

Pienhiukkasten mittaamista Arduino-kehitysalustalla

Eetu Vahvanen

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian osasto,
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto

Tiivistelmä: Tässä tekstissä esitellään projekti Arduino-ohjelmointiympäristöön liitettävän DSM501a -pölymittarin käytöstä kemian opetuksessa. Projektin tavoitteena on lähinnä tutkia laitteiston mahdollisuuksia ja haasteita opetuksessa, mutta myös esitellä prototyyppi ja sen testaamisen tuloksia. Keskeisimpinä johtopäätöksinä on, että tässä muodossaan pölymittarin yhdistäminen kemian opetukseen on haastavaa. Lisäksi käyttämäni laitteiston luotettavuus on vähintäänkin vaihtelevaa ja tulokset summittaisia. Mahdollisuuksia laitteelle myös opetuskäytössä kuitenkin on olemassa.

Avainsanat: pienhiukkaset, ilmanlaatu, Arduino

Yhteydenotot: eetu.vahvanen@helsinki.fi

1 Johdanto

Pienhiukkaskonsentraatio on tärkeä ilmanlaadun mittari. Pienhiukkaset voivat olla peräisin monista lähteistä, kuten liikenteestä, teollisuudesta tai luonnosta, ja ne voivat vaikuttaa haitallisesti ihmisten terveyteen. Pienhiukkasilla on suuri vaikutus ihmisten terveyteen. Vaikka suurin vaikutus niillä on keuhkoihin, ne vaikuttavat myös esimerkiksi sydämen toimintaan. Vaikutuksen arvioimisessa keskeistä on konsentraation lisäksi myös partikkeleiden koko. PM_{2.5} (particulate matter 2.5) tarkoittaa hiukkasia, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä. Nämä hiukkaset voivat tunkeutua syväälle keuhkoihin ja verenkiertoon. PM_{2.5}-hiukkaset tulevat pääasiassa ihmisen toiminnasta. PM₁₀-hiukkaset ovat hieman suurempia, vähemmän haitallisia ja tulevat pääasiassa maaperästä, liikenteestä, teollisuudesta ja polttamisesta. Suomalaisen keskimääräisestä pienhiukkasaltistumisesta lähemmäs puolet tulee puun pienpoltosta. Sekä PM_{2.5} että PM₁₀ mitataan yleensä yksiköissä mikrogrammaa kuutiometrissä ilmaa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Arduinolla on potentiaalia monipuolistaa opetusta, lisätä oppilaiden kiinnostusta kemiaan ja ehkä jopa innostaa heitä löytämään uusia tapoja vähentää ilmansaasteita.

Tässä projektissa käytän Arduinon pölymittaria kemian opetuksen kontekstissa. Projektin keskiössä ovat pienhiukkasten ominaisuudet. Tämä projekti on myös



esimerkki siitä, miten teknologiaa voidaan käyttää ympäristön seurantaan. Projektin tavoitteena on oppia rakentamaan ja ohjelmoimaan Arduinon pölymittari sekä mitata ilman pienhiukkaskonsentraatiota. Tämän artikkelin tavoitteena on esitellä projektin taustat ja siihen liittyvä kemia sekä pohtia kokonaisuuden soveltuvuutta kemian opetukseen. Tavoitteena ei ole rakentaa valmista opetuskokonaisuutta käytettäväksi opetuksessa, vaan tunnustella projektinomaisesti Arduinon mittarien mahdollisuuksia kemian opetuksessa. Koska rakentamani mittarin toiminta on suurpiirteistä ja pienhiukkasia voidaan helposti mitata eri lähteistä, käsittelen useita mahdollisia mittarin sovelluskohteita opetuksessa. Pääpaino jää siis pienhiukkasten kontekstin ja Arduinon hyödyntämiseen opetuksessa, eikä niinkään yksittäisiin mittaus tuloksiin.

Tekstissä luvussa 2 käsitellään sekä pienhiukkasten kemiaa että mittauslaitteiston rakennetta ja toimintaa yleisesti. Näiden tietojen pohjalta luotua kokonaisuutta ja tämän testaamista käsitellään luvussa 3, jossa ensin esitellään vielä laitteistoa, minkä jälkeen koeasetelmaa ja tuloksia. Luvussa 4 projektia tutkitaan kemian opetuksen kontekstissa.

