

Kehittämistutkimus:
Tutkimisen taitojen edistäminen
tutkimuksellisella spektrofotometrian
oppimiskokonaisuudella lukion kemian
opetuksessa

Helsingin yliopisto

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Kemian laitos

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Pro Gradu -tutkielma

Tekijä: Nelly Heiskanen

16.5.2016

Ohjaajat: Maija Aksela

Johannes Pernaa

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Kemian laitos	
Tekijä/Författare – Author Nelly Heiskanen			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Kehittämistutkimus: Tutkimisen taitojen edistäminen tutkimuksellisella spektrofotometrian oppimiskokonaisuudella lukion kemian opetuksessa			
Oppiaine /Läroämne – Subject Kemia (Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto)			
Työn laji/Arbetets art – Level Pro Gradu -tutkielma	Aika/Datum – Month and year 16.5.2016	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 92 + 47	
Tiivistelmä/Referat – Abstract Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää tutkimisen taitoja edistävä oppimiskokonaisuus spektrofotometriasta lukion kemian opetukseen. Tutkimisen taidot nousevat lukion opetus suunnitelman perusteissa (2015) vahvasti esille kemian opetukselle suunnatuissa tavoitteissa ja myös erikseen jokaisen kurssin kohdalla. Tutkimisen taitojen harjoittelemisella pyritään edistämään opiskelijoiden kykyä tutkia ja niiden harjoittelu on osa 2000-luvun taitojen oppimista. Spektrometria on nostettu esille keskeisenä sisältönä lukion toisella kurssilla esimerkkinä aineen rakenteen analyysimenetelmistä. Se on myös keskeinen analyysimenetelmä kemiassa ja sillä on lukuisia opiskelijoiden elämään liittyviä sovelluksia. Tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksiä olivat: 1. Miten spektrofotometriaa opetetaan lukion kemian opetuksessa? 2. Milla keinoilla tutkimisen taitojen kehittymistä voidaan edistää? 3. Miten kehitetty oppimiskokonaisuus vaikutti opiskelijoiden tutkimisen taitoihin? Tutkimusmenetelmänä käytettiin kehittämistutkimusta, jossa tuotosta kehitettiin kahdessa syklissä. Tutkimuksen ensimmäinen sykli sisälsi empiirisen ongelma-analyysin ja teoreettisen tarveanalyysin. Empiirinen ongelma-analyysi pyrki vastaamaan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen lukion oppikirjojen sisällönanalyysin avulla, sekä hyödyntämällä aikaisemman mittausautomaatiotyön tuloksia. Teoreettisessa tarve-analyysissä vastattiin toiseen tutkimuskysymykseen tutkimalla tutkimisen taitojen ja tutkimuksellisuuden teorioita. Teoreettisen tarve-analyysin ja empiirisen ongelma-analyysin pohjalta kehitettiin ensimmäinen kehittämistuotos eli oppimiskokonaisuus spektrofotometriasta. Tutkimuksen toisessa syklissä kehitettyä oppimiskokonaisuutta testattiin yhdessä lukiossa Uudellamaalla. Oppimiskokonaisuutta pääsi kokeilemaan yksi opettaja ja hänen kaksi oppilasryhmäänsä lukion kemian 7. kurssilta. Sekä oppilailta että opettajalta kerättiin tutkimustietoa kolmatta tutkimuskysymystä varten. Opiskelijoiden ja opettajan vastauksien pohjalta tuntisuunnitelmaa sekä verkkosivujen materiaaleja paranneltiin vastaamaan paremmin lukion kemian opetuksen tarpeita. Tässä tutkimuksessa saatiin tietoa tutkimisen taitoja kehittävän opetuksen piirteistä, tuotettiin konkreettinen kehittämistuotos ja saatiin tietoa tuotoksen vaikutuksesta opiskelijoiden tutkimisen taitoihin. Tutkimisen taitoja kehittävä opetukselle tyypillistä on opiskelijoiden aktiivinen osallistuminen oman tutkimuksen suorittamiseen, sosiaalinen vuorovaikutus ja kysymysten esittäminen. Tällainen on myös tutkimuksessa kehitetty oppimiskokonaisuus, joka koostuu tutkimuksellisesta tuntisuunnitelmasta ja opiskelijoiden itsenäistä työskentelyä tukemaan kehitetystä verkkomateriaalista. Verkkomateriaali sisältää taustatietoja spektrofotometriasta ja oppilastoita aiheesta. Se on saatavilla osoitteessa: https://spektrofotometriasta.wordpress.com. Materiaali tarjoaa myös opettajille työohjeita ja vaihtoehtoisia tuntisuunnitelmia spektrometrian käsittelemiseen oppitunneilla. Opiskelijoiden ja opettajan kokemusten perusteella kehitetty oppimiskokonaisuus kehittää kattavasti opiskelijoiden tutkimisen taitoja ja tutustuttaa oppilaat hyvin spektrofotometrin toimintaperiaatteisiin. Tässä tutkimuksessa testattuja opetusmenetelmiä olivat oman tutkimuksen suorittaminen, tutkimusaiheen valitseminen, kysymysten esittämiseen rohkaiseminen ja ryhmätyöskenteleminen. Tutkimus antaa suuntaa tutkimisen taitojen ja spektroskopian opiskelemisesta lukiotasolla. Opiskelijat kokivat kokonaisuuden mielenkiintoisena ja tulevaisuuden kannalta hyödyllisenä.			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Tutkimisen taidot, tutkimuksellisuus, spektrofotometria, lukion kemian opetus, LOPS 2015, kehittämistutkimus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited E-thesis			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Ohjaajat: Maija Aksela ja Johannes Pernaa			

Sisällys

1.	Johdanto	1
2.	Kehittämistutkimus	3
2.1.	Tutkimuskysymykset	4
2.2.	Kehittämistutkimuksen toteutus	5
3.	Teoreettinen ongelma-analyysi	7
3.1.	Spektrofotometria kemiallisena analyysimenetelmänä	8
3.1.1.	Spektrofotometrian historiaa	9
3.1.2.	Spektrofotometrian teoreettiset perusteet	12
3.2.	Spektrofotometrian opettaminen lukioissa	17
3.2.1.	Spektrofotometria lukion opetussuunnitelman perusteissa 2015	17
3.2.2.	Mittausautomaation käyttäminen opetuksessa	18
3.3.	Tutkimisen taidot oppimistavoitteena	20
3.3.1.	Tutkimuksellisuus lukion opetussuunnitelman perusteissa	20
3.3.2.	Tutkimisen taidot (eng. Science process skills, SPS tai Inquiry Skills)	22
3.3.3.	Tutkimuksellinen oppiminen	25
3.3.4.	Kysymysten esittäminen	28
3.3.5.	Tutkimuksen tekemisen sosiaalinen ulottuvuus	29
3.3.6.	Korkean tason ajattelun taidot (eng. higher order thinking skills, HOTS)	30
3.3.7.	Arviointi	32
3.4.	Teoreettisen tarve-analyysin yhteenveto	34
4.	Empiirinen ongelma-analyysi	36
4.1.	Spektroskopia lukion kemian opetuksessa – oppikirja-analyysi	36
4.2.	Esimerkki spektroskopian kokeellisesta opetuksesta lukiossa	42
4.3.	Yhteenveto	47

5.	Kehittämisprosessi	49
5.1.	Ensimmäinen kehittämistuotos	49
5.1.1.	Tutkimusaiheiden kontekstien kuvaus	52
5.1.2.	Kehitetyn oppimiskokonaisuuden oppimistavoitteet Rezban et al., (2006) tutkimisen prosessitaitojen mukaan	53
5.1.3.	Kehitetyn oppimiskokonaisuuden arviointi korkeamman tason ajatteluntaitojen mukaan	55
6.	Opiskelijoiden ja opettajan näkemyksiä tutkimisen taitojen oppimisesta spektrofotometrian oppimiskokonaisuuden avulla	56
6.1.	Triangulaation hyödyntäminen tutkimisen taitojen tutkimisessa	56
6.1.1.	Tutkimuslomake	57
6.1.2.	Tutkimustulokset	59
6.2.	Yhteenveto tuloksista	74
6.3.	Tutkimuksessa esille nousseet oppimiskokonaisuuden kehittämiskohteet	75
6.3.1.	Jatkokehittäminen	75
7.	Yhteenveto ja pohdinta	76
7.1.	Tutkimisen taitoja kehittävän opetuksen piirteet ja spektrofotometrian opettamisen merkitys	76
7.2.	Kehittämistuotos	78
7.3.	Kehitetyn oppimiskokonaisuuden vaikutus opiskelijoiden tutkimisen taitojen oppimiseen	81
7.4.	Tutkimuksen merkitys	83
8.	Lähteet	84
9.	Liitteet	

1. Johdanto

Meidän yhteiskuntamme elää jatkuvassa muutoksessa sekä taloudellisen, sosiaalisen, kulttuurisen että ekologisen ulottuvuuden näkökulmista. Olemme saavuttamassa pistettä, jossa perinteisellä opetuksella saavutetut tiedot eivät enää riitä vastaamaan työelämässä tarvitsemia taitoja. Nykyaikaisen tieto- ja viestintäteknologian mahdollistamaa tietomäärää ei enää millään pystytä opettamaan kouluissa. Lisäksi oppilaamme ovat aiempaa vähemmän sitoutuneita ja motivoituneita opiskelemaan. Yhteiskunnan muutos luo työpaikkoja niille, jotka ovat innovatiivisia, yhteistyökykyisiä ja kriittiseen ajatteluun pystyviä yksilöitä. Tämä muutos on huomioitava myös opetuksessa, jotta pystyisimme kouluttamaan työelämässä ja vapaa-ajalla pärjääviä kansalaisia. (Kay, 2010)

Poliittisella tasolla ja yritysmaailmassa on alettu painottamaan oppimista, johon sisältyy tiedollisen oppimisen lisäksi entistä vahvemmin taidollinen ulottuvuus. Tällaisia taitoja kutsutaan 2000-luvun taidoiksi ja niitä on määritellyt esimerkiksi P21 (Partnership for 21st Century Skills), Assessment for 21st Century Skills Study (ACT21S), Program for International Student Assessment (PISA) ja DeSeCo (the Definition and Selection of Competencies). P21 listaa 2000-luvun taitojen osa-alueiksi elämänhallinta- ja työelämän taidot, opiskelu- ja innovaatiotaidot, sekä informaatio-, media- ja teknologiataidot. Informaatioteknologian hyödyntäminen nousee esille myös Ananiadoun ja Claron (2009) tutkimuksessa OECD-maiden 21-luvun taitojen opettamisesta ja arvioinnista yhdessä yhteistyötaitojen harjoittamisen ja autonomisen työskentelyn kanssa. Puhuttaessa 21-luvun taidoista korostetaan vahvasti myös opiskelijan vastuuta ajattelusta ja opiskelusta, kuten esimerkiksi PISA-tutkimuksen DeSeCo-projektin (Definition and Selection of Competencies) viitekehyksessä. (Ananiadou & Claro 2009). Luovan ja kriittisen ajattelun, ongelmienratkaisutaitojen, autonomian, yhteistyö- ja keskustelutaitojen kehittäminen on myös keskeistä elinikäisen oppimisen näkökulmasta. (Dierick & Dochy 2001).

Suomessa 2000-luvun taitoja on alettu aktiivisesti huomioimaan vuoden 2009 jälkeen, jolloin Suomi osallistui the Assessment and Teaching 21st Century Skills -projektiin. Tämän seurauksena 2000-luvun taidot näkyvät vahvasti uusissa opetussuunnitelmissamme. (Ahonen & Kankaanranta, 2015) Esimerkiksi lukion opetussuunnitelman perusteissa (2015) yleissivistys määritellään koostuvaksi ”arvoista, tiedoista, taidoista, asenteista ja tahdosta, joiden avulla kriittiseen ja itsenäiseen ajatteluun pystyvät yksilöt osaavat toimia vastuullisesti, myötätuntoisesti, yhteisöllisesti ja menestyksekkäästi.” Luonnontieteiden

osalta tämä tarkoittaa sitä, että entistä tärkeämpään asemaan opetuksessa nousee tutkimisen taitojen opettelu, kriittinen ajattelu ja ongelmanratkaisutaitojen harjoittelu. Kemian osalta tutkimisen taitoja on jaoteltu jokaisen lukiokurssin keskeisiin sisältöihin ja/tai tavoitteisiin kuuluviksi. Toki taitojen korostaminen tulee esille jo kaikille oppiaineille yhteisessä arvoperustassa, oppimiskäsityksessä ja toimintakulttuurissa.

Kemiassa tutkimisen taitoja, kuten kaikkia muitakin taitoja, harjoitellaan osallistumalla itse tutkimuksen suorittamiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa tutkimuksellisuuden lisäämistä opetustilanteissa. Tutkimuksellisuuden kautta opiskelijat saavat myös esimerkkejä autenttisista kemian konteksteista, mikä auttaa yleisesti luonnontieteiden opetuksessa koettuun haasteeseen oppilaiden hankaluudesta siirtää opittuja tietoja omaan arkielämään. (Aksela, Tikkanen & Kärnä, 2012) Autenttisten ongelmien ratkaisemiseen sopii hyvin myös oppiaineita yhdistelevään eheyttävä opetus. Oppilaan tietojen ja taitojen oppimisen lisäksi tutkimisen taitojen harjoittelun on havaittu lisäävän oppilaan itsekyvykkyyden tuntemista. (Ketelhut, 2007) Korkeamman itsekyvykkyyden omaavat ihmiset pärjäävät paremmin vaikeissa tilanteissa, näkevät monimutkaisuuden haasteena, sitoutuvat toimimaan, eivät lannistu epäonnistumisista vaan yrittävät kovemmin, valitsevat tapoja joilla oppii paremmin ja rinnastavat menestyksen opittuihin kykyihin. (Pajares, 1996)

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kehittää tutkimisen taitoja edistävä tutkimuksellinen spektrofotometrian oppimiskokonaisuus lukion kemian opetukseen. Tutkimuksen viitekehyksenä toimivat opetuksen teoriat tutkimisen taidoista, tutkimuksellisuudesta ja niihin vaatimasta arvioinnista sekä tietomme spektrofotometriasta. Spektrofotometrian opettaminen tulee ajankohtaiseksi lukio-opetuksen uuden opetussuunnitelman myötä, jossa spektrometria nostetaan kurssilla *2. Ihmisen ja elinympäristön kemia* yhdeksi keskeisimmistä sisällöistä. Koen itse opettajana erittäin tärkeäksi oppilaan itseluottamuksen ja siihen liittyvän itsekyvykkyyden lisäämisen oman opetukseni kautta sekä tutkimisen taitojen kehittämisen tulevia haasteita varten. Vaikka opiskelija ei suuntautuisikaan kemian alalle, on kemian osaaminen tarpeellista arkielämässä pärjäämisen, kestävän tulevaisuuden ja turvallisuuden kannalta.

2. Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on tutkimusmenetelmä, jonka tavoitteena on tuottaa kontekstisidonnaisia teorioita ja kehittää yleistettävissä oleva opetusta hyödyttävä tuotos. (Edelson 2006) Sen tarkoituksena on vastata todellisista oloista nouseviin haasteisiin ja tuottaa pienessä mittakaavassa toimivia ratkaisuja, jotka voidaan yleistää toimiviksi ratkaisuksi suuremmalle käyttäjäkunnalle. Kehittämistutkimus eroaa toimintatutkimuksesta tavoitteiden autenttisuudella, mittakaavan yleistettävyydellä ja toteuttamistapojen monimuotoisuudella. (Anderson & Shattuck 2012)

Kehittämistutkimukselle ominaista on syklinen rakenne, joka koostuu teoriaa ja kokeellista tutkimusta yhdistelevistä kehittämis- arviointi- ja raportointivaiheista. (Edelson 2006) Tärkeitä ominaisuuksia on myös tutkimuksen kokonaisvaltaisuus eli teorian ja mallien yhdisteltävyys, siirrettävyys opetusalan ammattilaisten käyttöön, autenttisuus eli kehittämistavoitteiden nouseminen todellisista olosuhteista ja tarkka raportointi, sekä jatkuva kehittämisen ja kehittämistuotoksen arviointi. (Design-Based Research Collective 2003). Toteutustapana voi olla myös monimenetelmäinen tutkimus, joka yhdistelee kvalitatiivista ja kvantitatiivista aineistoa. (Collins et al. 2004) Kehittämistutkimusta voidaan luonnehtia pragmaattiseksi lähestymistavaksi todellisista muutostarpeista nouseviin haasteisiin. (Juuti & Lavonen 2006)

Helsingin yliopistossa kemian opetuksen Pro Gradu –tutkielmat toteutetaan yleensä yksi tai kaksivaiheisinä kehittämissykleinä. Sykliin lukumäärään vaikuttavat opiskelijan tutkimustavoitteet, resurssit ja arvosanatavoitteet. Kaksivaiheinen tutkimussykli on kuusivaiheinen:

1. Teoreettinen ongelma-analyysi
2. Empiirinen ongelma-analyysi 1
3. Kehittämisvaihe 1
4. Empiirinen ongelma-analyysi 2
5. Kehittämisvaihe 2
6. Raportointi (Pernaa & Aksela 2013)

Kehittämistutkimuksen luotettavuus perustuu tulosten uskottavuuteen, siirrettävyyteen ja vahvistettavuuteen. Kokonaisvaltainen tarkastelutapa aiheuttaa tulosten uskottavuutta ja siirrettävyyttä. Uskottavuutta ja tulosten vahvistettavuutta lisäävät kehittämissyklar lukumäärä ja standardoitujen mittarien käyttäminen, sekä kehittämisen tarkka raportointi. (Design-Based Research Collective 2003) Vaikka tulosten luotettavuutta ei aina pystytäkään tilastollisesti todistamaan, Kehittämistutkimuksen vahvuuksina pidetään tulosten yleistettävyyttä ja selitysvoimaa. (Edelson 2002) Metodin luotettavuutta lisää myös kehittämistutkimukselle tunnusomaisen kehittäjäyhteisön saavuttama yhteisymmärrys. (Design-Based Research Collective 2003).

2.1. Tutkimuskysymykset

Tämä kehittämistutkimus suuntautuu kemian opettajankoulutusyksikön tutkimuksen painopistealueeseen tutkimuksellinen kemian opiskelu ja opetus. Se tähtää 2000-luvun tutkimisen taitojen ja yhteistyötapojen kehittämiseen lukion kemian opetuksessa.

Tämän kehittämistutkimuksen tutkimuskysymyksinä on:

1. Miten spektrofotometriä opetetaan lukion kemian opetuksessa?
2. Millä keinoin voidaan edistää tutkimisen taitojen kehittymistä?
3. Miten kehitetty oppimiskokonaisuus vaikutti opiskelijoiden tutkimisen taitoihin?

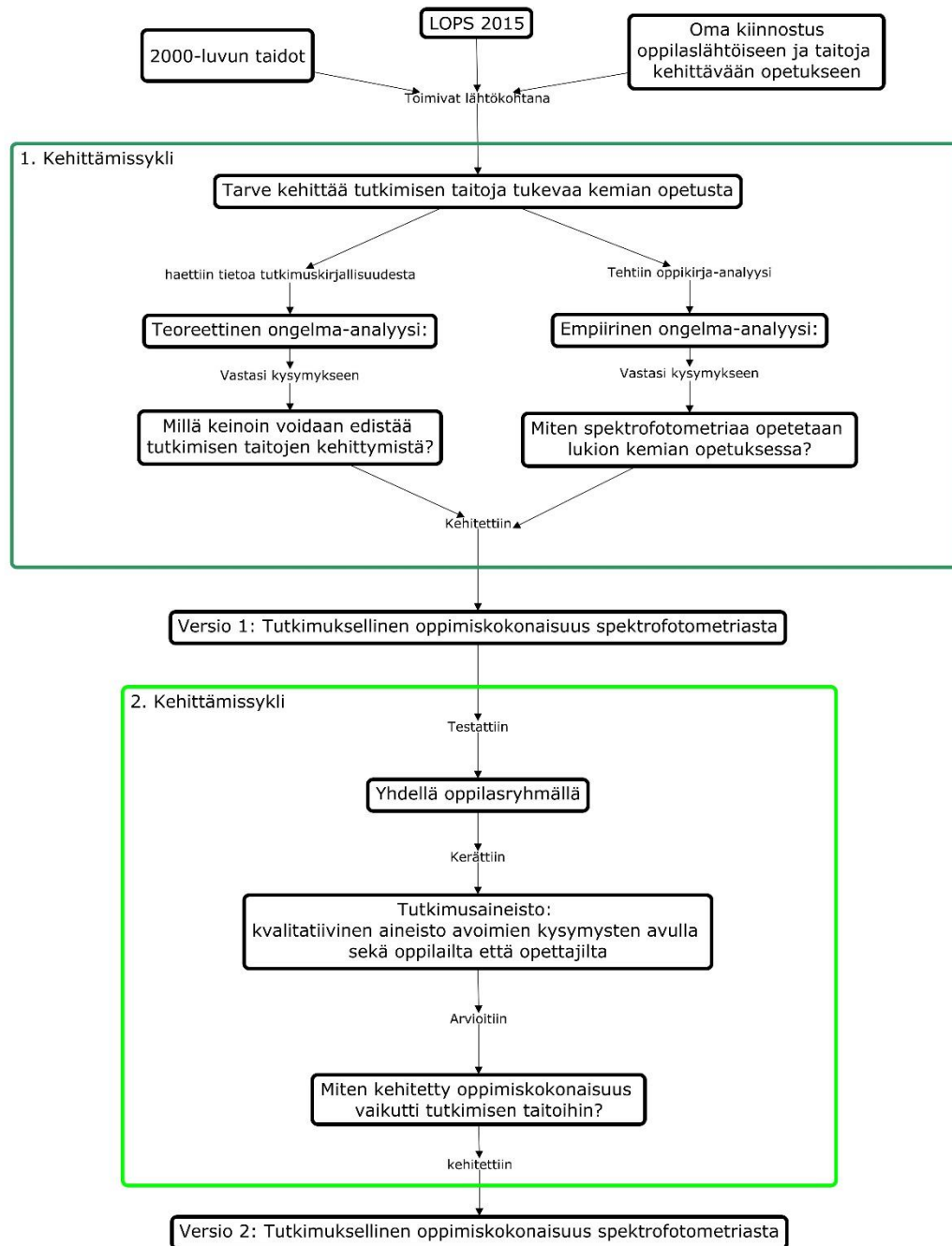
Tutkimuskysymykseen miten spektrofotometriä opetetaan lukion kemian opetuksessa pyritään vastaamaan luvussa 4. *Empiirinen ongelma-analyysi*. Kysymystä millä keinoin voidaan edistää tutkimisen taitojen kehittymistä käsitellään luvussa 3. *Teoreettinen ongelma-analyysi*. Kolmanteen tutkimuskysymykseen etsitään vastausta triangulaatiotutkimuksen avulla. Triangulaatiotutkimuksen tulokset on esitetty luvussa 6. *Opiskelijoiden ja opettajan näkemyksiä tutkimisen taitojen oppimisesta spektrofotometrian oppimiskokonaisuuden avulla*.

2.2.Kehittämistutkimuksen toteutus

Tämä kehittämistutkimus toteutettiin kaksi vaiheisena syklinä. (kuva 1) Ensimmäinen sykli muodostui teoreettisesta ja empiirisestä ongelma-analyysistä. Teoreettisessa ongelma-analyysissä vastattiin tutkimuskysymykseen 2. Millä keinoin voidaan edistää tutkimisen taitojen kehittymistä? Empiiristä ongelma-analyysiä ohjasi tutkimuskysymys 1. Miten spektrofotometriaa opetetaan lukion kemian opetuksessa? Ongelma-analyysien pohjalta kehitettiin tutkimisen taitojen kehittymistä edistävä oppimiskokonaisuus lukion kemian opetukseen spektrofotometrian kontekstissa.

Toisessa vaiheessa kehitettyä oppilastyötä testattiin oikeassa opetustilanteessa. Testaus suoritettiin Uudellamaalla sijaitsevassa lukiossa huhtikuussa 2016. Lukio ei sijainnut pääkaupunkiseudulla. Kehitettyä oppimiskokonaisuutta kokeili 18 oppilasta kemian 7. kurssilta. Sekä opiskelijoilta että opettajalta kerättiin tutkimustietoa kyselylomakkeen avulla. Lomakkeessa pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymykseen 3. Miten kehitetty oppimiskokonaisuus vaikutti opiskelijoiden tutkimisen taitoihin? Kyselylomake koostui valmiiksi aloitetuista lauseista, joihin opiskelijoiden piti arvioida omaa oppimistaan. Opettaja arvioi opiskelijoiden oppimista. Lomakkeessa kerättiin tietoa myös oppimiskokonaisuuden kehittämistarpeista. Tutkimuksen tulokset on esitetty luvussa 6. Kerättyjen tutkimustulosten pohjalta spektrofotometrian oppimiskokonaisuutta paranneltiin kehittämistutkimuksen rakenteen mukaisesti. Kehittämisprosessi ja -tuotos esitetään luvussa 5. *Kehittämisprosessi*. Tutkielman lopuksi on esitetty kehittämistutkimuksen tuotos ja arvioitu sen vaikuttavuutta luvussa 7. *yhteenveto ja pohdinta*.

Kehittämistutkimus: Tutkimisen taitojen edistäminen
tutkimuksellisella oppimiskokonaisuudella spektrofotometriasta lukion kemian opetuksessa



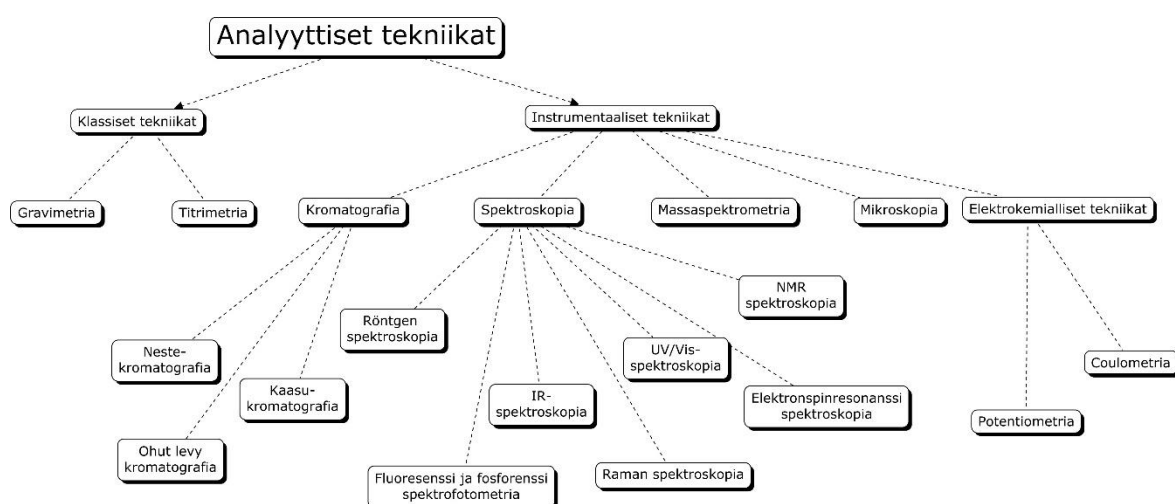
Kuva 1: Kehittämistutkimuksen suorittaminen kahdella kehittämissyklillä.

3. Teoreettinen ongelma-analyysi

Tässä kappaleessa pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen *2. Millä keinoin tutkimisen taitojen kehittymistä voidaan edistää?* Ensimmäisissä kappaleissa perehdytään oppimiskokonaisuuden kemialliseen teoriaan. Ensimmäinen luku *3.1 Spektrofotometria kemiallisena analyysimenetelmänä* keskittyy kuvaamaan lyhyesti miten spektrofotometria on kehittynyt, mihin spektrofotometria perustuu ja miten spektrofotometri toimii, sekä millaisia sovelluksia sillä on. Hieman kattavamman opettajille suunnatun suomenkielisen kuvauksen spektrofotometriasta voi lukea kandidaatin tutkielmasta ”*Spektrofotometrian historiaa, toiminta ja sovelluksia – esimerkkinä klorofyllin määrittäminen*” (kts. Heiskanen, 2016). Toinen luku *3.2 Spektrofotometrian opettaminen lukioissa* käsittelee spektrofotometrian esiintymistä lukion opetussuunnitelman perusteissa 2015. Luvussa *3.3. Tutkimisen taidot oppimistavoitteena* keskitytään tarkastelemaan tutkimisen taitoja ja tutkimuksellisuutta opetusmenetelmänä. Pedagogista teoriaa tutkimisen taidoista käsitellään tutkimuksellisuuden lisäksi ajattelun taitojen, kysymysten esittämisen, sosiaalisen vuorovaikutuksen ja arvioinnin näkökulmista. Luvussa *3.2.2 Mittausautomaatio* tutustutaan mittausautomaation käyttämiseen opetuksessa. Sen hyödyntäminen tulee ajankohtaiseksi spektrofotometrian opetuskäytössä. Luku *3.4. Teoreettisen tarveanalyysin yhteenveto* kokoaa teoreettisen ongelma-analyysin tuloksia ja määrittelee piirteet, joiden avulla kehitetään tutkimuksellista oppilastyötä lukion kemian opetukseen.

3.1. Spektrofotometria kemiallisena analyysimenetelmänä

Spektrofotometria on kemiassa laajasti käytetty analyysimenetelmä. Se on osa spektroskopiaa (kuva 2), joka tutkii aineen ominaisuuksia sähkömagneettisen säteilyn avulla. (Christian, 2003) Spektrofotometria on yhdessä muiden analyysimenetelmien kanssa yhteydessä arkielämän turvallisuuteen lukuisten kvantitatiivisten ja kvalitatiivisten tutkimusten mahdollistajana. (Higson, 2004) Sen avulla voidaan valvoa esimerkiksi ruoan laatua (Nawrocka et al., 2013) ja prosessiteollisuuden päästöjä reaaliaikaisesti (Meyers, 2000). Sen merkittävyyttä kuvastaa myös suuri määrä myönnettyjä kemian ja fysiikan Nobelin palkintoja. (Nobel Media AB, 2014)



Kuva 2: Analyttiset tekniikat voidaan jakaa klassisiin ja instrumentaaleihin tekniikkoihin. UV-Vis-spektroskopia on analyttisistä tekniikoista todennäköisesti käytetyin. (Christian, 2003)

Luotettavan analyysin suorittamiseksi tutkijoiden on ymmärrettävä laitteiden toimintaperiaatteet ja rajoitukset. Heidän on osattava soveltaa erilaisia analyysimenetelmiä laaja-alaisesti, verifioida analyysilleen sopivin menetelmä ja tulkita laitteen antaman tuloksen merkitys. (Meyers, 2000) Vanhojen menetelmien kehittäminen on johtanut yleensä uusien menetelmien syntymiseen. Spektrofotometria on yksi vanhimmista analyttisistä tekniikoista ja se jatkaa kehittymistään vastatakseen tieteen moderneja tarpeita. (Altemose, 1986)

3.1.1. Spektrofotometrian historiaa

Spektrofotometrian kehittymiseen on tarvittu lukuisia matemaatiikan, fyysiikan ja kemian tutkimuksia. Sen kehittymisen katsotaan alkaneen valon ja värien tutkimisesta. (Burns, 1987). Aikaisempien tutkimusten innoittamana Sir Isaac Newton tutki värien syntymistä ohjaamalla kapean valonsäteen pimennetyn huoneensa ikkunasta prismaan. Auringon valo heijastui prismasta huoneen seinälle muodostaen spektrin, joka koostui punaisesta, keltaisesta, vihreästä, sinisestä ja violetista väristä. Tutkiessaan värejä Newton keksi, että valkoinen valo sisältää säteitä, jotka tahtuvat prismasta kullekin värille ominaisessa kulmassa. Teoria valon luonteesta ja värien alkuperästä julkaistiin vuonna 1671. (Newton, 1671).

