

# Maillard-reaktion lämpötilan tutkiminen kemian opetuksessa Arduino-kehitysalustalla

Kiia Kemppainen

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

**Tiivistelmä:** Tämä artikkeli käsittelee mittalaitteiston rakentamista Arduino-ohjelmistoympäristöön ja sen koodaamista. Artikkelissa esitellään lämpötilamittarin rakentaminen sisältäen vaiheet ideoinnista testaukseen. Laitteen rakennuksen ympärille on rakennettu myös projektioppimiskokonaisuus, jossa tutkitaan Maillard-reaktiota ja lämpötilan vaikutusta ja merkitystä reaktion kulussa. Rakennettu lämpömittari on toteutettu yksinkertaisesti ja saavutettavaksi, jotta mahdollisimman moni pystyisi hyödyntämään sitä osana projektioppimista, mutta myös tarvittaessa soveltamaan artikkelin esittämää oppimiskokonaisuutta. Tässä projektissa Maillard-reaktiota tutkittiin kinuskin valmistuksessa, siinä näkyvien selkeiden muutosten vuoksi. Kinuskin avulla ilmiö ja lämpötilan mittaaminen on helppo linkittää arkipäivän ja näin mahdollistaa kemian kiinnostuvuuden kasvua. Rakennetulla laitteistolla on paljon mahdollisuuksia jatkokehittää monipuolisemmaksi ja mahdollisesti mittaamaan useita Maillard-reaktion merkittäviä tekijöitä.

**Avainsanat:** Maillard-reaktio, lämpötila, Arduino, projektioppiminen

## 1 Johdanto

Kemian liittäminen osaksi arkielämää on usein haastavaa. Tutkimusten (Cheng et al., 2020) mukaan kemiaa on helpompi ymmärtää, kun konsepteja käsitellään osana jotain tuttua arkielämän ilmiötä ja ilmiön toteutetaan osana sen oppimista. Tällöin kemia tuodaan osaksi omaa elämää. Ruoanlaitto ja ruoka on jokaiselle jokapäiväinen kemiallinen ilmiö. Ruoan ohella myös lämpötila on hyvin tuttu konsepti ja määre arkielämästä, jolloin näiden kahden yhdistäminen kasvattaa arkielämän keskeisyyttä. Maillard-reaktio on ilmiö, jossa yhdistyy ruoka ja lämpötila. Ilmiön lämpötilan tutkiminen antaa mahdollisuuden hyödyntää teknologiaa, kuten Arduinoa (Galadima, 2014).

Maillard-reaktio ei suoraan kuulu Suomessa perusopetuksen (Opetushallitus, 2014) tai lukion (Opetushallitus, 2019) sisältöihin, mutta sitä voidaan hyvinkin käsitellä osana ravintoaineiden ja biomolekyylien kemiaa. Tällöin Maillard-reaktio voidaan tuoda myös helposti osaksi arkielämää, jolloin kemian oppimisesta tulee kontekstuaalista. Gilbertin (2006) mukaa arkipäivän kontekstit luovat oppilaille edes jonkin yhteyden ja selkeyden sille, mihin he tarvitsevat kemiaa. Maillard-reaktio



itsessään on keskeinen ruoanlaitossa, joka useimmiten on oppilaita kiinnostava teema.

Tässä artikkelissa kuvaillaan lämpötilamittarin rakentamista Arduino-ohjelmistoympäristöön. Lisäksi esitellään mahdollinen projektioppimisen kaltainen opetuskokonaisuus, missä lämpötilamittarin rakentamista ja käyttöä voisi hyödyntää projektioppimisen tavoin. Tavoitteena oli kehittää yksinkertainen lämpömittari, jonka lukeminen on jokaisen oppilaan saavutettavissa ja, jota hyödynnetään suuremman kemiallisen ilmiön tutkimisessa. Yhdistämällä arkipäiväisyys, luonnontieteet ja teknologia voidaan kasvattaa nuorten kiinnostumista luonnontieteitä ja teknologiaa kohtaan (Prasitpong et al., 2022). Arduino nähdään monipuolisena oppimisympäristönä, joka tukee monipuolisesti juuri ideointia ja luovaa ajattelua, mutta huomio ongelmaratkaisemisen ja kriittisen ajattelun mukana (Galadima, 2014). Projektissa käydään läpi eri vaiheet laitteiston syntymiselle ja se on luotu osana Helsingin yliopiston Tutkiva ja eheyttävä kemian opetus -kurssia kemian opettajankoulutusyksikössä.

Artikkelissa esitellään ensin projektin teoreettinen tausta, jossa esitellään lämpötilaa, Maillard-reaktiota ja kinuskin kemiaa, sekä näiden opetuskontekstia. Tämän jälkeen esitellään tarkemmin projektin toteuttamista ideoinnista lopulliseen testaukseen asti. Neljännessä luvussa esitellään projektioppimisen mahdollisuus lämpötilamittarin ympärille rakennettuna. Lopuksi pohditaan projektin onnistumista, sen soveltuvuutta ja mahdollista kehittämistä.

## 2 Teoreettinen viitekehys

Teoreettisessa viitekehyksessä käsitellään Maillard-reaktiota ja sen merkitystä kemian opetuksessa. Tämän jälkeen siirrytään lämpötilan mittaamisen ja rooliin Maillard-reaktiossa. Lopuksi tarkastellaan kinuskin kemian yhteyttä lämpötilan mittaamiseen.