2 Teoreettinen viitekehys

2.1 Pienhiukkasten kemia

Pienhiukkaset ovat ilmakehässä leijuvia kiinteitä tai nestemäisiä hiukkasia, joiden koko vaihtelee välillä 0,1–10 mikrometriä. Niiden kemiallisen koostumuksen ymmärtäminen on tärkeää, jotta voidaan kehittää strategioita pienhiukkaspäästöjen vähentämiseksi ja siten parantaa ihmisten terveyttä. Yleisesti pienhiukkasista mitataan ilmakehän hiukkasia, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM₁₀) tai jossain tapauksissa alle 2,5 mikrometriä (PM_{2.5}). Ne koostuvat monenlaisista kemiallisista yhdisteistä, mukaan lukien orgaanisista yhdisteistä, raskasmetalleista, pölystä ja hiukkaspäästöistä. Näiden yhdisteiden tarkempi koostumus riippuu pienhiukkasen lähteestä, joka voi olla ihmisen toiminta (esim. liikenne, teollisuus, polttaminen) tai luonnolliset lähteet (esim. hiekka, maaperä, merisuola).

Esimerkiksi puun ja muun biomassan poltto voi aiheuttaa puupölyn, orgaanisten yhdisteiden ja PAH- eli polysyklisen aromaattisten hiilivety-yhdisteiden syntymistä, kun taas polttoaineiden, kuten öljyn tai kivihiilen polttaminen voi aiheuttaa raskasmetallien, hiilidioksidin, -monoksidin, typen oksidien ja rikkidioksidin hiukkasten

syntymistä. Kasvien siitepölystä ja metsien biohiilestä voi syntyä pienhiukkasia. Myös merestä haihtuvat aineet, kuten merisuola ja orgaaniset yhdisteet, voivat muodostaa pienhiukkasia ilmakehässä. Luonnolliset tulivuorenpurkaukset voivat tuottaa suuriakin kertamääriä haitallisia hiukkasia, kuten rikki- ja raskasmetalliyhdisteitä. Pölymyrskyjen aikana ilmassa leijuu suuria määriä hienojakoista maapölyä. Vaikka luonnolliset prosessit voivat tuottaa pienhiukkasia, ihmisen toiminta on edelleen merkittävin tekijä ilmanlaadun heikkenemisessä ja pienhiukkaspäästöjen kasvussa.

Pienhiukkaset voivat kulkeutua pitkiäkin matkoja ilman mukana ja leviävät laajalle alueelle. Siksi on tärkeää pyrkiä vähentämään pienhiukkaspäästöjä kaikilla mahdollisilla tavoilla, jotta voidaan parantaa ilmanlaatua ja ehkäistä niiden aiheuttamia terveysongelmia.

Pienhiukkasten kemia on monimutkaista, ja niiden terveysvaikutukset voivat riippua monista tekijöistä, kuten hiukkasten kemiallisesta koostumuksesta, hiukkas-koosta, altistumisajasta ja altistumistavasta. Näin ollen on vaikea kiteyttää yksiselitteisesti pienhiukkasten kemiallisia muuttajia kuin siltä osin, että ne ovat mikrokokoluokassa. Monet pienhiukkasten kemialliset yhdisteet voivat olla haitallisia terveydelle, mukaan lukien raskasmetallit kuten lyijy ja kadmium, polyaromaattiset hiilivedyt, jotka ovat syöpää aiheuttavia, sekä typen oksidit ja rikkioksidi, jotka voivat aiheuttaa hengitysvaikeuksia. Muutoin ehkä vaaraton pölykin aiheuttaa terveydelle ongelmia fysiologisesti.

