järjestelmään ilman ulkoista lähetintä. Kyseinen dataloggeri sitten lähettää langattomasti dataa Infra Net-järjestelmään, jossa voi reaali-aikaisesti tarkastella mittauksia. (Rigsby 2023).

INFRA – A Complete System for Remote Construction Site Monitoring



Kuva 7. Infra Net kokonaisuus (Sigicom tuotekatalogi 2022, 7)

Sigicom on alusta asti keskittynyt melu- sekä värinämitta-antureiden suunnitteluun ja valmistamiseen. Yritys on laajentanut toimintaansa ja näin ollen ottanut valikoimiinsa myös pölymittausanturit, vaikka ne eivät ole heidän omaa tuotantoaan vaan he ovat integroineet nämä laitteet heidän omaan Infra Net-järjestelmään. Tämä kyseinen pölymittauslaite vaatii pienempää ylläpitoon tarkoitettua huoltoa, mutta mittalaite huolletaan ja kalibroidaan heidän toimestaan kerran vuodessa. Mittalaite

käyttää myös suodattimia, joita pitää vaihtaa tarvittaessa. Näin ollen kyseisen laitteen huolto on helppoa kuluttajan näkökulmasta. Lisäksi kun Infra X20DM2 mittauslaite on integroitu heidän omaan Infra Net- palveluun, joten mittausdataa pystyy helposti seuraamaan vain kirjautumalla Infra Net-järjestelmään jota kautta saa myös valmiit kuvaajat, kaaviot ja numerot raportteja varten. (Rigsby 2023).

Turnkey:n Osiris mittalaitteella on Yhdistyneiden kuningaskunnan Environmental Agency (EA) MCERTS-sertifikaatti. MCERTS tulee sanoista Monitoring Certification Scheme. MCERTS on EA:n myöntämä sertifikaatti päästöjen monitorointiin. Kyseinen mittalaite on suorittanut MCERTS-sertifikaatin vaatimuksen mukaisesti PM_{10} hiukkasten mittaamisen, mutta ei ole vielä suorittanut $PM_{2,5}$ hiukkasten mittaamisen vaatimuksia hyväksytysti. Infra X20DM2 mittalaitetta parhaimmillaan kehitetään $PM_{2,5}$ hiukkasten mittaamiseen. Kyseinen mittalaite on menestynyt samalla tavalla myös Ilmatieteen laitoksen suorittamassa tutkimuksessa vuodelta 2017, aivan kuten kappaleessa 3.1 mainittiin. Tämän tutkimuksen pohjalta Sigicom pölymittauslaitettaan markkinoi pohjoismaissa asiakkailleen. (Rigsby 2023).

Rigsby osasi kertoa, että tätä heidän kyseistä pölymittauslaitettaan on Suomessa käytetty nimenomaan maa-ainesalueiden pölymittauksiin sekä räjäytystöissä. Liikenteen päästöihin hän ei ole kuuluttanut laitetta käytettävän, sillä liikenteen päästöistä mitataan kaikkea muitakin päästöjä, esimerkiksi hiilivetyjä ja typen oksideja. Sisäilman mittauksiin heidän tarjoama laite ei sovellu, sillä siihen se ei ole tarpeeksi tarkka ja sisäilman mittauksiin on olemassa parempia ja tarkempia mittalaitteita. Heidän pölymittauslaitettaan on käytetty niin lyhyissä viikosta kahteen kestävässä mittauksissa, kuin myös koko vuoden kestävässä mittauksissa. Kyseinen laite kestää sään kuin sään ja pitemmätkin mittausjaksot. Infra X20DM2 mittalaite tarvitsee toimiakseen jatkuvasti sähkövirtaa, joten Rigsbyn mukaan kyseinen mittalaite on yleensä ollut kytkettynä sähkövirtaan liittyneen rakennuksen yhteydessä. Mittari myös lämmittää ilmaa eli kuivattavaa ilmaa ja näin ollen partikkeleita ennen hiukkasten imeytymistä optiseen analysaattoriin. Näin ollen saadaan paremmin mitattu hiukkaskokoja-kauma. Myös aurinkopaneeleita on käytetty varmistamaan sähkönsaanti mittalaitteen käytön aikana. (Rigsby 2023).

