

# Saavutettava pH-säädin kemian opetukseen: Arduino-kehitysprojekti

Ruu Öörni

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

**Tiivistelmä:** Tämä artikkeli käsittelee mittausautomaation suunnittelua rakentamista sekä sen mahdollista käyttöä projektioppimisessa. Mittausautomaatio on Arduino-ohjelmistolla ja Arduino-laitteilla toteutettu automaattinen titrauslaitteisto. Projektin tavoitteena on kehittää hienomotoriikka haasteisille oppijoille saavutettava titrauslaitteisto. Tämä saavutetaan automatisoimalla ne osat titrausta, jotka vaativat nopeutta, sorminäppäryyttä tai tarkkuutta. Mittausautomaatio on tarkoitettu toimimaan projektioppimisen kontekstissa. Se mahdollistaa joko projektioppimisen projektien toteuttamisen, vaikka oppijalla olisi hienomotoriikassa haasteita. Mittalaitteistoa on mahdollista soveltaa myös kattavampien projektien osana. Tulevaisuudessa projektia pystyisi laajentamaan kattamaan useampia saavutettavuuden haasteita kuten värisokeutta. Koska mikään laite ei ole kaikille oppijoille saavutettava, on laitteistoa mahdollista kehittää myös hienomotoriikan haasteiden näkökulmasta helppokäyttöisempi tekemällä muutoksia laitteiston rakenteeseen.

**Avainsanat:** happamuus, Arduino, projektioppiminen, saavutettavuus, kemian opetus, mittausautomaatio

## 1 Johdanto

Kemian kokeellisuus on harvoin saavutettavaa, sillä sopivia välineitä tai saavutettavuutta parantavaa teknologiaa ei ole saatavilla (Soong et al., 2018). On siis tärkeää, että näitä sovelluksia tutkitaan ja tuotetaan lisää. Tämän artikkelin tavoitteena on kuvata prosessi, jossa kehitetään Arduino-ohjelmistoa ja Arduino-laitteistoa hyödyntämällä automatisoitu titrausjärjestelmä. Tavoitteena on tuottaa vaihtoehtoinen tapa toteuttaa kemian laboratoriotyö siten, että tietyiltä osin käytännön toteutusta on muutettu saavutettavammaksi erityisesti hienomotoriikkaa vaativien osien kohdalla.

Mittausautomaatiot ovat jatkuvasti suurempi osa kemian opetusta. Tällä hetkellä on tarjolla paljon mittalaitteita sekä sovelluksia, jotka auttavat kemian kokeellisuuden toteuttamisessa (Celik et al., 2022). Yksi näistä sovelluksista on Arduino-ohjelmisto. Se on avoimeen lähdekoodiin perustuva alusta, joka mahdollistaa useiden mittausautomaatioiden toteuttamisen yhdellä sovelluksella ja pakkauksella välineitä



(Galadima, 2014). Tässä artikkelissa kuvaan menetelmän, jolla suunnittelen ja toteutan mittausautomaation hyödyntäen Arduino-ohjelmistoa.

Tässä artikkelissa kuvattu tapa toteuttaa mittausautomaatio titraukselle mukaillee pitkälti Bohrerin (2020) artikkelia vastaavasta aiheesta. Bohrer (2020) kuvaa sekä mittausautomaation rakennusprosessin että sen koodin. Bohrerin koodia on muokattu siten, että se tukee tämän artikkelin mittausautomaation toimintaa paremmin.

## 2 Teoreettinen viitekehys

Mittausautomaatio keskittyy mahdollistamaan pH:n, happamuuden ja titraamisen opiskelun laboratoriotöiden kautta myös tilanteissa, jossa käytännön toteutus on esteenä kokeen suorittamiselle. Tässä osiossa esittelen happamuuden ja titraamisen opetuksen teoreettisen viitekehysten sekä avaan saavutettavuuden määritelmää ja vaatimusta projektissa.

Kemian opetuksessa opetussuunnitelma vaatii tutkimuksen taitojen ja kemian kokeellisuuden harjoittelua lukiossa (Opetushallitus, 2019). Kemiassa on paljon osa-alueita, joiden oppimista on mahdollista tukea kokeellisuudella. Näistä aiheista projektin lähtökohdaksi valikoitui happamuus ja titraaminen, koska ne ovat yleinen laboratoriotöiden aihe. Titraaminen vaatii kuitenkin usein valtavasti hienomotoriikkaa, jotta byretistä saadaan laskettua liuosta pisaroittain. Tämä projekti pyrkii tuottamaan vaihtoehdoisen lähestymisen titraamiselle, joka voi olla monille saavutettavampi vaihtoehto.

Yksi saavutettavamman opetuksen muodoista on inklusiivinen opetusmalli. Jotta inklusiivisuutta voidaan toteuttaa, täytyy mahdollistaa se, että oppija pystyy avustetusti joko tehtäviä tai oppimisympäristöä muokkaamalla, toimimaan yleisopetuksen luokissa. (Suleymanov, 2015.) Koska projekti pyrkii tarjoamaan vaihtoehdoisen toteutustavan yleisopetuksessa käytetyille metodille, toteuttaa se inklusion periaatteita. Oppija voi tehdä saman kokeen samalla periaatteella siten, että laboratoriotyöstä poistetaan esteitä. Suleymanovin (2015) mukaan inklusiivisessa opetuksessa on useita saavutettavuuden osa-alueita kuten fyysiset esteet, joita voidaan tukea opetuksessa.