2.2 Mittauslaitteen toiminta

Ilmanlaadun raja-arvot vaihtelevat eri maissa ja alueilla, mutta yleisesti hyväksytyt raja-arvo PM_{2.5}-hiukkasille on 10 µg/m³ vuosikeskiarvona ja 25 µg/m³ vuorokausikeskiarvona. PM₁₀-hiukkasille suositellaan välttämään jatkuvaa altistumista yli 50 µg/m³ pitoisuuksille. Useilla Arduinon kehitysympäristöön liitettävillä laitteilla voidaan mitata näitä molempia pitoisuuksia. Tässä projektissa on mitattu yli 1 µm suuruisia pienhiukkasia, mutta mittareita voi mahdollisuuksien mukaan säätää mittaamaan esimerkiksi 2,5 µm ja suurempia hiukkasia. On hieman epäselvää, mikä on mitattavien pienhiukkasten koon yläraja. Lisäksi harvoin tuodaan ilmi suositeltuja rajoja tai kerta-altistuskonsentraatioita pienhiukkasille, jotka sopivat tähän kategoriaan. Toisenlaisella lähestymistavalla ja konfiguroinnilla näitä pitoisuuksia olisi voitu ehkä mitatakin tarkemmin.

Tässä projektissa olen käyttänyt pienhiukkasten mittaamiseen DSM501a sensoria. Se koostuu valodiodista, detektorista, signaalivahvistimesta ja lämmittimestä. Se

kommunikoi pulssinleveysmodulaation (PWM) avulla. Kun PWM-signaali tuotetaan, se koostuu sarjasta pulssiaaltoja. Jokainen pulssi on ajoitettu tietyn pituiseksi ajaksi (pulssin leveys), jonka jälkeen signaalin taso laskee noltaan. Pulssin leveys voi vaihdella 0 % ja 100 % välillä, jolloin signaalin keskiarvo vastaa haluttua analogista arvoa. Esimerkiksi 50 % PWM-signaalin keskiarvo vastaa puolta maksimijännitteestä, mikä vastaa analogista arvoa 50 %. Kun ilman hiukkaset osuvat mittarin elementteihin, ne aiheuttavat vastuksen muutoksen, mikä puolestaan aiheuttaa mitauslaitteen sisällä olevassa piirissä PWM-signaalin leveyden muutoksen. Laitteen mikrokontrolleri mittaa tämän ja laskee sen perusteella hiukkasten määrän ilmaa kohti. Mittaustulokseen vaikuttaa moni asia, kuten mittausanturin sijainti, ilmanvaihto ja mittauksen kesto, joista erityisesti ilmanvaihto voitaisiin varmistaa tuulettimella, jota ei tässä projektissa kuitenkaan ole hyödynnetty.

Mittarin tulokset voivat kuitenkin antaa suuntaa antavan arvion ilmanlaadusta ja siksi sitä onkin järkevää käyttää lähinnä yksinkertaiseen havainnollistamiseen. Koska mittarissa ei ole esimerkiksi tuuletinta, on sen toiminta toisinaan summittaista. Siksi valitsinkin kemian kontekstiksi sellaisen aiheen, joka ei vaadi erityisen tarkkoja hiukkaskonsentraatioita, vaan joka ilmiönä saadaan tuotua laitteella vaivattomasti esille. Ilmiön tutkiminen ja selittäminen tarkemmin jää paljon muun kuin tämän Arduino-laitteen nojalle. Tässäkin projektissa esimerkkikontekstit tai mittauskohteet on valittu siten, että saataisiin mitattua konsentraation piikkejä, jolloin voidaan todeta jonkun lähteen olevan selvästi pienhiukkasten lähde. Tätä sitten käsitellään kemian ja opetuksen kontekstissa, josta tarkemmin luvussa 4. Laitteistoon on yhdistetty mittarin lisäksi ESP8266-mallin WiFi-moduuli, jonka avulla laitteistoa ei tarvitse yhdistää ohjelmoinnin jälkeen mihinkään tietokoneeseen tai näyttöön, vaan tulokset saadaan langattoman yhteyden kautta ThingSpeak-palvelimelle. Näin ollen kokonaisuus muodostaa hyvän esimerkin myös IoT:sta eli esineiden internetistä. Langattoman yhteyden, kuten myös muidenkin säätöjen muuttamiseksi on laite yhdistettävä tietokoneeseen (Arduino-ohjelmointiympäristöä tukevaan laitteeseen), ja muutokset ajettava fyysiseen Arduinoon.