3.5 Mahdollisia pölymittauskohteita SGM:lle

Siilinjärvellä toimiva Yara on yksi useasta Yaran Suomessa sijaitsevista toimipaikoista. Siilinjärven louhos on Suomen yksi suurimmista avolouhoksista ja Euroopan ainoa fosfaattikaivos. Fosfaattia jalostetaan lannoitteiden ja muiden rehufosfaattien raaka-aineeksi. Kaivoksen lisäksi alueella on myös lannoitetehdas, fosforihappotehdas, typpihappotehdas ja rikkihappotehdas ja lisäksi alueelta muodostuu myös suuria määriä eri sivutuotteita, joista näkyvin on kipsi. (Yaraa julkaisuaika tuntematon).

Alueella tapahtuvan massiivisen toiminnan takia alueella tarvitaan paljon toimia muun muassa ympäristönsuojeluun ja siitä huolehtimiseen. Alueen ympäristövaikutuksista näkyvimpiä ovat maisemaan vaikuttavat sekä vesistöihin vaikuttavat toimet, sillä alueen läheisyydessä on lukuisia järviä ja lampia. Alueen koon takia ja siellä tapahtuvien merkittävien ympäristövaikutusten takia Siilinjärven Yaralle on tehty ympäristövaikutusten arviointeja ja kaivoksen laajentamiseen liittyvä YVA-ohjelma

on juuri tällä hetkellä meneillään. Lisäksi heillä on myös ympäristölupa, joka on alueen koon ja toimintojen takia laajempi ja tiukempi. (Yarab julkaisuaika tuntematon).

Siilinjärven Yaran ympäristöluvassa tuodaan esille lupamääräyksessä 6 alueen kaivoksen toiminnasta tapahtuvia päästöjä, joita on rajoitettava pölynsidonnalla ja jatkuvalla kehittämisellä sekä pölyn keräimien käyttämisellä. Taas lupamääräyksessä 8 tuotantoalueilla päästöjä on rajoitettava jatkuvalla pihojen puhdistuksella ja lupamääräyksessä 58 mainitaan kaikki mittaukset tehtävän standardien mukaisesti. (Ympäristölupa 2016, 106, 120). Siilinjärven Yara on mukana Kuopion seudun ilmanlaadun tarkkailussa, joka kuuluu Kuopion kaupungin alueellisen ympäristönsuojelupalveluiden vastuulle, ja mittaukset suorittavat heille alihankkijana JPP Kalibrointi Ky ja vuodesta 2022 alkaen mittaukset suorittaa Aeri Oy. Vuoden 2021 mittauksen perusteella hiukkaspitoisuudet ylittivät kansalliset ohjeet. Vaikkakin pienhiukkasten vuorokausiarvo sekä vuosikeskiarvo ylittivät Maailman terveysjärjestön ohjeet. (JPP Kalibrointi Ky 2022, 1, 52). Tämän mittauksen lisäksi Siilinjärven Yaran alueella on suoritettu pölymittauksia erillisinä vuosina 2006 ja 2012 Ilmatieteen laitoksen toimesta. Mittaukset suoritettiin kahdessa kohteessa, Varpasenpäässä ja Pahkamäessä. (Ympäristölupa 2016, 6.)

Meneillään olevan YVA-ohjelman mukaan Siilinjärven Yara on ottanut käyttöönsä pastalaitoksen eli uuden rikastushiekan käsittelylaitoksen, joka on vähentänyt pölypäästöjä. Seuranta tapahtuu jatkuvatoimisesti poistoputkista ja kuukausittain tehtävä laboratoriomäärityksellä. Vuositasolla ylityksiä ei ole tapahtunut. Rikastushiekka-alueilla on käytetty tavallisesta poikkeavia pölyntorjuntamenetelmiä kuten lumitykkiä ja kylvämällä kasvillisuutta alueelle. (Ramboll 2022, 54–55, 145).

