

Palamisreaktion reaktiotuotteiden visualisointi Arduino-ohjelmistoympäristön avulla

Suvi Korhonen

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

Tiivistelmä: Kemialliseen reaktioon, kuten palamisreaktioon, liittyy paljon väärinkäsityksiä oppilaiden keskuudessa. Väärinkäsityksien ehkäisemiseksi tai niiden poistamiseksi tulisi opettajan kehittää opetukseen keinoja, joilla ilmiön ymmärtäminen helpottuisi. Yksi keinoista olisi tieto- ja viestintäteknologian hyödyntäminen. Arduino on avoimen lähdekoodin elektroniikka-alusta, joka voi vastaanottaa tietoa fyysisestä ympäristöstä ja sen muutoksista sekä muuttaa tiedon digitaaliseen muotoon. Se on matalakynnyksinen ja edullinen ohjelmistoympäristö, joka ei edellytä käyttäjältä aikaisempaa osaamista tietokoneohjelmoinnista. Esimerkiksi näiden asioiden vuoksi se soveltuisi myös osaksi kouluopetusta. Artikkelin tavoitteena on esittää kehitetty CO₂ ja TVOC-mittausväline, joka hyödyntää Arduino - ja ThingSpeak-ohjelmistoja sekä yhdistää se osaksi kemian opetusta. Mittausväline kehitettiin osana Helsingin yliopiston Tutkiva ja eheyttävä kemian opetus -kurssia ja sen avulla pyrittiin visualisoimaan palamisreaktion yhteydessä syntyviä reaktiotuotteita. Mittausvälineellä suoritettiin testimittaus sytyttämällä tuikkukynttilä ja asettamalla mittauslaite tuikkukynttilän yläpuolelle mittaamaan parafiinivahan palamisreaktiota. Suoritetun testin tuloksista huomattiin, kuinka se toimi suunnitelman mukaisesti eli mittausväline ilmoitti fyysisessä ympäristössä tapahtuvia muutoksia, kun palamisreaktio käynnistyi. Hiilidioksidipitoisuuden sekä TVOC-pitoisuuden kasvaminen havaittiin Arduinossa digitaalisesti ja ThingSpeakissä graafisesti nousevana käyränä. Mittausvälineellä on potentiaalia käyttää kouluopetuksessa osana projektipohjaista oppimista. Arduinon käytön on tutkittu muun muassa edistävän kriittistä lukutaitoja ja kehittävän tutkimisen taitoja, jonka vuoksi se soveltuisi hyvin tiedonhankintaan kirjallisten lähteiden lukemisen tueksi.

Avainsanat: kemian opetus, palamisreaktio, hiilidioksidi, projektioppiminen, Arduino

1 Johdanto

Teknologian merkitys yhteiskunnassa kasvaa ja se tulisi pystyä tuomaan myös osaksi koulujen oppiaineiden arkea tukemaan esimerkiksi kemiaa modernina tieteenä. Arduino on käyttäjäystävällinen, matalakynnyksinen ja kehittynyttä teknologiaa hyödyntävä ohjelmisto, jolla on todettu olevan potentiaalia oppimisvälineenä (Galadima, 2014; Pino et al., 2019). Sen etuina pidetään sen edullisuutta, kokeellista ja pedagogista monipuolisuutta (Pino et al., 2019). On tutkittu, kuinka Arduinolla on suurta potentiaalia tukea oppilaiden tutkimisen taitojen kehittymistä, rohkaista opiskelijoita elektroniikan ja ohjelmoinnin pariin sekä kannustaa heitä osallistumaan opetukseen suunnittelemalla ja rakentamalla (Galadima, 2014; Pino et al., 2019). Tämän vuoksi



on aiheellista pohtia ja kehittää sen yhteyteen opetuskokonaisuuksia ja testata niiden toimivuutta eri koulutusasteiden oppijoiden keskuudessa. Olemassa olevat haasteet tulee oppia tiedostamaan ja pohtia niiden suhdetta sen tuomiin mahdollisuuksiin sekä kehittää niiden pohjalta omaan opetuskäyttöön sopiva opetuskokonaisuus. Tutkimukset ovat aikaisemmin todenneet, kuinka monipuoliset Arduinon käyttömahdollisuudet ovat erityisesti luonnontieteiden parissa visualisoimaan ilmiöitä ja yhdistämään niihin modernia tieto- ja viestintäteknologian käyttöä (Gingl et al., 2019). Hiilidioksidi esiintyy monissa kemian ilmiöissä, jonka vuoksi sitä hyödynnetään paljon kemian opetuksessa (Pino et al., 2019). Jotta oppimisesta saataisiin kaikki hyöty irti, tulisi opettajan osata visualisoida ja mitata CO₂-päästöjä asianmukaisella tarkkuudella (Pino et al., 2019). On tutkittu, kuinka Arduino-antureiden käyttö antaa mahdollisuuden esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen tarkempaan ja reaaliaikaiseen mitaukseen hyödyntäen apuna visualisoivaa grafiikkaa (Pino et al., 2019).

Arduinon käyttö ja sen mukana tuomat mahdollisuudet ovat linjassa perusopetuksen opetussuunnitelman (POPS) (2014) kanssa. Sen avulla voidaan konkretisoida kemian esiintymistä jokapäiväisessä elämässä sekä kehittää abstraktia ajattelua tuomalla näkymättömät ilmiöt näkyviksi. Arduino mahdollistaa myös tutkimisen taitojen kehittymisen sekä erilaisten opetusmenetelmien käytön, jossa oppilas toimii aktiivisena toimijana. Arduino myös tukee kemiaa modernina tieteenä. (Opetushallitus, 2014)

Artikkelin tavoitteena on esittää Tutkiva ja eheyttävä -kurssin projektityötä, joka oli oman Arduino-mittausvälineen kehittäminen kemian kontekstiin. Käydään läpi siihen liittyvä teoria tutkimuskirjallisuuden avulla, kuvataan tehty mittausväline, yhdistetään se kemian kontekstiin ja esitetään sen toiminta. Lisäksi artikkelin tavoitteena on tehdä pedagoginen ohjeistus kehitetylle mittausvälineelle, kuinka sitä voitaisiin käyttää opetuksessa ja millä tavoin tehtyä projektia soveltaa kouluympäristöön. Artikkelin etenee teoreettisesta viitekehuksesta projektin kuvaamiseen, jonka jälkeen se liitetään pedagogiseen kontekstiin. Lopuksi vielä tehdään johtopäätöksiä ja yleistä pohdintaa prosessista.

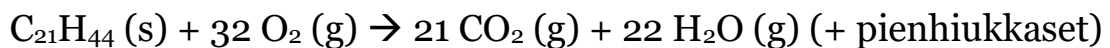
2 Teoreettinen viitekehys

Luvussa käsitellään artikkelin kannalta keskeiset käsitteet tutkimuskirjallisuuden avulla. Luvussa 2.1 tarkastellaan palamisreaktion teoriaa, jonka ympärille mittausväline on erityisesti kehitetty. Luvussa 2.1.1 syvennetään ymmärrystä palamisreaktion yhteydessä muodostuvasta hiilidioksidista, jota kehitetty mittausväline erityisesti pyrkii havainnoimaan sekä sen jälkeen luvussa 2.1.2 nostetaan esille opetuksen näkökulma, miksi on kannattavaa valita juuri palamisreaktio mittausvälineen

kontekstiksi. Viimeisessä teorialuvussa (2.2) käsitellään vielä Arduino-ohjelmistoympäristö tutkimuskirjallisuuden avulla, sillä sen ymmärtäminen on edellytys mitausvälineen toiminnan ymmärtämiselle.

