

Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Kalle Kettunen

Pitoisuusmittausohjauksen mahdollisuus luolatukikohdassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

7.4.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Kalle Kettunen Pitoisuusmittausohjauksen mahdollisuus luolastotukikohdassa 30 sivua + 1 liitettä 7.4.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	Energiatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Tomi Hämäläinen Toimitilapäällikkö Jyrki Määttänen
<p>Stara on Helsingin kaupungin liikelaitoksena sitoutunut laskemaan energiankulutustaan Helsingin kaupungin tavoitteiden mukaisesti. Staran käyttämässä Kampin luolastotukikohdassa energian kulutus on vain noussut, joten asian selvitykseen varattiin opinnäytetyö.</p> <p>Tukikohdassa eniten energiaa käyttää ilmanvaihto, joten epäiltiin, että liika energiankulutus johtui sen väärin optimoinnista. Ilmanvaihtoa ohjataan pitoisuusmittauksella, joten epäiltiin, että pitoisuuden raja-arvot on asetettu väärin. Aloitustilanteessa mitattavana pitoisuutena oli pienhiukkaset.</p> <p>Aloittaessa huomattiin luolastotukikohdan pienhiukkaspitoisuuden käyvän työtuntien ajalla yli laillisen raja-arvon, valmiiksi luolastosta löytyvien sensorien mukaan. Ilmanlaatua varmistettiin tilaamalla uusia pienhiukkassensoreita, jotka näyttivät noin puolta alkuperäisten sensorien arvosta.</p> <p>Epätietoisuuden takia ilma mitattiin vielä Lancom 4 -savukaasuanalysointilaitteella. Sen tuloksista huomattiin tunnetuista savukaasuista vain typpidioksidin nousevan yli sen 15 minuutin HTP-arvon. Savukaasuanalysointilaitteella ei kuitenkaan pysty tarkasti mittaamaan tällä alueella, joten tulos ei ole luotettava.</p> <p>Lopputuloksena saatiin toimintaohjeita henkilöille, jotka jatkavat ilmanvaihdon optimointia opinnäytetyön jälkeen. Ohjaavien sensorien tulee olla kalibroitu, jotta ilmanvaihto voidaan asettaa mahdollisimman tarkasti raja-arvoon jossa ilmanvaihtoon ei käytetä liikaa energiaa ja ilman laatu ei aiheuta terveydellistä haittaa työntekijöille. Typpidioksidin pitoisuus tulee varmistaa analysointilaitteella, joka pystyy mittaamaan luotettavasti havaitulla alueella. Energiankulutusta ei todennäköisesti saada laskettua alle vertailuvuoden, koska se oli kyseisenä vuonna terveydelle haitallisen alhainen, mutta oikein optimoimalla sitä voidaan alentaa nykyisestä.</p>	
Avainsanat	pitoisuusmittaus, pienhiukkaset, typpidioksidi, HTP-arvot

Author Title Number of Pages Date	Kalle Kettunen Possibility of concentration measurement control in the cave base 30 pages + 1 appendices 7 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy- and environment engineering
Professional Major	Energy engineering
Instructor	Teacher Tomi Hämäläinen Facilities manager Jyrki Määttänen
<p>As a business enterprise of the City of Helsinki, Stara is committed to reducing its energy consumption in accordance with the City of Helsinki's targets. At the Kamppi Cave Base used by Stara, energy consumption has only increased, so a thesis was set aside to investigate the matter.</p> <p>The base uses the most energy for ventilation, so it was suspected that too much energy consumption was due to its incorrect optimization. Ventilation is controlled by concentration measurement, so it was suspected that the concentration limits were not set incorrectly. At the initial situation, the concentration measured was small particles.</p> <p>At the beginning, it was noticed that the small particle content of the cavern base exceeded the legal limit during working hours, according to the sensors already found in the cavern. Air quality was ensured by ordering new small particle sensors, which showed about half the value of the original sensors.</p> <p>Due to uncertainty, the air was still measured with a Lancom 4 flue gas analyzer. From its results, it was observed from the known flue gases only nitrogen dioxide rising above its 15-minute HTP value. However, the flue gas analyzer cannot accurately measure in this range, so the result is not reliable.</p> <p>As a result, instructions were obtained for people who continue to optimize ventilation after the thesis. The control sensors must be calibrated so that the ventilation can be set as accurately as possible to a limit value where too much energy is not used for ventilation and the air quality does not cause health damage to workers. The nitrogen dioxide concentration must be verified by an analyzer capable of measuring reliably over the range observed. Energy consumption is unlikely to be reduced below the base year because it was detrimental to health that year, but by optimizing it properly, it can be reduced from the current level.</p>	
Keywords	concentration measurement, particulate, nitrogen dioxide, HTP-values

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kuvaus	2
2.1	Kohteen kuvaus ja toiminta	2
2.1.1	Kalusto	2
2.1.2	Kohteen historia	5
2.2	Ouman - Ounet	5
2.2.1	Valvontasensorit	6
2.3	Töiden jako	8
3	Ajoneuvojen päästöt	8
3.1	Haitalliset aineet	9
3.1.1	Hiilimonoksidi	9
3.1.2	Typen oksidit (NO, NO ₂ ja N ₂ O)	9
3.1.3	Rikkidioksidi	10
3.1.4	Pienhiukkaset	10
3.1.5	Hiilidioksidi	11
3.2	Pitoisuus raja-arvot laissa	11
3.2.1	Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilman vaihdosta § 11 Moottoriajoneuvosuojaan ilmavirrat	11
3.2.2	HTP-arvot ja 79/2017 Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta	12
3.3	Käynnistämisen päästöt	13
4	Ilmanvaihtokone	14
4.1	Ohjaus	14
4.1.1	Ajastetut kiihdytykset	14
4.1.2	Pitoisuus ohjaus	15
4.2	Koneisto	16
5	Mittaukset	17
5.1	Smartwatcher	17

5.2	Omat mittaukset koulun mittarilla	19
5.2.1	Lancom 4 -savukaasuanalysointilaite	19
5.2.2	Mittapisteen sijainti	21
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	29
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Ilmanvaihdon toimintakaavio	
	Liite 2. Oumanin ja Smartwatchersin sensoreiden ero	

1 Johdanto

Helsingin kaupunki on sitoutunut useisiin tavoitteisiin, joilla pyritään kohti maailman toimivinta kaupunkia. Tavoitteisiin kuuluu Helsingin kaupungin sitovat tavoitteet, joka koskevat Staraa Helsingin kaupungin liikelaitoksena. Tavoitteena on säästää energiaa vuodessa yhden prosenttiyksikön vuoteen 2015 verrattuna. Tämä tarkoittaa, että vuonna 2019 täytyisi saavuttaa 4 prosenttiyksikön energiansäästö, jota ei kuitenkaan saavutettu. Tavoite jäi 2,1 %-yksikön säästöön vuodesta 2015, joten asian selvitykseen järjestettiin insinöörityö [1]. Vaikka 2020 tavoite saavutettiin 6,4 %-yksikön säästöllä, kuvasta 1 huomataan, että yhden kohteen eli Kampin luolatukikohdan energian kulutus on silti kaksinkertaistunut vuodesta 2015 (Kuva 1).

	Kaukolämpö normitettu MWh		Sähkö MWh	
	2015	2020	2015	2020
Atomitie 4-6	995	1017	227	169
Hakamäenkuja 4	271	320	134	104
Hämeentie 115	5 067	5 212	1 934	1 665
Kampin luolatukikohta	170	304	383	377
Liukumäentie 4	1049	929	542	543
Talttakuja 4	286	289	439	426
Jätkäsaari *	2 275	1 579	1 955	1 944
Tuomarinkylä	1251	989	165	173
Yhteensä	11 365	10 639	5 779	5 401
* Käytetty vuoden 2018 arvoa				
	Kokonaisenergiankulutus MWh			
	2015	2020	Ero	
	17 143	16 039	-6,4 %	

Kuva 1 Staran energian kulutus vuosina 2015 ja 2020.

Opinnäytetyössä tarkastellaan Kampin luolatukikohdan energian kulutuksen optimoimista. Energiaa uskotaan kuluvan turhaan ilmanvaihtokoneisiin. Koneet käyttävät suurimman osan kaukolämmöstä ja uskotaan, koska ne kuluttavat enemmän energiaa kuin vertailuvuonna 2015, ettei niitä ole optimoitu toimimaan tarpeeksi tehokkaasti. Ilmanvaihtokoneet ovat pitoisuusohjattuja ja nostavat ilmanvaihtokoneen tehoa sitä mukaan, kun hiukkaspitoisuus nousee, päästämättä ilman laatua liian huonoksi ja nostamatta sitä turhaan liian hyväksi, täten käyttäen turhaan energiaa.

2 Kuvaus

2.1 Kohteen kuvaus ja toiminta

Staran tehtäviin kuuluu Helsingin tieverkon ylläpito. Sen takia heillä on käytössään lumen aurauskalustoa, joka on sijoitettu Helsingin keskustassa Kampin luolatukikohtaan. Tukikohdassa toimitaan kolmessa kahdeksan tunnin vuorossa: 06 - 14, 14 - 22 ja 22 - 06. Yövuorossa ei toimita joka yö vaan vain, jos sille on tarvetta. Jos lunta tulee paljon yön aikana esimerkiksi lumimyrskystä, on tärkeää, että tiet saadaan avattua ennen kuin aamuliikenne käynnistyy, jotta vältetään liikenneuhkilta ja onnettomuuksilta.

2.1.1 Kalusto

Stara säilyttää paljon kalustoaan Kampin tukikohdassa sen suuren pinta-alan takia. Tämä johtaa siihen, että monen eri työkoneen käyttäjän työpäivä alkaa Kampin luolatukikohdasta, mikä lisää tukikohdan liikennettä. Suuri osa kalustosta on raskasta, ja käyttää dieseliä, joten vuoron alkaessa voidaan odottaa suuria hiukkaspäästöjä. Raskasta kalustoa käytetään katujen auraamiseen ja lumen siirtämiseen talvisin. Kuvissa 2, 3 ja 4 on esimerkkejä Kamppiin sijoitetusta kalustosta.



Kuva 2 Kampin tukikohdan kalustosta löytyvä Vammala RG-281.



Kuva 3 Kampin tukikohdan kalustosta löytyvä Wille 355.