Happamuus on aineen ominaisuus, jolla on useita määritelmiä. Kemianopetuksen näkökulmasta happo määritellään aineeksi, joka kykenee luovuttamaan vetyionin. Vastakkaisesti emäs on aine, joka kykenee vastaanottamaan vetyionin. Happamuus käsitteenä voidaan määritellä sen happo- ja emäsominaisuuksien mukaan.

Happamuutta kuvataan laskennallisesti käsitteen pH kautta. pH on liuoksen vetykonsentraation negatiivinen logaritmi. pH:ta käytetään yksinkertaistamaan happamuuden vertailua.

Titraaminen on yksi tapa määrittää happaman tai emäksisen aineen konsentraatio. Koska se on kokeellista, on sillä mahdollisuus kasvattaa oppijoiden kiinnostusta ja motivaatiota. (Sary et al., 2018.)

### 3 Metodologia

Projektin suunnittelun lähtökohtana oli ajatus: mitä kemian opetuksellisia aiheita on mahdollista tukea mittausautomaatiolla sekä mikä tämä tuettava osa-alue on. Tässä luvussa kuvataan suunnitteluprosessi kokonaisuudessaan vaihe vaiheelta siten, että prosessi on toistettavissa ja prosessin kuvauksen perusteella on mahdollista toteuttaa saman tyylinen projekti. Suunnitteluprosessi koostuu tiedonhausta, aiheen rajauksesta sekä suunniteltavan laitteen toimintojen vaatimusten ja mahdollisuuksien vertailusta monipuolisesti.

#### 3.1 Suunnitteluprosessi

Projekti rakentui useasta vaiheesta. Pyrkimyksenä oli selvittää jo olemassa olevan tiedon pohjalta, millaisia mahdollisuuksia Arduino-pohjaisilla sovelluksilla on kemian opetuksessa tai kemian tutkimuksessa. Ensimmäisessä vaiheessa valitsin mahdolliseksi projektiaiheeksi happamuuden, koska se nousee ensimmäisenä asiana mieleen, kun puhutaan kemian kokeellisuudesta tai kemian arkipäivän yhteyksistä. Samalla selvitin, millaista kokeellisuutta happamuuteen liittyy ja miten näitä kokeita voi tukea Arduino alustaa hyödyntäen.

Toinen vaihe koostui mittausautomaation hahmottelusta. Tässä vaiheessa projektin kohteeksi valikoitui automaattinen titraussysteemi. Kun aihealue oli rajattu, tavoitteena oli selvittää, mitä erilaisia toimintoja mittalaite vaatisi, sekä millaisia vaatimuksia niillä laitteen osilla tulisi olla.

Kolmannessa vaiheessa koottiin morfologinen matriisi: mitä mahdollisia toteutuksia kullekin halutulle ominaisuudelle on olemassa. Neljännessä vaiheessa näistä vaihtoehdoista koottiin mahdolliset versiot, joiden toimivuutta ja kustannustehokkuutta vertailtiin. Tämän suunnitteluprosessin jälkeen siirryttiin rakentamaan mittausautomaatio ja testaamaan sen toimivuutta.

### 3.2 Dokumentointi

Toisessa suunnitteluprosessin vaiheessa pohdittiin, mitä toimintoja mittalaite vaatii toimiakseen halutulla tavalla. Jokaisella osalla on myös tiettyjä vaatimuksia, joka täydentävät niiden käyttötarkoitusta (taulukko 1).

Taulukko 1. Mittausautomaation halutut ominaisuudet sekä niiden vaatimukset

Toiminto	Vaatus	Mahdollinen lisätoive
pH:n mittaus	Ei rikkoudu upotettaessa nesteseen	
Pisaroiden tiputtelu	Stable enough for an added valve	
Osien yhdistäminen	Kaikki osat on mahdollista yhdistää toisiinsa	
Datan keräys	Tietokone	Mahdollisesti Geogebra-sovellus
Datan prosessointi	Mahdollista ohjelmoida laskemaan pisaroita	

Kun on selvillä se, millaisia ominaisuuksia mittausautomaatiolta halutaan, seuraava vaihe on selvittää, millä välineillä kukin ominaisuus on mahdollista saavuttaa. Taulukko 2 esittelee mahdolliset ratkaisut kuhunkin toivottuun ominaisuuteen. Taulukkoa kaksi muodostettaessa taulukon 1 vaatimuksia muokattiin ja täsmennettiin hienman.

Taulukko 2. Mittausautomaation vaatimat toiminnot ja mahdolliset osat

<b>pH systeemi</b>		A	B	C
Toiminto	1) pH:n mittaus	Arduino pH-anturi	Gadolinin pH-anturi	Indikaattori
	2) Pisaroiden tiputtelu	Venttiili	Pisaralaskuri ja manuaalinen titraus	
	3) Osien yhdistäminen	Arduino Uno		
	4) datan keräys	Tietokone		
	5) Datan prosessointi	Geogebra-alusta	Käsin laskenta	

Morfologisen taulukon (taulukko 2) perusteella voidaan muodostaa eri ratkaisuja siitä, mikä projektin kokonaisuus on. Nämä ratkaisut ovat seuraavat: 1A-2A-3A-4A-5A (eli Arduino pH-anturi-Venttiili\_Arduino Uno-Tietokone-Geogebra alusta), 1A-2A-3A-4A-5B, 1A-2B-3A-4A-5A, 1A-2B-3A-4A-5B, 1B-2A-3A-4A-5A, 1B-2A-3A-4A-5B, 1B-2B-3A-4A-5A, 1B-2B-3A-4A-5B, 1C-2A-3A-4A-5A, 1C-2A-3A-4A-5B, 1C-2B-3A-4A-5A, 1C-2B-3A-4A-5B.

