

Itsetehdyn kalorimetrin rakentaminen Arduino-mikrokontrolleria hyödyntäen

Okko Laaksonen¹

¹ Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian osasto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto

Abstrakti: Tässä artikkelissa tutustutaan kurssityönä toteutettuun Arduino-pohjaiseen kalorimetriin. Itsetehdyn kalorimetrin ei ole tarkoitus olla täydellisesti energiamääriä mittaava. Laite on suunniteltu havainnollistamaan sitä, miten koululaboratoriossa aineen energiamäärää voidaan määrittää palamisreaktiolla, mittausautomaation avulla. Artikkelissä esitellään laitteen suunnittelu- ja testausprosessin. Kalorimetrin rakennusprojektin pohjalta koottiin myös projektioppimisen suunnitelma, jota voidaan käyttää kontekstipohjaisessa lukiokemian opetuksessa. Suunnitellun projektioppimisjakson aikana opiskelijat pääsevät kehittämään ja rakentamaan itsetehdyn kalorimetrin ja tutustumaan koodaukseen.

Avainsanat: kemian opetus, kalorimetri, energiamuutos, mittausautomaatio, projektioppiminen, Arduino

Yhteystiedot: okko.laaksonen@helsinki.fi

1 Johdanto

Tämä artikkeli esittelee Helsingin yliopiston Tutkiva ja eheyttävä kemian opetus -kurssilla kehitetyn kalorimetrin. Kurssin aikana kehitettiin pelkistetty kalorimetri, jolla pystytään mittaamaan etanolin sisältämää energiamäärää. Lämpötilamuutosten mittaamiseen hyödynnettiin Arduino-pohjaista mikrokontrolleria. Mikrokontrollerin avulla tutustuttiin koodaamiseen ja mittausautomaatioon. Lisäksi kurssilla suunniteltiin kalorimetriä hyödyntäen projektioppimisen työ, jota voidaan käyttää osana kouluopetusta. Energiamäärien tutkiminen on mielenkiintoinen tapa tutustua energian käsitteeseen (Markow, 1992.) ja kalorimetrit tarjoavat mahdollisuuden perehtyä termodynamiikkaan (Bopegedera & Perera, 2017.).

Artikkelin tavoite on esitellä kalorimetrin suunnitteluprosessi ja sen pohjalta luotu projektioppimisen työ ja näin mahdollistaa työn hyödyntäminen osana lukiokemian opetusta. Artikkelissä etenee teoreettisesta viitekehyksestä kalorimetrin suunnitteluprosessiin



ja laitteiston kokoamiseen. Tämän jälkeen käydään läpi projektioppimisen työ ja lopuksi vielä pohdinta ja johtopäätökset.

2 Teoreettinen viitekehys

Tässä osiossa käydään läpi, kuinka kalorimetrejä on aikaisemmin hyödynnetty kouluopetuksessa, mitä projektioppiminen pitää sisällään ja tutustutaan Arduino mikrokontrolleriin. Näiden avulla luodaan teoriapohjaa kurssityölle ja projektioppimisen suunnitelmalle.

2.1 Kalorimetrit kouluopetuksessa

Ruoka-aineiden sisältämää kemiallista energiaa voidaan mitata kaloreina. Kalorimäärät esitetään ruoka-ainepakkauksien kyljessä. Pakkauksien kalorimäärät on usein saatu laskemalla elintarvikkeiden sisältämien energiaravintoaineiden (rasvan, proteiinin ja hiilihydraattien) määrä ja kertomalla nämä aineiden energia-arvoilla (Markow, 1992.). Eri energiaravintoaineiden ja alkoholin energia-arvot on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Eri energiaravintoaineiden ja alkoholin energia-arvot (Schwab, 2026.).

Aine	Energiamäärä
Hiilihydraatti	4 kcal / g
Ravintokuitu	2 kcal / g
Rasvat	9 kcal / g
Proteiinit	4 kcal / g
Alkoholi (etanoli)	7 kcal / g

Ruoka-aineiden energiamääriä voidaan mitata myös kalorimetrillä. Kalorimetri voivat olla vakiopainekalorimetria eli ns. kahvikuppikalorimetria, jota voidaan hyödyntää muun muassa mitattaessa neutraloitumisreaktion entalpiamuutoksia, metallien lämpökapasiteettia tai suolojen liukenemislämpöjä. Pommikalorimetri on taas menetelmä, jolla voidaan mitata esimerkiksi ruoka-aineiden tai muiden palavien aineiden energiasisältöä. (Bopegedera, 2023.) Pommikalorimetri mittaa sisäisen energian muutoksia palamisreaktion aikana. Yksinkertaisten pommikalorimetrien hinta on kuitenkin melko kallis ja voi vaihdella välillä 5 000–10 000 dollaria. (Knurr & Hauri, 2026.)

Erilaisia kalorimetrejä on käytetty osana kemian opetusta jo pitkään. Kouluopetuksessa kalorimetrejä ovat rakentaneet esimerkiksi Markow (1992) tutkiessaan pähkinöiden energiamäärää, Achilleos ja muut (2018) tarkastellessaan pähkinäkuorien energiaa, Bopegerda ja Perera (2017) happo-emäs-titrauksen entalpian muutoksien ja metallien lämpökapasiteetin tutkimiseen ja Vallejo ja muut (2020) natriumhydroksidin (NaOH) liukenemisessä vapautuvan energian tarkastelua varten.