Kuva 4 Kampin tukikohdan kalustosta löytyvä Volvo L 50.

Luolatukikohtaan on sijoitettu sen suuren pinta-alan takia myös muutakin kuin lumenau-
raamiseen tarkoitettua kalustoa. Tukikohtaan on sijoitettu säilytettäväksi myös erikokoi-
sia kadunlakaisijoita sekä kuorma- ja henkilöautoja. Taulukko 1:een on merkitty Kampin
luolatukikohtaan sijoitettu kalusto kokonaisuudessaan.

Taulukko 1 Kampin luolatukikohdan kalustoluettelo.

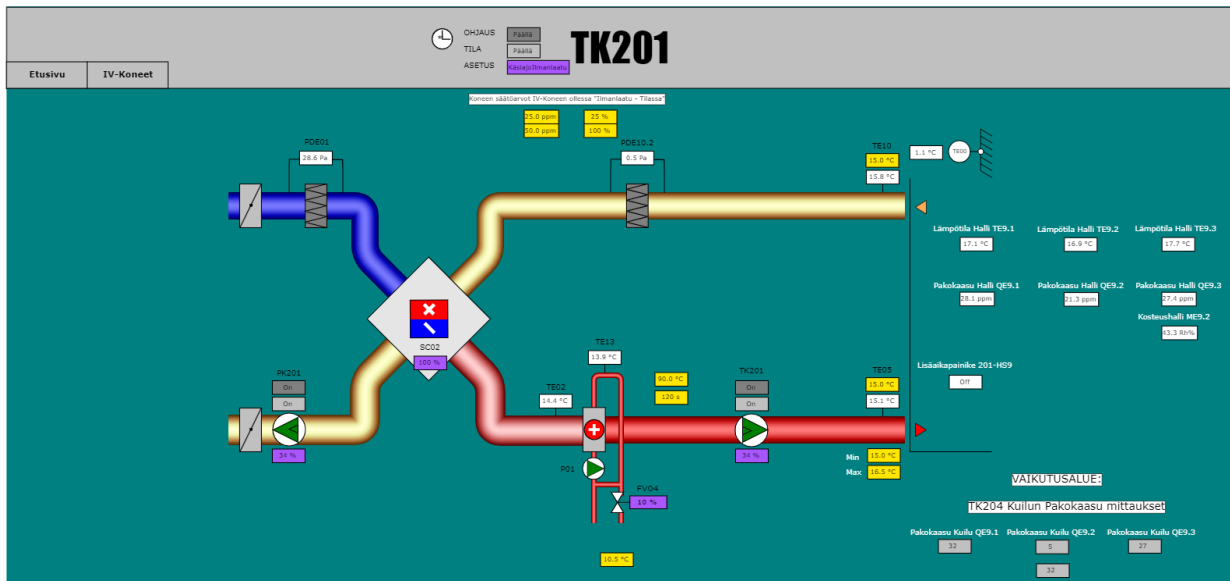
Kategoria	Malli	Kpl
Henkilöauto	Skoda Fabia	1
Pakettiauto	Ford Ranger Super Cap	3
	Nissan NV400	2
	VW Transporter	1
	Isuzu D-max	1
	Iveco Daily	1
	Opel Movano	1
	Kuorma-auto, alle 12 t	Mercedes-Benz Atego
Mercedes-Benz Sprinter		1
Fuso Canter		1
Kuorma-auto, 12 - 18 t	Scania P270	1
Kuorma-auto, yli 18 t	Scania P340	2
	Scania P360	1
	Scania P450	2
	Volvo FM 380	1
	Volvo FMX 420	1
Monitoimikone	Holder C4.8	1
Lakaisujoneuvo	MAN/FAUN 6	1
	Nilfisk CR 1200	1
	Dulevo 6000	1
	Faun viajet 6	1
Pyöräkuormaaja, kevyt	Wille 355	2
	Wille 365	2
	Wille 455	4
	Wille 475	2
Pyöräkuormaaja, 5 t	Wille 655	11
	Wille 855	2
Pyöräkuormaaja, 7 t	Liebherr L 514	1
Pyöräkuormaaja, 10 t	Caterpillar 924	2
	Volvo L 50	2
	Volvo L 60	1
	Volvo L 70	1
Tiehöylät	Veekmas RG-281	3

2.1.2 Kohteen historia

Vuonna 2015 kohteen teknisenä isännöitsijänä toimi eri henkilö kuin tällä hetkellä. Tältä ajalta ei ole käytössä dataa ilmanvaihdon asetuksista. Esimieheni kuitenkin kertoi, että kyseisenä aikana tekninen isännöijä teki säädöt käsin ilman faktapohjaisia perusteita. Tämä johti energian säästöön mutta myös sisäilman laadun romahtamiseen. Tältä ajalta tuli lukuisia valituksia henkilöstöltä huonosta ilmanlaadusta ja ajalta raportoitiin myös paljon sairasteluja huonon ilmanlaadun takia. Tavoitteena ei siis suoranaisesti ole laskea energian kulutusta vertailuvuoden 2015 alapuolelle, vaan löytää tasapaino, jolloin energian kulutus on alhaisin mahdollinen ja luolatukikohdan sisäilmanlaatu pysyy laadukkaana. Tarkastelukohteessa on myös havaittu likaantumiseen liittyvä ongelma. Ilmastointia ohjaavat sensorit olivat menneinä vuosina pölyntyneet niin pahasti, että ne viesivät ilmanvaihdon ohjaukselle tilan olevan täynnä pölyä. Tämä johti ylilyöntiin energian kulutuksessa ja nosti luolan normaalin +14 C° lämpötilan jopa +20 C°:seen.

2.2 Ouman - Ounet

Kohteen energiakulutuksen alentamisen takia on otettu yhteyttä säätölaitetoimittaja Ouman Oy:hyn. Ilmastoinnin seuranta tapahtuu Oumanin lanseeraamassa Ounet-järjestelmästä. Ouman tarjoaa kuluttajilleen automaatiota kiinteistöihin ja täten niiden energiankulutusta on helpompi seurata [2]. Järjestelmä toimii netissä ja kertoo reaaliajassa ilmastoinnin eri lämpövirtojen suuruuksia, venttiilien asentoja ja muita ilmastoinnin optimointiin olennaisia parametreja, joilla järjestelmän käyttäjälle muodostuu selkeämpi kuva käytettävästä järjestelmästä. Ounet-järjestelmä voidaan räätälöidä kuluttajalle sopivaksi ja asettaa järjestelmään omia arvoja, ja tätä kautta lisätä automaatiota ja vähentää valvonnan määrää. Ounet siis vähentää kiinteistön hoitajan taakkaa valvoa kiinteistön olosuhteita, koska hän voi tarkistaa asian netistä menemättä itse paikan päälle [3]. Kuvassa 5 esitellään miltä Ounetiin luotu toimintakaavio näyttää kiinteistöhoitajalle.



Kuva 5 Ounetin valvontaruutu.

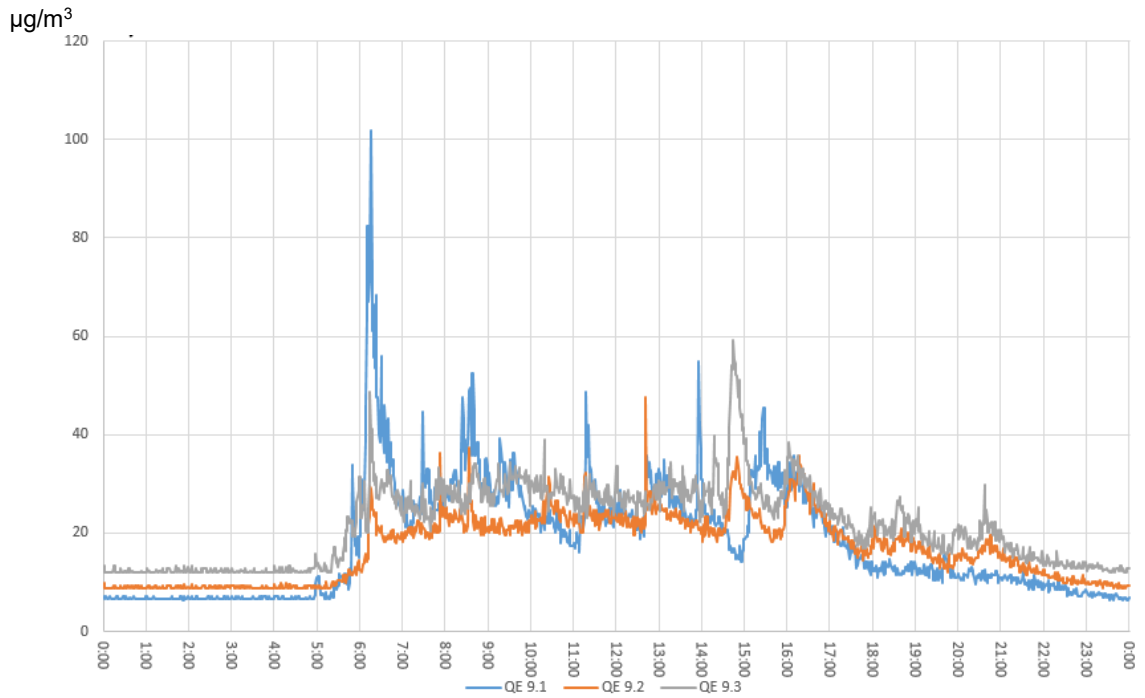
2.2.1 Valvontasensorit

Kohteessa ilmastointia ohjataan hiukkaspitoisuus sensoreilla. Sensorit ovat malliltaan Siemens QSA2700D [Kuva 6]. Mittarit havaitsevat PM 2,5 eli pienhiukkaspitoisuuden kasvua ja lähettävät tiedon ilmastointilaitteiden taajuusmuuttajille, nostamalla niiden taajuutta ja kasvattaen ilmastoinnin tehoa. Mittareiden mittaustuloksia voidaan tarkastella Ounet-järjestelmästä minuutin tarkkuudella, joka on meille tarpeeksi hyvä tarkkuus. Tämän tarkemmalla mittauksella olisi vähän lisäarvoa, koska pitoisuutta tarkastellaan usein minuuttitasolla tai tuntitasolla, ei tätä pienemmällä. Mittari on näytöllinen, joten pitoisuutta voi seurata myös paikan päällä ilman Ounetta. Yksikkönä toimii SI-yksiköiden mukainen $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

