

**Marko Kinnunen**  
**Merja Pyrhönen**  
**Santeri Vienonen**

**TIES4571 Sensoriverkkoprojekti**  
**Ilmanlaatuanturien vertailu**

Tietotekniikan  
raportti  
10. kesäkuuta 2024

**Jyväskylän yliopisto**  
**Informaatioteknologian tiedekunta**  
**Kokkolan yliopistokeskus Chydenius**

# Sisällys

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
1.1	Ilmanlaadun vaikutukset ihmiselle . . . . .	1
1.2	Puunpolton vaikutus ilmanlaatuun . . . . .	1
1.3	Ilmanlaadun seuranta Suomessa . . . . .	2
1.4	Pölymittaus työympäristössä . . . . .	3
1.5	Ilmanlaadun mittausten epävarmuus . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Ilmanlaatuanturien vertailu</b>	<b>5</b>
2.1	Vertailussa olevat anturit . . . . .	5
2.2	Hinta ja koko . . . . .	8
2.3	Mitattavien hiukkasten koko sekä käyttölämpötila . . . . .	8
2.4	Käyttöjännite ja virrankulutus . . . . .	9
2.5	Tarkkuus ja vasteaika . . . . .	10
2.6	Liitettävyys, kalibrointi, käyttöjärjestelmätuki . . . . .	10
2.7	Muita huomioita . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Kaupalliset anturit</b>	<b>13</b>
3.1	Kaupalliset anturit verrokkeina . . . . .	13
3.2	Decentlab DL-PM . . . . .	13
3.3	Sintrol DumoPro . . . . .	14
3.4	Pölyhiukkaslaskuri . . . . .	14
3.5	Vaisala AQT560 . . . . .	15
3.6	Airthings Wave Mini . . . . .	16
3.7	Yhteenvedo kaupallisista antureista . . . . .	16
	<b>Lähteet</b>	<b>18</b>

# 1 Johdanto

## 1.1 Ilmanlaadun vaikutukset ihmiselle

Ilmansaasteet ovat merkittävä ympäristöterveysriski. Ihmisten herkkyys ilmansaasteiden vaikutuksille vaihtelee, mutta erityisen herkkiä ovat astmaatikot, pienet lapset, iäkkäät henkilöt sekä hengitys- ja sydänsairaat. Tyypillisiä ilmansaasteiden aiheuttamia oireita ovat nuha ja yskä sekä hengenahdistus tai rintakipu. Terveydelle haitallisimpia ovat pienhiukkaset, jotka voivat tunkeutua syvälle hengitysteihin. Vilkas liikenne ja runsas puunpoltto tuottavat runsaasti pienhiukkasia, jotka pääsevät yleensä tunkeutumaan myös sisäilmaan. Sisäilman laatua voi suojella käyttämällä säännöllisesti vaihdettavia suodattimia tuloilmaventtiileissä ja tuuletusluukuissa. Pienhiukkaset lisäävät hengitystieoireita ja -infektioita, pahentavat sydän- ja verisuonisairauksia, voivat aiheuttaa astma- tai sydänkohtauksia, aivohalvauksia ja lisäävät ennenaikaisia kuolemia. Altistus voi toisinaan jatkua vuosia tai vuosikymmeniä, mikä on luonnollisesti lyhytkestoista altistusta haitallisempaa. Pienhiukkasten lisäksi kaupunki-ilmassa on hengitettäviä hiukkasia eli katupölyä, joka on suurelta osin liikenteen aiheuttamaa. Hengitettävät hiukkaset aiheuttavat hengityselinoireita ja -tulehduksia, heikentävät keuhkojen toimintaa, pahentavat astma- ja keuhkohtaumakohtauksia ja aiheuttavat ärsytysoireita kuten kurkun ja silmien kutinaa ja kirvelyä.

[19]

## 1.2 Puunpolton vaikutus ilmanlaatuun

Puunpolton päästöillä on suuri vaikutus ilmanlaatuun erityisesti tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla. Tulisijoja käytetään pääsääntöisesti silloin, kun ihmiset oleskelevat kotonaan tai pihallaan ja altistuvat näin päästöille. Kylmällä ilmalla ja heikkotuulisina päivinä savu voi jäädä leijaillemaan asutusalueelle ja kulkeutua myös asuntojen sisäilmaan. Märän puun tai jätteiden polttaminen lisää päästöjen epäpuhtauksien määrää moninkertaiseksi. Päästöt voivat sisältää paitsi hiukkasia myös häkää, hiilivetyjä, mustaa hiiltä ja polysyklisiä aromaattisia yhdisteitä kuten bent-

so(a)pyreeniä. Näistä musta hiili kulkeutuu pohjoisilla leveysasteilla jäätiköille ja vaikuttaa kiihdyttävästi ilmastonmuutokseen. Ensisijaisen tärkeää on siis polttaa vain kuivaa puuta ja huolehtia puun puhtaasta palamisesta. On syytä huolehtia riittävästä tuloilman saannista ja pyrkiä sytyttämään tulisija oikein. Useimmissa tapauksissa sytykkeiden asettaminen polttopuiden päälle on paras sytytystapa.