2.1 Palamisreaktio

Palaminen on eksoterminen kemiallinen reaktio, jossa palava aine yhtyy hapen kanssa. Siinä vapautuu lämpö- ja valoenergiaa ympäristöön, joka havaitaan useimmiten liekinä. Palamisreaktio, jonka tapahtuessa ei esiinny liekkiä, kutsutaan hitaaksi palamiseksi. Esimerkiksi raudan ruostuminen ja ihmisen aineenvaihdunta ovat hidasta palamista. Jotta palaminen tapahtuu, vaatii se tiettyjä edellytyksiä. Aineen tulee olla palava, happea tulee olla läsnä sekä ympäristössä tulee olla riittävä lämpötila. Jokaista elementtiä on toteuduttava, jotta palaminen tapahtuu. Kun palava aine reagoi hapen (O₂) kanssa, muodostuu hapen yhdisteitä eli oksideja. Orgaanisen yhdisteen palaessa reaktiotuotteina muodostuu hiilidioksidia ja divetyoksidia eli vesihöyryä. Esimerkiksi tuikkukynttilän raaka-aineena käytetään parafiinivahaa (Derudi et al., 2014), joka on vähintään 20-hiilinen tyydyttynyt hiilivety (C_nH_{2n+2} (n = 20 – 50)) (Halmela, 2008). Reagoidessaan hapen kanssa tapahtuu seuraava palamisreaktio:



Reaktiotuotteena muodostuvat oksidit ovat siis riippuvaisia lähtöaineista. Esimerkiksi jos lähtöaineena on aine, joka sisältää rikkiä, niin reaktiotuotteena muodostuu rikin oksideja SO₂ ja SO₃. Jos lähtöaine sisältää magnesiumia, niin reaktiotuotteena muodostuu magnesiumoksidia MgO.

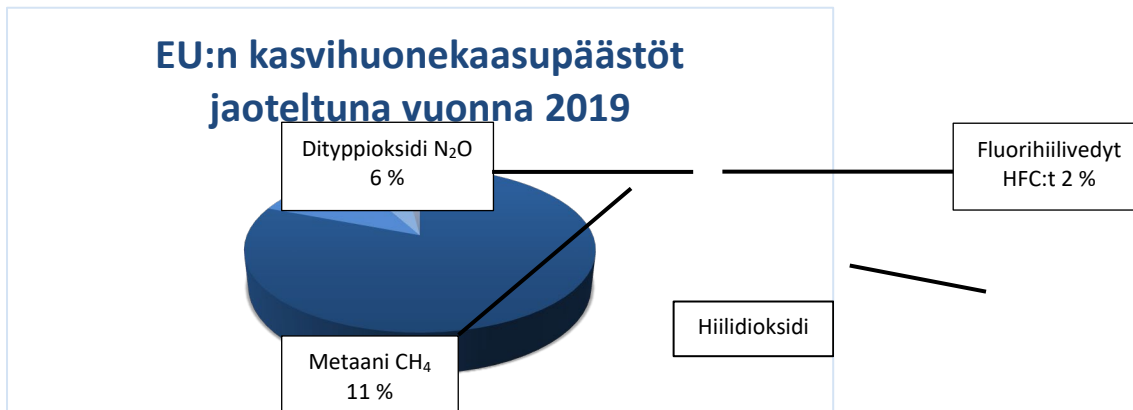
Palaminen ei kuitenkaan aina ole täydellistä, vaan voi tapahtua myös epätäydellistä palamista, jonka yhteydessä muodostuu pienhiukkasia. Tämä voidaan havaita nokena. Lisäksi palamisen yhteydessä ilmaan vapautuu usein haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC, eng. *volatile organic compounds*) lämmön vaikutuksesta. Niiden määrä ilmoitetaan niiden kokonaispitoisuutena TVOC (eng. *total volatile organic compounds*), jolle on määritetty jokin raja-arvo. Raja-arvon ylittyessä olisi tehtävä lisäselvityksiä sen syyllä. Kokonaispitoisuudesta ollaan kiinnostuneita, koska VOC-yhdisteet luokitellaan ilmansaasteiksi ja niillä on todettu olevan haitallisia terveysvaikutuksia, kuten ärsytystä ja pidemmällä aikavälillä niille jatkuva altistus voi lisätä syöpäriskiä (Lamplugh et al., 2019). Esimerkiksi 2019 toteutetussa tutkimuksessa todettiin, kuinka Coloradon kynsisalonkien työympäristössä altistutaan jatkuvasti VOC-

yhdisteille ja useimmat työntekijät ilmoittivat kärsivänsä työhön liittyvistä terveysongelmistä (Lamplugh et al., 2019). Esimerkin tuikkukynttilän palaessa vapautuvat VOC-yhdisteet voivat olla peräisin siihen lisätyistä lisäaineista. VOC-yhdisteitä muodostuu muun muassa myös liikenteessä, teollisuuden prosesseissa, liuottimien ja maalien käytössä. Lisäksi ihmisen uloshengitys sisältää tuhansia VOC-yhdisteitä, joiden koostumus on riippuvainen ihmisen terveydentilasta (Boots et al., 2012).

2.1.1 Hiilidioksidi

Hiili on edellytys elolliselle elämälle (Keenan & Williams, 2018). Se kiertää elottomasta luonnosta elolliseen luontoon: ilmakehästä, vesistöistä ja maaperästä eliöihin ja sieltä takaisin. Hiili esiintyy kiertäessään eri yhdisteinä, kuten hiilidioksidina, karbonaateina tai kivihiilenä. Ilmakehässä oleva hiili esiintyy pääosin hiilidioksidina. Hiilidioksidi on hajuton, väritön ja inertti kasvihuonekaasu, jonka molekyylikaava on CO_2 . Se toimii raaka-aineena orgaanisten yhdisteiden valmistuksessa eli yhteyttämisessä ja sitä vapautuu ilmakehään orgaanisten yhdisteiden palamisessa sekä kasvisolujen ja eliöiden hengityksessä (Keenan & Williams, 2018). Ilmakehään vapautuneen hiilidioksidin talteenottavat ja varastoivat niin kutsutut hiilinielut, joita ovat meret ja maanpäälliset luonnonalueet, kuten metsät (Keenan & Williams, 2018). Hiilidioksidi on siis kaiken elollisen toiminnan ylläpitävä voima ja elämisen ehto. Luonnon kierto-
kulun lisäksi sillä on laajat sovellus- ja käyttökohteet yhteiskunnassa. Hiilidioksidia käytetään paljon teollisuudessa, kuten elintarvike-, juoma-, maatalous- ja rakennusteollisuudessa sekä terveydenhuollossa.

