

Opinnäytetyö AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

2024

Maiju Harju

Hitsaavan tuotannon ilmanlaadun parantaminen

– Meyer Turku Oy:n telakan 10-halli



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2024 | 42 sivua, 10 liitesivua

Maiju Harju

Hitsaavan tuotannon ilmanlaadun parantaminen

- Meyer Turku Oy:n 10-halli

Opinnäytetyössä tutkittiin, täyttääkö Meyer Turku Oy:n telakan 10-hallin sisäilmanlaatu sille asetetut raja-arvot. Hallin prosesseissa syntyy hitsaushuuruu, joka on vaarallista ihmisen terveydelle. Opinnäytetyössä oli tarkoituksena selvittää hitsaushuuruun haitallisuus sekä pitoisuus 10-hallissa. Ilmanlaatua mitattiin Kemper AirWatch ilmanlaatumittareiden avulla. Saatujen mittaustulosten perusteella tavoitteena oli esittää jatkotoimenpide-ehdotuksia ilmanlaadun parantamiseksi. Työn toimeksiantajana toimi laivarakennusyhtiö Meyer Turku Oy.

Hallin ilmanlaadun arviointi oli aikaisemmin perustunut visuaalisuuteen, kuten näkyvään hitsaushuuruun yläilmassa. Ilmanlaatumittaukset toteutettiin, jotta saatiin tietoa hallin ilmanlaadun nykytilanteesta. Ilmanlaadun parantamiseksi hallissa tulisi vähentää hitsaushuuruja. Ensisijainen keino hitsaushuuruun vähentämiseen on tehokas kohdepoisto. Tämän lisäksi yleisilmanvaihdon avulla tulisi varmistaa ilman vaihtuminen 5-10 kertaa tunnissa.

Ilmanlaatumittauksista saadut tulokset ylittivät ilmanlaadulle asetetut raja-arvot. Ilmanlaatua hallissa voitaisiin parantaa tehokkaan kohdepoiston ja hyvän yleisilmanvaihtoa avulla. Hitsaushuuruun pitoisuuksien alentaminen asetettuihin raja-arvoihin luo edellytykset turvalliselle, terveelliselle ja viihtyisälle sisäilmalle.

Asiasanat:

Ilmanlaatu, Hitsaushuuru, Yleisilmanvaihto, Kohdepoisto

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and environmental technology

2024 | 42 pages, 10 pages in appendices

Maiju Harju

Improving the air quality in welding production

- Meyer Turku Oy hall 10

The thesis examined whether the indoor air quality in the Meyer Turku Oy hall 10 meets the set target levels. The processes in the hall generate welding fumes, which are harmful to human health. The purpose of the thesis was to investigate the harmfulness and concentration of the welding fumes. Air quality was measured by Kemper AirWatch air quality meters. Based on the obtained measurement results, the goal was to present recommendations for further actions. The thesis was commissioned by the shipbuilding company Meyer Turku Oy.

The evaluation of air quality in welding production has previously been based on visual observation, such as the visible welding fumes in the upper air. Measurements were carried out to obtain information on the current state of the air quality. To improve air quality in the hall, it is necessary to reduce welding fumes. The primary method for reducing the concentration of welding fumes is effective local exhaust ventilation. In addition, general ventilation should ensure air exchange 5-10 times per hour.

The measurement results exceeded the set air quality threshold levels. The concentration of the welding fumes needs to be reduced through effective local exhaust ventilation and good general ventilation. Reducing the concentration of welding fumes to the target creates conditions for safe, healthy and comfortable indoor air.

Keywords:

Air quality, Welding fumes, General ventilation, Local exhaust ventilation

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	7
1 Johdanto	8
1.1 Meyer Turku Oy	9
1.2 Tutkimusasetelma	10
2 Teollisuusilmanvaihto	12
2.1 Yleisilmanvaihto	12
2.2 Paikallisilmanvaihto	12
2.3 Ilman epäpuhtauksien viranomaismääräykset	13
2.4 Ilmanlaadun tavoitetaso 10-hallissa	14
2.5 Sisäilmaston mittausmenetelmät	15
3 Ilmanlaadun mittaaminen	16
3.1 Tavoite	16
3.2 Lohkonkoontihalli	16
3.2.1 Lohkonvalmistusprosessi	17
3.2.2 Hitsauksesta syntyvät ilman epäpuhtaudet	18
3.2.3 Aikaisemman ilmamittauksen tulokset	19
3.2.4 Nykyinen yleisilmanvaihto	20
3.2.5 Nykyinen paikallisilmanvaihto	23
3.3 Ilmanlaadun mittaukset	25
3.3.1 Ilmanlaatumittausten toteutus	25
3.3.2 Mittalaite Kemper AirWatch	27
3.3.3 Ilmanlaadun mittaustulokset	28
4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	31
4.1 Ilmanlaadun mittaustulosten analysointi	31
4.2 Ilmanlaatua parantavat toimenpiteet	33
4.2.1 Yleisilmanvaihdon kehittäminen	33
4.2.2 Paikallisilmanvaihdon kehittäminen	34

5 Yhteenveto	38
Lähteet	40

Liitteet

- Liite 1. Ilmanlaatumittausten tulokset
- Liite 2. Nederman Flexpack 1000 tekniset ominaisuudet
- Liite 3. HTP_{8h}-arvot kromille, nikkelille ja mangaanille

Kuvat

Kuva 1. Turun telakan aluekartta 2024 (Meyer Turku Oy 2024e).	10
Kuva 2. 10-hallin lohkonkoontiruudut 2A1, 2A2, 2A3 ja 2A4 sekä noutoruutu 2A5 (Meyer Turku Oy n.d.).	17
Kuva 3. Valmis lohkorakenne (Meyer Turku Oy n.d).	18
Kuva 4. 10-hallin IV-koneet TK34 ja TK35 (Meyer Turku Oy n.d.).	21
Kuva 5. Kuva syrjäyttävästä ilmanjakotavasta (Seppänen 2004, 136).	22
Kuva 6. 10-hallin PI-kaavio.	22
Kuva 7. Nederman Flexpak 1000 keskusimurointiyksikkö.	24
Kuva 8. Mittareiden sijoittelu.	26
Kuva 9. Kemper Airwatch ilmanlaatumittari (Airwell 2024).	28
Kuva 10. Matalapainesovellus metalliteollisuudessa, jossa puhallin, suodatin ja letkusto (Teca Oy n.d).	37
Kuva 11. Nederman Flexpack 1000 tekniset ominaisuudet (Nederman 2021).	51

Kuviot

Kuvio 1. Mittausdata 13.6.2024 koontiruudusta 2A1, mittarilta 1.	43
Kuvio 2. Mittausdata 13.6.2024 koontiruudusta 2A1, mittarilta 2.	43
Kuvio 3. Mittausdata 14.6.2024 koontiruudusta 2A1, mittarilta 1.	44

Kuvio 4. Mittausdata 14.6.2024 koontiruudusta 2A1, mittarilta 2.	44
Kuvio 5. Mittausdata 19.6.2024 koontiruudusta 2A2, mittarilta 1.	45
Kuvio 6. Mittausdata 19.6.2024 koontiruudusta 2A2, mittarilta 2.	45
Kuvio 7. Mittausdata 20.6.2024 koontiruudusta 2A2, mittarilta 1.	46
Kuvio 8. Mittausdata 20.6.2024 koontiruudusta 2A2, mittarilta 2.	46
Kuvio 9. Mittausdata 24.6.2024 koontiruudusta 2A3, mittarilta 1.	47
Kuvio 10. Mittausdata 24.6.2024 koontiruudusta 2A3, mittarilta 2.	47
Kuvio 11. Mittausdata 25.6.2024 koontiruudusta 2A3, mittarilta 1.	48
Kuvio 12. Mittausdata 25.6.2024 koontiruudusta 2A3, mittarilta 2.	48
Kuvio 13. Mittausdata 17.6.2024 koontiruudusta 2A4, mittarilta 1.	49
Kuvio 14. Mittausdata 17.6.2024 koontiruudusta 2A4, mittarilta 2.	49
Kuvio 15. Mittausdata 18.6.2024 koontiruudusta 2A4, mittarilta 1.	50
Kuvio 16. Mittausdata 18.6.2024 koontiruudusta 2A4, mittarilta 2.	50

Taulukot

Taulukko 1. Ilmanlaatumittausten aikataulu.	26
Taulukko 2. PM _{2,5} tulosten keskiarvo, keskihajonta, suurin arvo ja pienin arvo mittarilta 1.	29
Taulukko 3. PM ₁₀ tulosten keskiarvo, keskihajonta, suurin arvo ja pienin arvo mittarilta 1.	29
Taulukko 4. PM _{2,5} tulosten keskiarvo, keskihajonta, suurin arvo ja pienin arvo mittarilta 2.	29
Taulukko 5. PM ₁₀ tulosten keskiarvo, keskihajonta, suurin arvo ja pienin arvo mittarilta 2.	30
Taulukko 7. HTP _{8h} -arvot kromille, nikkeliille ja mangaanille.	Virhe.

Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

HTP	Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet, jotka on asetettu työpaikan ilman epäpuhtauksille (Valtioneuvosto 2020).
HTP _{8h}	Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien kahdeksan tunnin aikapainotettu keskiarvo (Valtioneuvosto 2020).
Ilmanvaihtokerroin	Ilmanvaihtokerroin kuvaa, kuinka monta kertaa ilma vaihtuu tunnin aikana (Sandberg ym. 2016a).
Ilmatase	Ilmatase kertoo ilmavirtojen välisen suhteen (Motiva n.d.).
MIG/MAG	Kaasukaarihitsausmenetelmä, joka on tyypillinen hitsausmenetelmä metallien hitsauksessa (Ionix Oy n.d.).
NEcOLEAP	Meyer Turku Oy:n vihreänsiirtymän veturihanke, jonka tavoitteena on nopeuttaa telakan vihreää siirtymää ja vastata ilmastonmuutoksen vaatimuksiin (Meyer Turku Oy 2024).
PI-kaavio	Prosessi- ja instrumentointikaavio, jota käytetään prosessilaitteistojen kuvaamiseen (Vertex 2024.).
PM _{2,5}	Hiukkanen, jonka aerodynaminen halkaisija on alle 2,5 µm (Sandberg ym. 2016a).
PM ₁₀	Hiukkanen, jonka aerodynaminen halkaisija on alle 10 µm (Sandberg ym. 2016a).

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii laivanrakennusyhtiö Meyer Turku Oy. Tutkimuskohteena on telakan 10-halli, joka toimii lohkonkoontihallina. Lohkonkoontiprosessi vaatii hitsausta, joka synnyttää tilaan hitsaushuuruja. Hitsaushuurut koostuvat pääosin metallihuuruista ja kaasuista. Nämä metallihuuruja ja kaasujen seokset ovat haitallisia ihmisen terveydelle. (Työturvallisuuskeskus 2019.) Haitalliset terveysvaikutukset perustuvat pieneen partikkelikokoon, jonka seurauksena hitsaushuuruja hiukkaset pääsevät kulkeutumaan hengitysteiden kautta aina verenkiertoon saakka (Sandberg ym. 2016a, 60).

Ihminen viettää noin 90 % ajastaan sisätiloissa, minkä vuoksi sisäilman laadulla on suuri merkitys ihmisen terveydelle (Sandberg ym. 2016a, 56). 10-hallin ilmanlaadun arviointi on aikaisemmin perustunut visuaalisuuteen, kuten näkyvään hitsaushuuruun yläilmassa. Työn tarkoituksena on ilmanlaatumittausten avulla selvittää ilmanlaadun nykyhetken tilanne 10-hallissa. Ilmanlaatua mitataan Kemper Airwatch ilmanlaatumittareiden avulla. Ilmanlaatumittarit antavat tietoa hiukkasten partikkelijakaumasta ja partikkelien lukumäärästä (Airwell Oy n.d.). Ilmanlaatumittaukset toteutetaan mukailien hallin normaalia käyttö-olosuhdetta ja näytteiden keräysajat vastaavat työskentelyaikoja. Mittaustulosten perusteella voidaan tarkastella, saavutetaanko hallissa sisäilmanlaadulle asetetut raja-arvot ja tavoitetasot.

Työn tavoitteena on saatujen mittaustulosten perusteella esittää jatkotoimenpide-ehdotuksia ilmanlaadun parantamiseksi. Työssä tutkitaan teoreettisesti yleisilmanvaihdon ja kohdepoistojen merkitystä hitsaavan tuotannon ilmanlaatuun. Kohdepoistoa tulee käyttää aina tiloissa, joissa epäpuhtausmäärät ovat suuria ja niiden sijainti voidaan paikallistaa. Kohdepoiston tehtävänä on poistaa epäpuhtaudet syntypaikaltaan, ennen niiden leviämistä työpaikan ilmaan. (Sandberg ym. 2016b, 545.) Kohdepoiston lisäksi yleisilmanvaihdolla tulee varmistaa, että hitsaustöissä on riittävä ilmanvaihto. Yleisilmanvaihdon ja kohdepoiston avulla voidaan varmistaa turvallinen ja puhdas työympäristö.

Jatkotoimenpide-ehdotusten tarkoituksena on luoda edellytykset turvalliselle, terveelliselle ja viihtyisälle sisäilmalle, joka täyttäisi 10-hallin ilmanlaadulle asetetun tavoitetason.

1.1 Meyer Turku Oy

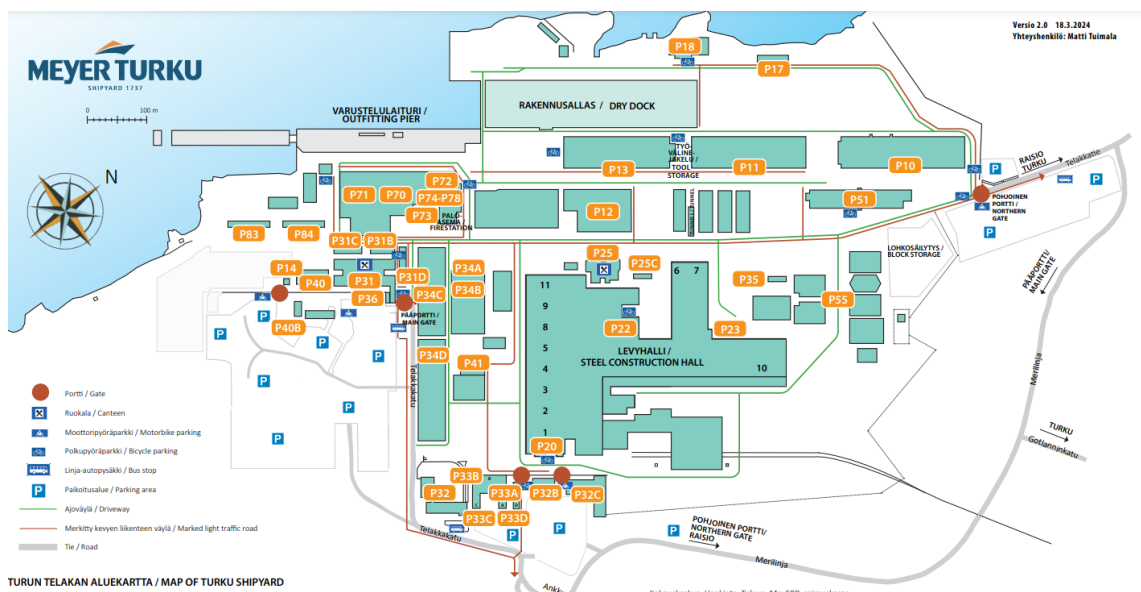
Meyer Turku Oy eli Turun telakka on yksi kolmesta Meyer Group:n kuuluvista telakoista. Turun telakan lisäksi Meyer Group:n kuuluu Meyer Werft Papenburgista sekä Neptun Werft Rostocista. Meyer Group kuuluu maailman johtavimpien risteilyalusten valmistajien joukkoon. (Meyer Turku Oy 2024a.)