Maillard-reaktio on kompleksinen ja haastava ymmärtää, mutta sillä on keskeinen rooli ruoanlaitossa ja ruoan kemiassa erityisesti värin ja maun saamiseksi (Martins et al., 2000), eli ollaan ruoanlaiton ytimessä. Reaktio perustuu aminohappojen ja pelkistävien sokerien ruskistumiseen asteittain (Henle et al., 1996). Reaktion tapahtumiseen tarvitaan siis aminohappoja, eli proteiinia ja pelkistäviä sokereita, eli hiilihydraatteja. Niiden muodostama reaktio tuottaa haihtumattomia yhdisteitä, jotka luovat usein ruskean värin ja ne myös vaikuttavat tuotteen aromiin ja makuun

(Cheng et al., 2020; Martins et al., 2000). Tämä voidaan havaita esimerkiksi kinuskin teossa tai leipää paistaessa.

Koska Maillard-reaktio on hyvin haasteellinen, on helpompaa keskittyä tarkastelemaan esimerkiksi, mitkä tekijät vaikuttavat Maillard-reaktioon. Aiheen konkreettisuus arkipäivään ja sen mahdollinen itse tekeminen ja tutkiminen edistää reaktion ymmärtämistä, mutta myös yleisesti kemian luonnetta arkielämässä (Cheng et al., 2020). Kontekstuaalinen aihe osana kemian opetusta voi tehdä kemian oppimisesta myös merkityksellisempää oppilaille, koska tällöin kemiasta tulee helpommin ymmärrettävää, kun sitä käsitellään oppilaille tutussa kontekstissa (Gilbert, 2006).

Lämpötila on käsitteenä hyvin keskeinen luonnontieteissä, se on kuitenkin hieman enemmän esillä fysiikassa, kuin kemiassa. Sillä silti on keskeinen rooli myös useissa kemiallisissa reaktioissa ja ilmiöissä. Usein juuri kemian opetuksen yhteydessä lämpötila ja kuumennus menevät sekaisin opetuksessa (Gönen & Kocakaya, 2010), etenkin jos puhutaan vaikuttavista tekijöistä reaktiossa. Lämpötila on kuitenkin useimmiten tuttu arkipäivästä oppilaille, koska sitä kautta havainnoidaan, onko ulkona esimerkiksi kylmä vai lämmin.

Lämpötila on hyvin keskeisessä roolissa Maillard-reaktiossa, koska sen avulla voidaan säätää reaktion nopeutta, mutta samaan aikaan reaktio on riippuvainen lämpötilasta (Martins et al., 2000). Siksi voidaan kokea mielenkiintoiseksi tarkastella Maillard-reaktion lämpötilaa. Maillard-reaktio vaatii usein vähintään 100 °C lämpötilan tapahtuakseen (Cheng et al., 2020).

Kinuski ja sen karamellisoituminen on yksi ilmiö, jossa Maillard-reaktio voidaan havaita. Kinuskin väri ja sen ominaisuudet ovat riippuvaisia, mistä lähtöaineista sen valmistaa, esimerkiksi mitä sokeria sen valmistuksessa käytetään (Golon & Kuhnert, 2012). Tämä tekeekin kinuskin tutkimisesta mielekästä. Kinuskin valmistuminen tapahtuu myös helposti nähtävillä lämpölevyn päällä, eikä esimerkiksi uunissa. Eli sen rakenteen ja värin muutosta on helpompi tarkastella läpi prosessin. Kinuskissa on myös selkeästi nähtävissä lämpötilan vaikutus erilaiseen rakenteeseen.

Projektioppiminen on erilaisten tietojen ja taitojen monipuolista oppimista, jossa hyödynnetään erilaisia työskentelytapoja (Kesler et al., 2022). Eri tiedonalojen yhdistäminen on keskiössä projektioppimisessa (Lavonen & Juuti, 2022), joka on myös läsnä STEM:issä, sekä monialaisissa oppimiskokonaisuuksissa (Opetushallitus, 2014). Tällöin voidaan helposti yhdistää aiemmin opittuihin tietoihin uutta, mutta hyvin monipuolisesti eri oppiaineista ja näkökulmista. Projektioppimisessa korostuu

Lavosen & Juutin (2022) mukaan ryhmässä työskentely ja oppilaiden sitoutuminen opetukseen, koska aihe on useimmiten heille mieleinen. Projektioppimisessa on myös tyypillistä hyödyntää teknologiaa osana (Myllyviita & Juuti, 2022), kuten se on myös osana STEM:iä.

Arduino-kehitysalusta on teknologinen oppimisen väline. Arduinon avulla voidaan rakentaa useita erilaisia mittauslaitteistoja ja systeemejä. Koska se on välineenä helposti muunneltavissa ja uudelleen rakennettavissa, antaa se monipuolisen mahdollisuuden hyödyntää sitä erityisesti kemian opetuksessa (Papadimitropoulos et al., 2021). Tämän lisäksi Arduino on suhteellisen halpa laite kouluille hyödyntää teknologiaa ja elektroniikka osana opetusta.

### 3 Metodologia

Tässä luvussa esitellään Arduino mittauslaitteisto projektin eri vaiheita. Tarkoituksena on esitellä jokaista suunnittelun vaihetta, jotta projekti voitaisiin sen perusteella uudelleen toteuttaa. Erityisesti esitellään suunnittelussa käytettyä suunnitteluprosessia, johon kuului funktioiden määrittäminen, morfologinen matriisi ja eri konseptien arviointi.