Hiilidioksidi on merkittävin ihmiskunnan jätetuote ympäristölle ja se muodostaa valtaosan ilmakehään vapautuneista kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2019 (kuva 1). Teollistumisen myötä alettiin käyttämään runsaasti fossiilisia muodostumia, joissa on varastoituneena valtaosa maapallolla esiintyvistä hiilestä (Hiilitieto ry, luettu 21.3.2023). Niitä polttaessa muodostuu hiilidioksidipäästöjä, joka on aiheuttanut ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvamisen. Kasvanut hiilidioksidipitoisuus on aiheuttanut 2000-luvun suurimman haasteen, ilmastonmuutoksen (Zhou & Wang, 2016). Sen seuraukset, kuten monimuotoisuuden vähentyminen ja luonnonkatastrofit uhkaavat ihmisten turvallisuutta ja terveyttä (Zhou & Wang, 2016) sekä siten elämisen tulevaisuutta maapallolla. Tämän vuoksi hallitustenvälinen ilmastopaneeli (IPCC) on asettanut tavoitteeksi vähentää maailmanlaajuisia kasvihuonekaasupäästöjä, pääosin hiilidioksidipäästöjä, vähintään 50 % vuoteen 2050 mennessä (Zhou & Wang, 2016).

Kuva 1. EU:n kasvihuonekaasupäästöt jaoteltuna vuonna 2019

* <0,2 % perfluorihillivetyjä (PFC), PFC- ja HFC-yhdistelmiä, rikkiheksafluoridia (SF₆) ja typpitrifluoridia (NF₃)

*Pyörästettyjen lukujen vuoksi loppusumma ei ole tasan 100 %

Huomataan, kuinka hiilidioksidi muodostaa valtaosan ilmakehään vapautuvista kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2019. (Lähde: Ajankohtaista Euroopan parlamentti, luettu 21.3.2023)

Vuosina 2007–2017 maanpäällinen hiilinielu on pystynyt poistamaan noin 30 % ja maailman valtameret noin 24 % aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä (Keenan & Williams, 2018). Biologiset hiilinielut hidastavat siis huomattavasti tapahtuvaa ilmastomuutosta, mutta eivät pysty nykyisessä tilanteessa yksinään hallita sitä. Fossiilisten energialähteiden käyttöä tulisi pystyä minimoimaan ja/tai kehittää ilmakehään joutuville hiilidioksidipäästöille jokin vaihtoehtoinen sitoutumispaikka. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen edellyttää siis usean toimijan yhteistyötä sekä vastuunottamista ja -jakoa myös eri maiden välillä (Zhou & Wang, 2016). Valtion tasolla on sitouduttava kansainvälisiin linjauksiin ja tuettava hiilinielujen säilymistä sekä yrityksiä siirtymistä uusiutuvan energian käyttöön ja kehittämään energiatehokkuuttaan parempaan suuntaan. Yrityksien tehtävänä on toteuttaa asetettuja linjauksia ja kehitettävä omaa toimintaansa suuntaan, jossa prosessissa syntyvät sivuvirrat minimoidaan, hyödynnetään tai ohjataan oikeaan loppukäsittelyyn.

2.1.2 Väärinkäsitykset ja palamisreaktio

Melkein aina kemian oppikirjoissa palamista käytetään esimerkkinä kemiallisesta reaktiosta (Boujaoude, 1991). Se on monille oppilaille tuttu konteksti arkielämästä, jolloin kemian teorian ymmärtämiselle luodaan otollisemmat olosuhteet. Oppilailla esiintyy kuitenkin tutkimuksien mukaan virhekäsityksiä liittyen kemiallisiin reaktioihin (Boujaoude, 1991). Virhekäsityksien ehkäisemiseksi opetuksessa tulisi

submikroskooppisen ja symbolisen tason lisäksi pystyä esittämään kemian käsitteitä ja ilmiöitä makroskooppisella tasolla (Cardellini & Mammino, 2005). Kemiallisessa reaktiossa ainetta ei synny eikä häviä, joka voi olla oppilaan vaikea ymmärtää. Palamisessa reagoivien ja nähtävien lähtöaineiden massa on sama kuin syntyvien ja näkymättömien reaktiotuotteiden. Kemiallisen reaktion, esimerkiksi palamisen, luonteen ymmärtämiseksi opettajan tulisi keksiä keinoja saada näkymättömät reaktiotuotteet, kuten hiilidioksidi ja VOC-yhdisteet näkyviksi. Tähän tukea voidaan etsiä esimerkiksi tieto- ja viestintäteknologiasta.

2.2 Arduino

Arduino on avoimen lähdekoodin elektroniikka-alusta, joka perustuu mikro-ohjainkorttiin ja ympäristöön, joka toteuttaa prosessointi-kielen (Badamasi, 2014; Galadima, 2014). Se suunnittelee, valmistaa ja tukee erilaisia elektronisia laitteita ja ohjelmistoja. Se voi vastaanottaa tietoa fyysisestä ympäristöstä ja siinä tapahtuvista muutoksista, muuttaa sitä digitaalseksi sekä lähettää tietoa useampiin laitteisiin tai eri ohjelmiin hyödyntäen muun muassa wifi-yhteyttä (Badamasi, 2014).

Arduinon käyttöön kuuluu Arduino-ohjelmisto, johon yhdistetään USB-kaapelilla Arduino-kortti. Arduino-kortti voidaan luokitella eri osaan: laitteistoon, johon kuuluvat USB-pistoke, ulkoinen virtalähde, nollauspainike, mikro-ohjain, analogiset nastat, digitaaliset I/O-nastat, In-Circuit ohjelmoija, digitaaliset maadoitusnastat, analogiset maadoitusnastat ja virtanastat sekä ohjelmistoon (Arduino IDE), johon kuuluvat komentoalue, tekstialue ja viesti-ikkuna-alue (Badamasi, 2014; Galadima, 2014). Sitä voidaan ohjelmoida suorittamaan lukuisia tehtäviä kytkemällä siihen kiinni erilaisia syöttölaitteita, kuten antureita sekä lisäksi tietojen saamista voidaan monipuolistaa kytkemällä siihen visuaalisia tapoja esittää tietoa, kuten LED-lamput tai kaiuttimet (Badamasi, 2014). Esimerkiksi yksinkertaisimmillaan tietokoneelle voidaan avata Arduino-ohjelmistoympäristö ja liittää tietokoneeseen kiinni USB-kaapeli, joka on laitettu toisesta päästä kiinni Arduino-korttiin. Sen jälkeen Arduino-ohjelmistoympäristöstä valitaan tai sinne muodostetaan koodi, varmistetaan sen oikeellisuus ja lähetään se Arduino-korttiin, jossa sen valot syttyvät koodin mukaan. Arduinon avulla voidaan lisäksi vuorovaikuttaa ympäristön fyysisten ominaisuuksien kanssa. Tarkkailla ilman kosteutta ja lämpötilaa, kaasujen pitoisuuksia, ilmanpainetta, valoa tai ääntä. Esimerkiksi Arduino-korttiin voidaan kytkeä kosteusanturi. Hengittäessä anturiin Arduino-ohjelmistosta nähdään kosteuspitoisuuden kasvaminen digitaalisessa muodossa. Liittämällä laitteistoon wifi-komponentin, voidaan data siirtää automaattisesti

esimerkiksi ThingSpeak-ohjelmistoon visuaaliseen esitysmuotoon. ThingSpeak on avoimen lähdekoodin esineiden internet -ohjelmisto, jota voidaan käyttää ilmaiseksi verkkopalveluna ei-kaupallisessa käytössä. Se voi vastaanottaa saapuvaa dataa, prosessoida sitä ja esittää sitä graafisesti kuvaajien muodossa (Maureira et al., 2011).

Kuva 2. Arduino-kortteja



Kuvassa Esimerkkejä Arduino-korteista: Arduino Uno ja LOLIN(WEMOS) D1 mini (clone).