Koska mittausautomaation tavoitteena on olla mahdollisimman saavutettava hienomotoriikan suhteen, voidaan ratkaisu 2B hylätä, koska se vaatii mekaanista, tarkkuutta vaativaa työtä. Osasta Datan käsittely (5A/5B) puolestaan päädyttiin siihen, että ulkoinen sovellus ei tarjoa oppijoille samanlaista käytännön laskukokemusta kuin perinteinen titrauslaskujen laskeminen. Jäljelle jäävät vaihtoehdot ovat siten: 1A-2A-3A-4A-5B, 1B-2A-3A-4A-5B ja 1C-2A-3A-4A-5B. Vertaillaan seuraavaksi näiden vaihtoehtojen teknistä ja taloudellista arvoa.

Projektin eri toteutustapoja vertaillaan niiden tuottaman arvon perusteella. Taulukot 3 ja 4 mittaavat erilaisia toivottuja ominaisuuksia sekä sitä, miten kukin versio täyttää nämä vaatimukset.

Taulukko 3. Eri toteutusmuotojen tekninen arvo

#### Tekninen arvo

Kriteeri	Painoarvo	Arduino sensor	Gadolin sensor	Manuaalinen
Tarkkuus	3	4	3	1
automaattisuus	2	4	3	1
vaihteluväli	1	4	4	1
herkkyys	2	3	2	1
saavutettavuus	4	4	2	1
nopeus	1	3	2	3
absoluuttinen summa	13	33	25	11
normitettu summa	1	2,54	1,92	0,85
sijoitus		1	2	3

Taulukko 4. Eri toteutusmuotojen taloudellinen arvo

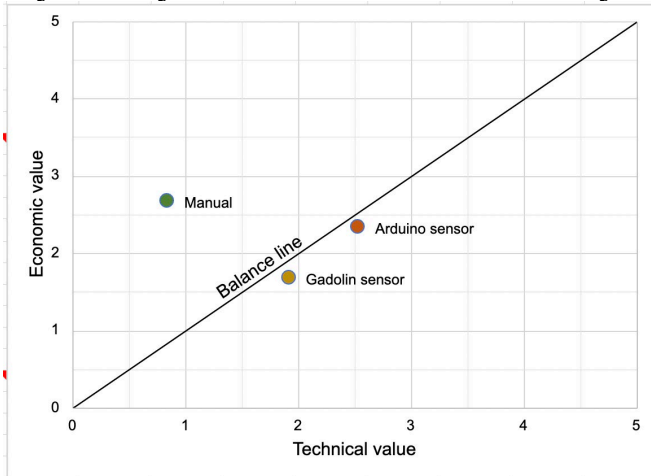
**Taloudellinen arvo**

Kriteeri	Painoarvo	Arduino sensor	Gadolin sensor	Manuaalinen
alkuhinta	1	3	3	5
käytön hinta	1	3	3	5
työn hinta	2	4	2	3
absoluuttinen summa	6	14	10	16
normitettu summa	1	2,33	1,67	2,67
sijoitus		2	3	1

Arvot ovat painotettuja, jotta ne ominaisuudet, kuten helppokäyttöisyys, joita erityisesti tavoitellaan projektissa, korostuvat. Näin pystytään arvioimaan sitä, kuinka hyvin kukin versio täyttää juuri tämän kyseisen projektin tavoitteet.

Saatujen arvojen perusteella luotiin kuvaaja. Projektissa pyritään saavuttamaan mahdollisimman tasainen tuote, jonka taloudellinen arvo vastaa sen teknistä arvoa. Näistä vaihtoehtoisista ratkaisuista Manuaalinen on taloudelliselta arvoltaan korkein, mutta tekninen arvo on huomattavasti matalampi kuin muilla versioilla. Gadolin sensor ja Arduino sensor tuottavat molemmat erittäin tasapainoiset tuotteet. Koska Arduino-anturi kuitenkin on molemmissa arvoissa korkeammalla, valikoitui se lopulliseksi projektin toteutustavaksi. Indikaattoria on kuitenkin mahdollista hyödyntää tilanteessa, jossa mittausautomaation toivotaan toimivan mahdollisimman paljon perinteisen titrauksen tavoin. Tällöin sitä käytetään Arduino pH-anturin rinnalla.

Kuvaaja 1. Projektin ero toteutusten teknisen ja taloudellisen tasapainon suhde



Lopulliseksi projektin muodoksi valikoitui kuvaajan 1 perusteella Arduino sensor.