3 Menetelmät

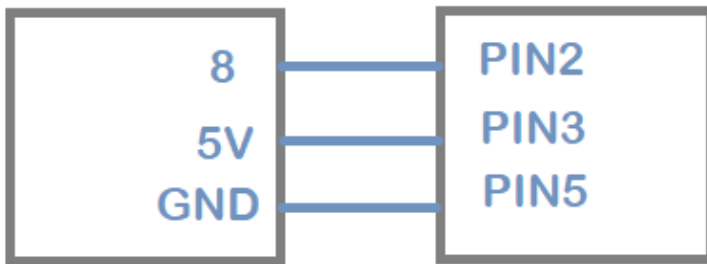
3.1 Design

Arduinoa on hyödynnetty prototyypilaitteiden ja yksinkertaisten elektronisten järjestelmien kehittämisessä jo pitkään. Osat ovat edullisia ja ohjelmointiympäristön kirjastot monipuolisia. Tässä projektissa laitteiston pääosat ovat Arduino Uno ”emolevy”, pölymittari DSM501a ja Wemos D1 mini ESP8266 WiFi-moduuli. DSM501a syöttää emolevylle mittausten raakadataa, joka prosessoidaan ns. spec sheetin mukaisesti hiukkaskonsentraatioiksi. Tähän internetin syövereistä löytyy useita eri laskukaavoja, jotka ovat erilaisia toimivuudeltaan sekä yksiköiden suhteen. Koodit sekä Unolle että Wemos D1 minille ovat liitteessä 1. Lisäindikaattoriksi laitteistoon on liitetty erillinen RGB LED-valo, joka voidaan helposti ohjelmoida näyttämään eri väristä valoa mittausten mukaan. DSM501a komponentti koostuu IR-lähteestä ja fotodiodista, jotka ovat vastakkain ja joita ympäröi LED-valo. Kun hiukkaset kulkevat anturin läpi, ne osuvat LED-valoon ja valo heijastuu takaisin fotodiodiin. DSM501a pölymittari mittaa näiden heijastuneiden valojen määrää ja laskee ilman hiukkasten tiheyden. ESP8266 moduuli on pieni mikrokontrolleri, joka tukee langatonta yhteyttä Wi-Fi-verkon kautta. Se on suunniteltu toimimaan yhdessä Arduino-ohjelmointiympäristön kanssa ja se tarjoaa kehittäjille mahdollisuuden lähettää tietoja langattomasti internetiin. Ainakin toistaiseksi tässä projektissa olen liittänyt Wemos D1 minin suoraan Arduino Unon pinneihin, mikä voi huonossa tapauksessa vaurioittaa WiFi-moduulia, sillä niiden käyttämät lähdejännitteet ovat erisuuruiset. Uno toimii 5 V jännitteellä, kun taas D1 mini 3,3 V jännitteellä. Kuitenkin Unosta löytyy myös 3,3 V ulostulo, mutta tämän projektin tapauksessa myös komponenttien kommunikointiin käytetyt RX-TX-kanavat operoivat tietyllä jännitteellä. Tämä voi muun muassa vahingoittaa tässä tapauksessa pienempää komponenttia tai vaikuttaa mitaustulosten luotettavuuteen WiFi-moduulin osalta. Luotettavuutta on hankalaa arvioida johtuen jo siitä, että ilmainen Thingspeak-serveri voi vastaanottaa dataa pienimmillään 15 s intervalleilla. Luotettavuuden osalta on projektin kuluessa ollut haasteita ja työtä jatketaan edelleen. Tässäkin kohdassa painotan LED-indikaattorin ylivertaisuutta ja helppoutta mittausten lukemisessa. Yksinkertaisen ratkaisun WiFi-moduulin ongelmaan toisi joko emolevyn vaihtaminen langatonta yhteyttä tukevaan, uudempaan versioon, tai vaihtoehtoisesti riittävien liitännöiden hankkimista. Tämä projekti on tehty kuitenkin hyvin rajallisella määrällä materiaalia. Keskeiset liitännät Arduino Unon ja mittarin välillä ovat esitelty vielä kuvassa 1, jossa

vasemmalla puolella on Arduinon pinnit ja oikealla DSM501a:n pinnit.