Arduinoa voidaan käyttää myös oppimisvälineenä esimerkiksi kyselypohjaisessa opetuksessa, kuten projektioppimisessa. Se on matalakynnyksen ohjelmisto, joka ei vaadi käyttäjältä aikaisempaa tietoa tietokoneohjelmoinnista (Galadima, 2014). Arduino-ohjelmistosta on valmiiksi saatavavilla koodeja eri toiminnoille ja antureille eli käyttäjän tulee vain osata ladata kirjastosta oikea anturi ja valita sen mukaan sitä vastaava koodi esimerkeistä. Lisäksi sen käytöllä voidaan tukea oppilasta aktiivisena oppijana, jossa päästään kehittämään ja tutkimaan omaa ympäristöä modernin teknologian avulla. Kokeellisessa työskentelyssä on keskiössä havaintojen tekeminen eri aistien avulla. Arduinon avulla voidaan kokeellisen työskentelyn näkymättömät osat saada näkyväksi digitaaliseen muotoon ja yhdistämällä Arduinon wifi-yhteyden voidaan ThingSpeak-ohjelmistosta lukea dataa myös graafisessa muodossa. Nämä ohjelmistot siis mahdollistavat tuloksien saamisen reaaliajassa, jolloin oppilaat saavat välitöntä palautetta kokeellisesta työskentelystä (Pino et al., 2019). Arduinon laitteita voidaan käyttää myös useissa tilanteissa ja ympäristöissä: suljettu astia, luokkahuone tai ulkona, joka monipuolistaa sen käyttömahdollisuuksia koulujen arjessa (Pino et al., 2019). Sen käyttö herättää diginatiiveissa myös tilannekohtaista kiinnostusta aiheita kohtaan. Projektimainen työskentely, ympäristön konteksti sekä moderni

työtapa vilkkuvine valoineen tukevat tilannekohtaisen kiinnostuksen heräämistä (Galadima, 2014). Koulujen hallinnon kannalta Arduino on myös edullinen hankinta kouluille (Galadima, 2014; Pino et al., 2019).

Arduinon avulla ihmiset asiantuntijasta opiskelijaan voivat siis käyttää arjessaan ajankohtaista ja kehittynyttä teknologiaa vaivattomasti. Ympäristön kanssa vuorovaikutuksessa olevan Arduinon avulla voidaan luoda ympäristöjä, joissa oppiminen tapahtuu tutkimalla, tekemällä, palautteenannolla, ymmärryksen parantamisella sekä uuden tiedon rakentamisella.

3 Menetelmät

Palamisreaktion luonteen ymmärtämiseksi kehitettiin mittausväline Arduino-ohjelmistoympäristöön, jolla pyrittiin visualisoimaan siinä muodostuvia näkymättömiä reaktiotuotteita. Luvussa käsitellään tehdyn mittausvälineen kehittämisen prosessia sekä esitetään sillä suoritetun testin tulokset, kuinka se toimi apuna palamisreaktion reaktiotuotteiden visualisoinnissa.

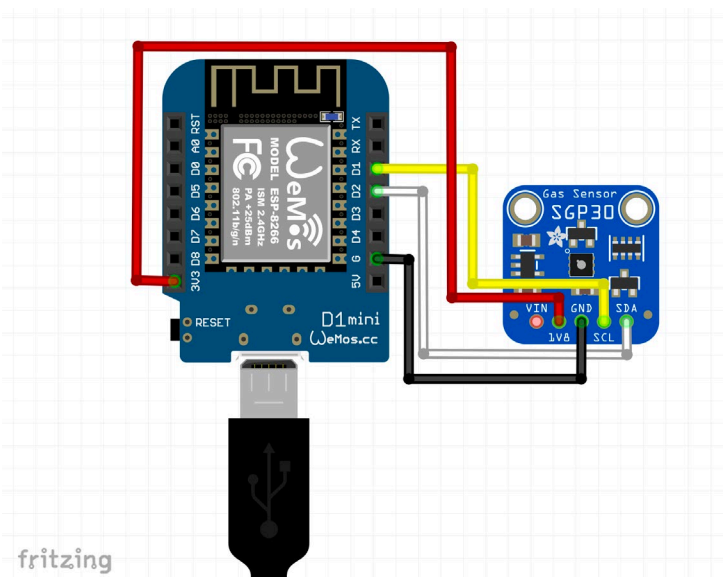
3.1 Suunnittelu

Mittausväline suunniteltiin osana Helsingin yliopiston Tutkiva ja eheyttävä kemian opetus -kurssia, joka kuuluu osaksi kemian aineenopettajaksi opiskelevien tutkintoa. Kurssin aluksi tutustuttiin asiantuntijan johdolla Arduino-ohjelmistoympäristöön ja opeteltiin sen perustoiminnot sekä esiteltiin siihen liitettäviä osia, kuten Arduino-kortteja, lamppuja, johtoja tai antureita. Lisäksi esiteltiin ThingSpeak-alusta, johon on mahdollista siirtää Arduinosta dataa wifi-yhteyden avulla reaaliaikaisesti ja esittää sitä graafisesti. Näiden lähtötietojen avulla lähdettiin suunnittelemaan omaa mittausvälinettä, joka tavoitteeksi asetettiin hyödyntää Arduinoa ja ThingSpeakiä sekä on liittää luontevasti johonkin kemian käsitteeseen tai ilmiöön. Ensisijaisesti mittausvälineestä haluttiin todellakin käyttökelpoinen. Projekti käynnistyi tutustumalla käytössä oleviin antureihin, minkä ympärille voitaisiin mittausväline kehittää. Kaasusensori SGP30, joka mittaa hiilidioksidia, TVOCeja, raakaa etanolia ja vetykaasua, valikoitui mittausvälineen anturiksi. Sen yhteyteen melko heti muodostui idea, että anturia voitaisiin soveltaa palamisreaktion reaktiotuotteiden mittaukseen.

3.2 Prototyypin valmistus

Mittauslaitteeseen tuli yhteensä seitsemän komponenttia: SGP30-anturi, LOLin (WEMOS) Arduino-kortti, neljä johtoa (tässä laitteistossa neljä urosnaaras johtoa) sekä USB-kaapeli. SGP30-anturi kytkettiin osaksi valittua wifi-ominaisuuden sisältävää Arduino-korttia johtojen avulla ja se kytkettiin kiinni USB-kaapelin avulla tietokoneeseen. Kytkenästä tehtiin havainnollistava kuva Fritzing-ohjelmiston avulla (kuva 3).

Kuva 3. Mittauslaitteiston kytkentä



Kuvassa esitetty käytetyt Arduino-komponentit sekä kytkentä Fritzing-ohjelmiston avulla tehtynä. Arduino-korttina toimii Wifi ominaisuudella varustettu ESP8266 sekä anturina kaasusensori SGP30. Kytkenässä D1 = SCL, D2 = SDA, G = GND ja LV(plug) = 3V3.

Mittauslaitteisto viimeisteltiin rakentamalla sille suojakotelo kartongista (kuva 4). Suojakotelon päälle on merkattu valkoisella pohjalla, mikä mittausväline on kyseessä sekä siihen on tehty SGP30-anturille sopiva kolo, josta se pääsee ulos mittamaan fyysistä ympäristöä ja sen mahdollisia muutoksia. USB-kaapeli tulee ulos suojakotelon takaosasta keskeltä alhaalta. Suojakotelon kansi on myös mahdollista avata, jos on tarve muuttaa kytkentöjä.