#### 3.1 Suunnitteluprosessi

Alkuperäinen idea projektille oli rakentaa lämpötilamittari. Erilaisten vaihtoehtojen jälkeen haluttiin rakentaa se osaksi jotain kemiallisesti haastavaa ilmiötä, joten aiheeksi valikoitui Maillardin reaktion lämpötilan mittaaminen. Jotta mittaaminen olisi mielenkiintoista tarvittiin Maillardin reaktio, jonka tiettyä lämpötilaa ei välttämättä pysty suoraan arvioimaan, koska siihen vaikuttavia tekijöitä on useita. Molekyyligastronomian mukaan tuominen osaksi mittaamista, tekee laitteistosta monipuolisemman ja tarkastelee kemiaa juuri arkipäivän ilmiöiden keskellä.

Alla olevaan taulukkoon (taulukko 1) on koottu lämpötilamittariin halutut toiminnot, sekä mahdolliset tarvittavat toiminnot. Näille toiminnoille asetettiin tietynlaisia minimi vaatimuksia ja lisätavoitteita, joita ei pidetty oleellisimpina toimintojen toteuttamisen kannalta. Näiden avulla tehtiin morfologinen matriisi (taulukko 2).

**Taulukko 1:** Mittauslaitteiston suunnittelun ominaisuuksien tarkastelu.

| Toiminto                      | Vaatus                                                                      | Lisätavoite                                                |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Lämpötilan mittaaminen</b> | Lämpötilasensori (80°C-140°C)                                               |                                                            |
| <b>Datan keräys</b>           | Näkyvillä lopullista tarkastelua varten, säilyy muistissa.                  | Oikeita lukemia, jotta laitteen toimivuus voidaan taata.   |
| <b>Datan esitys</b>           | Reaaliaikainen lämpötilan näyttäminen °C, LCD-näyttö tai tietokoneen näyttö | Helposti luettava.                                         |
| <b>Reaktioastia</b>           | Lämmityksen kestävä.                                                        | Tarpeeksi tilava sekoitukselle ja lämpötilan mittaukselle. |

Tarkemmin tarkasteltuna toimintojen vaatimuksissa huomioitiin käytännöllisyys ja toimivuus. Erityisesti lämpötilasensorin lämpötilan mittaussväli haluttiin pitää suurena, koska ei ollut täysin tarkennettu, minkä aineen Maillardin reaktion lämpötilaa haluttiin mitata ja tarkastella. Koska Maillardin reaktion lämpötilasteikko voi kohota yli 125°C, joissain olosuhteissa haluttiin pitää kaikki vaihtoehdot vielä avoimena. Tämä mahdollistaa myös lämpötilamittarin monipuolisemman käytön. Morfologisessa matriisissa (taulukko 2) annettiin mahdollisuudeksi toteuttaa lämpötilamittarin rakentaminen lämpötilasensorilla, jolla on pienempi lämpötilan mittaussväli.

Alla nähtävässä morfologisessa matriisissa (taulukko 2) onkin esitelty ja pohdittu eri vaihtoehtoja konkreettisen mittauslaitteen rakentamiseksi. Ratkaisuvaihtoehtoiksi pohdittiin hyvin käytännönläheisiä vaihtoehtoja, sekä myös, millaisia vaihtoehtoja juuri kouluympäristössä voisi olla tarjolla. Morfologisen matriisin avulla oli tarkoitus löytää eri vaihtoehtojen kautta parhain vaihtoehto mittauslaitteiston rakentamiselle.

**Taulukko 2:** Morfologinen matriisi mittauslaitteiston ja projektin eri komponenteista.

| Lämpötilamittari |                          | Ratkaisu                                            |                                           |              |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|
|                  |                          | A                                                   | B                                         | C            |
| Toiminto         | 1.Lämpötilan mittaaminen | Lämpötilasensori MAX6675 K-tyyppin termoelementillä | Valmiina löytyvä DS18B20 lämpötilasensori |              |
|                  | 2.Datan keräys           | Tietokone                                           |                                           |              |
|                  | 3.Datan esitys           | Tietokone                                           | LCD-näyttö                                |              |
|                  | 4.Reaktioastia           | Keitinlasi                                          | Kattila                                   | Paistinpannu |

Kaikista toteuttamiskelpoisimmat vaihtoehdot lämpötilamittarin rakentamiselle valikoitiin morfologista matriisia hyödyntäen (taulukko 3). Eri konseptien osalle huomioitiin, mikä on lämpötilamittarin käyttäjälle helpoin ja käytännöllisin vaihtoehto. Tällä tarkoitetaan myös sitä, että lämpötilan lukeminen on tehty helpoksi osaksi kokeellisuutta. Myös vähiten kustannuksia aiheuttavaa vaihtoehtoa, huomioiden ettei Arduinon aloituspaketti löytyisi entuudestaan. Myös erilaisissa ympäristöissä mittauslaitteiston rakentaminen ja käyttäminen otettiin huomioon. Kaikissa vaihtoehdoissa datan keräykseen käytetään tietokonetta, koska se nähtiin helpoimpana ja saavutettavimpana vaihtoehtona, eikä muita vaihtoehtoja sille nähty. Kuitenkin oli huomioitavaa, että lämpötila eli data esitettiin jatkuvasti tietokoneella, mutta käytännöllisyyden kannalta järkeväksi koettiin lisätä myös LCD-näytön vaihtoehto.