### 3.3 Prototyyppi

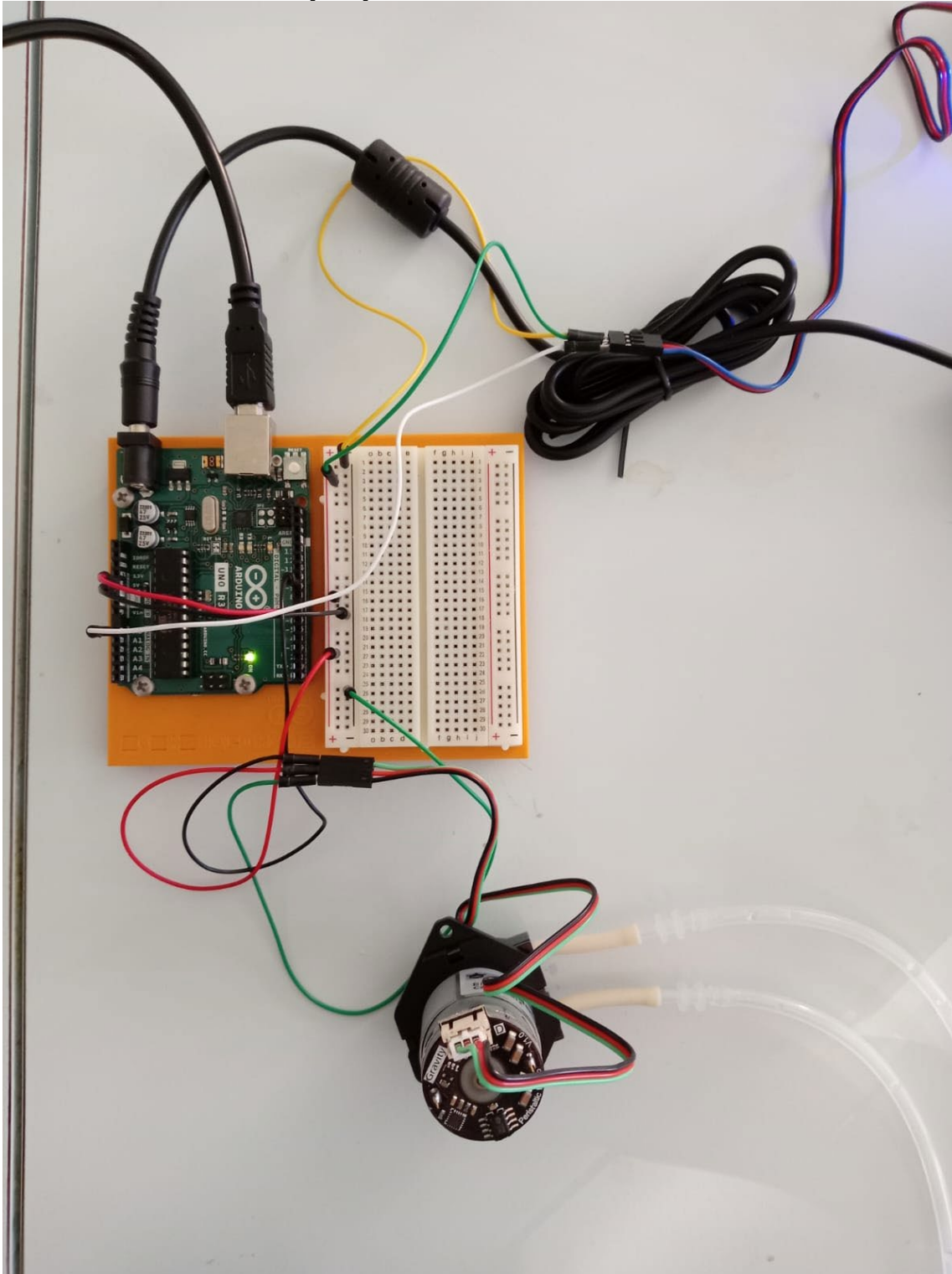
Mittausautomaatio vaati toteuttamiseksi seuraavat välineet:

Taulukko 5. Projektin osat

Osa	Osan tiedot	Hinta
pH-anturi	DFROBOT SEN0161	26,71 €
Peristalttinen pumppu	DFROBOT DFR0534	32,37 €
Virtalähde	IDEAL POWER 25hHKAB- 060A300-D56	33,94 €
Adapteri virtaläh- teelle	VOLEX 152522/3	4,66 €
Arduino-setti		
Tietokone		
Dekantterilasit		

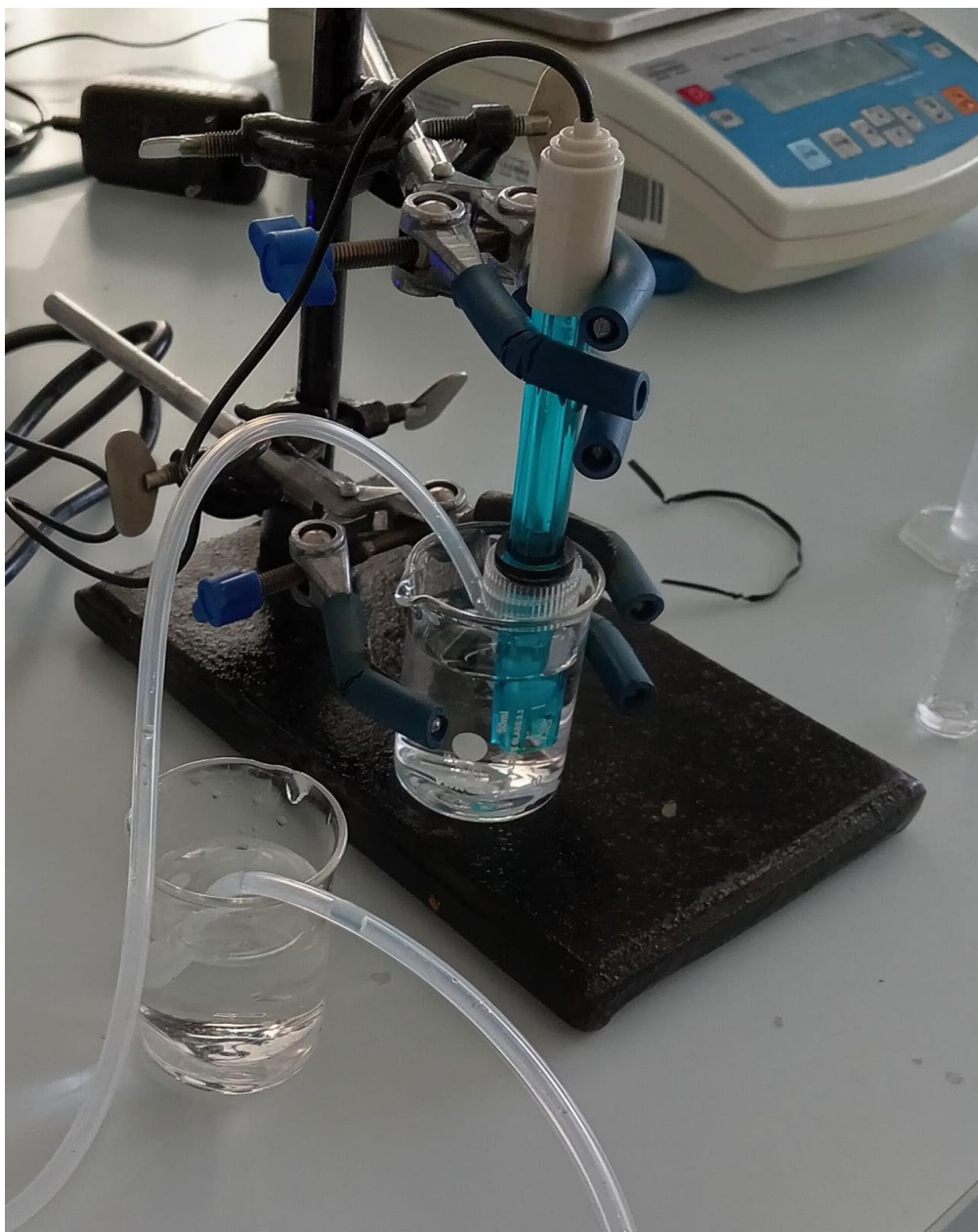
Välineet kasataan kuvien 1 ja 2 mukaisella tavalla.