[20]

### 1.3 Ilmanlaadun seuranta Suomessa

Ilmanlaatua seurataan Suomessa noin sadalla mittausasemalla jatkuvatoimisesti ja reaaliajassa. Lainsäädännössä on määritelty vaadittavat mittaukset, joista ovat vastuussa paitsi kaupungit ja teollisuuslaitokset myös Ilmatieteen laitos. Ilmanlaadun mittausasemat on tyypillisesti sijoitettu valvomaan, etteivät ilmansaasteille asetetut ilmanlaadun raja-arvot ylity. Mittausasemat sijaitsevat tästä syystä yleensä kaupunkien keskustoissa ja muilla vilkasliikenteisillä alueilla. Teollisuuden päästöjä mitataan huomioiden pahiten kuormituksesta kärsivät asutetut alueet ja mittauspisteiden sijoitteluun vaikuttavat esimerkiksi vallitsevat tuulensuunnat.

Puun pienpolton seuranta on lisätty erityisesti tiheästi asutetuilla pientaloalueilla. Ilmanlaatua mitataan kaupunki- ja teollisuusasemilla noin 80 kohteessa ympäri Suomea.

Ilmatieteen laitoksen mittauspisteet ovat ns. tausta-asemia, joiden avulla voidaan tarkastella yleisemmin ilmanlaadun perustasoa. Samalla voidaan havainnoida esimerkiksi erilaisia kaukokulkeutumisia. Ilmatieteen laitoksen tausta-asemia on Suomessa kymmenkunta.

Reaaliaikaisissa ilmanlaadun mittauksissa mitataan seitsemää saastekomponenttiä; rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>), typpidioksidia (NO<sub>2</sub>), otsonia (O<sub>3</sub>), hiilimonoksidia (CO) ja haisevia rikkiyhdisteitä (TRS). Lisäksi tarkkaillaan kahden eri kokoluokan hiukkasten kokonaisuutta; PM<sub>10</sub> eli hengitettäviä hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10 µm ja PM<sub>2,5</sub> eli halkaisijaltaan alle 2,5 µm pienhiukkasia. Hiukkasten kokonaisuuden mittauksessa käytetään erilaisia menetelmiä, joiden mitaustuloksissa voi olla vaihtelua. [9]

EU-direktiiveillä on annettu sekä sitovat raja-arvot että tavoitearvot ilman epäpuhtauksien pitoisuuksille. Raja-arvot määrittävät suurimmat hyväksyttävät ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ja näiden ylittymisestä on viipymättä ilmoitettava yleisölle. Tavoitearvot ovat vähemmän sitovia, mutta niiden perusteella arvioidaan hy-

vää ilmanlaatua. EU-direktiivit säätelevät Suomen ilmanlaadun seurantaan, vaikka kansallisia ohjeita käytetään myös suunnittelun tukena. Raja-arvoja valvoviksi asemiksi kutsutaan ilmanlaadun mittausasemia, jotka täyttävät ilmanlaadudirektiivien kriteerit ja joiden pitoisuustiedot toimitetaan EU:lle. Raja-arvoja valvovien asemien lisäksi ilmanlaatua seurataan laajasti paikallisista tarpeista lähtien.

Vuonna 2017 Ilmatieteen laitos julkaisi ilmanlaadun mittausohjeen, jossa käsitellään ilmanlaatulainsäädäntöä, mittaustarpeen arviointia, mittausten suunnittelua, tekemistä ja laadunvarmistusta sekä raportointia ja tiedottamista.

[11]

## 1.4 Pölymittaus työympäristössä

Tuotannollisessa työympäristössä on mahdollista altistua monenlaisille hiukkasmäisille ilman epäpuhtauksille eli pölyille. Epäorgaanisia pölyjä ovat esimerkiksi kivipöly ja kvartsi sekä metallipölyt. Kivipölylle voi altistua esimerkiksi kaivoksilla, betoniteollisuudessa ja rakennuksilla. Metallipölyä syntyy metalleja työstettäessä; leikatessa, poratessa ja hioessa. Termisessä työstössä syntyy myös metallihiukkasista sisältävää savua/huurua. Jauhöpöly ja puupöly ovat työympäristön yleisimpiä orgaanisia pölyjä. Puupölylle voi altistua esimerkiksi sahoilla, puutuote- ja huonekalutehtailla, mutta myös paperimassan valmistuksessa ja rakennusteollisuudessa. Jauhöpölyä tavataan viljavarastoissa, myllyissä, leipomoissa ja rehutehtaissa. [26]

Mittausten avulla voidaan saada selville altistumisen taso pölyille työympäristössä. Altistumisen minimointi vähentää poissaoloja ja lisää työhyvinvointia. Työilman laadun mittauksissa tulee käyttää hyväksytyjä mittalaitteita. [25] Työnantajalla on lakisääteinen velvollisuus huolehtia työturvallisuudesta, arvioida työn vaarat ja tarvittaessa vähentää niitä. [27] Pölyntorjunnassa ensisijaista on valita työmenetelmät niin, että pyritään estämään pölyn muodostumista. Pölyn määrää vähennetään sitomalla sitä esimerkiksi kastelemalla. Jos pölyn muodostumista ei voida estää, sen leviämistä rajataan koteloinnilla ja kohdepoistoilla, joita täydennetään yleisilmanvaihdoilla. Työntekijän altistumista voidaan rajata myös vähentämällä ajallista kuormitusta pölylle altistavissa paikoissa. Hengityssuojaimia käytetään, mikäli muut keinot eivät riitä altistuksen vähentämiseen. [8]