**Taulukko 3:** Eri vaihtoehdot toteuttaa projekti.

|                                          |             |
|------------------------------------------|-------------|
| Konsepti 1: Saavutettavin                | 1A-2A-3B-4B |
| Konsepti 2: Halvin vaihtoehto            | 1B-2A-3A-4A |
| Konsepti 3: Opetuksellisesti helpoin     | 1B-2A-3A-4C |
| Konsepti 4: Laboratorioon käytännöllisin | 1A-2A-3B-4A |

Kun kaikki mahdolliset vaihtoehdot projektin toteutukselle oli saatu kasaan, seuraavaksi oli tarkoituksena arvioida vielä niiden teknilliseltä (taulukko 4), sekä taloudellisesta (taulukko 5) näkökulmista. Teknisiin kriteereihin kuului rakentamisen helppous (mittauslaitteen ja asetelman), mittaaminen (kuinka helppo asetelma on tehdä), käytännöllisyys ja haasteellisuus (tuoko rakentaminen haasteita, esimerkiksi ympäristön suhteen). Taloudellisia kriteereitä olivat materiaalikulut, käytön kulut (asetelman rakentamisen kulut) ja jatkokäyttö (onko mittauslaiteolla mahdollisuutta käyttää uudelleen). Painoarvolla painotettiin kriteerin merkitys saavuttaa mittauslaitteistolle ja projektille asetettuja tavoitteita. Tämä on nähtävissä esimerkiksi siinä, että mittaaminen on mittauslaitteiston pääsääntöinen tehtävä, jolloin sen painoarvo oli korkein verrattuna laitteiston rakentamiseen liittyviin kriteereihin verrattuna.

Teknisessä arvioinnissa on nähtävissä, että korkeimman sijoituksen sai saavutettavin konsepti, koska sillä on juuri korkein arvosana korkeimman painoarvon saamassa kriteerissä. Selkeästi vastakkain ilmiö on havaittavissa halvimman

vaihtoehtoon alhaisimmassa arvosanassa mittaamisen kriteerille ja on täten sijoitukseltaan heikoin.

Taloudellisessa arvioinnissa korkein painoarvo oli materiaalikuluilla, koska se nähdään usein suurimpina esteinä toteuttaa projekti. Tästä seuraakin se, että halvin vaihtoehto on sijoitukseltaan ensimmäinen, koska sillä on myös pienimmät materiaalikulut verrattuna muihin konsepteihin. Siinä kriteerissä on myös havaittavissa suurimmat erot eri konseptien välillä.

**Taulukko 4:** Tekninen arviointi konsepteille

| Kriteeri              | Painoarvo | Saavutettavien | Halvin vaihtoehto | Opetuksellisesti helpoin | Laboratorioon käytännöllisin |
|-----------------------|-----------|----------------|-------------------|--------------------------|------------------------------|
| Rakentamisen helppous | 3         | 3              | 3                 | 3                        | 3                            |
| Mittaaminen           | 5         | 5              | 2                 | 3                        | 4                            |
| Käytännöllisyys       | 4         | 3              | 2                 | 2                        | 3                            |
| Haasteellisuus        | 2         | 3              | 2                 | 2                        | 3                            |
| Absoluuttinen summa   | 14        | 52             | 31                | 36                       | 47                           |
| Normitettu summa      | 1         | 3,71           | 2,21              | 2,57                     | 3,36                         |
| Sijoitus              |           | 1              | 4                 | 3                        | 2                            |

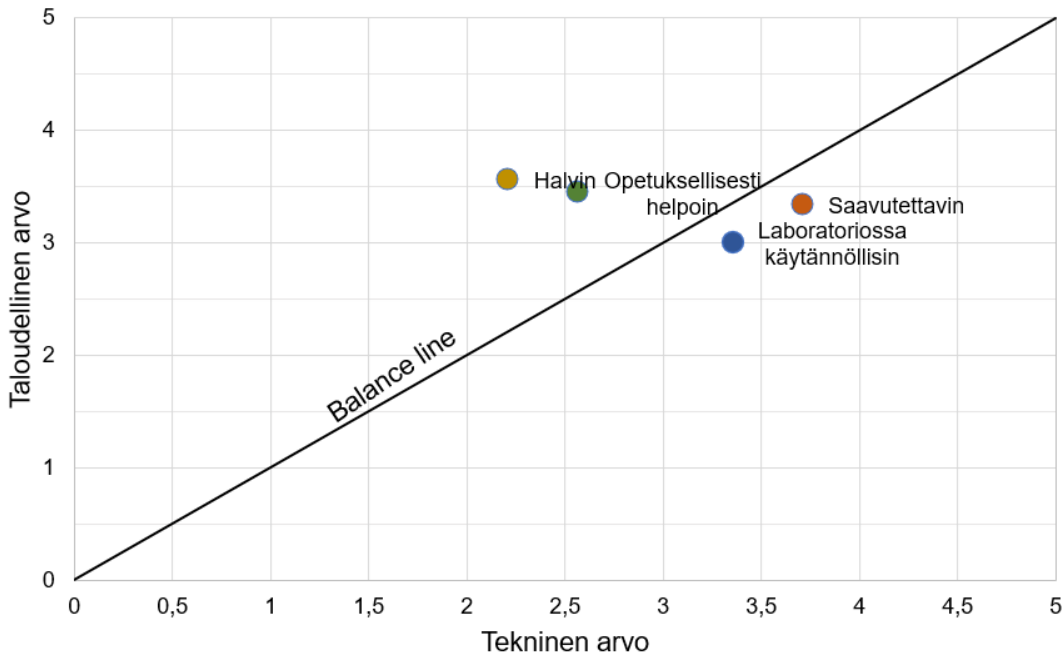
**Taulukko 5:** Taloudellinen arviointi konsepteille.