Teoriassaan Newton kuvasi valoa hiukkasluonteiseksi (Burns, 1987). Pian hänen jälkeensä esitettiin kuitenkin teoria valon aaltoluonteesta vuonna 1678 (Thomsen, 2006). Teoriaa ei kuitenkaan pystytty tieteellisesti todistamaan, kunnes vuonna 1801 Thomas Young todisti sen valon interferenssin ja kaksoisrakokokeen avulla. (G. F. S., 1931) Käsitys säteilystä laajeni kun William Herschel löysi infrapunasäteilyn vuonna 1800 (Herschel, 1800), ja J. W. Ritter löysi ultraviolettisäteilyn vuonna 1801 (Thomas, 1991). Koko sähkömagneettinen säteilyn spektri on esitetty seuraavassa kappaleessa 3.1.2. *Spektrofotometrian teoreettiset perusteet.* (kuva 3)

Valon tutkimusten lisäksi ensimmäisiä spektroskooppisia tutkimuksia tehtiin liekkikokeina. Vuonna 1827 John F. W. Herschel määrittä natriumin, kaliumkarbonaatin, kalkin, strontiumin, litiumin, magnesiumin, bariumsulfaatin, kuparin ja raudan suoloille ominaiset liekkivärit. Tutkimustensa tuloksena Herschel totesi, että liekkien avulla tuotettu emissiospektri olisi hyvä keino määrittää erittäin pieniäkin aineiden pitoisuuksia. (Herschel, 1827) Herschelin artikkeli innoitti H. F. Talbotia tutkimaan liekkivärejä. Talbot päätteli, että liekkien värit syntyivät niissä olevista alkuaineista ja yhdisteistä. Liekkikokeet olisivat siis hyvä keino aineiden kvalitatiiviseen määrittämiseen. (Thomas, 1991) Ensimmäisen liekkiemissiospektroskoopin rakensi M. A. Masson vuonna 1851 (Thomsen, 2006).

Spektrofotometrian kehittymistä kiihdytti 1800-luvun alussa kuvattu auringon spektri. Spektrin kuvasi ensimmäisenä William H. Wollaston. Spektristä käytetään kuitenkin nimeä Fraunhoferin viivat, koska saksalainen optikko Joseph von Fraunhofer tutki ja nimesi systemaattisesti auringon spektrin tummia viivoja vuonna 1814. Yhteensä hän havaitsi noin 500 tummaa viivaa, joista suurimmat hän nimesi A:sta H:hon. Vuonna 1868 Anders J.

Ångström esitti 1000 Fraunhoferin viivaa yksikössä 10^{-10} m, joka on nimetty sittemmin keksijänsä mukaan yksiköksi Ångström. (Burns, 1987) Auringon spektrin tummat viivat kummututtivat tutkijoita vuoteen 1859 asti, kunnes Kirchhoff ja Bunsen keksivät tutkimuksissansa, että jokaisella alkuaineella on oma ja ainutlaatuinen spektrinsä. Tämän havainnon avulla he selittivät auringon tummien viivojen muodostuvan auringon pinnalla olevista kaasuista ja löysivät kaksi uutta alkuainetta: rubidiumin ja cesiumin. Heidän havaintonsa innoittamana löydettiin myös muitakin uusia alkuaineita. Merkittävintä spektroskopian kannalta oli heidän tutkimuksiensa osoitus näkyvän valon mahdollisuuksista analytiikassa. (Thomas, 1991)

Ensimmäiset matemaattiset yhteydet liuoksen konsentraation ja aineen värin välille esittivät Pierre Bouguer vuonna 1728 ja Johann H. Lambert vuonna 1769 toisistaan tietämättä. He esittivät, että valon intensiteetti pienenee eksponentiaalisesti absorboitavassa aineessa. Vasta vuonna 1852 August Beer todisti, että teoria pätee myös liuoksille. Lisäksi hän esitti, että absorboidun valon intensiteetti riippuu liuenneen aineen konsentraatiosta sekä valon kulkemasta matkasta. Heidän keksimänsä yhtälö tunnetaan nykyään nimellä Lambert-Beerin laki. Se on kuvattuna tarkemmin kappaleessa 3.1.2. *Spektrofotometrian teoreettiset perusteet*. Ensimmäinen Lambert-Beerin lakia noudattanut laite oli ns. ”Color comparator” eli väriä vertaava laite. 1800-luvun lopulla konsentraation määrittämiseen käytettiin myös Jules Dubosqin kehittämää kolorimetrejä ja Nesslerin putkia. Kolorimetrinen määrittäminen ja Nesslerin putkien käyttäminen perustui värisävyn silmämääräiseen arvioon. (Hudson, 1995)

Vuonna 1885 J. J. Balmer tutki vedyn spektriä ja havaitsi alkuaineiden emittoivan valoa kullekin alkuaineelle ominaisilla aallonpituuksilla. Havaintonsa perusteella Balmer kehitti matemaattisen yhtälön, joka kuvasi vedyn emittoimia aallonpituuksia. Yhtälö tunnetaan nimellä Balmerin sarja. (Thomas, 1991) Yleisemmälle tasolle soveltuvaksi yhtälön muokkasi Johannes Rydberg ja kaava sai muodon

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[\left(\frac{1}{n^2} \right) - \left(\frac{1}{m^2} \right) \right], \quad (1)$$

missä m, n ovat vedyn elektronikuoria, $m, n \in \mathbb{Z}, m > n$. λ on emittoitu aallonpituus ja R_H on Rydbergin vakio. (Thomsen, 2006)

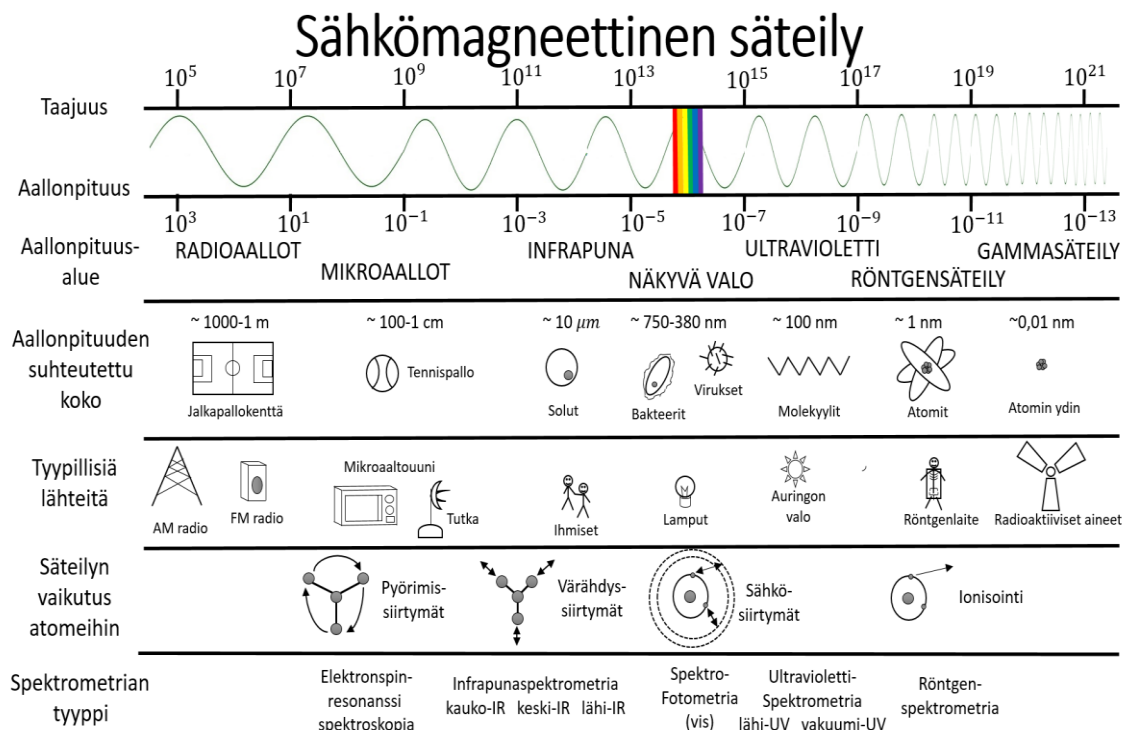
Yhteyttä matemaattisen teorian ja atomin rakenteen välillä ei kuitenkaan osattu selittää ennen vuotta 1913, jolloin Niels Bohr kuvasi atomin rakenteen elektronikuorien avulla. Bohrin atomimallin syntymiseen vaikuttivat myös vuonna 1900 Max Planckin kuvaama valon kvanttiluonne sekä Albert Einsteinin vuonna 1905 selittämä valosähköinen ilmiö. (Quack, 2011).

Ensimmäisten spektrofotometrien rakentamista vauhditti valokennojen keksiminen 1930-luvulla. Valokennot toimivat ilmaisimina ensimmäisissä absorptiota mittaavissa laitteissa. (Thomas, 1991) Toisen maailmansodan synnyttämät tarpeet kiihdyttivät nykyaikaisten laboratoriotekniikoiden kehittämistä. Nopeita ja tarkkoja analyyseja tarvittiin muun muassa sotavarusteiden kumin syntetisointiin, pommien valmistamiseen, penisilliinin valmistamisessa, ja a-vitamiinin valmistamisessa. National Technical Laboratories valmisti ensimmäisen UV-valolla toimivan spektrofotometrin. (Mukhopadhyay, 2008) Vuonna 1948 markkinoille saapui ensimmäinen kaupallinen spektrofotometri (Burns, 1975).

Nykyaikaisten spektrofotometrit koostuvat mallista riippuen samanlaisista perusosista kuin 1930-luvulla ensimmäiset absorptiota mittaavat laitteet. (Altemose, 1986; Christian, 2003) Merkittävä muutos spektrofotometrien toiminnassa tapahtui 1970-luvulla kun mikroprosessorit keksittiin. Ne mahdollistivat esimerkiksi siirtymisen automaattiseen aallonpituusalueen valintaan ja spektrin reaaliaikaisen piirtämisen paperille. Lisäksi eri osia on paranneltu erilaisilla materiaaleilla esimerkiksi tai rakenteellisilla muutoksilla, kuten monokromaattorissa prismat on korvattu hiloilla. Myös suoritettava analyysi vaikuttaa laitteen ja sen rakenteen valintaan. Kehitys on lisännyt laitteiden luotettavuutta, tarkkuutta, helppokäyttöisyyttä ja pienentänyt niiden kokoa. (Altemose, 1986) Nykyään laboratorioissa käytetään tavallisimmin yksisädespektrofotometrejä, kaksisädespektrofotometrejä, diodirivispektrofotometrejä (Czegan & Hoover, 2012) ja nanospektrofotometrejä (esim. Craic Technologies, 2012 ja Thermo Scientific, 2013).

3.1.2. Spektrofotometrian teoreettiset perusteet

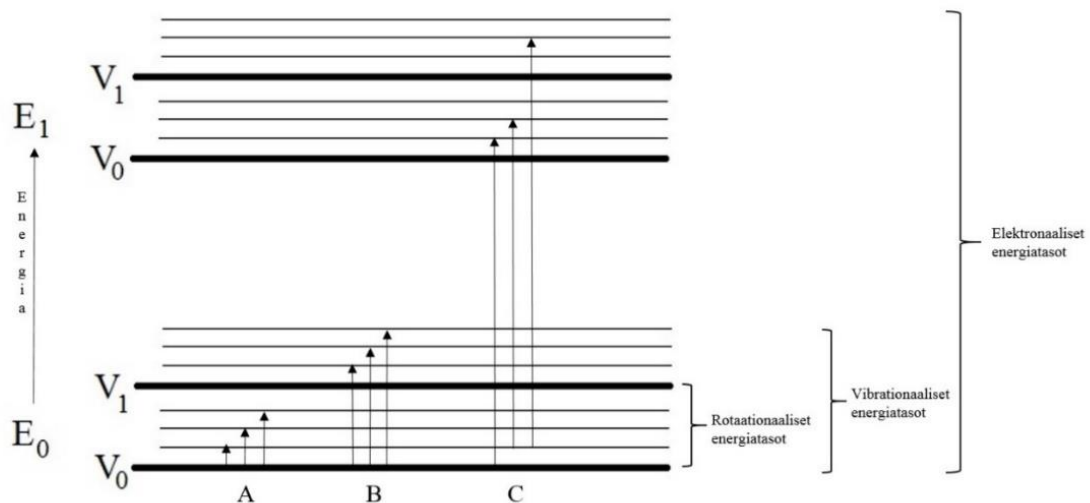
Spektrofotometrien toiminta perustuu aineen vuorovaikutukseen sähkömagneettisen säteilyn kanssa näkyvän valon ja ultraviolettisäteilyn alueella. (kuva 3) Nimi viittaa menetelmän perusteisiin eli fotonien energian siirtymisen tutkimiseen. Laitteen ilmoittama absorbanssi tai transmittanssi lasketaan Lambert-Beerin lain avulla. (Christian, 2003)



Kuva 3: Sähkömagneettisen säteilyn spektrin aallonpituus vaihtelee mikrometreistä muutamisiin metreihin. Näkyvän valon alue sijaitsee 350–700 nm kohdalla ja on suhteellisen pieni osa spektristä. (Christian, 2003)

Sähkömagneettinen säteily on valon nopeudella kulkevaa sähkömagneettista aaltoliikettä, jolla on myös hiukkasten ominaisuuksia (IUPAC, 1997). Sähkömagneettista säteilyä kuvataan aallonpituuden tai taajuuden avulla. Sähkömagneettisen säteilyn spektri on jatkuvaa läpi tunnettujen aallonpituusalueiden. (Christian, 2003) Eri taajuiset aallot sisältävät eri määrän energiaa ja vaikuttavat siksi eri tavoin aineiden kanssa. (kts. kuva 3 säteilyn vaikutus atomeihin) Monokromaattinen säteily koostuu vain yhden aallonpituuden omaavasta säteilystä. (Kaur, 2010)

Vuorovaikutusta, jossa sähkömagneettinen säteily luovuttaa energiaa aineelle ja aineen atomien energiatasot virittyvät korkeammalle tasolle kutsutaan absorptioksi. (kuva 4) Emissioksi kutsutaan tapahtumaa, jossa aine luovuttaa energiaa säteilynä atomin viritystilan purkautuessa. Atomin virittyminen on mahdollista kolmen erilaisen prosessin kautta. Niitä kutsutaan rotaatio- (pyöriminen), vibratio- (värähdys), ja elektronisiksi (sähköinen) siirtymiksi. (kuva 3, säteilyn vaikutus atomeihin) Eri prosessit vaativat eri määrän energiaa tapahtuakseen ja ne vaikuttavat myös muodostuvan spektrin ulkonäköön. Näkyvän valon ja UV-alueen säteily sisältää enemmän energiaa kuin IR- tai mikroaaltosäteily, joten sen spektri on näistä 'epäselvin' ja yleensä loivasti aaltoileva kuvaaja. Atomin viritystilan purkautuminen voidaan havaita myös valona, jolloin kyse on luminesenssista. Fosforenssi ja fluoresenssi ovat myös luminesenssin muotoja. (Christian, 2003)



Kuva 4: Atomin värähdys-, pyörimis- ja sähkösiirtymät kuvattuna elektronien liikkeenä atomin energiatasoilla. (Christian, 2003)

Absorbanssin mittaaminen perustuu Lambert-Beerin lakiin (Christian, 2003; Mayers, 2000). Yhtälö kertoo logaritmisuhteen valon säteilytehon (P_{λ}^0) ja lähetetyn eli alkuperäisen valon säteilytehon (P_0) välillä aallonpituudella λ . Numeerista arvoa nimitetään absorbanssiksi (A) ja se lasketaan kaavalla:

$$A = \log_{10} \left(\frac{P_{\lambda}^0}{P_0} \right) = \epsilon c l = -\log T, \quad (1)$$

missä ϵ on molaarinen absorptiokerroin, c on konsentraatio ja l on valon liuoksessa kulkema matka. (IUPAC, 1997)

Mikäli valon kulkema matka liuoksessa on vakio, liuoksen konsentraation ja absorbanssin välinen suhde on lineaarinen eli absorbanssin ja konsentraation arvoista muodostuu suora. Jokaisella aineella on oma molaarinen absorptiokertoimensa, joka kuvaa aineen absorptiokykyä. (Meyers, 2000) Molaarisen absorptiokertoimen arvoon vaikuttaa myös liuotin. Säteilytehon (P) tilalla voidaan käyttää myös intensiteettiä (I). (Higson, 2004) IUPAC:in määritelmän mukaan säteilyn intensiteetillä tarkoitetaan säteilytehoa kaikilla aallonpituuksilla muuttumattomalla kulmalla Ω .¹ Sen yksikkö on $W\ sr^{-1}$. Lambert-Beerin laki on voimassa vain käytettäessä pieniä konsentraatioita ja monokromaattista säteilyä. (IUPAC, 1997)

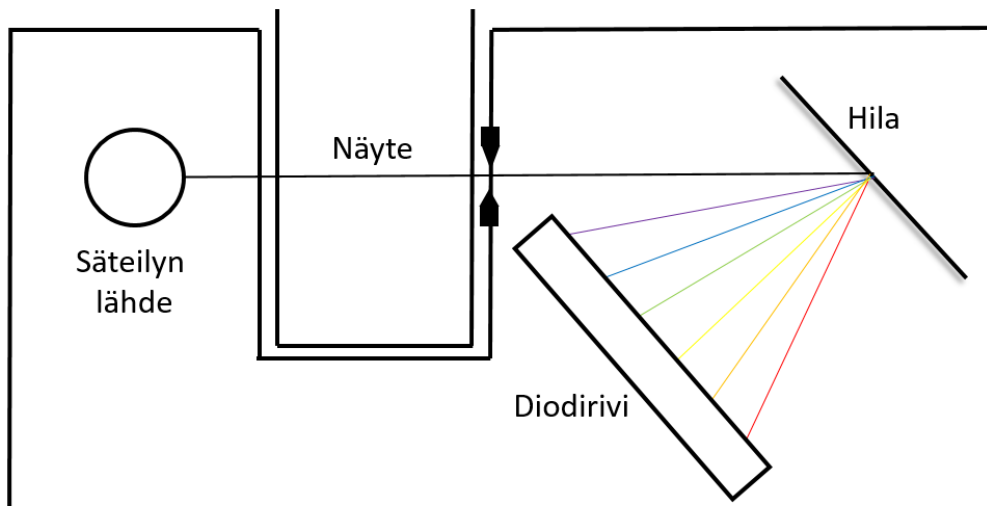
3.1.3. Toiminta

Spektrofotometrit koostuvat tyypillisesti valonlähteestä, monokromaattorista, näytetilasta, detektorista eli ilmaisimesta ja digitaalisesta näytöstä tai tietokoneesta (Christian, 2003). (kuva 5) Näistä monokromaattorin tehtävänä on suodattaa halutun aallonpituuden mukaista eli monokromaattista säteilyä. Näytteen läpäissyt säteily mitataan detektorilla, joka muuttaa sähkömagneettisen säteilyn elektronien liikkeeksi, joka voidaan mitata sähkövirtana tai jännitteenä. Esimerkiksi yksi- ja kaksisädespektrofotometrien rakenne noudattaa tätä järjestystä. Näistä kaksisädespektrometri on hieman tarkempi, koska siinä laite voi korjata tuloksia automaattisesti referenssikyvettä ja näytteen P/P_0 suhteesta. (Higson, 2004)



Kuva 5: Spektrofotometrin tyypillinen rakenne. (Christian, 2003)

Kouluissa voi kuitenkin olla järkevämpi käyttää moderneja, pienikokoisia, nopeita ja edullisia diodirivispektrometrejä. (Czegan & Hoover, 2012) Niiden rakenne eroaa tavallisista spektrofotometreistä huomattavasti, koska niissä polykromaattinen valo läpäisee näytteen. (kuva 6) Sen jälkeen säteily erotellaan polykromaattorissa dispersioivan hilan avulla diodirividetektorille, joka pystyy mittaamaan yhtä aikaa koko näkyvän valon spektrin. (Gaertner, Yoon & Germer, 2014) Nauhoitettu spektri viedään ulkoiselle tietokoneelle. Laitteen resoluutio riippuu käytetyn diodirivin koosta. (Christian, 2003)



Kuva 6: Diodirivispektrofotometrin rakenne. Diodirividetektorin avulla koko spektri voidaan kuvata yhtäaikaaisesti. (Gaertner et al., 2014)

3.1.4. Sovelluksia

Spektrofotometrialla on lukemattomia erilaisia sovelluksia erilaisissa tutkimuksissa ja teollisuudessa, esimerkiksi ruoan laadun valvonnassa, rikostutkimuksessa, kliinisessä kemiassa, satelliittimittauksissa, ilmanlaadun valvonnassa ja prosessianalytiikassa. Spektrofotometriaa käytetään hyödyksi myös muiden analyysilaitteiden detektoreina, kuten esimerkiksi kromatografisesti erotettujen analyyttien identifioinnissa. (Christian, 2003)

Erilaisissa satelliittimittauksissa UV-Vis-aallonpituuksia käytetään hyödyksi avaruuden tutkimiseen ja kuvantamiseen. Sen lisäksi niiden avulla saadaan tietoa myös maapallon tilasta. (Bruegge et al., 2014) Esimerkiksi vuonna 2004 avaruuteen lähetetty suomalais-hollantilainen OMI-mittauslaitteen avulla kerätään tietoa ilmakehän koostumuksesta ja ilmanlaadusta (Ilmatieteenlaitos, 2005).

Lääketieteessä spektrofotometrian käytöllä on pitkät perinteet, mutta sovellusten määrä on hieman laskenut uusien ja tehokkaampien menetelmien syntymisen myötä. Nykyään sitä käytetään lähinnä pitoisuuksien määrittämisessä. Erilaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi entsyymien reaktionopeuden analysointi, kolorimetriset analyysit, porfyriinin määrittäminen, proteiinien analysointi ja hemoglobiinin mittaaminen. (Meyers, 2000)

Rikostutkimuksessa spektrofotometria soveltuu erilaisten kuitujen ja hiusnäytteiden vastaavuuden selvittämiseen eli tutkimuskohteen värin analysointiin. Lisäksi sen avulla voidaan selvittää asiakirjojen aitoutta ja laillisuutta, tuntemattoman aineen rakenne ja erilaisten seosten pitoisuuksia. (Houck & Siegel, 2015)

Ruoan laadun valvonnassa UV-Vis-spektrometriaa käytetään yleensä ruoan värin analysointiin. Värin perusteella voidaan arvioida esimerkiksi valkoviinien ja ruokaöljyjen laatua. (Whitworth, 2015) Myös sokeripitoisuutta voidaan mitata spektrofotometrillä (Nawrocka & Lamorska, 2013).

Prosessianalytiikassa spektrofotometriaa on käytetty jo yli 60 vuoden ajan. Se mahdollistaa reaaliaikaisen tuotantotehokkuuden, ympäristöpäästöjen seurannan ja turvallisuuden. UV-Vis-analysaattoreilla valvotaan esimerkiksi rikkidioksidin (SO_2) ja typpioksidien (NO_x), sekä elohopean, aromaattisten yhdisteiden ja halogeenipäästöjä, sekä raakaöljyn jalostuksessa Clausin prosessia. Spektrofotometrillä voidaan seurata myös aineiden konsentraatiota, kuten antibioottien valmistuksessa ja paperiteollisuudessa tehdään. (Meyers, 2000)

3.2. Spektrofotometrian opettaminen lukioissa

Spektrofotometrian opettamisessa lukiotasolla on yleensä käytetty avuksi mittaussautomaatiota, kuten esimerkiksi COMBLAB-projektin kasvihuoneongelma-työssä. (kts. Kemianluokka Gadolin) Tämä on melko ilmeistä, koska spektrofotometri on laite, joka antaa meille reaaliaikaista tietoa erilaisista pitoisuuksista tai aineista, riippuen siitä mitä määritämme. Erilaiset mittaussautomaatiolaitteet ovat kuitenkin hintaluokaltaan melko kalliita opetuskäyttöön, eikä kaikilla kouluilla ole varaa sellaisia hankkia. Lisäksi spektrofotometrin toiminta saattaa helposti jäädä ymmärtämättä, koska ulkopuolelta se on vain ”laatikko” (Tavener & Thomas-Oates, 2007).

Opetuskäyttöön hieman edullisemman spektrofotometrin ovat kehittäneet Albert, Todt ja Davis (2012), joiden spektrofotometri rakennetaan Legoista ja fotodetektoreista. Hieman myöhemmin Asheim et al. (2014) kehittivät tätä spektrofotometriä niin, että sen voi rakentaa Legoista ja LED-lampuista. Myös Tavener ja Thomas-Oates (2007) ovat esittäneet ohjeet edullisen spektrofotometrin rakentamisesta elektroniikkakomponenteista. Tällaisilla spektrofotometreillä pystytään tutkimaan absorbanssia kouluoloissa helposti ja edullisesti. Esimerkiksi Delgado, Quintero-Ortega ja Vega-Conzalez (2014) ovat tutkineet kemian opetuksessa reaktiokinetiikkaa itse rakennetun spektrofotometrin kanssa.

3.2.1. Spektrofotometria lukion opetussuunnitelman perusteissa 2015

Uudet nuorille tarkoitetun lukion opetussuunnitelman perusteet 2015 astuvat voimaan porrastetusti 1.8.2016 alkaen. Kemian toisella kurssilla, Ihmisen ja elinympäristön kemiaa (KE2), keskeisenä sisältönä ovat aineen rakenteen analyysimenetelmät. Näistä esimerkkinä on mainittu spektroskopia. (Opetushallitus, 2015) Näkyvän valon alueen tutkimiseen keskittyminen toimii hyvänä vaihtoehtona spektrometriaan tutustumiseksi, koska se on meille kaikille jokapäiväiseen elinympäristöön liittyvä ilmiö. Lisäksi spektrofotometrit ovat yleensä edullisempia kuin muut analyttiset mittausslaitteet ja sellaisen voi rakentaa helposti myös itse, kuten edellä esitettiin.

Spektrofotometrian voi sisällyttää myös saman kurssin tavoitteeseen orgaanisten yhdisteiden, ainemäärän ja pitoisuuden kokeellisesta tutkimisesta. (Opetushallitus, 2015) Uusimmat UV-Vis-diodirivispektrofotometrit tarjoavat useimpiin analyysilaitteisiin nähden edullisen ja kompaktin tavan analysoida aineiden rakenteita ja pitoisuuksia mittaussautomaatiota hyödyntäen. (Czegan & Hoover 2012) Kokeellinen tutkimus itsessään sisältyy vahvasti kemian opetussuunnitelmaan ja sen tulee tukea ”käsitteiden omaksumista

ja ymmärtämistä, tutkimuksen taitojen oppimista ja luonnontieteiden luonteen hahmottamista”. Lisäksi kokeellinen työskentely kehittää yhteistyön, itsenäisen työskentelyn, luovan ja kriittisen ajattelun taitoja, sekä innostaa opiskelijoita kemian opiskeluun. (Opetushallitus, 2015)

3.2.2. Mittausautomaation käyttäminen opetuksessa

Mittausautomaatiolla (eng. Microcomputer-based laboratory, MBL) tarkoitetaan tietokoneeseen liitettävää pienikokoista mittauslaitetta, jolla voidaan kerätä reaaliaikaista tietoa tutkittavasta kohteesta. Kemiassa sillä voidaan tutkia esimerkiksi lämpötilan vaihtelua, reaktion nopeutta, ja pH:n muutoksia. (Novak & Krajick, 2004) Tässä tutkimuksessa keskitytään tutkimaan sen avulla valon absorboitumista.

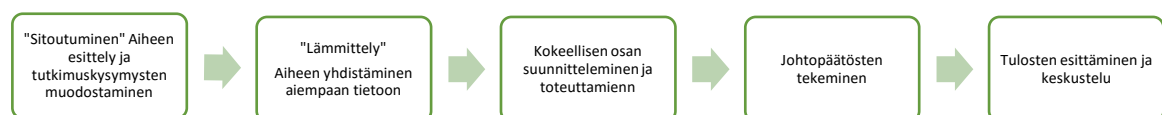
Mittausautomaation käyttämisellä opetuksessa on lukuisia hyötyjä. Se mahdollistaa aikaisemmilla tekniikoilla mahdottomien mittauksien suorittamisen. (Nakhleh, Polles & Malina, 2002) Se on helposti liikuteltavissa pienen kokonsa puolesta, joten sillä voidaan tutkia koulun ulkopuolella havaittavia ilmiöitä. Mittaus tapahtuu nopeasti ja tarkasti. Järjestelmä varastoi, näyttää ja analysoi monipuolisesti mittaustuloksia. Toistomittausten tekeminen on myös huomattavan helppoa ja nopeaa. (Lavonen et al., 2003) Laitteiden on tutkittu olevan myös helppokäyttöisiä ja niiden käyttö vähentää mekaanista työskentelyaikaa. Lisäksi sen avulla voidaan vähentää kemikaalien kulutusta ja näin ollen myös jätteen määrää, joka tukee vihreän kemian periaatteita.

Mittausautomaation käyttäminen tukee myös tutkimuksellista lähestymistapaa. Se tarjoaa aikaa säästäviä menetelmiä, jolloin opetuksessa voidaan keskittyä tutkimisen taitojen opetteluun. Ajan säästäminen mahdollistaa opiskelijoiden keskustelun, suunnittelun ja vastuunottamisen lisäämisen. (Domin 1999) Mittausautomaation avulla opiskelijat voivat keskittyä kuvaajan piirtämisen sijaan kuvaajan tulkitsemiseen. Lisäksi mittausautomaation avulla tutkiminen muistuttaa oikeiden tiedemiesten työtä, ja opiskelijat voivat vertailla kemiallista reaktiota samanaikaisesti kuvaajan piirtymisen kanssa. Yleensä myös tutkimustiedon esittämisen tapaa voidaan muuttaa. Suunnittelemalla omaa tutkimusta, muodostamalla hypoteeseja, analysoimalla tietoa, tekemällä johtopäätöksiä ja esittämällä tuloksia opiskelijat harjoittelevat tutkimisen taitoja ja saavat varmuutta omista kyvyistään. (Aksela, 2003) On esitetty myös, että mittausautomaation käyttäminen mahdollistaa entistä omatoimisemman ja itsenäisemmän työskentelyn, sekä kiinnostavammat tutkimuskohteet,

mikä puolestaan sitouttaa opiskelijoita kemian opiskeluun. Mittausautomaatio tukee mielekästä kemian opiskelua ja tarjoaa mahdollisuuksia kehittää korkeamman tason ajattelun taitoja, sekä lisätä kemian ymmärtämistä. Oppimistulosten kasvamisen uskotaan johtuvan reaaliaikaisen kuvaajan tutkimisesta ja opiskelijoiden ajattelun laadun kasvattamisesta (Aksela, 2005).