## 1.5 Ilmanlaadun mittausten epävarmuus

Ilmanlaadun mittauksessa tulee arvioida yksittäisten tekijöiden vaikutus mittaus-tuloksen luotettavuuteen. Epävarmuutta ilmanlaadun mittaukseen aiheuttavat ensinnäkin mittauspaikan olosuhteet ja edustavuus; esimerkiksi mittauspaikan sijain-ti, eri päästölähteet, lämpötila, ilmanpaine, tuuliolosuhteet. Toisekseen tulee arvioi-da mittalaitteen ominaisuudet. Mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttavat lisäk-si näytteenotto, näytteen käsittely ja analysointi sekä mittausten huollettavuus ja mittauksiin kohdistetut laadunvarmennustoimet. Mittalaitteiden huollolla varmis-tetaan, että laite säilyy sellaisessa mittauskunnossa, jossa sen mittausominaisuudet on määritetty. Laitevalmistajat voivat tarjota mahdollisuuden tarkistaa laitteen toi-minnan osana laitteen huoltoa.

[11]

## 2 Ilmanlaatuanturien vertailu

### 2.1 Vertailussa olevat anturit

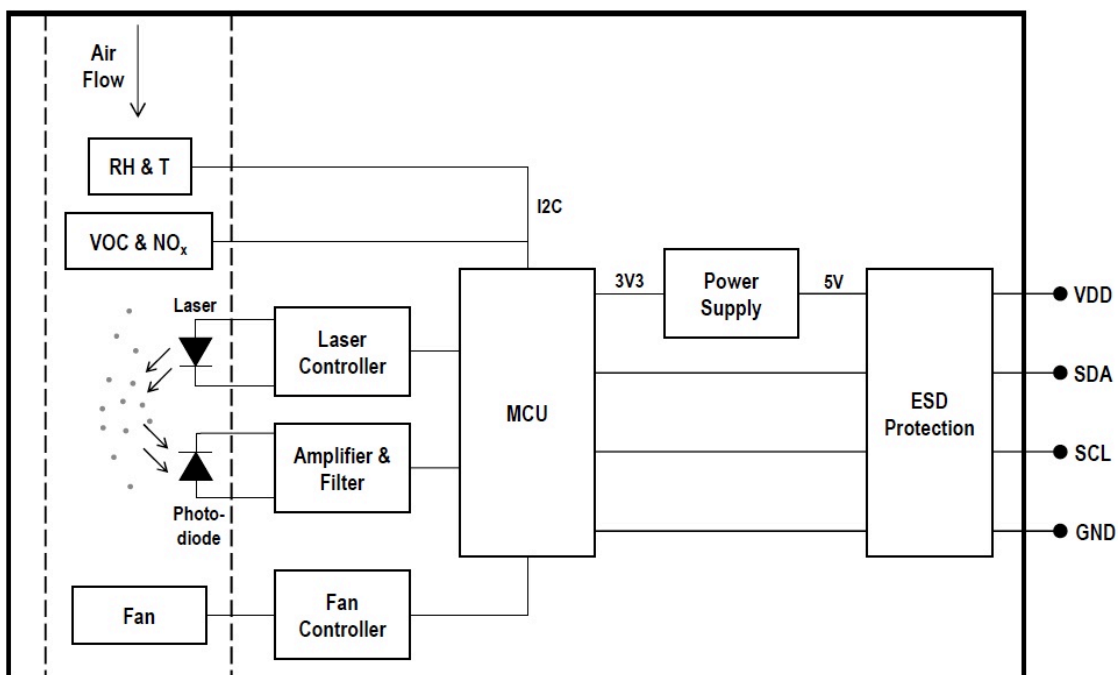
Vertailuun otettiin yleisimpiä saatavilla olevia ilmanlaatuantureita, joilla on mahdollista mitata pienhiukkasia ympäröivästä ilmasta.

Pienhiukkaset ovat karkeita hengitettäviä hiukkasia pienempiä, niiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä. Vertailun vuoksi ihmisen hius on paksuudeltaan noin 50 µm. Pienhiukkaset pääsevät täten kulkeutumaan hengityksen mukana keuhkorakkuloihin saakka.

Pienhiukkaset ovat peräisin useista eri lähteistä ja niistä terveydelle haitallisimpia syntyy epätäydellisessä palamisessa, kuten puun pienpoltosta ja liikenteestä. [5]

Pienhiukkasanturien toimintaperiaate voi vaihdella valmistajasta ja mallista riippuen, mutta yleisesti ottaen niiden toimintaperiaate perustuu hiukkasten havaitsemiseen ja laskemiseen.

Pienhiukkasanturit käyttävät erilaisia tekniikoita havaitakseen ilmassa olevat hiukkaset. Ympäröivä ilma usein imetään anturin sisään pienen tuulettimen avulla josta sitä mitataan laserin avulla kuvan 2.1 mukaisesti.

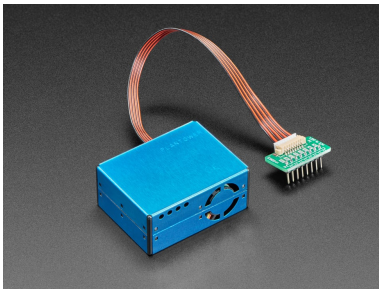


Kuva 2.1: Ilmanlaatuanturin toimintaperiaate, kuva Sensirion SEN5x datalehti.