Kuva 1. Arduino Uno levyn kytkennät





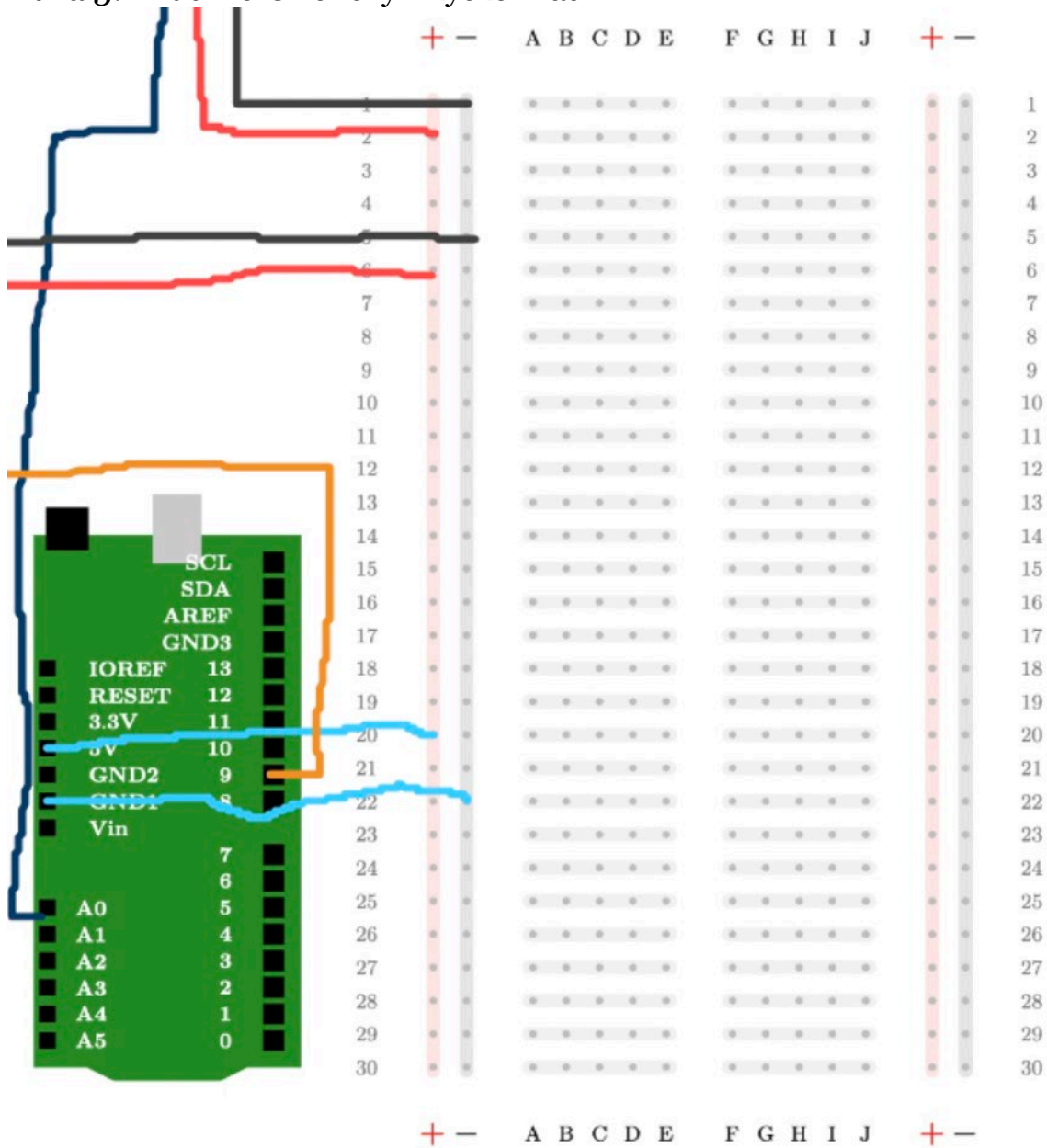
Kuva 2. Projektin pH-anturin asento ja käyttö.