Kuva 4. Mittausväline



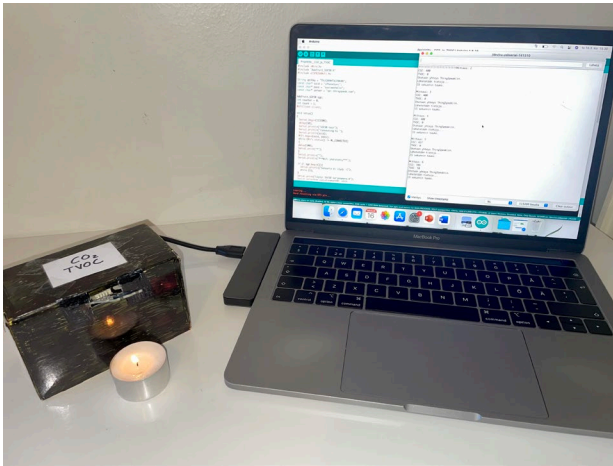
3.3 Testaus

Valmistetusta mittausvälineestä suoritettiin testi sen toimivuudesta. Luvussa on tarkoituksena käsitellä tehdyn testin asetelmaa sekä siitä saatuja tuloksia.

3.3.1 Testi

Testissä käytettiin tuikkukynttilää, jossa sen parafiinivahalla tapahtuu palamisreaktio (luku 2.1). Tuikkukynttilän yläpuolelle asetettiin mittausväline, joka on liitetty tietokoneeseen kiinni. Tietokoneessa on avattuna Arduino-ohjelmistoympäristö, johon on syötetty itse tehty koodi (liite 1). Koodi on tehty SGP30-anturia varten. Se mittaa vain hiilidioksidipitoisuuden ja TVOC-pitoisuuden muutosta ympäristössä sekä se lähettää dataa suoraan ThingSpeak-ohjelmistoon hyödyntäen wifi-yhteyttä. Koodissa tulee muokata kolmea eri kohtaa: APIKey, wifi ja sen salasana, jotka ovat riippuvaisia käyttäjästä. APIKey on saatavilla ThingSpeak-ohjelmistosta, kun käyttäjä luo sinne oman projektin. Muuten testin käytetty koodi on vakio jokaisessa laitteessa. Koodin oikeellisuus varmistetaan, jonka jälkeen se lähetetään mittausvälineeseen ja dataa alkaa kertymään reaaliaikaisesti. Jos koodi ei ole oikein, Arduino herjaa virheellistä koodia. Reaaliaikainen data on nähtävissä digitaalisessa muodossa Arduinossa sarjamonitori kohdassa sekä graafisessa muodossa ThingSpeak-ohjelmistossa kuvaajina. Digitaaliset hiilidioksidipitoisuus ja TVOC-pitoisuus arvot ilmoitetaan yksikössä ppm (parts per million). Testissä mittaus käynnistettiin ensin ilman tuikkukynttilää ja hetken kulluttua se laitettiin mittausvälineen alapuolelle. Sitä ei voitu siinä kauaa pitää, sillä mittauslaite, SGP30-anturi, kuumentui herkästi. Kuvassa 5 on nähtävissä testin mittausasetelma.

Kuva 5. Mittausasetelma



```

Lähetetään tietoja...
15 sekunnin tauko.

Mittaus: 5
CO2: 437
TVOC: 0
Otetaan yhteys ThingSpeakiin.
Lähetetään tietoja...
15 sekunnin tauko.

Mittaus: 6
CO2: 789
TVOC: 58
Otetaan yhteys ThingSpeakiin.
Lähetetään tietoja...
15 sekunnin tauko.

Mittaus: 7
CO2: 893
TVOC: 124
Otetaan yhteys ThingSpeakiin.
Lähetetään tietoja...
15 sekunnin tauko.

Mittaus: 8
CO2: 1818
TVOC: 242
Otetaan yhteys ThingSpeakiin.
Lähetetään tietoja...
15 sekunnin tauko.

Mittaus: 9
CO2: 689
TVOC: 58
Otetaan yhteys ThingSpeakiin.
Lähetetään tietoja...
15 sekunnin tauko.

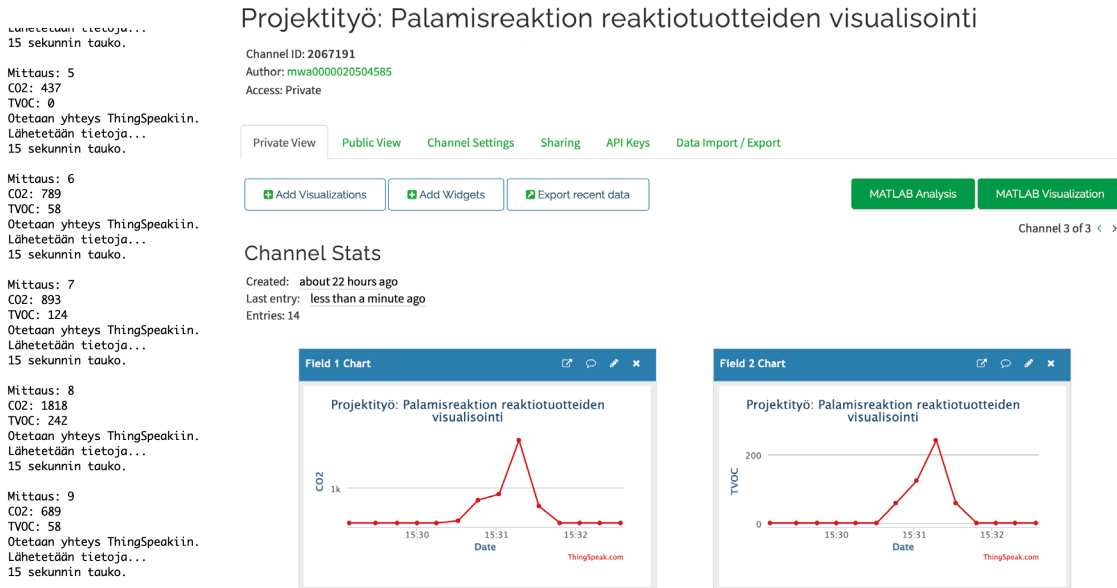
```

Kuva mittauksilanteesta, jossa mittausväline havainnoi tuikkukynttilän palamisesta vapautuvia kaasuja.

3.3.2 Tulokset

Tuikkukynttilän palamisreaktiosta vapautuvien reaktiotuotteiden ja siten ympäristön hiilidioksidipitoisuuden ja TVOC-pitoisuuden muuttuminen ovat nähtävissä digitaalisessa muodossa Arduino-ohjelmistossa ja graafisessa muodossa Thingspeak-ohjelmistossa. Tuloksista huomataan, kuinka hiilidioksidipitoisuus ja TVOC-pitoisuus ympäristössä kasvavat, kun tuikkukynttilä on viety mittausvälineen alapuolelle. Viidennessä mittauksessa CO₂-pitoisuus on 437 ppm, kuudennessa mittauksessa 789 ppm, seitsemännessä mittauksessa 893 ja jne. Eniten hiilidioksidia ympäristössä on mittauksessa kahdeksan, jonka jälkeen tuikkukynttilä on selkeästi vedetty pois mittausvälineen alapuolelta, sillä pitoisuus lähtee laskuun. Tulokset menivät reaaliaikaisesti ThingSpeak-ohjelmistoon, jonka kuvaajasta voidaan tulkita samat tulokset. Sieltä voidaan myös nähdä koko mittaukseen kuluva aika. Testin mittaus oli kestoltaan noin 2 minuuttia, jonka aikana pitoisuus muuttui. TVOC-pitoisuuden tulokset kasvoivat myös, kun tuikkukynttilä lisättiin mittausvälineen alapuolelle. Pitoisuudet olivat selkeästi pienempiä, kun verrataan hiilidioksidipitoisuuden muuttumiseen. ThingSpeakin kuvaajasta voidaan siis myös tulkita, missä vaiheessa tuikkukynttilä lisättiin mittausvälineen alapuolelle ja milloin se otettiin siitä pois sekä kuinka radikaaleja pitoisuuksien muutokset olivat. Tuloksista myös nähdään, kuinka samankaltaisia sekä hiilidioksidipitoisuuden että TVOC-pitoisuuden kuvaajat ovat. Mittausväline siis tuloksien mukaan toimi eli sen avulla pystyttiin visualisoimaan palamisreaktiossa muodostuvat reaktiotuotteet. Tehdyn testin Arduinossa näkyvät tulokset ja ThingSpeakissä näkyvät tulokset ovat esitetty kuvassa 6.