Vertailun anturimalleja on saatavilla suomalaisista verkkokaupoista [12] [14] [24] [4], tai luotettavista Eurooppalaisista kaupoista jotka toimittavat Suomeen. Mallivalikoimaa on toki paljon muitakin, mutta valitsimme tähän ne mallit mitä todennäköisemmin käytetään tämän kaltaisissa mittausprojekteissa suomalaisissa oppilaitoksissa.

Otimme vertailuun seuraavat mallit:



Kuva 2.2: Plantower PMS5003 [15]



Kuva 2.3: Grove Laser PM2.5 [23]



Kuva 2.4: Grove SEN54 All-in-one [18]



Kuva 2.5: Nova SDS011 [6]



Kuva 2.6: Sensirion SEN54 [17]

Sensirion SEN54 ja SEN55 ovat toiminnaltaan ja ulkoasultaan samanlaisia. SEN55 eroavaisuus on se, että sillä voi mitata myös NOx (nitrogen oxides) kaasuja. Tässä vertailussa on mukana pelkästään SEN54-malli, koska PM2.5/PM10 mittausten osalta näissä ei ole eroavaisuuksia. Kuten nimestäkin voi päätellä, Grove SEN54 All-in-one käyttää myös samaa anturia, mutta se otettiin vertailuun mukaan, koska se on muuten monipuolisempi anturi.

## 2.2 Hinta ja koko

Ilmanlaatuantureiden hinnassa ei ole suurta eroa. Nova SDS011 on edullisin ja Grove SEN54 All-in-one on kallein, mutta hinnat vaihtelevat myös ostopaikan mukaan. Kooltaan Grove on joukon pienin, mutta eroa on vain muutamien millimetrin verran pois lukien Nova SDS011 joka on selkeästi kookkain anturi.

Taulukko 2.1: Ilmanlaatuantureiden hinta ja koko

	hinta	koko
Plantower PMS5003	37 €	50 × 38 × 21mm
Grove laser PM2.5	40 €	40 × 38 × 15mm
Grove SEN54 All-in-one	63 €	52 × 43 × 22mm
Nova SDS011	25 €	71 × 70 × 23mm
Sensirion SEN54	30 €	53 × 44 × 22mm

## 2.3 Mitattavien hiukkasten koko sekä käyttölämpötila

Mitattavien hiukkasten koot ovat pääsääntöisesti samaa kokoluokkaa kaikilla antureilla, Nova SDS011:n mittausalue on heikoin. Grove Laser PM2.5 mallissa mainittu TSP detector (Total Suspended Particles) tarkoittaa yleensä mittauskykyä kaikkiin ilmassa leijuvien hiukkasten määriin.

Käyttölämpötilat ovat myös hyvin samankaltaisia kaikilla. Mikään anturivalmistajista ei lupaa toimintavarmuutta alle -10° pakkasessa. Todennäköisesti kaikki toimivat kylmemmässäkin, mutta mittaustarkkuus voi kärsiä. Antureille on lisäksi erikseen ilmoitettu lämpötila-alueet, joissa anturin toiminta on luotettavinta. Tämä

on yleensä + 15 - + 30 °.

Anturien säilytyslämpötila-alueet ovat hieman laajemmat ja sallivat säilytyksen kylmemmässä tai kuumemmassa, kuin mitä käyttölämpötila-alueet ovat.

Taulukko 2.2: Mitattavien hiukkasten koko sekä käyttölämpötila

	mitattavien hiukkasten koko	käyttölämpötila
Plantower PMS5003	PM1.0, PM2.5 ja PM10.0	-10 - + 60 °
Grove laser PM2.5	PM2.5, PM10, TSP detector	-10 - + 60 °
Grove SEN54 All-in-one	PM1.0, PM2.5, PM4 ja PM10.0	-10 - + 50 °
Nova SDS011	PM2.5 ja PM10	-10 - + 50 °
Sensirion SEN54	PM1.0, PM2.5, PM4 ja PM10.0	-10 - + 50 °

Mitattavien hiukkasten koko ilmoitetaan usein myös mikrometreinä, esimerkiksi PM2.5 partikkelit kuuluvat kokoluokkaan 0.3 - 2.5 µm. Selkeyden vuoksi tässä vertailussa ilmoitetaan vain 'PM'-luokitukset. PM tulee siis sanoista Particulate Matter.

## 2.4 Käyttöjännite ja virrankulutus

Käyttöjännitteestä on ilmoitettu tyypillinen arvo. Usein näissä on pientä toleranssia molempiin suuntiin. Kuten huomataan kaikki on suunniteltu toimimaan 5V jännitteellä.

Virrankulutuksessa on ilmoitettu ns. tyhjäkäyntivirrankulutus sekä virrankulutus silloin, kun mittaus on käynnissä. Virrankulutus myös vaihtelee riippuen siitä miten montaa eri suuretta mitataan. Tässä on ilmoitettu pelkästään kaasumittauksessa käytetty virrankulutus.

Tyhjäkäynti (idle) virrankulutuksessa Plantower PMS5003 ja Grove laser PM2.5 ovat parhaita eli kuluttavat vähiten virtaa, kun taas mittauksen käynnissä ollessa nämä anturit kuluttavatkin eniten virtaa.