Mittalaite toimii siten, että kahteen dekanterilasiin syötetään putki, joka kulkee peristalttiseen pumppuun. Toiseen dekanterilasiin lisätään titrain ja toiseen titratava näyte. Siihen dekanterilasiin, johon on lisätty titratava näyte, sijoitetaan Arduino pH-anturi. Tämä anturi kytketään Arduino Uno levyyn. Jos näytteen pH on koodissa annettua arvoa pienempi (tai suurempi riippuen koodista), kytkeytyy peristalttinen pumppu päälle. Pumppu pumppaa lyhyen hetken titrainta näytteeseen. Jos pH on noussut halutulle välille, pumppu lakkaa pumppaamasta ja titraus loppuu. Jos haluttua pH-arvoa ei ole saavutettu, toistuu prosessi kunnes se saavutetaan.

Mittausautomaatin koodi kokonaisuudessaan löytyy osiosta liitteet. Jotta mittausautomaation koodi toimii, tulee Arduino Uno levyn kytkennät tehdä kuvan 3 tavalla.

Kuva 3: Arduino Uno levyn kytkennät



### 3.4 Testaus

Mittausautomaatiota testattiin sekä täysin automatisoidussa, että osittain automatisoidussa titrausmenetelmässä. Molemmissa menetelmissä pH-anturi asetettiin emästä sisältävään astiaan ja pumpattava neste oli happo. Muuttamalla liitteistä löytyvää koodia työ on mahdollista muuttaa siten, että emäksellä on mahdollista titrata happoa. Täysin automatisoidussa menetelmässä pH-anturi on asetettu titrattavaan liuokseen, jolloin titraus loppuu automaattisesti, kun pH saavuttaa koodissa asetetun arvon.

Osittain automatisoidussa menetelmässä anturi sijaitsi laitteiston ulkopuolisessa dekantterilasissa, johon oli lisätty emästä. Näin titraus jatkui, kunnes laite kytkettiin mekaanisesti pois päältä. Tämä modifikaatio mahdollisti laitteiston käytön perinteisemmässä titrauskokeessa, jossa hyödynnettiin indikaattoria. Molemmissa menetelmissä pumpatun nesteen tilavuus lasketaan lukumäärien perusteella.

Lopuksi mittausautomaatiosta testattiin sen yksittäisten pumppausten siirtämä tilavuus. Koodiin syötetty arvo pumpun toiminnalle (200) on riittävän pitkä aika, että pumppu saa pumpattua noin yhden pisaran jokaista pumppausta kohden (1 ml/18 pumppausta). Näin saadaan aikaiseksi sama tai korkeampi tarkkuuden taso, kuin käsin titrattaessa. Tilavuuden mittaus toistettiin kymmenesti. Sekä mediaani, että moodi arvoissa oli 18 pisaraa/1 ml.

## 4 Esimerkkiprojekti

Tässä artikkelissa kuvatulla projektilla on käytännön käyttötarkoituksia. Mittausautomaatiot ja niiden sovellukset sopivat projektioppimisen tarpeisiin. Projektioppimisen on todettu voivan auttaa oppijoita ymmärtämään korkeammilla ajattelun taidoilla happamuutta ja titraamista (Pratiwi et al., 2022). Tässä luvussa kuvataan sekä projektioppimisen teoriaa sekä esitetään esimerkki projektioppimisen kokonaisuudesta, jossa artikkelissa suunniteltua ja rakennettua mittausautomaatiota voidaan hyödyntää opetustilanteessa.

### 4.1 Projektioppiminen

Projektioppiminen on yksi oppilaslähtöisen opetuksen muodoista. Sen selkein ominaispiirre on oppimisprojektien eli suuremman, jonkin tuloksen ja tuotteen saavuttamiseen pyrkivän kokonaisuuden hyödyntäminen opetuksen välineenä. Se pyrkii yhdistämään teoreettisen tiedon käytännön sovelluksiin. Kun oppijat toteuttavat

suhteellisen itseohjautuvasti projektia, he pääsevät luomaan itsenäisesti yhteyksiä konseptien välille, mikä puolestaan edistää oppimista. (Kokotsaki ym., 2016).

Projektioppimiselle on ominaista myös arkipäivän konteksti, jolloin aihe on oppijoille tuttu heidän jokapäiväisen elämänsä ilmiöistä. Koska oppijoilla on entuudestaan yhteys opiskeltavaan aiheeseen, on uutta tietoa helpompi rakentaa vanhan tiedon pohjalle. Arkipäivän konteksti tarjoaa oppijoille mahdollisuuden myös motivoitua aiheesta enemmän kuin he motivoituisivat itselleen aivan uudesta ilmiöstä. Jokapäiväisyyden lisäksi projektioppiminen pyrkii myös ylittämään oppiainerajoja. Koska todellisuudessa ilmiöt eivät ole vain yhden oppiaineen alaisia vaan ne sisältävät aspekteja useista tieteenaloista, myös oppijoiden toteuttamat projektit tarkastelevat aihetta useammasta kuin yhdestä näkökulmasta. (Kokotsaki et al., 2016)

Kototsakin ym. (2016) mukaan projektioppiminen vaatii onnistuakseen tuen sekä oppijoille että opettajalle, riittävän paljon ohjeistusta, hyvät yhteistyötaidot kaikilta osallisilta sekä oppijoiden osallisuutta projektin kuluessa, mutta myös projektin arvioinnissa.

Kokonaisuudessaan projektioppimisen keskeisinä piirteinä voidaan siis pitää projektin toteuttamista, siinä syntyvää tuotosta sekä arkielämään liittyvää kysymystä tai ongelmaa, joka ohjaa projektia.