Turun telakan historia ulottuu lähes 300 vuoden päähän, kun Esaias Wechter ja Heinrich Remgean alkoivat vuonna 1737 rakentamaan puisia aluksia Turussa. Vuosien varrella telakalla on ollut useita omistajia. (Meyer Turku Oy 2024b.) Vuonna 2014 Turun telakka siirtyi Meyer Group:n omistukseen, jonka omistuksessa telakka toimii tänäkin päivänä. Telakan toimitusjohtajana toimii Tim Meyer. Turun telakka on merkittävä toimija suurten risteilyalusten, erikoisalusten ja matkustaja-autolautojen valmistajana. Telakan valmistamat risteilyalukset ovat tunnettuja nykyaikaisesta teknologiasta, innovatiivisista ratkaisuista ja tyylikkäästä muotoilusta. (Meyer Turku Oy 2024c.)

Turun telakan keskeisiä arvoja ovat vastuullisuus ja kestävyys, jotka näyttäytyvät kestäväenä laivanrakentamisena ja vastuullisina teknologiratkaisuina. Vastuullisuuteen ja kestävyteen panostaminen näkyy vihreän siirtymän veturihanke NEcOLEAP-ohjelmana. NEcOLEAP-ohjelman tavoitteena on muun muassa ilmastoneutraalin risteilyaluskonseptin luominen vuoteen 2025 mennessä. (Meyer Turku Oy 2024d.)

1.2 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tutkimuskohteena toimii Meyer Turku Oy:n telakan 10-halli, joka toimii lohkonkoontihallina. Telakka alueella sijaitsee myös muita rakennuksia, mutta tutkimus on rajattu koskemaan ainoastaan 10-hallia, sillä hallissa syntyy hitsausuuruja, jotka heikentävät hallin ilmanlaatua. Hallissa olevan hitsausuurun pitoisuus ja haitallisuus haluttiin selvittää ilmanlaatumittausten avulla. 10-halli on esitetty kuvassa 1. Se on osa levyhallia, joka sijaitsee melko keskellä telakka-aluetta.



Kuva 1. Turun telakan aluekartta 2024 (Meyer Turku Oy 2024e).

Tutkimusasetelman tavoitteena on hakea vastauksia tutkimusongelmaan. Sen vuoksi tutkimusongelma tulee muotoilla tutkimusta ohjaavaksi kysymykseksi, johon tutkimuksessa haetaan vastauksia. (Vuori 2021.) Tässä opinnäytetyössä tutkimuskysymykset ovat:

- Täyttääkö 10-hallin sisäilman laatu sille asetetut raja-arvot ja tavoitetasot?
- Ovatko 10-hallin yleisilmanvaihto ja paikallisilmanvaihto epäpuhtauksien määrän kannalta mitoitettu oikein?
- Millä tavoin 10-hallin ilmanlaatua voitaisiin parantaa?

Tutkimuskysymykseen vastataan tutkimusmenetelmän ja lähdeaineiston tuottaman tiedon avulla. Tutkimusmenetelmänä työssä käytetään määrällistä tutkimusta eli kvantitatiivista tutkimusta. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa toteutetaan ilmanlaadun mittaus, josta saadaan numeerista tietoa hallin ilmanlaadusta. Saaduista mittaustuloksista piirretään kaavio visualisoimaan tietoa. Työn teoriaosuudessa käytetään aineistoja, joiden avulla perehdytään ilmalaatuun, ilmanvaihtojärjestelmiin ja paikallisilmanvaihtoon sekä niiden kehittämiseen teoriapohjalta. Lähde-aineistona käytetään tieteellisiä artikkeleita, kirjoja, verkkolähteitä, yritykseltä saatuja materiaaleja sekä lakeja ja asetuksia.

2 Teollisuusilmanvaihto

Teollisuusilmanvaihto muodostuu prosessi-ilmastoinnista ja yleisilmanvaihdosta, joiden tehtävänä on huolehtia tuotantotilojen sisäilman ja päästöjen hallinnasta virtausteknisin keinoin. Prosessi-ilmastoinnilla pyritään estämään haitallisten epäpuhtauksien tuleminen etenkin työntekijöiden oleskeluvyöhykkeelle. Prosessi-ilmastointi sisältää paikallisilmanvaihdon, jonka tehtävänä on poistaa epäpuhtaudet syntypaikaltaan, ennen niiden leviämistä työpaikan ilmaan. Yleisilmanvaihdon avulla huolehditaan siitä, että työntekijöiden oleskeluvyöhykkeellä epäpuhtauspitoisuudet pysyvät asetuissa raja-arvoissa. (Sandberg ym. 2016b, 535-537.)

2.1 Yleisilmanvaihto

Yleisilmanvaihdolla on suuri merkitys terveelliseen, turvalliseen ja viihtyisään sisäilmaan. Yleisilmanvaihdon tarkoituksena on huolehtia yhdessä paikallisilmanvaihdon kanssa siitä, että työskentelyvyöhykkeellä epäpuhtauspitoisuudet pysyvät asetettujen raja-arvojen sisällä. Työskentelyvyöhykkeen epäpuhtauspitoisuuksiin voidaan vaikuttaa yleisilmanvaihdon ilmanjakotavalla. (Sandberg ym. 2016b, 535-537.) Lisäksi yleisilmanvaihdon avulla tulee varmistaa, että tilassa on riittävä ilmanvaihto. Riittävän ilmanvaihdon avulla pidetään ilman laatu tavoitteen mukaisena (Sandberg ym. 2016a, 384). Tilaan epäsopiva ilmanvaihto heikentää sisäilmanlaatua, mikä alentaa työntekijöiden viihtyvyyttä ja suorituskykyä.

2.2 Paikallisilmanvaihto

Tehokkain ja taloudellisin tapa poistaa teollisuuden prosesseissa syntyvät epäpuhtaudet on paikallisilmanvaihto, josta käytetään myös nimeä kohdeilmanvaihto. Paikallisilmanvaihdolla tarkoitetaan työskentelyalueen ilmanlaadun hallintaa kohdepoistoilla ja tuloilman jaolla. Paikallisilmanvaihtoa tulee käyttää aina, kun epäpuhtausmäärät ovat merkittäviä, ja ne voidaan

paikallistaa. Kohdepoisto tulisi mitoittaa niin, että suurin osa epäpuhtauksista saataisiin poistettua niiden synty paikallaan. Tuloilman jaon tarkoituksena on parantaa hallin ilmanlaatua paikallisesti suunnatun tuloilman avulla. Tuloilman jaon tavoitteena on luoda puhdas vyöhyke työskentelyalueelle. Oikein suunniteltujen kohdepoistojen ja tuloilman jaon avulla pystytään saavuttamaan korkeita epäpuhtauksien suojaustehokkuuksia. (Sandberg ym. 2016b, 544-545.)

2.3 Ilman epäpuhtauksien viranomais määräykset

Ihminen oleskelee noin 90 % ajastaan sisätiloissa ja hengittää vuorokauden aikana 15-20 m³ sisäilmaa. Näin ollen ilman sisältävät epäpuhtaudet aiheuttavat merkittävästi terveyshaittoja. (Sandberg ym. 2016a, 56.) Lisäksi ilman epäpuhtaudet heikentävät viihtyvyyttä ja työskentelyn tehokkuutta.

Työpaikan ilman epäpuhtauksille on asetettu sosiaali- ja terveysministeriön toimesta haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot, joita työnantajan on noudatettava työn turvallisuuden varmistamisessa sekä työympäristön turvallisessa suunnittelussa (Valtioneuvosto 2020). HTP-arvot ovat todennettu työturvallisuuslain (738/2002) 38 § 4 momentin nojalla annetulla sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella (654/2020) (Työturvallisuuslaki 738/2002). Nykytiedolla työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle ei aiheudu vaaraa, kun epäpuhtauspitoisuudet pysyvät HTP-arvon alapuolella. Kuitenkin osalle vaikutuksista, esimerkiksi syöpävaikutuksille ei pystytä määrittelemään täysin turvallista altistumisen rajaa. Lisäksi on huomioitava, että HTP-arvot perustuvat ainoastaan hengityksen kautta tapahtuvaan altistumiseen. (Valtioneuvosto 2020.)

Työpaikan epäpuhtauksien haitallisuus määräytyy pitoisuuksien lisäksi altistumisajan mukaan. HTP-arvoja voidaan määritellä eri pituisille ajanjaksoille. Yleinen tapa ilmoittaa HTP-arvo on kahdeksan tunnin aikapainotettu keskiarvo. Hallissa tehdyissä ilmanlaadun mittauksissa mitattiin työpäivän aikaista altistumista. Työpäivän kesto on kahdeksan tuntia, jolloin mittauksista saadut tulokset ovat verrattavissa HTP_{8h}-arvoon. HTP_{8h}-arvo saa ylittyä hetkellisesti

mutta, se ei saa ylittyä laskettaessa pitoisuuksien keskiarvo kahdeksan tunnin ajalta. (Valtioneuvosto 2020.)

Suomessa ei ole asetettu HTP-arvoa terästen hitsaushuuruille. Yleinen taso hitsaushuuruille on 1 mg/m^3 . Työterveyslaitos on asettanut tavoitetasoja eli suosituksia, joiden avulla yritysten on mahdollista tavoitella lakisääteistä tasoa parempaa työympäristöä. Työterveyslaitos on asettanut hitsaushuurujen tavoitetasoksi $0,1 \text{ mg/m}^3$. Altistumisen alentaminen tavoitetasoon vähentää hitsaushuurualtistumisen aiheuttamia terveyshaittoja. (Työterveyslaitos 2011.)

2.4 Ilmanlaadun tavoitetaso 10-hallissa

Opinnäytetyön mittauksista saatuja tuloksia verrataan ilmanlaadulle asetettuihin raja-arvoihin ja tavoitetasoihin. Mittausten raja-arvona on hitsaushuuruille asetettu yleinen taso 1 mg/m^3 sekä työterveyslaitoksen asettama hitsaushuurujen tavoitetaso $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Tavoiteltua terästen hitsaushuurun HTP-arvoa ei vielä tiedetä, minkä vuoksi olisi hyvä varautua myös alhaisempaan raja-arvoon. Näin ollen 10-hallin ilmanlaadun tavoitetasona voidaan pitää $0,1 \text{ mg/m}^3$. Hitsaushuurujen pysyessä tämän raja-arvon alapuolella ei altistumisesta pitäisi olla vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle. Lisäksi ihmisen terveydelle erityisen vaarallisille aineille kromille, nikkelille ja mangaanille altistuminen pysyy näille asetettujen HTP-arvojen alapuolella, kun kokonaishitsaushuuru pitoisuus on $0,1 \text{ mg/m}^3$ (Työterveyslaitos 2011). Paras lähtökohta olisi se, että epäpuhtauksia ei syntyisi lainkaan, mutta tämän toteutuminen on käytännössä mahdotonta. Ilmanlaadulle määritellyn tavoitetason tavoitteena on luoda halliin terveellinen, turvallinen ja viihtyisä työympäristö.

2.5 Sisäilmaston mittausmenetelmät

Sisäilmastolla viitataan rakennuksessa esiintyviin fysikaalisiin, kemiallisiin ja mikrobiologisiin tekijöihin, jotka vaikuttavat ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen. Jos sisäilmastossa on havaittu ongelmia, voidaan sisäilmaston mittausten avulla selvittää ongelmien esiintyminen ja syyt. Sisäilmaston mittaamisen tavoitteena on tarkastella saavutetaanko tilassa sisäilmalle asetetut tavoitetasot ja vaatimukset. Sisäilmastoa voidaan mitata eri näkökulmista (Sandberg ym. 2016a, 37, 69.):

- Ilmanvaihdon ja painesuhteiden mittaus
- Lämpötilamittaus
- Huoneilman virtausnopeuden mittaus
- Kosteusmittaus
- Melumittaus
- Ilmanlaadun mittaus

Ilman laatua voidaan mitata hiukkasmittauksilla, kaasujen mittauksilla tai mikrobien mittauksilla. Hiukkasmittauksissa mitataan sisäilman sisältämiä hiukkaspitoisuuksia ja verrataan niitä ilmanlaadulle asetettuihin raja-arvoihin ja tavoitetasoihin. (Sandberg ym. 2016a, 69.)

Ilman hiukkaspitoisuutta voidaan mitata optisilla laitteilla. Optinen laite hyödyntää valon ja hiukkasten välistä vuorovaikutusta. Sillä voidaan seurata reaaliaikaisesti hiukkaspitoisuuden vaihtelua eri kokoluokissa. Tällainen mittaus on hyödyllinen pitoisuuksien ajallisen vaihtelevuuden selvittämisessä ja pitoisuustasojen vertailussa. Ilmanäytteestä erotellaan tarkasteltava partikkelikoko PM10 tai PM2,5. (Sandberg ym. 2016a, 76.)

3 Ilmanlaadun mittaaminen

3.1 Tavoite

Opinnäytetyön kokeellisen osan tavoitteena oli suorittaa ilmanlaatumittaukset 10-hallissa. Kokeellisen osan tuloksena saatiin tietoa hitsaushuurujen pitoisuuksista ja ilmanlaadun nykytilanteesta 10-hallissa. Saatuja tuloksia verrattiin ilmanlaadulle asetettuihin raja-arvoihin ja tavoitetasoihin. Kokeellisen osan tulosten perusteella voitiin tehdä jatkotoimenpide-ehdotuksia ilmanlaadun parantamiseksi.

3.2 Lohkonkoontihalli

Työn tutkimuskohteena toimi telakan 10-halli, eli lohkonkoontihalli. Lohkonkoontihalli on osa laajempaa tuotantohallikonaisuutta eli levyhallia. Levyhalli on esitetty kuvassa 1. 10-halli sijaitsee 5-hallin ja logistiikkakäytävän välissä. 10-hallin ja logistiikkakäytävän välissä on pilarilinja. 10-hallin ja 5-hallin välissä ei ole kiinteää seinää, vaan tiloja erottaa kangasseinä.

10-hallissa tapahtuu lohkonkoontia neljässä eri ruudussa 2A1, 2A2, 2A3, 2A4, jotka ovat esitettyinä kuvassa 2. Kaikki lohkonkoontiruudut ovat samankokoisia. Kun lohko on saatu valmiiksi se kuljetetaan viimeiseen ruutuun eli noutoruutuun 2A5. Noutoruudun perällä on nosto-ovi, jonka kautta valmis lohko kuljetetaan lohkonvarusteluun.

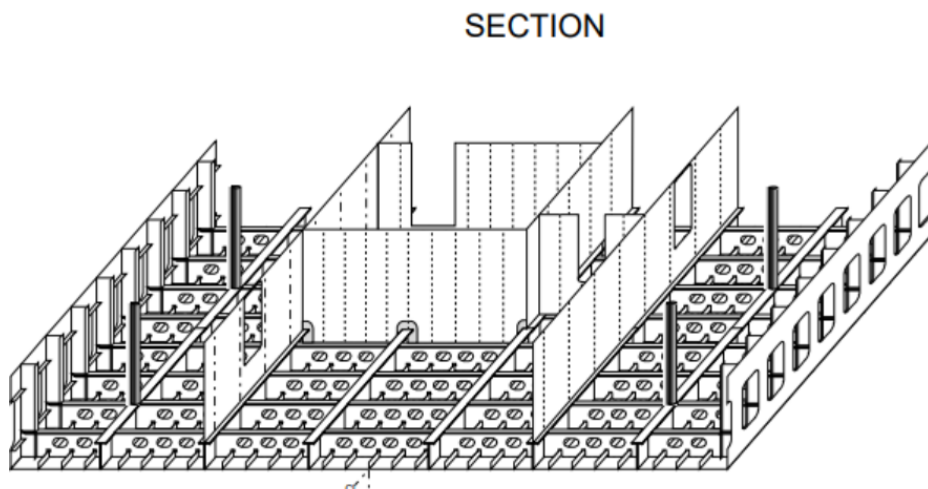


Kuva 2. 10-hallin lohkonkoontiruudut 2A1, 2A2, 2A3 ja 2A4 sekä noutoruutu 2A5 (Meyer Turku Oy n.d.).