Kuva 6. Datan siirtyminen ThingSpeakiin



Mittaustilanteesta saatu data siirtyy automaattisesti Arduinon kautta ThingSpeakiin, josta tuloksia voidaan tarkastella visuaalisesti kuvaajien avulla.

5 Pedagoginen ohjeistus

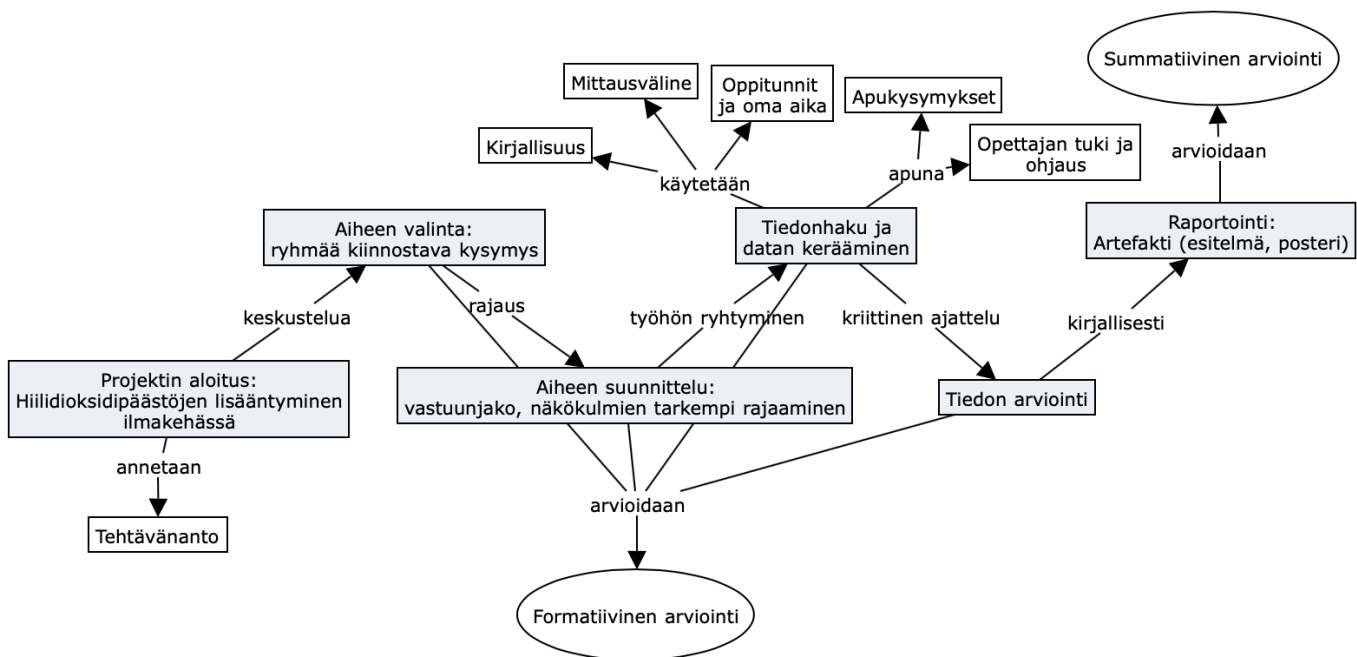
Arduino toimii modernina työvälineenä opetuksessa, jonka avulla voidaan lisätä kiinnostusta asioiden suunnitteluun ja rakentamiseen sekä parantaa kriittistä ajattelua ja kehittää ongelmaratkaisutaitoja (Galadima, 2014). Näiden tekijöiden vuoksi sitä voidaan käyttää esimerkiksi osana projektioppimista. Projektioppiminen on oppilaita osallistava opetusmuoto, jolle on tunnusomaista kontekstikohtaisuus, opiskelijoiden autonomia, tutkimisen taitojen kehittyminen, tavoitteen asettaminen, vertaisten kanssa työskentely sekä opitun reflektointi (Kokotsaki et al., 2016). Projektipohjaisessa oppimisessä oppilaat ovat siis keskiössä. He pääsevät etsimään heille mielekkääseen ongelmaan vastauksia, jotka ovat kosketuksissa reaali maailman kanssa. Esittävät ja tarkentavat siitä heränneitä kysymyksiä, suunnittelevat ja tekevät tutkimuksia sekä keräävät, analysoivat ja tulkitsevat tietoa, josta he tekevät johtopäätöksiä ja raportoivat tietonsa (Kokotsaki et al., 2016). Raportointi tavan voi opettaja päättää, mutta se voi esimerkiksi olla video, posterit tai esitelmä. Tehty artefakti kohdistuisi summatiiviseen arviointiin. Projektipohjainen oppiminen vaatii onnistuakseen opettajalta hyvää suunnittelua sekä oman oppilasryhmänsä tuntemista. Lisäksi sen tavoitteiden toteutumista edistää digitaalisuus, opettajien antama tuki ja ohjaus koko oppilaiden oppimisen prosessin ajan sekä hyvät ja selkeät arviointitavat (Kokotsaki et al., 2016), jossa summatiivisen arvioinnin sijaan formatiivinen arviointi saa

pääpainopisteen. Lisäksi asetettu ongelma tulee olla tasapainossa oppilaiden oman minäpystyvyyden ja haastavuuden suhteen. Projektipohjaisen oppimisen on tutkittu edistävän tieteellisen tiedon ymmärtämistä, kriittistä lukutaitoa, parempia prosessitaitoja, yhteistyökykyä sekä syvällisempää oppimista (Kokotsaki et al., 2016). Näiden tekijöiden vuoksi se olisi perusteltua sisällyttää osaksi opetusta. Projektipohjainen työskentely on myös muoto, johon oppilaat tulevat törmäämään tulevaisuuden työelämässään, jonka vuoksi siihen kuuluvia taitoja tulisi harjoitella jo kouluympäristössä.