| Kriteeri            | Painoarvo | Saavutettavien | Halvin vaihtoehto | Opetuksellisesti helpoin | Laboratorioon käytännöllisin |
|---------------------|-----------|----------------|-------------------|--------------------------|------------------------------|
| Materiaalikulut     | 4         | 3              | 5                 | 4                        | 3                            |
| Käytön kulut        | 2         | 3              | 3                 | 3                        | 3                            |
| Jatkokäyttö         | 3         | 4              | 2                 | 3                        | 3                            |
| Absoluuttinen summa | 9         | 33             | 32                | 31                       | 27                           |
| Normitettu summa    | 1         | 3,30           | 3,56              | 3,44                     | 3,33                         |
| Sijoitus            |           | 3              | 1                 | 2                        | 4                            |

Arvioinnin jälkeen eri konseptien suhdetta vertailtiin. Kuvassa 1 on havaittavissa, miten eri konseptit sijoittuvat tasapainolinjalle suhteessa niiden arvioinnissa teknisten ja taloudellisten kriteerien perusteella. Tehdyn arvioinnin perusteella voidaan siis havaita, ettei yksinään konsepti sijoitu suoraan tasapainolinjalle. Kuitenkin lähimpänä tätä linjaa ovat saavutettavien ja laboratorioon käytännöllisin

olevat konseptit. Näiden perusteella voitiin punnita, kumpi konsepti toteutetaan. Laboratorioon käytännöllisiin valittiin toteutettavaksi konseptiksi, koska se oli helpoin toteuttaa, koska käytössä olivat laboratoriovälineitä.

**Kuva 1:** Konseptien teknisten ja taloudellisten arviointien suhde.



### 3.2 Dokumentointi

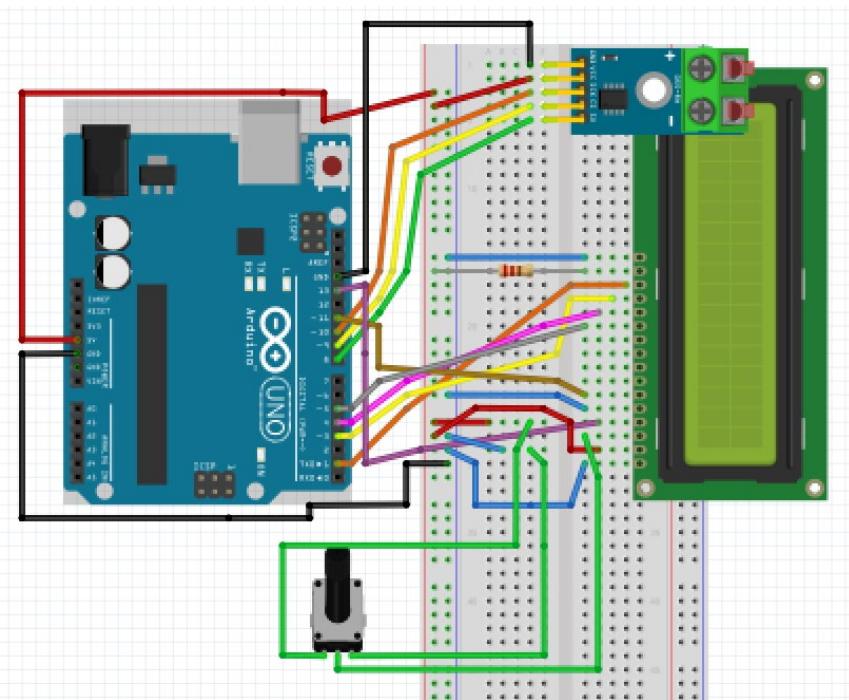
Seuraavaksi käsitellään projektiin tulleita materiaalikuluja, mittauslaitteiston kokoamisohjeet, sekä huomioitavia turvallisuus seikkoja. Näiden dokumentointi on keskeisiä huomioita, jotka myös parantavat tämän artikkelin saavutettavuutta ja projektin uudelleen toteuttamista näiden ohjeiden perusteella.

Materiaalikulut, joita tässä projektissa syntyi vain noin 7 euroa, koska ainut tarvittava ostettava osa oli lämpötilasensori. Lämpötilan mittauslaitteisto rakennettiin Arduino UNO R3-mikrokontrollorin ympärille. Rakentamisessa käytettiin hyppylankoja (19 kpl), 220  $\Omega$  vastusta, LCD-näyttöä ja lämpötilasensoria (MAX6675 K-tyypin termoelementillä). Mittausasetelman rakentamisessa käytettiin 250 ml dekantterilasiasia, lasisauvaa, statiivia, kouraa, lämpölevyä ja nosturia. Lisäksi kuohukermaa ja fariinisokeria. Arduino yhdistettiin tietokoneeseen ja laitteiston koodaukset suoritettiin Arduino IDE -ohjelmistolla.

Tarvittava lämpötilasensori tilattiin Sintosten palvelulta. Kaikki hinnat ovat nähtävissä alla olevasta taulukosta ja hinnat oli koottu 21. maaliskuuta 2025. Kaikki muut osat olivat valmiina jo käytettävissä yliopiston puolesta.