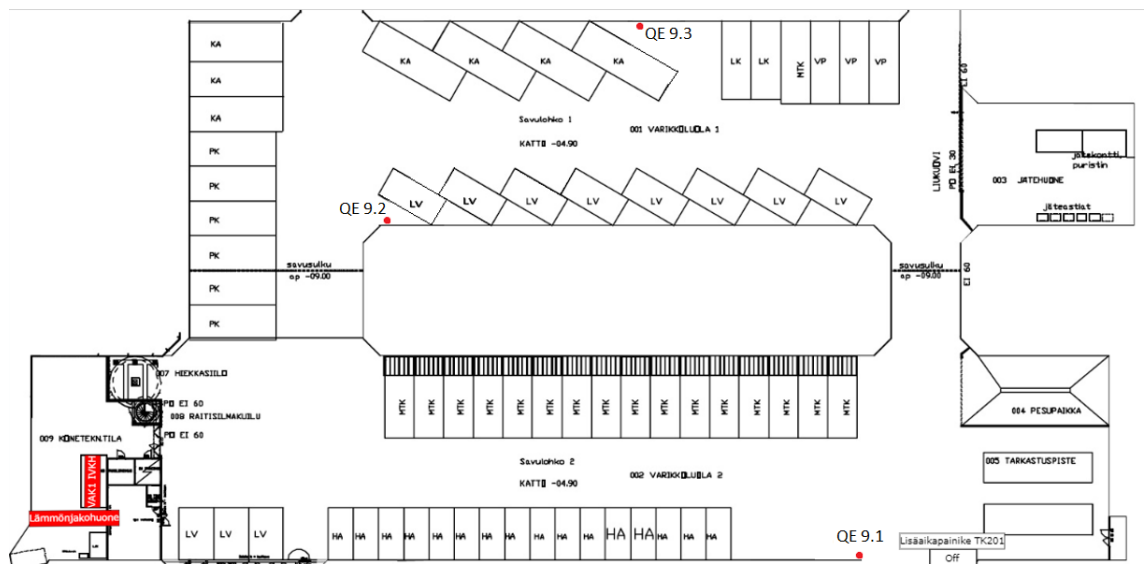


Kuva 6 Siemens QSA2700D PM 2,5 -sensori.

Vuorokauden suurin yhteinen lähtö on aina kello kuuden tunnilla, kun koko kalusto lähtee lähes saman aikaisesti liikkeelle. Lähtö näkyy myös hallissa olevissa hiukkasantureissa päivän korkeimpana kohtana käyrässä [Kuva 7]. Kuvassa 8 näkyy hiukkasantureiden sijainnit luolastotukikohdassa.



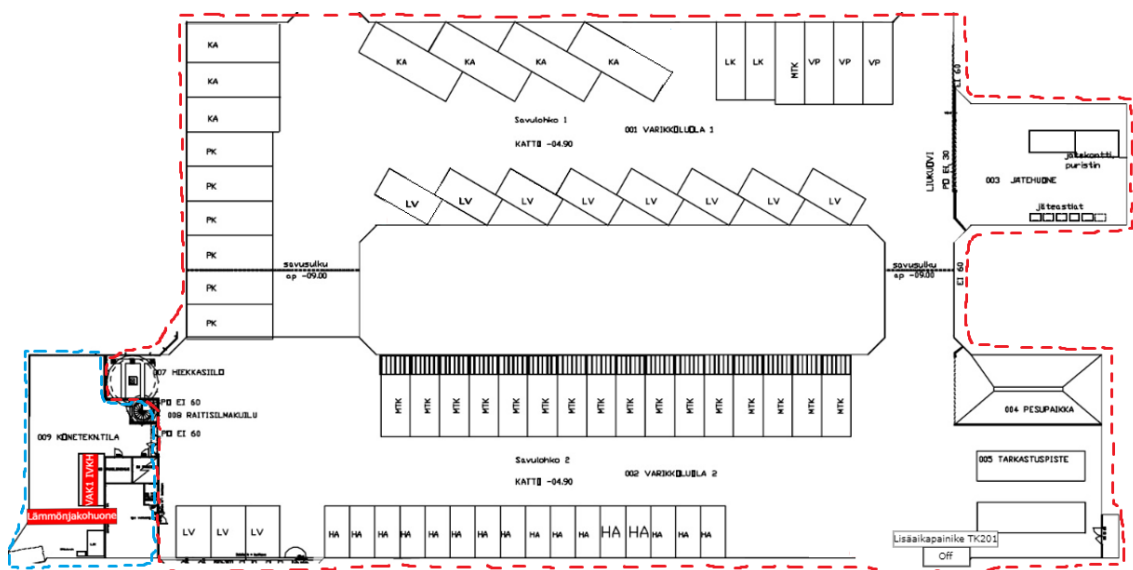
Kuva 7 Ounetin pienhiukkaspitoisuuden vaihtelu vuorokauden aikana.



Kuva 8 Ounetin pienhiukkassensoreiden mittapistees luolastotukikohdan pohjapiirroksessa.

2.3 Töiden jako

Kampin luolastotukikohdan energiatehokkuuden parantamiseksi asetettiin kaksi linjaa, jotka toimivat yhdessä. Sitowise Oy, joka optimoi kaukolämmön käytön ja ilmanvaihtoverkoston venttiilit, jotta kulutus on tasaista ja helppo seurata sekä tämä opinnäytetyö jolla varmistetaan, että hallin puolen sensorit näyttävät lukemaa, jolla voidaan ohjata ilmanvaihtoverkosta. Opinnäytetyön tarkastelukohde on rajattu kohteen pohjapiirustukseen Kuvassa 9 näkyvällä punaisella katkoviivalla. Sitowise Oy:n alue on rajattu sinisellä katkoviivalla. Vaikka Sitowisen alue on pinta-alaltaan pienempi, on heidän työnsä silti suurempi koska kaikki ilmanvaihtokoneet sijaitsevat samassa pienemmässä huoneessa.



Kuva 9 Työjako alueet opinnäytetyön ja Sitowisen kanssa.

3 Ajoneuvojen päästöt

Polttomootoroidut ajoneuvot tuottavat ilmanlaatua heikentäviä ja haittaavia päästöjä. Pakokaasut syntyvät moottorissa tapahtuvassa polttoprosessista. Ihmiselle pakokaasut voivat olla hengenvaarallisia, jos pitoisuus on tarpeeksi korkea ja altistumisen pituus on tarpeeksi pitkä, mutta haitallisen pitoisuuden alapuolella aineesta ei ole terveydellistä haittaa.

3.1 Haitalliset aineet

Haitallisia ajoneuvojen päästöjä tunnetaan useita. Haitalliset päästöt voivat olla kaasumaisessa muodossa tai hiukkasia. Tässä kappaleessa luettellaan vain osa THL:n luettelemista haitallisista päästöistä. [4.]

3.1.1 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidi tai paremmin kansan kielellä tunnettu häkä muodostuu epätäydellisessä palamisprosessissa [5]. Epätäydellistä palamista tapahtuu, jos palamisprosessissa ei ole tarpeeksi happea tai lämpötila on liian pieni. Tällöin hiiliatomi pääsee sitoutumaan vain yhden happiatomin kanssa muodostaen hiilimonoksidin kahden happiatomin sijaan, jolloin se muodostaisi vakaamman molekyylin, hiilidioksidin.

Häkä on vaarallista ihmiselle sitä hengittäessä, sillä se sitoutuu happea hanakammin punasoluihin. Koska punasolu ei voi tällöin siirtää happea, se aiheuttaa elimistöön hapen puutteen joka voi näyttäytyä tajunnan menetyksenä, päänsärkynä, näköhäirintänä tai korvien soimisena. [5.]

3.1.2 Typen oksidit (NO, NO₂ ja N₂O)

Typen oksideja kuvataan usein NO_x-lyhenteellä, koska hapen määrä molekyylissä voi vaihdella. Suurin osa typen oksideista muodostuu ensin moottorissa typpimonoksidiksi, josta vapautuessaan hapettuu typpioksidiksi ja muiksi typen oksideiksi. [6.] Typen oksidit poikkeavat muista päästöistä siten, että ne muodostuvat polttoprosessiin lisätystä ilmasta eikä polttoaineesta kuten muut mainitut päästöt [7]. Typpi on siis vain sivutuote, jota polttoprosessiin kulkeutuu, koska sitä on ilmassa 78% ja tarvittavaa happea taas 21% [8].

Typen oksidien terveysvaikutukset kohdistuvat suurimmaksi osaksi keuhkoihin. Koska ne eivät liukene veteen helposti ne pääsevät kulkeutumaan sisään hengittäessä keuhkoihin saakka, jolloin vaikutus on suurempi. Typen oksidit aiheuttavat keuhkon seinämiin

vaurioita ja näin herkistävät hengitysteitä virus- ja bakteeri-infektioille ja allergeenien vaikutuksille. Typenoksidoilla on myös yhteys välittömään hengitystiesairastuvuuteen. [9, s. 1099 - 1100.]

3.1.3 Rikkidioksidi

Dieselpolttoaineet sisältävät pieniä määriä rikkiä. VTT:n käyttämä pakokaasujen laskeutumisjärjestelmä Lipaston mukaan polttoaineen sisältämästä rikistä lähes 100 % muuttuu oksideiksi polttoprosesseissa [10]. Vaikka rikkipitoisuus on pieni polttoaineessa nykyään, otan sen huomioon mittauksissa koska tila on suljettu ja pienetkin määrät voivat kohota suuriksi ajan myötä. Rikkidioksidi voi aiheuttaa ihmiselle oireita hengitysteissä sisään hengittäessä [10].