Siilinjärven Yara:lla pölymittauksia suoritetaan jatkuvatoimisena mittauksena eri prosessien päästöistä osana prosessienohjausjärjestelmää. Tässä yhteydessä mitataan myös muita päästöjä, mitä kyseisten prosessien piippuista ilmaan pääsee. Täysin pölymittauksiin keskittyvät mittaukset suoritetaan yllä mainitun Kuopion seudun ilmanlaadun tarkkailun yhteydessä Kuopion kaupungin toimesta. Kyseisessä seurannassa Siilinjärven Yara on ollut mukana vuodesta 2016 asti. Siilinjärven Yara:n mittaukset suoritetaan kahdessa kohteessa. (Luukkonen 2023).

Mahdollisia kohteita Suomen GPS-Mittaukselle voisi olla erilaiset kaivokset ja louhokset, mutta esimerkiksi juuri Yaran tapauksessa pölymittaukset suoritetaan vuosittain osana Kuopion kaupungin ilmanlaadun tarkkailua. Mahdollisia tästä erillisiä pölymittauksia kuitenkin voi esiintyä, jolloin tekijälle olisi tarve.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pölymittauksia voidaan suorittaa eri tavoin ja soveltaen. Kokonaisleijumamittauksia pidetään standardin kumoamisesta huolimatta edelleen varsin pätevänä ja toimivana ratkaisuna juuri esimerkiksi maa-ainesalueille ja purkutyömaihin. Kuitenkin nämä tarjoavat vain vuorokausikohtaisia tuloksia ja vaativat suodattimen vaihtoa säännöllisesti. Tämä voi joillakin työmailla aiheuttaa haasteita. Nykyaikaiset jatkuvatoimiset mittalaitteet pystyvät tarjoamaan reaaliaikaista dataa jopa minuutti tasolla. Perinteinen vertailumittaus, että kokonaisleijumamittaus vaativat molemmat standardien mukaan suodattimen vaihtoa päivittäin. Nykyaikaisia jatkuvatoimisia mittalaitteita pystytään käyttämään pitempiä mittausjaksoja ilman päivittäistä suodattimen vaihtoa. Tilaajan jo käytössä olevan Sigicom:n mittalaitteet, data loggerit sekä Infra Net- palvelu mahdollistaisivat myös Sigicom:n tarjoaman pölymittalaitteen yhteensopivuuden ja valmiin palvelun tulosten seurantaan ja raporttien taulukointiin. Tämä antaa jo Sigicom:n mittalaitteelle Infra X20DM2 edun muihin mittalaitteisiin verrattuna. Varsinkin kun kyseinen laite on jo Suomessa yleisessä käytössä ja tutkimuksella todistettu luotettavaksi mitatessa $PM_{(10)}$ kokoluokan hiukkasia. Kyseinen laite ei kuitenkaan ole täysin luotettava mitatessa $PM_{(2,5)}$ hiukkasia vaan on silloin vain suuntaa antava. Kuitenkin on olemassa hyväksytyjä pölymittauslaitteita muilta toimijoilta, jos halutaan luotettavat tulokset muustakin kuin vain $PM_{(10)}$ kokoluokan hiukkasista. (Walden ym. 2017, 82).

Tarkemmat tulokset tulevat näkyviin vain tilaajalle.

5 POHDINTA

Tätä työtä tehdessäni ymmärrykseni ja osaamiseni pölymittauksien suorittamiseen, eri mittausmenetelmien ja lainsäädännön osalta kehittyivät ja syventyivät merkittävästi. Ennen opinnäytetyön aloitusta tietoni pölymittauksista kokonaisuudessaan oli heikkoa. Omana tavoitteenani oli lähteä kirjoittamaan mahdollisimman selkeästi, jotta asia olisi mahdollisimman ymmärrettävää muillekin, kuin vain itse tekijälleen. Olen suorittanut kaksi työharjoitteluani tilaajalle ja eri työtehtävieni takia olin päässyt käymään useilla maa-ainesalueilla sekä näkemään murskauslaitoksia käynnissä. Minulla oli jo pientä ymmärrystä maa-ainesalueilla tapahtuvista toiminnoista, sekä yleiskuvaa maa-ainesalueista yleensä.