Lämpötilan mittaamisen tehty laitteisto koottiin Arduinon mikrokontrolleriin alla oleva kuvan (kuva 2) mukaisesti. Kytkentälevyn yläosaan on asetettu MAX6675 lämpötilasensori, josta lähtee 5 hyppylankaa. Ylin hyppylanka (punainen) maadoittaa sensorin. Harmaa hyppylanka antaa jännitteen lämpötilasensorille. Loput alimmaista hyppylankaa oranssi, keltainen ja vihreä menevät eri numeroisiin pinneihin, jotka ovat oleellisia koodausvaiheessa. Kytkentälevyn keskellä on  $220\ \Omega$  vastus, sekä sen kytkentä vihreällä hyppylangalla. Ala osassa kytkentälevyä on LCD-näyttö, sekä LCD-näytön kirkkautta säätelevä potentiometri. LCD-näytön ylhäältä lähtevät hyppylangat (oranssi, keltainen, pinkki ja harmaa) menevät pinneihin 1, 3, 4 ja 5. Alhaalta lähtevät hyppylangat (ruskea ja violetti) menevät pinneihin 11 ja 13. Nämä ovat myös keskeisiä koodauksessa. Potentiometrin ympäriltä lähtevät hyppylangat (2 punaista ja 3 sinistä) antaa jännitteen LCD-näytölle ja potentiometrille, sekä maadoittaa ne. Potentiometrin tehtävänä on säätää LCD-näytön kirkkautta. Numeroituihin pinnit eivät ole pakollisia olla tässä järjestyksessä, niiden sijainti tulee vain tietää osana koodausta.

**Kuva 2:** Hyppylankojen kytkentä Arduinon mikrokontrolleriin. Potentiometri tulee liittää osaksi kytkentää, mutta kuvan saavutettavuuden vuoksi se on esitetty irrallaan ja vihreät langat osoittavat, mihin potentiometri oikeasti kiinnittyisi.



Näiden kytkentöjen lisäksi Arduinon mikrokontrolleri kytkettiin virtajohdolla tietokoneeseen. Kuvassa 3 on nähtävillä koko rakennettu laitteisto. Tietokoneessa kiinni oleva Arduino, josta lähtee lämpötilasensori MAX6675 aineeseen, josta lämpötila mitataan. Apuna käytetään statiiivia ja kouraa, jotta sensori saatiin oikeaan asentoon ja niin, ettei se osu astian pohjaan.

**Kuva 3:** Koottu laitteisto.



Turvallisuuden kannalta keskeisintä on huomioida sähkön ja tutkittavan aineen väliseen turvallisuuteen, sekä lämpölevyyn. Lämpölevyn päälle laitettavan lasiastian tulee kestää lämmitystä. Lämpölevyn käsittelyssä on hyvä huomioida, että levyn tulee antaa jäähtyä lämmityksen jälkeen ja yleisesti varoa siihen koskemista ja palovammojen syntymistä. On myös hyvä huomioida, että kinuskin valmistuksen yhteydessä valmis kinuski on todella lämmintä ja tahmeaa, ettei sillä sotke koko ympäristöä. Lämpötilasensorin johdot ovat myös erityisen herkkiä K-tyypin termoelementin vuoksi, jonka vuoksi sitä tullee käsitellä varoen, eikä täten taitella esimerkiksi liikaa. Itse rakentamisessa on oleellista huomioida, että Arduino mikrokontrolleri ei ole kiinni tietokoneessa sitä rakentaessa ja että se on aina irti virrasta sitä muokatessa.

### 3.3 Prototyyppi

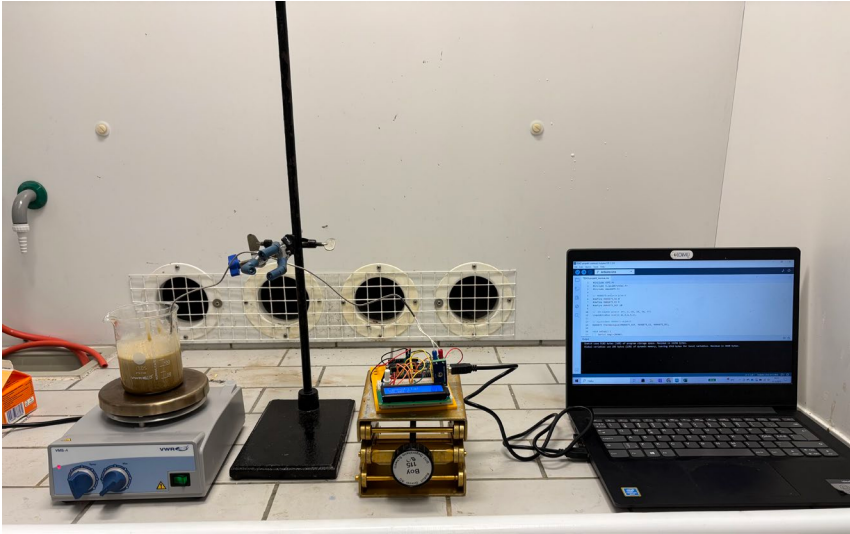
Prototyypin rakentaminen ei eronnut yllä esitetystä. Mittauslaitteisto koottiin samalla tavalla ja huomioiden samat turvallisuus asiat. Prototyypin koodia muutettiin ja kehiteltiin yhdessä tekoälyn avulla, kunnes se koettiin toimivaksi. Tärkeimpinä huomioina oli pinnien paikka, sekä oikean kirjaston lataaminen laitteiston toimimisen takaamiseksi. Projektissa käytetty koodi löytyy liitteestä 1.

Suurimpana haasteena koettiin LCD-näytön hyppylankojen pysyminen ja niiden pinnien oleminen oikein koodin suhteessa. Myös oikean kirjaston käyttäminen MAX6675 kanssa. Useita eri kirjastoja hyödynnettiin, toimivimmaksi koettiin kuitenkin Adafruitin kirjasto, koska se oli myös tunnetuin kirjastoista. Huomioitavaa on myös se, että eri lähtöaineiden käyttämisessä voi olla lopullisen lämpötilan kanssa. Olisi myös mahdollisuutena kehittää, että koodin avulla tuotettaisiin myös kuvaaja, jossa lämpötilan kehittymistä seurattaisiin ajan suhteessa.