3.1.4 Pienhiukkaset

Pienhiukkasiksi lasketaan kaikki partikkelit, joiden läpimitta on vähemmän kuin 2,5 µm. Hiukkaset poikkeavat muista mainituista päästöistä siten, että ne ovat kiinteää materiaalia muiden ollessa kaasuja. Pienhiukkasista on myös hieman suurempia haitallisia hiukkasia, joita kutsutaan ”hengitettäväksi hiukkasiksi” ja jotka ovat halkaisijaltaan enintään 10 µm. Mittarimme mittaavat kuitenkin vain pienhiukkasia, joten opinnäytetyössä keskitytään tarkastelemaan vain niitä. Hengitettävien ja pienhiukkasten muodostumisen erona on, että pienhiukkaspäästöt muodostuvat pääsääntöisesti polttoprosesseista eli energia- tuotannosta ja polttomoottoreissa, kun taas hengitettävät hiukkaset hiekoitushiekasta ja autojen kitkapinnasta, kuten jarruista, kytkimestä ja renkaista. [11, s.23.]

Hiukkasten koko vaikuttaa niiden terveysvaikutuksiin. Ihmiskehon torjuntamekanismit pystyvät torjumaan yli 10 µm:n hiukkasten pääsyn hengitysteihin. Tästä pienemmät pienhiukkaset onnistuvat pääsemään jo hengitysteiden läpi, aina syvälle keuhkorakkuloihin. [11, s.23.] Pitkäaikaisten hiukkasaltistumisten tiedetään myös vaikuttavan negatiivisesti lasten keuhkojen toimintaan [11, s.30].

3.1.5 Hiilidioksidi

Hiilidioksidia syntyy ilmaan polttoprosesseista ja ihmisten hengitysilmaasta. Koska täydellisessä palamisessa kaikki poltettu polttoaine muuttuu hiilidioksidiksi, hiilidioksidin määrän voidaan olettaa olevan suoraan verrannollinen poltettuun polttoaineeseen.

Hiilidioksidi ei ole vaarallisin pakokaasupitoisuuksista, mutta silläkin voi olla merkittäviä terveydellisiä haittoja. Suuri hiilidioksidipitoisuus voi aiheuttaa päänsärkyä, väsymystä ja työskentelytehon laskua [12].

Hiilidioksidia lasketaan harvoin haittaavaksi pakokaasuksi. Koska kohde on suljettu luolasto, jossa käytetään raskaita koneita ja tiedetään suuren pitoisuuden vaikuttavan sisäilman laatuun ja viihtyvyyteen, päätin ottaa sen myös tarkastelun kohteeksi.

3.2 Pitoisuus raja-arvot laissa

Koska ihmiselle voi olla haittaa liian korkeista pakokaasupitoisuuksista, niille on säädetty lakiin raja-arvot joita ei saa ylittää. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta -asetuksessa määritetään pitoisuusraja-arvot uusimman tiedon mukaan. Pitoisuudet on aina sidottu aikaan, joten tarpeeksi lyhyt altistus korkealle pitoisuudelle ei vielä ole haitallinen.

3.2.1 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilman vaihdosta § 11 Moottoriajoneuvosuojaan ilmavirrat

Erilaisten moottoriajoneuvosuojien tai parkkihallien ilman vaihdon määräyksien tulkitseminen on helpottunut 2017 voimaan astuneella asetuksella. Asetuksen § 11 kerrotaan että:

Erityissuunnittelijan on mitoitettava moottoriajoneuvosuojaan ilmanvaihdon ilmavirrat siten, etteivät ilman epäpuhtaudet aiheuta terveydellistä haittaa käyttäjille. Ilmavirrat on mitoitettava niin, että moottoriajoneuvosuojaassa hiilimonoksidin keskiarvopitoisuus kriit-

tisimmäksi arvioituna käyttötuntina ei ylitä arvoa 35 mg/m³ (30 ppm). Moottoriajoneuvosuojaan jatkuvan työskentelyalueen ilmapirrat on mitoitettava niin, että hiilimonoksidin hetkellinen pitoisuus ei ylitä 7 mg/m³ (6 ppm). [13.]

Asetuksesta julkaistussa perustelumuongiossa tarkennetaan, että hiilimonoksidipitoisuuden voidaan olettaa korreloivan riittäväällä tarkkuudella muiden päästöjen kanssa. Tämä tarkoittaa, että ilmastointia voidaan ohjalla muillakin päästöillä kuin hiilimonoksidilla, kuten pienhiukkaspitoisuudella. Pitoisuutta tulee myös mitata moottoriajoneuvosuojusta eikä sen poistoilmasta, jotta voidaan olla varmoja pitoisuuden tarkkuudesta. Perustelumuongiossa kerrotaan, että Sosiaali- ja terveysministeriö on julkaissut asetuksen, jossa kerrotaan ilman haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot. [14, s.11.]

3.2.2 HTP-arvot ja 79/2017 Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta

Sosiaali- ja terveysministeriö on julkaissut kokoelman haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista HTP-arvot 2020 -julkaisussaan. Raja-arvot on asetettu niin, että pysytellessä niiden alapuolella ei olemassa olevan tiedon valossa altistumisesta pääsääntöisesti koidu vaaraa tai haittaa henkilön turvallisuudelle tai terveydelle. Arvo ei kuitenkaan ole yhtä helpposti tulkittava kaikilla aineilla. Esimerkiksi syöpää aiheuttavat aineet voivat olla haitallisia jo pienemmissä määrissä, joten tarkkaa raja-arvoa ei voida määrittää aineille. Aineet joita käsittelen raportissani eivät kuitenkaan ole syöpää aiheuttavia aineita. [15, s.10.]

Aineen HTP-arvoksi annetaan usein kaksi arvoa; pitkä ja lyhyt altistuminen. Pitkän altistumisen aikaraja on kahdeksan tuntia ja lyhyen altistumisen aika raja on 15 minuuttia. Pitkissä altistuksissa HTP-arvo saa ylittyä lyhyesti, kunhan keskiarvo kahdeksalta tunnilta ei ylitä arvoa. Aineille jotka voivat vaikuttaa jo lyhyellä ajalla on asetettu HTP-arvo 15 minuutin ajalle. Tätä arvoa ei työpäivän aikana saa esiintyä kuin kerran tunnissa ja enintään neljä kertaa kahdeksan tunnin ajalla. [15, s.11.]

Koska HTP-arvot lasketaan ainoastaan kemiallisille koostumuksille, ei pienhiukkasia ole listattu kokoelmaan. Pienhiukkasilie löydetään oma raja-arvo 79/2017 Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta -asetuksesta.

Taulukko 2:een on koottu tarkkailtujen aineiden raja-arvot. 79/2017 § 4:ssä kerrotaan, ettei pienhiukkasmäärän keskiarvo saa ylittää arvoa 25 µg/m³. HTP-arvot 2020 -julkaisussa kerrotaan hiilimonoksidin 15 minuutin arvoksi 75 ppm ja 8 tunnin arvoksi 20 ppm, hiilidioksidin 8 tunnin arvoksi 5000 ppm ja typpidioksidin ja rikkidioksidin 15 minuutin arvoiksi yhden ppm ja kahdeksan tunnin arvoiksi 0,5 ppm.

Taulukko 2 Pakokaasujen HTP-arvoja.

	HTP-arvot 2020		79/2017
	15 min	8 h	vuosi
Hiilimonoksidi (ppm)	75	20	
Hiilidioksidi (ppm)		5000	
Rikkidioksidi (ppm)	1	0,5	
Typpidioksidi (ppm)	1	0,5	
Pienhiukkaset PM 2.5 (µg/m ³)			25

3.3 Käynnistämisen päästöt

Ilmastoinnin optimoinnissa on hyvä ottaa huomioon, että autoilla ei usein ole ajettu vähään aikaan niitä käynnistettäessä. Moottorien ollessa jäähtyneitä käynnistäessä, niiden päästöt ovat suuremmat. Päästöjen kasvuun vaikuttaa moottorin alhainen lämpötila joka haittaa polttoaineen paloprosessia. Moottorin lämpötilan ollessa alhainen se ei polta kaikkea mahdollista polttoainetta ja muodostaa nokea, joka näkyy suurempina hiukkaspäästöinä ja hiilimonoksidia. Moottorin saavuttaessa käymislämpötilansa hyötysuhde nousee huomattavasti ja päästöjen määrät laskevat puhtaamman palamisen takia.

Kylmäkäynnistykseen liittyy muitakin haittatekijöitä. Autoa käynnistäessä öljy on paksumpaa, koska öljy on valittu käymislämpötilan mukaan. Öljyn paksuminen johtaa koneiston suurempaan kitkaan joka aiheuttaa suurempaa kulutusta suurempien vastusvoimien kumoamiseksi. Moottori on suunniteltu toimimaan näin, kunnes se saavuttaa käymislämpötilansa. Autojen päästöjä vähentävä katalysaattori vaatii myös käyttölämpötilan. Katalysaattorin toiminta perustuu korkeaan lämpötilaan, joten se päästää suuren osan päästöistä läpi ennen käymislämpötilan saavuttamista, lisäten ajoneuvon hetkellisiä päästöjä. [16.]

4 Ilmanvaihtokone

Laadukkaan sisäilman saavuttamiseksi vaaditaan usein ilmanvaihtokone. Poikkeustapauksia on, jos sisäilma pääsee vaihtumaan tarpeeksi tehokkaasti ilmanvuodon tai painovoiman takia. Ilmanvaihtokoneen tärkeimpiin tehtäviin kuuluu taata sisällä oleville laadukasta sisäilmaa, jossa on tarpeeksi happea eivätkä HTP-arvot ylity. Sisäilmayhdistys ry:n mukaan ihmisen keuhkojen läpi kulkee 15000 litraa ilmaa vuorokaudessa [17]. Ilman vaihdon tärkeys korostuu erityisesti luolastoissa, koska ilma ei pääse vaihtumaan rakennuksen pienistä raoista ja lisäksi maasta vuotavan radonin pitoisuus saattaa nousta korkealle.

4.1 Ohjaus

Ilmanvaihtoa pyritään usein ohjaamaan energian säästämiseksi, muuten se olisi aina täydellä teholla. Jos ilmanvaihtoa ei ohjata, se tulisi asettaa niin korkealle, ettei ilman laatu pääse romahtamaan edes suurimmalla käyttötunnillaan. Tämä tarkoittaisi, että koneisto toimisi loppuajan liian suurilla tehoilla, kuluttaen energiaa turhaan koska tarvetta niin suurelle ilmanvaihdolle ei ole. Tämän takia ilmanvaihtoon pyritään löytämään sopiva ohjaus tapa.