Artikkelin luvussa 3 esitetty mittaussväline ympäristön hiilidioksidipitoisuuden ja TVOC-pitoisuuden mittaamiseen soveltuisi projektipohjaiseen oppimiseen. Projektin aiheena olisi hiilidioksidipäästöjen lisääntyminen ilmakehässä ja tehtävänantona on käyttää mittaussvälinettä Arduino-ohjelmistoympäristössä tukemaan projektissa esiintullutta tietoa. Oppilaiden artefaktissa, esimerkiksi posterissa, tulisi olla Arduinon avulla saatua dataa tukemaan teoriaa. Oppilaat tekisivät työn ryhmissä ja työskentelyyn käytettäisiin aikaa muutama oppitunti ja tarvittaessa kotiläksynä. Projektin eteneminen menisi seuraavalla tavalla. Opettaja aloittaa tunnin johdattelulla aiheen pariin esimerkiksi kuvien, videoiden tai lyhyen teorian avulla. Tämän jälkeen opettaja esittelisi projektityön aiheen, hiilidioksidipäästöt. Opettaja jakaa oppilaat 3–4 hengen ryhmiin ja he lähtevät ryhmissä tutustumaan aiheen pariin kysymysten kautta tekemällä siitä esimerkiksi käsitekartan. Kun kysymykset ovat valmiita oppilaiden tehtävänä on valita niistä yksi, se mikä heitä eniten aiheessa kiinnostaa ja mihin he lähtisivät soveltamaan mittaussvälinettä. Todennäköisesti useampi ryhmä valitsisi kysymyksen: Mistä kaikkialta hiilidioksidia vapautuu ilmakehään? Tätä kysymystä eri ryhmät voisivat lähestyä eri tavoin; osa tutkisi esimerkiksi oman kotipihassa olevan henkilöauton päästöjä sen käynnistyessä, osa palamisreaktiota ja osa omaa hengitystä. Näistä tehtäisiin havaintoja, havaitseeko mittaussväline niiden yhteydessä hiilidioksidipitoisuuden muutosta ympäristössä. Ennen mittauksia oppilaat tekisivät omat hypoteesinsa mittaustuloksesta, ja mittauksen jälkeen heijastaisivat tulokset omiin mentaalimalleihinsa. Opettaja toimisi projektin aikana tukena ja ohjaisi oppilaita oikeaan suuntaan. Erilaiset apukysymykset ohjaisivat myös projektin tekemistä, kuten aiheuttiko tutkimasi asia hiilidioksidipäästöjä, miksi tutkimasi asia aiheutti hiilidioksidipitoisuuden muutosta ympäristössä, onko mitattu hiilidioksidipitoisuus mielestäsi merkittävä ilmastonmuutoksen näkökulmasta ja tukeeko kirjallisuus mittaamiasi tuloksia. Oppilaat vuorovaikuttaisivat toistensa kanssa koko projektin ajan, jakaisivat vastuualueita ja aikatauluttaisivat omaa työskentelyään. Lopuksi etsityt ja saadut

tiedot tulisi raportoida esitelmäksi tai posteriksi. Arvioinnin pääpaino olisi formatiivisessa arvioinnissa. Arvioitaisiin oppilaiden työskentelyä, Arduinon käyttöä sekä täytettäisiin itsearviointilomake työn toteutumisesta ja omasta panoksesta ryhmätyöhön. Tehtyä artefaktia opettaja arvioisi summatiivisesti, ja siinä tarkastelun kohteena olisi teorian oikeellisuus, lähteiden käyttö, Arduinon ja ThingSpeakin avulla saatu data ja sen käyttö sekä itse esitelmä kokonaisuudessaan.

Kuva 7. Mittausvälineelle kehitetyn projektin eteneminen



Projekti etenee ongelman esittämisestä ryhmien omien kysymyksiin rajaamiseen, johon etsitään tietoja mittausvälineen ja kirjallisuuden avulla sekä raportoidaan ne kirjallisesti. Formattiivinen arviointi korostuu prosessissa ja summatiivista arviointia käytetään vain artefaktin eli tuotoksen arviointiin.

6 Johtopäätökset ja pohdinta

Aikaisemmin tutkimuksissa on todettu, että Arduino on potentiaalinen oppimisväline (Pino et al., 2019). Lisäksi on tutkittu, kuinka hiilidioksidi on molekyylinä läsnä monissa kemian ilmiöissä ja siten usein esillä kemian opetuksessa (Pino et al., 2019). Artikkelissa esitettiin kehitetty CO₂ ja TVOC-mittausväline, joka hyödyntää Arduinoa ja ThingSpeakia. Tuloksien mukaan se toimi suunnitellusti eli sen avulla pystyttiin mittaamaan ympäristön hiilidioksidipitoisuutta ja TVOC-pitoisuutta sekä sen muutosta palamisreaktion yhteydessä. Parafiinivahan palamisreaktiossa muodostunut näkymätön hiilidioksidikaasu ja TVOCit havaittiin digitaalisesti sekä graafisesti kuvaajassa. Kun kytkennät ja koodi oli tehty, itse mittaustilanne ei kestänyt

kauempaa kuin noin kaksi minuuttia ja ilmiö oli havaittavissa. Voidaan siis todeta, että mittaus oli tehokas palamisreaktion reaktiotuotteiden visualisoimiseen.

Oman projektin eli mittausvälineen kehittäminen ei kuitenkaan sujunut ongelmitta. Aikaisempaa tietokoneohjelmointi kokemusta omaamattomana koodien ymmärtäminen oli haastavaa. Siihen kului paljon aikaa ja lopuksi piti kääntyä kurssin ohjaajan apuun, jonka avulla saatiin mittausvälineen koodi toimimaan ja dataa siirtymään ThingSpeak-ohjelmistoon. Arduinon komponentit ovat myös melko herkkiä ja vaativat maltillista käsittelyä toimiakseen. Näiden syiden vuoksi on tarkkaan mietittävä, miten Arduinoa on kannattavaa kouluympäristössä käyttää. Arduinossa on olemassa valmiita esimerkki koodeja eri antureille, jolloin käyttäjän ainoaksi tehtäväksi jää vain kytkennän tekeminen. Kokisin, että tämänkaltaisen Arduinon käyttö olisi realistista toteuttaa kouluympäristössä. Tuloksia tosin tulisi vain digitaalisessa muodossa, mutta dataa voidaan myöhemmin käsitellä esimerkiksi manuaalisesti Excelissä tai paperilla, joka edistäisi myös monitieteisyyttä. ThingSpeak-ohjelmisto on tehokas havainnollistava työkalu, joka ehdottomasti edistää aiheen ymmärrystä. Koodien tekeminen sen ympärille on kuitenkin työlästä ja liian haastavaa varsinkin nuorille, joten käyttäisin sitä opetuksessa todennäköisesti vain, jos koodi siihen olisi tehtynä valmiina.

Artikkelissa kehitettiin pedagoginen ohjeistus mittausvälineen käyttöön. Siinä hyödynnettiin valmiiksi tehtyä kytkentää ja koodia, jolloin aikaa ei kulu niihin ja oppilaiden tehtäväksi muodostuu vain mittausvälineen oikeaoppinen käyttäminen, siitä tulevan datan analysointi ja sen yhdistäminen oman projektityön aiheeseen eheäksi kokonaisuudeksi. Artikkelissa esitetty projektityö suunniteltiin nimenomaan yläkouluikäisille, jonka vuoksi se haluttiin pitää melko yksinkertaisena. Se tuo modernia työvälinettä osaksi oppimista, syventää ilmiön ymmärrystä ja antaa mahdollisuuden oppilaan taitojen kehittymiseen sekä minäpystyvyyden vs. haasteen tasapainoon, jonka vuoksi se soveltuu yläkouluikäisille. Projektia voidaan kuitenkin kehittää enemmän Arduinon ja tietokoneohjelmoinnin pariin riippuen siitä, mitä opettaja asettaa sen tekemisen tavoitteeksi. Esimerkiksi jatkokehitysehdotuksena olisi muuttaa opetuskokonaisuutta suuntaan, jossa oppilaat itse muokkaisivat enemmän koodia opettajan tuella. Mittauslaitetta voitaisiin myös kehittää yhdessä oppilaiden kanssa lisäämällä siihen jonkin valoa tuottava komponentti. Esimerkiksi, kun mittausväline ylittää jonkin tietyn hiilidioksidipitoisuuden, sen valo syttyy.