Aineiden energiasisältöjen tutkiminen kalorimetrin avulla tarjoaa mielenkiintoisen tavan tutustua kemiallisen energian käsitteeseen sekä yhdistää esimerkiksi ravitsemus- ja elintarviketieteitä ja kemiaa (Markow, 1992.) tai kemiaa ja ympäristötieteitä (Knurr & Hauri, 2026.). Mittauksien ympärille voidaan rakentaa tehtäviä, jotka syventävät ja innostavat oppimaan. Esimerkiksi Achilleoksen ja muiden (2018) artikkelissa opiskelijoiden tuli vertailla, voisivatko pähkinäkuoret korvata polttoaineita joitain uusiutuvia energianlähteitä, jotka ovat tällä hetkellä käytössä. Vertailu perustui kirjallisuudesta saataviin arvoihin. Knurrin ja Haurin (2026) tutkimuksessa opiskelijoiden tuli taas selvittää pommikalorimetrin avulla, kuinka paljon etanolia kaupallinen bensiini sisälsi.

Kalorimetrisissä mittauksissa hyödynnetään termodynamiikan laskukaavoja, joilla voidaan mitata veden lämpötilanmuutoksia hyödyntäen reaktiossa vapautuvan tai sitoutuvan energian määrä. Vakiopaineessa tehtyjen mittauksen, energiamäärän laskeminen perustuu seuraaviin termodynamiikan yhtälöihin:

$$1. Q_1 + Q_2 = 0$$

$$2. Q_2 = m_{vesi} * C_{vesi} * \Delta T$$

Jossa Q_1 on lämpöenergia, joka vapautuu reaktion aikana (eksotermiäinen reaktio) ja Q_2 on lämpöenergia, joka sitoutuu (endotermiäinen reaktio) veteen (Vallejo ym. 2020.). Yhtälön kaksi avulla saadaan laskettu veteen sitoutuneen lämpöenergian määrä. Siinä m_{vesi} on veden massa, C_{vesi} on veden ominaislämpökapasiteetti ja ΔT on veden lämpötilan muutos. (Achilleos ym., 2018; Vallejo ym., 2020)

2.2 Projektioppiminen

Projektioppiminen ei ole käsitteenä uusi ja viimeisen sadan vuoden aikana sitä on useasti ehdotettu opetuksen uudeksi lähestymistavaksi (Juuti ym., 2022.). Aina ei kuitenkaan ole ollut yhteistä ymmärrystä sille, mitä projektioppiminen käytännössä tarkoittaa ja kuinka se tulisi määritellä (Thomas, 2000.).

Teemaa käsittelevässä tietokirjassa projektioppiminen määritellään menetelmäksi, jossa opiskelijoita ohjataan pitkäkestoiseen, ongelmakeskeiseen ja merkitykselliseen opiskeluun eli projektiin (Juuti ym., 2022.). Projektin aikana opiskelijat työskentelevät tavoitteellisesti ja lopulta tuottavat konkreettisen tuotoksen. Konkreettinen tuotos voi olla esimerkiksi malli, esine, rakennelma, suunnitelma tai raportti.

Projektioppimista tuetaan digivälineiden avulla. Digivälineiden avulla voidaan hankkia aineistoja tai kerätä reaaliaikaista tietoa tutkittavasta ilmiöstä. Projektioppiminen alkaa usein ohjaavalla kysymyksellä. Ohjaava kysymys pyrkii liittämään opiskeltavat käsitteet ympäröivään maailmaan ja herättämään kiinnostuksen. Juutin ym. (2022) ohjaavana kysymyksenä voisi olla esimerkiksi:

- Mitkä ruoka-aineet ovat minulle hyväksi ja miksi?

Projektioppimisen aikana opettajan tulee pyrkiä nostamaan opiskelijoiden aikaisempia tietoja ja taitoja tarkastelun kohteeksi ja toimia ohjaajana. Opiskelijan tehtävä on tulkita projektin aikana keräämiään havaintoja ja peilata niitä ohjaavaan kysymykseen ja aikaisempaan tietoonsa. (Juuti ym., 2022.) Yhteenvedo projektioppimisen piirteistä perustuen kirjallisuuskatsaukseen on esitetty Thomaksen (2000) kirjallisuuskatsauksessa. Sen mukaan projektin tulee täyttää seuraavat piirteet ollakseen projektioppimista:

- Projektien tulee muodostaa opetussuunnitelmaan perustuen opetuksen keskeinen osa, ei irrallinen lisätehtävä.
- Oppimista ohjaavat merkitykselliset kysymykset, jotka liittyvät selkeästi opetettavaan aiheeseen ja suuntaavat oppilaiden tutkimista.
- Projektit edellyttävät opiskelijoilta aktiivista ja tutkimuksellista työskentelyä, jossa tietoa hankitaan, tulkitaan ja sovelletaan tavoitteellisesti.
- Projektien tulee olla opiskelijälähtöisiä, jolloin oppijoille annetaan päätösvaltaa työskentelytavoista ja opettajan rooli painottuu ohjaamiseen ja tukemiseen.
- projektien tulee olla realistisia ja autenttisia, eli linkittyä todellisen maailman ilmiöihin, tilanteisiin tai ongelmiin.

2.3 Arduino

Arduino on italialainen yritys, joka valmistaa muun muassa mikrokontrollereita. Mikrokontrollereita voidaan käyttää esimerkiksi laboratoriokokeiden automatisoinnissa. Näin saadaan parannettua kokeiden toistettavuutta ja tarkkuutta. (Ambrož ym., 2023; Mabbott, 2014)

Mikrokontrollerien hyötyjä ovat esimerkiksi niiden halpuus ja saatavuus. Mikrokontrollerit sisältävät usein avoimen datan ohjelmistoja, jolloin niiden käyttämiseksi on olemassa hyvin paljon valmista opetusaineistoa. (Ambrož ym., 2023; Mabbott, 2014)

Lisäksi mikrokontrolleriin voidaan yhdistää melko helposti hyvin erilaisia sensoreita ja laitteita (Ambrož ym., 2023.). Arduino-mikrokontrolleria on käytetty esimerkiksi osana analyttistä kemian opetusta (Mabbott, 2014), kalorimetrien (Turpeinen, 2025; Vallejo ym., 2020) ja kolorimetrin rakentamisessa (Kauremaa, 2026.).