Taulukko 2.3: Käyttöjännite ja virrankulutus

	käyttöjännite (V)	virrankulutus, idle (mA)	virrankulutus, mittausta (mA)
Plantower PMS5003	4.5-5.5	0.2	100
Grove laser PM2.5	3.3/5	0.15	75
Grove SEN54 All-in-one	4.5-5.5	2.6	63
Nova SDS011	4.7-5.3	4	70
Sensirion SEN54	4.5-5.5	2.6	63

## 2.5 Tarkkuus ja vasteaika

Tarkkuudella tarkoitetaan sitä, kuinka lähellä anturin mittaukset ovat todellisia arvoja tai kuinka hyvin anturi pystyy toistamaan saman mittauksen samasta tilanteesta. Yleensä tämä ilmaistaan prosentteina tai numeerisina arvoina suhteessa mitausalueeseen.

Vasteaika tarkoittaa sitä aikaa, jonka anturi tarvitsee havaitakseen muutoksen ympäristössä ja antaa sen siitä signaalin mikrokontrollerille. Tämä aika voi vaihdella anturityypin ja ympäristön mukaan. Nopeampi vasteaika mahdollistaa reaaliaikaisemman datan käsittelyn ja nopeamman reaktion ympäristön muutoksiin.

Vasteajalle on usein ilmoitettu erilaisia vertailuarvoja, kuten yksittäinen vasteaika tai koko vasteaika. Myöskin eri partikkelin koolle on annettu eri aikoja, joita ei ilmoitettu samanlailla kaikille antureille. Käyttölämpötila vaikuttaa myös vasteaikaan, joten tähän arvoon on syytä suhtautua varauksella ja tutkittava tarkemmin, mikäli tämä on kynnyskysymys omalle käyttötarkoitukselle.

## 2.6 Liitettävyys, kalibrointi, käyttöjärjestelmätuki

Liitettävyydellä tarkoitetaan sitä, minkä protokollan välityksellä anturi ja käyttöjärjestelmä/alusta kommunikoivat.

Käyttöjärjestelmä tuki tarkoittaa kyseisen anturin yhteensopivuutta käyttöjärjestelmän/alusta kanssa. Useimmiten nämä anturit ovat yhteensopivia Arduinon ja ESP-kontrollerien kanssa. Kaikkien anturien yhteensopivuutta ei ilmoitettu. Toimi-

Taulukko 2.4: Tarkkuus ja vasteaika

	tarkkuus PM2.5 alueella	vasteaika (s)
Plantower PMS5003	+/-10 µg/m <sup>3</sup>	<1
Grove laser PM2.5	+/-10 µg/m <sup>3</sup>	??
Grove SEN54 All-in-one	+/-5µg/m <sup>3</sup>	<10
Nova SDS011	+/-10 µg/m <sup>3</sup>	<10
Sensirion SEN54	+/-5µg/m <sup>3</sup>	<10

vuus muiden kuin ilmoitettujen käyttöjärjestelmien kanssa voi silti onnistua. Useimmiten tässä on vaan kyse puuttuvista kirjastoista, mutta näitä on saatavilla muualtakin kuin valmistajan toimesta. Datasheetin antamat tiedot eivät siis ole varmuudella ainoa oikea tieto.

Taulukko 2.5: liitettävyys ja käyttöjärjestelmätuki

	liitettävyys	käyttöjärjestelmätuki
Plantower PMS5003	UART	Raspberry Pi
Grove laser PM2.5	I2C	Arduino
Grove SEN54 All-in-one	I2C	Arduino, Raspberry Pi
Nova SDS011	UART	Arduino
Sensirion SEN54	I2C	Arduino, Raspberry Pi

## 2.7 Muita huomioita

Kuten edellä olevista taulukoista huomataan, anturit ovat vertailtavien arvojen kannalta hyvin samankaltaisia. Suuria eroja ei syntynyt missään. Mutta kun tarkastellaan anturien käyttökokemuksia, kirjastotukea ja suosittuvuutta, niin siinä nousee selkeästi SEN5x anturit kärkisijoille. Netistä löytyy SEN5x:lle paljon esimerkkejä ja kirjastotuki on paras [16]. Muutenkin Seeedstudion (eli Groven) tarjoamat nettisivustot antavat paljon tietoa näiden anturien käytöstä.

Plantowerilta löytyy koodia Arduinolle ja CircuitPythonille. Anturi yhdistetään

mikrokontrolleriin UART inputilla [1]. Samoin NOVA SDS011:ssa käytetään UART-liitäntää, kun kaikki muut anturit käyttävät I2C-väylää.

Datasheeteillä on paljon muitakin arvoja, mitkä kannattaa tarkistaa ennen oman anturin valintaa. Usein virrankulutus on tärkeä valintakriteeri, toisessa projektissa taas anturin kokokin voi olla tärkeää.

## 3 Kaupalliset anturit

### 3.1 Kaupalliset anturit verrokkeina

Valmiita kaupallisia ilmanlaatuantureita on nykyisin saatavilta monista eri paikoista ja useissa hintaluokissa. Saatavilla on sekä teollisuus- ja ammattilaiskäyttöön että kotitarpeisiin tarkoitettuja laitteita. Vertailemme Decentlabin LoRaWanille tarkoitettua DL-PM sensoria, Sintrolin DumoPro pölymittaria, Fruugon jälleenmyymää tuotemerkitöntä pölyhiukkaslaskuria, Vaisalan AQT530 ilmanlaatuanturia sekä Clas Ohlsonilla myytävää Airthings Wave Mini -ilmanlaatumittaria.