Artikkelin pohjalta voidaan siis todeta, kuinka laajat Arduinon käyttömahdollisuudet ovat niin asiantuntijoilla kuin koulumaailmalla oppiaineiden opetuksessa. Se

antaa mahdollisuuden tutkimisen taitojen kehittymiseen, mutta tarjoaa myös valmiita materiaaleja, jotka säästävät aikaa ja auttavat tietokoneohjelmointia harjoittelevia. Kun opitaan tunnistamaan Arduinon käyttämisen mahdollisuudet sekä kehittää valmiita opetuskokonaisuuksia sen ympärille, niin voidaan opetus tuoda taas askeleen lähemmäksi modernimpaa opetusta, herättää diginatiiveissa kiinnostusta, edistää syvällisempää oppimista ja motivaation syntyä.

Kiitokset

Kiitos Helsingin yliopiston kemian laitoksen Tutkiva ja eheyttävä kemian opetus -kurssin ohjaajille Johannes Perna, Teemu Ronkka ja Outi Haatainen sekä opiskelijakollegoille Eetu Vahvanen ja Juuso Mälkönen.

Lähteet

- Badamasi, Y. A. (2014). The working principle of an Arduino. *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997578>
- Boots, A. W., Berkel, J. J. B. N. van, Dallinga, J. W., Smolinska, A., Wouters, E. F., & Schooten, F. J. van. (2012). The versatile use of exhaled volatile organic compounds in human health and disease. *Journal of Breath Research*, 6(2), 027108. <https://doi.org/10.1088/1752-7155/6/2/027108>
- Boujaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 689–704. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280806>
- Cardellini, L., & Mammino, L. (2005). STUDYING STUDENTS' UNDERSTANDING OF THE INTERPLAY BETWEEN THE MICROSCOPIC AND THE MACROSCOPIC DESCRIPTIONS IN CHEMISTRY. *Journal of Baltic Science Education*, 1.
- Derudi, M., Gelosa, S., Sliepecevic, A., Cattaneo, A., Cavallo, D., Rota, R., & Nano, G. (2014). Emission of air pollutants from burning candles with different composition in indoor environments. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(6), 4320–4330. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2394-2>
- Galadima, A. A. (2014). Arduino as a learning tool. *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997577>
- Gingl, Z., Mellár, J., Szépe, T., Mekan, G., Mingesz, R., Vadai, G., & Kopasz, K. (2019). Universal Arduino-based experimenting system to support teaching of natural sciences. *Journal of Physics: Conference Series*, 1287(1), 012052. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1287/1/012052>
- Halmela, M. (2008). *Parafinikynttilöiden valmistuksen laatutekijöiden optimointi* [Fi=AMK-opinnäytetyö|sv=YH-examensarbete|en=Bachelor's thesis]. <http://www.theseus.fi/handle/10024/515>
- Hiilitieto ry. (Luettu 2023, Marraskuu 21). *Hiilivarannot*. Hiilitieto. <https://hiilitieto.fi/hiilitieto/perustieto-hiilesta/hiilivarannot/>
- Keenan, T. F., & Williams, C. A. (2018). The Terrestrial Carbon Sink. *Annual Review of Environment and Resources*, 43(1), 219–243. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-030204>

- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267–277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Lamplugh, A., Harries, M., Xiang, F., Trinh, J., Hecobian, A., & Montoya, L. D. (2019). Occupational exposure to volatile organic compounds and health risks in Colorado nail salons. *Environmental Pollution*, 249, 518–526. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.086>
- Maureira, M. A. G., Oldenhof, D., & Teernstra, L. (2011). *ThingSpeak – an API and Web Service for the Internet of Things*.
- Opetushallitus. (2014) *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014*. Luettu osoitteesta: https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf
- Pino, H., Pastor, V., Grimalt-Álvaro, C., & López, V. (2019). Measuring CO₂ with an Arduino: Creating a Low-Cost, Pocket-Sized Device with Flexible Applications That Yields Benefits for Students and Schools. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 377–381. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00473>
- Zhou, P., & Wang, M. (2016). Carbon dioxide emissions allocation: A review. *Ecological Economics*, 125, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.001>

Liite 1. Käytetty koodi Arduino-ohjelmistoympäristössä

```

#include <Wire.h>
#include "Adafruit_SGP30.h"
#include <ESP8266WiFi.h>

String apiKey = "ASQWCLZWQ5C6ZD3R"; // Vaihda oma API Key.
const char* ssid = "xxxxx"; // Vaihda oma.
const char* pass = "xxxxx"; // Vaihda oma.
const char* server = "api.thingspeak.com";

Adafruit_SGP30 sgp;
int counter = 0;
int count = 1;
WiFiClient client;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  Serial.println("SGP30 test");
  Serial.println("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, pass);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(100);
    Serial.print("");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("****WiFi yhdistetty****");

  if (! sgp.begin()){
    Serial.println("Sensoria ei löydy :(");
    while (1);
  }
  Serial.print("Löytyi SGP30 sarjanumero #");
  Serial.print(sgp.serialnumber[0], HEX);
  Serial.print(sgp.serialnumber[1], HEX);
  Serial.println(sgp.serialnumber[2], HEX);
  Serial.println();
}

void loop()
{
  if (! sgp.IAQmeasure()) { // Datan keräys.
    Serial.println("Mittaaminen epäonnistui");
    return;
  }
  if (client.connect(server,80)) // "184.106.153.149" or api.thingspeak.com
  {
    String sendData = apiKey+"&field1="+String(sgp.eCO2)+"&field2="+String(sgp.TVOC)+"\r\n\r\n";
    //Serial.println(sendData);
    Serial.println((String)"Mittaus: "+count);
    client.print("POST /update HTTP/1.1\r\n");
    client.print("Host: api.thingspeak.com\r\n");
  }
}

```

```

client.print("Connection: close\n");
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: "+apiKey+"\n");
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
client.print("Content-Length: ");
client.print(sendData.length());
client.print("\n\n");
client.print(sendData);
Serial.print("CO2: ");
Serial.print(sgp.eCO2);
Serial.println();
Serial.print("TVOC: ");
Serial.print(sgp.TVOC);
Serial.println();
Serial.println("Otetaan yhteys ThingSpeakiin.");
Serial.println("Lähetetään tietoja...");
}

counter++;
if (counter == 10) {
  counter = 0;

  uint16_t TVOC_base, eCO2_base;
  if (!sgp.getIAQBaseline(&eCO2_base, &TVOC_base)) {
    Serial.println();
    Serial.println("Perusarvojen saaminen epäonnistui.");
    return;
  }
  Serial.println();
  Serial.print("****Perusarvo: eCO2: 0x"); Serial.print(eCO2_base, HEX);
  Serial.print(" & TVOC: 0x"); Serial.println(TVOC_base, HEX);
  Serial.println(); //Tulostaa rivinvaihdon.
}
count++;
Serial.println("15 sekunnin tauko.");
Serial.println();
delay(15000);
}

```