Arduinoa hyödyntävät tee-se-itse-menetelmät antavat opettajille uusia mahdollisuuksia suunnitella oppitunteja ja lisätä oppituntien luovuutta (Vallejo ym., 2020.). Arduinon kanssa työskennelleet opiskelijat ovat arvostaneet erityisesti sitä, että he ovat pystyneet ottamaan mikrokontrollerit mukaan kotiinsa ja tekemään itse jatkotutkimuksia (Mabbott, 2014.).

3 Suunnitteluprosessi

Projektin tavoite oli rakentaa yksinkertainen kouluopetukseen soveltuva kalorimetri, jota voidaan hyödyntää tutkittaessa polttoaineiden palamisessa vapautuvaa energiaa. Laite suunniteltiin toteutettavaksi Arduino-mikroprosessorin ja -anturien avulla. Tämä mahdollistaa ilmiön tutkimisen ilman kalliin pommikalorimetrin hankkimista. Projektin ja suunnittelun osana hyödynnettiin insinöörimäistä lähestymistapaa (Ambrož ym., 2023.). Tavoitteena ei ollut tarkoitus valmistaa täydellistä kalorimetriä. Työ pyrki lähinnä havainnollistamaan esimerkkiin siitä, kuinka kalorimetrit toimivat.

Projektin suunnittelu alkoi ideoinnilla. Tässä vaiheessa tutustuttiin muun muassa aikaisempiin esimerkkeihin kalorimetri ja Arduino-projekteista ja käytössä olevista antureista.

Tämän jälkeen idean pohjalta mietittiin laitteessa tarvittavia funktioita, niiden vähimmäisvaatimuksia ja optimaalisia ominaisuuksia. Nämä koottiin insinööriyöskentelylle ominaiseen tapaan Excel-taulukoon. Kalorimetrin osalta täytetty taulukko on esitetty alapuolella (taulukko 2).

Taulukko 2. Kalorimetrissä tarvittavat funktiot ja niiden vähimmäisvaatimukset.

Funktio/laite	Vaadittu vähimmäisvaatimus	Optimaalinen
Vesiastia	Astia, joka sisältää vettä, kestää korkeita lämpötiloja ja johtaa lämpöä	Johtaa täydellisesti kaiken lämmön nesteeseen
Vaaka	Vaaka, jolla voidaan mitata poltettava ruoka 0.1 g tarkkuudella	Tarkkuusvaaka
Eriste	Eristää lämmön karkaamisen vesiastiasta	Estää lämmön karkaamisen täysin systeemistä
Lämpömittari	Mittari, joka kestää vettä ja sen avulla voidaan mitata lämpötiloja manuaalisesti	Mahdollisimman tarkka ja automaattinen mittaus
Polttoastia	Väline/astia, jota voidaan käyttää ruoka-aineiden polttamiseen.	Ohjaa kaiken lämmön täydellisesti nesteen lämmittämiseen
Veden sekoitus (EXTRA)	Menetelmä, jolla vettä astiassa voidaan sekoittaa	Jatkuva ja automaattinen sekoitus.
Aikatoiminto	Menetelmä, jolla voidaan seurata polttoprosessin kestoa	Automaattinen aikatoiminto
Lämpötilamuutosten talentaminen	Menetelmä, jolla prosessin aikana lämpötilamuutokset saadaan kerättyä	Jatkuva ja automaattinen lämpötilojen keräys.
Energiatiheyden laskenta	Menetelmä, jolla veden lämpötilamuutoksista voidaan laskea ruoka-aineen kalorit.	Menetelmä, joka laskee kalorit automaattisesti lämpötilamuutoksista.

Funktioiden määrittämisen jälkeen täytettiin morfologinen matriisi (taulukko 3). Morfologisessa matriisissa jokaiselle riville lisättiin yksi määritellyistä funktioista. Tämän jälkeen funktioille kehitettiin useita menetelmiä, jotka täyttivät funktioin vaaditun vähimmäisvaatimuksen. Menetelmiä käytettiin muodostettaessa erilaisia konsepteja.

Taulukko 3. Morfologinen matriisi.

Kaj Kallametri		Menetelmä			
		A	B	C	D
Funktio	1. Polttoastia	Keraaminen	Pinni + korkki	Termosastia	Metallinen
	2. Vesiastia	Metallinen	Lasinen		
	3. Eriste	Styroksi + alumiini	Keraaminen	Korkki	Polyuretaani
	4. Lämpötilamittari	Lasinen lämpötilamittari	Digitaalinen lämpötilamittari	Lämpötila-anturi	Infrapuna-lämpömittari
	5. Vaaka	Keittiövaaka	Tarkkuusvaaka	Kuormasensori	
	6. Veden sekoittaminen (Extra)	Lasisauva	Sekoitinmoottori	Magneettisekoitin	Pumppu
	7. Lämpötilamuutosten tallentaminen	Manuaalinen	Automaattinen (arduino)	Automaattinen (tietokone)	
	8. Energiatiheyden laskenta	Manuaalinen	Automaattinen (arduino-koodi)	Automaattinen (tietokone esim. excel- tai koodipohjainen)	

Morfologisen matriisin pohjalta koottiin mahdollisia konsepteja erilaisilla menetelmäyhdistelmillä. Nämä yhdistelmät ja niille annetut nimet on esitetty taulukossa 4. Taulukon menetelmäyhdistelmässä numero kuvaa funktioita ja kirjain menetelmää.

Taulukko 4. Mahdollisia konsepteja erilaisille menetelmäyhdistelmille.