Kun nämä kolme komponenttia nyt yhdistetään, voidaan luoda laite, joka mittaa ilman hiukkasten tiheyttä ja lähettää nämä tiedot langattomasti internetiin. Tämä on hyödyllistä, jos haluat seurata ilmanlaatua kotona tai työpaikalla, tai niin, ettei laitteistoon tarvita erillistä näyttöä tai tietokonetta lukumuotoisten tulosten lukemiseen. Kokonaisuutena Arduinon suunnittelu DSM501a pölymittarin ja ESP8266 WiFi-moduulin kanssa on jo itsessään mielenkiintoinen projekti, joka tarjoaa kehittäjille ja tuleville sellaisille mahdollisuuden oppia lisää Arduino-pohjaisista laitteistoista ja IoT-sovelluksista. Varsinkin haasteiden edessä joutuu uppoutumaan syvälekin laitteiden ja Arduino-ympäristön toimintaan, jotta haaste onnistutaan kiertämään tai korjaamaan.

Kuva1. Arduino Unon kytkennät DSM501a mittariin.



3.2 Testaaminen

3.2.1 Koeasetelmat

Pääpiirteet laitteiston rakenteesta on esitelty luvussa 3.1. Tämä muodostaa jo suuren osan projektin koeasetelmasta. Tavoitteena on myös kemian kontekstin liittäminen kokonaisuuteen, mitä on lähestytty useista eri näkökulmista. Ensinnäkin vaikka pienhiukkasten kemia on laaja, myös niiden tyyppjä on laajasti. Pienhiukkasia on lukemattomia erilaisia, joten tarkemman kemian käsittelemiseksi olisi valittava erittäin rajattu joukko tai yksittäisiä hiukkasia. Vaikka tämä rajaisi hyvin samalla koko projektin aiheen, silloin Arduino laitteisto jäisi melko hyödyttömäksi, koska, kuten aiemmin mainitsin tämänhetkiselällä prototyypillä ei saa erityisen tarkkoja konsentraatioita tai ne ovat melko epäluotettavia. Siksi vaarallisten pienhiukkasten mittamisessa haitat todennäköisesti olisivat hyötyjä suuremmat, tai yksittäisen hiukkasen mittaamisella ei saavutettaisi mitään mullistavaa. Näistä syistä päädyin painottamaan projektissa Arduino laitteiston rakennetta ja toimintaa, sekä käsittelemään

laajemmin pienhiukkasia. Hyvällä aiheen valinnalla tämä voitaisiin todennäköisesti välttää, ja aiheen voisi rajata tarkemmaksi.

Aluksi päädyin käsittelemään haihtumista meriveden kontekstissa. Merisuola muodostaa suuren osan maapallon ilman pienhiukkasista. Sitä päätyy ilmaan erityisesti lämpimistä meren kohdista ja aaltojen tyrskeissä. Koeasetelmana suolan lisääminen veteen ei kuitenkaan itsessään vaikuta haihtuvuuteen, ainakaan positiivisesti. Vaikutus on lähinnä negatiivinen ja veden höyrynpaine pienenee suolamolekyylien vaikutuksesta. Lisäksi vesihöyry häiritsee DSM501a mittarin toimintaa epäsuorasti pölyhiukkasiin vaikuttamalla ja voi pidemmällä ajalla vaurioittaa (metallisia) komponentteja.

Helpoin koeasetelma on savun ja erityisen pölyisten pitoisuuksien mittaaminen, jolloin konsentraation piikki voidaan useimmiten selvästi tunnistaa. Pölyä löytyy helposti esimerkiksi sukista, harjoista tai muista kankaista. Savua voidaan tuottaa monin eri tavoin mittarille, kuten tulitikulla tai kynttilää polttamalla. Kynttilä aiheuttaa suuriakin hiukkaspitoisuuksia, joita voidaan monitoroida Arduinolla. Hengityksestä saadaan mitattua korkeita konsentraatioita, mutta hiukkaskoostumus on melko epäselvä ja vaihtelee. Se voi olla hengitetyn ilman epäpuhtauksia tai jälleen kerran kosteuden aiheuttamia mittausheilahteluita.

3.2.2 Tulokset

Tämänhetkiselä laitteistolla ja koodilla mittaustulokset ovat erittäin epävarmoja. DSM501a -komponentin valmistajan antaman spec sheetin pohjalta tehtyjen laskukaavojen perusteella mittarilla saadaan kohtuu tasaisesti hyvin matalia pienhiukkaspitoisuuksia sisätiloissa, ja varsinkin kun ilmanvaihdosta mittarilla huolehtii riittävästi. Myös mittarin ja erityisesti sen linssin puhdistaminen on melko tärkeää. Eräs viiden mittausotoksen esimerkkidata on esitetty alla taulukossa 1.