Opetuskäytössä keskeisintä on mittausautomaatiota sisältävän aktiviteetin kunnollinen suunnittelu (Aksela, 2005). Suunnittelussa on hyvä huomioida tehtävän tavoitteet, keskusteluun varatun ajan riittävyys, oppilaan ja opettajan väliset keskustelut (Aksela, 2005; Lavonen et al., 2003). Tavoitteita mittausautomaatiotyölle voivat olla esimerkiksi ilmiön kuvaileminen kuvaajan avulla, ilmiön ja kuvaajan yhteyden selittäminen, muuttujien tunnistaminen, muuttujien suhteiden selittäminen, kuvaajien tulkitseminen teorian avulla, teorian todistaminen mittausautomaation avulla ja ennustusten tekeminen kerätyn tiedon avulla. Aktiviteetin tavoitteet riippuvat kontekstista. Erityistä huomaavaisuutta tulisi käyttää, mikäli oppilaat käyttävät mittausautomaatiolaitteita ensimmäistä kertaa (Tortosa et al., 2014). Opettajan rooli on ohjata opiskelijoita käyttämään korkeamman tason ajattelutaitoja kohti oppimistavoitteita. (Aksela, 2011)

Eräänlainen malli mittausautomaatiotöiden käyttämiseen kehitettiin osana kansainvälistä COMBLAB-projektia. Siinä oppilastöiden tutkimuksellisen ja mittausautomaatiota hyödyntävän opetustavan pohjana käytettiin viisivaiheista mallia. (kuva 9) Opiskelijoiden johdattelu aiheeseen ja tutkimuskysymykseen alkoi ensimmäisessä sitouttavassa osassa. Sen jälkeen lämmiteltiin opiskelijoiden taustatietoja kartoittamalla. Keskeisessä vaiheessa suunniteltiin ja toteutettiin kokeellinen osuus. Kerätty tutkimustieto analysoitiin ja tehtiin johtopäätökset. Viimeinen vaihe oli tulosten esitleminen ja keskustelu. Tutkimuksen mukaan opiskelijat kokivat mittausautomaation käyttämisen hyödylliseksi ja se auttoi heitä tulosten analysoimisessa ja esittämisessä. (Tortosa et al. 2014)



Kuva 7: COMBLAB-projektin malli mittausautomaatiotöiden hyödyntämiseen opetuksessa. (Tortosa et al. 2014)

3.3. Tutkimisen taidot oppimistavoitteena

Luotettava tieto ympäröivästä maailmastamme perustuu tieteellisen tutkimuksen tekemiseen. Opetuksessa tieteellistä tutkimuksella on kolme tavoitetta: lisätä opiskelijoiden ymmärtämistä tieteellisen tiedon luonteesta, lisätä tietoa tutkimuksen tekemisestä ja lisätä kykyä tutkia. (NRC, 2000) Merkittävässä osassa 2000-luvun taitoja on tieteellisen tiedon luonteen ymmärtäminen ja tutkimuksen tekeminen. (esim. P21) Kemian opetuksessa valmiuksia työelämässä ja vapaa-ajalla tarvittaviin tutkimus- ja teknologiataitoihin voidaan edistää kehittämällä opiskelijoiden tutkimisen taitoja. (Hofstein & Lunetta, 2003)

3.3.1. Tutkimuksellisuus lukion opetussuunnitelman perusteissa

Lukion opetussuunnitelman perusteissa 2015 tutkimisen taidot ja tutkimuksellisuus esiintyvät opetuksen tavoitteissa useaan otteeseen sekä, alun yleisissä osioissa, että kemian opetusta tarkastelevassa osiossa. Lukiokoulutuksen tehtävänä on vahvistaa laaja-alaista yleissivistystä, joka koostuu arvoista, tiedoista, taidoista, asenteesta ja tahdosta. Tutkimuksellisuudella ja tutkimisen taitojen harjoittelulla tavoitellaan tietojen ja taitojen yhdistämistä, mikä voi johtaa asenteiden, arvojen ja tahdon muutoksiin. Luonnollisena osana tutkimuksellisuuteen kuuluu myös kriittisen ajattelun ja yhteisöllisen työskentelyn opettelu. Kriittinen, luova ja itsenäinen ajattelu, sekä yhteisöllinen ja vastuullinen työskentely ovat tieteellisen tutkimuksen ominaispiirteitä. Kemian opetuksen tavoitteena on myös syventää kiinnostusta tieteitä kohtaan ja kehittää valmiuksia työelämään. Opetuksen arvot pohjautuvat osallisuuden, yhteisöllisyyden ja toimijuuden korostamiseen kaikessa lukion toiminnassa. (Opetushallitus, 2015)

Kemian oppiainekohtaisissa sisällöissä tutkimuksellisuus ja tutkimisen taidot tulevat esille yleisten tavoitteiden ja arvoperustan lisäksi jokaisen kurssin kohdalla. (taulukko 1) Tutkimisen taitoja on jaettu jokaisen kurssin keskeisiin sisältöihin. Ensimmäisellä kurssilla, *Kemiaa kaikkialla*, on nostettu tavoitteeksi kysymysten esittäminen ja aineen ominaisuuksien tutkiminen, havainnointi ja johtopäätösten tekeminen. Toisella kurssilla, *Ihmisen ja elinympäristön kemia*, oppilaan tulisi ymmärtää kemiallisen tiedon kokeellinen luonne ja perehtyä kokeellisen tutkimuksen tekemiseen. Tutkimustulosten käsitteleminen, tulkitseminen ja esittäminen nostetaan esille keskeisissä sisällöissä kolmannella eli *Reaktiot ja energia* -kurssilla. Neljännellä kurssilla, *Metallit ja teknologia*, harjoitellaan tutkimuksen ja ongelmanratkaisun suunnittelua ja tarkastellaan yhteistyön roolia. Lisäksi arvioidaan tutkimuskirjallisuuden luotettavuutta. Viidennellä eli viimeisellä kurssilla, *Reaktiot ja tasapaino*, keskitytään tutkimustulosten ja prosessin arviointiin. Tieto- ja

viestintäteknologian käyttöä opetuksen apuvälineenä painotetaan useilla kursseilla. (Opetushallitus, 2015)

Taulukko 1: Tutkimisen taidot lukion opetussuunnitelmassa 2015

Tutkimisen taidot lukion opetussuunnitelmassa (2015)	
Opetuksen yleisissä tavoitteissa	- Osaa suunnitella ja toteuttaa kokeellisia tutkimuksia - Yhteistyötaitojen harjoittelu - Osaa tehdä ennusteita kemiallisista reaktioista - Osaa ilmaista johtopäätöksiä - Osaa käyttää ja arvioida kriittisesti tietolähteitä - Ymmärtää luonnontieteellisen tiedon luonnetta
KE1: Kemiaa kaikkialla	- Kysymysten esittäminen tiedonhankinnan lähtökohtana - Kokeellinen tutkiminen
KE2: Ihmisen ja elinympäristön kemia	- Kokeellisen tutkimuksen ja mallinnuksen vaikutuksen ymmärtäminen kemiallisen tiedon rakentumiseen - Kokeellinen tutkiminen
KE3: Reaktiot ja energia	- Tutkimustulosten käsitteleminen ja tulkitseminen - Tutkimustulosten esittäminen - Kokeellinen tutkiminen
KE4: Metallit ja teknologia	- Tietolähteiden luotettavuuden tarkastelu - Tutkimuksen ideointi ja suunnittelu - Yhteistyön rooli tutkimuksessa - Kokeellinen tutkiminen
KE5: Reaktiot ja tasapaino	- Tutkimustulosten analysointi - Tutkimusprosessin arviointi - Kokeellinen tutkiminen

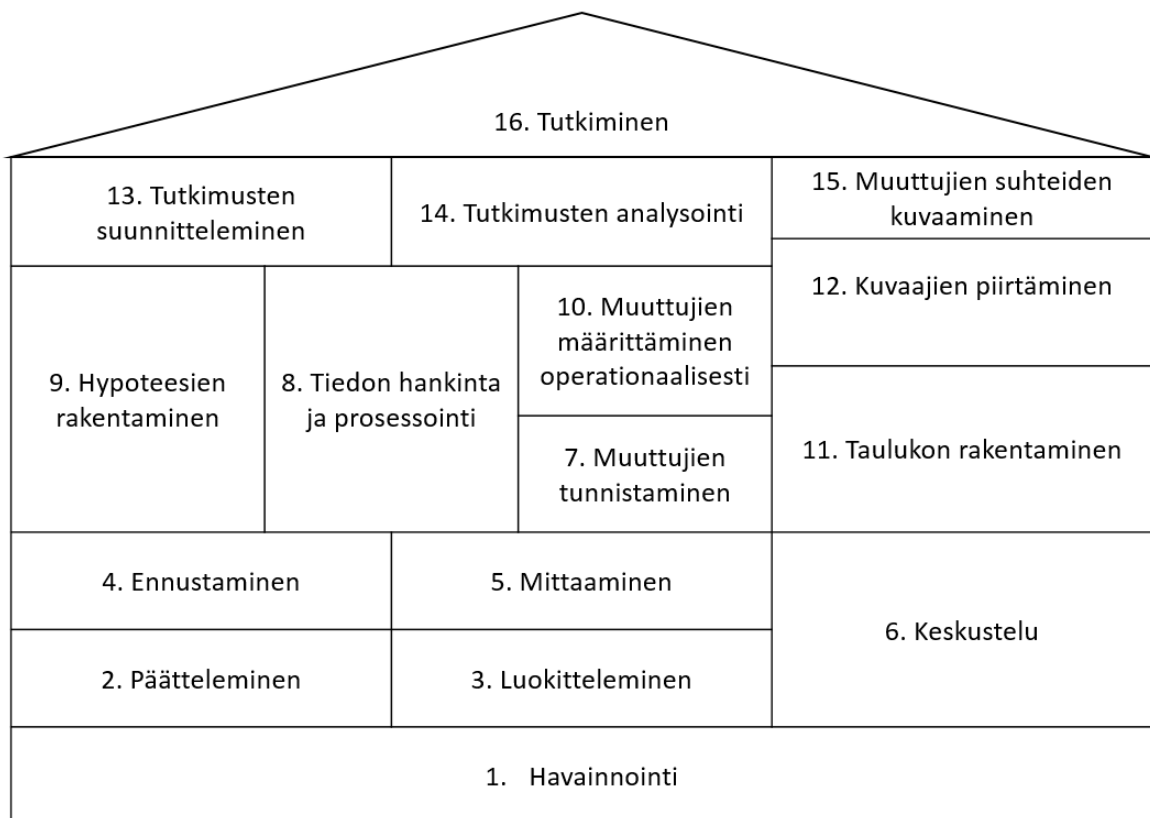
Tutkimuksellisuuden voidaan katsoa kuuluvaksi myös opetukselle asetettuihin yhteisiin aihekokonaisuuksiin ”*Aktiivinen kansalaisuus, Hyvinvointi ja turvallisuus, sekä teknologia ja yhteiskunta*” (Opetushallitus, 2015). Tutkimuksellisuuden avulla pyritään vaikuttamaan opiskelijan taitoihin ja niiden kautta myös toimintaan. Kokemusten kautta opiskelija ymmärtää oman toimintansa seuraamuksia, mikä auttaa aktiiviseksi kansalaiseksi kehittämisessä. Kemian osaaminen on sidoksissa nyky-yhteiskunnan turvallisuuteen ja ihmisten hyvinvointiin monin tavoin. Sen tutkimuskohteisiin tutustuminen auttaa opiskelijaa hahmottamaan yhteiskunnan toimintaa ja rakentamaan opiskelijan omaa maailmankuvaa luonnontieteellisestä näkökulmasta. Tutkimalla kemian sovelluksia ei voi olla törmäämättä teknologian käyttämiseen, koska nopeiden ja luotettavien mittaustuloksien suorittamiseksi on usein käytettävä erilaisia analyysilaitteita. Voidaan sanoa, että nykyaikainen laboratoriokulttuuri vaatii teknologian hyödyntämistä tutkimuksessa (Mukhopadhyay, 2008).

3.3.2. Tutkimisen taidot (eng. Science process skills, SPS tai Inquiry Skills)

Tutkimisen taidolle luonteenomaista on, että niitä ei voi oppia ilman tutkimuksen tekemisen harjoittelemista. (esim. Abrams, Southerland & Evans, 2008; Hofstein, Shore & Kipnis, 2004; NRC, 2000) Karkeasti tarkasteltuna tutkimisen taidot voidaan jakaa tutkimuksen tekemisen vaiheiden mukaan kysymysten esittämiseen, hypoteesien muodostamiseen, tutkimusmenetelmän suunnitteluun, tiedon keräämiseen ja analysointiin, johtopäätösten tekemiseen ja raportin kirjoittamiseen, sekä tulosten esittämiseen. (esim. Ketelhut 2007, LOPS 2015; NRC, 2000)

Tutkimiseen tarvittavia taitoja on kuitenkin enemmän kuin tutkimuksen vaiheita ja tiedon ymmärtämisen taustalla olevat prosessitaitoja on esimerkiksi havainnointi, keskustelu ja tulosten analysointi. Kirjassaan *'Learning and Assessing Science Process Skills'* kirjoittajat Rezba, Sprague, McDonnough ja Matkins kuvaavat yhteensä 16 tutkimisen taitoa. (taulukko 2) Taidot ovat toisistaan riippuvaisia, mutta niiden tarkasteleminen yksittäisinä auttaa kehittämään opetusta. Perustason tutkimisen taitoja ovat havainnointi, päättely, luokittelu, ennustaminen, mittaaminen ja keskustelu. Hieman vaativampia, integroivia tieteen tekemisen taitoja ovat muuttujien tunnistaminen, tiedon hankinta ja prosessointi, hypoteesien rakentaminen, muuttujien määrittäminen operationaalisesti, taulukon rakentaminen, kuvaajien rakentaminen, tutkimusten suunnittelu ja analysointi, muuttujien suhteiden kuvaaminen ja tutkiminen. Myös Padilla (1990) on kuvannut ja tutkinut samankaltaisia prosessitaitoja. Hänen esittämänsä prosessitaidot eroavat integroivien prosessitaitojen kohdalla luokittelemalla taidot isommiksi kokonaisuuksiksi. Lisäksi Padilla on kuvannut mallien luomisen yhdeksi integroivista prosessitaidoista. Rezban et al. (2007) ja Padillan (1990) kuvaamat prosessitaidot tulevat esille myös esimerkiksi Amerikan Tiedeopetuksen perusteissa. (Lederman, Abell & Akerson, 2008) Niiden avulla kuvataan mitä tutkimisen taitoja opiskelijoilla tulisi olla ikäryhmänsä perusteella. Muutoin jaottelu noudattaa tieteen tekemisen rakennetta.

Taulukko 2: Tutkimisen taidot kirjassa *Learning and Assessing Science Process Skills 5.ed.* Taidot 1-6 ovat perustaitoja ja 7-16. integroituja tutkimisen taitoja. (Rezba et al., 2006)



Tutkimisen taitojen harjoittelu on tärkeää, koska tieteellisen tutkimuksen tekeminen vaatii sekä tiedollisia että taidollisia valmiuksia. (NRC, 1996) Taidolliset valmiudet parantavat opiskelijoiden suoriutumista 2000-luvun muuttuviin olosuhteisiin. (esim. P21) Tämä saattaa osaltaan johtua siitä, että tutkimisen taitoja kehittämällä voidaan parantaa oppilaan itsekyvykkyyttä. Itsekyvykkyys on yhteydessä oppilaan selviytymiseen haastavista ongelmanratkaisutilanteissa arkielämässä ja tieteellisissä tehtävissä. Itsekyvykkyuden lisäämisen uskotaan sitouttavan oppilaita tieteiden opiskeluun ja niissä pärjäämiseen. (Ketelhut, 2007) Lisäksi on esitetty, että tutkimisen taitojen opettelu parantaa oppilaan elämäkuvaa. Ainakin se auttaa oppilasta omaksumaan tieteellisen tarkastelutavan, sekä ymmärtämään tieteellisen tiedon luonnetta. (Williams et al. 2004) Myös opiskelijan kiinnostus ja oppiminen paranevat kehittämällä tutkimisen taitoja (Nelson & Ketelhut, 2007). Tutkimisen taitojen avulla oppilaat pystyvät myös paremmin tulkitsemaan tieteellistä kirjallisuutta, oppimaan tieteitä helpommin ja yhdistelemään sitä omaan elämäänsä, osallistumaan tiedeopetukseen enemmän ja olemaan vastuussa omansa opiskelustaan enemmän. (Schafersman, 1991). Se myös sitouttaa opiskelijoita tieteiden opiskeluun (Hofstein & Lunetta, 2003).

Tutkimisen taidot ovat yhteydessä ajattelun taitoihin, kriittiseen ajatteluun ja ongelmanratkaisukykyyn. Kriittinen ajattelu ja ongelmanratkaisukyky, sekä sosiaaliset taidot mainitaan myös Suomen lukio-opetuksen opetussuunnitelman perusteissa. Tutkimisen taitoihin vaikuttavat myös kommunikaatiotaidot, laboratoriovälineiden käyttötaidot, teknologian käyttötaidot, menetelmien tuntemus, sosiaaliset taidot ja ajahallintakyky. (Lederman et al., 2008) Nelson ja Ketelhut (2007) ovat tutkineet tutkimuksellisuuden vaikutusta itsekyvykkyyden tuntemiseen ja tutkimisen taitoihin. He ovat saaneet viitteitä myös käsitteellisen ymmärryksen parantumisesta.

Tyypillisesti prosessitaidot koostuvat päättelykyvystä ja ei-tilannesidonnaisesta tiedosta. Useat tutkijat esittävätkin, että prosessitaitoja tulisi harjoittaa monimenetelmäisesti ja useissa eri tilanteissa (Koslowski, 1996; Kuhn, Garcia-Mila, Zohar & Anderson, 1995). Kemiassa tämä tarkoittaisi sitä, että harjoittaaksemme tutkimisen taitoja, meidän tulisi varmistua myös siitä, että emme opeta ainoastaan tilannesidonnaisia tietoja ja taitoja. Yhtä aihealuetta tai ilmiötä tulisi siis tarkastella monien erilaisten ongelmien kautta. On kuitenkin tutkittu, että asettamalla tutkimisen taitojen harjoittelu opetuksen tavoitteeksi oppilaat myös kehittävät omia tutkimisen taitojansa. Kukaan ei opi tutkimisen taitoja täydellisesti kerralla, vaan harjoittelun tulee olla jatkuvaa. (Padilla, 1990) Tutkimisen taitoja voi harjoitella vain osallistumalla tutkimuksen suorittamiseen. Tällöin puhutaan tutkimuksellisuudesta opetusmenetelmänä. (Abrams et al. 2008)

3.3.3. Tutkimuksellinen oppiminen

Tutkimuksellinen oppiminen on opetusmenetelmä, jolla ei ole tarkkarajaista määritelmää. Määritelmä riippuu vahvasti määrittelijästä ja hänen näkemyksestään tutkimuksellisuuden tavoitteista. Abrams, Southerland ja Evans (2008) tarkastelevat tutkimuksellisuutta kolmen eri oppimistavoitteen mukaan. Jokaisen oppimistavoitteen saavuttaminen vaatii toteutukseltaan eroavan tutkimuksellisuuden järjestämistä. Ensimmäinen oppimistavoite on oppia tutkimuksen tekemisestä (eng. learning about inquiry). Tähän voidaan ajatella kuuluvaksi esimerkiksi tutkimuksen yleisten rakenteiden tai teorioiden hahmottaminen lukemalla tai keskustelemalla. Toinen tutkimuksellisuudelle asetettu oppimistavoite on tutkimaan oppiminen eli tutkimisen taitojen oppiminen suorittamalla oma tutkimus (eng. learning to inquire). Näitä taitoja ei voi opetella ilman varsinaista tutkimuksen tekemistä. Kolmas oppimistavoite on ymmärtää tieteellisen tiedon rakentuminen kokeellisten todisteiden varaan. Tästä voidaan puhua myös sisältötiedon oppimisena (eng. learning science content). Yleisesti tutkimuksellisuutta on kuvattu myös prosessina, joka johtaa tieteellisen maailmankuvan, arvojen, tietojen ja taitojen, sekä luonnontieteille tyypillisen ajattelutavan omaksumiseen. Muutamissa tutkimuksissa tarkastellaan tutkimuksellisuuden vaikutusta päättelykyvyn, argumentaation tai tieteellisen kulttuurin omaksumiseen. (Abrams et al., 2008)

Yleisesti tutkimuksellisuuden käyttämisen uskotaan harjoittavan oppilaan havainnointia, ajattelun taitoja, menetelmätaitoja, arviointikykyä, suunnittelukykyä, oppimistaitoja, kysymysten esittämistä ja tutkimustiedon keräämistä, sekä tapaa tulkita ympäröivää maailmaa ja saada siitä todistettua tietoa. (Abrams et al., 2008) Lisäksi tutkimuksellisuuden avulla voidaan parantaa oppilaiden asenteita tieteitä kohtaan (Chang & Mao, 1999; Gibson 1998). Tutkimuksellisuuden vaikutusta tieteiden oppimiseen on tutkittu useissa eri tutkimuksissa (esim. Marx et al., 2004). Toisaalta on esitetty myös tutkimuksia, joissa merkittävää eroa tutkimuksellisen ja tavallisen kouluopetuksen välillä ei ole havaittu (Abrams et al., 2008). Minner, Lyvy ja Century (2009) esittävät kuitenkin laaja-alaisessa tutkimuskirjallisuuden tutkimuksessaan, että oppilasta osallistavat tutkimukselliset projektit edistävät oppimista paljon paremmin, verrattuna passiivisiin opetusmenetelmiin. Tutkimuksellisuudella uskotaan olevan vaikutusta myös itsekyvykkyyteen, minkä puolestaan arvellaan vaikuttavan oppilaan tieteiden jatko-opiskeluun (Ketelhut, 2007).

Vaikka tutkimuksellisuus koetaan yleisesti opettajien ja tutkijoiden keskuudessa tärkeäksi opetusmenetelmäksi, sitä käytetään opetuksessa harvoin. Tyypillisimpiä syitä tähän ovat tutkimuksellisuuden käsitteen epäselvyys, opettajan epävarmuus tutkimuksellisista työohjeista tai tutkimuksen ohjaamisen hallitsemisesta, luottamuksen puute heikompien oppilaiden selviytymiseen, pitäytyminen faktatiedon opettamisessa ja tarpeesta opettaa tietoa seuraavaa kurssia varten. Colburn (2000) kuvaa artikkelissaan opettajille ohjeita, joita käyttämällä opettajat voisivat vähitellen lisätä tutkimuksellisuuden määrää omassa opetuksessaan. Tutkimuksellista työtä suunnitellessa kannattaa kiinnittää huomiota siihen onko tutkimuskohde oppilaille läheinen, käytetäänkö opiskelijoille tuttuja materiaaleja ja välineitä, onko tutkimuskohde konkreettisesti havainnoitavissa, ja soveltuuko työ oppilaiden taitojen sekä tietojen osaamistasoon. Jos työt ovat liian vaativia, oppilaiden on vaikea omaksua tieteellistä tietoa. Toisaalta jos työt ovat liian helppoja, ne eivät kehitä oppilaan korkeamman tason ajattelun taitoja. Töiden tulisi siis olla kognitiivisesti haastavia, mutta suoritettavissa olevia. (Colburn, 2000)

Tutkimustavoitteiden ja tutkimuksellisen työn haastavuutta voidaan tarkastella Schwabin (1962) tutkimuksellisuuden tasojen mukaan. Schwab kuvaa neljä tutkimuksellisuuden tasoa, joiden haastavuus riippuu tutkimuskohteen, käytettävän tutkimusmetodin ja tutkimustulosten avoimuudesta. Nämä tasot 0-3 on kuvattu taulukossa 3. Schwabin mukaan tutkimuksen tekemisen olennaiset osat ovat kysymysten esittäminen, tutkimustiedon kerääminen ja tulosten analysointi. Vaiheiden haastavuus riippuu siitä, kummalla on vastuu oppimistilanteesta.

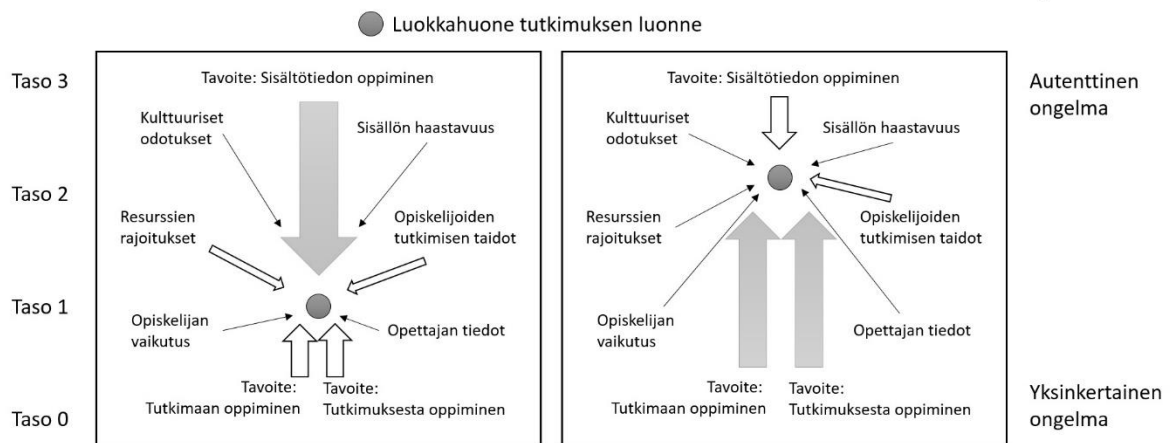
Tutkimuksellisuuden tasot (Schwab, 1962)			
	Tutkimusaihe	Tutkimusmenetelmä	Tulokset
Taso 0	Opettajan valitsema	Opettajan valitsema	Opettajan tiedossa
Taso 1	Opettajan valitsema	Opettajan valitsema	Avoin
Taso 2	Opettajan valitsema	Avoin	Avoin
Taso 3	Avoin	Avoin	Avoin

Taulukko 3: Tutkimuksellisuuden tasot Schwabin (1962) mukaan.

Schwabin tutkimuksellisuuden tasot ovat samansuuntaiset kuin Colburnin (2000) kuvaamat tutkimuksellisuuden muodot: suljettu, ohjattu ja avoin tutkimus. Näistä ensimmäinen on niin sanottu suljettu tutkimus, jossa opiskelijat suorittavat tutkimukset selkeillä ja vaihteittaisilla ohjeilla. Tämä vastaa Schwabin tutkimuksellisuuden tasoa 0. Ohjatussa tutkimuksessa

opettaja tarjoaa oppilaille välineet ja työtehtävän, mutta antaa oppilaiden itse kokeilemalla löytää ratkaisun. Ohjattuja tutkimus voidaan suorittaa useassa vaiheessa, jolloin opettaja voi vaikuttaa myös tutkimusmetodiin. Tällöin ohjattu tutkimus vastaa Schwabin tutkimuksellisuuden tasoja 1 ja 2. Taso 3 on samantyylinen kuin Colburnin avoin tutkimus. Tosin avoimessa tutkimuksessa tutkimuskysymys voi olla opettajalta lähtöisin. Colburnin ja Schwabin tutkimuksen tasoja on vertailtu myös Abramsin, Southerlandin ja Evansin tutkimuksessa (2008). (kuva 8) Suljetun, ohjatun ja avoimen tutkimuksen lisäksi Colburn esittelee tutkimusprosessin neljäntenä tutkimuksellisuuden muotona. Siinä hankittua tutkimuksen tekemisellä hankittua tietoa pyritään syventämään ja siirtämään toiseen kontekstiin tuomalla esille uusi näkökulma tai väline tutkittavaksi.

Tutkimuksellisuuden tasoihin vaikuttavat tekijät



Kuva 8: Tutkimuksellisuuden tasojen tarkastelu oppimistilanteeseen vaikuttavien tekijöiden kautta. (Abrams et al. 2008)

Colburn (2000) korostaa opettajan asemaa onnistuneen tutkimuksellisuuden toteuttamisessa. Hänen mukaansa opettajalla on tärkeä rooli oppilaan rohkaisemisessa ja asenteiden sekä taitojen muokkaamisessa kohti itsevarmuutta suorittaa tutkimuksellisia töitä. Myös Abrams, Southerland ja Evans (2008) nostavat esille opettajan roolin ja tuen tarpeen affektiivisena vaatimuksena tutkimuksellisissa opetustilanteissa. Opettajan tulee kiinnittää huomiota myös oppilaan mahdollisuuksiin vaikuttaa tehtävään oppilastyöhön. Työn aikana opettaja tukee oppilasta esittämällä avoimia kysymyksiä valmiin vastauksen antamisen sijasta, antamalla oppilaille aikaa miettiä ja siteeraamalla opiskelijoiden vastauksia ilman kritisointia ja hyväksyntää, jotta opiskelijan varmuus osaamisessa kehittyisi. (Colburn, 2000)

3.3.4. Kysymysten esittäminen

Kysymysten esittäminen on vahvasti yhteydessä opiskelijan ajatteluun (Chin ja Osborne, 2008), oppimiseen (Aquair et al. 2010), kiinnostukseen ja opiskelijoiden aktivointiin (Herranen ja Aksela, 2015). Oppitunnilla perinteisesti opettaja esittää kysymykset ja ohjaa näin opiskelijoiden ajattelua. Ei ole sama, kumpi esittää kysymykset opettaja vai oppilas. (Herranen ja Aksela, 2015) Kysymykset ja opiskelijan puhe kuvaavat hänen ajatteluaan. Niiden kautta uusi tieto saadaan yhdistettyä paremmin opiskelijan omiin tietorakenteisiin, jolloin oppiminen tehostuu. (Aquair et al. 2010) Opettamalla oppilaita kysymään, opetamme samalla luonnontieteelle tyypillistä ajattelua (Chin ja Osborne, 2008). Kysymysten kautta voidaan parantaa myös opiskelijoiden argumentaatiotaitoja ja sosiaalista vuorovaikutusta yhteisöllisen oppimisen kautta. (Chin & Osborne, 2010)

Tutkittaessa opiskelijoiden kysymysten esittämistä on huomattu, että opiskelijat kysyvät enemmän ryhmissä kuin koko luokan kuullen (Graesser & Person, 1994). Yleensä oppilaiden esittämät spontaanit kysymykset heijastavat heidän kiinnostustaan ja opettajan ohjaamat oppilaiden kysymykset tukevat tiedon ymmärtämistä. Jotta kysymykset edistäisivät oppimista tehokkaasti, oppilaiden tulisi myös tietää aiheesta riittävästi, (Miyake & Norman, 1979). Toisaalta opiskelijat esittävät kysymyksiä oman tasonsa mukaisesti, joten niiden käyttäminen edistää monen tasoisten opiskelijoiden oppimista (Blonder et al. 2008). Oppimistulosten parantamiseksi opiskelijoille tulisi opettaa kysymysten esittämistä. (King & Rosenshine, 1993). Opettaja voi käyttää apunaan esimerkiksi erilaisia kannustimia (Neber, 2012) tai kysymysrunkoja (King, 1990). Tärkeässä roolissa on myös luokkahuoneen ilmapiiri, joka sallii kysymysten esittämisen (Herranen ja Aksela, 2015).