4.1.1 Ajastetut kiihdytykset

Yksi tapa vähentää ilmanvaihdon tehoa vakiosäädöstä on ajastaa ilmanvaihdolle kiihdytysajat. Tällä tarkoitetaan, että ilmanvaihtokoneiden taajuusmuuttajille asetetaan ajat, jolloin ilmanvaihdon halutaan toimivan suuremmalla teholla ja loppuajan se toimii alhaisemmalla teholla kuten kuvassa 10 esitetään. Ajastettuihin kiihdytyksiin liittyy etuna, että energian kulutusta on helpompi arvioida, kun ainoana muuttujana on lämpötila. Koska ilman vaihdon tilavuusvirta tiedetään, loppu energian kulutus voidaan arvioida ulko- ja sisälämpötilan erotuksesta. Kuva 10:een on asetettu ilmanvaihto toimimaan 100

:%n teholla vuoron ensimmäiselle tunnille, kun autojen oletetaan ajavan ulos tukikohdasta.



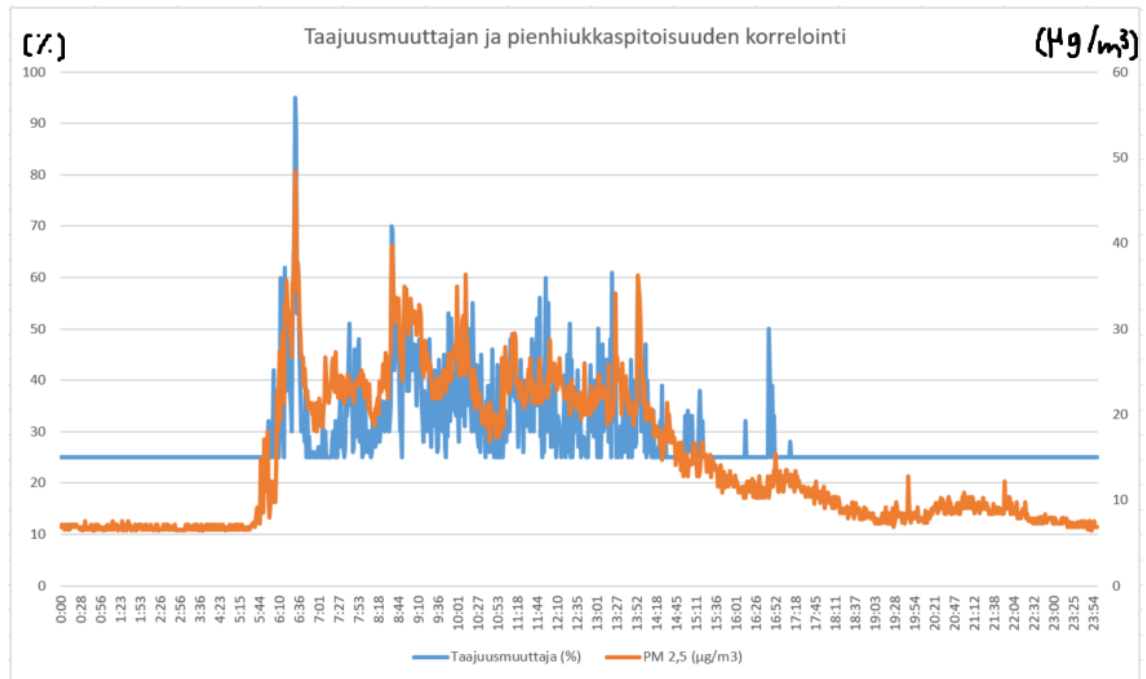
Kuva 10 Esimerkki ajastetuista kiihdytyksistä.

Tämä ohjaustapa toimii hyvin niin kauan kun suurimmat käyttötunnit tiedetään ja voidaan varmistua, ettei haitallisten aineiden pitoisuudet pääse kasvamaan kiihdytysaikojen ulkopuolella. Kampin luolastotukikohdassa tätä koitettiin, mutta todettiin ettei sen pohjalta ole turvallista toimia, koska haitallisten aineiden pitoisuudet tarvitsivat epäsäännöllisten käyttöaikojen takia vahvempaa reagointia. Kampin epäsäännölliset ajat johtuvat siitä, että toiminta lisääntyy mitä enemmän lumiauroja tarvitaan tai mitä enemmän hiekoituskalustoa tarvitaan. Tästä syystä luolastossa on mahdotonta toimia kellon mukaan viikon jokaisena päivänä.

4.1.2 Pitoisuus ohjaus

Pitoisuus ohjauksessa ilmanvaihdon tehoa ohjataan haitallisten aineiden pitoisuudella. Kampin tukikohdassa ilmanvaihtoa ohjaava aine on PM 2,5 eli pienhiukkaset. Pitoisuus ohjauksen etuihin kuuluu, että haitallisten aineiden pitoisuudet eivät ikinä pääse kasvamaan liian suuriksi, koska ilmanvaihto on asetettu seuraamaan sitä.

Kuvasta 11 voidaan tarkastella pienhiukkaspitoisuuden ja taajuusmuuttajan korrelointia. Taajuusmuuttajasta huomataan sen toimivan 25 - 100 %:n teholla, riippuen pienhiukkaspitoisuudesta. Kampin luolastotukikohdassa ei ole mahdollista antaa taajuusmuuttajan laskea 0 %:iin, koska luolien ilmaan vuotaa usein radonia maaperästä. Tämän takia luolastoissa pitää aina olla edes jonkun tasoinen ilmanvaihto päällä.



Kuva 11 Taajuusmuuttajien korrelointi pienhiukkaspitoisuuteen.

4.2 Koneisto

Kampin luolastotukikohdan hallin ilmavaihdosta vastaa TK 201-ilmavaihtokone. Se pystyy liikuttamaan 22 m^3 ilmaa sekunnissa, mikä on suhteellisen suuri määrä. Laite onkin kooltaan noin 3 metriä korkea, 4 metriä leveä ja 15 metriä pitkä [Kuva 12]. TK 201:n lämmöntalteenoton hyötysuhde on keskimäärin 70 % [Liite 1]. Koska koneen teho on niin suuri, väärin optimoituina se voi kuluttaa suuret määrät energiaa turhaan. Siksi sen optimointi on tärkeää energian säästön kannalta.



Kuva 12 Ilmanvaihtokone TK 201.

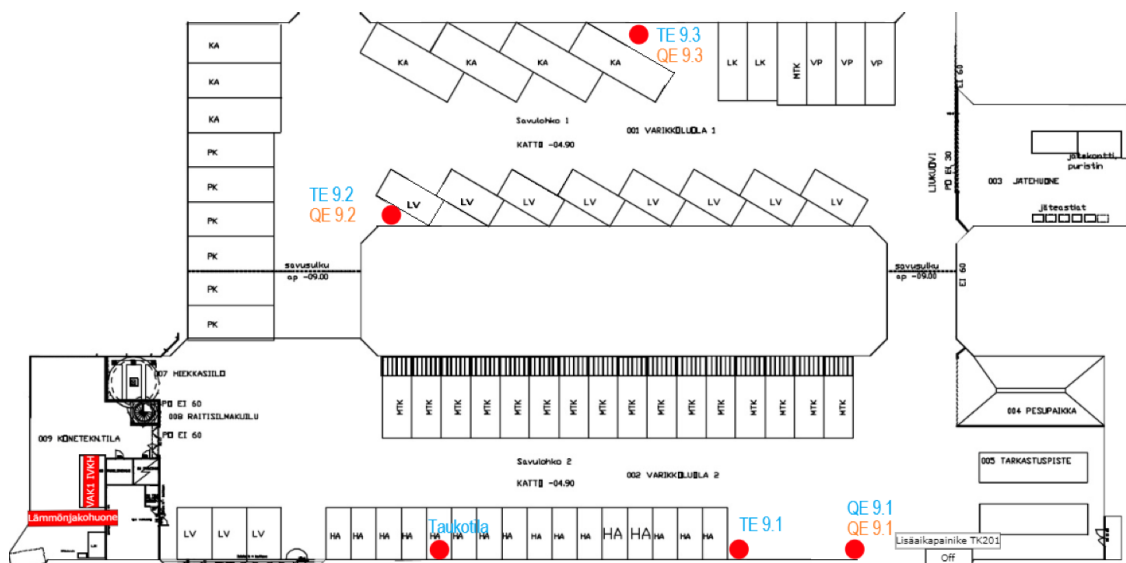
5 Mittaukset

5.1 Smartwatcher

Oumanin käyttämien Siemens QSA2700D -pienhiukkas sensorien pitoisuudet kertovat Kampin luolastotukikohdan ilman laadun olevan kelvotonta. Staralla datan paikkaansa pitävyyttä epäiltiin. Oumanin asentamien mittarien mukaan pienhiukkaspitoisuus nousi kiireisimmällä käyttöhetkellä, 6 - 7, paikoin jopa yli $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka on neljä kertaa suurempi kuin sallittu määrä $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [Taulukko 2]. Tulokset synnyttivät epävarmuutta, sillä ilma ei tuntunut näin huonolaatuiselta hengittäessä eikä heikosta ilman laadusta ollut tullut valituksia työntekijöiltä. Kampin luolastotukikohtaan päätettiin asentaa toiset mittarit Smartwatcherilta, jotta Oumanin tuloksille saataisiin vertailukohta.

Smartwatcher käyttää mittareinaan Sensirion Particulate matter sensor SPS30 -mittaria. Mittarin sensori havaitsee ohi virtaavat partikkelit lasersäteen hajonnasta. SPS30 on ensimmäinen massamyty sensori, joka on saanut MCERTS-sertifikaatin. MCERTS-sertifikaatti on Iso-Britannian Ympäristölaitoksen myöntämä sertifikaatti ympäristön datan valvomisen laadukkaaseen valvontaan. [18.]

Smartwatcherin mittarit asetettiin Kuvan 13 mukaisesti Oumanin mittarien viereen ja kaksi uusiin paikkoihin. Kuvassa 10 on merkitty mittapisteet punaisilla ympyröillä, oranssilla Oumanin mittarien nimet ja sinisellä Smartwatcherssin mittarien nimet. QE 9.1 -mittarin viereen lisättiin uusi mittapiste, TE 9.1. Epäilynä oli, että QE 9.1 reagoisi liian voimakkaasti päästöihin, sillä se sijaitsee heti uloskäynnin edessä ja ulos joudutaan kiihdyttämään lujaa, jotta saa vauhtia ulos johtavaan pitkään ylämäkeen. TE 9.1 mittarilla haluttiin nähdä muuttuvatko hiukkaspitoisuusarvot paljonkin siirtämällä mittaria 10 metriä pois oven luota. Toinen uusi mittapiste on työntekijöiden taukotila, jossa pidetään myös aamuiset käskynjaot.