Hyvä huomioina seurasi myös, ennen virallista testaamista on keskeistä kokeilla lämpötilasensorin toimivuus. Tämä voi helposti tarkastaa huoneenlämmön avulla ja kokeilemalla lämmittää ympäristöä. Tällöin voidaan seurata näyttää lämpötilasensori ympäristön lämpenemisen. Samalla voidaan myös nähdä, toimiiko koodattu LCD-näyttö ja tarvitseeko esimerkiksi lämpötilan kirjauksen aikaa muuttaa hitaammaksi tai nopeammaksi.

### 3.4 Testaus

Mittauslaitteistoa testattiin rakentamalla se niin, kuin yllä on kuvattu. Kinuskin valmistamiseen tarvittavat raaka-aineet (1 dl kuohukermaa ja 1 dl fariinisokeria) mitattiin samassa suhteessa 250 ml dekanterilasiin. Syntynyttä seosta lämmitettiin keskilämpötilalla välillä sekoittaen ja lämpötilasensorin ollessa koko ajan seoksessa (kuva 4). Lämpötilan nousemista seurattiin tarkkaavaisesti ja lämpölevyn tehoa nostettiin, jos lämpötilan nousua ei havaittu tapahtuvan.

**Kuva 4:** Mittaus asetelma.

Laitteisto toimi, kuten sen odotettiinkin toimivan. Kinuskin valmistuksen lämpötilaa oli helppo seurata LCD-näytöltä ja todettiin toimivaksi (kuva 5). Lämpötilasensori pysyi myös hyvin paikoillaan, kun se oli asetettu stativiin ja kouran avulla. Huomioitiin kuitenkin, että jos etäisyydet ovat suuremmat asetelmassa olisi lämpötilasensori järkevää kytkeä irralleen kytkentälevystä. Tällöin lämpötilasensoria olisi helpompi liikuttaa ja sen saisi mahdollisesti kauemmaksi Arduino levystä ja virtalähteestä, eli tietokoneesta.

**Kuva 5:** Asetelma lähempää kuvattuna.

Kinuskin valmistaminen onnistui myös hyvin. Huomioitiin, että lämpötila voi vaihdella valikoitujen proteiinin ja hiilihydraatin lähteen välillä. Lopuksi testattiin, onko valmistettu tuote saavuttanut kinuskille ominaisen rakenteen tiputtamalla sitä kylmään veteen (kuva 6). Kuten nähdään, kinuski pysyi kasassa, eikä hajonnut veteen tippuessaan.

**Kuva 6:** Valmiin kinuskin testaaminen.



## 4 Esimerkkiprojekti

Tässä luvussa esitellään lämpötilamittarin hyödyntämistä projektioppimisen keinoilla. Projektioppiminen itse käsitteenä on esitelty tarkemmin jo luvussa 2.

Opettajan rooli on kuitenkin merkittävä projektioppimisen toteutumisessa (Lavonen & Juuti, 2022). Opettajan tulee tukea ja kannustaa oppilaita huomioiden oppilaiden osaamistasot niin, että oppilaille syntyy sopivasti haastetta ja mahdollisuutta ongelmanratkaisulle ja kriittiselle ajattelulle. Oppimiskokonaisuudelle olisi hyvä varata 2–3 oppituntia ja toteuttaa 3–4 hengen oppilasryhmissä. Suunnittelulle ja ideoinnille kannattaa varata aikaa, jotta itse toteuttamiseen voidaan keskittyä. Kokonaisuuden lopussa on hyvä varata aikaa itsearviointille, sekä myös vertaisarviointia voi kokeilla jo ennen toteuttamista. Myös yhteenveto ja muiden

tuotosten vertaisarviointi ja positiivinen kommentointi on hyvä olla osa kokonaisuutta.

On nähtävissä, että Maillard-reaktiota on tutkittu erilaisia mittauslaitteistoja hyödyntäen. Su (2024) esittelee, kuinka Maillard-reaktion tarkasteluun on hyödynnetty matematiikka, luonnontieteitä, insinööritieteitä ja teknologiaa ratkaisemaan Maillard-reaktion projektimaisena oppimisena. Oppilaat olivat hyödyntäneet tietämystään leivonnasta ja leivonnan ymmärtäneet kokonaisvaltaisemmin Maillard-reaktion. Eli tuomalla mukaan molekyyli gastronomiaa. Tässä voidaan havaita yhtäläisyyksiä tässä artikkelissa esitettyyn oppimistehtävään. Inspiraationa on käytetty Arduino lämpömittarin rakentamisessa (Prasitpong et al., 2022) ja Maillard-reaktion lämpötilan vaikutuksen tutkimista (Cheng et al., 2020). Tämän artikkelin projekti ja oppimistehtävä on siis summa useasta eri artikkelista ja eri näkökulmista.

## 5 Pohdinta

Tässä artikkelissa pyrittiin saavuttamaan suhteellisen hyvin sille asetetut tavoitteet. Projektissa pysyttiin luomaan hyvin yksinkertainen ja saavutettava lämpömittari, jolloin se voi toimia hyvin monipuolisesti erilaisissa oppilasryhmissä ja oppimisympäristöissä. Tämä haluttiin saavuttaa, jotta lämpömittari olisi mahdollisimman helposti ottaa käyttöön osaksi opetusta. Usein lämpömittarin lukeminen voi olla haaste esimerkiksi erityisiä tarpeita omaaville oppilaille, näin heilläkin on mahdollisuus toteuttaa tutkimuksellisuutta osana kemian oppimista.