10-hallissa työskentelee noin 75 henkeä. Hallissa työskennellään kahdessa vuorossa, jolloin puolet työntekijöistä työskentelee aamuvuorossa ja puolet iltavuorossa. Aamuvuoro työskentelee klo 6.30-14.30 ja iltavuoro klo 14.30-22.30. Töitä hallissa tehdään arkipäivisin, maanantaista perjantaihin. (H.Koponen, henkilökohtainen tiedonanto 3.9.2024.)

3.2.1 Lohkonvalmistusprosessi

Uudenaikainen tapa rakentaa laivan runkorakenne on lohkorakentaminen. Lohkorakentamisessa aluksen runko kootaan valmiiksi kootuista lohkorakenteista, joiden rakenne vaihtelee aluksen koon, rungonmuodon ja lohkon sijainnin perusteella. Lohkotuotannossa lohkot rakennetaan väärinpäin eli kansipaneeli alaspäin. Yksittäinen lohko valmistuu asentamalla ja hitsaamalla osakoonnit ja pienosat kansipaneeliin määrättyssä koontijärjestyksessä. Lohko koostuu muun muassa laipioista, laidoista, pilareista, jäykistävästä rakenteista ja polvioista. Lohkorakenne on esitetään kuvassa 3. Yksittäisistä lohkoista kootaan suurlohkoja, jotka rungonkoontivaiheessa liitetään yhteen laivan rungoksi. (H. Koponen, henkilökohtainen tiedonanto 3.9.2024.)



Kuva 3. Valmis lohkorakenne (Meyer Turku Oy n.d).

Lohkorakentamisessa teräksiset osat kiinnitetään kansipaneeliin hitsaamalla. Hitsauksessa metallikappaleiden liitoskohdat yhdistetään valokaaren sulattaman liitoksen avulla toisiinsa. Hitsauksen aikana käytetään lisäksi erilaisia lisä- ja apuaineita. Yleensä hitsausprosessit ovat kaasukaarihitsausprosesseja eli hitsauksen edellyttämä lämpö tehdään valokaarta hyödyntäen. 10-hallissa käytetään MIG/MAG hitsausta eli metallikaasukaari hitsausmenetelmää. MIG/MAG hitsaus on yleinen hitsausmenetelmä raskaassa teollisuudessa, kuten laivanrakennuksessa. (Työturvallisuuskeskus 2019.)

3.2.2 Hitsauksesta syntyvät ilman epäpuhtaudet

10-hallissa ilmanlaadun epäpuhtaudet ovat peräisin hitsauksen synnyttämistä hitsaushuuruista. Metalliteollisuudessa hitsaushuurut koostuvat tyypillisesti raudan oksideista sekä terästen seosmetalleina käytettyjen kromin, nikkelin ja mangaanin oksideista (Työterveyslaitos 2023). Hitsaushuurujen syntyyn vaikuttavat hitsausprosessi, hitsausparametrit, hitsattava materiaali, pintakäsittelyaineet, hitsauslisäaineet ja suojakaasut. Tärkeä hitsaushuurujen muodostumisen muuttuja on hitsausparametrit, eli optimaalisessa

hitaustapahtumassa hitsaushuuruja muodostuu mahdollisimman vähän. Suurin osa hitsaushuuruista on peräisin käytetyistä lisäaineista. (Työterveyslaitos 2011.)

Ruostumatonta terästä hitsattaessa hitsaushuurut sisältävät yleensä kromia, nikkeliä ja mangaania, jotka saattavat aiheuttaa vakavampia terveyshaittoja. (Työterveyslaitos 2023.) Hitsattaessa MIG/MAG hitsausmenetelmällä ruostumatonta terästä tyypillisesti kromi(VI)-pitoisuus on noin 1-2%, nikkelpitoisuus noin 4-6% ja mangaanipitoisuus noin 8-11%. (Työterveyslaitos 2011.) Kromille, nikkelille ja mangaanille on sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa määritelty HTP-arvot, jotka ovat esitettyinä taulukossa 7 (Liite 3). Pysyttäessä näiden arvojen alapuolella, ei kyseisille aineille altistumisesta pitäisi olla vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle. (Valtioneuvosto 2020.)

Hitsaushuurut ovat pääosin kooltaan alle 1 μm . Suurin osa hitsaushuuruista on erittäin pientä metallioksidihuukkasta, jonka koko on 0.01-0.5 μm . (Työterveyslaitos 2011.) Hitsaushuurujen sisältämät partikkelit nousevat prosessin lämpökuormien konvektiovirtausten mukana hallin yläilmaan. 10-hallissa hitsaushuurut kerrostuvat noin 5 metrin korkeuteen. Kun hiukkaset jäähtyvät, ne laskeutuvat alas lattialle ja muille pinnoille. Halkaisijaltaan alle 5 μm hiukkaset eivät laskeudu alas, vaan kulkeutuvat hallin ilmavirtausten mukana (Sandberg ym. 2016a, 59).

3.2.3 Aikaisemman ilmamittauksen tulokset

Ilman epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmassa ilmavirtojen ohjaamana. Tilan ilmavirtojen selvittäminen oli oleellista, jotta nähtiin epäpuhtauksien kulkusuunta hallissa. 10-hallissa on toteutettu vuonna 2014 savukonemittaukset, joilla havainnollistettiin ilmavirtojen liikettä. 2014 vuoden savukonetuloksia voitiin hyödyntää tässä opinnäytetyössä, koska prosessit eivät ole sen jälkeen merkittävästi muuttuneet. Savukonetestin avulla saatiin tietoa siitä, miten ilmavirtaukset kulkevat hallissa. 10-hallista saadut savukonemittausten tulokset olivat. (Työterveyslaitos 2014.) :

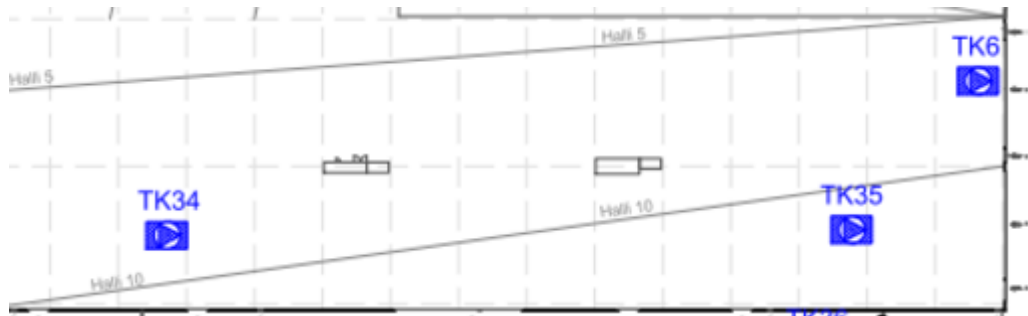
- 2A1. Savu liikkui kohti 5-hallia hitaasti ja jäi leijumaan
- 2A2. Savu nousi nopeasti ja kääntyi kohti 5-hallia
- 2A4. Savu nousi nopeasti, jäi paikoilleen ja jatkoi kohti 5-hallia
- 2A5. Savu kulki kohti 5-hallia, linjojen välissä nousi ylös

10-hallissa savu nousi ylöspäin, mikä osoittaa syrjäyttävän ilmanjakotavan toimivuuden, koska ilma ei jäänyt leijumaan työpisteiden tai lohkojen päälle vaan nousi ylöspäin. Savukonetestin tulokset kertovat, että ilmavirrat 10-hallissa liikkuvat kohti 5-hallia. Savukonetestistä voidaan päätellä, että 5-hallin ilma on 10-hallin ilmaa alipaineisempaa, koska alipaineisempi tila vetää ilmaa puoleensa. Suurin osa epäpuhtauksista kerrostuu yläilmaan 10-hallin ja 5-hallin rajalle. Epäpuhtauksien on mahdollista kulkea hallista toiseen tiloja erottavan kangasseinän läpi.

3.2.4 Nykyinen yleisilmanvaihto

10-hallin ilmanvaihtokoneet ovat suhteellisen uusia sekä toiminnoiltaan melko energiatehokkaita, sisältäen esimerkiksi lämmöntalteenoton ja taajuusmuuntajalla ohjatut puhaltimet (K. Aalto, henkilökohtainen tiedonanto 12.8.2024). Lämmöntalteenotolla parannetaan hallin energiatehokkuutta, kun poistoilmasta talteenotettu lämpö voidaan hyödyntää tuloilman lämmittämiseen. Taajuusmuuntajalla ohjatut puhaltimet mahdollistavat ilmanvaihtokoneiden ilmamäärien säätötarvittaessa.

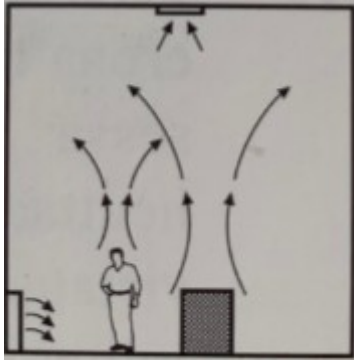
10-hallin ilmanvaihdosta vastaa kaksi ilmanvaihtokonetta Koje n:o P21 TK34 ja Koje n:o P21 TK35. 10-hallin ilmanvaihtokoneet esitetään kuvassa 4. Ilmanvaihtokoneet sijaitsevat levyhallin vesikatolla omissa konehuoneissaan. Levyhalli on iso kokonaisuus, joten myös muiden tilojen ilmanvaihtokoneet vaikuttavat 10-hallin olosuhteisiin. Työssä on rajattu 10-hallin ilmanvaihdon tarkastelu koskemaan ainoastaan Koje n:o P21 TK34 ja Koje n:o P21 TK35 ilmanvaihtokoneita ja niiden toimintaa.



Kuva 4. 10-hallin IV-koneet TK34 ja TK35 (Meyer Turku Oy n.d.).

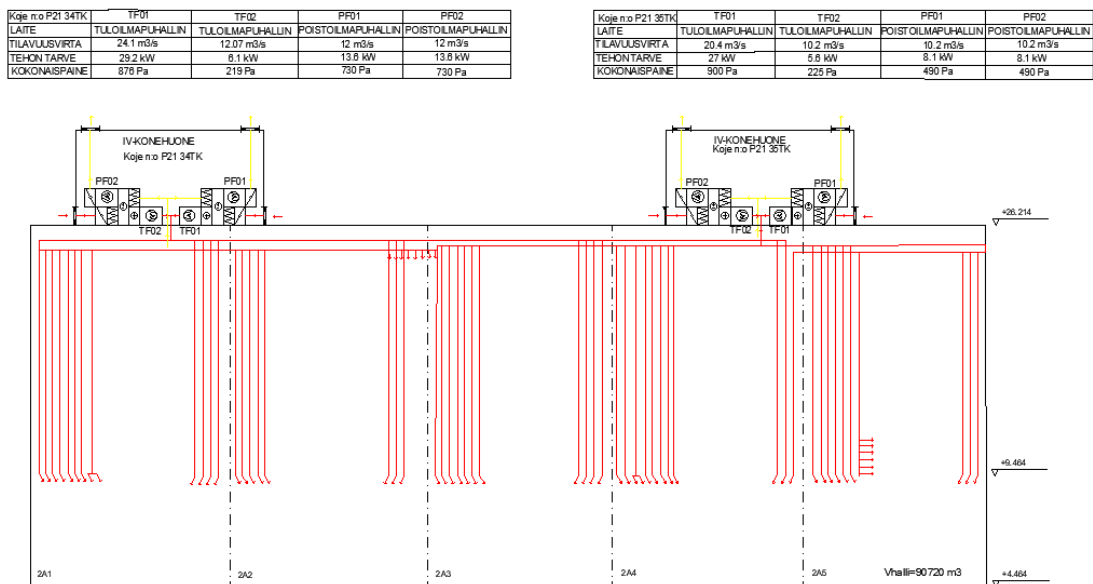
Ilmanvaihtokoneet ovat koottu tehdasvalmisteisista modulaarisista osista tilan käyttötarkoitukseen sopivaksi kokonaisuudeksi. Ilmanvaihtokoneesta ilma kuljetetaan ilmanvaihtokanavia pitkin hallin alaosaan. Tuloilman päätelaitteet sijaitsevat heti oleskeluvyöhykkeen yläpuolella, josta ne puhaltavat tuloilman viistosti lattiaa kohden. Tilan alaosaan tulevan tuloilman avulla saadaan aikaan epäpuhtauksien kerrostuminen tilan yläosaan. Poistoilman päätelaitteet sijaitsevat hallin katossa, josta ne imevät likaisen ilman ulos hallista.

Ilmanjako voidaan jakaa sekoittavaan ja syrjäyttävään. 10-hallissa käytetään syrjäyttävää ilmanjakoa (Kuva 5), jossa halliin muodostuu pitoisuus- ja lämpötilaeroja. Tämän menetelmän tarkoituksena on johtaa alilämpöinen tuloilma tilan alaosaan. Näin tilan alaosaan muodostuu puhtaammat ja viileämmät olosuhteet. Epäpuhtaudet liikkuvat lämpökuormien konvektiovirtausten mukana kohti tuotantotilan yläosaa. Tilan yläosaan muodostuu suuremmat pitoisuudet ja lämpötilat. Tilan yläosasta epäpuhtaudet poistetaan poistoilman päätelaitteiden avulla. Syrjäyttävällä ilmanjaolla saadaan aikaan tehokas ilmanvaihto tiloissa, joissa on paljon lämpimiä epäpuhtauslähteitä. Syrjäyttävän ilmanjaon etuna on myös, että työskentelyalueen epäpuhtauspitoisuus on alhaisempi, koska epäpuhtaudet nousevat tilan yläosaan. (Seppänen ym. 2004, 159.)



Kuva 5. Kuva syrjäyttävästä ilmanjakotavasta (Seppänen 2004, 136).

Hallin ilmanvaihtoa voidaan havainnollistaa PI-kaavion avulla. 10-hallin PI-kaavio esitetään kuvassa 6. PI-kaavio on prosessi- ja instrumentointikaavio, jota käytetään prosessilaitteistojen kuvaamiseen. PI-kaavion piirtämisessä käytettiin apuna ilmanvaihtokoneiden Koje n:o P21 TK34 ja Koje n:o P21 TK35 toimintakaaviota, konekortteja sekä visuaalista havainnointia hallin ilmanvaihtojärjestelmän komponenteista.



Kuva 6. 10-hallin PI-kaavio.

Ilmanvaihtokoneiden konekortteista saadut puhaltimien tekniset ominaisuudet on esitetty PI-kaaviossa taulukkona. Puhaltimien tilavuusvirtojen pohjalta voidaan

laskea hallin ilmanvaihtokerroin ja ilmatase. Huomioitavaa on, että ilmoitetut ja laskuissa käytetyt puhaltimien tilavuusvirrat ovat vain suunnitteluarvoja, joten todelliset tilavuusvirrat voivat olla hallissa erilaiset. Teollisuushalleille, joissa syntyy paljon epäpuhtauksia on määritelty suurimmat ilmanvaihtokertoisuustarpeet. Hitsaushuurujen hallitsemiseksi yleisilmanvaihdolla tulisi taata ilmanvaihtuminen 5-10 krt/h (Työterveyslaitos 2011). 10-hallin ilmanvaihtokerroin voidaan laskea alla olevalla kaavalla.

$$n = \frac{q_v}{V} \times 3600$$

jossa,

n= Ilmanvaihtokerroin, krt/h

V= Hallin tilavuus, m³

q_v= Ilmamäärä hallissa, m³/s

Yllä olevalla kaavalla saadaan 10-hallin ilmanvaihtokertoimeksi 2,65 krt/h. Ilma vaihtuu siis 2,65 kertaa tunnissa.