Konsepti	Menetelmäyhdistelmä
Manuaalinen (Pinni+korkki)	1B-2B-3A-4A-5A-7A-8A
Manuaalinen (metallinen)	1D-2B-3A-4A-5A-7A-8A
Perus + sekoitus	1B/1D-2B-3A-4A-5A-6A-7A-8A
Arduino (Pinni + korkki)	1B-2B-3A-4C-5A-7B-8B
Arduino (metallinen)	1D-2B-3A-4C-5A-7B-8B
Arduino (uusi + sekoitus)	1A-2B-3A-4C-5B-6B-7B-8B
Tietokone (pinni + korkki)	1B-2A-3A-4C-5A-7C-8C
Tietokone (uusi + sekoitus)	1A-2B-3A-4C-5B-6C-7C-8C

Toteuttamiskelpoiset konseptit arvioitiin teknisen ja opetuksellisen arvon perusteella. Kriteereitä painotettiin perustuen kurssin ja artikkelin kirjoittajan mielestä oleellisiin

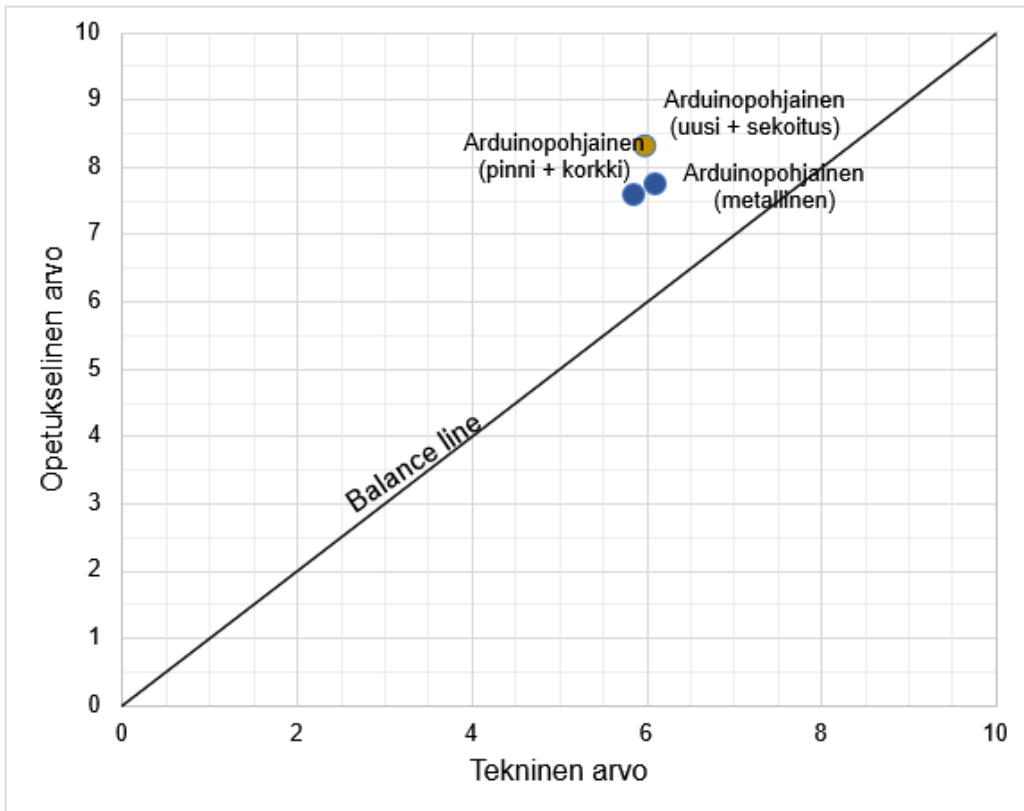
kriteereihin. Esimerkiksi ottaen huomioon kurssin aikataulun, niin kokoamisen helppoutta ei nähty tärkeänä. Tilanne voisi olla eri kouluympäristössä ja näin ollen painotuksia tulee tarkastella tilannekohtaisesti. Tässä vaiheessa huomioitiin vain Arduino-pohjaiset, koska alkuperäisen tehtävänannon mukaisesti tuli käyttää Arduino-mikrokontrolleria. Arviointi tapahtui Excelissä arviointitaulukon avulla. Tekninen arviointitaulukko on esitetty taulukossa 5 ja opetuksellinen taulukossa 6. Arviointitaulukoiden perusteella luotiin myös kuvaaja (kuva 1), joka kokoaa yhteen taulukoiden tulokset. Teknisen arviointitaulukon perusteella parhaaksi valikoitu konsepti Arduino-pohjainen (metallinen) ja opetuksellisen arviointitaulukon perusteella Arduino-pohjainen (uusi + sekoitus).

Taulukko 5. Toteuttamiskelpoisten projektien tekninen arviointitaulukko.

Kriteeri	Painotus	Arduino-pohjainen (uusi + sekoitus)	Arduino-pohjainen (metallinen)	Arduino-pohjainen (pinni + korkki)
Kokoamisen helppous	2	3	4	4
Tarkkuus/laatu	4	7	6	6
Ympäristöystävällisyys	4	5	6	5
Skaalattavuus	3	6	8	8
Uutuus	3	8	6	6
summa absoluuttinen	16	96	98	94
Summa normalisoitu	1	6,00	6,13	5,88
Sijoitus		2	1	3

Taulukko 6. Toteuttamiskelpoisten projektien opetuksellinen arviointitaulukko.

Kriteeri	Painotus	Arduino-pohjainen (uusi + sekoitus)	Arduino-pohjainen (metallinen)	Arduino-pohjainen (pinni + korkki)
Kiinnostavuus	4	9	8	7
Koodattavuus	4	10	8	8
Monipuolisuus	2	10	9	9
Keston ja vaivannäön helppous	2	5	6	7
Uudelleen toteutettavuus	2	5	7	7
Summa absoluuttinen	14	116	108	106
Summa normalisoitu	1	8.29	7.71	7.57
Sijoitus		1	2	3