Ensimmäisenä vaiheena tätä opinnäytetyötä tehdessä oli ymmärtää syvemmin maa-ainesalueilla tapahtuvaa pölyämistä ja sen syitä. Lisäksi tuli syventyä myös kiviainespölyn haittoihin ja vaikutuksiin ympäristölle kuin ihmisille. Toisena vaiheena oli päästä selville maa-ainesalueilla tapahtuvan pölyämisen lainsäädäntöön ja vaatimuksiin, sekä standardeihin. Kun pääsin selvittämään eri mittausmenetelmiä ja niiden hyviä sekä huonoja puolia lukemalla ja syventymällä menetelmiin liittyviin tutkimuksiin ja standardeihin pääsin myös syventymään aiheeseen englannin kielellä sekä haastattelemaan englannin kiellä Sigicommin yhteyshenkilöä.

Tilaaajan tavoitteet tälle opinnäytetyölle saavutettiin osittain, sillä muita mahdollisia kohteita ei meinannut löytyä maa-ainesalueiden ja kaivosten ulkopuolelta. Kuitenkin opinnäytetyön päätavoite oli luoda selvitys, jossa käy ilmi tilaajalle soveltuva pölymittausmenetelmä ja laitteisto. Työ oli itselleni haastava, koska aikaisempaa kokemusta pölymittauksiin ja mittausmenetelmiin ei ollut. Hyvän pohjatyon tehdessäni aiheeseen liittyvien perustietojen kanssa sain hyvät perustukset lähteä työstämään omaa opinnäytetyötäni.

LÄHTEET

Forcit Consulting julkaisuaika tuntematon. Pölymittaus. Verkkojulkaisu. <https://forcitconsulting.fi/polymittaus/>. Viitattu 27.2.2023.

HNU Nordion julkaisuaika tuntematon. Osiris. Verkkojulkaisu. <https://hnunordion.fi/osiris/>. Viitattu 23.1.2023.

HSY julkaisuaika tuntematon. Työmaiden pölyt. Verkkojulkaisu. <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/ilmanlaatu-nyt/tyomaiden-polyt/>. Viitattu 9.2.2023.

Ilmanlaadun mittausohje 2017. Ilmatieteen laitos. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2017. <http://hdl.handle.net/10138/228440>. Viitattu 4.1.2023.

JPP-Kalibrointi Ky 2022. Kuopion seudun ilmanlaatu vuonna 2021. <https://www.kuopio.fi/ilmanlaatu>. Viitattu 14.2.2023.

Kinnunen, Harri 2023. Ympäristöpäällikkö. Suomen GPS-Mittaus Oy. Lähdemateriaalia opinnäytetyöhön. Mittaus- ja katselmussuunnitelmat. Yksityinen sähköpostiviesti 3.1.2023. Viestin saaja: Arttu Kinnunen.

Laurila, Juha & Hakala, Irina 2010. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/37976>. Viitattu 2.1.2023.

Luukkonen, Hanna 2023. Ympäristöpäällikkö. Yara Siilinjärvi. Kysymyksiä opinnäytetyöhön. Yksityinen sähköpostiviesti 27.2.2023. Viestin saaja: Arttu Kinnunen.

Niemelä, Jussi 2014. Yyterin eolisen aineksen provenanssi. Pro gradu tutkielma. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Geotieteiden ja maantieteen laitos. Helsingin yliopisto. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2017112252318>. Viitattu 4.1.2023.

Opasnet 2017. Metallimalmin murskausprosessin pölypäästöt. Verkkojulkaisu. Päivitetty 5.4.2017. [http://fi.opasnet.org/fi/Metallimalmin_murskausprosessin_p%C3%B6lyp%C3%A4st%C3%B6t](http://fi.opasnet.org/fi/Metallimalmin_murskausprosessin_p%C3%B6lyp%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6t). Viitattu 2.1.2023.