PI-kaaviosta voidaan laskea lisäksi hallin ilmatase. Teollisuudessa pyritään pääsääntöisesti ilmavirtatasapainoon eli tilanteeseen, jossa samanaikaisten tulo- ja poistoilmavirtojen välinen summa on nolla. Ilmavirtatasapainon avulla tilojen ja rakenteiden välille ei synny suuria paine-eroja, eikä rakenteiden kautta pääse kulkeutumaan hallitsematonta vuotoilmaa (Talotekniikka 2023, 8). Hallin ilmatase on +22,37 m³/ilmaa/s eli halli on tällöin ylipaineinen.

3.2.5 Nykyinen paikallisilmanvaihto

Hallissa on tarjolla erilaisia kohdepoistoja, joiden avulla epäpuhtaudet saataisiin poistettua niiden syntypaikallaan. Tarjolla on esimerkiksi Nederman Flexpak

1000 keskusimurointiyksikköä (Kuva 7) sekä hitsauskolveja, joissa on itsessään hitsauskärynpoisto mahdollisuus. Ongelmana on kuitenkin kohdepoistojen käyttämättömyys. Kohdepoistojen käyttämättömyys johtuu siitä, että ne koetaan epäsopiviksi tuotantoprosessin tarpeisiin.



Kuva 7. Nederman Flexpak 1000 keskusimurointiyksikkö.

Kohdepoistojen käyttämättömyyden vuoksi hitsaushuuruu tuotetaan yli ilmanvaihtokoneiden kapasiteetin. Tämän seurauksena ilmanvaihdon suodattimet tukkeutuvat usein, jopa alle kahden viikon välein. Suodattimien tukkeutuminen näkyy hallissa alentuneena ilmanvaihtokapasiteettina. (Aalto K., sähköpostikeskustelu 12.8.2024.)

Hitsaushuurut tulisi aina ensisijaisesti poistaa hitsauskohteessa kohdepoistoilla ja yleisilmanvaihdoilla. Kohdepoistolla on kuitenkin lyhyt toimintasäde, minkä vuoksi työntekijät tulisi suojata lisäksi hitsausmaskilla. (Työterveyslaitos n.d.) Tällä hetkellä 10-hallissa taataan työntekijöiden työturvallisuus raitisilmamaskin avulla. Se suojaa levyseppähitsaajia altistumasta suoraan hitsaushuuruille. Raitisilmamaski estää hitsaushuurujen pääsyn hitsaajan hengitysilmaan.

3.3 Ilmanlaadun mittaukset

Ilmanlaadun mittausten tavoitteena oli tarkastella saavutetaanko tilassa sisäilmalle asetetut raja-arvot ja tavoitetasot. Epäpuhtauslähteet 10-hallissa johtuvat hitsauksen aiheuttamista hitsaushuuruista. 10-hallissa oli visuaalisesti havaittu hitsaushuuruja hallin yläilmassa ja sen haitallisuutta haluttiin arvioida ilmanlaadun mittausten avulla.

10-hallissa toteutettiin ilmanlaatumittaus, jossa kartoitettiin ilman sisältämiä partikkeleita, niiden kokojakaumaa ja sijaintia rakennuksessa. Saaduista tuloksista tarkasteltiin päivittäisten aktiviteettien vaikutusta mittaustuloksiin ja tulosten vaihtelevuuteen. Saatuja tuloksia verrattiin ilmanlaadulle asetettuihin raja-arvoihin ja tavoitetasoihin, joiden pohjalta saatuja tuloksia analysoitiin. Mittausten perusteella voitiin esittää jatkotoimenpide-ehdotuksia sisäilmanlaadun parantamiseksi.

3.3.1 Ilmanlaatumittausten toteutus

10-hallissa on yhteensä neljä koontiruutua 2A1, 2A2, 2A3, 2A4. Jokaisessa koontiruudussa tapahtuu hitsausta, joten hitsaushuuruja syntyy kaikissa koontiruudussa. Ilmanlaadun mittaukset suoritettiin yhdessä koontiruudussa kerrallaan, jotta saatiin tietoa, miten hitsaushuurut jakaantuvat hallissa. Yhdessä koontiruudussa tapahtuvat mittaukset kestivät kaksi päivää, jotta saatiin tarpeeksi laajaa tietoa työpäivän aikaisista pitoisuuksista. Yhteensä mittaukset kestivät kaksi viikkoa. Alla olevassa taulukossa 1, kuvataan ilmanlaatumittausten ajankohta.

Taulukko 1. Ilmanlaatumittausten ajankohta.

Viikko	Päivämäärä	Koontiruutu
24	13.-14.6.2024	2A1
25	17.-18.6.2024	2A4
25	19.-20.6.2024	2A2
26	24.-25.6.2024	2A3

Kemper AirWatch ilmanlaatumittareita oli yhteensä kaksi. Alla olevassa kuvassa 8, esitetään mittareiden sijoittelu. Mittari numero 1 sijoitettiin 10-hallin ja logistiikkakäytävän väliselle seinälle. Mittari numero 2 sijoitettiin vastakkaiselle puolelle koontiruutua. Kummatkin mittarit kiinnitettiin noin 5 metrin korkeuteen, koska siihen korkeuteen hitsaushuurut kerrostuvat. Työssä haluttiin mitata hitsaushuurujen suurimmat pitoisuudet, jonka vuoksi mittarit sijoitettiin noin 5 metrin korkeuteen. Suurimpien pitoisuuksien avulla saatiin tietoa, että täyttääkö ilmanlaatu sille asetetut raja-arvot ja tavoitetasot hitsaushuurujen suurimpien pitoisuuksien osalta. Huomioitavaa on, että viiden metrin korkeudesta saadut tulokset eivät kuvaa tilannetta työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä.



Kuva 8. Mittareiden sijoittelu.

Mittareiden sijoittaminen eri puolille koontiruutua oli tärkeää, koska sen avulla saatiin tuloksia epäpuhtauksien pitoisuuksista eri puolilla koontiruutua. Mittareiden sijoittelulla oli myös merkitystä mahdollisten tulevien kohdepoistolaitteiden suunnittelun ja sijoittelun kannalta.

Mittausolosuhteet pyrittiin vakioimaan vastaamaan normaaleja työskentelyolosuhteita: Koontiruuduissa oli tapahduttava hitsausta normaalisti mittausten aikana sekä 10-hallin nosto-ovet oli pidettävä kiinni. Poislukien kesäaika, nosto-ovet pidetään aina kiinni, lukuunottamatta materiaalien sisääntuontia ja valmiin lohkon siirron aikana tapahtuvaa hetkellistä nosto-ovien avaamista. Nosto-ovien ollessa kiinni hitsaushuurun määrä on suurimmillaan, koska hitsaushuurut eivät pääse nosto-ovien kautta kulkeutumaan ulos. Mittausten ajan 10-hallin ilmanvaihdon tuli toimia normaalisti. Virhettä mittaustulosten luotettavuudelle saattaa lisätä se, että 10-halli on osa levyhallia, joten muissa tiloissa nosto-ovet saattoivat olla auki mittausten aikana.

3.3.2 Mittalaite Kemper AirWatch

Ilmanlaadun mittauksissa käytettiin Kemper AirWatch ilmanlaatumittareita. Kemper AirWatch ilmanlaatumittari on esitetty kuvassa 9. Kemper AirWatch on Airwell:n valmistama ilmanlaatumittari. Mittari ottaa tasaisin väliajoin sisäänsä näytteen hallissa virtaavasta ilmasta. Sen sisällä oleva laservalo kuvaa näytteen. (Airwell 2024.) Tämä hiukkasten mittausmenetelmä kuuluu optisiin menetelmiin. Hiukkasten mittaaminen lasersäteen avulla perustuu valon siroamiseen, jossa kiinteä hiukkanen ja valonsäde vuorovaikuttavat toistensa kanssa (Vaisala 2024). Tämän jälkeen mittari kertoo ilman sisältämien partikkelien lukumäärän ja osuuden PM_{2,5} ja PM₁₀ arvoina. PM₁₀ ryhmään kuuluvat hiukkaset, joiden aerodynaminen halkaisija on alle 10 µm. PM_{2,5} ryhmään kuuluu hiukkaset, joiden aerodynaminen halkaisija on alle 2,5 µm. Ilmanlaatumittarin mittausalue alkaa partikkelikoosta 0,1 µm. Mittari syöttää saadut mittaustulokset Kemper pilvipalveluun. (Airwell 2024.)



Kuva 9. Kemper Airwatch ilmanlaatumittari (Airwell 2024).

3.3.3 Ilmanlaadun mittaustulokset

Saadut mittaustulokset ovat esitettyinä kaavioina liitteessä 1. Kaavioissa mittaustuloksia on verrattu raja-arvoon 1 mg/m^3 ja tavoitetasoon $0,1 \text{ mg/m}^3$. Saaduista mittaustuloksista laskettiin tuloksien keskiarvo ja keskihajonta jokaisesta koontiruudusta. Keskiarvo ja keskihajonta laskettiin erikseen PM10 ja PM2,5 kokoisille hiukkasille. Keskiarvon ja keskihajonnan laskemiseen käytettiin aikavälillä 6:30-22:30 saatuja tuloksia, koska nämä tulokset kuvaavat työpäivän aikaisia hitsaushuuruksen pitoisuuksia. Keskiarvo ei välttämättä kuvaa tarkasti todellista tilannetta hallissa, koska välillä tulokset pysyvät lähellä nollaa, joka vetää keskiarvoa alaspäin. Todellisuudessa raja-arvojen ja tavoitetasojen ylitystä tapahtuu useaan otteeseen työpäivän aikana. Mittausten aikaisia korkeita, raja-arvoja ja tavoitetasoja ylittäviä arvoja on merkittäviä määriä. Tämä näkyy liitteessä 1, esitetyissä kaavioissa. Keskiarvot ja keskihajonnat esitetään taulukossa 2, taulukossa 3, taulukossa 4 ja taulukossa 5. Keskiarvon ja keskihajonnan lisäksi taulukoissa on esitetty mittausaikojen suurin- ja pienin arvo.

Taulukko 2. PM2,5 tulosten keskiarvo, keskihajonta, suurin arvo ja pienin arvo mittarilta 1.

Mittari 1 / PM2,5	Keskiarvo (mg/m ³)	Suurin arvo (mg/m ³)	Pienin arvo (mg/m ³)	Keskihajonta (mg/m ³)
2A1	0,178	0,800	0,016	0,235
2A2	0,132	1,008	0,013	0,213
2A3	0,110	0,522	0,012	0,149
2A4	0,214	0,809	0,004	0,229

Taulukko 3. PM10 tulosten keskiarvo, keskihajonta, suurin arvo ja pienin arvo mittarilta 1.

Mittari 1 / PM10	Keskiarvo (mg/m ³)	Suurin arvo (mg/m ³)	Pienin arvo (mg/m ³)	Keskihajonta (mg/m ³)
2A1	0,190	0,910	0,017	0,260
2A2	0,141	1,090	0,014	0,228
2A3	0,116	0,550	0,013	0,158
2A4	0,223	0,846	0,004	0,239

Taulukko 4. PM2,5 tulosten keskiarvo, keskihajonta, suurin arvo ja pienin arvo mittarilta 2.

Mittari 2 / PM2,5	Keskiarvo (mg/m ³)	Suurin arvo (mg/m ³)	Pienin arvo (mg/m ³)	Keskihajonta (mg/m ³)
2A1	0,280	2,445	0,023	0,501
2A2	0,124	1,667	0,013	0,435
2A3	0,098	0,423	0,013	0,111
2A4	0,179	0,505	0,003	0,153

Taulukko 5. PM10 tulosten keskiarvo, keskihajonta, suurin arvo ja pienin arvo mittarilta 2.

Mittari 2 / PM10	Keskiarvo (mg/m ³)	Suurin arvo (mg/m ³)	Pienin arvo (mg/m ³)	Keskihajonta (mg/m ³)
2A1	0,306	3,613	0,026	0,607
2A2	0,133	2,098	0,017	0,511
2A3	0,103	0,430	0,015	0,116
2A4	0,190	0,562	0,003	0,165

4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

4.1 Ilmanlaadun mittaustulosten analysointi

Mittauksia toteutettiin neljässä koontiruudussa, jotka olivat 2A1, 2A2, 2A3 ja 2A4. Koontiruudut ovat esitetty kuvassa 2. Ilmanlaadun kannalta merkittävimmät mittaustulokset tulivat 2A1 ja 2A2 koontiruuduista. Koontiruuduissa 2A1 ja 2A2 tapahtui kummankin raja-arvon 1 mg/m^3 ja $0,1 \text{ mg/m}^3$ ylitystä, joka on esitetty liitteessä 1. Lisäksi liitteessä 1 on esitetty 2A3 ja 2A4 koontiruutujen mittaustulokset, jotka pysyivät yleisen raja-arvon 1 mg/m^3 alapuolella. Kaikissa koontiruuduissa mittaustulokset kuitenkin ylittivät reilusti työterveyslaitoksen suosituksen $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Koontiruuduista lasketut keskiarvot pysyivät kaikki alle 1 mg/m^3 , mutta suurin osa keskiarvoista ylitti tavoitetason $0,1 \text{ mg/m}^3$. Keskiarvo ei välttämättä ole parhain keino kuvaamaan todellista tilannetta hallissa, koska keskiarvoja tarkastellessa tulokset näyttävät suhteellisen matalina. Tähän vaikutti työpäivän aikana esiintyneet matalat tulokset, jotka pysyivät lähellä nollaa. Todellisuudessa raja-arvon ja tavoitetason ylitystä tapahtui useaan otteeseen työpäivän aikana eli isossa osassa tuloksia arvot olivat terveydelle vaarallisia. Keskihajonta kuvaa, miten tulokset ovat keskittyneet keskiarvon ympärille. Keskihajonta on välillä suurta, joka osoittaa tulosten vaihtelevuuden keskiarvoon nähden. Suurimmillaan mittausten aikana hitsaushuurujen pitoisuudet ovat käyneet $3,613 \text{ mg/m}^3$.

Hitsaushuurujen pitoisuudet vaihtelivat eri puolilla 10-hallia. Suurimmat hitsaushuurujen pitoisuudet saatiin koontiruuduista 2A1 ja 2A2. 2A1 ja 2A2 koontiruudut sijaitsevat keskemällä levyhallia. Näiden koontiruutujen mittaustuloksiin saattoi vaikuttaa muualta levyhallista tulevat epäpuhtaudet. Toisaalta 2A3 ja 2A4 koontiruutujen epäpuhtauspitoisuuksiin saattoi vaikuttaa, että ne sijaitsevat lähempänä nosto-ovea. Nosto-ovea oli nostettu mittausten aikana vain silloin, kun valmis lohko oli siirretty pois 10-hallista. Nämä nosto-oven nostot saattavat laimentaa epäpuhtauspitoisuuksia koontiruuduissa, jotka sijaitsevat lähempänä nosto-ovea.