Kuva 13 Kampin luolastotukikohdan mittauspisteet.

Smartwatcherssin mittarit tukivat oletuksiamme. Mittareista selvisi, ettei hiukkaspitoisuus nouse todellisuudessa niin korkealle, kuin Oumanin mittarit ovat näyttäneet. Liite 2:een on merkitty samoissa mittauspisteissä olevat mittarit samoilla väreillä. Oumanin mittarit on merkitty katkoviivalla ja Smartwatcherssin mittarit yhtenäisellä viivalla.

Kello kuuden kiihdytyksessä nähty piikki Oumanin QE 9.1 mittarilla, joka nousi mittaus päivänä $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ei Smartwatcherssin mittarilla noussut kuin $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$:iin. Mittarien mitaamisissa arvoissa on siis noin 40 %-yksikön ero. Puolen yön jälkeen palanneiden ajoneuvojen aiheuttamassa piikissä on taas yli 50 %-yksikön erotus, kun Oumanin mittari näyttää pienhiukkaspitoisuudeksi $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Smartwatcherssin mittari puolestaan $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. On siis selvää, että kahden erimerkkisten mittarien välillä on huomattavia eroja, mutta epäselväksi jää johtuuko eroavaisuus mittarin iästä, likaantumisesta, väärin asentamisesta vai mittarin väärin kalibroinnista.

Taulukko 6:sta näkyy, että QE 9.1:n ja TE 9.1:n välillä on suuria eroja, vaikkei mittapisteiden välillä ole kuin 10 metriä etäisyyttä. Smartwatchersin QE 9.1, joka sijaitsee noin 3 metrin päässä ajoväylältä, jossa aloitetaan kiihdytys ylämäkeen, mittasi päivän korkeimmaksi arvoksi kello kuuden kiihdytyksessä $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kun taas TE 9.1 vain $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Smartwatchersin mittarista nähdään, ettei pienhiukkaspitoisuus nouse yli HTP-arvon, $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sijainnissa jossa vietetään pisin aika, Taukopaikalla.

5.2 Omat mittaukset koulun mittarilla

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilman vaihdosta § 11:ssä annetaan vastuu ilmanvaihdon suunnittelijalle mitoittaa ilmajärrät niin, ettei haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia pääse muodostumaan. Pakokaasuista aiheutuvia pitoisuuksia ei kuitenkaan tunnettu sillä Kampin luolastotukikohdasta ei ole mitattu muita pitoisuuksia kuin hiukkasten. Omien mittausten päätarkoitus on kartoittaa mahdolliset tuntemattomat haitalliset pitoisuudet, jotta ilmajärrät voidaan mitoittaa oikein ja vastuullisesti. Lisäksi halutaan saada parempi kuva mitä aamukiihdytyksessä tapahtuu, jotta tuloksia voidaan tulkita paremmin.

5.2.1 Lancom 4 -savukaasuanalysointori

Jotta voisin selvittää mitä pakokaasupitoisuuksia havaitaan Kampin luolastotukikohdassa, lainasin Metropolian Ammattikorkeakoululta Lancom 4 -savukaasuanalysointorin. Lancom 4 on kannettava savukaasuanalysointori, jolla voidaan selvittää merkittävien

savukaasupitoisuuksien suuruus. Mittauksen kestoksi suositellaan maksimissaan 20 minuutin mittausjaksoa, jonka jälkeen se tulee ilmata, jottei mittaukseen synny mittavirhettä. Laitteella voidaan mitata seitsemää seuraavaa kaasua:

- Hiilimonoksidi (CO)
- Hiilidioksidi (CO₂)
- Rikkidioksidi (SO₂)
- Typpidioksidi (NO₂)
- Typpimonoksidi (NO)
- Typen oksidi (NO_x)
- Happi (O₂)

Laitteeseen kuuluu itse savukaasuanalysointilaitteisto ja johdon sekä kumisen letkun päässä oleva yhden metrin sondi [Kuva 14]. Sondi on laitteeseen kuuluva standardi sondi, joka ei takaa parasta mahdollista tarkkuutta liukeneville kaasuille kuten typpidioksidille tai rikkidioksidille, mutta pystyy silti mittaamaan niitä. Parempi vaihtoehto niiden mittaamiseen olisi DrySampler-sondi, jolla taataan luotettavampia tuloksia liukenevien kaasujen mittaamiseen [19, s. 6]. Standardisondilla voidaan mitata rikki- ja typpidioksidia luotettavasti 2 ppm:stä 4000 ppm:ään asti [20, s. 67].



Kuva 14 Lancom 4 ja standardisondi [19].

5.2.2 Mittapisteet

Mittapisteiksi valittiin Taukopaikka ja oven vierus, jossa QE 9.1 sijaitsee. Koska mittapisteitä on kaksi ja mittaukset haluttiin ottaa klo 6:n tunnilta, jolloin tiedetään pienhiukkaspitoisuuden olevan korkeimmillaan, jouduttiin luolastotukikohtaan tulemaan kahtena päivänä peräkkäin. Taukopaikan mittaus suoritettiin 22.2.2021, jolloin Helsingin Kaisaniemen sääasemalla mitattiin ilman lämpötilaksi kello 6:n tunnilla $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. QE 9.1 mittapisteen mittaus suoritettiin 23.2.2021, jolloin Kaisaniemen sääasemalla mitattiin klo 6:n tunnilla ilman lämpötila oli $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. [21.] Koska ulkoilman sääolosuhteet ovat lähellä toisiaan voidaan olettaa, ettei se aiheuta poikkeamaa mittauspäivien välille, joten tulokset ovat vertailukelpoisia. Lumenaurauskalustoa lähti myös saman verran liikkeelle kumpanakin päivänä, joten mittauksia pidetään vertailukelpoisina. Kuvissa 13 ja 14 on valokuvat mittapisteistä antamaan paremman käsityksen mittapisteen sijainnista pohjakartantueksi.



Kuva 16 QE 9.1 mittapiste merkitty punaisella rastilla



Kuva 15 Taukopaikka

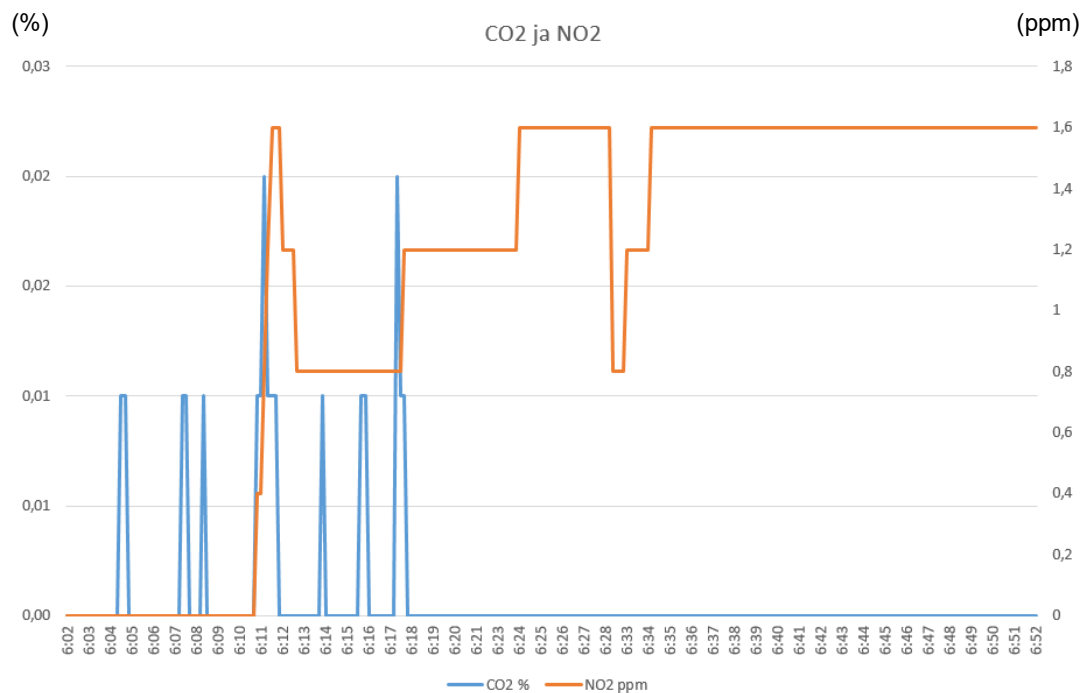
5.2.2.1.1 Taukopaikka

Taukopaikan mittaus aloitettiin 06:02 ennen kuin käskynjako oli alkanut tai autoja oli lähtenyt. Mittaus lopetettiin 06:50 koska ajoneuvoja ei ollut enää käynnissä tukikohdassa ja mittaria ei ole tehty pitkäaikaiseen mittaamiseen. Ajoneuvoja kuitenkin kulki tukikohdasta sisään ja ulos jatkuvasti enintään viiden minuutin välein, joten pitoisuusarvot eivät päässeet tasaantumaan kiihdytyksen aloituksen jälkeen. Mittalaite kytkettiin verkkovirtaan ja sondi vedettiin noin puoliväliin seinän ja ajoväylän välille auton lavalle [Kuva 17]. Kuva 17:sta on ympyröity punaisella mittalaite ja sondin pää, joka tulee ulos auton lavalta. Sondin pää, josta kaasu kulkee laitteen sisälle, asetettiin noin ihmisen pään korkeudelle, jotta se antaisi mahdollisimman tarkan kuvan tukikohdassa työskentelevän henkilön sisään hengitettävästä ilman laadusta.