Taulukko1. Esimerkkimittaus DSM501a -pienhiukkasmittarilla.

Kellonaika	Konsentraatio
22.37.44	0,07
22.38.27	-0,02
22.38.48	0,24
22.39.30	0,54
22.40.47	0,19

Mittaustulokset ovat nykyisellä koodilla muotoa mg/m^3 . Yleisesti käytetään mikrogrammoja määrittäessä keskiarvoja ja rajoja hiukkaskonsentraatioille. Negatiivinen konsentraation arvo johtuu aiemmin mainitun valmistajan käyrän sovituksista. Negatiivinen arvo voidaan siis lukea nollassa.

Esimerkkimittauksessa mittarille ei kohdistettu suuremmin pölyä tai muita päästöjä. Keskimääräisillä arvoilla tyypillisesti jo yli $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ konsentraatiot PM_{10} -hiukkasille on pidemmällä altistuksella haitallinen. Tämä arvo vastaisi milligrammoissa siis 0,05:ttä. Kuitenkin kertamittaukset ovatkin hieman erisuuruisia keskiarvoihin verrattuna. Koska WiFi-moduuli on tässä tapauksessa ajastettu Thingspeak-serverin rajoituksesta johtuen lähettämään dataa 20 sekunnin intervalleilla, mittaukset ovat vain poimintoja ”sieltä täältä”. LED-valo indikoi muutoksia enemmän reaaliajassa. Luotettavuudessa on edelleen työstettävää.

4 Kemian opetuksen konteksti

Kuten aiemmin totesin, pienhiukkasiin liittyy paljon kemiaa, mutta sen käsittely vaatii tarkan rajauksen. Muussa tapauksessa joudutaan lähinnä tarkastella niiden fysikaalisia ominaisuuksia, mikä tämäkin toisaalta tuo projektiin hyvin monitieteellisyttä. Myös konsentraatio on eräs hyvä kemian opetuksen aihe, jota voidaan käsitellä osuvan arkiesimerkin kautta. Koska pienhiukkaset todella ovat melko pieniä, niitä harvemmin tulee ajatelleeksi, ja turvallisiksi määritellyt rajakonsentraatiot eivät itsessään kerro hirveästi mitään.

Tämän projektin mittarilla voidaan mitata helposti pienhiukkaspäästöjä erilaisista lähteistä, jotka voivat olla arkielämään liittyviä tai sitten koulussa laboratorio-työstä johtuvia. Jos mittaustulosten luotettavuutta saataisiin parannettua, sillä voisi hyvin tehdä ympäristökemiaan liittyviä mittauksia eri paikoissa. Kuitenkin monet tarkemmat analyysit vaatisivat rinnalle esimerkiksi tarkempien hiukkastyypin mittareita, kuten hiilidioksidimittaria. Ilman tällaisia apumittareita hiukkasmittarin tuloksista on vaikea vetää johtopäätöksiä oikeastaan mistään: ilman kemiallisesta koostumuksesta, hiukkasista tai tarkemmista pitoisuuksista. DSM501a:n anti juuri kemian opetukseen jää melko laihaksi, sillä pelkkä ilmanlaatu itsessään liittyy melko monialaisesti eri koulun oppiaineisiin, kuten terveystietoon. Hiukkaslähteidenkin tarkemmassa käsittelyssä, kuten niiden vähentämisessä tai muussa analyysissä, tämän projektin Arduino-laitteisto ei anna merkittävää lisätietoa. Teorian käsittely jää opetustarkoituksessa paljolti opettajan harteille.