Hitsaushuurujen yleisen raja-arvon 1 mg/m^3 ylitystä tapahtui enemmän mittari 2 puolelta. Tämän lisäksi mittausten ajan suurimmat pitoisuudet mitattiin mittari 2 puolelta. Mittari 2 sijaitsee 10-hallin ja 5-hallin rajalla. Korkeammat pitoisuudet tällä puolella koontiruutua saattoivat johtua siitä, että epäpuhtaudet liikkuvat ilmavirtojen mukana 10-hallista kohti 5-hallin rajaa. Tämä ilmavirtojen liike on osoitettu savukonemittauksilla. Mittari 1 sijaitsi logistiikkakäytävän puolella. Logistiikkakäytävällä kuljetetaan tavaraa, eikä siellä synny merkittäviä määriä epäpuhtauksia. Tämä saattaa vaikuttaa mittari 1 puolen alhaisempiin pitoisuuksiin.

10-hallissa ei työskennellä öisin tai viikonloppuisin. Työvuorojen ulkopuolisena aikana hitsaushuurujen pitoisuudet pysyivät alle 10-hallin tavoitetason eli 0.1 mg/m^3 . Työvuoro hallissa alkaa klo 6.30, jonka jälkeen pitoisuudet alkoivat nousemaan. Pitoisuudet vaihtelivat päivän aikana, joka johtui hitsauksen määrän vaihtelusta. Pitoisuudet lähtivät nousemaan, kun hallissa tapahtui enemmän hitsausta. Vuorostaan pitoisuudet lähtivät laskuun, kun hitsauksen määrä väheni. Pitoisuudet kääntyvät laskuun 22.30 jälkeen, jolloin työvuoro hallissa loppuu. Pitoisuudet laskivat työvuoron jälkeen alle $0,1 \text{ mg/m}^3$.

PM10 ja PM2,5 tulokset vaihtelivat samassa suhteessa sekä kummastakin kokoluokasta saadut tulokset pysyivät suhteellisen lähellä toisiaan. Tämä osoittaa, että suurin osa saaduista tuloksista kuuluu PM2,5 luokkaan eli suurin osa hiukkasista on halkaisijaltaan alle $2,5 \mu\text{m}$. Hitsaushuurut ovat pääosin kooltaan alle $1 \mu\text{m}$, joka näkyi saaduissa mittaustuloksissa.

Ilmanlaatumittausten tuloksena kaikki mittaustulokset ylittivät 10-hallille asetetun tavoitetason, joka oli 0.1 mg/m^3 . Isoin tekijä hitsaushuurujen korkeille pitoisuuksille oli kohdepoistojen käyttämättömyys, minkä seurauksena hitsaushuuruja ei pystytä poistamaan tehokkaasti ja haurut pääsevät leviämään ympäri työtiloja. Lisäksi yleisilmanvaihdon tulisi varmistaa ilman vaihtuminen 5-10 krt/h, jotta hitsaushuuruille altistumista saataisiin pienennettyä. Tällä hetkellä hallin ilma ei vaihdu tarpeeksi tehokkaasti, joka vaikuttaa osaltaan hitsaushuurujen korkeisiin pitoisuuksiin.

Hitsaushuurujen pitoisuuden kasvamista yli raja-arvojen tulisi ehkäistä. Jos hitsaaja altistuu liian suurille pitoisuuksille vaarana on sairastua vakaviin terveysongelmiin, jotka vaikuttavat työntekijöiden kykyyn työskennellä. Terveysriskit eivät rajoitu pelkästään hitsaajiin, vaan myös muihin samassa hallissa työskenteleviin ja vieraileviin ihmisiin. Työntekijöiden sairastuminen kasvattaa työnantajan kustannuksia, koska työnantaja joutuu maksamaan työntekijälle sairauspoissaoloista.

4.2 Ilmanlaatua parantavat toimenpiteet

Ilmanlaadun mittauksista saadut tulokset osoittivat, että tällä hetkellä hallin hitsaushuurujen pitoisuudet ylittivät ilmanlaadulle asetetut raja-arvot ja tavoitetasot. Hallin ilmanlaatua heikentää syntyvät hitsaushuurut, joita ei poisteta tällä hetkellä tarpeeksi tehokkaasti. Ilmanlaadun parantamiseksi hitsaushuurujen määrää hallissa tulisi vähentää. Hitsaushuurujen määrää voidaan pienentää hyvän ilmanvaihdon ja toimivan kohdepoiston avulla. Tällä hetkellä hallissa ei ole käytössä kohdepoistoja. Kohdepoistoja tulee käyttää kohteissa, joissa epäpuhtausmäärät ovat suuria ja niiden sijainti voidaan paikallistaa (Sandberg ym. 2016b 545). Hallin hitsaavassa tuotannossa epäpuhtausmäärät ovat merkittäviä ja niiden sijainti voidaan paikallistaa, joten tilassa tulisi ottaa käyttöön kohdepoistojärjestelmä. Lisäksi yleisilmanvaihdon toimintaa voitaisiin kehittää ilmanlaadun parantamiseksi.

4.2.1 Yleisilmanvaihdon kehittäminen

Yleisilmanvaihtoa ei lähdetty työssä mitoittamaan tai suunnittelemaan kokonaan uudestaan paremman ilmanlaadun saavuttamiseksi. Hitsaushuurujen poisto pelkän yleisilmanvaihdon avulla on kustannuksiltaan kallista ja tehotonta, sillä yleisilmanvaihtoa ei ole suunniteltu hitsaushuurujen poistoon. Ensisijainen keino hitsaushuurujen vähentämiseen on tehokas kohdepoisto. Olemassa olevan ilmanvaihdon toimintaa voitaisiin kuitenkin kehittää paremman ilmanlaadun saavuttamiseksi.

Yleisilmanvaihdon avulla tulee varmistaa hitsaustilaan riittävä ilmanvaihto. Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä vaihtaa ilmaa 2,65 krt/h. Nykysuositusten mukaan ilman tulisi vaihtua 5-10 krt/h, jotta hitsaushuuruille altistumista saataisiin pienennettyä (Työterveyslaitos 2011). Hallissa voitaisiin vaihtaa ilmaa useammin tunnin aikana, jotta edistettäisiin parempaa ilmanlaatua.

Lisäksi hallin ilmatase ei ole tasapainossa, koska hallissa vallitsee ylipaine (+22,37 m³/ilmaa/s). Painesuhteella vaikutetaan epäpuhtausvirtojen liikkeeseen, koska epäpuhtaudet liikkuvat matalamman paineen suuntaan. Painesuhdetta tulee tarkastella koko levyhallin osalta, koska tilojen väliset paine-erot voivat johtaa epäpuhtauksien kulkeutumiseen ei-toivotuille alueille. (Motiva n.d.) Savukonemittauksilla on osoitettu ilmavirran kulkeutuminen 10-hallista kohti 5-hallia. Tämä näkyi myös mittaustuloksissa, kun 10-hallin ja 5-hallin rajalta saadut mittaustulokset olivat korkeampia verrattuna toiselta puolelta koontiruutua saatuihin tuloksiin. Painesuhteella voitaisiin vaikuttaa epäpuhtauksien liikkeeseen koko levyhallin osalta.

Pelkän yleisilmanvaihdon käyttäminen hitsaushuurujen poistamisessa ei ole energiatehokasta eikä taloudellista. Ilmanvaihtoa ei ole suunniteltu poistamaan suuria määriä hitsaushuuruja. Yleisilmanvaihdon avulla kohdepoistojen ohi päässeitä epäpuhtauksia pystytään laimentamaan, mutta sitä ei ole suunniteltu epäpuhtauksien tehokkaalle hallitsemiselle. Yleisilmanvaihdon rinnalle tulisi ottaa käyttöön kohdepoistojärjestelmä, jonka avulla suurin osa epäpuhtauksista saataisiin poistettua tehokkaasti. Kohdepoiston avulla yleisilmanvaihdon suodattimet pysyisivät puhtaampana, joka mahdollistaisi yleisilmanvaihdon tehokkaamman toimimisen.

4.2.2 Paikallisilmanvaihdon kehittäminen

Tällä hetkellä 10-hallissa ei ole käytössä kohdepoistoja. Tämän seurauksena suurin osa hitsaushuuruista jää hallin sisäilmaan. Hitsaushuuruja ei poisteta tarpeeksi tehokkaasti, joka näkyi mittaustuloksissa hitsaushuurujen korkeina pitoisuuksina. Korkeat hitsaushuurujen pitoisuudet heikentävät sisäilmanlaatua.

Osa hitsaushuuruista poistuu yleisilmanvaihdon mukana. Pelkän yleisilmanvaihdon käyttö hitsaavassa tuotannossa, jossa epäpuhtausmäärät ovat merkittäviä, ei ole taloudellista tai tehokasta.

Tehokkain ja taloudellisin tapa poistaa hitsaushuurut on paikallisilmanvaihto. Paikallisilmanvaihdolla tarkoitetaan työpisteen ilmanlaadun hallintaa kohdepoistoilla ja tuloilman jaolla. Kohdepoisto tulisi mitoittaa niin, että suurin osa epäpuhtauksista saataisiin poistettua niiden synty paikallaan. Oikein mitoitettuna ja kohdistettuna kohdepoiston avulla hitsaushuurujen määrä vähenee 30-80%. Tuloilman jaon tarkoituksena on parantaa hallin ilmanlaatua paikallisesti suunnatun tuloilman avulla. Oikein suunniteltujen kohdepoistojen ja tuloilman jaon avulla pystytään saavuttamaan korkeita epäpuhtauksien suojaustehokkuuksia. (Sandberg ym. 2016b, 544-545, 574.)

Kohdepoisto tulee sijaita mahdollisimman lähellä epäpuhtauslähdettä, kuitenkin häiritsemättä työskentelyä tai prosessia. Kohdepoiston tarkoituksena on luoda imuaukkoon suuntautuva hallittu ilmavirtaus päästölähteen läheisyyteen. Mikäli imun aikaansaama virtaus on tarpeeksi suuri, vapautuvat epäpuhtaudet liikkuvat kohti imuaukkoa. (Sandberg ym. 2016b, 545-546.)

Kohdepoiston tulee olla lisäksi helposti käytettävissä ja sen tulee soveltua tilan prosesseihin. 10-hallin toiminnot asettavat rajoituksia kohdepoiston sijoittelulle. Tilassa tapahtuu lohkojen nostamista koontiruutujen välillä katossa olevan liikkuvan nostimen avulla. Nostureiden käyttö rajoittaa yläpuolisen kohdepoiston käyttöä. Lisäksi hitsaus ei tapahdu aina samassa kohdassa ja hitsattavat kohteet ovat suurikokoisia, joka hankaloittaa työpistekohtaisen imulaitteen käyttöä.

Ratkaisuehdotus

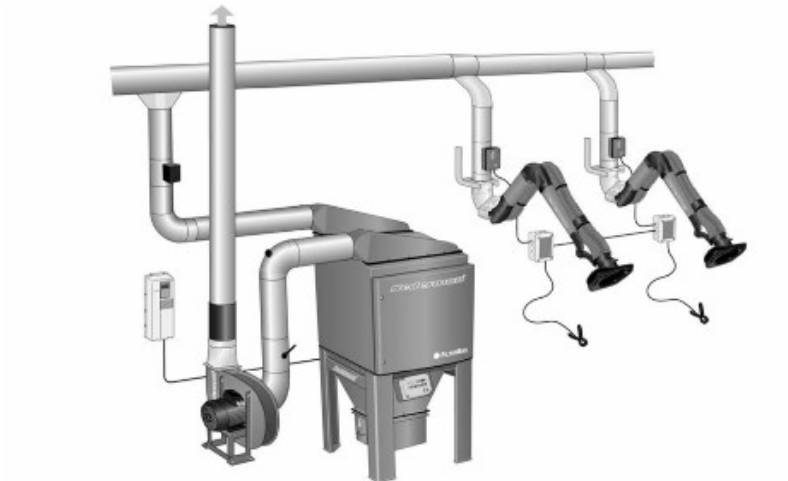
Kohdepoistojärjestelmät voidaan luokitella kahteen pääryhmään: matalapainejärjestelmään ja korkeapainejärjestelmään. Korkeapainejärjestelmässä poistossa käytetty ilmamäärä on pieni ja poistokanaviston ilmavirran nopeus on korkea. Matalapainejärjestelmässä

poistossa käytetty ilmamäärä on suuri ja poistokanaviston ilmavirran nopeus on matala. (Teca Oy n.d.)

Korkeapainejärjestelmiä käytetään tyypillisesti koneiden tai lattioiden puhdistamiseen imuroimalla ja työkalukohtaisissa suulakkeissa esimerkiksi hitsauspistoleissa. Korkeapainejärjestelmässä epäpuhtauksien poisto tapahtuu hyvin lähellä epäpuhtauslähdettä. (Teca Oy n.d.)

Matalapainejärjestelmää käytetään kohteissa, joissa ilmaan on sekoittunut pieniä ja kevyitä epäpuhtauksia. Järjestelmän avulla poisto voidaan tehdä laajemmalla alueella, koska poiston ei tarvitse sijaita niin lähellä epäpuhtauslähdettä. Matalapainejärjestelmään voidaan käyttää käryjen, pölyjen ja muiden ilmassa olevien epäpuhtauksien poistamiseen. (Teca Oy n.d.)

10-hallissa syntyy hitsaushuuruja, jotka sekoittuvat ilmaan ja leviävät laajalle pinta-alalle. Tällä hetkellä hallissa olisi tarjolla korkeapainejärjestelmä, jossa epäpuhtauksien poiston tulee tapahtua hyvin lähellä hitsattavaa kohdetta (Liite 2). Nykyinen järjestelmä on koettu epäsopivaksi tuotannon tarpeisiin. Hallissa voitaisiin jatkossa hyödyntää matalapainejärjestelmää. Matalapainejärjestelmässä poistossa käytetään suurta ilmamäärää, joka on yleensä noin 600-2000 m³/h. Suuren ilmamäärän ansiosta poisto voidaan tehdä suuremmalla alueella ja poiston ei tarvitse sijaita niin lähellä epäpuhtauslähdettä. Tyypillinen tapa toteuttaa hitsaukseen soveltuva matalapainejärjestelmän on esitetty alla esitettyssä kuvassa 10. Se on suunniteltu raskaaseen hitsaamiseen ja hiontaan. Letkusto on asennettu seinälle, joten se ei myöskään haittaisi hallin prosessien toimintaa. (Teca Oy n.d.)



Kuva 10. Matalapainesovellus metalliteollisuudessa, jossa puhallin, suodatin ja letkusto (Teca Oy n.d).

5 Yhteenveto

Ilmanlaadun mittaukset osoittivat, että hallin ilmanlaatu ylittää sille asetetut raja-arvot ja tavoitetasot (Liite 1). Ilmanlaatua hallissa heikentävät hitsausprosessin synnyttämät hitsaushuurut, joita ei tällä hetkellä poisteta tarpeeksi tehokkaasti. Pitoisuuksien kasvamista yli raja-arvojen tulisi ehkäistä, koska se heikentää työntekijöiden turvallisuutta, terveyttä ja viihtyvyyttä. Tehokas kohdepoisto on yleensä ensisijainen keino hitsaushuurujen pitoisuuksien hallinnassa. Tämän lisäksi yleisilmanvaihdolla tulisi taata tarpeeksi tehokas ilman vaihtuminen.

Hallin ilmanlaatua voitaisiin parantaa nykyistä yleisilmanvaihtoa parantamalla. Ilmamäärä hallissa on suhteellisen pieni verrattuna hallin tilavuuteen. Tämän seurauksena hallin ilma vaihtuu 2,35 krt/h. Nykysuositusten mukaan hitsaushuurujen pitoisuuksien hallitsemiseksi ilman tulisi vaihtua 5-10 krt/h (Työterveyslaitos 2011). Ilmamäärää voitaisiin siis kasvattaa, jotta ilma vaihtuisi hallissa useammin. Riittävän ilmanvaihdon avulla voidaan pitää ilmanlaatu tavoitteen mukaisena.