Hyvän kysymyksen esittäminen on kognitiivisesti haastavaa. Kysymysten esittäminen sijoittuu edellä kuvattuihin tutkimisen taitoihin kategoriaan 13. *tutkimusten suunnittelemisen*. Neber ja Anton (2008) tutkivat tutkimuskysymysten asettelun vaikutusta opiskelijoiden motivaatioon ja konseptuaaliseen kehittymiseen lukio-tasolla. Heidän tavoitteenaan oli kasvattaa kysymysten laatua järjestelmällisen avun kautta. He havaitsivat, että kokeellisuutta edeltävät aktiviteetit tukivat oppilaiden kognitiivisia prosesseja ja lisäsivät esitettyjen kysymysten laatua koko tutkimuksen suorittamisen aikana. Lisäksi opiskelijat olivat kyvykkäämpiä suorittamaan avoimempia tutkimuksia kuin tutkimuksen vertailuryhmä. Neberin ja Antonin käyttämä opetusmenetelmä tutkimuksen tekemiseen valmistautumisesta koostui ilmiön tarkastelusta, ilmiön liittämistä aiempiin tietoihin, kysymysten esittämisestä, oletettujen vastausten esittämisestä ja tutkimuksen suunnittelusta.

Kysymysten esittäminen voi toimia apuna myös yhteisöllisessä tiedon rakentamisessa (Chin ja Osborne, 2010)

3.3.5. Tutkimuksen tekemisen sosiaalinen ulottuvuus

Tutkimuksellinen oppiminen eroaa perinteisestä opettajajohtoisesta opetuksesta oppilaslähtöisenä tai -keskeisenä opetusmenetelmänä. Tieteellisen tieteen luonteelle ominaisena piirteenä myös tutkimuksellisuuteen kuuluu yhteisössä toimimisen harjoittelu ja tiedon rakentaminen sosiaalisen vuorovaikutuksen kautta. Tutkimusryhmässä toimiminen kehittää opiskelijoiden sosiaalisten vuorovaikutustaitojen lisäksi argumentaatiokykyä. (Abrams et al., 2008)

Vuorovaikutustaitojen harjoittamisen lisäksi yhteistoiminnallisella työskentelyllä voidaan vaikuttaa positiivisesti affektiivisiin tekijöihin, joita ovat oppilaiden uskomukset ja käsitykset, motivaatio, sekä erilaiset tunnetilat. Näitä tekijöitä voidaan tutkia yksilön, yksilöiden välisellä ja kulttuurisella tasolla. Merkittävää opetuksen kannalta on, että sosiaalisella vuorovaikutuksella ja aktiivisella yhdessä tekemisellä voidaan kasvattaa opetettavan sisällön merkityksellisyyttä. Oppilaiden aktivointi vaikuttaa positiivisesti yksilöiden väliseen affektiiviseen tasoon eli käytännössä opiskelijoiden tunnetiloihin ja luokkahuoneen ilmapiiriin. (Tuohilampi, 2016)

3.3.6. Korkean tason ajattelun taidot (eng. higher order thinking skills, HOTS)

Kemiallisten ilmiöiden kuvaamiseen ja selittämiseen tarvitaan ajattelun taitoja. (Aksela, 2005) Ajattelun taitojen tukemiseen keskittyviä tutkimuksia on lukuisia. Niitä on esitetty esimerkiksi Baumfieldin (2004) katsausartikkelissa. Ajattelun taitojen systemaattinen kehittäminen, johtaa positiivisiin oppimistuloksiin, sekä auttaa tiedon siirtymisessä eri konteksteihin (De Corte et al. 2001). Ajattelun taitoja kehitettäessä opettajan tehtävänä on luoda ryhmätyöskentelytilanteita, joissa ohjataan tehokkaaseen keskusteluun ja kannustetaan opiskelijoilta tuomaan omia näkemyksiään esille (Baumfield et al., 2004).

Ajatteluprosesseihin vaikuttavia tekijöitä ovat a) oppilaan kyvyt: esim. muistaminen ja kognitiiviset kyvyt, b) oppilaan kokemukset: esim. ikä ja aikaisempi kosketus kontekstiin, c) oppilaiden asenne: esimerkiksi stressi, kiinnostus ja itsekyvykkyys. (Fisher, 2013) Opettaja voi pyrkiä ajattelun taitojen kehittämiseen valitsemalla opiskelijoille merkityksellisen tehtävän tai kontekstin, tukemalla opiskelijoiden aikomuksia, käyttämällä avoimia kysymyksiä ja rohkaisemalla esittämään kysymyksiä, sekä sanomaan epävarmojakin ajatuksia ääneen. Lisäksi luomalla tilanteita, joissa opiskelijat voivat keskustella ja arvioida toistensa ideoita. Myös tieto- ja viestintäteknologian käyttäminen edistää opiskelijoiden ajattelun taitoja. TVT:n käyttäminen voi kehittää ajattelun taitoja esittämällä ilmiöiden dynaamista luonnetta monella eri tasolla. Lisäksi TVT:n avulla voidaan ohjata tutkimuksellisuutta niin, että opiskelijoiden keskustelu ja ilmiöiden havaitseminen nousevat pääasioiksi. Internetin kautta voidaan myös tavoittaa ammattilaisia, joita muuten ei fyysisesti voitaisi tavoittaa. (Wegerif, 2002) Kemian opetuksessa tutkimuksellisuuden on todettu olevan hyvä keino harjoittaa korkeamman tason ajattelun taitoja. (Domin, 1999)

Perinteinen käsitys ajattelun taidoista perustuu usein Bloomin taksonomiaan (1956). Se jakaa kognitiiviset ajattelun taidot alemman ja ylemmän tason taitoihin. (taulukko II) Alemman tason taitoja ovat muistaminen ja ymmärtäminen. Ylemmän tason taitoja ovat soveltaminen, analysoiminen, syntetisoiminen ja arviointi. Alemman tason taidot toimivat perustana ylemmän tason taidoille. Bloomin taksonomiasta on esitetty useita uudistettuja versioita. (Aksela, 2005) Tunnetuin näistä on Andersonin ja Krathwohlin (2001) esittämä Bloomin taksonomiasta päivitetty versio. (taulukko 4) Se muokattiin useiden tutkijoiden yhteistyöprojektina ja siinä on huomioitu uudet tutkimukset oppimisesta, opettamisesta ja arvioinnista. Uudistettu taksonomia on suunnattu kaikille kouluasteille.

Bloomin taksonomia	Ajattelun taso	Anderson ja Krathwohl
Tietää	Alemman tason ajattelun taidot	Muistaa
Ymmärtää	Alemman tason ajattelun taidot	Ymmärtää
Soveltaa	Ylemmän tason ajattelun taidot	Käyttää
Analysoida	Ylemmän tason ajattelun taidot	Analysoida
Syntetisoida	Ylemmän tason ajattelun taidot	Arvioida
Arvioida	Ylemmän tason ajattelun taidot	Luoda

Taulukko 4: Bloomin taksonomia (1956) ja uudistettu Andersonin ja Krathwohlin taksonomia (2001).

Uudistettu taksonomia on koostuu kahdesta ulottuvuudesta; kognitiivisesta prosessista ja tiedosta. Kognitiivisen prosessin kuusi dimensiota ovat muistaminen, ymmärtäminen, käyttäminen, analysoiminen, arvioiminen ja luominen. Tiedollinen ulottuvuus jaetaan neljään dimensioon: faktatieto, käsitetieto, menetelmätieto ja metakognitiivinen tieto. Tiedollinen ulottuvuus sisältää siirtymät konkreettisesta abstraktiin. (Anderson ja Krathwohl, 2001) Uudistettu taksonomia eroaa Bloomin taksonomiasta luokittelemalla arvioimisen ja luomisen päinvastaiseen järjestykseen. (vrt. taulukko) Lisäksi Andersonin ja Krathwohlin luokittelu sisältää sekä verbin, että substantiivin. Verbit kuvaavat opiskelijan ajatteluprosesseja ja substantiivit tavoitteita, joihin opiskelijoiden tulisi pyrkiä. (Aksela, 2005)

Andersonin ja Krathwohlin uudistaman taksonomian kognitiivisilla ajattelun taidoilla ja tieteen tekemisen prosessitaidoissa on paljon yhtäläisyyksiä. Esimerkiksi tutkimisen perustaidoista luokittelu, havainnointi ja päättely sijoittuvat taksonomiassa toisen tason eli ymmärtämisen alaluokkiin. Analysointi, arviointi ja luominen eli esimerkiksi tutkimuksen suunnittelu ovat korkeamman tason ajattelutaitoja sekä integroivia tutkimisen taitoja. (kts. Esim. Kärnä ja Aksela, 2012)

3.3.7. Arviointi

Opetuksen ja oppimisen arvioinnin rooli on isossa osassa tutkimisen taitojen kehittämistä. Opetuksen arvioinnin tulee mitata tavoitteita ja vastaavasti menetelmien pitää vastata tavoitteiden vaatimuksiin. Mikäli arviointi keskittyy mittamaan eri asiaa kuin mitä on tavoitteeksi asetettu tai mitä on kyseisellä opetusmenetelmällä harjoiteltu, opiskelijat voivat oppia erinomaisesti jonkin muun asian kuin mitä oikeasti on tavoiteltu. Tämän vuoksi opettajan tulisi kiinnittää huomiota myös oppimisprosessiin arviointiin, eikä vain lopputulokseen. (Anderson et al. 2001)

Mutta miten arvioidaan tai arvostetaan sellaista, mikä ei perustu laskennallisesti mitattaviin ominaisuuksiin? Kuten oppilaan taidot ja kyvyt. Opetusta suunniteltaessa apuna voi käyttää Andersonin ja Krathwohlin (2001) uudistamaa taksonomiaa. (taulukko 5) Se auttaa tarkastelemaan käytettävällä tehtävällä saavutettavia tavoitteita ja tarkastelemaan oppilaan näkökulmaa (Anderson et al., 2001). Kärnä ja Aksela (2012) kirjoittavat artikkelissaan ”*työskentely ja ajattelutaitojen arviointi kouluopetuksessa*” ytimekkäästi, että ”opettajan on keskeistä tiedostaa, millaisia erilaisia tietoja ja taitoja oppilaille annetut tehtävät edellyttävät, minkälaista ajattelua ne tukevat ja miten niitä käytetään arvioinnissa.” Taitojen ja luovuuden arvioinnissa oleellisessa osassa on myös opiskelijan oma arviointi onnistumisestaan ja työn merkityksellisyydestä (Anttila, 2012). Oppiaineen tietoja, taitoja ja asenteita määrittelevät tavoitteet tulisikin esittää opiskelijoille selkeästi kokonaisuutena ja oppituntien alussa.

Tiedon tasot	Ajattelun kognitiiviset tasot					
	Muistaa	Ymmärtää	Soveltaa	Analysoida	Arvioida	Luoda
Faktatieto						
Käsitetieto						
Menetelmä-tieto						
Metakognitiivinen tieto						

Taulukko 5: Andersonin ja Krathwohlin taksonomian hyödyntäminen opetuksen suunnittelussa. (Kärnä ja Aksela, 2012)

Kemiassa tutkimisen tekemisen taitoja opitaan yleensä laboratoriossa, koska kemia on kokeellinen tiede. Tämän vuoksi tutkimisen tekemisen taitoja tulisi arvioida jo laboratoriotyöskentelyn aikana, eikä vain opiskelijoiden ymmärtämistä mittaamalla. Paras tapa arvioida oppilaiden tutkimisen tekemisen taitoja on havainnoinnin, raporttien ja suullisten esitysten avulla. (Lavinghousez, 1973) Myös kysymysten esittämistä (esim. “reciprocal peer-questioning procedure” eli GROUP tai “examination where the students ask the questions” ESAQ) on käytetty arviointimenetelmänä. (King, 1990; Chin & Osborne, 2008) On tärkeää aktivoida myös oppilaat arvioimaan omia taitojaan. Silloin kun opiskelijat tietävät oppimistavoitteet, heidän on myös helpompi pyrkiä niihin (Anderson ja Krathwohl, 2001). Itsearviointi ja reflektio ovat keskeisessä asemassa metakognitiivisten tavoitteiden saavuttamisessa. Itsearviointilla oppimisen arviointia voidaan siirtää oppilaan huomioitavaksi. Opettajan ja oppilaan, sekä oppilaiden välinen vuorovaikutus auttaa konseptuaalisten tutkimisen taitojen kehittämistä. (Keeley, 2008)

Opiskelijoiden tutkimisen tekemisen taitoja on arvioitu tutkimuksissa sekä kvalitatiivisten että kvantitatiivisten testien avulla (esim. Feyzioglu et al. 2012; Hofstein, 2007). Feyzioglu et al. (2012) arvioi tutkimisen taitoja mittaamalla kvantitatiivisesti opiskelijoiden vastauksia kemiallisesta tiedosta, teknologia ja yhteiskunta sidoksista, kommunikaatiosta, asenteista ja arvoista. Hofstein et al. (2007) keräsivät sekä kvantitatiivista että kvalitatiivista tutkimustietoa virtuaalisen pelin avulla.

Luonnontieteellisen tutkimuksen tekemisen arviointitapoja on esitetty myös kirjassa ”Luonnontieteellisen tutkimuksen tekeminen koulussa”. Erilaisia formatiivisia ja summatiivisia arviointimenetelmiä on useita. Kouluissa voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia taulukoita kokeellisen työskentelyn arviointiin, sanallista arviointia, tuotosten, kuten portfolion, tutkimusraportin, esseen tai esityksen tai oppimisprosessin arviointia. Myös erilaisia testejä tai perinteisiä kokeita voidaan käyttää. Arviointitapa tulee määritellä tutkimuksen tekemiselle esitettyjen tavoitteiden mukaan. (Näsäkkälä et al. 2001)

3.4. Teoreettisen tarve-analyysin yhteenveto

Spektrofotometria on merkittävä osa kemiaa ja yhteydessä arkielämän turvallisuuteen sekä sovelluksiin. (Christian, 2003) Nykyaikaiset analyysilaitteet ovat osa vallitsevaa laboratoriokulttuuria ja ne tarjoavat nopeita sekä luotettavia analyyskejä. (Mukhopadhyay, 2008) Lukion kemian kurseissa spektroskopia esiintyy vuoden 2015 lukio-opetuksen opetussuunnitelman mukaan 2. kurssilla osana aineen rakenteen analyysimenetelmiä. Tutkimisen taitoja pyritään harjoittelemaan jokaisella kemian kurssilla porrastetusti. (Opetushallitus, 2015) Spektrofotometria tarjoaa edullisen ja oppilaita läheisen tarkastelunäkökulman spektrometriaan. Sen historia kuvastaa hyvin myös eri tieteenalojen yhteistyön merkitystä, sillä spektrofotometrian kehittymiseen on tarvittu sekä fysiikan, matematiikan että kemian osaamista.

Tutkimisen taitoja voidaan harjoitella tutkimuksellisuuden ja erilaisten ohjattujen aktiviteettien kautta. Aktiviteettien tulisi olla monipuolisia tilannesidonnaisuuden välttämiseksi. Tutkimuksellisuuden avoimuutta kannattaa lisätä asteittain opetukseen oppilaiden tutkimisen taitojen karttuessa. (Colburn, 2000) Tutkimisen taitoja ei voi oppia tekemättä itse tutkimusta. (Abrams et al. 2008) Yleisestikin oppilaiden aktivointi tuottaa parempia oppimistuloksia. (Minner et al., 2009) Tutkimuksellista työtä suunniteltaessa kannattaa kiinnittää huomiota siihen millainen suhde opiskelijalla on tutkimuskohteeseen, ovatko käytettävät materiaalit tuttuja opiskelijoille, onko tutkimuskohde konkreettisesti havaittavissa ja soveltuuko työ opiskelijoiden taitojen ja tietojen osaamistasoon. Tutkimuksellisten töiden tulisi olla kognitiivisesti haastavia, mutta suoritettavissa olevia. (Colburn, 2000) Useissa tutkimuksessa esille nostetaan opiskelijoiden tuen tarve tutkimuksellisuuden aikana. Lisäksi korostetaan opiskelijan mahdollisuutta vaikuttaa tutkimuksen suorittamiseen. Tutkimuksellisuudella tavoitellaan juurikin tietojen ja taitojen yhdistämistä, mikä voi johtaa asenteiden, arvojen ja tahdon muutoksiin (Opetushallitus, 2015).

Tutkimisen taidot ovat yhteydessä ajattelun taitoihin ja ongelmanratkaisukykyyn. Andersonin ja Krathwohlin uudistamaa Bloomin taksonomiaa voidaan käyttää hyödyksi tehtäviä suunniteltaessa. Sen avulla voidaan tarkastella saavutetaanko kyseisellä työllä sille asetetut tavoitteet ja miten vaativa työ on opiskelijan näkökulmasta. (Anderson et al., 2001) Ajattelun taitojen kehittymistä tuetaan opiskelijoille merkityksellisillä konteksteilla, opiskelijan omien ideoiden tukemisella ja kysymään rohkaisemisella (Wilson, 2002) Myös tv:n käytöllä ja vertaisarvioinnilla on todettu olevan positiivisia vaikutuksia oppilaan

ajattelun taitoihin. Ryhmätyöskentely ja keskustelutilanteet kannustavat opiskelijaa tuomaan omat näkemyksensä esille (Higgins et al., 2004) Oppimistulosten parantamiseksi opiskelijoille tulisi opettaa kysymysten esittämistä. Tässä apuna voi käyttää esimerkiksi kysymysrunkoja. (King, 1990) Sosiaalinen vuorovaikutus oppilaiden sekä oppilaiden ja opettajan välillä kuuluu yhteisössä toimimisen harjoitteluun ja auttaa tiedon rakentamisessa, mikä on myös ominaista luonnontieteelliselle tutkimukselle. Oppilaiden aktivointi vaikuttaa myös positiivisesti yksilöiden väliseen affektiiviseen tasoon eli opiskelijoiden tunnetiloihin ja luokkahuoneen ilmapiiriin.

Spektrofotometrian käyttämiseen oppimistilanteissa kuuluu luonnollisena osana mittausautomaation käyttäminen. Tutkimuksien mukaan mittausautomaation käyttäminen tukee tutkimuksellista lähestymistapaa ja ajatteluntaitoja, koska se säästää mekaaniseen työskentelyyn kuluvaan aikaan. Ajan säästäminen mahdollistaa opiskelijoiden keskustelun, tutkimuksen suunnittelemisen, vastuunottamisen ja näin lisää myös tutkimisen taitojen oppimista. Mittausautomaatiotyön suunnittelussa on hyvä huomioida tehtävän tavoitteet (Rogers & Wild, 1994), keskusteluun varatun ajan riittävyys (Barton 1997), sekä oppilaan ja opettajan väliset keskustelutilanteet (Aksela, 2005; Lavonen et al., 2003; Newton, 1997). Pohjana tutkimukselliselle mittausautomaation käyttämiselle voi käyttää COMBLAB-projektin viisiportaista mallia.

Mikäli tutkimisen taitoja kehittävä tutkimuksellinen oppimistyyli koetaan perinteisestä luokkahuoneopetuksesta poikkeavana. Opetuksessa on hyvä kiinnittää huomiota myös sen arviointiin. Mikäli arviointi ei mittaa työn tavoitteita eli tässä tapauksessa tutkimisen taitojen kehittymistä, voi tutkimisen taitojen harjoittelu heijastua merkityksettömänä opiskelijoille. Oppiaineen tietoja, taitoja ja asenteita määrittelevät tavoitteet tulisikin esittää opiskelijoille selkeästi kokonaisuutena jo heti kurssin tai oppituntien alussa. Kirjassa ”Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita” (2012) kuvataan osuvasti luonnontieteiden arviointia: ”Luonnontieteiden mielekkään oppimisen ja korkeamman tason ajattelutaitojen opettamisessa on tärkeää käyttää monipuolisia opetusmenetelmiä ja oppimisympäristöjä, esimerkiksi tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvia oppimisympäristöjä. Opetuksessa ja oppimisessa ei ole yhtä ainoaa oikeaa reittiä, ja opetuksen tulisi kohdata entistä paremmin erilaisia oppijoita. Olisi myös tärkeää saada oppilaat entistä aktiivisempaan rooliin: puhumaan ja kysymään luonnontieteistä, erityisesti esittämään miksi- ja miten-kysymyksiä sekä keskustelemaan ja argumentoimaan pienryhmissä.” (Aksela et al., 2012)

4. Empiirinen ongelma-analyysi

Empiirisellä ongelma-analyysillä pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen '1. Miten spektrofotometriaa opetetaan lukion kemian opetuksessa?' Kappaleessa 4.1 Pyritään tarkemmin selvittämään missä yhteyksissä spektrofotometriä tai spektroskopia mainitaan lukion kemian oppikirjoissa ja kuinka laajasti aihetta käsitellään, sekä millaisia oppilastöitä aiheesta on tehty. Syvällisempänä tarkastelun kohteena on spektrofotometrian esiintyminen oppikirjoissa, mutta pyritään analysoimaan samalla esiintyykö spektrofotometriä spektroskopian kontekstissa. Kappaleessa 4.2. tutkitaan oppilaiden mielipiteitä kokeellisesta kasvihuoneongelma -työstä ja pyritään selvittämään miten työtä kannattaisi kehittää.

4.1. Spektroskopia lukion kemian opetuksessa – oppikirja-analyysi

Oppikirja-analyysi suoritettiin aineistolähtöisenä sisällönanalyysinä maaliskuussa 2016. Yhteensä analysoitiin 27 kappaletta lukion kemian oppikirjoja. Analysoituja oppikirjasarjoja olivat Mooli, Reaktio, Kide, Kemisti, Katalyytti ja Neon. Suurin osa oppikirjoista oli kirjoitettu vuoden 2003 lukion opetussuunnitelman mukaista opetusta varten. Poikkeuksena oli Katalyytti -kirjasarja, joka on kirjoitettu jo 1990-luvun puolivälissä. Katalyytti valikoitui mukaan, koska siinä esitellään spektroskopiaa suhteellisen kattavasti. Kaikki analysoidut kirjat on kuvattu liitteissä 1, 2 ja 3. Liitteessä 1 on lueteltu spektrofotometriä tai näkyvän valon analytiikkaa käsittelevät kirjat, liitteessä 2 spektrometriä, mutta ei spektrofotometriä käsittelevät kirjat. Kirjat, jotka eivät käsittele spektroskopiaa on esitetty liitteessä 3.

Aineistolähtöisen sisällönanalyysi on toteutettu Tuomen ja Sarajärven 2009 kuvaamien ohjeiden mukaisesti.

1. Aineistosta pyritään kuvaamaan miten spektrofotometriä tai spektroskopiaa käsitellään lukion kemian opetuksessa tällä hetkellä.
2. Oppikirjoista on etsitty ja kirjattu ylös kaikki kohdat, joissa mainitaan spektrofotometri tai näkyvä valo, sekä spektroskopian muut esiintymiskohdat.
3. Aineisto on luokiteltu spektroskopian teemojen esiintymispaikkojen mukaan. Luokittelukategorioina on esiintyminen tekstissä, kuvassa tai kuvatekstissä, lisätietosivuna tai huomautuksena, sanastossa, hakemistossa, tehtävässä tai laboratoriotyöohjeessa. Sisältöä on eritelty myös kvantitatiivisesti esiintymispaikkojen hahmottamiseksi. Luokittelun ja erittelyn lisäksi on tehty tyypittely spektrofotometrian esiintymisten asiayhteyksien mukaan.
4. Kirjoitetaan yhteenveto.

Sisällönanalyysin keskeisimmät tulokset on esitetty taulukoissa 6-8. Kaikki tulokset on kuvattuna liitteissä 4 ja 5. Liite neljä sisältää lyhyen kuvauksen spektroskopiaan liittyvistä maininnoista ja maininnan esiintymispaikan. Liitteessä 5 on kerättynä spektroskopian asiasisältöjen mukaan oppikirjat ja esiintymisten asiayhteydet. Asiayhteyksiä on vielä jatkokäsitelty tyypittäen niitä yläkäsitteisiin analyysin tulosten käsittelemistä varten.

Spektrometria mainittiin yhteensä 16 oppikirjassa. Näistä neljässä ei löytynyt viitteitä näkyvän valon hyödyntämisestä analytiikassa tai spektrofotometriasta. Näkyvän valon vuorovaikutusta aineen kanssa kuvattiin siis yhteensä 12 oppikirjassa. Spektrofotometri analyysilaitteena mainittiin vain yhdeksässä oppikirjassa. Suurin osa näistä maininnoista esiintyi kuvatekstissä ja vain kolmessa oppikirjassa spektrofotometri mainittiin kappaleen tekstissä. Nämä oppikirjat, joissa spektrofotometri esiintyi kappaleen tekstissä, olivat Kemisti 3 ja 6 sekä Kide 2.

Koska spektrofotometria perustuu näkyvän valon vuorovaikutukseen aineen kanssa, analyysissä on huomioitu myös kohdat, joissa käsitellään spektrofotometrian teoriaa vaikka termiä 'spektrofotometri/-a' ei olekaan aina mainittu. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 6. Tuloksista on havaittavissa, että spektrofotometriä tai sen taustateoriaa käsitellään usein lukion toisen kurssin, *Kemian mikromaailma*, oppikirjoissa. Spektrofotometriä tai sen teoriaa käsittelevät toisen kurssin oppikirjat olivat Mooli 2, Kemisti 2, Neon 2 ja Kide 2. Poikkeuksen muodosti Reaktio -sarja, jossa spektrofotometriä sivuttiin kirjassa Reaktio 5. Tulokset ovat samantyyppisiä kuin Pertti Keinäsen Pro Gradu -tutkielmassa 'Analyyttinen spektroskopia lukion kemian oppimäärässä'. Tosin itse en löytänyt viittausta näkyvän valon spektrometriaan Reaktio 2 -kirjasta.

Kemian toisen kurssin lisäksi spektrofotometriä tai sen taustateoriaa käsiteltiin Mooli 4, Reaktio 5, Kemisti 3 ja 6, Kide 3 ja 4, sekä Katalyytin työkurssin käsikirjassa ja Epäorgaaninen kemia -kirjassa. Huomattavaa on, että spektrofotometria esiintyi vain toisessa sisällönanalyysissä olleessa lukion kemian kertauskirjassa. Abi kemia ei käsittele spektrometriaa ollenkaan, vaikka se on keskeisessä roolissa sekä kvantitatiivisessa analyysissä että kvalitatiivisessa analyysissä. Tämä antaa viitteitä siitä, että spektrometrian ei katsota kuuluvaksi lukion kemian keskeisiin sisältöihin vaikka se on esitetty myös vuoden 2003 lukion kemian opetussuunnitelmassa. Lisäksi spektrometriaan liittyviä ylioppilaskoetehtäviä on ollut ainakin YO kevät 2009 tehtävä +11, YO kevät 2012 +11, ja YO kevät 2015 tehtävä +11.

Taulukko 6: Spektrofotometrian tai sen teorian käsitteleminen lukion oppikirjoissa.

Spektrofotometrian tai sen teorian (näkyvän valon vuorovaikutus aineen kanssa) käsitteleminen oppikirjoissa (mainintojen lukumäärä ja paikka)									
Oppikirja	Tekstissä	Lisätietona (sivu tai laatikko)	Kuva tai kuvateksti	Huomautuksena tai viittauksena	Sanastossa	Hakemistossa	Sisällysluettelossa	Tehtävä	Laboratoriotyö
A2	1		2						
A4	1		10			1		2	1
B5	1								
C2	3	1	7					2	1
C3	1		3	1	1			1	
C6	2		2						
D2	4		11					2	2
E2	1		3						
E3			1						
E4		1							
G2	4		9						1
G3	2								1

Sen lisäksi, että spektrofotometria esiintyy oppikirjoissa useimmiten kuvina, sen esiintymisen asiayhteyksiä on lukuisia. Taulukossa 7 on esitettyä spektroskopian teoriaan liittyvät esiintymiskontekstit. Oppikirjojen sisältöä on tyypitetty myös spektroskopian analyysilaitteiden mukaan taulukossa 8. Tyypianalyysin kaikki tulokset on esitettyä liitteessä 5. Tyypianalyysistä huomataan, että spektroskopian taustateorioita voi käsitellä monissa eri asiayhteyksissä. Tyypillisimpiä asiayhteyksiä olivat atomin rakenne tai sen muutokset, analyysimenetelmät tai käytännön sovellukset. Atomin rakenteen muutokseen viittasivat esimerkiksi atomien virittyminen, sitoutuminen tai ionisaatio. Muita esiintyneitä asiayhteyksiä olivat metallien kemia, ilmiöiden selittäminen, stoikiometriset laskut, jaksollinen järjestelmä, sähkö ja historiallinen näkökulma aiheeseen.

Taulukko 7: Spektroskopian esiintymisten asiayhteydet

Spektroskopian esiintymisten asiayhteydet		
Oppikirjat	Spektroskopiaan liittyvä sisältö	Asiayhteydet
C2, D2	Energian kvantittuminen	Atomin rakenne ja sen muutokset
A2, A4, C2, D2, G2, E2, E4	Absorptio tai emissio	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmät, Käytännön sovelluksia, Metallien kemiaa, Historiallinen näkökulma, Ilmiöiden selittäminen
C2, D2, G2	Sähkömagneettinen spektri, säteily	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmät, Käytännön sovelluksia, Ilmiöiden selittäminen
G2	Valosähköinen ilmiö	Atomin rakenne ja sen muutokset, Sähkö
A4, C2, E2	Värien syntyminen/näkeminen	Atomin rakenne ja sen muutokset, Metallien kemiaa, Jaksollinen järjestelmä
B3, B5, C2, C6, D2, G3	Aineen rakenteen tutkiminen	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmät, Käytännön sovelluksia,
B2, C3, C6, D2, G3	Aineen pitoisuuden tutkiminen, liuoksen konsentraation määrittäminen	Käytännön sovelluksia, Stoikiometria, Analyysimenetelmiä,
A2, D2, E2, E4	Liekkikokeita	Atomin rakenne ja sen muutokset, Metallien kemiaa, historiallinen näkökulma

Spektrometrisistä analyysimenetelmistä oppikirjoissa esiteltiin kolorimetria, atomiabsorbtiospektrometria, spektrofotometria, kristallografia, UV-, IR- ja NMR-spektrometria, sekä massaspektrometria, joka ei varsinaisesti edes perustu spektrometrinen ominaisuuksien mittaamiseen. Analyysimenetelmiä käsiteltiin yleensä atomin rakennetta ja sen muutoksia tarkasteltaessa tai analyysimenetelmistä puhuttaessa. Aineistosta nousee esille selkeästi erilaisten analyysimenetelmien kuvaaminen käytännön sovellusten kautta,

sillä kaikkien analyysilaitteiden kohdalla nousee asiayhteydeksi käytännön sovellukset. (taulukko III) Huomaa, että analyysi ei vertaile eri oppikirjasarjoja keskenään vaan käsittelee niissä yhteisesti esiintyvää kuvaa spektrometriasta.