DSM501a-mittaria voidaan käyttää tutkiessa, miten teknologiaa voidaan hyödyntää ympäristön seurannassa. Se on myös toimiva kohde teknologian

hyödyntämisestä opetuksessa, vaikka itse opetushyöty jäisikin vähemmälle kemian aiheiden osalta. Teknologiaosaaminen on kuitenkin tärkeä tulevaisuuden taito. On kuitenkin syytä huomioida, että vaikka teknologioiden käyttö on elintärkeää modernissa opetuksessa, on tärkeää, että oppilaille on riittävät taustatiedot. Teknologian käyttö kemian opetuksessa on herättänyt joskus kritiikkiä, joka on johtunut huonoista toteutuksista ja huonoista sovituksista opetustavoitteiden kanssa (Seery & McDonnell, 2013). Sama haaste voidaan tunnistaa myös tämän projektin ongelmaksi, vaikka ensisijainen tavoite projektille ei olekaan yksittäisen kemian opetuksen aiheen valitseminen ja yhteensovittaminen laitteiston kanssa.

Arduinon yhdistämisessä kemian opetukseen on saatu positiivisia oppimistuloksia (esim. Papadimitropoulos et al., 2021), mutta kemian opetuskäytössä pölymittari ei ole kaikkein intuitiivisin vaihtoehto. Esimerkiksi artikkelissaan Papadimitripoulos yhdisti pH:n mittaamista Arduino laitteistolla Bluetooth-yhteydellä varustettuna sekä kokeellisen työskentelyn hybridimallia (mixed virtual-physical) onnistuneesti. Myös muissa vastaavanlaisissa kemian opetuksen konteksteissa Arduinoa on sovellettu korvaamaan tavallisia kemian laboratorion mittareita, kuten lämpö- ja pH-mittareita (Kubínová & Šlégr, 2015). Pölymittarin käyttöyhteydet ovat ehkä hieman epäsuoremmat.

5 Johtopäätökset

DSM501a Arduinon pölymittarin yhdistäminen kemian opetukseen on haasteellista, vaikkakaan ei mahdotonta. Arduinolla on paljon käyttökelpoisia sovelluskohteita esimerkiksi laboratoriokäytössä tehostamaan oppimista, mutta pienhiukkasmittari ei monesti ehkä ole kaikkein hyödyllisin tai edes kemian laboratorioissa käytetyin mittari. Kuitenkin Arduinon ja DSM501a-mittarin käyttö kemian opetuksessa liittyy nykypäivän teknologiaan ja digitalisaatioon, joiden tuntemisen voidaan todeta olevan tärkeää kemian aiheista riippumatta. Vaikka mittaustulokset olivat epävarmoja, on silti selvää, että DSM501a-mittari voi olla hyödyllinen työkalu ilmanlaadun seurantaan sekä mittaukseen, ja tämän artikkelin kaltainen projekti vastaavasti kemian opetukseen. Projektin työstämisen kautta opiskelijat voivat oppia ymmärtämään ilmansaasteita ja niiden vaikutuksia ympäristöön ja terveyteen. Vaikka DSM501a-mittari voi olla hyödyllinen työkalu kemian opetuksessa, on myös tärkeää muistaa sen rajoitukset. Mittarin käyttöön liittyy tässä muodossaan epävarmuustekijöitä, kuten mittarin herkkyyden vaihtelut eri ilmansaasteiden suhteen, mittarin kalibroinnin vaatimukset ja mittarin huoltotarpeet. Nämä seikat ovat tärkeää huomioida, kun

käytetään DSM501a-mittaria kemian opetuksessa. Olisi myös hyvä, jos mittari saadaan liitettyä yhteen jonkin selvän oppimistavoitteen kanssa, vaikka projektioppimisessa ei olekaan aina kyse yksittäisistä aiheista vaan kokonaisuuksista.

Lähteet

- Kubínová, Š., & Šlégr, J. (2015). ChemDuino: Adapting Arduino for Low-Cost Chemical Measurements in Lecture and Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 92(10), 1751–1753. <https://doi.org/10.1021/ed5008102>
- Papadimitropoulos, N., Dalacosta, K., & Pavlatou, E. A. (2021). Teaching Chemistry with Arduino Experiments in a Mixed Virtual-Physical Learning Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 30(4), 550–566. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09899-5>
- Seery, M. K., & McDonnell, C. (2013). The application of technology to enhance chemistry education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(3), 227–228. <https://doi.org/10.1039/C3RP90006A>