Ensisijainen keino hitsaushuurujen pitoisuuksien hallinnassa on tehokas kohdepoisto. Tällä hetkellä hallissa ei ole käytössä kohdepoistoja. Hallissa tarjolla olevat kohdepoistot koetaan epäsoviviksi tuotantoprosessin tarpeisiin, minkä vuoksi niitä ei käytetä. Kohdepoiston käyttämättömyyden vuoksi hitsaushuuruja syntyy yli asetettujen raja-arvojen ja tavoitetasojen. Hitsaushuurujen suuri määrä johtaa ilmanvaihtokoneiden kuormittumiseen, jonka seurauksena ilmanvaihdon suodattimet tukkeutuvat usein. Hallin yleisilmanvaihtoa voidaan käyttää kohdepoistojen ohi päässeiden epäpuhtauspitoisuuksien laimentamiseen, mutta pelkästään yleisilmanvaihdon käyttö hitsaushuurujen poistamisessa ei ole energiatehokasta eikä taloudellista. Energiatehokkain ja taloudellisin keino hallita hitsaushuuruja on tehokas kohdepoisto.

Hallin ilmanlaatua voitaisiin parantaa vähentämällä hitsaushuuruja. Hitsaushuuruja voitaisiin vähentää ottamalla käyttöön kohdepoistojärjestelmä. Kohdepoistoa tulee käyttää aina kohteessa, jossa epäpuhtausmäärät ovat suuria

ja niiden sijainti voidaan paikallistaa (Sandberg ym. 2016b, 545). Kohdepoiston avulla hitsaushuurut saataisiin poistettua niiden syntypaikallaan, ennen niiden leviämistä ympäri työtiloja. Kohdepoistojen avulla varmistettaisiin hitsaajien turvallisuus sekä lisäksi suojattaisiin muita tilassa olevia ihmisiä ja koneita.

Kohdepoistojärjestelmä tulisi suunnitella hallin käyttötarkoitukseen sopivaksi. Kohdepoiston tulisi sijaita tarpeeksi lähellä hitsattavaa kohdetta, mutta se ei saisi häiritä työskentelyä. 10-hallissa kohdepoiston sijoittelua rajoittaa hallin katon rajassa kulkeva nostin sekä suurten lohkorakenteiden tuomat haasteet. Lisäksi hitsaus ei tapahdu aina samassa paikassa. Hallissa kohdepoistojen sijoittelussa yksi mahdollisuus voisi olla seinään sijoitetut kohdepoistot, jossa ne eivät häiritsisi hallin prosesseja ja olisivat suhteellisen helposti käytettävissä. Seinään sijoitettu kohdepoistoratkaisu vaatisi suurta ilmamäärää, koska kohdepoisto ei sijaitisi niin lähellä epäpuhtauslähdettä. Halliin voisi sopia matalapainejärjestelmä, jonka ei tarvitse sijaita lähellä epäpuhtauslähdettä, koska poistossa käytetty ilmamäärä on suuri.

Kohdepoistojärjestelmä sekä yleisilmanvaihto olisi mitoitettava hallin ilmanlaadulle asetut tavoitetason mukaan. Ilmanlaadulle asetettu tavoitetaso hallissa on 0.1 mg/m^3 . Tavoitteena on, että hyvän yleisilmanvaihdon ja tehokkaan kohdepoiston avulla saavutettaisiin ilmanlaadulle asetettu tavoitetaso. Ilmanlaadun tavoitetasoon pääseminen luo edellytykset turvalliselle, terveelliselle ja viihtyisälle sisäilmalle.

Lähteet

Airwell Oy n.d. AirWatch-ilmanlaadun mittaus. Viitattu 16.9.2024. Saatavilla:

<https://airwell.fi/tuotteet/kemper-savunimu-ja-suodatus/ilmanlaadun-mittaus/airwatch/>

Meyer Turku Oy 2024a. Yritys. Viitattu 10.9.2024. Saatavilla:

<https://www.meyerturku.fi/fi/yritys/index.jsp>

Meyer Turku Oy 2024b. Historia. Viitattu 10.9.2024. Saatavilla:

<https://www.meyerturku.fi/fi/yritys/historia/index.jsp>

Meyer Turku Oy 2024c. Turun telakka. Viitattu 10.9.2024. Saatavilla:

https://www.meyerturku.fi/fi/yritys/turun_telakka/index.jsp

Meyer Turku Oy 2024d. Vastuullisuus. Viitattu 10.9.2024. Saatavilla:

<https://www.meyerturku.fi/fi/vastuullisuus/index.jsp>

Meyer Turku Oy 2024e. Meyer Turku aluekartta 2024. Viitattu 10.9.2024.

Saatavilla:https://www.meyerturku.fi/en/09_contact/meyer_turku_aluekartta_2022_v02_ioeh.pdf

Motiva n.d. Teollisuuden vaativat ilmanvaihtokohteet. Viitattu 4.11.2024.

Saatavilla:https://www.motiva.fi/files/14464/Osa_III_luku_8_Teollisuuden_vaativat_ilmanvaihtokohteet.pdf

Nederman 2021. FlexPAK 1000. Viitattu 17.8.2024. Saatavilla:

https://www.nederman.com/catalog-images/product/18492/original/en-au/product_leaflet_flexpak_1000_18492.pdf

Sandberg, E.; Säteri, J.; Koskela, H. & Kosonen, R. 2016a. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikan osa 1. 2., painos. Forssa: Forssa Print.

Sandberg, E.; Pihlajamaa, P.; Valkeapää, A.; Pettersson, H. Sundman, T. & Koivula, U. 2016b. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. 2., painos. Forssa: Forssa Print 2016.

Sandberg, E. 23.1.2002. SAMK Tekniikan Porin yksikkö. Kurssi materiaali.

Seppänen, O.; Hausen, A.; Hyvärinen, K.; Heikkilä, P.; Kaappola, E.; Kosonen, R.; Oksanen, R.; Railio, J.; Ripatti, H.; Saari, A.; Tarvainen, K. & Vuolle M. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy

Sosiaali- ja terveysministeriö 2020. HTP-ARVOT 2020. Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Viitattu 17.8.2024. Saatavilla:

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162457/STM_2020_24_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Talotekniikkainfo 11.6.2024. Sisäilmasto- ja ilmanvaihto-opas. Viitattu

27.9.2024. Saatavilla: <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>

Teca Oy n.d. Kohdeilmastoinnin ja työympäristön suunnitteluopas. Viitattu

5.11.2024. Saatavilla: <https://www.e-julkaisu.fi/teca/suunnitteluopas/mobile.html#pid=2>

Työterveyslaitos 2023. Tietopaketti altistumisesta - Metallin hitsaus. Pdf-dokumentti. Viitattu 15.9.2024. Saatavilla:

<https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/tietopaketit-tyossa-altistumisesta>

Työterveyslaitos 20.3.2014. 5-linjan päädyn ilmamittaukset telakalla 26.2.2014.

Asiakirjan julkaisu vain työterveyslaitoksen antaman kirjallisen luvan perusteella.

Työterveyslaitos 11.10.2011. Terästen hitsaussavun/huurun

tavoitetasoperustelumuistio. Pdf-dokumentti. Viitattu 15.9.2024. Saatavilla:

<https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/tyoympariston-tavoitetasot>

Työterveyslaitos n.d. Hitsaussuojaimet. Pdf-dokumentti. Viitattu 10.11.2024.

Saatavilla: <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/tyoympariston-riskienhallinnan-malliratkaisut>

Työturvallisuuskeskus 2019. Hitsaus. Viitattu 12.9.2024. Saatavilla:

<https://ttk.fi/wp-content/uploads/2022/04/Hitsaus.pdf>

Työturvallisuuslaki 1.9.2020. Työturvallisuuslain 738/2002 38 § 4 momentin nojalla säädetty sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitalliseksi todetuista

pitoisuuksista. Viitattu 16.9.2024. Saatavilla:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2020/20200654>

Vaisala 2024. Compact air quality sensors and their use in local air quality management Part 1: Technology. Viitattu 15.11.2024. Saatavilla:

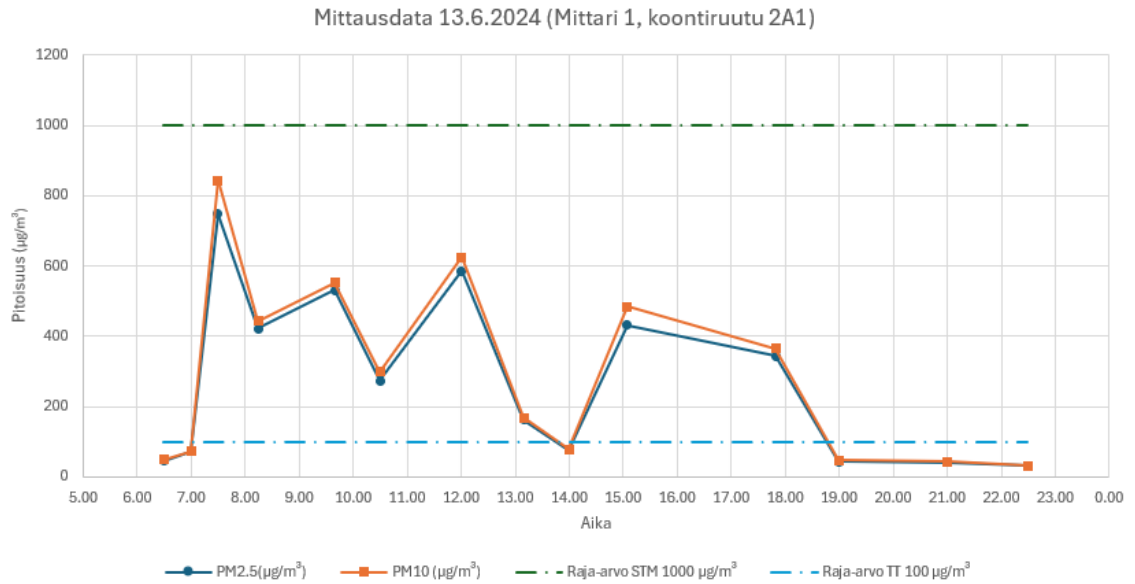
<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-EUI-TechnicalPaper-Compact-air-quality-sensors-B212781EN.pdf>

Vuori, J. 2021. Johdanto: Tutkimusasetelman rakentaminen. Teoksessa Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere:Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 30.8.2024. Saatavilla:

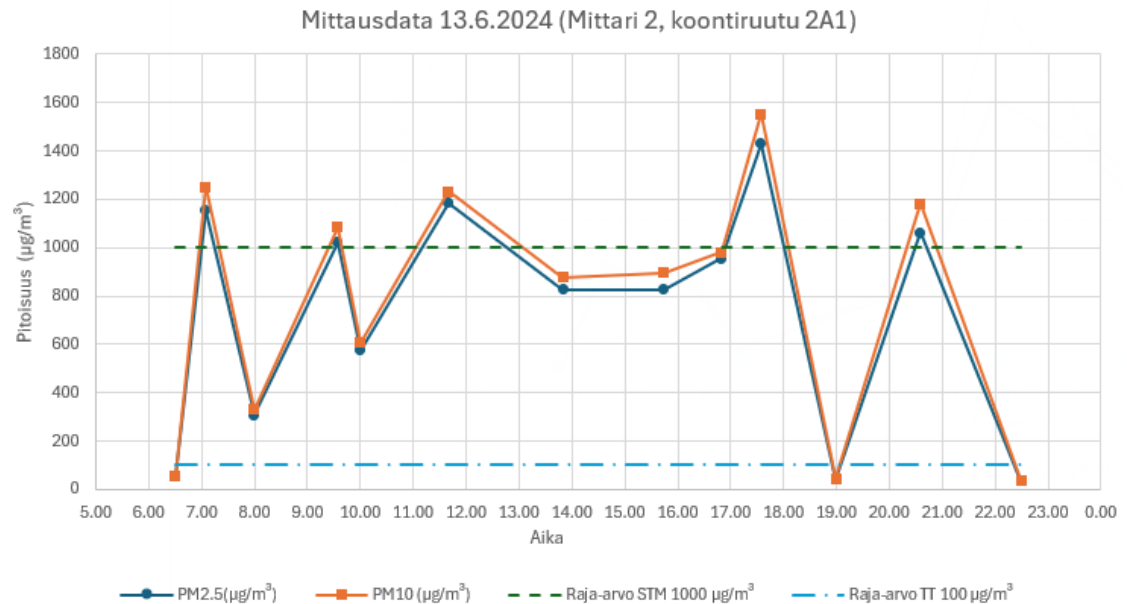
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/tutkimusasetelman-rakentaminen/>

Liite 1. Ilmanlaatumittausten tulokset

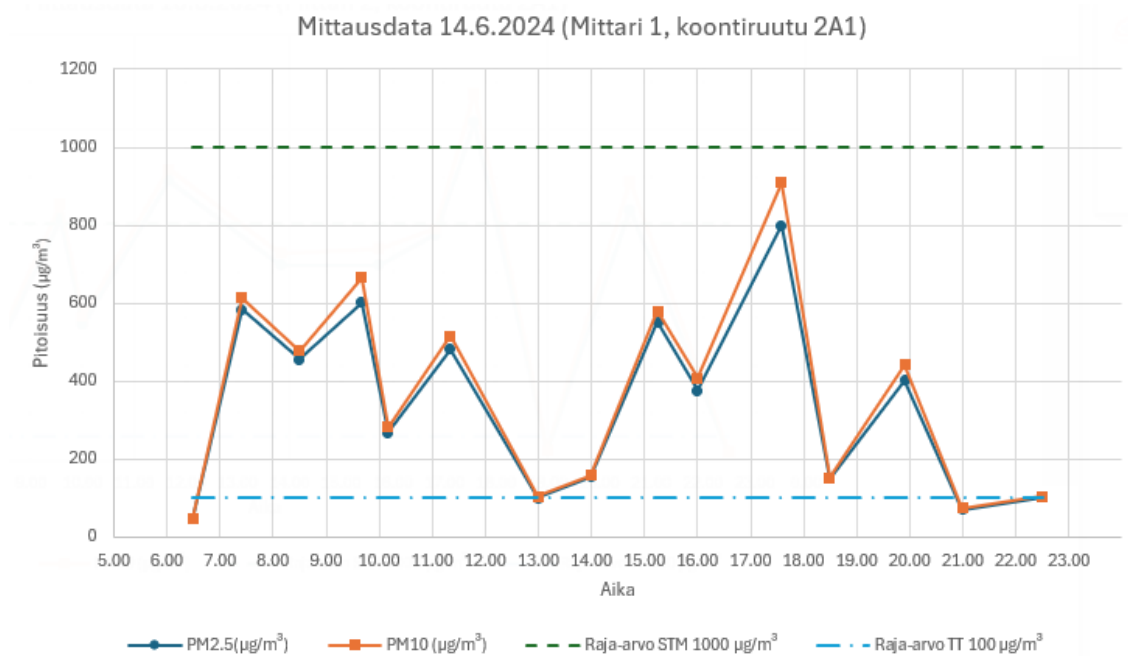
Kuvio 1. Mittausdata 13.6.2024 koontiruudusta 2A1, mittarilta 1.