Taulukko 8

Spektroskopian esiintymisten asiayhteydet		
Oppikirjat	Analyysimenetelmä	Asiayhteys
A3, A4, C3, G2, G3	Kolorimetria	Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia, Metallien kemiaa, Reaktion nopeus, Stoikiometria,
A1, A2, C2, C6, D2, G2, E1, E2	Massaspektrometria, massaspektrometri	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia, Stoikiometria
B5, C2, C6, D2, E2	IR-spektrometria	Aineen rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia,
A2, B2, C2, C6, D2, E2	NMR-spektrometria	Aineen rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia, Stoikiometria,
A4, B5, C2, C3, C6, D2, G2, G3, E2, E3	Spektrofotometria	Aineen rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia, Stoikiometria, Ilmiöiden selittäminen, Metallien kemiaa, Jaksollinen järjestelmä
B2, B5, D2	UV-spektrometria	Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia,
D2, G2, E2	Röntgenkristallografia, röntgendiffraktio	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia,
A1, A2, C2, C3, C6, G2, G3	Atomiabsorptiospektrometri (AAS)	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia,

Erilaisista analyysimenetelmiä vertaillen spektrofotometria esiintyy useimmissa eri asiayhteyksissä. Se tulee esille aineen rakennetta ja sen muutoksia, sekä käytännön sovelluksina, stoikiometristen laskujen yhteydessä, ilmiöiden selittämisessä, metallien kemiaa ja jaksollista järjestelmää tarkasteltaessa. Oppikirjojen luoma kuva spektrofotometriasta on monipuolinen, mutta jääkö se lyhyiden (taulukko 6) mutta useiden asiayhteyksien (taulukko 8) esiintyessä sekavaksi ja irralliseksi? Oppikirjoissa esitellään myös usein tutkimuskohteita tai -tuloksia, mutta itse tutkimuksen suoritustapaa ei kerrota eli yhteys käytettyihin analyysilaitteisiin jää kuvaamatta. Esimerkiksi voidaan esitellä aineiden pitoisuuksien tutkimista ilmakehästä, mutta ei kuvata miten sitä tutkitaan.

Oppikirjoissa esiintyneet spektrofotometriaan liittyvät tehtäviä esiintyi yhteensä seitsemän kappaletta. (taulukko 6) Tehtävät liittyvät pääsääntöisesti pitoisuuksien määrittämiseen, mutta myös spektrien analysointiin ja tunnistamiseen. Esimerkiksi Neon 2 tehtävässä 165 piti määrittää vesijohtoveden rautapitoisuus spektrofotometrin avulla. Tehtävässä oli valmiiksi annettu mittaustulokset pitoisuuden määrittämistä varten, koska kyseessä ei ollut laboratorioharjoitus. Kokeellisia oppilastöitä kirjoissa oli yhteensä kuusi kappaletta. Kolmessa laboratoriotyössä pyydettiin määrittämään rautapitoisuus. Työt olivat kuitenkin erilaisia, koska kahteen niistä oli lisätty tutkimuskohteet: pinaatin ja vesijohtoveden rautapitoisuus. Yhdessä kokeellisessa työssä pyydettiin määrittämään fosfaattipitoisuus ja kahdessa muussa tarkasteltiin emissiospektriä, joka saatiin aikaiseksi liekin avulla.

4.2. Esimerkki spektroskopian kokeellisesta opetuksesta lukiossa

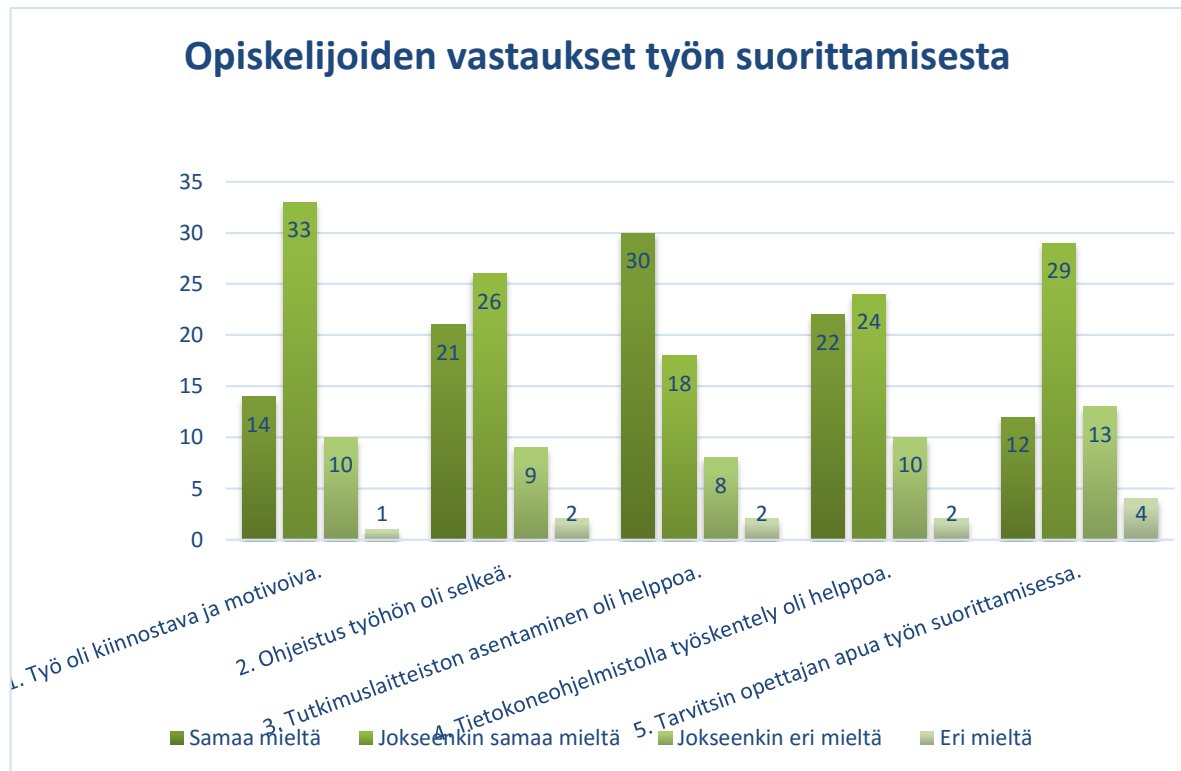
Esimerkkejä ajankohtaisista spektrofotometrillä suoritettavista kokeellisista oppilastöistä löytyy myös kemianluokka Gadolinin työohjepankista. Siellä spektrofotometriaan liittyviä töitä ovat fosforipitoisuus pesuaineissa, kasvihuoneongelma (COMBLAB, värien ja absorptiospektrin yhteys), kloorijäämät juomavedessä, lääketehaan uumenissa (aspiriinipitoisuuden määrittäminen), maidon proteiinimäärän selvittäminen ja sumuinen aamu metallinkierrätyslaitoksella (COMBLAB, kuparipitoisuuden määrittäminen). Tässä tutkimuksessa käsitelen näistä kasvihuoneongelma -työn tutkimustuloksia, koska sen tutkimustuloksista voi nousta merkittävää tietoa tulevien töiden kehittämiseen. Aineisto on kerätty COMBLAB -projektin yhteydessä vuonna 2003. (Kemma, 2013) Aineistona on 58 kpl kyselylomakkeita oppilaiden vastauksista työn suorittamisesta, ymmärtämisestä, vaikutuksesta oppimiseen ja työstä kokonaisuutena. Tarkoituksena on tutkia miten kyseistä työtä kannattaisi kehittää oppimiskokonaisuutta varten ja pitivätkö opiskelijat tätä työtä merkityksellisenä heidän oppimisen ja tulevaisuuden kannalta.

Työtä koskeva kyselylomake koostuu 20 väittämästä, joista 16 vastattiin neljäportaisena Likert-asteikkona (1-4). Asteikko oli kuvattuna sanallisesti: samaa mieltä, jokseenkin samaa mieltä, jokseenkin eri mieltä ja eri mieltä. Kaikissa väittämissä oli mahdollisuus myös kommentoida tai tarkentaa vastausta. Kysymyksissä 7, 8, 12 ja 20 pyydettiin vain avoin, kirjallinen vastaus. Likert-asteikolla kerättyjä tuloksia käsitellään kvantitatiivisesti Excelin avulla ja väittämien kommentteja kvalitatiivisesti sisällönanalyysin avulla. Kyselyyn vastanneista 22 opiskelijaa oli miespuoleisia ja 33 naispuoleisia. Kolme vastaajaa jätti sukupuolen ilmoittamatta. Suurin osa vastaajista oli 16-17 vuotiaita (yhteensä 38 vastaajaa) ja kaikki vastaajat olivat iältään 14-22 vuotiaita.

Väittämissä 1-5 opiskelijoita pyydettiin arvioimaan työn suorittamista. Väittämien 1-5 tulokset on esitetty taulukossa 9. Suurin osa opiskelijoista (81 %) oli sitä mieltä, että kasvihuoneongelma -työ oli kiinnostava ja motivoiva tai jokseenkin kiinnostava ja motivoiva. Vain yksi opiskelija ei pitänyt työtä kiinnostavana ja motivoivana. Enemmistön mielestä (81 %) myös työohjeet olivat selkeitä tai jokseenkin selkeitä. Opiskelijat kokivat myös, että tutkimuslaitteiston asentaminen (83%) ja tietokoneohjelmistolla työskentely (76%) oli helppoa tai jokseenkin helppoa. Eniten erimielisyyttä aiheutti väittämä ”tarvitsin opettajan apua työn suorittamiseen”, johon 21 % oppilaista vastasivat samaa mieltä, 50 % vastasi jokseenkin samaa mieltä, 23 % vastasi jokseenkin eri mieltä ja 7 % oli täysin eri

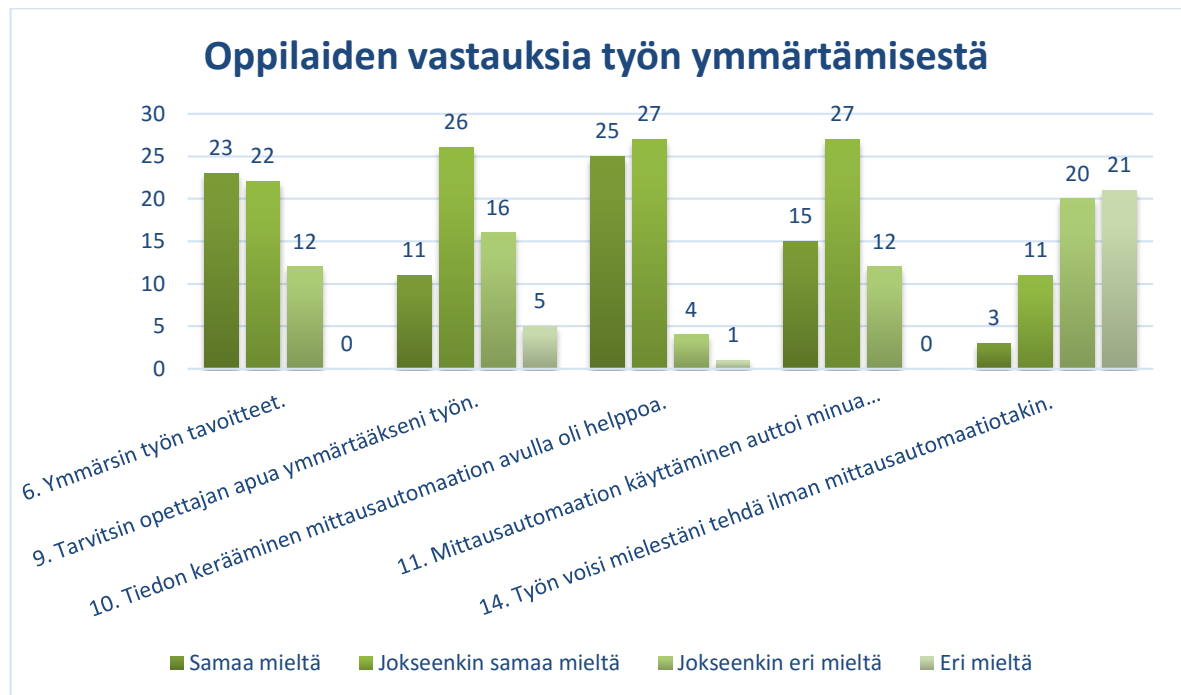
mieltä. Tuloksista voidaan päätellä, että oppilaat kokivat työn kiinnostavana ja helppona suorittaa, mutta tarvitsevat ja toivovat työn suorittamiseen opettajan apua.

Taulukko 9: Opiskelijoiden vastaukset kasvihuoneongelma-työn suorittamisesta.



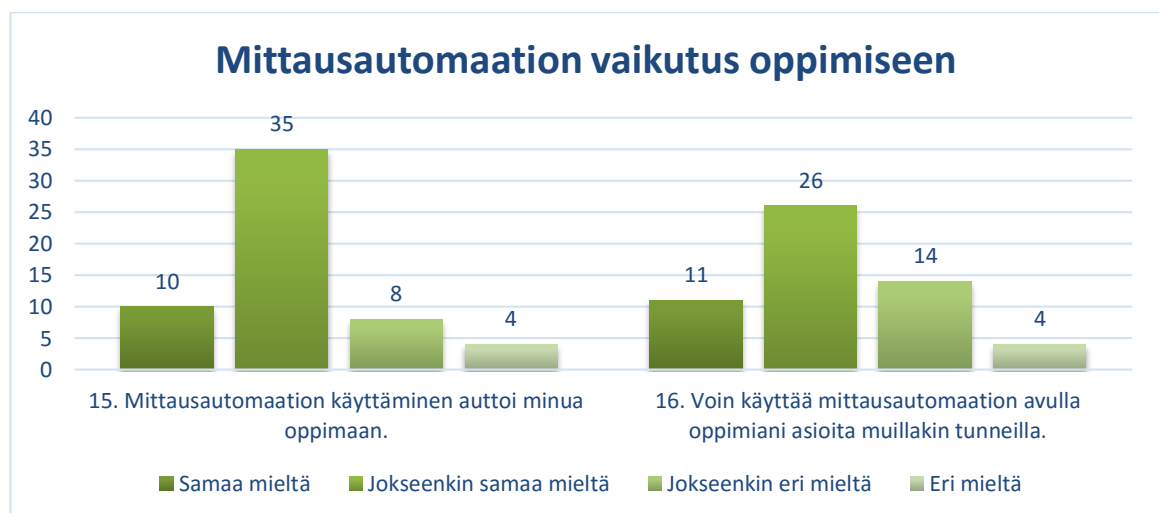
Työn ymmärtämistä mittasivat väittämät 6 - 14. Kvantitatiivista dataa kerättiin väittämässä 6, 9, 10, 11 ja 14. Näiden väittämien tulokset on esitetty taulukossa 10. Opiskelijoista yhteensä 78 % vastasi olevansa samaa mieltä tai jokseenkin samaa mieltä siitä, että ymmärsi työn tavoitteet. Kuitenkin 64 % opiskelijoista vastasi tarvinneensa opettajan apua työn ymmärtämisessä. Yhteensä 5 opiskelijaa koki, ettei tarvinnut opettajan apua työn suorittamisessa. Melkein kaikkien opiskelijoiden mielestä tiedon kerääminen mittausautomaation avulla oli helppoa tai jokseenkin helppoa (yhteensä 90 % opiskelijoista). Opiskelijoista 26 % oli täysin samaa mieltä väittämän ”Mittausautomaatio auttoi minua ymmärtämään tuloksia (esim. kuvaajia)” kanssa. Lähes puolet (47 %) oli sitä mieltä, että mittausautomaatio jokseenkin auttoi ymmärtämään työn tuloksia ja 21 % oli jokseenkin eri mieltä väittämän kanssa. Kukaan ei ollut täysin eri mieltä mittausautomaation hyödyllisyydestä, mutta neljä opiskelijaa jätti vastaamatta väittämään. Reilusti yli puolet opiskelijoista (71 %) oli sitä mieltä, että työtä ei voisi suorittaa ilman mittausautomaatiota.

Taulukko 10: Opiskelijoiden vastauksia kasvihuoneongelma-työn ymmärtämisestä.



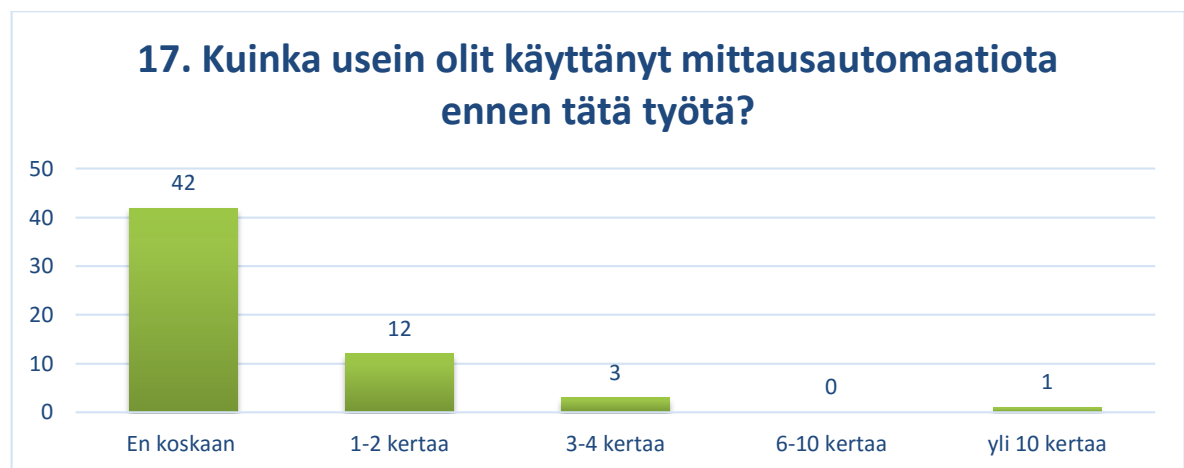
Väittämät 15 ja 16 käsittelivät mittausautomaation vaikutusta oppimiseen. Opiskelijoista 17 % oli täysin samaa mieltä väittämän ”Mittausautomaation käyttäminen auttoi minua oppimaan” kanssa. Lisäksi hieman yli puolet (60 %) opiskelijoista oli jokseenkin samaa mieltä väittämän kanssa. Eri mieltä tai jokseenkin eri mieltä mittausautomaation vaikutuksista oppimiseen oli 21 %. Yli puolet opiskelijoista (67 %) koki myös voivansa käyttää mittausautomaation avulla oppimiansa asioita muillakin tunneilla. Väittämien tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11: Mittausautomaation vaikutus oppimiseen.



Kyselyn viimeisessä osiossa oppilailta kysyttiin mittausautomaation käyttämisestä oppitunneilla ja mielipidettä työstä kokonaisuutena. Kysymyksissä 17, 18 ja 19 kerättiin kvantitatiivinen vastaus, mutta kohdan 20 kirjalliset vastaukset käsitellään kvalitatiivisen sisällönanalyysin avulla. Lähes kolme neljästä opiskelijasta (72 %) ei ollut koskaan aikaisemmin käyttänyt mittausautomaatiota. 1-2 kertaa oli käyttänyt 12 opiskelijaa (21 %) ja 3 opiskelijaa oli käyttänyt mittausautomaatiota 3-4 kertaa. Yksi oppilas väitti käyttäneensä mittausautomaatiota yli kymmenen kertaa ennen tätä työtä. Kysymyksen 17 vastaukset kuvattuna taulukossa 12.

Taulukko 12: Kuinka usein opiskelijat olivat käyttäneet mittausautomaatiota ennen kasvihuoneongelma-työn suorittamista.



Kohdassa 18 kysyttiin opiskelijoiden mielipidettä mittausautomaation käyttämisestä oppitunneilla. (Taulukko 13) Yli kaksi kolmasosaa opiskelijoista (69 %) pitäisi siitä, että mittausautomaatiota käytettäisiin oppitunneilla säännöllisesti. Neljäsosa (26 %) ei pitäisi mittausautomaation säännöllisestä käyttämisestä oppitunneilla.

Taulukko 13: Mittausautomaation säännöllisestä käyttämisestä pitäminen.



Kysymyksessä 19 opiskelijat arvioivat tyytyväisyyttään työhön kokonaisuutena. (taulukko 14) Suurin osa opiskelijoista (57 %) oli tyytyväisiä kokonaisuuteen. Erittäin tyytyväisiä oli 14 % samoin kuin hieman tyytyväisiä opiskelijoita. Kukaan opiskelijoista ei ollut tyytymätön tai erittäin tyytymätön työkokonaisuuteen. Vain viisi opiskelijaa oli hieman tyytymättömiä työhön.

Taulukko 14: Opiskelijoiden tyytyväisyys kasvihuoneongelma-työhön kokonaisuutena.



Kyselylomakkeilla kerätty kvalitatiivinen aineisto on määrällisesti huomattavasti pienempi kuin kvantitatiivinen aineisto. Suurin osa opiskelijoista ei vastannut kysymyksiin ja väittämiin kommentoimalla. Osa ei jaksanut vastata avoimiin kohtiin ollenkaan. Aineiston pelkistämisestä nousee kuitenkin esille, että opiskelijat kokivat aiheen ja mittausautomaatiolaitteiden käyttämisen mielenkiintoisena sekä hauskana. Laitteiden käyttäminen oli heille uutta ja he tarvitsivat siihen apua. Vastauksia työn haastavuudesta ja ohjeiden selkeydestä oli laidasta laitaan. Toisten mielestä työssä ei ollut mikään vaikeata ja ohjeet olivat selkeät, mutta osan mielestä ohjeet ja laitteiden käyttäminen oli vaikeaa. Lisäksi muutamilla opiskelijoilla oli vaikeaa ymmärtää työn tavoitteita aluksi. Kahdessa vastauksessa työn vaikeimpana asiana oli nostettu esille ”aallonpituuksien tarkastelu”, koska ”se vaati paljon ajattelua”. Opettajan avun tarve nousi esille laitteiden, ohjeiden ja työn ymmärtämisen osalta vahvasti, koska useat oppilaat olivat kommentoineet kohtaan likertasteikkoon vastaamisen lisäksi. Eniten opiskelijat pitivät työssä värien mittaamisesta, mittausautomaation käyttämisestä, liuosten valmistamisesta ja työn monipuolisuudesta. Yhdessä vastauksessa pidettiin työstä, koska opiskelija koki voivansa hyötyä siitä tulevaisuudessa.

4.3. Yhteenveto

Spektrofotometrian esiintyminen oppikirjoissa vaihteli suuresti riippuen kirjasarjasta. Useimmiten käsite 'spektrofotometri/-a' esiintyi esimerkkeinä tai lyhyinä selityksinä kuvateksteissä. Näkyvän valon vuorovaikutusta aineen kanssa käsiteltiin oppikirjoissa huomattavasti enemmän. Oppikirjojen antama kuva spektrofotometrian opettamisesta lukiossa on asiayhteyksiltään monipuolinen (taulukko 7 ja 8), mutta sisällöltään suppea (taulukko 6). Sitä voidaan käsitellä monissa eri yhteyksissä, kuten aineen rakennetta opeteltaessa, analyysimenetelmien tai metallien kemiaa ja erilaisia värillisiä ilmiöitä tarkasteltaessa. Kuitenkin se esiintyy useimmiten kuvateksteissä kuin itse kappaleen tekstin joukossa. Käsittelyn laajuus vaihtelee oppikirjoittain. Tässä sisällönanalyysissä ei ollut tarkoitus vertailla eri oppikirjasarjoja keskenään, joten sitä ei myöskään ole tehty. Lisäksi se olisi osittain tarpeetonta, koska ensi vuodesta lähtien otetaan porrastetusti käyttöön uuden opetussuunnitelman mukaiset oppikirjat.

Oppimiskokonaisuuden kehittämistä varten tehdyssä oppikirja-analyysissä on kuitenkin hyödyllistä tarkastella juurikin vanhan opetussuunnitelman mukaisia oppikirjoja, koska ne heijastavat sitä miten ja millaisia oppilastöitä opiskelijat ovat tottuneet suorittamaan. Teoreettisen ongelma-analyysin perusteella siirtyminen suljetusta tutkimuksellisuudesta avoimempaan kannattaa tehdä vähitellen. (Colburn, 2000) Useimmiten spektrofotometriaan liittyvissä kokeellisissa töissä määritettiin rautapitoisuutta. Pitoisuuksien määrittämisen lisäksi tarkasteltiin värillisiä ominaisuuksia alkuaineiden liekkikokeiden avulla. Molemmat näistä oppilastöistä voisivat sopia myös tutkimisen taitoja harjoittavaan oppimiskokonaisuuteen.

Kasvihuoneongelma -työn tuloksista nousi esille opiskelijoiden kiinnostus spektrofotometriaa ja mittausautomaatiota kohtaan. Erityisesti opiskelijat pitivät värien tutkimisesta ja laitteiden käyttämisestä. Opiskelijat kokivat kuitenkin tarvitsevansa apua työn suorittamisessa ja ymmärtämisessä. Tuen ja ohjauksen tarve on siis suuri. Mittausautomaation käyttäminen oli opiskelijoiden mielestä sekä helppoa että vaikeaa. Osittain tulokset johtua siitä, että yhdellä ryhmällä laitteet eivät toimineet kunnolla. Silloin myös ohjaajat ovat vaikeuksissa niiden toiminnan kanssa. Suurin osa opiskelijoista kuitenkin toivoi mittausautomaation käyttämistä jatkossakin. Tämä antaa suuntaa opiskelijoiden tuen ja avun kehittämiseen mittausautomaatiotöitä tehtäessä.

Myös ohjeet koettiin ristiriitaisesti epäselvinä ja toimivina. Tähän saattaa vaikuttaa opiskelijoiden osaamisen taso ja tottuneisuus erilaisiin työtapoihin. Kasvihuoneongelma -työn ratkaisemisessa lähdetään melko avoimesti liikkeelle, mutta kuitenkin ohjeet ovat yllättävän suoria ja absorbanssien tarkasteluun ohjaavia. Tällöinen ohjeiden reseptimäinen noudattaminen saattaa aiheuttaa epävarmuutta siitä, mitä työssä oikein tavoitellaan. Oppimiskokonaisuutta suunniteltaessa tuleekin siis kiinnittää huomiota siihen miten opiskelijoita ohjeistetaan niin, että he itse tietävät mitä ovat milloinkin tekemässä, vaikka laitteiden käyttäminen vaatisikin osittain reseptimäisiä ohjeita.

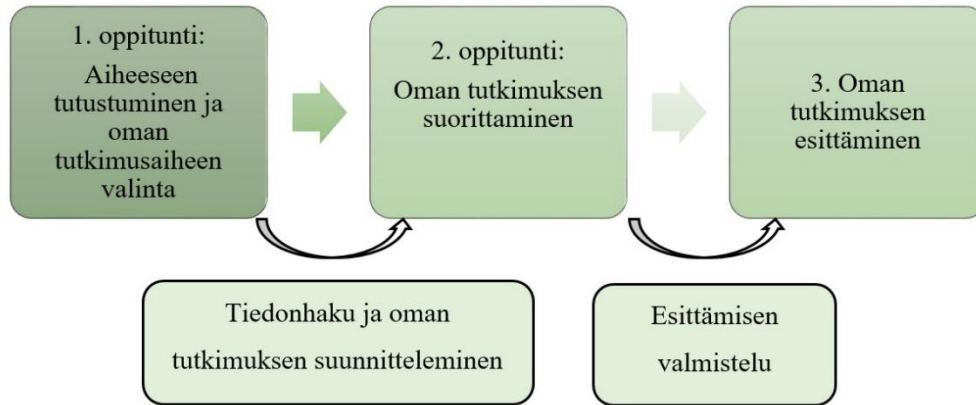
5. Kehittämisprosessi

Tässä luvussa kuvataan kehittämistutkimuksen ensimmäisen syklin kehittämisprosessi ja kehittämistuotos.

5.1. Ensimmäinen kehittämistuotos

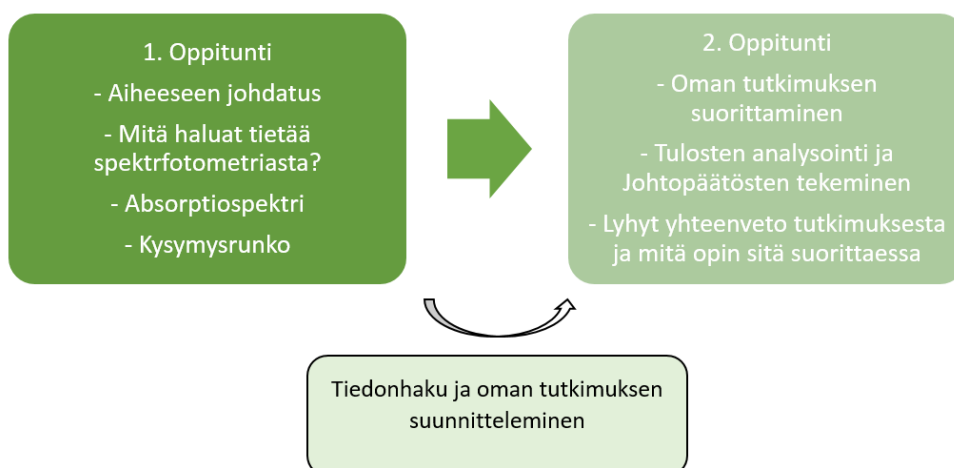
Tämän kehittämistutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa lukio-opetukseen soveltuva kokeellinen työohje tai oppimiskokonaisuus spektrofotometriasta. Opetuksen päätavoitteina oli kehittää opiskelijoiden tutkimisen taitoja ja tutustua spektrofotometriaan kemiallisena analyysimenetelmänä. Teoreettisen ongelma-analyysin pohjalta tutkimisen taitoja kehittää parhaiten oman tutkimuksen suorittaminen, joten tässä oppimiskokonaisuudessa pyritään tarjoamaan opiskelijalle mahdollisimman avoin tutkimuksen suorittaminen, jossa tuetaan opiskelijan omia korkeamman tason ajatteluntaitoja ja kiinnostuskohteita. Koska oman tutkimuksen suorittaminen yhden oppitunnin aikana ei ole kovinkaan realistista, kehittämistuotoksesta suunniteltiin lyhyt oppimiskokonaisuus. Ottaen huomioon lukio-opetuksen rajalliset resurssit ja opiskelijoiden vaihtelevat tutkimisen taidot, opetuskokonaisuus suunniteltiin suoritettavaksi ohjattuna tutkimuksena. Opiskelijan ajatteluntaitoja ja kiinnostuskohteita pyritään tukemaan käyttämällä ohjattua kysymysten esittämistä ja huomioimalla tutkimisen sosiaalinen ulottuvuus. Korkeamman tason ajatteluntaitojen ja tutkimisen taitojen vaatavuus huomioitiin arvioimalla kehitetyn työn ohjeita ennen sen teettämistä opiskelijoilla. Tutkimisen taitojen kehittämisen merkityksellisyyttä pyritään lisäämään myös itsearviointia käyttämällä.