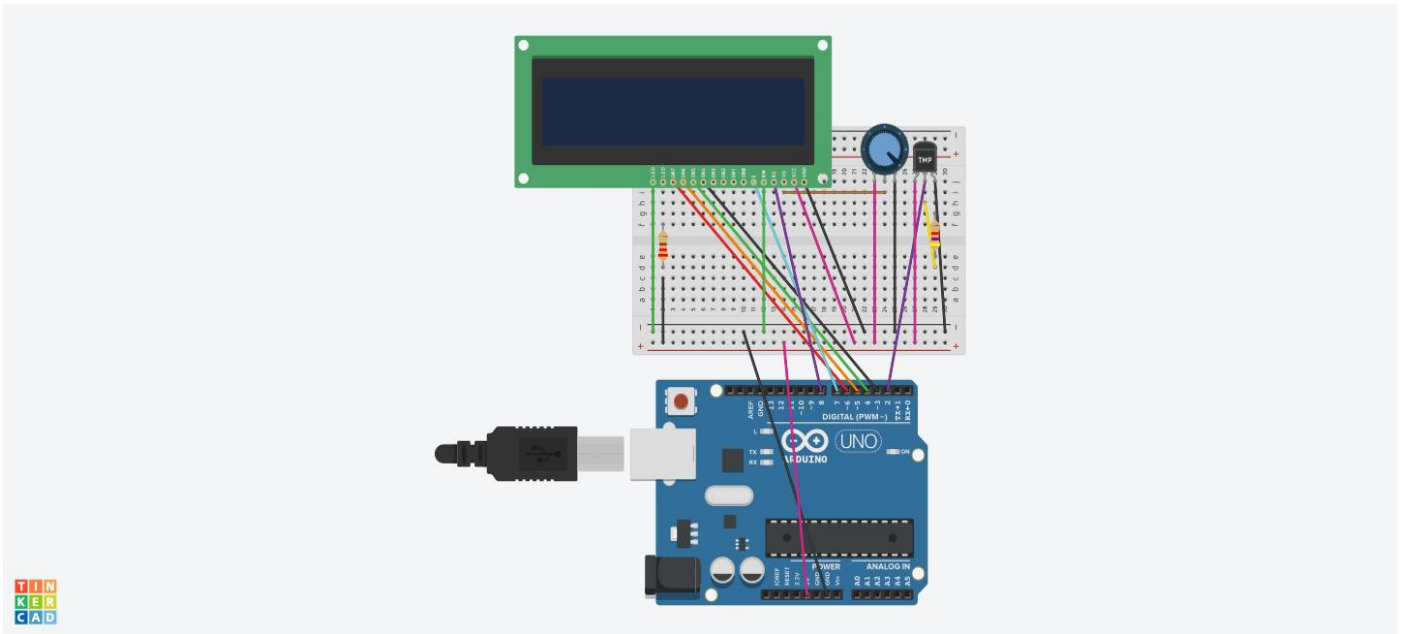
Kuva 1. Arviointitaulukoiden avulla luotu kuvaaja.

Arvioinnin jälkeen aloitettiin prototyyppien kokoaminen. Prototyypit perustuivat niin edellä esitettyihin konsepteihin sekä ylipäättänsä mahdollisiin vaihtoehtoihin. Tässä vaiheessa parhaana ja kokoamiskelpoisimpana konseptina nähtiin Arduino-pohjainen (metallinen).

4 Laitteiston kokoaminen

4.1 Mikrokontrollerin kokoaminen

Arduino mikrokontrollerin kokoamisessa käytettyjä komponentteja olivat Ds18B20 lämpötila-anturi, LCD-näyttö, potentiometri 220 Ω ja 4,7 k Ω vastuksia sekä hyppylankoja. Mikrokontrollerin kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Mikrokontrollerin kytkentäkaavio.

4.2 kalorimetrin kokoaminen

Prototyyppiä lähdettiin kokoamaan konseptin Arduino (metallinen) pohjalta. Tämä nähtiin parhaana vaihtoehtona ottaen huomioon käytössä olevat materiaalit, kalorimetrin toivottavat ominaisuudet ja aikaisemmin esitetyt arviointitaulukot. Tämän konseptin alkuperäiset ominaisuudet on koottu taulukkoon 7.

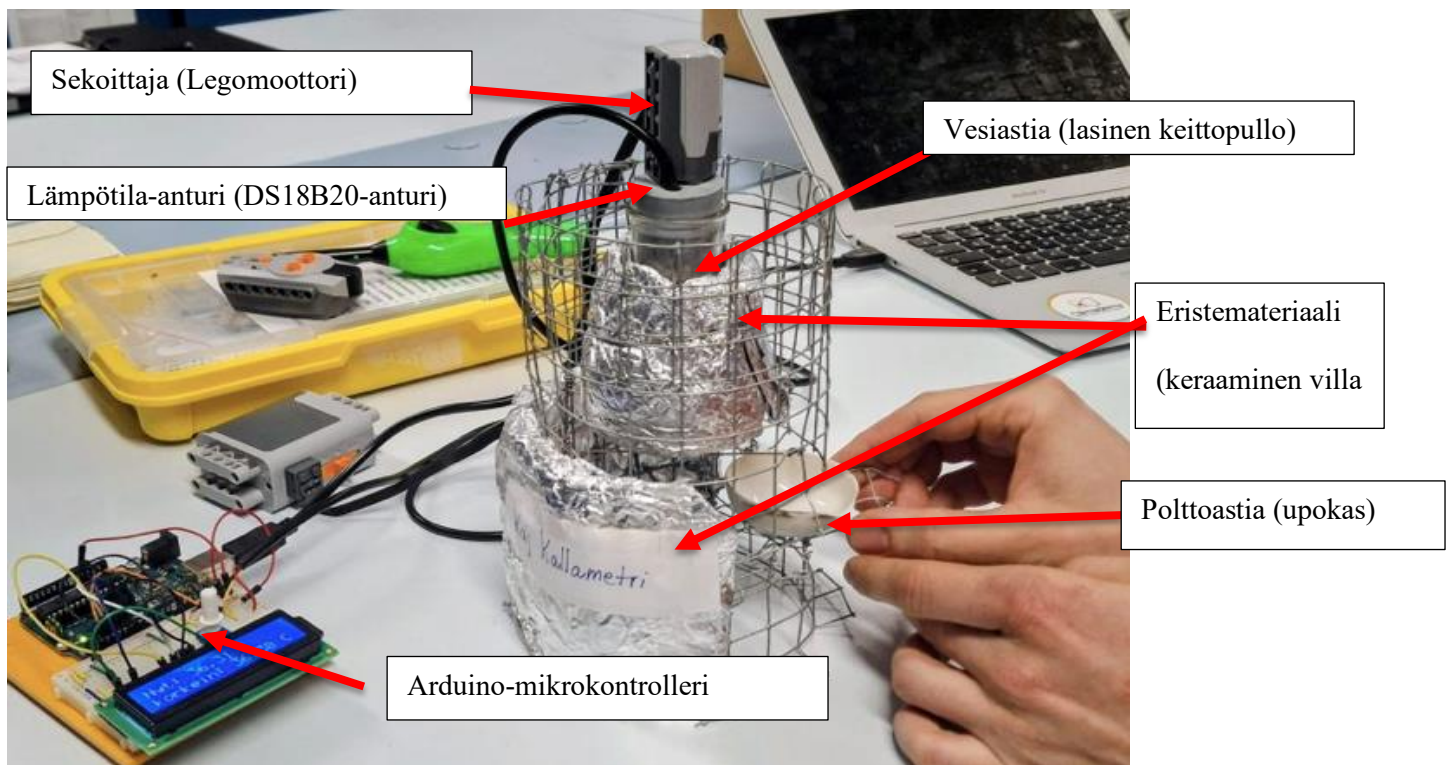
Taulukko 7. Ensimmäisen prototyypin alkuperäiset ominaisuudet.