### 3.2 Decentlab DL-PM

Sveitsiläinen Decentlab valmistaa monenlaisia LoRaWan-standardin kanssa yhteensopivia sensorilaitteita. Decentlabin DL-PM -sensori tarkkailee pienhiukkasia, lämpötilaa, kosteutta ja ilmanpainetta. Se sopii sekä sisä- että ulkoilman monitorointiin. Sensori mittaa lämpötilaa -10 - + 125 celsiusasteen välillä, ilmankosteutta 0-100 RH välillä ja ilmanpainetta välillä 300 -



Kuva 3.1: Decentlab DL-PM

1'100 hPa. Decentlabin laitteet on tarkoitettu teolliseen käyttöön ja ne soveltuvat myös ankariin olosuhteisiin niin sisä- kuin ulkoilmassakin. Laitteet ovat hyvin vähävirtaisia; paristokäyttöisinä ne voivat pysyä toiminnassa useita vuosia. Yritys tarjoaa ratkaisuja ympäristön ja ilmanlaadun monitorointiin, hydrologisiin mittauksiin, älykkääseen maatalouteen sekä älykaupunkeihin.[2] [3] Saksalaisessa verkko-kaupassa DecentLabin DL-PM -sensori on verottomalta hinnaltaan noin 1080 € ja verojen kanssa 1285 €. [10]

### 3.3 Sintrol DumoPro

Sintrol on suomalainen yritys, joka tarjoaa ratkaisuja teollisuuden mittaamistarpeisiin. Pölymittari DumoPro on suunniteltu teollisuuden tarpeisiin jatkuvaan pölyn mittaukseen ympäröivästä tilasta. Laitteen mainostetaan olevan kestävä ja helposti käyttöön otettava. Laitteeseen liitettävän ohjelmiston avulla voidaan pölyn määrää tarkkailla reaaliaikaisesti, tallettaa dataa ja luoda raportteja. Laite hälyttää sekä raja-arvot ylittävistä pölypitoisuuksista että laitteen sisäisistä toimintahäiriöistä. Laitetta voidaan käyttää myös vaarallisissa paikoissa. [22][21] Valmistaja ilmoitti laitteen hintaluokaksi 3650 € (alv 0%).



Kuva 3.2: Sintrol DumoPro

### 3.4 Pölyhiukkaslaskuri

Fruugolla on myynnissä Shenzhen Wotefeier Technologyltä hankittu tuotemerkitön pölyhiukkaslaskuri. Sivuston mukaan laskuri sopii ilmanlaadun valvontaan sekä sisä- että ulkotiloissa, on helppo kuljettaa ja akun kesto on hyvä. Laite mittaa lämpötilaa sekä ilmankosteutta ja havaitsee laserin avulla hiukkasia kuudessa eri koossa (PM0,3 - PM10). Laitteen toimintaperiaatteista ei Fruugon sivulla ole tarkkaa kuvausta. Laitteen hinta on noin 300 euroa. [7]



Kuva 3.3: Pölyhiukkaslaskuri



### 3.5 Vaisala AQT560

Vaisalan ilmanlaatuanturi AQT560 on suunniteltu kaupunkien ilmanlaadun monitorointiin ja se voidaan kytkeä joko asiakkaan omaan järjestelmään tai Vaisalan sääasemaan. Data voidaan siirtää Vaisalan pilvipalveluun. Useissa Euroopan kaupungeissa seurataan ilmanlaatua kiinteillä mittausasemilla. Vaisalan pienikokoiset ilmanlaaturianturit voivat täydentää olemassa olevista laitteista saatavaa dataa, sillä ne on helppo asentaa ja siirtää eri paikkoihin.



Kuva 3.4: Vaisalan ilmanlaatuanturi AQT560

AQT560 on hyödyllinen jos halutaan mitata useammasta kohdasta, mutta ei investoida useampiin antureihin. Anturi mittaa 360 asteen alueelta typpimonoksidia (NO), typpidioksidia (NO<sub>2</sub>), hiilimonoksidia (CO), otsonia (O<sub>3</sub>) sekä pienhiukkasia PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub>. [29] Hiukkasten määrää mitataan laserlaskurilla. Mittausdata lasketaan sensorissa, joten sitä voidaan käyttää itsenäisenä laitteena. [28] Vaisalan edustaja tarkensi, että AQT560 on saatavilla erilaisilla konfiguraatioilla, riippuen siitä halutaanko mitata pienhiukkasia, kaasuja vai molempia. Vaisalan AQT560 ei ole niin sanottu referenssitason laite eli se soveltuu indikaatiivisiin mittauksiin.