COMBLAB-projektissa käytetyn oppitunti-mallin mukaisesti kokonaisuutta lähdettiin rakentamaan monivaiheiseksi kokonaisuudeksi. COMBLAB-projektin mallista vaiheet 1 ”sitouttaminen” ja 2 ”lämmittely” sulautettiin ensimmäiseen oppituntiin ja vaiheet 3 ”kokeellinen osuus” ja 4 ”johtopäätökset” toiseen oppituntiin. (kuva 9) Lopulta oppimiskokonaisuudesta rakentui kolmivaiheinen tutkimus, jonka ensimmäinen osa eli tunti keskittyisi innostamiseen ja kysymysten esittämiseen, toisella tunnilla suoritettaisiin ja analysoitaisiin oma tutkimus ja kolmannella tunnilla oma tutkimus esitettäisiin. Osien välillä opiskelijat tekisivät paljon itsenäistä työskentelyä. Ensimmäisen ja toisen oppitunnin välillä opiskelijoiden tulisi hakea taustatietoa tutkimusaiheestaan ja suunnitella seuraavalla tunnilla suoritettava oma tutkimus. Toisen ja kolmannen oppitunnin välissä opiskelijoiden tulisi valmistella oman tutkimuksensa esittäminen. Alkuperäinen tuntisuunnitelma oppimiskokonaisuudesta löytyy liitteestä 6.



Kuva 9: Oman tutkimuksen suorittaminen kolmivaiheisena prosessina.

Testauspaikaksi valikoitui pääkaupunkiseudun ulkopuolella sijaitseva lukio Uudeltamaalta. Aikataulullisista syistä oppimiskokonaisuutta ei enää pystytty toteuttamaan alkuperäisen tuntisuunnitelman mukaisessa laajuudessa tänä keväänä. Aikataulun ja opettajan kuvaamien opiskelijoiden kokeellisen työskentelyn taitojen perusteella tuntisuunnitelmaa muokattiin oppilaille sopivammaksi. Käytännössä tämä tarkoitti siirtymistä kohti Colburnin kuvaamaa suljettua tutkimusta (Schwab taso 0). Lisäksi työn esittäminen jätettiin pois, joten kokonaisuus supistui kaksivaiheiseksi. Töitä pääsi kokeilemaan yksi opettaja ja hänen kaksi opiskelijaryhmäänsä lukion kemian 7. eli kokeellisen kemian kurssilta. Yhteensä opiskelijoita osallistui oman tutkimuksen suunnitteluun 18 kappaletta. Oppilaita varten muokattu tuntisuunnitelma löytyy liitteestä numero 7 ja kulkee nimellä ”spektrofotometriaa tutkimuksellisesti”.



Kuva 10: Spektrofotometriaa tutkimuksellisesti -oppimiskokonaisuuden toteutus kuvana.

Tuntisuunnitelmien lisäksi tässä kehittämistutkimuksessa on luotu internetsivusto, joka käsittelee spektrofotometriaa. (kuva 10) Sivuston tarpeellisuus nousi esille empiirisessä tarveanalyysissä, jonka mukaan spektrofotometria esiintyy osittainen pirstaleisena oppikirjojen välittämässä kuvassa. Sivusto suunniteltiin myös tukemaan opiskelijan oman tutkimuksen suunnittelua. Lisäksi sivua rakennettaessa pyrittiin siihen, että se välittää tietoa sopivista oppilastöistä opettajille. Rakennettu sivusto löytyy osoitteesta www.spektrofotometria.wordpress.com.



Kuva 11: Kuvakaappaus Spektrofotometria-sivuston etusivusta

Tärkeinä kriteereinä kehittämistuokselle pidettiin myös sen soveltuvuutta lukio-opetukseen niin resurssien, aikataulujen kuin opiskelijoiden tasoihin sopivuuden kannalta. Opetussuunnitelman kuvaamista tutkimisen taidoista keskityttiin oman tutkimuksen suunnitteluun, kysymysten esittämiseen kysymysrunгон avulla ja sosiaalisen vuorovaikutuksen lisäämiseen ryhmätyöskentelyllä.

5.1.1. Tutkimusaiheiden kontekstien kuvaus

Opiskelijoilla testattuun tuntisuunnitelmaan valikoitui kaksi kokeellista osuutta. Spektrofotometriaan ja absorptioon tutustuttiin värien ominaisuuksien tutkimisen avulla. Opiskelijat saivat ajaa elintarvikeväreistä valmistettujen liuosten absorptiospektrit Kemianluokka Gadolinista lainatulla Vernierin SpectroVis-spektrofotometrillä. Lisäksi analysoitiin klorofyllin absorptiospektri ja pohdittiin mitä käytännön informaatiota voimme siitä saada. Internetsivustolla esitellään myös vaihtoehtoinen työ absorbanssiin tutustumiseksi tussien tai kuulakärkikynän musteen tutkimisen avulla.

Tietämystä spektrofotometriasta syvennettiin tutkimalla eri aineiden pitoisuuksia. Opiskelijat saivat syventyä itse valitsemaansa kontekstiin ja suunnitella omaa tutkimustansa. Opetuskäytössä testattuja oppilastöitä olivat kupari-, glukoosi- ja fosfaattipitoisuuden määrittäminen. Kaiken kaikkiaan spektrofotometriasta kertovalla sivustolle kirjattiin viisi kvantitatiiviseen analyysiin soveltuvaa kontekstia. Niihin liittyviä oppilastöitä sivustolla on esitetty kuusi kappaletta. Kontekstit ja niihin liittyvät oppilastyöt ovat:

- Pesuaineiden fosforipitoisuus: Fosfaattipitoisuuden määrittäminen
- Lääketieteellisiä määrittämiä: Aspiriini- tai glukoosipitoisuuden määrittäminen
- Ruoan laadun tutkimus: Proteiini- tai glukoosipitoisuuden määrittäminen
- Metallien kierrättäminen: Kuparipitoisuuden määrittäminen
- Veden puhtaus: klooripitoisuuden määrittäminen

Alustavasti konteksteihin oli tarkoitus kehittää myös pinaatin tai vitamiinitabletin rautapitoisuuden määrittäminen spektrofotometrisesti. Käytetyt menetelmät sisälsivät kuitenkin kaliumtiosyanaatin käsittelyä ja kontekstista luovuttiin sen mahdollisen vaarallisuuden sekä muiden töiden riittävyden takia. Oppilastöitä ja konteksteja haluttiin esitellä mahdollisimman monta, sillä se lisää eri lukioden mahdollisuutta soveltaa töitä omassa opetuksessaan. Konsentraation määrittäminen valittiin opiskelijoiden oman tutkimuksen yhteiseksi ominaisuudeksi, koska sen määrittämisen vaiheet pysyvät samankaltaisina vaikka tutkimusaihe olisi eri. Lisäksi konsentraation määrittämiseen voidaan käyttää Lego-spektrofotometriä, joka on huomattavasti edullisempi hankkia kuin halvimmatkaan opetuskäyttöön suunnitellut spektrofotometrit. Lego-spektrofotometrin rakentamiseen löytyy ohjeet myös verkkomateriaalista. Toki absorptiospektri ja -maksimi voidaan määrittää suuntaa antavasti myös Lego-spektrometrillä, mutta se alkaa olla jo hieman työlästä.

5.1.2. Kehitetyn oppimiskokonaisuuden oppimistavoitteet Rezban et al., (2006)

tutkimisen prosessitaitojen mukaan

Kehitetyn oppimiskokonaisuuden suorittaminen vaatii monipuolista tutkimisen taitojen harjoittelua. Spektrofotometria kontekstina toimii hyvin vaativampien eli integroivien tutkimisen taitojen harjoittelulle, sillä se sisältää jo itsessään kuvaajia, taulukoita ja muuttujien suhteiden tarkastelua. Melkeinpä haasteena tässä aiheessa on se, miten hankalalta tuntuvat kuvaaja, arvot ja käsitteet saadaan tuotua sille tasolle, että niiden opettelu on opiskelijoidenkin mielestä järkevää. Alla kuvattuna mitä tutkimisen taitoja oppimiskokonaisuudessa harjoitellaan.

Perustaidot:

Päätteleminen: Opiskelijat päättelivät aineen absorboimien aallonpituuksien yhteyttä aineen väriin ensimmäisellä oppitunnilla. Toisella oppitunnilla opiskelijoiden tulee päätellä minkä väristä LED-lamppua he käyttävät legoista rakennetussa spektrofotometrissä mitataksaan liuosten absorbanssit konsentraation määrittämistä varten.

Luokittelu: Opiskelijat voivat tutkia liuosten konsentraatiota luokittelemalla liuokset niiden tummuuden mukaan järjestykseen. Tätä ei varsinaisesti ohjeistettu oppitunnilla.

Ennustaminen: Opiskelijat pystyvät ennustamaan mitä aallonpituuksia eriväriset aineet absorboivat. Tässä työssä on käytetty esimerkkinä klorofyllin absorptiota. Klorofyllin absorptiospektrin tunteminen tulee ajankohtaiseksi kasvien valon tarpeesta huolehtimisessa, esimerkiksi kasvihuoneissa.

Mittaaminen: Opiskelijat mittaavat valon absorboitumista ensin Vernierin UV-Vis-spektrofotometrillä ja sitten itse rakentamallaan spektrofotometreillä jännitteen avulla. Mitattavat asiat ovat todella abstrakteja opiskelijoille.

Keskustelu: Testattavaksi muokatussa tuntisuunnitelmassa keskustelua painotetaan aiheeseen tutustumisessa ja tutkimuksen suunnittelemisessa kysymysrungon avulla. Keskustelun tärkeyttä korostetaan myös oppitunnilla kokeellisten osuuksien yhteydessä ryhmätyöskentelyssä.

Integroivat tutkimisen taidot:

Muuttujien tunnistaminen: Absorptiospektriä tarkasteltaessa opiskelijoiden tulisi tunnistaa muuttujiksi alkuaineet, jotka vaikuttavat siihen mitä aallonpituuksia kyseinen aine absorboi. Absorptiospektrissä näkyvät muuttujat ovat absorbanssi ja aallonpituus. Konsentraatiota määritettäessä pitäisi tunnistaa konsentraatio ja absorbanssi tarkasteltaviksi muuttujiksi.

Tiedon hankinta ja prosessointi: Opiskelijoiden tuli hakea tietoa ensimmäisen tunnin jälkeen spektrofotometria-verkkosivuilta ja suunnitella prosessoidun tiedon pohjalta oma tutkimus itse valitun tutkimusaiheen osalta. Tietoa hankittiin ja prosessoitiin ensimmäisellä tunnilla myös kokeellisesti absorptiospektrejä tutkittaessa.

Taulukon rakentaminen: Toisella oppitunnilla opiskelijoiden tuli rakentaa taulukko mitatuista absorbansseista ja vertailuliuosten tunnetuista konsentraatioista. Taulukko rakennettiin Excelillä.

Kuvaajien rakentaminen: Taulukoiduista tiedoista rakennettiin kuvaaja Excelillä. Kuvaajaa muokattiin lävistämään y-akseli ja sille määritettiin suoran yhtälö, sekä korrelaatiokerroin.

Tutkimusten suunnittelu: Opiskelijat suunnittelivat oman tutkimuksen suorittamisen valmiiden työohjeiden pohjalta. Suunnittelutehtävän ideana oli lähinnä saada opiskelijat tutustumaan työohjeeseen, sekä käytettävään menetelmään ennen konsentraation määrittämistä. Lisäksi on tärkeää, että opiskelijat itse miettivät mitä tarvitsevat kyseisen tutkimuksen suorittamiseen.

Tutkimusten analysointi: Taulukoitujen tietojen ja niistä luodun kuvaajan perusteella opiskelijoiden tuli määrittää tutkittavan aineen konsentraatio liuoksessa. Analysointiin käytettiin sekä kuvaajaa, että laskentakaavoja. Lisäksi arvioitiin tulosten oikeellisuutta suoran perusteella.

Muuttujien suhteiden kuvaaminen: Konsentraation ja absorbanssin suhteen kuvaaminen suorana on erittäin keskeistä konsentraation määrittämisessä spektrofotometrillä.

5.1.3. Kehitetyn oppimiskokonaisuuden arviointi korkeamman tason ajatteluntaitojen mukaan

Kehitetty tutkimuksellinen työn on sekä tutkimisen taitojen, että ajatteluntaitojen kannalta katsottuna monipuolinen sekä haastava. Oppimiskokonaisuuden aikana keskitytään menetelmätiedon harjoitteluun. Mutta teorian mukaisesti menetelmätiedon soveltamiseksi, analysoimiseksi ja arvioimiseksi tulee opiskelijoiden ymmärtää käsitetiedot valon absorboitumisesta ja muistaa faktatiedot valosta ja atomin rakenteesta, sekä virittäytymisestä. Oppimiskokonaisuuden tiedot ja harjoiteltavat ajattelutaidot on eritelty taulukkoon 6. Suuri painoarvo työssä on asetettu metakognitiivisten tietojen harjoittamiseen työn alussa ja lopussa itsearvioinnin kautta.

Taulukko 15: Spektrofotometriaa tutkimuksellisesti -oppimiskokonaisuuden arviointi ajatteluntaitojen harjoittelun näkökulmasta.

Tiedon tasot	Ajattelun kognitiiviset tasot					
	Muistaa	Ymmärtää	Soveltaa	Analysoida	Arvioida	Luoda
Faktatieto	Valo, atomin rakenne, elektronin virittäytyminen					
Käsitetieto		Absorboituminen, kuvaajien ja muuttujien vertailu, sekä johtopäätösten tekeminen				
Menetelmä-tieto			Absorptio-spektrin ja -maksimin mittaaminen	Konsentraation ja absorbanssin yhteys	Mittausten oikeellisuus (suoran muodostuminen)	Oman tutkimuksen suunnittelu
Metakognitiivinen tieto	Mitä tiedän spektrofotometriasta? Mitä haluaisin tietää? -tehtävä	Itsearviointi opituista tiedoista ja tutkimisen taidoista.				

6. Opiskelijoiden ja opettajan näkemyksiä tutkimisen taitojen oppimisesta spektrofotometrian oppimiskokonaisuuden avulla

Luvussa 5.1 *Kehittämistuotos 1* kuvattu oppimiskokonaisuus ”Spektrofotometriaa tutkimuksellisesti” (liite 7) testattiin yhdessä lukiossa Uudellamaalla keväällä 2016. Tutkimusta ei suoritettu pääkaupunkiseudulla, jotta lukion oppilaskunta olisi mahdollisimman heterogeenistä ja taidoiltaan erilaista kuvatakseen soveltuvuutta lukio-opetukseen koko Suomen mittakaavassa. Tutkimukseen osallistui yhteensä 18 opiskelijaa lukion 1-3 luokilta. Näistä 17 opiskelijaa vastasi viimeisen oppitunnin jälkeen kvalitatiiviseen tutkimuslomakkeeseen, jolla pyrittiin selvittämään opiskelijoiden tutkimisen taitojen kehittymistä. Tutkimuslomake sisälsi avoimia valmiiksi aloitettuja lauseita, joita täytettiin itsearviointin tapaisesti. Opiskelijoista 7 oli tyttöjä ja 9 poikia, sekä yksi joka ei halunnut vastata sukupuolta koskevaan kysymykseen. Opiskelijat olivat suorittaneet ennen tätä kurssia kemian opintoja 2-5 kurssia, yleisimmin 4 kurssia. Kurssilaisista kemian ylioppilaskokeeseen aikoivat osallistua kaikki paitsi kaksi opiskelijaa, joista toinen oli jo kirjoittanut kemian. Opiskelijoiden lisäksi opittuja tutkimisen taitoja arvioitiin myös opettajan näkökulmasta. Tutkimuskysymyksenä oli ”Miten kehitetty oppimiskokonaisuus vaikutti opiskelijoiden tutkimisen taitoihin?”.

6.1. Triangulaation hyödyntäminen tutkimisen taitojen tutkimisessa

Kehitetyn oppimiskokonaisuuden arviointi toteutettiin triangulaatiotutkimuksena. Triangulaatiotutkimukselle tyypillistä on tarkastella tutkimusaihetta monimenetelmällisesti, useiden taustateorioiden tai muiden näkökulmien kannalta tutkimuksen luotettavuuden lisäämiseksi. (Metsämuuronen, 2003) Useampien näkökulmien huomioimisella pyritään estämään tutkimustulosten sattumanvaraisuus. Tässä tutkimuksessa keskityttiin useampien näkökulmien huomioimiseen tulosten analysoinnissa. Tarkastelun lähtökohtina toimivat opiskelijoiden ja opettajan näkökulmat. Tutkimustilanteessa tutkija osallistui tutkimuksen suorittamiseen pitämällä oppitunnit opiskelijoille. Opiskelijoiden oma opettaja toimi tunnilla apuna, mutta lähinnä havainnoitsijan roolissa. Opettajan näkökulma kerättiin opiskelijoiden tutkimuslomakkeesta muokatulla kyselyllä, jossa opettaja arvioi opiskelijoiden oppimista. Vastaukset on analysoitu luokittelemalla opiskelijoiden vastaukset erilaisten aineistossa esiintyneiden teemojen mukaan ja tyypittelemällä ne kuvaamaan laajaa kokonaiskuvaa.

6.1.1. Tutkimuslomake

Tutkimisen taitojen mittaamiseen pyrittiin hyödyntämään aiemmin käytettyjen tutkimusten menetelmiä, mutta se osoittautui hankalaksi, koska monissa kansainvälisissä tutkimuksissa tutkimisen taitoja mitattiin kvantitatiivisen analyysin tai virtuaalimaailmassa suoritettujen tutkimusten perusteella. (Esim. Ketelhut, 2007) Tietokonesovellusten avulla tietoa opiskelijoiden tutkimisen taidoista pystyttiin keräämään reaaliajassa ja tutkimustietoa oli saatavilla opiskelijoiden etenemisen vaiheista automaattisesti. Tietokonesovellusten lisäksi tutkimisen taitojen mittaamiseen on kehitetty kvantitatiivisia testejä, jotka koostuvat Likert-asteikolla arvioitavista väittämistä. (Esim. Feyzioglu et al., 2012) Likert-väittämien käyttäminen kuitenkin sopinut tämän tutkimuksen suorittamiseen, koska kvantitatiivinen aineisto ei heijastaisi opiskelijoilta nousevia näkökulmia tarpeeksi laajasti. Lisäksi oman oppimisen arviointi sanallisesti on hyödyllistä tämän tutkimuksen lisäksi myös opiskelijalle. Oppimisen näkeminen kirjallisena auttaa opiskelijaa hahmottamaan mitä kaikkea on opittu, mikä voi toimia opiskelijalle hyvänä kannustimena ja palkintona opiskelun eteen nähdystä työstä.

Tämän tutkimuksen suorittamista varten kehitettiin yhteensä kaksi tutkimuslomaketta. Ensimmäinen versio tutkimuslomakkeesta yhdisteli kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä sisältäen väittämiä ja avoimia kysymyksiä tutkimuksen suorittamista, verkkomateriaalin hyödyntämisestä ja oppimisen merkityksellisyyden arvioinnista. (liite 7) Ensimmäisestä versiosta kuitenkin luovuttiin, koska todettiin sen mittaavan lähinnä tutkimuksen suorittamista ja verkkomateriaalin käyttämistä, eikä niinkään opiskelijoiden tutkimisen taitoja.

Toinen versio tutkimuslomakkeesta rakennettiin Rezba:n et al., tutkimisen taitojen teoriaa hyödyntäen. (liite 8) Tutkimuslomakkeessa opiskelijoiden tehtävänä oli arvioida eri tutkimisen taitojen oppimista valmiiksi aloitettuja lauseita jatkaen. Lauseiden aloituksella pyrittiin kiinnittämään huomiota arvioitavaan tutkimisen taitoon, mutta avoimuus antoi opiskelijalle tilaa vastata oman näkemyksensä mukaisesti. Opiskelijoille suunnattu tutkimuslomake on esitetty liitteessä 8. Tutkimuslomaketta muokattiin opettajaa varten niin, että tarkastelunäkökulma olisi selkeä opettajan arvioitavaksi. Opettajalle suunniteltu tutkimuslomake on esitetty liitteessä 9. Lomakkeet koostuivat yhteensä 25 avoimesta lauseesta. Opettajan lomakkeessa on yksi avoin lause enemmän. Lomakkeen painopiste oli oppimisen arvioinnissa tietojen, taitojen ja asenteiden näkökulmasta, mutta tietoa kerättiin myös verkkosivujen ja työohjeiden toimivuudesta sekä tutkimisen taitojen

merkityksellisyydestä opiskelijoille. Kehitetty tutkimuslomake vertaisarvioitiin muutamalla maisteritason opiskelijalla sekä hyväksytettiin tämän tutkimuksen ohjaajalla. Tutkimustuloksiin ja opiskelijoiden vastauksiin vaikuttaa suuresti se, miten kemiaa on opetettu heille aikaisemmin.

Oppimisen tarkastelu oli jaettu kyselylomaketta suunniteltaessa opiskelijoiden tietojen, taitojen ja asenteiden kehittymistä mittaaviin lauseisiin. Raja tietojen, taitojen ja asenteiden välillä on muutenkin häilyvä, ja lisäksi opiskelijoiden arviointitasoissa ja vastaustavoissa voi olla suuriakin eroja. Avoimissa lauseissa oppilaat voivat esittää sen ajatuksen, mikä heille ensimmäisenä tulee mieleen. Esimerkiksi tietona voidaan pitää Lambert-Beerin lain mukaista tietämistä konsentraation ja absorbanssin yhteydestä, mutta toisaalta tutkimisen taitona voidaan pitää tämän matemaattisen yhteyden soveltamista käytäntöön. Lisäksi osassa aloitetuista lauseista tutkittiin sitä mitä opittiin käyttämällä jotakin tutkimisen taitoa. Esimerkiksi kohta ”5. *Esittämällä kysymyksiä opin...*”

Lauseet oli järjestetty tutkimuslomakkeeseen niin, että niihin olisi helppo vastata. Karkeasti jaoteltuna pelkästään opiskelijoiden tiedon oppimista mittasivat lauseet 1 ja 21, opiskelijoiden taitoja mittasivat lauseet 2-4, 8 ja 15–20, sekä opiskelijoiden asenteita mittasivat lauseet 20 ja 22-24. Opiskelijoiden mielipiteitä ja kokemuksia teorian pohjalta valituista menetelmistä mittasivat lauseet 5, 9, 12, 13 ja 7. Työohjeita ja verkkomateriaalia koskevat lauseet olivat 10 ja 11. Legoista ja Led-lampuista rakennetun spektrofotometrin hyötyjä mittasi lause 14.

6.1.2. Tutkimustulokset

Yhteensä tutkimuslomakkeisiin vastasi 17 lukio-opiskelijaa ja heidän opettajansa. Yksi opiskelija oli poissa kyselyyn vastaamispäivänä. Avoimia lauseita oli melko paljon, joten opiskelijoiden vastaukset olivat yleensä lyhyitä ja toisinaan myös tyhjiä. Vastauksista pyritään löytämään yhtäläisyyksiä ja muodostamaan niiden perusteella kattava kuva siitä, mitä lukiolaiset ovat työn aikana oppineet. Opiskelijoista 4 oli poissa joltakin kokonaisuuden tunnilta, joten heidän vastauksiansa huomioida niiltä osin kun he eivät olleen paikalla. Opettajalla oli takanaan 10 vuoden opettajan kokemus ja 4 vuoden työura tutkijana yliopistolla. Opettajan kuvauksen mukaan opiskelijoiden kokeellisen työskentelyn taidot ovat melko vähäisiä, koska normaaleilla kursseilla ei ole resursseja kokeellisuuden järjestämiseen. Vastauksia verrattiin kappaleessa 5.1.2 esitettyihin oppimistavoitteisiin.

6.1.2.1. Spektrofotometriaa tutkimuksellisesti -oppimiskokonaisuuden aikana opitut tiedot

Opiskelijat kokevat oppineensa työn suorittamisen aikana faktatietoja spektrofotometriasta. Sen lisäksi he kuvasivat oppineensa menetelmätietoja spektrofotometrin toiminnasta, rakenteesta ja käyttämisestä, sekä tietoa sen käyttökohteista. Vastauksissa mainitaan myös tietoa valosta, absorptiosta ja värien syntyisestä, sekä konsentraatiosta ja mittapullojen käyttämisestä. Lisäksi opiskelijat ovat maininneet oppineensa uuden analyysimenetelmän. Myös opettajan vastauksessa nouse esille samat asiat. Lisäksi opettaja huomasi opiskelijoiden yhdistelleen fysiikassa oppimiansa asioita kemiaan. Opiskelijoiden ja opettajan vastaukset ovat linjassa oppimiskokonaisuudelle asetettujen tavoitteiden kanssa.

Taulukko 16: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 1. *Opin työn suorittamisen aikana tietoja...*

Opiskelijan vastaus lauseeseen 1. Opin työn suorittamisen aikana tietoja...	Luokittelu
"Spektrofotometrian eri sovelluksista ja miten spektrofotometria toimii"	Tietoja spektrofotometriasta, sen käyttökohteista ja spektrofotometrin toiminnasta
"Mitä spektrofotometria on. Miten spektrofotometri tehdään leegoista ja miten sitä käytetään. Miten tulokset laitetaan tietokoneelle ja luetaan suoralta. Mitä eroa on pitoisuudella ja konsentraatiolla."	Tietoja spektrofotometriasta, spektrofotometrin rakenteesta, ja menetelmätietoa sen käyttämisestä. Tietoja taulukkolaskennan käyttämisestä ja tulosten analysoinnista (menetelmätietoa). Tietoja konsentraatiosta.
"taulukon käytöstä, konsentraatiosta, valosta ja miten siitä taittuu värejä"	Tietoja taulukkolaskennan käyttämisestä. Tietoja konsentraatiosta, valosta ja värien syntyisestä.

Kohdassa 21. *Ymmärsin, että spektrofotometriaa esiintyy arkielämässäni...* pyrittiin selvittämään opiskelijoiden oppimia tietoja spektrofotometrian käyttökohteista. Useimmiten vastauksissa mainittiin teollisuus, lääketiede tai ympäristön tutkimus. Lauseeseen vastattiin myös ”monissa paikoissa” tai ”kaikkialla”. Lisäksi muutama opiskelija oli maininnut esiintymisen väreissä ja viritystiloissa. Yksi opiskelija oli maininnut oppilastöiden tutkimusaiheita tutkimuskohteina. Opettajan arvioi, että opiskelijat olivat oppineet arkielämän kytkökset tunneilla esitetyistä dioista ja oppilastöiden aiheista. Vastausten perusteella diojen esittämät kytkökset ovat jääneet opiskelijoille selkeämmin mieleen. Kytköksiä koskevat diat oli rakennettu opiskelijoiden ”kysy mitä haluaisit tietää” -tehtävän kysymyksien perusteella. (liite 11)

Taulukko 17: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen ”21. Ymmärsin, että spektrofotometriaa esiintyy arkielämässäni...”

Opiskelijan vastaus lauseeseen 21. Ymmärsin, että spektrofotometriaa esiintyy arkielämässäni...	Luokittelu
”lääketieteessä, teollisuudessa, ilma/ympäristötieteessä”	Lääketieteessä, teollisuudessa, ympäristön tutkimuksessa
”monissa eri paikoissa ja sille on monta käyttötarkoitusta”	Monissa paikoissa
”veden puhdistuksessa, glukoosipitoisuuksien tarkastamisessa, teollisuudessa”	Oppilastöiden aiheissa, teollisuudessa

6.1.2.2. Spektrofotometriaa tutkimuksellisesti -oppimiskokonaisuuden aikana opitut tutkimisen perustaidot

Tutkimisen tekemisen perustaitoja ovat havainnointi, päättelyminen, ennustaminen, luokittelu, mittaaminen ja keskustelu. Opiskelijat arvioivat tutkimuslomakkeen avulla opittuja päättelymisen (tutkimuslomakkeessa nro 3), mittaamisen (4, myöhemmin myös 8), ennustamisen (6) ja keskustelun (12) taitoja. Opiskelijoiden havainnointitaidoista ja luokittelusta ei kysytty, koska ne eivät olleet niin suorasti harjoittelun kohteena tässä oppimiskokonaisuudessa.

Opiskelijat kuvasivat oppineensa päättelymään värin perusteella aineen absorboimia aallonpituuksia, sekä aineen konsentraatiota. Lisäksi mainittiin aineen rakenteen ja absorption välisen yhteyden sekä konsentraation ja absorbanssin välisen yhteyden oppimista. Opettaja arvioi, että opiskelijat oppivat päättelymään myös miten tuntematon konsentraatio voidaan selvittää vertailuluoksien ja niiden absorbanssien kuvaajalta. Lisäksi opettaja mainitsee myös konsentraation päättelymisen liuoksen värisävyjä vertaamalla. Tätä ei varsinaisesti opetettu tunnilla yhteisesti, mutta esimerkiksi glukoosi-pitoisuuden määrittämisessä värierot tulevat selkeästi esille.

Taulukko 18: Esimerkkejä opiskelijoiden tutkimisen taitojen oppimisesta. Kohta 3. Opin päättelymään...

Opiskelijan vastaus lauseeseen 3. Opin päättelymään...	Luokittelu
"konsentraation ja absorbanssin suhteen"	Konsentraation päättelyminen
"mille näyttää eri väristen aineiden absorbtiospektri"	Absorptiospektrin päättelyminen
"värin perusteella konsentraatiota"	Konsentraation päättelyminen

Melkein kaikki opiskelijat kuvasivat oppineensa mittaamaan työn aikana absorbanssin. Opiskelijat mainitsivat myös oppineensa mittaamaan aineen konsentraation tai pitoisuuden, sekä transmittanssin ja jännitteen. Opettaja mainitsee myös jännitteen mittaamisen ja kuvailee opiskelijoiden mittaamisen "taito kehittyi koko ajan tunnin aikana ja lopputunnista varmuus ja omatoimisuus lisääntyivät".