Funktio	Alkuperäinen ominaisuus
Polttoastia	Metallinen
Vesiastia	Lasinen
Eriste	Styroksi + alumiini
Lämpötilamittari	Lämpötila-anturi
Vaaka	Keittiövaaka
Sekoittaja	-
Lämpötilamuutosten tallentaminen	Arduino (automaattinen)
Energiatiheyden laskeminen	Arduino (automaattinen)

Kuitenkin prototyyppiin tuli heti muutos, kun polttoastiaksi valikoitu upokas. Tämä valittiin sen takia, koska oli helposti saatavilla ja sopi kokonsa puolesta hyvin. Ensimmäisen

prototyypin kanssa ei lisäksi ollut huomioitu sitä, millä koko systeemi pysyy pystyssä. Tätä varten keksittiin hyödyntää kanaverkkoa.

Ensimmäinen prototyyppi kalorimetrille onnistuttiin lopulta kokoamaan. Kalorimetria testattiin etanolia polttamalla. Heti ensimmäisen polton aikana kuitenkin huomattiin, että styroksi eristeenä ei toiminut. Palavan aineen lämpö nimittäin sulatti alumiinifolioon käärityn styroksin. Eristemateriaaliksi vesiastian ympärille kokeiltiin lopulta keraamista kuituvillaa, joka on kääritty alumiinifolioon. Tällä eristettiin myös polttoastian ympäristö, mahdollisuuksien mukaan. Lisäksi alkuperäisessä versiossa ei ollut tarkoitus hyödyntää sekoittajaa. Kuitenkin lopulta kurssin opettajalta saatiin lainaksi etäohjatta legomoottori, jota pystyttiin hyödyntämään sekoittamisessa. Kuva kootusta systeemistä on esitetty alapuolella (kuva 3). Kuvaan on merkitty ja nimetty eri ominaisuudet ja niiden käyttötarkoitukset.



Kuva 3. Kuva kootusta kalorimetrisysteemistä.

Koottua systeemiä kokeiltiin mittaamalla 100 g vettä vesiastiaan ja polttamalla 1 g etanolia upokkaassa. Tässä vaiheessa kuitenkin huomattiin, että lämpöhukka oli polttoprosessin aikana melko suurta. Ensimmäisenä korjauksena pyrittiin tuomaan polttoastia lähemmäksi vesiastiaa. Muut parametrit pidettiin edelleen samoina. Tulos oli parempi, mutta edelleen kaukana kirjallisuudessa esitystä etanolin energiamäärästä

Tämän takia vesiastia vaihdettiin lasisesta keittopullostta metallitölkkiin. Muut parametrit pidettiin samana. Tällä kokoonpanolla saatiin noin kaksi kertaa parempi tulos, joten lopullisessa kalorimetrissä päätettiin käyttää metallista vesiastiaa. Lisäksi muutamalla vielä vesiastiassa olevan veden määrää saatiin tulosta parannettua hiukan. Vettä mitattaessa 200 g ja hyödyntämällä kuvan 4 mukaista kokoonpanoa saatiin poltetun etanolin energiamääräksi noin 50 % kirjallisuudessa esitetystä arvosta. Internetlähteiden mukaan etanoli sisältää energiaa noin 6.6 kcal/g (<https://chemistry.beloit.edu/edetc/SlideShow/slides/energy/density.html>).

Lopullisen laitteiston ominaisuudet on koottu taulukkoon 8. Tästä voidaan huomata, että alkuperäisen prototyypin osalta muuttui myös vaaka, jolla mitattiin vesimäärä ja etanoli. Tarkkuusvaaka oli käytettävissä laboratoriossa, jossa mittaukset tehtiin. Lisäksi energiatiheyden mittaaminen tapahtui lopulta manuaalisesti hyödyntäen laskukaavaa $Q_{vesi} = m_{vesi} * C_{vesi} * \Delta T_{vesi}$. Veden ominaislämpökapasiteettina käytettiin arvoa 4,2 kJ / (kg °C). Lämpötilan mittaaminen tapahtui automaattisesti koodaamalla Arduino-mikrokontrolleri. Lopullinen koodi on esitetty liitteessä 1.