- Partikkelit PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub> + kaasut NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub> ja CO (CO (hinta n. 6400 EUR, netto, alv. 0%))
- Pelkät partikkelit PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub> (hinta n. 4600 EUR, netto, alv. 0%)
- Pelkät kaasut NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub> ja CO (hinta n. 3900 EUR, netto, alv. 0%)
- Partikkelit PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub> + kaasu NO<sub>2</sub> (hinta n. 5500 EUR, netto, alv. 0%)

AQT560 tukee Modbus RTU väylää, eli teollisuuden tarpeisiin suunniteltua luotettavaa sarjaliikenneprotokollaa. RTU-versio protokollasta on kompakti binäärinen datan esitysmuoto. [30]

### 3.6 Airthings Wave Mini

Airthings Wave Mini on koti- ja toimistokäyttöön tarkoitettu ilmanlaatumittari, joka on yhteensopiva Google Assistan- tin ja IFTTT:n kanssa ja sopii siis osaksi älykotia. Anturi kyt- ketään Bluetoothilla älypuhe- limeen tai tablettiin ja mitta- arvoja voi tarkastella sovelluk- sen kautta. Sovelluksen käyt- töliittymä on selkeä ja tuotear- vosteluiden perusteella laite on helppokäyttöinen. Laite mittaa TVOC-yhdisteitä (Total Volatile Organic Compounds), ilmankosteutta ja lämpötilaa. Laitteen luvataan mittaavan homeriskiä, millä käytännössä tarkoitetaan ilmeisesti ilmankosteuden mittaamista. Laitteen hinta on noin 80 €. [13]



Kuva 3.5: Airthings Wave Mini

### 3.7 Yhteenveto kaupallisista antureista

Vertaillut ilmanlaatumittarit jakautuvat ammattilaiskäyttöön suunnattuihin ratkai- suihin ja kuluttajille tarkoitettuihin laitteisiin. Ammattilaiskäyttöön suunnattujen laitteiden vaatimukset ovat kuluttajamittareita suurempia. Laitteiden kalibroituavuus, kestävyys ja huollettavuus sekä tietysti tulosten tarkkuus ja luotettavuus korostu- vat vaativassa käytössä. Decentlab suunnittelee laitteita monipuoliseen ja vaativaan käyttöön; LoRaWan -teknologian avulla niitä voidaan hyödyntää haastavissa maas- toissa ja ulkoilmaolosuhteissa. Decentlabin laitteiden virrankulutus on pientä, jo- ten ne voivat toimia paristoilla useita vuosia. Sintrol keskittyy erityisesti teollisuu- den pölymittauksiin. Sintrolin laite on tarkoitettu haastaviin teollisuusolosuhteisiin ja ilmanlaatuun liittyvät reaaliaikaiset hälytykset ovat tärkeitä työympäristön pö- lyn haittavaikutusten minimoimisessa. Vaisala tarjoaa ilmanlaatuanturin ympärille laajempaa ilmanlaadun monitorointiratkaisua esimerkiksi älykaupunkien käyttöön. Vaisalan anturia voidaan käyttää täydentämään kaupunkien kiinteästi asennettuja

referenssitason laitteita, sillä AQT560 on helppo siirtää ja asentaa. Airthings Wave Mini ja Fruugon pölyhiukkaslaskuri on suunnattu tavalliselle käyttäjälle, jolloin käytön ja käyttöönoton helppous korostuu. Fruugon laitteen nimessä toki mainostetaan laitetta "ammattilaiskäyttöön", mutta laitteesta on tarjolla varsin vähän tietoa. Airthingsin helppokäyttöisyys ja miellyttävä visuaalinen ilme houkuttelee todennäköisesti ostajia.

## Lähteet

- [1] ADAFRUIT. PM2.5 Air Quality Sensor and Breadboard Adapter Kit - PMS5003. URL <https://www.adafruit.com/product/3686>, viitattu 30.3.2024.
- [2] DECENTLAB. Decentlab. URL <https://www.decentlab.com/>, viitattu 25.3.2024.
- [3] DECENTLAB. DL-PM DATASHEET. URL <https://cdn.decentlab.com/download/datasheets/Decentlab-DL-PM-datasheet.pdf>, viitattu 25.3.2024.
- [4] DIGIKEY. Digikey. URL <https://www.digikey.fi/>, viitattu 30.3.2024.
- [5] ELONIEMI, T. *Pienhiukkasten mittausmenetelmät ja niiden vaikutus sisäilman laatuun*. Pro Gradu, Oulun ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, 2021.
- [6] FITNESS, N. Laser PM2.5 Sensor specification. URL <https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/X200/SDS011-DATASHEET.pdf>, (2015).
- [7] FRUUGO. Pölyhiukkaslaskuri ammattimainen hiukkasten testeri ilmanlaadun valvonta sisätiloihin ulkona. URL <https://www.fruugo.fi/dust-particle-counter-professional-particulate-matter-tester-air-quality-monitor-for-indoor-outdoor/p-229425204-489550623>, viitattu 25.3.2024.
- [8] HYYTINEN, E.-R., SANTONEN, T., VAINIOTALO, S., RANTONEN, J., JA LINNAINMAA., M. *Hengittävän ja alveolijakeisen pölyn tavoitetasoperustelumuiistio*. Tekninen raportti, Työterveyslaitos, 2016.
- [9] ILMATIETEENLAITOS. Ilmanlaatuhavainnot. URL <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data-ilmanlaatuhavainnot>, viitattu 12.5.2024.
- [10] IOT SHOP. Decentlab DL-PM Particulate Matter, Temperature, Humidity and Barometric Pressure Sensor. URL <https://iot-shop>.

de/en/shop/dl-pm-001-decentlab-dl-pm-particulate-matter-temperature-humidity-and-barometric-pressure-sensor-5037#attr=19366,24003,24004,24005,24006,17132,20431,21427,18376,18377,18378,18379 viitattu 12.5.2024.