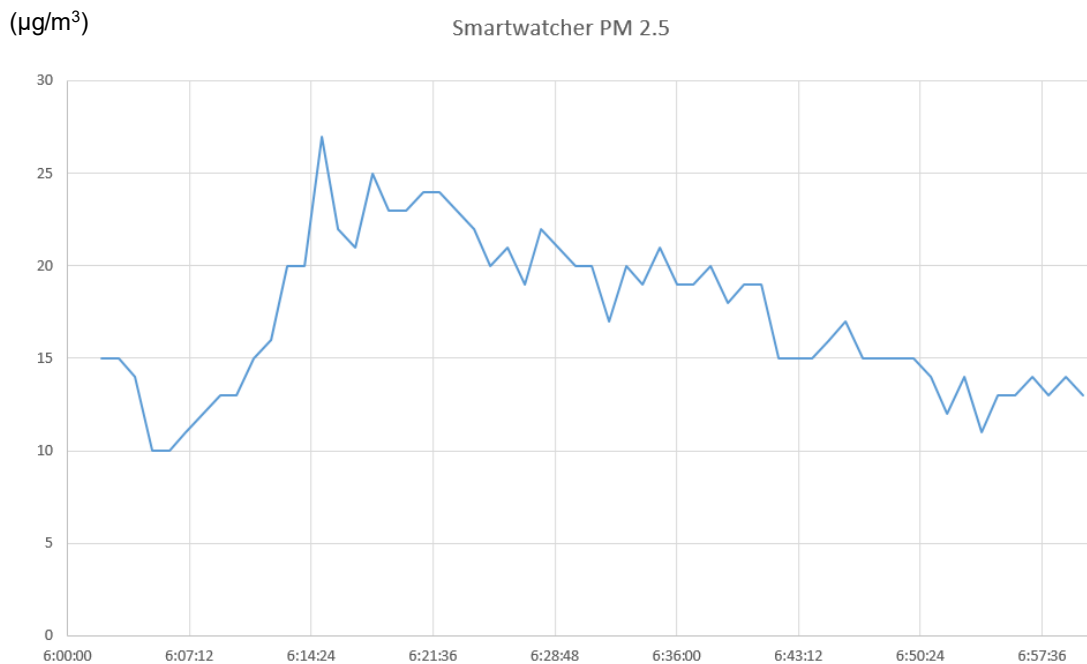


Kuva 17 Taukopaikan mittausjärjestelyt

Mittauksesta kerätty data esitellään Kuva 18:ssa. Taulukossa on esitelty kaikki esiintyneet kaasut eli typpidioksidi ja hiilidioksidi. Pitoisuusmittauksessa ei esiintynyt muita kaasuja Lancom 4 -analysaattorilla. Kun savukaasuanalysaattori ei reagoi häikäpitoisuuteen mitenkään, testasin sen toiminnan. Sytytin kaasusytyttimen sondin päädyn alapuolella varmistaakseni, että sondiin tulee hiilimonoksidia ja analysaattori reagoi siihen. Analysaattorin alin näyttämä arvo oli 3,7 ppm. Uskon, että hallin ilman hiilimonoksidipitoisuus oli kynnysarvoa arvoa alempi ja sen takia siihen ei reagoitu. Kuva 19:ssä näytetään PM 2,5 pitoisuus arvot samalta aikaväliltä, jotta pitoisuuksien kehitystä on helpompi verrata toistensa kanssa.



Kuva 18 Taukopaikan pakokaasupitoisuudet.



Kuva 19 Smartwatcherssin mitaamat PM 2,5 arvot Taukopaikan mittapisteestä.

Työntekijöitä saapui luolastotukikohtaan 06:02 - 06:09 vielä henkilöautoillaan, mikä aiheutti pientä huojuntaa hiilidioksidipitoisuudessa ennen raskaan kaluston liikkumista. Raskas lumen aurauskalusto lähti liikkeelle klo 06:09, mikä näkyy Kuva 18:ssa typpidioksidin ja hiilidioksidin kasvuna. Lumenaurauskaluston mukana lähtee myös hiekoitusajoneuvot, joiden tulee ennen uloslähtemistään täyttää hiekkasäiliöt. Prosessissa menee hetki aikaa, joten ajoneuvot jäivät ajoväylälle jonoon odottamaan ajoneuvot käynnissä, että pääsivät täyttämään säiliön [Kuva 20]. Jono kulki savukaasuanalysaattorin vierestä, mikä voi vaikuttaa typpidioksidipäästöjen ylhäällä pysymiseen.



Kuva 20 Muodostuvan jono ajoväylällä

Huomattavaa kuvissa 18 ja 19 on että typpidioksidi ja pienhiukkaset menevät yli HTP-arvojen, jotka on lueteltu Taulukko 3:ssa. Pienhiukkasten vuotuisen keskiarvon rajana on $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jonka Smartwatcherssin taukopaikan mittari ylitti pieneksi ajaksi kiihdytyksen alussa. Ylitys oli onneksi hetkellinen eikä pysyvä. Hiilidioksidin kahdeksan tunnin HTP-rajana on 5000 ppm eli 0,05 %, mutta hiilidioksidipitoisuus kävi korkeintaan 0,02 %:ssa, joka ei ylitä terveyttä haittaavaa rajaa. Typpidioksidin HTP-rajaa arvo on 1 ppm ja se kohosi parhaimmillaan 1,6 ppm:ään, jossa se pysyi mittauksen loppuun asti. On huomattavaa, ettei terveydelle haitallisen suuresta typpidioksidipitoisuudesta oltu tietoisia, kun ilmanvaihtoa on ennen optimoitu.

5.2.2.1.2 Oviaukko

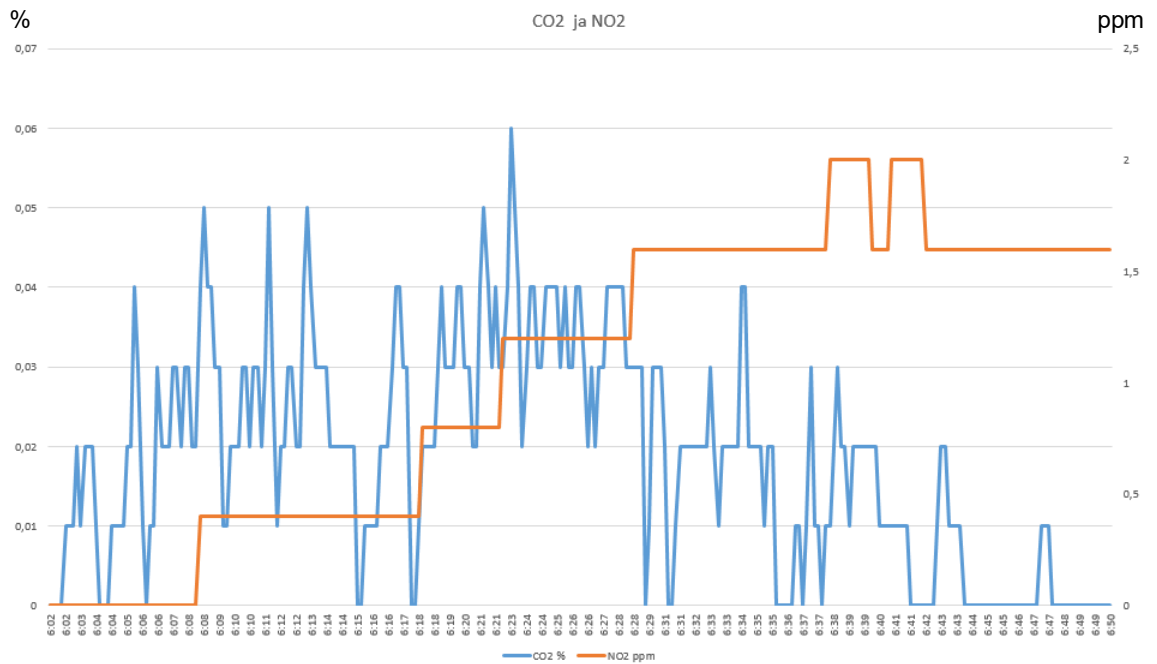
Oviaukon mittaus suoritettiin QE 9.1 mittapisteeltä seuraavana päivänä Taukopaikan mittauksesta. Mittaväliksi tuli sama kuin aikaisempana päivänä eli mittaus aloitettiin heti tukikohtaan saapuessa eli 06:02 ennen autojen lähtöä ja lopetettiin, kun ajoneuvoja ei enää ollut käynnissä tukikohdassa 06:50. Mittalaite kytkettiin kiinni seinässä olevaan virtalähteeseen ja sondi asetettiin ajoväylän vieressä olevan säiliön päälle noin ihmisen

pään korkeudelle [Kuva 21]. Kuva 21:sta on ympyröity punaisella sondi ja savukaa-
suanalysaattori.