Taulukko 19: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista kohtaan 4. *Opin mittaamaan...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 4. <i>Opin mittaamaan...</i>	Luokittelu
”Aineen absorbanssin spektrofotometrillä ja jännitteen legospektrofotometrillä”	Absorbanssin mittaaminen, jännitteen mittaaminen
”mittapipetillä entistä paremmin. Spektrofotometrillä näytteen (väriliuoksen) absorbanssin, ja katsomaan tulokset koneelta.”	Mittapipetillä mittaaminen, absorbanssin mittaaminen,
”Seoksen konsentraation”	Konsentraation määrittäminen.

Ennustuskykyjen arvioinnin opiskelijat kokivat todennäköisesti vaikeaksi, koska yli puolet opiskelijoista oli jättänyt vastaamatta kohtaan 6. Ne, jotka olivat kohtaan vastanneet kuvasivat osaavansa ennustaa samantyyllisiä kokeita, konsentraatiota liuoksen värin tummuuden perusteella, liuoksen värin absorptiospektrin avulla tai absorptiospektrin liuoksen värin perusteella. Myös oppitunnilla tämä jako näkyi selkeästi eri väriliuosten absorptiospektrejä tutkittaessa. Osa oppilaista ymmärsi asian heti ja toisilla se kesti hieman kauemmin. Myös epävarmuutta ennustusten paikkansapitävyydestä oli havaittavissa oppitunnilla. Opettajan arvion mukaan opiskelijat osaisivat tehdä ennusteita siitä minkälaisia aineita spektrofotometrillä voisi tutkia ja millaisissa arkielämän yhteyksissä spektrofotometriä voisi käyttää.

Taulukko 20 Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen ”6. Työn perusteella osaisin ennustaa...”

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 6. <i>Työn perusteella osaisin ennustaa...</i>	Luokittelu
”saman tyyllisiä kokeita.”	Samantyylisten kokeiden ennustaminen
”syntyvän värin - absorbanssin perusteella”	Liuoksen värin ennustaminen absorption avulla.
”Tietyllä tavalla tehdyn liuoksen kuparin konsentraation.”	Konsentraation värin tummuuden perusteella

6.1.2.3. Integroivien tutkimisen taitojen harjoittelu spektrofotometriaa tutkimuksellisesti -oppimiskokonaisuuden avulla

Integroivia tutkimisen taitoja ovat muuttujien tunnistaminen (lause nro 15), tiedon hankinta ja prosessointi (soveltaminen, 2), hypoteesien rakentaminen (ei rakennettu), muuttujien määrittäminen operationaalisesti (mittaamalla, 8), taulukon rakentaminen (16), kuvaajien rakentaminen (16), tutkimusten suunnittelu (7) ja analysointi (17), muuttujien suhteiden kuvaaminen (18) ja tutkiminen. Näistä ainoastaan hypoteesin rakentamisen oppimista ei testattu, koska työn aikana emme varsinaisesti muodostaneet hypoteeseja. Hypoteesina olisi voinut käyttää esimerkiksi määritetyn pitoisuuden tai konsentraation asettumista lähelle tunnettua arvoa.

Opiskelijoiden muuttujien tunnistamista selvitettiin avoimen lauseen numero 15 avulla. Opiskelijat jatkoivat lausetta *Tuntemattoman aineen konsentraation määrittämistä varten piti...* melko lyhyin vastauksin. Useimmissa vastauksissa nousi esille tarve määrittää absorbansseja. Vastauksista jää hieman epäselväksi hahmottivatko opiskelijat tunnetun konsentraation tärkeyttä, mutta se saattaa johtua myös avoimen lauseen asettelusta ja sijoittumisesta kyselyn loppupuolelle. Osa opiskelijoista oli vastannut lyhyesti vain jonkin vaiheen, joka piti työn aikana suorittaa tai oli muutoin jäänyt mieleen työn suorittamisesta. Esimerkiksi piti ”käyttää väkeviä happoja”, ”mitata jännitettä” tai ”piirtää kuvaaja”. Lisäksi vastauksiin saattaa vaikuttaa se, että vertailuluokat tunnetuilla konsentraatioilla oli jo valmiiksi valmistettu. Myös opettajan arvion mukaan ”absorbanssi käsitteenä on opiskelijoille hyvin hankala. Toisaalta se on hankala käsite monille vielä yliopistossakin.” Opettaja kuvaa vastauksessaan myös, että tunnilla esitetyt erilaiset kaaviokuvat säteilyn kulkeutumisesta spektrometrissä auttoivat opiskelijoita hahmottamaan absorptiota.

Taulukko 21: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 15. *Tuntemattoman aineen konsentraation määrittämistä varten piti...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen ”15. Tuntemattoman aineen konsentraation määrittämistä varten piti...”	Luokittelu
”Selvittää tuntemattoman aineen absorbanssi, jolla konsentraatio on tunnettu + näytteiden absorbanssi.”	Muuttujina absorbanssi ja konsentraatio
”Mitata aineen absorbanssi. Se saatiin selville mittaamalla ensin lediin indusoitunut jännite.	Muuttujana absorbanssi
”mitata absorbanssi”	Muuttujana absorbanssi

Toisaalta opiskelijat osasivat kuvata konsentraatiota ja absorbanssia muuttujina avoimen lauseeseen numero 8. *Osasin mitata spektrofotometrillä...* kohdassa. Niissä kuvattiin usein, että absorbanssin mittaamisella pystyttiin määrittämään konsentraatio. Lauseeseen numero 8. opiskelijat kuvasivat paljon tarkemmin mitä pystyivät mittaamaan, kuin lauseeseen 4. *Opin mittaamaan...* Muutamassa vastauksessa kuvattiin näytteiden analysointia, jännitteen mittaamista ja mittauksissa onnistumista eli sitä miten hyvin oli osannut mitata. Opettajan arvioin mukaan opiskelijat selviytyivät mittauksista yllättävän hyvin ohjaajan antamien ohjeiden avulla.

Taulukko 22: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista kohtaan 8. *Osasin mitata spektrofotometrillä...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 8. Osasin mitata spektrofotometrillä...	Luokittelu
"Aineen absorbanssin ja sitä kautta pitoisuuden."	Absorbanssin mittaaminen, pitoisuuden määrittäminen
"Glukoosipitoisuuden näytteestä, värien absorbanssin."	Pitoisuuden määrittäminen, absorbanssin mittaaminen,
"aineiden absorptiospektrejä"	Absorbanssin mittaaminen.

Tiedon hankinta ja prosessointi taitoja mitattiin kohdassa 2. *Opin soveltamaan...* Opiskelijat kokivat oppineensa soveltamaan tietoja spektrofotometriasta ja aineen absorptiospektristä käytännössä, sekä kemian kaavoja, matematiikkaa suoran yhtälön hyödyntämisessä ja sähköoppia fysiikasta. Yhdessä vastauksessa opiskelija kuvasi oppineensa soveltamaan "omia aivojansa". Myös Legojen hyödyntäminen mainittiin. Opettajan näkökulmasta opiskelijat oppivat soveltamaan "kursseilla opittuja tietoja käytäntöön: miten liuoksia valmistetaan, mitä absorptio tarkoittaa, mitä on spektroskopia, miten määritetään näytteen tuntematon pitoisuus" tunnettujen vertailuluosten avulla mitatusta kuvaajasta.

Taulukko 23: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 2. *Opin soveltamaan...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 2. Opin soveltamaan...	Luokittelu
"Kemian peruskaavoja. Suoran yhtälöä. Sähköfysiikkaa."	Kemian kaavojen, suoran yhtälön ja sähköopin soveltaminen.
"spektrofotometriä kuparipitoisuuden määrittämisessä"	Tiedon soveltaminen käytännössä.
"kemian kaavoja ja omia aivojani"	Kemian kaavojen soveltaminen. Omien aivojen käyttäminen.

Taulukon ja kuvaajien rakentamisen oppimista mittasi tutkimuslomakkeen lause 16. *Osasin tehdä taulukkolaskennan avulla...* Useimmat opiskelijat kuvasivat oppineensa tekemään suoran kuvaajan. Kuvaajan tekemiseen käytimme lähtöarvoina taulukkoa absorbanssista ja konsentraatiosta. Opiskelijat oppivat siis taulukon ja kuvaajan rakentamisen taitoja taulukkolaskentaa hyödyntämällä. Vastauksissa mainittiin myös kerran taulukon tekeminen ja muutaman kerran laskujen tekemisen oppiminen. Opettaja oli vastauksessaan samaa mieltä opiskelijoiden kanssa. Opettajan mielestä opiskelijat suoriutuivat pienten neuvojen avulla myös suoran kulmakertoimen määrittämisestä ja näytteen tuntemattoman pitoisuuden selvittämisestä.

Taulukko 24: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen ”16. Osasin tehdä taulukkolaskennan avulla...”

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 16. Osasin tehdä taulukkolaskennan avulla...	Luokittelu
”absorbanssitaulukon”	Taulukon rakentaminen.
”suoran kuvaajan”	Kuvaajan rakentaminen.
”kuvaajan ja laskea”	Kuvaajan rakentaminen, laskutoimitusten suorittaminen.

Muuttujien analysointia ja suhteiden kuvaamista mittasivat kysymykset ”17. Taulukoidusta tiedosta pystyin analysoimaan...” ja ”18. Kuvaajan avulla osasin selvittää...” Useimmiten opiskelijat vastasivat pystyneensä analysoimaan taulukoidusta tiedosta suoran kuvaajaa ja siitä absorbanssin ja konsentraation suhdetta. Vastauksissa mainittiin myös aineiden ominaisuuksien analysointia, kulmakerrointa ja ”vaikka mitä”. Myös opettaja mainitsi standardisuoran muodostamisen ja sitä kautta tuntemattoman aineen konsentraation määrittämisen.

Taulukko 25: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 17. Taulukoidusta tiedoista pystyin analysoimaan...

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 17. Taulukoidusta tiedoista pystyin analysoimaan...	Luokittelu
”Syntyvää kuvaajaa ja sen kulmakerrointa (yhtälöä)”	Kuvaajan analysointi, kulmakertoimen analysointi
”miten pitoisuudet vaikuttavat absorbanssiin”	Pitoisuuksien yhteyttä absorbanssiin
”paljonko kuparia näyte sisälsi.”	Pitoisuuksien yhteyttä absorbanssiin

Kohdassa 18. *Kuvaajan avulla osasin selvittää...* opiskelijat kuvasivat osanneensa selvittää näytteen konsentraation tai pitoisuuden. Muutamissa vastauksissa oli mainittu pelkästään absorbanssin selvittäminen. Lisäksi muutama oppilas vastasi osanneensa selvittää mittaustulosten oikeellisuutta. Myös opettajan mielestä opiskelijat osasivat selvittää kuvaajan avulla tuntemattoman liuoksen pitoisuuden.

Taulukko 26: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 18. *Kuvaajan avulla osasin selvittää...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 18. <i>Kuvaajan avulla osasin selvittää ...</i>	Luokittelu
”Aineen eri ominaisuuksia, kuten konsentraation ja absorbanssin.”	Kuvaajan analysointi, kulmakertoimen analysointi
”tutkitun aineen pitoisuuden”	Pitoisuuksien yhteyttä absorbanssiin
”kuinka hyvin tulokset oli mitattu”	Pitoisuuksien yhteyttä absorbanssiin

Rezba:n et al. (2006) Kuvaama korkeimman tutkimisen taidon eli tutkimisen mittaamiseen liittyä kaikki edellä mainitut avoimet lauseet. Lisäksi kohdassa 19. *Tämän jälkeen osaisin tehdä itse...* ja 20. *Haluaisin vielä tietää ja/tai tutkia...* on tavoiteltu omien tutkimisen taitojen ja kiinnostuksen kuvaamista. Opiskelijat kokivat työn suorittamisen jälkeen pystyvänsä suorittamaan samankaltaisen tutkimuksen, mutta esimerkiksi eri aineilla. Moni oli myös maininnut, että osaisi rakentaa Legoista spektrofotometrin. Opettaja arvioi, että opiskelijat osaisivat tehdä myös vertailuliuokset itse.

Taulukko 27: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 19. *Tämän jälkeen osaisin tehdä itse...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 19. <i>Tämän jälkeen osaisin tehdä itse...</i>	Luokittelu
”Samantyyppisiä tutkimuksia ja kokeita spektrofotometrillä tiettyyn tasoon asti.”	Samankaltaisen tutkimuksen suorittaminen
”legospektrofotometrin, kuvaajan exceliin”	Spektrofotometrin rakentaminen Legoista, kuvaajan rakentaminen taulukkolaskennan avulla
”saman työn eri aineilla”	Samankaltaisen tutkimuksen suorittaminen

6.1.2.4. Asenteiden kehittyminen Spektrofotometriaa tutkimuksellisesti - oppimiskokonaisuuden aikana

Opiskelijoiden asenteita kemiaa ja oppimiskokonaisuutta kohtaan mitattiin avoimissa lauseissa 22. *Koen, että työstä oli apua tulevaisuudessani, koska...*, 23. *Kokonaisuudessaan työstä jäi...* ja 24. *Erityisesti pidin...*, sekä 20. *Haluaisin vielä tietää ja/tai tutkia...* Kokonaisuudessaan opiskelijat pitivät oppimiskokonaisuutta merkityksellisenä tulevaisuutensa kannalta, koska kokivat tarvitsevansa oppimiaan tietoja ja taitoja tulevalla alallaan tai opinnoissaan. Vastaukseksi tuli myös kemian kirjoittaminen, kiinnostus luonnontieteitä kohtaan, työn käytännönläheisyys, sekä spektrofotometriasta oppiminen ja Excelin käytön oppiminen.

Taulukko 28: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 22. *Koen, että työstä oli apua tulevaisuudessani, koska...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 22. <i>Koen, että työstä oli apua tulevaisuudessani, koska...</i>	Luokittelu
"kemian opiskeleminen kiehtoo."	Kiinnostunut luonnontieteistä.
"olen kiinnostunut luonnontieteistä ja pyrin pääsemään lukemaan arkkitehtuuria, jossa on hyötyä pintamateriaalien värien muodostumisessa."	Kiinnostunut luonnontieteistä, tarvitsee tietoja ja taitoja tulevalla alalla ja opinnoissa.
"aion mahdollisesti kohdata näitä laitteita tulevalla alallani."	Tarvitsee tietoja ja taitoja tulevalla alalla.
"yliopistossa ymmärrän paremmin spektrofotometriaa ja sen käyttöä."	Tarvitsee tietoja ja taitoja tulevissa opinnoissa.

Opiskelijoiden jatkotutkimusaiheet liittyivät omien tutkimuksien tietojen syventämiseen tai muihin spektrofotometrian käyttökohteisiin. Opiskelijat halusivat esimerkiksi tietää mitä muuta näytteessä oli tai tutkia sillä lääkkeitä. Tähän kohtaan vastasi vain alle puolet opiskelijoista.

Taulukko 29: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 20. *Haluaisin vielä tietää ja/tai tutkia...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 20. <i>Haluaisin vielä tietää ja/tai tutkia...</i>	Luokittelu
"Spektrofotometrien syvällisimmistä kohteista."	Tietää lisää spektrofotometrian käyttökohteista
"mitä metallia kuparinäytteessä oli kuparin lisäksi."	Tutkia lisää omaa tutkimusaihetta
"lääketiedettä ja farmasiaa"	Tutkia lääkkeitä.

Avoimeen lauseeseen 23. *Kokonaisuudessaan työstä jäi...* opiskelijat vastasivat jääneen hyvän mielen, mielenkiinnon tinnun, kivan kokemuksen, hyviä ajatuksia ja muistoja. Opettajan kuvauksen mukaan opiskelijat ”olivat innoissaan uudesta aihekokonaisuudesta ja tykkäsivät osallistua tutkimukseen. Opiskelijat selkeästi tykkäsivät, että kouluun saatiin spektrometri ja legospekkarit ja että he saivat tehdä jotain erilaista normaalista.”

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 23. Kokonaisuudessaan työstä jäi...	Luokittelu
”hyviä ajatuksia ja muistoja. Nautin työstä hyvin paljon.”	Hyviä ajatuksia, hyviä muistoja.
”mielenkiinnon tuntu.”	Mielenkiinnon tuntu.
”hyvä mieli”	Hyvä mieli.

Eniten erilaisia vastauksia avoimista lauseista keräsi kohta 24. Erityisesti pidin... Opiskelijat kuvasivat pitäneensä erityisesti liuosten valmistamisesta, tutkimisesta, työn haastavuudesta, monipuolisuudesta, Lego-spektrofotometrillä, mittaamisesta, opetustyylistä, näytteen valmistamisesta, aineiden sekoittelusta, materiaalin suoraviivaisuudesta ja värien tutkimisesta. Myös opettaja arvioi opiskelijoiden pitäneen eniten värillisistä liuoksista ja mittauksista.

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 24. Erityisesti pidin...	Luokittelu
”työn haastavuudesta ja monipuolisuudesta”	Haastavuus, monipuolisuus.
”värien tutkimisesta”	Värien tutkiminen.
”legospektrofotometrillä mittaamisesta”	Legospektrofotometri, mittaaminen.
”Liuosten valmistamisesta”	Liuosten valmistaminen.

6.1.2.5. Käytettyjen opetusmenetelmien arviointi

Käytetyissä opetusmenetelmissä pyrittiin aktivoida opiskelijoita kannustamalla heitä kysymysten esittämiseen ja tutkimuksen suorittamista pyrittiin tukemaan varaamaan riittävästi aikaa sosiaaliselle vuorovaikutukselle. Tutkimuskirjallisuudesta nousseita menetelmiä olivat myös oman tutkimusaiheen valinta ja tutkimuksen suunnitteleminen. Opetusmenetelmien toimivuutta pyrittiin arvioimaan kohdissa 5, 7, 9, 12 ja 13. Kysymysten esittämiseksi oli varattuna alkuperäisessä suunnitelmassa melko paljon aikaa, mutta testatessa työtä aika ei riittänyt kysymysrungon kokeilemiseen. Lopulta siis kysymykset tulivat esille vain ensimmäisen oppitunnin alussa kysyttäessä ”Mitä haluaisit tietää spektrofotometriasta?” ja työtä suoritettaessa sen mukaan mitä kysyttävää opiskelijoilla oli. Sosiaalisen vuorovaikutuksen painottamiseen pyrittiin ryhmätyöskentelyllä, kysymysten esittämällä ja varaamalla työskentelyyn paljon aikaa.

Avoimessa lauseessa 5. *Esittämällä kysymyksiä opin...* opiskelijat kuvasivat oppineensa tietoja spektrofotometriasta. Kysymyksillä oli myös merkitystä tutkimuksen suorittamisen apuna, kuten taulukkolaskennan käyttämisessä ja laskujen ratkaisemisessa. Yhden opiskelijan mielestä oli turhaa esittää kysymyksiä. Yksi opiskelija ei esittänyt yhtään kysymystä oppituntien aikana.

Taulukko 30: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 5. *Esittämällä kysymyksiä opin...*

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 5. <i>Esittämällä kysymyksiä opin...</i>	Luokittelu
”Syventävää tietoa valon absorboinnista.”	Tietoja
”Miten työssä edetään. Miten tietokoneen taulukko-ohjelma toimii.”	Tutkimuksen suorittamisesta, taulukko-ohjelman käytöstä
”Mihin spektrofotometriaa voi käyttää”	Tietoja

Kohdassa 9. Työn alussa ”Kysy mitä haluaisit tietää spektrofotometriasta.” auttoi opiskelijoita heidän arvionsa mukaan ymmärtämään mitä on spektrofotometria ja mihin sitä käytetään. Useimmat ensimmäisen oppitunnin kysymyksistä liittyi myös näihin aiheisiin. Opiskelijoiden vastaukset olivat pääosin positiivisia. Osa opiskelijoista oli muotoillut vastauksensa niin, että kysymykset auttoivat ymmärtämään aihetta paremmin ja että oppiminen oli syvällisempää. Opettajan arvion mukaan tehtävä auttoi opiskelijoita ymmärtämään ”miten vaikea käsite spektrofotometria on ja miten hankalaa on osata kysyä siitä jotain järkevää”. Opettaja arvioi myös, että opiskelijoille jäi kysymyksen myötä ehkä selkeämmin mieleen, mitä sillä oikeasti voi tehdä.

Taulukko 31: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 9. Työn alussa ”kysy mitä haluat tietää spektrofotometriasta” auttoi....

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 9. Työn alussa ”Kysy mitä haluat tietää spektrofotometriasta auttoi...”	Luokittelu
”tietämään mihin sitä tarvitaan teollisuudessa ja ensinnäkin mihin sillä pyritään.”	Spektrofotometrian ymmärtämisessä, käyttökohteiden hahmottamisessa
”Perehtymään tutkittavaan asiaan ja oppiminen tehostui.”	Syventämään tietoja, tehostamaan oppimista
”ymmärtämän sitä paremmin”	Tehostamaan oppimista

Oman tutkimusaiheen valitsemisen opiskelijat kokivat suurimmaksi osaksi positiivisena. Vain yksi opiskelija oli kuvannut kohtaan 13. Valitsemalla oman tutkimusaiheen sain ”tyhjät kädet”. Kaksi opiskelijaa oli ollut pois kyseiseltä tunnilta, jolloin valinta tehtiin. Yksi opiskelija oli vain vastannut minkä työn tässä oli valinnut. Merkittävää opiskelijoiden vastauksissa on, että he kokivat valitsemisen lisäävän mielenkiintoa, mielekkyyttä ja työn kiinnostavuutta. Opettajakin totesi vastauksessaan, että opiskelijoilla oli selkeästi halu tutkia jotain tiettyä aihetta. Hän kuvaa, että yksi työpari jopa erkaantui eri ryhmiin, sillä toinen oli kiinnostunut eri aiheesta kuin toinen. ”Selkeästi motivaatio kasvoi, kun aiheen/ryhmän sai valita itse.”

Taulukko 32: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista kohtaan 13. Valitsemalla oman tutkimusaiheen sain...

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 13. Valitsemalla oman tutkimusaiheen sain...	Luokittelu
”kiinnostustani vastaavan tutkimuksen.”	Positiivinen vastaus: Lisäsi kiinnostusta
”työstä itselle mielenkiintoisen.”	Positiivinen vastaus: Lisäsi mielenkiintoa
”keskittyä kiinnostavimpaan aiheeseen”	Positiivinen vastaus: Lisäsi kiinnostusta
”tehdä itselleni mieleisen työn”	Positiivinen vastaus: Lisäsi mielekkyyttä

Opiskelijoiden tieteellisen keskustelun taitoja haluttiin arvioida tutkimuslomakkeella sen hyödyllisyyden näkökulmasta. Oletuksena keskustelutaidoille oli, että tieteellisen keskustelun ylläpitäminen on hyödyllistä sen tasosta riippumatta ja on järkevämpää tutkia mitä hyötyjä oppilaat näkevät sillä olevan. Selkeästi opiskelijat kokivat opettajan ja muiden opiskelijoiden kanssa keskustelun tärkeänä tehtävän ja aiheen ymmärtämisen kannalta.

Muutamissa vastauksissa sen koettiin auttavan tehtävän suorittamisessa ja spektrofotometriaan liittyvien asioiden pohtimisessa. Yksi opiskelija vastasi, että keskustelu auttoi epävarmuuksien poistamisessa. Opettaja kuvasi, että keskustelu auttoi opiskelijoita ymmärtämään ryhmässä toimimisen hyvät puolet ja se kehitti heidän vuorovaikutustaitojansa.

Taulukko 33: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 12. Opettajan ja muiden oppilaiden kanssa keskustelu auttoi minua...

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 12. Opettajan ja muiden oppilaiden kanssa keskustelu auttoi minua...	Luokittelu
”ymmärtää tutkittavaa asiaa”	Tehtävien/aiheen ymmärtämisessä
”etenemään työssä”	Tehtävien suorittamisessa
”saamaan epävarmuudet pois”	Epävarmuuksien poistamisessa

Avoimessa lauseessa 7. *Oman tutkimuksen suunnitleminen oli...* tutkittiin opiskelijoiden kokemuksia oman tutkimuksen suunnittelemisesta. Tutkimuksen suunnitleminen on myös yksi integroivista tutkimisen taidoista. Vastaukset olivat yllättävän positiivisia. Useimmat opiskelijat kuvasivat oman tutkimuksen suunnittelemista mukavaksi, mielenkiintoiseksi ja kivaksi. Vastauksissa kuvattiin suunnittelemista myös hauskaksi, helpoksi ja erilaiseksi. Yksi opiskelija oli kuvannut oman tutkimuksen suunnittelemista haastavaksi ja yksi hieman hankalaksi. Yhdessä vastauksessa tutkimuksen suunnittelu oli tuntunut sopivan haastavalta. Opettaja kuvasi opiskelijoiden selviytyneen suunnittelusta kohtuullisesti lähtötasoon nähden. Aluksi opiskelijoilla oli hieman lähtövaikeuksia, mutta tunnin aikana omatoimisuus lisääntyi.

Taulukko 34: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista kohtaan 7. Oman tutkimuksen suunnitleminen oli...

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 7. Oman tutkimuksen suunnitleminen oli...	Luokittelu
”mielenkiintoista”	Mielenkiintoista
”mielenkiintoista ja erilaista”	Mielenkiintoista, erilaista
”Mielenkiintoista, vähän hankalaa.”	Mielenkiintoista, vähän hankalaa

6.1.2.6. Oppilastöiden ja verkkomateriaalin arviointi

Opiskelijoiden mielestä työohjeet ja verkkomateriaalit vaikuttivat selkeiltä ja ymmärrettäviltä, sekä helppokäyttöisiltä. Materiaalia kuvattiin myös mielenkiintoiseksi, kattavaksi ja asiantuntevaksi. Muutama opiskelija mainitsi materiaalin vaikuttaneen työn onnistumiseen. Kaksi oppilasta oli myös sitä mieltä, että materiaali vaikutti sekavalta ja siinä oli pieniä puutteita ohjeistuksissa. Myös opettajan mielestä verkkomateriaali vaikutti hyvin suunnitellulta ja mielenkiintoiselta. Opettaja arvioi, että ”verkkomateriaali avasi oppilaille hyvin aiheen ja työohjeet olivat hyvät ja niiden avulla opiskelijat pystyivät itsenäisempään työskentelyyn.”

Taulukko 35: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 10. Työohjeet ja verkkomateriaali vaikuttivat...

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 10. Työohjeet ja verkkomateriaali vaikuttivat...	Luokittelu
”Ymmärrettäviltä ja mielenkiintoisilta..”	Ymmärrettävä, mielenkiintoinen,
”Selkeiltä, kattavilta...”	Selkeä, kattava
”Selkeiltä sekä yksinkertaisilta”	Selkeä, helppokäyttöinen
”ihan joo melko ymmärrettävät jotain olennaista puuttui, ”kaada mitä ja mihin ja mistä”.”	Ymmärrettävä, puutteellinen

Opiskelijat vastasivat myös, että materiaalia ei tarvitsisi kehittää enempää. Muutama opiskelija kehittäisi materiaaleja yksinkertaisemmiksi ja yksityiskohtaisemmiksi. Myös kuvallisten ohjeiden ja lisähuomioiden lisäämistä ehdotettiin. Opettajan mielestä ohjeita voisi myös hieman yksinkertaistaa ja niistä voisi olla tulostettavat versiot muistini tueksi. Myös muuta tietoa voisi olla tulostettavassa muodossa niin, että opettaja saisi helposti tulostettua oman tietopaketin ja tutkimustulokset jäisivät myös talteen.

Taulukko 36: Esimerkkejä opiskelijoiden vastauksista avoimeen lauseeseen 11. Kehittäisin työohjeita ja verkkomateriaalia...

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 11. Kehittäisin työohjeita ja verkkomateriaalia...	Luokittelu
”hieman yksityiskohtaisemmiksi”	Yksityiskohtaisemmiksi
”- en kehittäisi, hyviä sellaisenaan”	Ei kehitettävää
”kuvilla ja huomioimalla mihin kannattaa keskittyä virheiden välttämiseksi”	Lisäisin kuvia ja lisähuomioita

6.1.2.7. Legoista ja LED-lampuista rakennetun spektrofotometrin hyödyntäminen opetuksessa

Avoimessa lauseessa 14. Legoista rakennetusta spektrofotometrillä opin... opiskelijat kuvasivat oppineensa tietoja spektrofotometrin rakenteesta ja toiminnasta, sekä oppineensa itse rakentamaan spektrofotometrin ja mittaamaan absorbanssia jännitteen avulla. Lisäksi opiskelijat kuvasivat oppineensa tietoa LED-lampuista ja siitä, ettei aina tarvitse kallista laitetta. Vastauksissa mainittiin myös se, että toisen ryhmän kanssa punaisia LED-lamppuja rikkoutui useampia. Opettajan näkökulmasta opiskelijat pitivät kovasti oman spektrofotometrin rakentamisesta. Hänen mukaansa ”useampi ryhmä rakensi innoissaan legospekkanin”. Vastauksessa käy ilmi myös se, että kun jokaisella on oma spektrofotometri, niin yhden laitteen luokse ei muodostu jonoa.

Opiskelijoiden vastaus avoimeen lauseeseen 14. Legoista rakennetusta spektrofotometrillä opin...	Luokittelu
”että ledit toimivat detektorina eli kun lediin saapuu samaa aallonpituutta olevaa säteilyä, sinne indusoituu jännite.”	Tietoa LED-lampuista
”rakentamaan yksinkertaisen spektrofotometrin ja mittaamaan sillä”	Tietoa spektrofotometrin rakenteesta, sekä absorbanssin mittaamisesta
”Sen spektrofotometrin rakenteen ja mistä siinä on konkreettisesti kyse”	Tietoa spektrofotometrin rakenteesta ja toiminnasta

6.2. Yhteenveto tuloksista

Opiskelijat kokevat oppineensa työn suorittamisen aikana tietoja spektrofotometriasta. Esimerkiksi menetelmätietoja spektrofotometrin toiminnasta, rakenteesta ja käyttämisestä, sekä tietoa sen käyttökohteista. He osasivat yhdistää aiheen erilaisiin arkielämän konteksteihin. Vastausten perusteella opiskelijat olivat oppineet tietoja spektrofotometriasta varsin kattavasti. Opiskelijat oppivat myös yhdistämään fysiikassa oppimiansa tietoa sähkömagneettisesta säteilystä ja sähköopista, sekä matematiikan hyödyntämisestä uuteen analyysimenetelmään tutustuessaan.

Opiskelijat oppivat tutkimisen taitoja kattavasti. Erityisesti integroivien tutkimisen taitojen oppiminen korostui opiskelijoille abstraktin aiheen eli absorption mittaamisessa. Vaikka absorbanssi oli käsitteenä opiskelijoille hankala, he onnistuivat kuvien, kysymysten, keskustelun ja oman tutkimuksen suorittamisen aikana muodostamaan itselleen siitä hyvän kuvan. Tutkimisen taidoista hankalimpia oli opiskelijoiden vastausten perusteella ennustaminen ja muuttujien tunnistaminen. Absorbanssin mittaaminen ja tulosten analysointi onnistui opiskelijoilta hyvin.