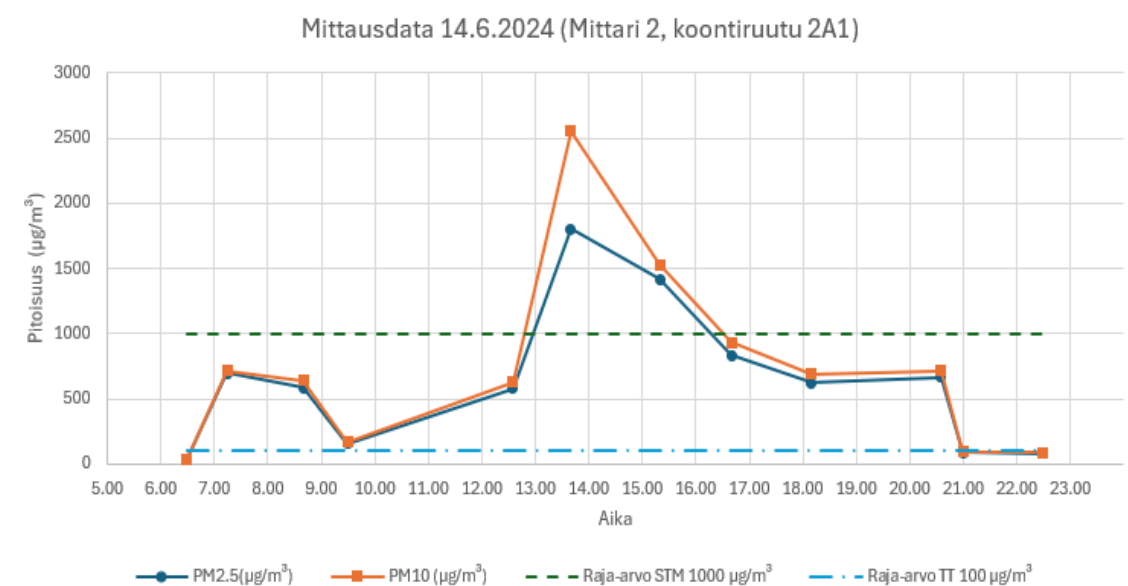
Kuvio 2. Mittausdata 13.6.2024 koontiruudusta 2A1, mittarilta 2.



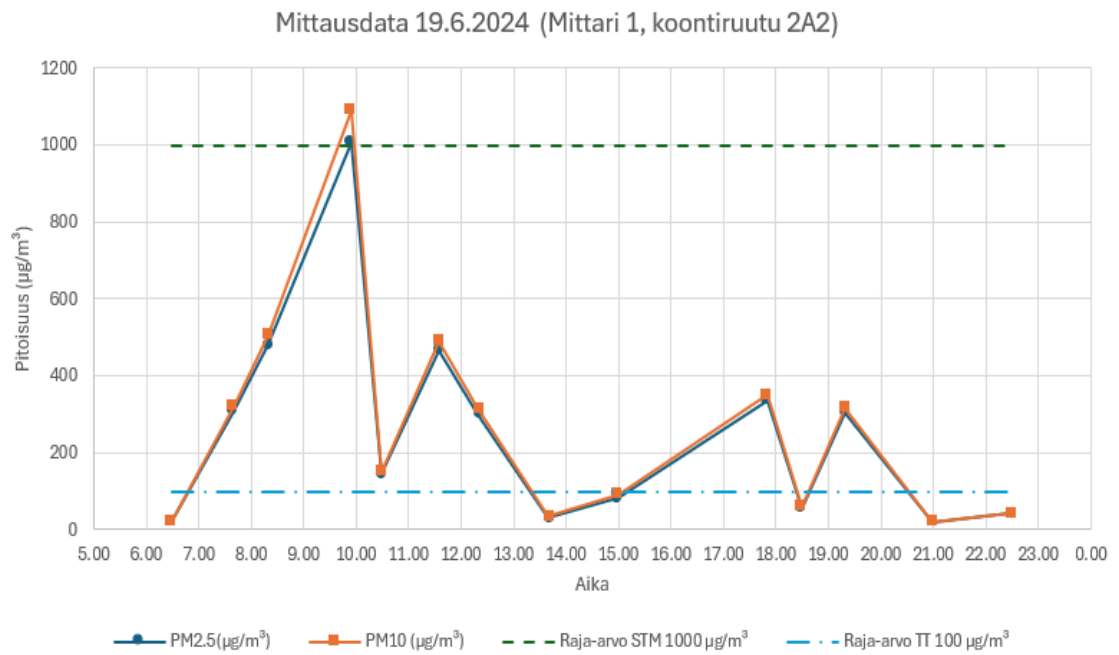
Kuvio 3. Mittausdata 14.6.2024 koontiruudusta 2A1, mittarilta 1.



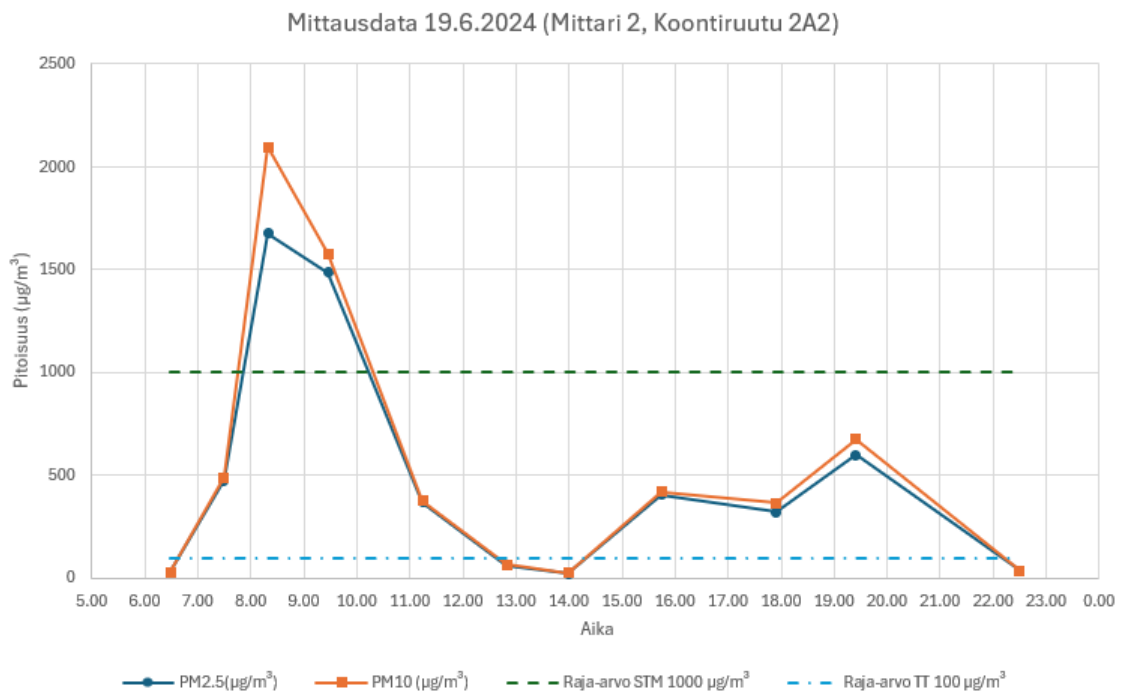
Kuvio 4. Mittausdata 14.6.2024 koontiruudusta 2A1, mittarilta 2.



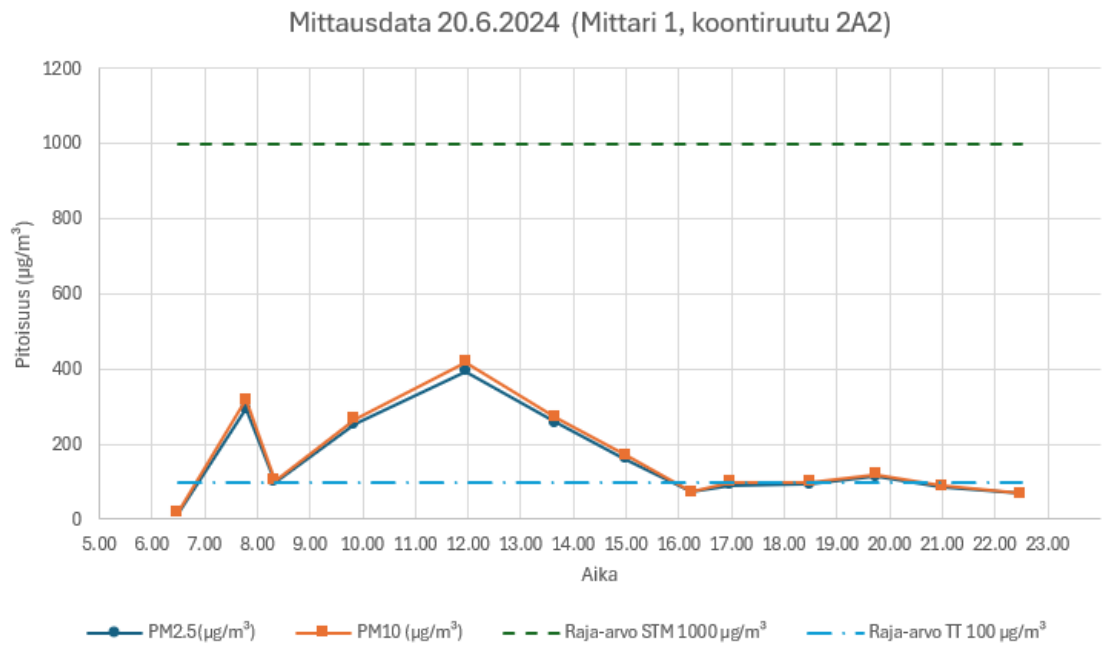
Kuvio 5. Mittausdata 19.6.2024 koontiruudusta 2A2, mittarilta 1.



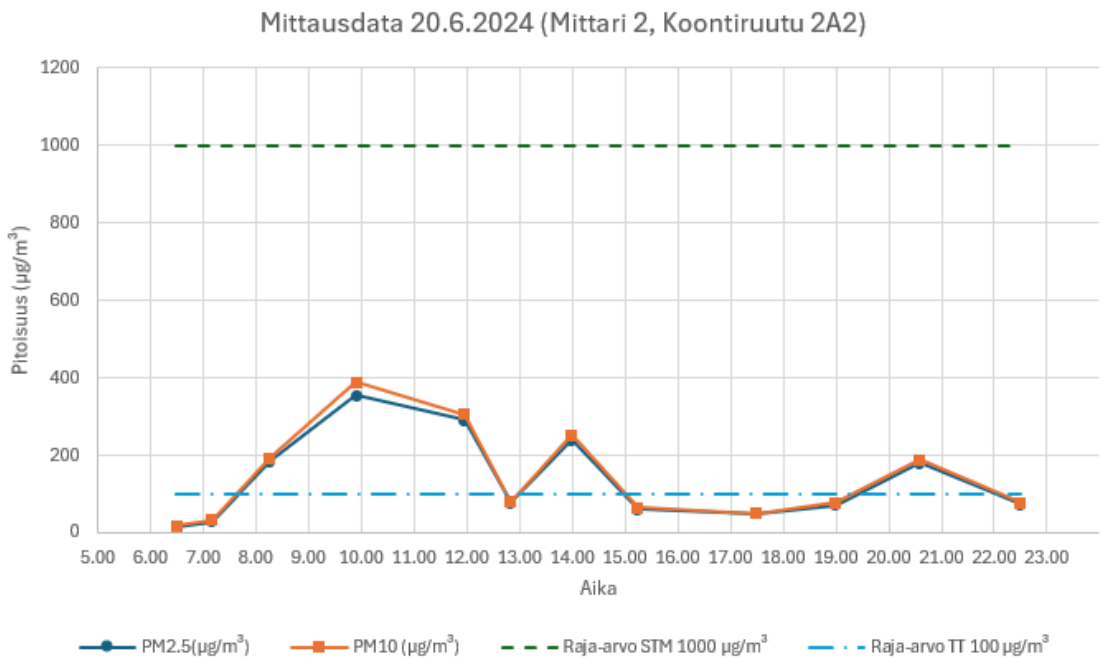
Kuvio 6. Mittausdata 19.6.2024 koontiruudusta 2A2, mittarilta 2.



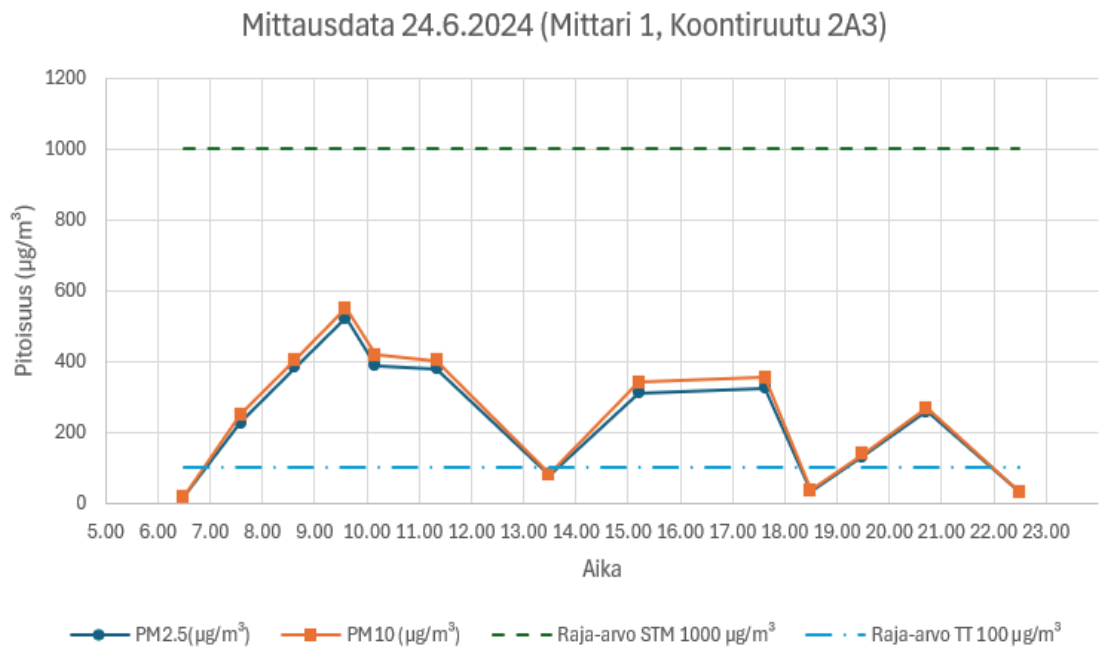
Kuvio 7. Mittausdata 20.6.2024 koontiruudusta 2A2, mittarilta 1.



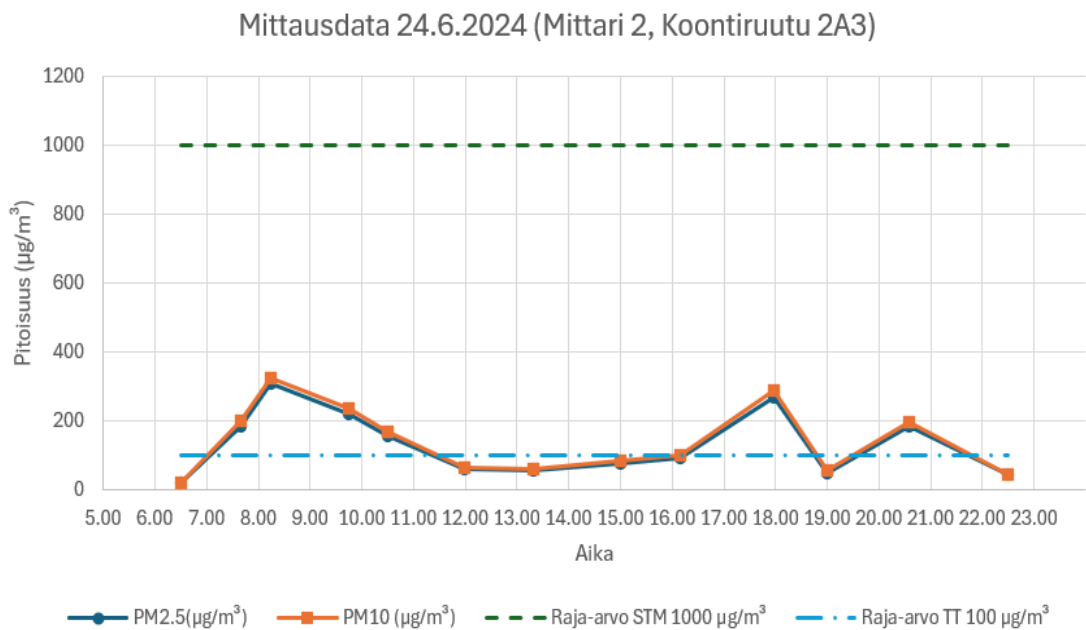
Kuvio 8. Mittausdata 20.6.2024 koontiruudusta 2A2, mittarilta 2.