Pärjälä, Erkki 2023. Ympäristönsuojelutarkastaja. Kuopion kaupunki. Kysymyksiä opinnäytetyöhön. Yksityinen sähköpostiviesti 23.1.2023. Viestin saaja: Arttu Kinnunen.

Ramboll Oy 2022. Yara Suomi Oy, Siilinjärven kaivos. Kaivoksen laajennuksen ympäristövaikutusten arviointiohjelma. <https://www.ymparisto.fi/yarankaivoslaajennusYVA>. Viitattu 14.2.2023.

Rigsby, Geoffrey 2023. Sales Manager HQ. Sigicom. Haastattelu 30.1.2023.

Rytkönen, Henri 2014. Cadna A-ohjelmiston käyttö maa-ainesten ottoalueiden murskauspölyn mallinnuksessa. Opinnäytetyö. Tekniikan ja liikenteen ala, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014052710409>. Viitattu 17.4.2023.

SFS 3863. 1977. Leijuvan pölyn määrittäminen ilmasta. Tehokeräysmenetelmä. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 12341. 2014. Ambient air. Standard gravimetric measurement method for the determination of the pm10 or pm2,5 mass concentration of suspended particulate matter. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 16450. 2017. Ambient air. Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM₁₀/PM_{2,5}). Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Sokura, Mikko 2023. Ympäristötarkastaja. Kuopion kaupunki. Haastattelu 19.1.2023.

Suodatinmestarit julkaisuaika tuntematon. HEPA-suodattimet. Verkkojulkaisu. <https://suodatinmestarit.fi/teollisuus/hepa-suodattimet>. Viitattu 4.1.2023.

Tammisto, Sari 2016. Purkupiha Oy – Pölymittaukset ja -mallinnus 2016. Raportti. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVA-hankkeet/Purkupiha_Lahti. Viitattu 27.2.2023.

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 79/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170079>. Viitattu 4.1.2023.

Valtioneuvoston asetus kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristön-suojelusta annetun asetuksen muuttamisesta 314/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170314>. Viitattu 4.1.2023.

Valtioneuvoston asetus kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristön-suojelusta 800/2010. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100800>. Viitattu 4.1.2023.

Yaraa julkaisuaika tuntematon. Tehtaat ja kaivos. Verkkojulkaisu. [https://www.yara.fi/tietoa-yarasta-yarasta/yara-suomi/toimipaikat/siilinjarvi/tuotantolaitos/](https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/toimipaikat/siilinjarvi/tuotantolaitos/). Viitattu 14.2.2023.

Yarab julkaisuaika tuntematon. Ympäristö. Verkkojulkaisu. [https://www.yara.fi/tietoa-yarasta-yarasta/yara-suomi/toimipaikat/siilinjarvi/ymparisto/](https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/toimipaikat/siilinjarvi/ymparisto/). Viitattu 14.2.2023.

Ympäristö 2015. Suomen hiukkaspäästöt. Verkkojulkaisu. Ymparisto.fi ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Päivitetty 21.9.2022. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilman_epapuhautudet/Suomen_hiukkaspäästöt\(28647\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilman_epapuhautudet/Suomen_hiukkaspäästöt(28647)). Viitattu 2.1.2023.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>. Viitattu 4.1.2023.

Ympäristölupa, 2016. Yara Suomi Oy:n Siilinjärven toimipaikan ympäristöluvan muutos ja toiminnan-aloittamislupa, Siilinjärvi. Aluehallintovirasto. Ympäristölupa 32/2016/1. <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1197211>. Viitattu 14.2.2023.

Walden, Jari, Hillamo, Risto, Aurela, Minna, Mäkelä, Timo & Laurila, Sisko 2010. Demonstration of the equivalence of PM_{2,5} and PM₁₀ measurement methods in Helsinki 2007-2008. Tutkimuksia 2010:3. Viitattu 23.1.2023.

Walden, Jari, Walden, Tuomas, Laurila, Sisko & Hakola, Hannele 2017. Demonstration of the equivalence of PM_{2,5} and PM₁₀ measurement methods in Kuopio 2014-2015. Raportteja 2017:1. Viitattu 9.2.2023.