## 4.2 Projektioppimisen esimerkki

Artikkelin mittausautomaatio soveltuu sekä saavutettavuuden tueksi titrausta hyödyntävissä projektioppimiskokonaisuuksissa, että omaksi kokonaisuudekseen projektioppimisessa. Saavutettavuutta tavoiteltaessa suunniteltu mittausautomaatio sopii vaihtoehtoiseksi titrausprojektin toteutustavaksi perinteisen titraustyön ohelle. Kokeellisessa titraustyössä, jossa tutkitaan aineen happamuutta titraamalla, voidaan korvata manuaalinen titraaminen automatisoidulla verisolla, jolloin kokeellinen osuus on mahdollista toteuttaa myös erilaisilla saavutettavuuden vaatimuksilla.

Sovellus sopii myös laajemman projektin toteutukseen. Kemian opetuksessa on tärkeää löytää arkipäivän konteksti opetettaville asioille (Ültay & Çalık, 2012). Happamuus esimerkiksi on aihe, johon löytyy sovelluksia oppijoiden jokapäiväisestä elämästä esimerkiksi elintarvikkeiden muodossa.

Opetuksessa myös metodien autenttisuus on tärkeää (Ültay & Çalık, 2012). Perinteinen titrimetria, jossa työn suoritus tapahtuu mekaanisesti byretin avulla, on suhteellisen vanhentunut menetelmä. Se ei enää kuvasta nykypäivän

kemiantekniikan ja -teollisuuden menetelmiä. Se on kuitenkin historiallisesti osa kemiallista tutkimusta. Yksi tapa lähestyä tätä autenttisuuden haastetta on toteuttaa projektioppimisen kokonaisuus käyttäen sekä byriettiä, että tämän artikkelin mitta-automaatiota. Oppijat tutustuvat ryhmässä kemian menetelmien kehittymiseen historiassa. Ohjaavia kysymyksiä ovat esimerkiksi: miten titrausmenetelmät kehittyivät? Miten titrausmenetelmät ovat muuttuneet ajan saatossa. Tämä mahdollistaa historian ja kemian yhdistämisen oppiainerajat ylittäväksi kokonaisuudeksi.

Kerättyään tietoa oppijat pääsevät toteuttamaan saman titrauksen sekä perinteisellä titrausmenetelmällä, että mitta-automaatiolla. Itse mittauksen teossa on mahdollista pohtia sitä, miksi perinteinen titraus menetelmänä on edelleen laajasti käytössä opetuksessa. Koe avaa oven myös kemian teknologian kehityksen kaaren pohittamiseen.

Edistyneempien oppijoiden on mahdollista rakentaa ja koodata kyseinen projekti itse artikkelin perusteella. Koska projektit toteutetaan ryhmissä, on edelleen mahdollista varmistaa, että kaikilla oppijoilla on mahdollisuus toteuttaa titrausta heille sopivin menetelmin. Projektioppimisen kokonaisuudessa tuotteeksi sopii video, diashow tai muu vapaa tapa ilmaista saadut tulokset. Esimerkin projektissa oppijat esittävät löytönsä siitä, miten titrausmenetelmät ovat muuttuneet ajansaatossa sekä sen, millaisia eroja perinteisellä titrausmenetelmällä saaduissa tuloksissa on mitta-automaatiolla mitattuihin arvoihin nähden.

## 5 Pohdinta

Projektin tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa toimiva mitta-automaatio. Näkökulma mittalaitteen suunnittelussa oli sisällyttää siihen ominaisuus, jota on mahdollista hyödyntää kemian opetuksen saavutettavuuden lisäämisessä. Täksi ominaisuudeksi valikoitui motoriikan suhteen perinteistä titrausta helppokäyttöisempi koejärjestely. Artikkelissa kuvattu titrausjärjestelmä on mahdollista toteuttaa suhteellisen pienellä tietotaidolla: Arduino-paketilla, muutamalla metodologiassa kuvatulla lisäosalla ja artikkelin esimerkkikoodilla on mahdollista toteuttaa oma versio mitta-automaatiosta.

Koska mitta-automaatiota on mahdollista soveltaa vaihtoehtoisena menetelmänä perinteisen titrauksen rinnalla, tarjoaa se mahdollisuuden inklusiiviseen opetukseen. Koska mitta-automaatio myös kuvastaa enemmän kemian teollisuuden nykypäivää, kuin perinteinen titrauksen koejärjestely, sopii se käytettäväksi projektioppimisessa muun muassa artikkelin esimerkkiprojektin tavoin. Tilanteessa, jossa

projektin mittausautomaatiota hyödynnetään saavutettavuuden keinona, on laitteen rakentaminen suoritettava ennalta opettajan toimesta. Vaikka käytössä laita poistaa tarpeen erittäin tarkkoihin, hienomotoriikkaa vaativiin tehtäviin, laitteen rakentaminen puolestaan tarvitsee sitä. Laitetta on kuitenkin mahdollista hyödyntää ilman, että on itse rakentanut sen, eikä tämä vähennä sen käytettävyyttä titrauskokeissa.

Projekti on rajattu perustellusti siten, että se tukee mahdollisimman hyvin oppijaa tietyn saavutettavuuden esteen purkamisessa. Projektin rajauksessa on huomioitu mahdollisuudet muokata mittalaitetta tavallisesta titraussysteemistä poikkeavaksi. Nämä mahdolliset ominaisuudet on hylätty suunnitteluvaiheessa, jotta saavutettavuuden parantuessa, kokeellisen työn opetuksellinen arvo ei vähene.