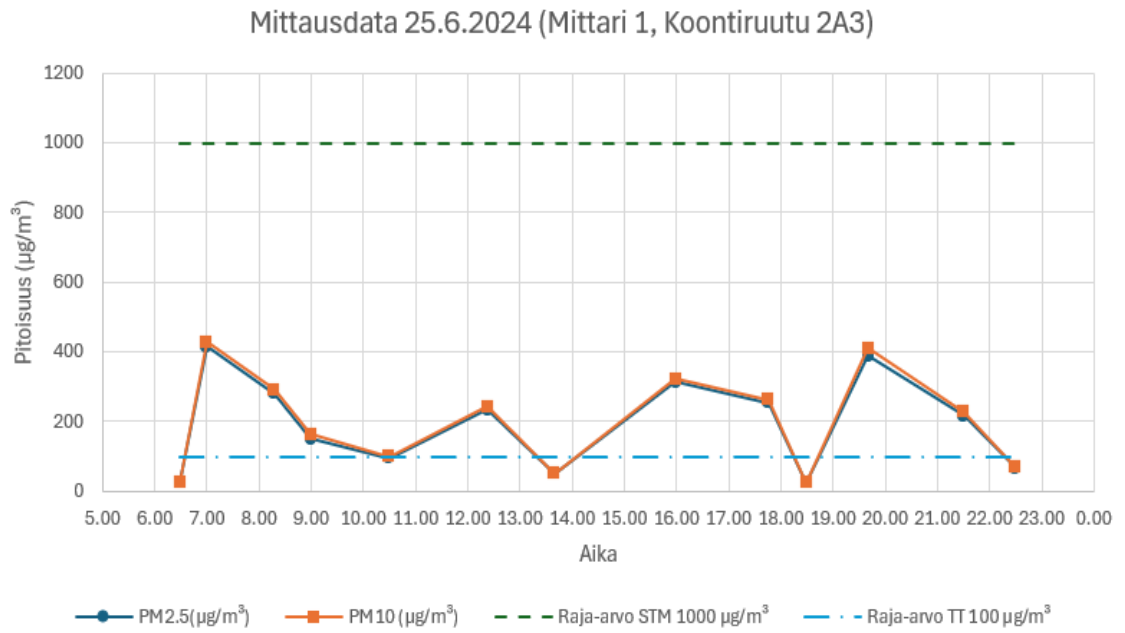
Kuvio 9. Mittausdata 24.6.2024 koontiruudusta 2A3, mittarilta 1.



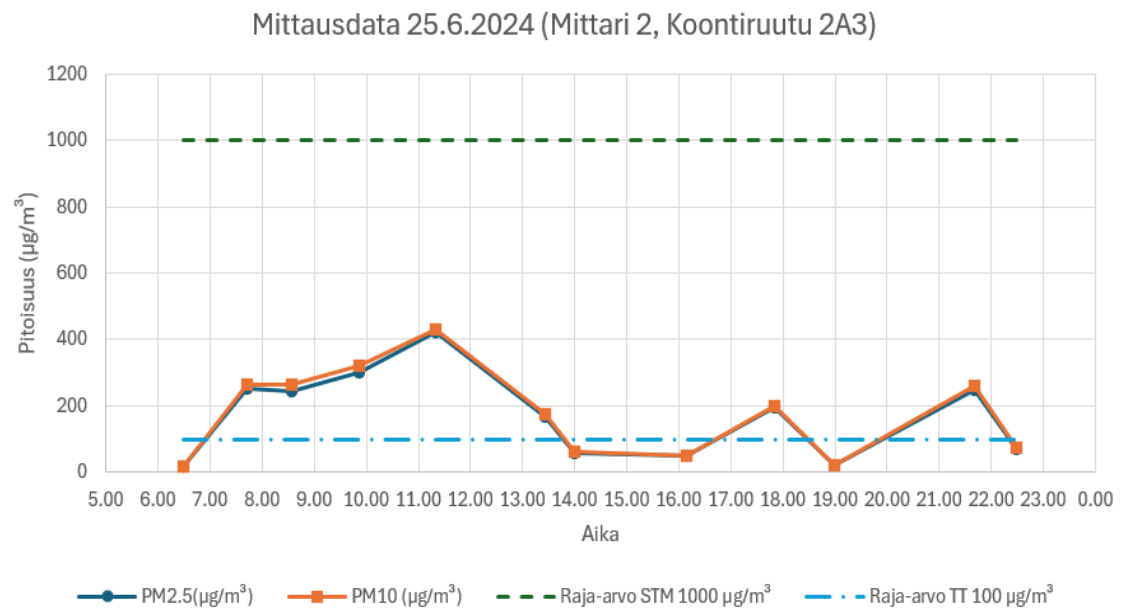
Kuvio 10. Mittausdata 24.6.2024 koontiruudusta 2A3, mittarilta 2.



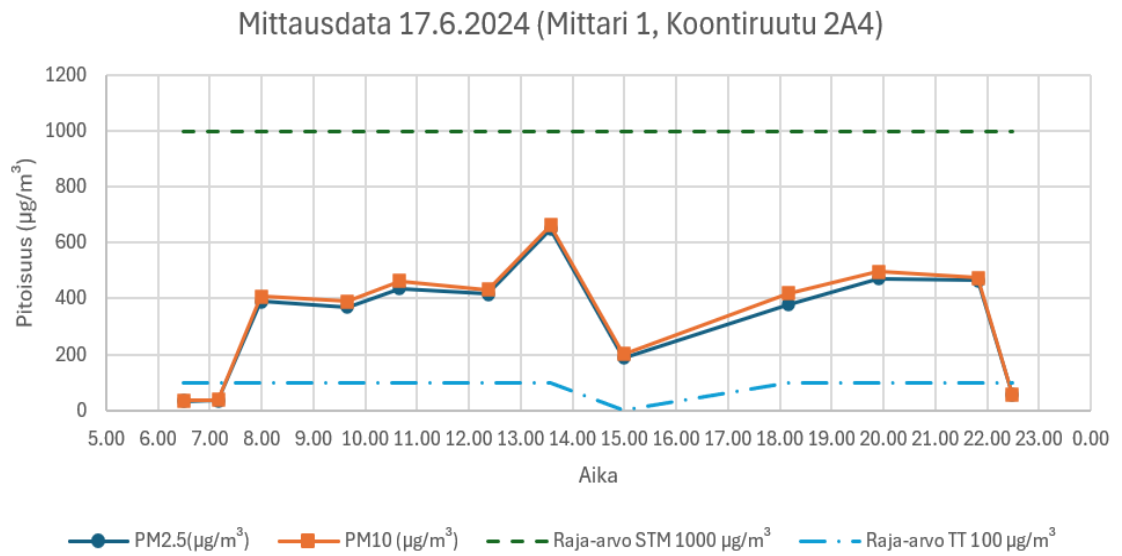
Kuvio 11. Mittausdata 25.6.2024 koontiruudusta 2A3, mittarilta 1.



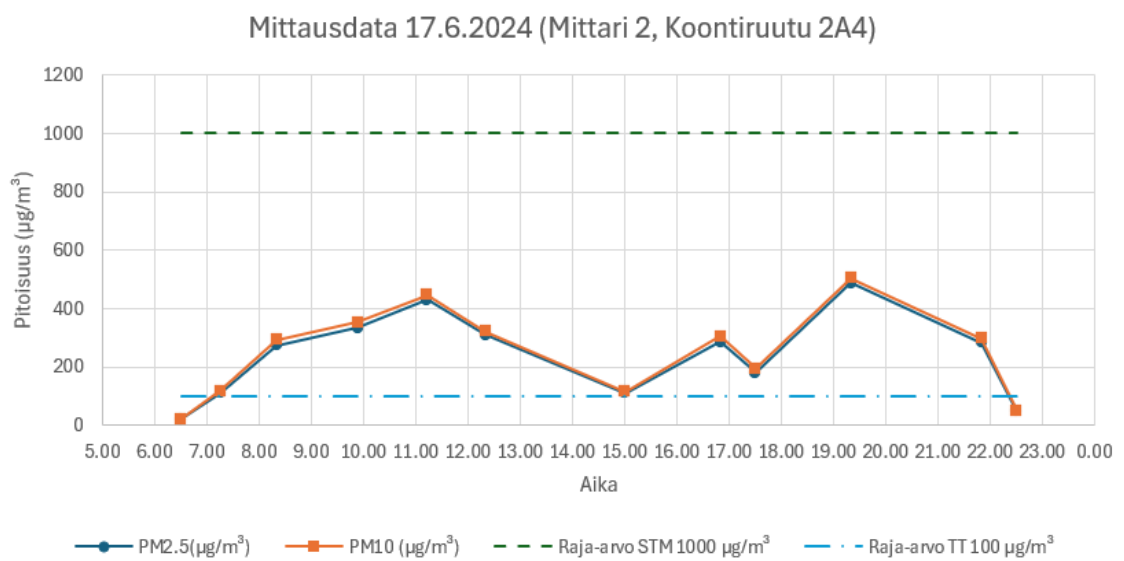
Kuvio 12. Mittausdata 25.6.2024 koontiruudusta 2A3, mittarilta 2.



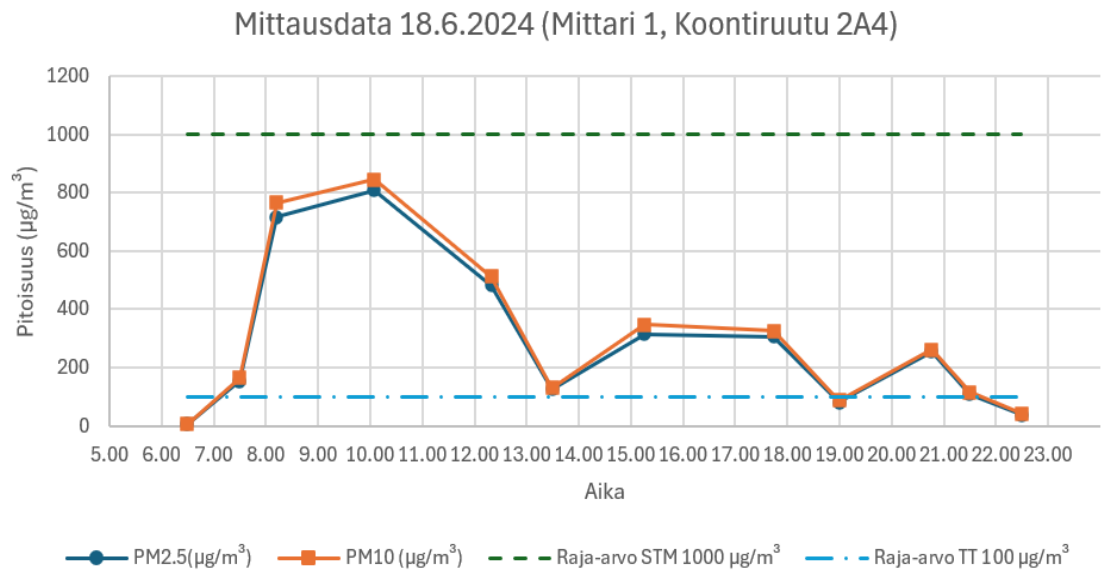
Kuvio 13. Mittausdata 17.6.2024 koontiruudusta 2A4, mittarilta 1.



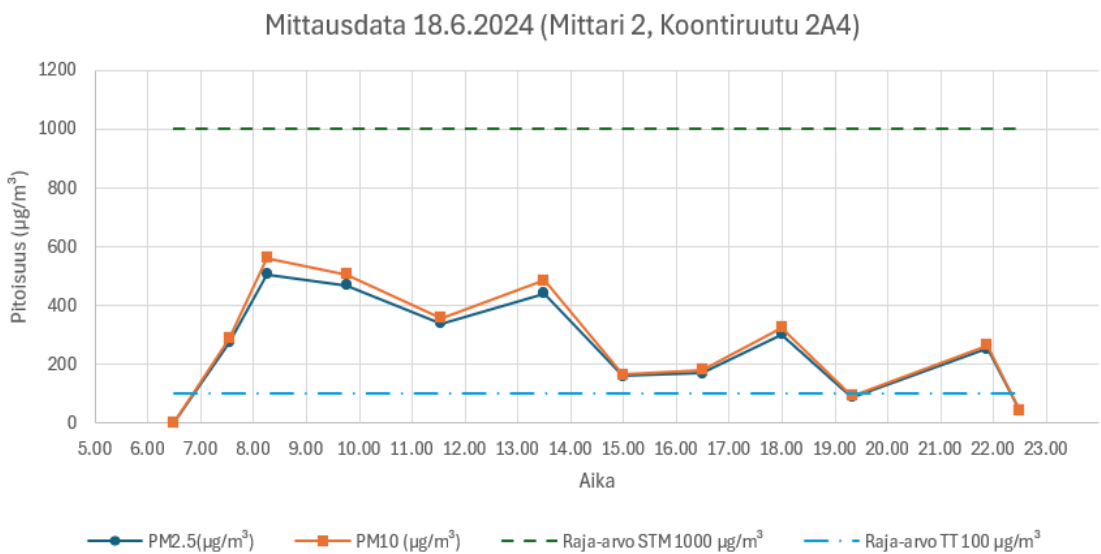
Kuvio 14. Mittausdata 17.6.2024 koontiruudusta 2A4, mittarilta 2.



Kuvio 15. Mittausdata 18.6.2024 koontiruudusta 2A4, mittarilta 1.



Kuvio 16. Mittausdata 18.6.2024 koontiruudusta 2A4, mittarilta 2.



Liite 2. Nederman Flexpack 1000 tekniset ominaisuudet

Product name	FlexPAK 1000
Noise level (dB(A))	70
Compressed air requirement	Dry and clean (Ø6 connection)
Installation	[Indoor], [Outdoor]
Filter cleaning method	[ReverseAirPulse]
Application	[dust], [granulate], [grit], [fumes], [swarf]
Working pressure (kPa)	15
Dustbin volume (l)	70
Max Airflow (m³/h)	1000 @ -15 kPa
Filter Area (m²)	6
Power Voltage (V)	400
Frequency (Hz)	50
No of phases	3
Filter type	[bag]
Number of filter elements	1
Filter material	Acc. To Class M
Electric plug	[without]
Working pressure (kPa)	15
Noise level (dB(A))	70
Max vaccum (kPa)	20

Kuva 11. Nederman Flexpack 1000 tekniset ominaisuudet (Nederman 2021).

Liite 3. HTP_{8h}-arvot kromille, nikkelille ja mangaanille

Taulukko 6. HTP_{8h}-arvot kromille, nikkelille ja mangaanille.

Aine	HTP _{8h} (mg/m ³)
Kromi(VI)	0.005
Nikkeli (hegittyvä pöly)	0.05
Mangaani (alveolijae)	0.02