Liite 1. Arduino-koodi

Arduino Uno -puolen koodi

```
// Connect the Pin_3 of DSM501A to Arduino 5V
// Connect the Pin_5 of DSM501A to Arduino GND
// Connect the Pin_2 of DSM501A to Arduino D8
#include<string.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial espSerial(5, 6);
```

```
int red_light_pin= 11;
int green_light_pin = 10;
int blue_light_pin = 9;
```

```
int pin = 8;          //DSM501A input D8
unsigned long duration;
unsigned long starttime;
unsigned long wifidelay;
unsigned long endtime;
unsigned long sampletime_ms = 30000;
unsigned long wifisampletime = 20000;
unsigned long lowpulseoccupancy = 0;
float ratio = 0;
float concentration = 0;
```

```
int i=0;
```

```
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  espSerial.begin(115200);

  pinMode(8,INPUT);
  starttime = millis();    //get the current time
  wifidelay = millis();    //helper time for wifi delay

  RGB_color(255, 0, 0);
  delay(600);
  RGB_color(0, 255, 0);
  delay(600);
  RGB_color(0, 0, 255);
  delay(600);
  RGB_color(0, 0, 0);
```

```

pinMode(red_light_pin, OUTPUT);
pinMode(green_light_pin, OUTPUT);
pinMode(blue_light_pin, OUTPUT);
delay(2000);
}

void RGB_color(int red_light_value, int green_light_value, int blue_light_value)
{
  analogWrite(red_light_pin, red_light_value);
  analogWrite(green_light_pin, green_light_value);
  analogWrite(blue_light_pin, blue_light_value);
}

void loop() {
  duration = pulseIn(pin, LOW);
  lowpulseoccupancy += duration;
  endtime = millis();

  if ((millis() - starttime) > samplertime_ms)
  {
    ratio = (lowpulseoccupancy/1000.0)/30.0*100.0; // Integer percentage 0=>100
    concentration = 0.001915 * pow(ratio,2) + 0.09522 * ratio - 0.04884;

    if (concentration > 60000) {
      RGB_color(255, 0, 0);
    }
    else if (concentration > 30000) {
      RGB_color(255, 165, 0);
    }
    else if (concentration > 10000) {
      RGB_color(255, 255, 0);
    }
    else if (concentration > 2000) {
      RGB_color(255, 255, 100);
    }
    else {
      RGB_color(255, 255, 255);
    }

    Serial.print("lowpulseoccupancy:");
    Serial.print(lowpulseoccupancy);

```

```

Serial.print("  ratio:");
Serial.print(ratio);
Serial.print("  DSM501A:");
Serial.println(concentration);

```

```

lowpulseoccupancy = 0;
starttime = millis();

```

```

if ((millis() - wifidelay) > wifisampletime) {
  espSerial.print('<');
  espSerial.print(concentration);
  Serial.print('<');
  espSerial.print('>');
  wifidelay = millis();
}
}
}

```

Wemos D1 mini -puolen koodi

```

#include <ESP8266WiFi.h>
#include "ThingSpeak.h"
#include <SoftwareSerial.h>

```

```

const char* ssid = "SSID_HERE";
const char* password = "PASSWORD_HERE";
WiFiClient client;

```

```

unsigned long myChannelNumber = 2026716;
const char* myWriteAPIKey = "FVL600QXXIJKT2XI";

```

```

const byte numChars = 32;
char concentration[numChars];

```

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.begin(115200); //Initialize serial
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  ThingSpeak.begin(client); // Initialize ThingSpeak

```

```

WiFi.begin(ssid, password);

```

```

while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  // Serial.print("connecting...");

```

```

    delay(3000);
}

// Serial.print("\n connected \n");
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
}

void loop() {
    static boolean recvInProgress = false;
    static byte ndx = 0;
    char startMarker = '<';
    char endMarker = '>';
    char rc;

    while (Serial.available() > 0) {
        rc = Serial.read();

        if (recvInProgress == true) {
            if (rc != endMarker) {
                concentration[ndx] = rc;
                ndx++;
                if (ndx >= numChars) {
                    ndx = numChars - 1;
                }
            }
            else {
                concentration[ndx] = '\0'; // terminate the string
                recvInProgress = false;
                ThingSpeak.writeField(myChannelNumber, 1, concentration, myWriteAPIKey);
                delay(15000);
                memset(concentration, 0, sizeof(concentration));
                ndx = 0;
            }
        }

        else if (rc == startMarker) {
            recvInProgress = true;
        }
    }
}

```