Kuva 4. Lopullinen laitteisto.

Taulukko 8. Lopullisen laitteiston ominaisuudet.

Funktio	Lopullinen ominaisuus
Polttoastia	Keraaminen upokas
Vesiastia	Metallinen limutölkki
Eriste	Keraaminen kuituvilla + alumiinifolio
Lämpötilamittari	Lämpötila-anturi
Vaaka	Tarkkuusvaaka
Sekoittaja	Legomoottori
Lämpötilamuutosten tallentaminen	Arduino (automaattinen)
Energiatiheyden laskeminen	Manuaalinen

5 Esimerkki projektityöstä

Itsetehdyn kalorimetrin kokoamista voidaan hyödyntää osana projektioppimista koulussa. Projektioppimisen mukaisesti projektin tulee olla keskeinen osa opetusta ja opetussuunnitelmaa. Tämä suunnitelma sopii erityisesti osaksi lukion 5. moduulia. Moduulissa tulee tarkastella energiamuutoksia osana kemiallisia reaktioita. Moduulin keskeisiä sisältöjä on reaktiossa sitoutuva tai vapautuva energia. Opetussuunnitelman mukaan keskeisiä sisältöjä voidaan tarkastella esimerkiksi kokeellisesti määrittämällä reaktioentalpioita kalorimetrissä. (Lukion opetussuunnitelman perusteet, 2019.)

Yhteenvedo kalorimetrin ympärille suunnitellusta projektioppimisen työstä on esitetty taulukossa 9. Taulukossa on esitetty projektioppimisen aikana toteutettavat opetukset, ne projektioppimisen piirteet, joihin kyseinen opetus liittyy ja lähde, jota voidaan hyödyntää opetuksen tukena. Lisäksi on esitetty suuntaa-antava aikataulu projektille. Yhteensä projektille tulee varata 4–5 oppituntia.

Taulukko 9. Yhteenveto projektioppimisen työstä.

Opetuksen kuvaus	Projektioppimisen piirteet ja tietokäytänteet	Lähde	Oppitunti
Projekti alkaa demonstraatiolla, jossa nallekarkki reagoi sulatetun kaliumklooraatin kanssa ja palaa näyttävästi ja voimakkaan eksotermisesti.	Ankkuroiva ilmiö	Nallekarkin demonstraatio: linkki työhjeeseen	1
Demonstraatiota seuraa ohjaava kysymys: Etanolia voidaan käyttää polttoaineena, mutta kuinka voisimme tutkia sen sisältämää energiamäärää?	Ohjaava kysymys		1
Tämän jälkeen opiskelijat jakaantuvat kolmen hengen ryhmiin ja tutustuvat kahteen artikkeliin. Artikkeleissa esitetään projektit, joissa opiskelijat ovat itse rakentaneet kalorimetrin.	Tutkimusten toteutus ja informaation hankkiminen	(Achilleos ym., 2018; Markow, 1992) ja tämä artikkeli.	1
Seuraavaksi opiskelijat tutustuvat Arduino-mikroprosessoriin. Arduinoon tutustutaan LUMA-keskus Suomen Arduino-harjoituspaketin avulla	Digivälineiden käyttö ja informaation hankkiminen	Harjoituspaketti: linkki harjoituspakettiin Circuit.IO: linkki	Kotitehtävä ja 2
Tutustumisen jälkeen ryhmien tehtävänä on rakentaa lämpötilamittari Arduino-ohjelmistoalustalle.		Koodi lämpötilan mittaamiseksi: Liite 1	
Lämpötilamittarin rakentamisessa voidaan hyödyntää edellä esitettyä kytkentäkaaviota ja circuit.IO -internetsivua. Koodi lämpötilan mittaamiseksi otetaan suoraan tämän artikkelin liitteistä.			
Viimeisessä vaiheessa opiskelijat rakentavat itse kalorimetrin. Tämä kalorimetri on konkreettinen tuotos, joka esitetään muille opiskelijoille.	Konkreettinen tuotos	Khan academyn esimerkki: linkki esimerkkiin	3 ja 4
Kalorimetriä testataan etanolia polttamalla. Laskettua energia-arvoa verrataan kirjallisuudessa esitettyyn arvoon. Laskemisen tukena voidaan hyödyntää Khan academyn esimerkkiä.			

Pohdinta ja yhteenveto

Tämän projektin tavoitteena oli kehittää yksinkertainen ja edullinen Arduino-pohjainen kahvikuppikalorimetri, jolla voidaan havainnollistaa palamisreaktion energiamuutoksia vakioaineessa. Projektin aikana onnistuttiin rakentamaan toimiva prototyyppi, joka

hyödyntää mittausautomaatiota lämpötilan seurannassa. Laitteella saatu tulos etanolin energiasisällöstä (noin 50 % kirjallisuusarvosta) jäi selvästi teoreettisesta arvosta etanolin energia-arvosta. Tässä työssä tarkoitus ei kuitenkaan ollut rakentaa tarkkaa kalorimetriä. Kaupalliset pommikalorimetrit, jotka on suunniteltu minimoimaan lämpöhäviö ovat erittäin kalliita (5 000–10 000 dollaria) (Knurr & Hauri, 2026.) . Tässä työssä tarkoitus ei kuitenkaan ollut rakentaa tarkkaa kalorimetriä vaan enemmän havainnollistaa periaatteita kalorimetrinen mittauksien takana ja haasteita, joita termodynaamisiin mittauksiin liittyy. Lisäksi työn aikana päästiin tutustumaan Arduino-mikrokontrollereihin, koodaukseen, mittausautomaatioon ja insinöörimäiseen työskentelytapaan.

Laitteen rakennusprojekti ja projektioppimisen suunnitelmat tarjoavat kontekstipohjaisen opetusmenetelmän tutustua käsitteisiin kuten energia, palamisreaktio ja eksotermisuus. Kalorimetrinen mittauksien avulla voidaan yhdistää kemiaa luontevasti ravitsemustieteisiin ja ympäristötieteisiin, mikä tekee oppimisesta merkityksellisempää. Arduino-mikrokontrollerin käyttö kytkee kemian nykyaikaiseen mittausautomaatioon ja ohjelmointiin.