Käytännön tasolla tämän projektin esimerkkiprojektin toteuttaminen on mahdollista ja sitä voi myös soveltaa mielestäni monipuolisesti. Projekti ei ole rajattu esimerkiksi vain yläkouluun tai lukioon, koska Maillard-reaktiota voidaan käsitellä eri astein niin yläkoulussa, kuin myös lukiossa. Tämä toki vaatii opettajalta suunnittelua ja valmistelua etukäteen, mutta tämän artikkelin pohjalta siihen saa hyvän pohjan. Se voi myös toimia kokonaisuutena osana koulun omaa projekti- tai MOK-viikkoa, jossa on enemmän aikaa syventyä ilmiön pariin ja hyödyntää monipuolisesti eri oppiaineiden näkökulmia. Tässä on mahdollisuus ottaa kotitalous mukaan ja oikeasti kokata tai leipoa syötäviä tuotteita osana projektia.

Koska projektissa tuotettu mittauslaite on hyvin yksinkertainen, on sillä täten paljon mahdollisuuksia omata myös muita ominaisuuksia, jos sitä jatkokehitettäisiin. Sen osana olisi voinut olla esimerkiksi ominaisuus piirtää kuvaaja lämpötila ja ajan suhteessa, mikä syntyy kinuskin valmistuksesta. Tämän avulla voitaisiin tutkia

Maillard-reaktiossa tapahtuvia kinetiikkaa, kuten Cheng et al. (2020) esittivät tutkimuksessaan.

Jatkokehitys mahdollisuuksia tällä mittarilla, sekä projektilla olisi paljon ja useita erilaisia. Mutta kinuskin kemian näkökulmasta olisi mielenkiintoista tutkia oppimistehtävän tavoin, miten eri lähtöaineet vaikuttavat esimerkiksi kinuskin lämpötilaan, väriin ja rakenteeseen. Myös tietokoneen poistaminen virtalähteestä ja korvaaminen se jollain ulkoisella, tekisi laitteesta vieläkin saavutettavan ja erilaisiin asetelmiin sopivamman, koska sen fyysinen koko olisi pienempi. Se toki voisi luoda haasteen datan keräykselle. Kytkenästä olisi myös voinut luoda tulevaisuudessa siistimmän version, jotta se visuaalisesti miellyttävämpi.

## Lähteet

- Cheng, S. C., Ziffle, V. E., & King, R. C. (2020). Innovative Food Laboratory for a Chemistry of Food and Cooking Course. *Journal of Chemical Education*, 97(3), 659–667. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00465>
- 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>
- Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of “Context” in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957–976. <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- Golon, A., & Kuhnert, N. (2012). Unraveling the Chemical Composition of Caramel. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(12), 3266–3274. <https://doi.org/10.1021/jf204807z>
- Gönen, S., & Kocakaya, S. (2010). A Cross-Age Study on the Understanding of Heat and Temperature. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v2i1.116>
- Henle, T., Deppisch, R., & Ritz, E. (1996). The Maillard reaction—From food chemistry to uraemia research. *Nephrology, Dialysis, Transplantation: Official Publication of the European Dialysis and Transplant Association - European Renal Association*, 11(9), 1718–1722. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.ndt.a027655>
- Lavonen, J., & Juuti, K. (2022). Mitä on projektioppiminen? In K. Juuti, J. Lavonen, & K. Salmela-Aro (Eds.), *Projektioppiminen luonnontieteissä* (pp. 97–123). Gaudeamus.
- Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & van Boekel, M. A. J. S. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9), 364–373. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-X)
- Opetushallitus. (2014, December 22). *Perusopetuksen opetussuunnitelma 2014*. Opetushallitus.
- Opetushallitus. (2019, November 7). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019*. Opetushallitus.
- 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>
- Prasitpong, S., Phayphung, W., & Rakkapao, S. (2022). Investigate the physics of instant noodles in a hot cup using Arduino temperature sensors. *Physics Education*, 58(2), 025005. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aca863>

Su, K.-D. (2024). The Challenge and Opportunities of STEM Learning Efficacy for Living Technology Through a Transdisciplinary Problem-Based Learning Activity. *Journal of Science Education and Technology*, 33(4), 429–443. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10094-z>

## Liite 1: Arduino koodi

```
#include <SPI.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <max6675.h>

// MAX6675-anturin pinnit
#define MAX6675_S0 8
#define MAX6675_CS 9
#define MAX6675_SCK 10

// LCD-näytön pinnit (RS, E, D4, D5, D6, D7)
LiquidCrystal lcd(13, 11, 5, 4, 3, 2);

// Alustetaan MAX6675-objekti
MAX6675 thermocouple(MAX6675_SCK, MAX6675_CS, MAX6675_S0);

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    lcd.begin(16, 2); // Alustetaan 16x2 LCD
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Lampotila:");

    delay(1000); // Odotetaan hetki ennen lukemista
}

void loop() {
    float temperature = thermocouple.readCelsius(); // Käytetään readCelsius()-funktiota

    // Tulostetaan sarjamonitoriin
    Serial.print("Lampotila: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.println(" °C");

    // Päivitetään LCD-näyttö
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("          "); // Tyhjennetään rivi
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(temperature);
    lcd.print(" °C");
    delay(1000); // Päivitetään kerran sekunnissa
}
```