- [11] KOMPPULA, B., LUSA, J. W. K., KYLLÖNEN, K., SAARI, H., VESTENIUS, M., SALMI, J., JA LATIKKA, J. *Ilmanlaadun mittausohje 2017*. Tekninen raportti, Ilmatieteen laitos, 2017. URL [https://expo.fmi.fi/aqes/public/Ilmanlaadun\\_mittausohje\\_2017.pdf](https://expo.fmi.fi/aqes/public/Ilmanlaadun_mittausohje_2017.pdf), haettu 16.5.2024.
- [12] MOUSER. Mouser Electronics. URL <https://www.mouser.fi/>, viitattu 30.3.2024.
- [13] OHLSON, C. Ilmanlaatumittari Airthings Wave Mini. URL <https://www.clasohlson.com/fi/Ilmanlaatumittari-Airthings-Wave-Mini/p/41-2372>, viitattu 30.3.2024.
- [14] PARTCO. Partco. The Electronics shop. URL <https://www.partco.fi/fi/>, viitattu 30.3.2024.
- [15] PLANTOWER. Digital universal particle concentration sensor PMS5003 series data manual. URL [https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3686/plantower-pms5003-manual\\_v2-3.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3686/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf), (2016).
- [16] SEEED STUDIO. Grove SEN5X All in One. URL [https://wiki.seeedstudio.com/Grove\\_SEN5X\\_All\\_in\\_One/](https://wiki.seeedstudio.com/Grove_SEN5X_All_in_One/), viitattu 30.3.2024.
- [17] SENSIRION. Datasheet SEN5x. URL [https://sensirion.com/media/documents/6791EFA0/62A1F68F/Sensirion\\_Datasheet\\_Environmental\\_Node\\_SEN5x.pdf](https://sensirion.com/media/documents/6791EFA0/62A1F68F/Sensirion_Datasheet_Environmental_Node_SEN5x.pdf), (2022).
- [18] SENSIRION. Preliminary Data Sheet SEN5x. URL [https://files.seeedstudio.com/wiki/GroveAllin1/Preliminary\\_PS\\_DS\\_SEN5x\\_v0.3\\_D2.pdf](https://files.seeedstudio.com/wiki/GroveAllin1/Preliminary_PS_DS_SEN5x_v0.3_D2.pdf), (2021).
- [19] SEUDUN YMPÄRISTÖPALVELUT HSY, H. Ilmansaasteiden terveyshaitat. URL <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/ilmansaasteiden-terveyshaitat/>, viitattu 17.5.2024.

- [20] SEUDUN YMPÄRISTÖPALVELUT HSY, H. Puunpoltto heikentää ilmanlaatua. URL <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/puunpoltto-heikentaa-ilmanlaatua/>, viitattu 17.5.2024.
- [21] SINTROL. DumoPro Continuous Ambient Air Dust Monitor (Product brochure). URL [https://sintrol.fi/wp-content/uploads/2019/10/DumoPro-DumoProEx\\_10012024.pdf](https://sintrol.fi/wp-content/uploads/2019/10/DumoPro-DumoProEx_10012024.pdf), viitattu 25.3.2024.
- [22] SINTROL. Sintrol mitaamisen johtava asiantuntija. URL <https://sintrol.fi/yritys/>, viitattu 25.3.2024.
- [23] STUDIO, S. Grove - Laser PM2.5 Sensor (HM3301). URL [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Seed%20Technology/Grove\\_Laser\\_PM2.5\\_Sensor\\_HM3301\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Seed%20Technology/Grove_Laser_PM2.5_Sensor_HM3301_Web.pdf).
- [24] TME. TME Electronic Components. URL <https://www.tme.eu/fi/>, viitattu 30.3.2024.
- [25] TYÖTERVEYSLAITOS. Kemikaalit, kaasut, pölyt altistumisen torjunta työpaikoilla. URL <https://www.ttl.fi/palvelut/tyoympariston-riskit-ja-turvallisuus/kemikaalit-kaasut-polyt-altistumisen-torjunta-tyopaikoilla>, viitattu 12.5.2024.
- [26] TYÖTERVEYSLAITOS. Työympäristön pölyt. URL <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/tyoympariston-polyt>, viitattu 12.5.2024.
- [27] TYÖTERVEYSLAITOS. Tärkeimpiä työturvallisuuteen liittyviä lakisääteisiä velvollisuuksia. URL <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/epoksi-turvallinen-pinnoituskemikaalien-kaytto/tarkeimpia-tyoturvallisuuteen-liittyvia-lakisateisia-velvollisuuksia>, viitattu 16.5.2024.
- [28] VAISALA. Air Quality Transmitter AQT560 datasheet. URL <https://docs.vaisala.com/v/u/B212714EN-B/en-US>, viitattu 18.5.2024.

- [29] VAISALA. Air Quality Transmitter AQT560. Product Spotlight. URL <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-EUI-ProductSpotlight-AQT560-B212846EN.pdf>, 2024.
- [30] WIKIPEDIA. Modbus. URL <https://fi.wikipedia.org/wiki/Modbus>, haettu 16.5.2024.