Kehitetty projektioppimisen kokonaisuus on suoraan sovellettavissa lukion kemian 5. moduuliin, ja se täyttää opetussuunnitelman tavoitteet kokeellisesta reaktioentalpioiden määrittämisestä. Projekti on helposti saavutettava, koska laitteiston osat ovat edullisia ja suhteellisen helposti hankittavissa. Jatkokehityksenä voitaisiin edelleen tarkastella, kuinka kalorimetrin eristystä saataisiin edelleen paremmaksi ja mittaustuloksia lähemmäksi teoreettisia arvoja. Lisäksi koodia voitaisiin pyrkiä parantamaan, niin että se laskee automaattisesti kalorimäärät.

Lähteet

- Achilleos, C., Papadopoulos, S., Friligkos, S., & Polatoglou, H. (2018). Could leftover nutshells be the next renewable energy source? Challenge your students to find out using calorimetry. *Science in School*, 45.
- Ambrož, M., Perna, J., Haatainen, O., & Aksela, M. (2023). Promoting STEM Education of Future Chemistry Teachers with an Engineering Approach Involving Single-Board Computers. *Applied Sciences*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/app13053278>
- Bopegedera, A. M. R. P. (2023). Evaluating the Heats of Combustion of Coals Using Bomb Calorimetry in the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 100(1), 298–305. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00296>
- Bopegedera, A. M. R. P., & Perera, K. N. R. (2017). “Greening” a Familiar General Chemistry Experiment: Coffee Cup Calorimetry to Determine the Enthalpy of Neutralization of an Acid–Base Reaction and the Specific Heat Capacity of Metals. *Journal of Chemical Education*, 94(4), 494–499. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00189>
- Juuti, K., Lavonen, J., & Salmela-Aro, K. (Toim.). (2022). *Projektioppiminen luonnontieteissä*. Helsinki University Library. <https://doi.org/10.31885/9789523458437>
- Kauremaa, A. (2026). Arduino-kolorimetri metyleenisinisen määrittämiseen: Suunnittelu, testaus ja opetuskäyttö. *LUMAT-B: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 11(1), 1–1. <https://urn.fi/urn:nbn:fi:hulib:editori:lumatb.v11i1.29975>

- Knurr, B. J., & Hauri, J. F. (2026). Determining the Ethanol Content in Gasoline using Bomb Calorimetry. *Journal of Chemical Education*, 103(1), 434–440.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00028>
- Lukion opetussuunitelman perusteet. (2019). Opetushallitus. <https://www.oph.fi/fi/tilastot-ja-julkaisut/julkaisut/lukion-opetussuunnitelman-perusteet-2019>
- Mabbott, G. A. (2014). Teaching Electronics and Laboratory Automation Using Microcontroller Boards. *Journal of Chemical Education*, 91(9), 1458–1463.
<https://doi.org/10.1021/ed4006216>
- Markow, P. (1992). Calorimetry in a Nutshell: Peanut pyrotechnics. *The Science Teacher*, 59(6), 54–59.
- Schwab, U. (2026, maaliskuuta 26). *Energiaravintoaineet, ravintokuitu ja alkoholi*. Lääkärikirja Duodecim. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01312>
- Thomas, J. W. (2000). *A REVIEW OF RESEARCH ON PROJECT-BASED LEARNING*. California: The Autodesk Foundation.
- Turpeinen, J. (2025). Lämpömäärämittari kemiallisen reaktion energiamuutosten määrittämiseen Arduino-ohjelmistoympäristössä. *LUMAT-B: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 10(1), 2–2.
<https://urn.fi/urn:nbn:fi:hulib:editori:lumatb.v10i1.26917>
- Vallejo, W., Diaz-Uribe, C., & Fajardo, C. (2020). Do-it-yourself methodology for calorimeter construction based in Arduino data acquisition device for introductory chemical laboratories. *Heliyon*, 6(3), e03591. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03591>

Liite 1. Arduino ohjelmointikoodi

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>

// DS18B20 datalinja
#define ONE_WIRE_BUS 2

// LCD pinnit: RS, E, D4, D5, D6, D7
LiquidCrystal lcd(8, 7, 3, 4, 5, 6);

// OneWire + DallasTemperature
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Tallennetaan korkein mitattu lämpötila (Celsius)
float peakC = -1000.0; // alustus hyvin matalaan arvoon

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

  // LCD alustus
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("DS18B20 + LCD");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Init...");

  // Anturin alustus
  sensors.begin();
  sensors.setResolution(12);
  sensors.waitForConversion(true);

  delay(600);
  lcd.clear();
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  float c = sensors.getTempCByIndex(0);

  if (c == DEVICE_DISCONNECTED_C) {
    // Virhe: anturia ei löydy
    Serial.println("Sensor not found/disconnected!");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Anturi ei löydy");
    lcd.setCursor(0, 1);
```

```
    lcd.print("Tarkista johdot");
} else {
    // Päivitä peak, jos lämpötila noussut uuteen huippuun
    if (c > peakC) {
        peakC = c;
    }

    // Tuloste sarjalle
    float f = DallasTemperature::toFahrenheit(c);
    Serial.print("Temp: ");
    Serial.print(c, 2);
    Serial.print(" C / ");
    Serial.print(f, 2);
    Serial.println(" F");

    // Näyttö:
    // Rivi 0: Nykyinen lämpötila
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Nyt: ");
    lcd.print(c, 2);
    lcd.print(" C "); // tyhjentää rivin loppua

    // Rivi 1: Korkein (peak) lämpötila
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("korkein: ");
    lcd.print(peakC, 2);
    lcd.print(" C ");
}

delay(1000);
}
```