Konsepti on mahdollista kehittää vielä eteenpäin. Hienomotoriikka on vain yksi fyysisten esteiden joukosta, joita kemian kokeellisuuden liittyy. Laitteiston toiminnan suunnittelun siten, että pH-antureiden lukemia käytetään myös titrauskäyrien luomiseen ja titrausprosessin seuraamiseen, mahdollistaisi laitteen muokkaamisen toimimaan värisokeiden oppilaiden kannalta saavutettavasti.

Kokonaisuudessaan mittausautomaatio mukailee erittäin paljon Bohrerin (2020) artikkelin esittelemää toteutusta. Suurin muutos siihen oli tämän artikkelin projektin keskiössä on saavutettavuuden saavuttaminen pelkän mittausautomaation sijaan.

## Kiitokset yms.

Erityinen kiitos Bohrerille inspiroivasta projektista ja pohjasta omalle mittausautomaatiolle.

## Lähteet

- Celik, I., Dindar, M., Muukkonen, H., & Järvelä, S. (2022). The Promises and Challenges of Artificial Intelligence for Teachers: A Systematic Review of Research. *TechTrends*, 66(4), 616–630. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00715-y>
- 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>
- 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>
- Opetushallitus. (2019). *Lukion opetussuunnitelmien perusteet 2019*. PunaMusta Oy. [https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteet\\_2019.pdf](https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2019.pdf)

- Pratiwi, H., Sudrajat, J., Silaban, R., & Situmorang, M. (2022). Innovation Of Project-Based Learning Resources For Increase Ability Think Level Tall On Teaching Titration Sour Language. *Proceedings of the 7th Annual International Seminar on Transformative Education and Educational Leadership, AISTEEL 2022, 20 September 2022, Medan, North Sumatera Province, Indonesia*. Proceedings of the 7th Annual International Seminar on Transformative Education and Educational Leadership, AISTEEL 2022, 20 September 2022, Medan, North Sumatera Province, Indonesia, Medan, Indonesia. <https://doi.org/10.4108/eai.20-9-2022.2324710>
- Sary, S. P., Tarigan, S., & Situmorang, M. (2018). Development of Innovative Learning Material with Multimedia to Increase Student Achievement and Motivation in Teaching Acid Base Titration. *Proceedings of the 3rd Annual International Seminar on Transformative Education and Educational Leadership (AISTEEL 2018)*. Proceedings of the 3rd Annual International Seminar on Transformative Education and Educational Leadership (AISTEEL 2018), Medan, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/aisteel-18.2018.91>
- Soong, R., Agmata, K., Doyle, T., Jenne, A., Adamo, T., & Simpson, A. (2018). Combining the Maker Movement with Accessibility Needs in an Undergraduate Laboratory: A Cost-Effective Text-to-Speech Multipurpose, Universal Chemistry Sensor Hub (MUCSH) for Students with Disabilities. *Journal of Chemical Education, 95*(12), 2268–2272. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00638>
- Suleymanov, F. (2015). Issues of Inclusive Education: Some Aspects to be Considered. *Electronic Journal for Inclusive Education, 2015*(4). <https://corescholar.libraries.wright.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1175&context=ejie>
- Ültay, N., & Çalık, M. (2012). A Thematic Review of Studies into the Effectiveness of Context-Based Chemistry Curricula. *Journal of Science Education and Technology, 21*(6), 686–701. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9357-5>

## Liitteet

```
#include <Servo.h>

Servo waterPump;

// määritetään pumpun kytkentäkohta
const int WATER_PUMP_PIN = 9;
// määritetään pH sensorin kytkentäkohta
const int PH_SENSOR_PIN = 0;
// pumppauksen kesto millisekunteina kymmenyksinä
const int doseDuration = 200;
// määritetään pumppauksen välinen aika millisekuntien kymmenyksinä
const int sensorReadInterval = 5000;

// määritetään tavoiteltava pH arvo
const float pHTarget = 7;
const float pHToleration = 0.25;
// määritetään kuinka kaukana tavoite pH:sta voidaan olla
const float pHOffset = 0.00;
boolean isDosing = false;

void setup() {
```

```

Serial.begin(9600);
waterPump.attach(WATER_PUMP_PIN);
Serial.println("Starting");
}

void loop() {
  mainLoop();
}

void mainLoop() {
  float ph = getPh();
  Serial.println("pH: " + String(ph));

  if (ph < phTarget) {
    if (ph < phTarget - phToleration) {
      // pumppaus alkaa ja pH kasvaa
      Serial.println("pH lower than target, beginning to add base");
      isDosing = true;
    }
    if (isDosing) {
      dose();
    }
  } else {
    isDosing = false;
  }

  delay(sensorReadInterval);
}

void phCalibration() {
  float ph = getPh();
  Serial.println("pH: " + String(ph));
  Serial.println("Change pH offset to: " + String(7.00 - ph - phOffset));
  delay(sensorReadInterval);
}

void dose() {
  waterPumpOn();
  delay(doseDuration);
  waterPumpOff();
}

void waterPumpOn() {
  Serial.println("Peristaltic pump on");
  waterPump.write(180);
}

void waterPumpOff() {
  Serial.println("Peristaltic pump off");
  waterPump.write(90);
}

```



```
float getPh() {
  unsigned long int avgValue;
  int buf[10],temp;

  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buf[i]=analogRead(PH_SENSOR_PIN);
    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<9;i++)
  {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buf[i]>buf[j])
      {
        temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
    }
  }
  avgValue=0;
  for(int i=2;i<8;i++)
    avgValue+=buf[i];
  float phValue=(float)avgValue*5.0/1024/6; //muutetaan arvo millivolteiksi
  phValue=3.5*phValue+phOffset;          //muutetaan millivoltit pH arvoksi
  return phValue;
}
```