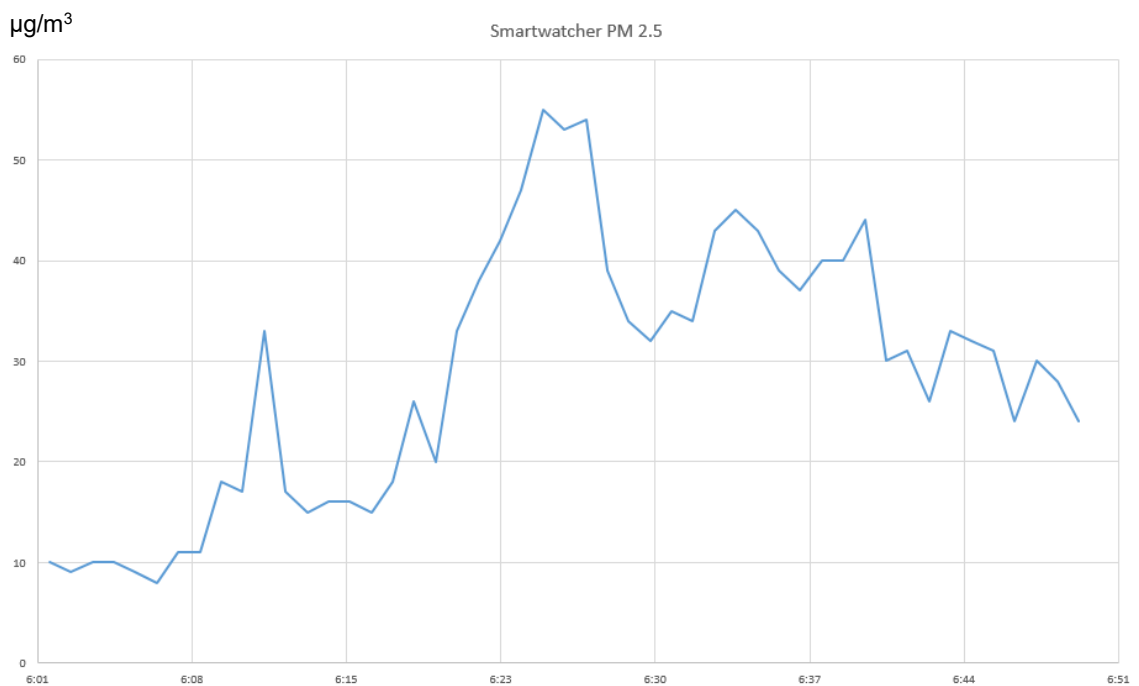


Kuva 21 Oviaukon mittapisteen mittaus järjestelyt

Kuvissa 22 ja 23 on esitelty Oviaukon pakokaasu ja pienhiukkaspitoisuudet. Havaitut pakokaasut olivat samat kuin Taukopaikalla eli hiilidioksidi ja typpidioksidi. Oviaukon mittapistestä huomataan, että hiilidioksidipitoisuus pääsee kasvamaan paljon korkeammaksi kuin Taukopaikalla ylittäen sen kahdeksan tunnin HTP-raja-arvon, 0,05 %. Koska ylitys ei kestä kuin pienen hetken, siitä ei ole terveydelle haittaa. Typpidioksidi kasvoi taas yli 15 minuutin HTP-raja-arvon, kuten Taukopaikallakin. Pitoisuus kohosi Oviaukossa hieman myöhemmin kuin Taukopaikalla mutta sitäkin korkeammaksi, jopa 2 ppm:ään [Kuva 22]. Myös pienhiukkasten pitoisuus kasvoi yli sen vuotuisen raja-arvon $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jopa yli 20 minuutiksi ja kävi korkeimmillaan yli $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [Kuva 23].



Kuva 22 Oviaukon pakokaasupitoisuudet.



Kuva 23 Oviaukon pienhiukkaspitoisuudet.

Oviaukon mittapisteellä huomattiin, että ulosjohtavasta ajorampista tuulee tukikohtaan sisälle aina, kun oviaukon ränttöivi on auki. Tämä voi olla yksi syy miksi pitoisuudet ovat korkeammat Oviaukolla kuin Taukopaikalla, koska ajoramppi on pitkä ja jyrkkä ylämäki, joten autojen täytyy kiihdyttää sen aikana pitkään. Tukikohdassa ajoi myös 06:30:sta

mittauksen loppuun asti suuri lakaisinajoneuvo, joka loi jatkuvasti tukikohtaan lisää päästöjä [Kuva 24].



Kuva 24 Tukikohdassa mittauksen ajan toimiva lakaisinajoneuvo.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Opinnäytetyön aihe muuttui useasti työjakson aikana. Työ ei tarjoa ilmanvaihdon pitoisuusohjausta koskeviin kysymyksiin yhtä tyydyttävää vastausta, vaan ennemminkin toimintaohjeita töitä jatkaville, opinnäytetyön päättymisen jälkeen.

Pitoisuutta ohjaavien sensorien tulee olla kalibroituja. Oumanin sensoreista ei vielä voi tehdä johtopäätöstä näyttääkö se oikeaa vai väärää arvoa, koska se näyttää eri arvoa kuin Smartwatcherssin sensori. Olisi kuitenkin hyvä pyytää Oumania kalibroimaan sen pienhiukkassensorit ja esittämään todistuksen tästä, jotta kalibrointi tapaa voidaan arvioida ja tehdä päätös onko se luotettava. Tämän jälkeen voitaisiin pyytää ammattilaista mittaamaan pitoisuus ja verrata tuloksia Oumanin sensoreiden kanssa. Täten voidaan varmistua, että sensori näyttää oikeaa lukemaa ja pitoisuusohjauksen arvot voidaan säätää rajapintaan, jossa ei tuhlaata liikaa energiaa, eikä vaaranneta työntekijöiden terveyttä.

Ilman laatu tulee varmistaa ammattilaisella. Mitatessa ilman savukaasupitoisuuksia Lancom 4 -savukaasuanalysointilaitteella typpidioksidipitoisuus nousi yli sen 15 minuutille asetun HTP-arvon, 1 ppm. Tätä tulosta ei kuitenkaan tule pitää totena, koska tiedetään että Lancom 4 pystyy analysoimaan typpidioksidia luotettavasti vain DrySampler-sondilla ja alueella 2 - 4000 ppm. Näistä kahdesta ehdosta kumpikaan ei toteutunut mittauksessani. Tulokset kuitenkin herättävät kysymyksen; miksi savukaasuanalysointilaitte ei reagoi rikkidioksidin, joka on myös liukeneva kaasu kuten typpidioksidi. Havaittiinko typpidioksidia siis oikeasti luolastotukikohdassa, koska sen pitoisuus alkoi kasvaa kiihdytyksen alkaessa ja jos havaittiin, kuinka paljon?

Toistaiseksi on mahdotonta sanoa, tullaanko Kampin luolastotukikohdassa pääsemään alle vuoden 2015 kulutuksen, joka on tavoitteena Staran sitovissa tavoitteissa. Koska vuonna 2015 ei ole dokumentoitu ilmanlaatua tai ilmanvaihtoon tehtyjä säätöjä, on vaikea arvioida, tahdotaanko edes palata sen vuoden energiankulutuksen määrään. On mahdollista, ettei ilma ole ollut tällöin riittävän laadukasta ja täten se on voinut aiheuttaa terveydellistä haittaa työntekijöille ja rakenteellista haittaa tukikohdalle, esimerkiksi päästämällä ilman kosteuden kasvamaan liian suureksi. Toistaiseksi kuitenkin näyttää siltä, ettei tavoitevuoden 2015 energian kulutuksen alapuolelle päästä kovin helposti, mutta uusien innovaatioiden ja parempien teknisten ratkaisujen myötä, tavoite voidaan saavuttaa tulevaisuudessa.

Lähteet

- [1] Staran vuosi 2019. 2020. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://www.hel.fi/stara/staran-vuosi-2019-fi/talous/talous>>. Luettu 16.2.2021
- [2] Kaikkea mitä viisas talo tarvitsee. Verkkoaineisto. Ouman. <<https://ouman.fi/ouman/>>. Luettu 4.3.2021
- [3] Ouman Ounet. Verkkoaineisto. Ouman. <<https://ouman.fi/tuote/ouman-ounet/>>. Luettu 4.3.2021.
- [4] Pakokaasut. Verkkoaineisto. Terveys ja hyvinvoinnin laitos. <<https://thl.fi/fi/web/ym-paristoverveys/ilmansaasteet/liikenteen-ilmansaasteet/pakokaasut>>. Päivitetty 19.9.2019. Luettu 16.2.2021
- [5] Salomaa, Eija-Riitta. 2019. Häkämyrkytys. Verkkoaineisto. Terveyskirjasto. <https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00759>. 26.8.2019. Luettu 16.2.2021.
- [6] Typen oksidit NOx. Verkkoaineisto. Lipasto. <<http://lipasto.vtt.fi/liisa/noxs.htm>>. Luettu 16.2.2021
- [7] Epäsuorasti vaikuttavat kaasut. Verkkoaineisto. Ilmasto.org. <<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos/epasuorasti-vaikuttavat-kaasut.html>>. Luettu 16.2.2021.
- [8] Ilma. Opetusmateriaali. Peda. <<https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/peruskoulu/keitele/ny2/9-lk/k7uo2/kemia-79-v1/1/ilma>>. Luettu 17.2.2021
- [9] Tuomisto, Jouko. 2001. Farmakologia ja toksikologia. Kuopio: Medicina
- [10] Rikkidioksidi SO₂. Verkkoaineisto. Lipasto. <<http://lipasto.vtt.fi/liisa/so2s.htm>>. Luettu 5.3.2021.

- [11] Laurikko, Juhani. 2008. Dieselhenkilöautojen ympäristöystävällisyys nro 12/2008. Verkkoaineisto. Ajoneuvohallintokeskus AKE. <<https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1321969257/5a5f23edd6aa03c1e5bd319fb07e468b/1319-AKE1208Diseleidenymparistoystavallisyys.pdf>>. Luettu 3.3.2021.
- [12] Sisäilman kemikaalit. 2016. Verkkoaineisto. Valvira. <<https://www.valvira.fi/ymparistoverveys/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit>>. Päivitetty 22.2.2016. Luettu 4.3.2021.
- [13] 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Ympäristöministeriö.
- [14] Kalliomäki, Pekka. 2017. Perustelumuuksio asetukseen 1009/2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B38B67974-22AE-4672-8B81-1082550A33EB%7D/133738> Luettu 2.3.2021.
- [15] Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. 2018. Verkkoaineisto. Sosiaali- ja terveysministeriö. Luettu 2.3.2021.
- [16] Auton sähköinen esilämmitys on parempi ympäristölle. Verkkoaineisto. Defa. <<https://www.defa.com/fi/sahkoinen-esilammitys-on-parempi-ymparistolle/>>. Luettu 18.2.2021
- [17] Ilmanvaihdon perusteet. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>>. Luettu 5.3.2021.
- [18] Sensirion, Particulate Matter Sensor SPS30. Verkkoartikkeli. Sensirion the sensor company. <<https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/particulate-matter-sensors-pm25/>>. Luettu 12.3.2021
- [19] Lancom 4. Esite. Ametek land. <https://sintrol.fi/wp-content/uploads/2019/09/lancom4_savukaasuanalysointilaite.pdf>. Luettu 26.3.2021.

[20] Lancom 4 User guide. Käyttöohje. Ametek land. <https://www.ametek-land.jp/-/media/ameteklandinstruments/documentation/products/portablegasanalysers/lancom4/ametek_land_806885_lancom_4_user_guide_issue_17_new_en.pdf>. Luettu 26.3.2021.

[21] Helsinki Kaisaniemi. Taulukko. Ilmatieteenlaitos. <<https://cdn.fmi.fi/fmiodata-convert-api/preview/a4fdcd05-d4f1-431a-8151-f22a5a30f62e/?locale=fi>>. Luettu 16.3.2021.

Oumanin ja Smartwatchersin sensoreiden ero