Oppimiskokonaisuutta kuvattiin erilaiseksi kuin tavallinen opetus, mutta positiivisella tavalla. Kysyminen auttoi opiskelijoita ymmärtämään aihetta ja oppimaan spektrofotometriasta syvällisemmin. Keskustelulla oli tärkeä rooli työn suorittamisessa ja aiheen merkityksellisyyden hahmottamisessa. Oman tutkimusaiheen valinta motivoi selkeästi opiskelijoita ja oman tutkimuksen suorittaminen oli heidän mielestään mielenkiintoista. Opiskelijoiden mielestä he saivat tutkia sitä mikä oli heille mielenkiintoisinta ja kysyminen herätti ajattelemaan sitä mikä oli heille merkityksellisintä.

Lego-spektrofotometrin koettiin auttavan spektrofotometrin rakenteen hahmottamisessa. Yksi opiskelijoita kirjoitti kyselylomakkeen loppuun ytimekkäästi: ” Se on vaan se et ei uskoisi että näin yksinkertaisilla menetelmillä saa näin hyödyllistä informaatiota.” Oppimiskokonaisuus sai siis selkeästi kuvattua opiskelijoille spektrofotometriaa ja spektrofotometrin toimintaa selkeästi ja yksinkertaistettuna, niin että opiskelijoiden on helpompi käsitellä muutoin abstraktia ja käsitteiltään hankalaa aihetta. Oppimiskokonaisuus toimii lukion kemian opetuksessa.

6.3. Tutkimuksessa esille nousseet oppimiskokonaisuuden kehittämiskohteet

Oppimiskokonaisuuden kehittämiskohteita kysyttiin sekä oppilailta että opettajalta itsearviointin yhteydessä. Opiskelijat olivat melko tyytyväisiä oloisia kehitettyyn kokonaisuuteen, verkkomateriaaliin sekä työohjeistuksiin. Muutama opiskelija toivoi oppimateriaalin kehittämistä yksinkertaisemmiksi ja yksityiskohtaisemmiksi, esimerkiksi lisäämällä kuvia tai huomioita. Opiskelijoilta nousi myös esille, että materiaalin olemassaolo oli tärkeää oman tutkimuksen suorittamisen kannalta. Myös opettaja ehdotti työohjeiden yksinkertaistamista. Lisäksi opettaja ehdotti tulostettavien materiaalien lisäämistä verkkosivuille.

6.3.1. Jatkokehittäminen

Pidettyjen oppituntien perusteella oppimiskokonaisuudesta karsiutui pois kyselyrunгон käyttäminen, koska sille ei yksinkertaisesti riittänyt aikaa spektrofotometrin kokeilemisen jälkeen. Lisäksi kahden tunnin aikataulu venytettiin kolmeksi oppitunniksi, jotta tulosten analysoimiseksi jäisi riittävästi aikaa. (liite 12) Lisäehdotuksena opintokokonaisuuteen tuli suoran piirtämisen harjoittelu millimetripaperille. Tämä auttoi oppilaita hahmottamaan kuvaajien muodostumista ja muuttujien suhteiden hahmottamista. Lisäksi alun kahden oppitunnin (á 80 min) rakenne muokattiin kolmeen oppituntiin (á 75 min) sopivaksi.

Oppilailta ja opettajalta nousseiden kehittämiskohteiden perusteella työstä kehitettiin kaksi eritasoista ohjetta kunkin oppilastyön kohdalle. Opettajan materiaalit lisättiin tutkimisen taidoista ja tutkimuksellisuudesta spektrofotometria-verkkosivuille. Lisäksi spektrofotometriä tutkimuksellisesti -tuntisuunnitelmasta muokattiin kouluihin helposti sovellettavat tuntisuunnitelmat suljetun ja ohjatun tutkimuksen suorittamista varten. Tämä lähinnä siksi, että opetusta voi suunnata erilaisille resursseille. Esimerkiksi kokeellisen kemian kurssille sopii kaikista avoin muoto oppimiskokonaisuudesta, koska silloin kokonaisuuden kaikki osiot ovat helpommin sovellettavissa ajankäytön kanssa. Ja toisinaan aikaa voi olla vain yksi tunti, jolloin suljetun tutkimuksen suorittaminen voi olla paras vaihtoehto. Muokattaessa työohjeita pyrittiin lisäämään ohjeiden selvyttä. Työohjeet ja opetuksessa käytetyt diat löytyvät nyt myös tulostettavina versioina verkkosivuilta. Työohjeet ja osa muustakin materiaalista ovat saatavilla ainoastaan verkkosivuilla: <https://spektrofotometria.wordpress.com/>

7. Yhteenveto ja pohdinta

Tämän Pro Gradu -tutkielman tavoitteena oli luoda tutkimuksellinen oppilastyö tai opintokokonaisuus, jossa harjoitellaan tutkimisen taitoja ja tutustutaan spektrofotometriaan spektroskooppisena analyysimenetelmänä. Kehittämistutkimuksen suorittamisen avulla saatiin kolmenlaista tietoa. Teoreettisen ongelma-analyysin perusteella saatiin tietoa tieteellisen viitekehyksen mukaisista piirteistä kehittää opiskelijoiden tutkimisen taitoja ja empiirisessä tarveanalyysissä tietoa spektrofotometrian opetuksen nykytilasta ja tarpeesta. Kehittämisprosessin tuloksena saatiin kehitettyä testattu ja paranneltu versio tutkimuksellisesta oppimiskokonaisuudesta spektrofotometrian ja tutkimisen taitojen opiskeluun. Kolmanneksi saatiin tietoa opiskelijoiden oppimisesta ja asenteista tutkimisen taitoja harjoittavaa opintokokonaisuutta kohtaan sekä opiskelijoiden että opettajan näkökulmasta.

7.1. Tutkimisen taitoja kehittävän opetuksen piirteet ja spektrofotometrian opettamisen merkitys

Tutkimisen taitojen harjoittelu on vahvasti esillä lukion opetussuunnitelmassa 2015 kemian opetuksen tavoitteissa ja/tai sisällöissä jokaisella kurssilla. (kts. Taulukko 1) Tutkimuskirjallisuuden perusteella tutkimisen taitoja harjoitellaan ainoastaan tekemällä itse tutkimusta (esim. Abrams et al., (2008); Rezba et al. (2006); NRC, 2000; Colburn, 2000). Tutkimuksellisuuden käyttämisellä opetuksessa katsotaan olevan kolmenlaisia tavoitteita: tieteellisen tiedon luonteen ymmärtäminen, luonnontieteellisestä tutkimuksesta oppiminen ja tutkimisen taitojen oppiminen. (Abrams et al., 2008) Lukion opetussuunnitelmassa (2015) tutkimuksellisuudella ja tutkimisen taitojen harjoittelulla tavoitellaan tietojen ja taitojen yhdistämistä, mikä voi johtaa asenteiden, arvojen ja tahdon muutoksiin. Opetukselle asetettuja tavoitteita voidaan saavuttaa säätämällä tutkimuksellisuuden avoimuuden aste tavoitteita vastaavaksi. (Abrams et al., 2008) Avoimuuden hahmottamisessa apuna voi käyttää Schwab:in (1962) tutkimuksellisuuden tasoja tai Colburn:in (2000) tutkimuksellisuuden malleja. Avoimuuden asteista suljetuimman ja samalla opettajan eniten kontrolloiman tutkimuksellisuuden katsotaan harjoittavan enemmän luonnontieteellisten tietojen oppimista. Avoimimman ja eniten opiskelijan vastuulla olevan tutkimuksen suorittamisen katsotaan harjoittavan tutkimisen taitoja. (Abrams et al., 2008) Tutkimisen prosessitaitoja tulisi harjoittaa monimenetelmäisesti ja useissa eri tilanteissa (Koslowski, 1996; Kuhn, Garcia-Mila, Zohar & Anderson, 1995). Kukaan ei opi kaikkia tutkimisen taitoja täydellisesti kerralla, vaan harjoittelun tulisi olla jatkuvaa. (Padilla, 1990)

Piirteitä tutkimisen taitoja kehittäväille aktiviteetille ovat monipuolisuus, arkiläheisyys eli oppilaalle merkityksellisten kontekstien käyttäminen (Colburn, 2000), opiskelijoiden aktivointi (Minner et al., 2009) ja ryhmätyöskentely (Higgins et al., 2004), sekä tieto- ja viestintäteknologian käyttäminen. Tärkeässä asemassa on myös opettajan tuki työskentelyn aikana. (Colburn, 2000) Tämä huomattiin myös COMBLAB-projektin kasvihuoneongelma-työn tuloksissa. Luokkahuoneen ilmapiiriin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota, sillä positiiviset tunnetilat vaikuttavat opiskelijoiden affektiiviseen tasoon ja näin parantavat oppimista (Tuohilampi, 2016). Lisäksi hyvä ilmapiiri rohkaisee kysymysten esittämiseen ja sosiaalisen vuorovaikutukseen, jotka ovat luonnontieteelliselle tutkimukselle ominaisia piirteitä (King, 1990; Wilson 2000).

Aktiviteettia suunnitellessa kannattaa kiinnittää huomiota opiskelijoiden osaamistasoon ja aktiviteetin haastavuuteen. Aktiviteetin tulisi olla kognitiivisesti haastava, mutta suoritettavissa oleva. (Colburn, 2000) Opettaja voi hyödyntää tutkimuksellista tuntia suunnitellessaan esimerkiksi Andersonin ja Krathwohlin (2001) uudistamaan versiota Bloomin taksonomiasta. Lisäksi työn arviointiin kannattaa panostaa, sillä mikäli arviointi ei vastaa opetukselle asetettuja tavoitteita, opiskelijat saattavat oppia ihan muita taitoja tai tietoja kuin mitä tarkoitettu. Opiskelijoita kannattaa aktivoida pohtimaan myös omaa oppimistaan. (Anderson et al., 2001; Kärnä ja Aksela, 2012)

Spektrofotometrian opettaminen tulee ajankohtaiseksi lukion kemian opetuksessa kun uudet opetussuunnitelman perusteet astuvat voimaan porrastetusti syksystä 2016 alkaen. Kemian opetussuunnitelmassa spektrometria mainitaan keskeisissä sisällöissä toisella kurssilla aineen rakenteen määritysmenetelmänä. (Opetushallitus 2015) Spektrofotometria tarjoaa lukio-opetukseen varteenotettavan näkökulman, koska uusimmat diodirivispektrofotometrit ovat edullisia muihin analyysilaitteisiin nähden (Czegan & Hoover, 2012) ja näkyvä valo sähkömagneettisen spektrin alueena on opiskelijoille arkielämästä tuttu. Opiskelijat pystyvät myös rakentamaan oman spektrofotometrinsa itse. (Albert et al., 2012; Asheim et al., 2014) Lisäksi erilaisten analyysilaitteiden hyödyntäminen on osa nykyaikaista laboratoriokulttuuria (Mukhopadhyay, 2008), joten niihin tutustuminen on tulevien kemian opintojen ja työurien kannalta tärkeää.

Tällä hetkellä oppikirjojen antama kuva spektrofotometriasta tai näkyvän valon hyödyntämisestä analytiikassa on pirstaleinen. Spektrofotometrit esiintyvät oppikirjoissa monissa erilaisissa yhteyksissä lyhyesti, lähinnä esimerkkeinä erilaisista sovelluskohteista. (kts. Taulukko 7) Uuden opetussuunnitelman myötä myös oppikirjat uudistuvat, joten nähtäväksi jää, miten aihetta kirjoissa käsitellään. Tätä tutkimusta tehtäessä uudet kirjat eivät olleet vielä saatavilla. COMBLAB-projektin kasvihuoneongelma-työn tuloksien perusteella opiskelijat ovat kiinnostuneita spektrofotometriasta ja mittausautomaation hyödyntämisestä opetuksessa, vaikka osa opiskelijoista kokee sen vaikeaksi ja osa helpoksi. (kts. Taulukko 8) Spektrofotometrian opettamiseen voidaan yhdistää myös helposti matematiikan, kemian ja fysiikan oppitunteihin. Historian ja spektrofotometrin toiminnan näkökulmasta se olisi luontevaa. Tutkimisen taitojen harjoittelu on tärkeää, koska tieteellisen tutkimuksen tekeminen vaatii sekä tiedollisia että taidollisia valmiuksia. (NRC, 1996) Taidolliset valmiudet parantavat opiskelijoiden suoriutumista 2000-luvun muuttuviin olosuhteisiin. (esim. P21)

7.2. Kehittämistuotos

Tutkimuskirjallisuuden ja COMBLAB-projektin pohjalta kehitettiin tutkimuksellinen oppimiskokonaisuus spektrofotometriasta lukion kemian opetukseen. Oppimiskokonaisuus on sisällöltään kolmeen 75 min oppituntiin jaettavissa. Sen tietolähteenä käytetään oppimiskokonaisuuden taustamateriaaliksi kehitettyä spektrofotometria-verkkosivustoa. Verkkomateriaalit ovat tulostettavissa ja niitä voivat käyttää sekä opiskelijat että opettajat tiedonlähteenä.

Kehitetyn ja testauksen pohjalta parannellun oppimiskokonaisuuden rakenne on seuraavanlainen. Ensimmäisellä oppitunnilla tutustutaan spektrofotometriaan opettajan lyhyen johdatuksen ja opiskelijoiden kysymyksien avulla, sekä väriliuosten absorptiospektrejä tutkien. Tunnin lopuksi opiskelijat valitsevat omat tutkimusaiheensa. Valittavina aiheina oli lääketieteellinen sovellus eli glukoosin konsentraation määrittäminen, metallien kierrättämiseen liittyvä sovellus eli kuparipitoisuuden määrittäminen ja pesuaineiden fosfaattipitoisuuden tutkiminen. Verkkosivuilla on esitetty myös muita tutkimuskohteita, mikäli opiskelijoita on esimerkiksi enemmän tai kouluilta ei löydy sopivia kemikaaleja. Opiskelijoiden tulisi suunnitella kotona oma tutkimuksensa verkkosivujen materiaalia apuna käyttäen.

Toisella oppitunnilla keskustellaan ensin yhteisesti miten konsentraatio yleisesti määritetään spektrofotometrillä. Sillä varmistetaan, että heikoimmatkin oppilaat pääsevät hyvin alkuun tutkimuksissaan. Opettajan tulee tässä mallissa valmistaa vertailuliuokset etukäteen oppilaita varten. Muuten koko tunti kuluu liuosten valmistamiseen. Opiskelijoiden tehtäväksi jää valmistaa näyteliuos. Glukoosin ja fosfaatin konsentraatiota määritettäessä opiskelijat joutuvat muodostamaan näytteestä ja vertailuliuoksista värillisen kompleksin. Suurin osa tutkimusaiheista pohjautui Gadolinin työohjeisiin, mutta glukoosin määrittämiseen piti valmistaa oma työohje. (Liite 13) Näytteen ja vertailuliuosten valmistuessa opiskelijat kokoavat omat spektrofotometrinsä lego-palikoista ja LED-lampuista. Spektrofotometrin rakennusohjeet ovat melko yksiselitteiset, mutta opiskelijoiden tulee päätellä minkä väristä lamppua käyttävät eli millä aallonpituudella mittaavat absorbanssin. Opiskelijat mittaavat tunnin lopuksi näytteen ja vertailuliuosten jännitteet ja kirjoittavat tulokset ylös taulukkoon.

Kolmannella oppitunnilla opiskelijat pääsevät harjoittelemaan taulukkolaskennan käyttämistä. Ainakin Excel ja OpenOfficella työskentely onnistuu hyvin samankaltaisesti. Ensiksi opiskelijat laskevat mitatun jännitteen avulla aineen transmittanssin ja sen avulla absorbanssin. Sen jälkeen opiskelijat luovat taulukon vertailuliuosten pisteistä ja lisäävät siihen trendiviivan. Trendiviivalle määritetään suoran yhtälö ja korrelaatiokerroin tulosten oikeellisuuden tarkastelua varten. Lisäksi suoraa jatketaan taaksepäin alkamaan x akselin arvosta nolla, jolloin oikeellisuutta voidaan tarkastella myös suoran y-akselin leikkauskohdan avulla. Näyteliuoksen konsentraation voi päätellä suoraan kuvaajalta, mutta tarkan arvon voi laskea myös suoran yhtälön avulla. Näyteliuoksen konsentraatiosta lasketaan sen jälkeen tutkittavan aineen pitoisuus tai konsentraatio. Tutkimuksen lopuksi oppilaat pohtivat ensin ryhmissä mitä oppivat työtä suorittaessaan ja sitten vielä henkilökohtaisesti itsearviointin avulla mitä tutkimisen taitoja oppivat.



Kuva 12: Kehittämistuotos oli lopulta kolme oppituntia sisältävä monipuolinen kokonaisuus.

Kehitetyn oppimiskokonaisuuden hyviä puolia ovat sen monipuolisuus tutkimisen taitojen kehittämisessä ja aiheen arkielämän sidoksisuus, sekä konkreettinen yhteys työelämään analyttisen menetelmän soveltamisena. (vrt. Colburn, 2000 tutkimuksellisen aktiviteetin piirteet) Oppimiskokonaisuuden avulla tutustutaan spektrofotometriaan sekä aineen rakenteen analyysimenetelmänä että pitoisuuksien määrittämisessä. Lisäksi työtä tehdessä osaksi tulee spektrofotometrian vaikutuksesta luonnostaan tieto- ja viestintäteknologian harjoittelu. Opiskelijoiden elämään liittyminen, kokeellinen tutkimus, spektrofotometria aiheena ja tutkimisen taitojen opiskelu tieto- ja viestintäteknologiaa hyödyntäen ovat kaikki uuden opetus suunnitelman mukaisia tavoitteita.

Tärkeinä kriteereinä kehittämistuotokselle pidettiin myös sen soveltuvuutta lukio-opetukseen niin resurssien, aikataulujen kuin opiskelijoiden tasoihin sopivuuden kannalta. Verkkosivuilla esitettyjä erilaisia malleja tuntisuunnitelmista on helppo soveltaa oman lukion resurssien mukaan oppitunnille sopiviksi. Spektrofotometria on aiheena monipuolinen ja haastava, ja niin ovat myös sen soveltamismahdollisuudet. Kehitetyssä ”spektrofotometriaa tutkimuksellisesti” -oppimiskokonaisuudessa opiskelijan aktiivisuus ja oman oppimisen seuraaminen ja arviointi ovat tärkeässä asemassa.

Sisällöllisesti oppimiskokonaisuus on ehyt, mutta se esittelee hyvinkin lyhyesti muita kemiallisia analyysimenetelmiä. Tämä saattaa muodostua ongelmaksi, varsinkin jos tavoitteena on käsitellä kaikki aineen analyysimenetelmät lukion kemian toisella kurssilla. Spektroskopia on aihealueeltaan ja sisällöltään todella laaja käsite. Lisäksi spektrofotometriaa käytetään nykyään enemmän konsentraation määrittämiseen kuin aineen rakenteen määrittämiseen, koska siihen meillä on jo parempiakin menetelmiä. Tosin spektrofotometrin toiminnan ja perusteiden hahmottamisen jälkeen muidenkin menetelmien perusteiden hahmottaminen on helpompaa. Ainakin niiden, jotka perustuvat myös absorptioon. Mielenkiintoista olisi myös yhdistää spektrofotometriaan tutustuminen fysiikan ja matematiikan oppituntien kanssa. Aihe on historiallisen kehittymisensä ja toimintansa pohjalta suorastaan erinomainen malli siitä miten kaikkia näitä aineita tarvitaan luomaan yhdessä jotain todella ällistyttävää, ihmeellistä ja käyttökelpoista. Tällöin kultakin oppiaineelta kuluisi opetuksesta vain yksi tunti. Lisäksi oppimiskokonaisuus tarjoaa mahdollisuuksia eritasoisten opiskelijoiden oppimiseen. Jokainen määrittelee kokonaisuuden aluksi itseä kiinnostavat tavoitteet ja aiheet ja sitten ryhmissä työskennellen suoritetaan oma tutkimus. Tässä kehittämistuotoksessa opiskelijan arviointi perustui itsearviointiin, mutta sitä voi myös helposti monipuolistaa lisäämällä opettajan näkökulman.

7.3. Kehitetyn oppimiskokonaisuuden vaikutus opiskelijoiden tutkimisen taitojen oppimiseen

Opiskelijoiden vastauksista nousee esille mielenkiintoinen kokonaiskuva tutkimisen taitojen oppimisesta. Lisäksi vastauksissa näkyy kunkin opiskelijan kuvaamat mieleenpainuvimmat ja elämyksellisimmät asiat, kuten ”opin käyttämään mittapipettiä” tai ”mittapulloa saa ravistaa korkin kanssa”. Usein nämä maininnat ovat esimerkiksi kömmähdyksiä tai epäselvyyksiä tutkimusta tehdessä. Avoin itsearviointi mahdollisti siis kunkin opiskelijan henkilökohtaisen kehityksen ja mielenkiinnon kohteiden seuraamisen. Vastauksien perusteella opiskelijat osaavat arvioida hyvin omaa oppimistaan suhteessa opetukselle asetettuihin tavoitteisiin. He arvioivat myös osaamisen kehittymistä eikä vain uuden oppimista.

Kokonaisuudessaan opiskelijat kuvasivat oppineensa monipuolisesti erilaisia tutkimisen taitoja. Taitojen oppimista oli kuvattu hyvin samankaltaisesti kuin mitä kappaleessa 5.1.2 *Kehitetyn oppimiskokonaisuuden oppimistavoitteet* Rezban et al. (2006) tutkimisen prosessitaitojen mukaan oli esitetty oppimiskokonaisuuden tavoitteiksi. Opiskelijat kuvasivat itsearvioinneissaan oppineensa esimerkiksi absorbanssin ja jännitteen mittaamista, muuttujien tunnistamista konsentraation määrittämistä varten ja oman tutkimuksen suunnittelemista itse valitusta tutkimusaiheesta. Henkilökohtaisia eroja vastauksissa tietenkin esiintyy. Kuvattujen tutkimisen taitojen määrä on jopa yllättävän suuri ottaen huomioon, että käytettävissä olevan ajan mukaan opiskelijoiden suorittama oma tutkimus muistutti enemmän Colburn:in (2000) suljettua tutkimusta ja Schwab:in (1962) tutkimuksellisuuden tasoa 0. Tässä tutkimuksessa jo pelkästään suljetun tutkimuksen suorittamisella saatiin hyviä oppimistuloksia opiskelijoiden tutkimisen taidoissa, vaikka yleisesti sanotaan tutkimisen taitojen kehittymiseen tarvittavan mahdollisimman avoimen tutkimuksen suorittamista, kuten esimerkiksi Abrams et al. (2008) esittivät. Oppimistulokseen saattoi vaikuttaa merkittävästi se, että opiskelijaa pyrittiin aktivoimaan mahdollisimman paljon oman tutkimuksen suunnitteluun, mikä vastaa Minner et al. (2009) havaitsemia oppimistulosten paranemisia opiskelijoita aktivoimalla. Toisaalta opiskelijaa kannustettiin myös arvioimaan omaa oppimistaan sekä alussa että työn lopussa mikä kuvastaa Anderson et al. (2001) esittämän metakognitiivisen tason huomiointia. Oppimisen metakognitiivisen tason tarkastelua opetusta suunnitellessa ovat esittäneet suomeksi Kärnä ja Aksela (2012).

Opiskelijoiden tuloksista nousee vahvasti esille keskustelun merkitys oppitunnilla. Opiskelijoiden mielestä keskustelu oppilaiden ja opettajan kanssa lisää asioiden ymmärtämistä, varmuutta ja tehtävistä suoriutumista. Itsevarmuuden ja tehtävistä suoriutumisen kokeminen voidaan yhdistää kasvaneeseen itsekyvykkyyden tuntemiseen, mitä on aikaisemminkin huomattu saavutettavan tutkimisen taitoja harjoiteltaessa. (Ketelhut, 2007) Lisäksi opiskelijat kokivat, että valitsemalla oman tutkimusaiheen he saivat keskittyä itselle mielenkiintoisimpaan aiheeseen. Opettajan näkökulmasta opiskelijoiden motivaatio kasvoi merkittävästi, kun he saivat tutkia itse valitsemaansa aihetta. Myös ensimmäisen oppitunnin ”kysy mitä haluaisit tietää” ohjasi oppituntia opiskelijoille mielenkiintoisempaan suuntaan ja monet kokivat oppineensa spektrofotometriasta tietoja, joka oli juuri heille merkityksellisintä. Samaa totesivat jo aikaisemmin Aquair, Mortimer ja Scott (2010) omissa tutkimuksissaan. He esittivät, että opiskelijoiden kysymysten perusteella opettaja saa tietoa opiskelijan tasosta ja oppilas pystyy liittämään uutta tietoa aiempaan tietoonsa, jolloin oppiminen tehostuu. Tämä ”kysy mitä haluaisit tietää” tehtävä saattoi auttaa myös kysymykset sallivan ilmapiirin luomisessa, mikä on erittäin tärkeää oppimisen kannalta (Herranen & Aksela, 2015).

Oman tutkimuksen suunnittelemisenkin opiskelijat kuvasivat mielenkiintoiseksi. Heidän kuvauksissaan se oli helppoa, mukavaa, vähän hankalaa ja sopivan haastavaa. Erityisesti opiskelijat pitivät oppimiskokonaisuudessa sen käytännönläheisyydestä ja mahdollisesta hyötymisestä sen kautta opituista tiedoista ja taidoista tulevaisuudessa. Vastauksista kävi myös ilmi, että absorbanssi on todella abstrakti käsite lukiolaisilla, mutta opettajan arvion mukaan he ymmärsivät sen hyvin kaaviokuvien ja omien tutkimuksiensa suorittamisen kautta. Nämä diat ovat myös opettajien saatavilla spektrofotometria.wordpress.com – sivuilla.

Ottaen huomioon opetuksen melko tiukat resurssit materiaalien ja ajan suhteen, sekä oman tutkimuksen suunnittelemisen lähes suljettuna tutkimuksellisuutena opiskelijoiden vastaukset antavat suuntaa siitä, että hyvin pienilläkin asioilla voidaan vaikuttaa opiskelijoiden tutkimisen taitoihin ja sitä kautta itsekyvykkyyden ja merkityksellisyyden kasvamiseen. Kaiken kaikkiaan opiskelijat pitivät työtä merkityksellisenä tulevaisuutensa kannalta. He kokivat oppineensa tulevissa opinnoissaan ja työelämässä tarvitsemiaan tietoja ja taitoja. Sen lisäksi he kuvasivat oppimiskokonaisuudesta jääneen hyvä mieli ja mielenkiinnon tuntu.

7.4. Tutkimuksen merkitys

Tässä tutkimuksessa kehitettiin uuden opetussuunnitelman esittämiin sisältöihin ja tavoitteisiin soveltuva oppimiskokonaisuus spektrofotometriasta. Se tulee erittäin ajankohtaiseksi, kun uudet lukion opetussuunnitelman perusteet astuvat voimaan porrastetusti ensi syksystä alkaen. Oppimiskokonaisuus tähtää opiskelijoiden tutkimisen taitojen edistämiseen. Myös tutkimisen taidot korostuvat uudessa opetussuunnitelmassa. (kts. Taulukko 1) Opiskelijoiden vastauksien perusteella kehitetty oppimiskokonaisuus kehittää monipuolisesti tutkimisen taitoja, sekä heidän tietojansa spektrofotometriasta. Opiskelijat kokivat opiskelun tavanomaisesta kouluopetuksesta poikkeavaksi, mutta kuvasivat sitä mukavaksi ja mielenkiintoiseksi. Hyvinkin pienillä muutoksilla, kuten ”kysy mitä haluat tehtävällä” ja tutkimusaiheen valinnalla huomattiin olevan merkitystä opiskelijoiden kiinnostuksen kannalta.

Viitteitä oman aktiivisuuden lisääntymisestä antaa myös yhden opiskelijan vastaus kohtaan ”*opin soveltamaan... kemian kaavoja ja omia aivojani.*” Tämä kiteyttää hyvin sen mitä on tavoiteltu oman tutkimuksen suorittamisessa. Myös Legoista rakennettu spektrofotometri koettiin mielenkiintoiseksi ja opettavaiseksi. ”*Se on vaan se et ei uskoisi että näin yksinkertaisilla menetelmillä saa näin hyödyllistä informaatiota.*” Sen rakentaminen ja sillä mittaaminen on hyvä tapa tutustua spektrofotometriaan vaikka varsinaista spektrofotometriä ei olisikaan käytettävissä. Spektrofotometriasta -verkkosivuilta löytyy kootusti tietoa spektrofotometriasta sekä oppilaille, että opettajille. Lisäksi sivuilta löytyy valmiita tuntisuunnitelmia aiheen ja tutkimisen taitojen opettamiseen, sekä työohjeita konsentraation määrittämiseen. Kannattaa käydä tutustumassa!

Tämä tutkimus antoi suuntaa siitä, miten spektroskopiaa ja tutkimisen taitoja voisi lähestyä lukion kemian opetuksessa. Tämän tutkimuksen innoittamana olisi mielenkiintoista vertailla eritasoisten opiskelijoiden kiinnostuksen ja itsekyvykkyyden kasvamista tutkimisen taitoja harjoiteltaessa. Lisäksi heräsi kysymys kuinka paljon eroa on tutkimisen taitojen oppimisessa vastaavanlaisen, mutta täysin avoimen tutkimuksen suorittamisessa. Tosin lukiolaisille spektrofotometria ja spektroskopia ovat sen verran haastavia aiheita, että kovinkaan avoimen tutkimuksen suorittaminen ei ole tässä kontekstissa edes järkevää. (vrt. Colburn, 2000)

8. Lähteet

Aguiar, O. G., Mortimer, E. F., & Scott, P. (2010). Learning from and responding to students' questions: The authoritative and dialogic tension. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(2), 174-193.

Ahonen, A. K., & Kankaanranta, M. (2015). Introducing assessment tools for 21st century skills in finland. In P. Griffin, & E. Care (Eds.), *Assessment and teaching of 21st century skills; methods and approach* (pp. 213-226) Springer. doi:10.1007/978-94-017-9395-7

Aksela, M., Tikkanen, G., & Kärnä, P. (2012). 1. mielekäs luonnontieteiden opetus: Miten tukea oppilaiden ajattelua ja ymmärtämistä? In P. Kärnä, L. Houtsonen & T. Tähtä (Eds.), *Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita 2012* (pp. 28) Opetushallitus.

Aksela, M. (2005). *Supporting Meaningful Chemistry Learning and Higherorder Thinking through Computer-Assisted Inquiry: A Design Research Approach*,

Albert, D. R., Todt, M. A., & Davis, F. H. (2012). A low-cost quantitative absorption spectrophotometer. *Journal of Chemical Education*, 89(11), 1432-1435. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/1373088384?accountid=11365>

Altemose, I. R. (1986). Topics in chemical instrumentation: Evolution of instrumentation for UV-visible spectrophotometry. part I. *Journal of Chemical Education*, 63(9), A216-A223.

Altemose, I. R., DeLong, L. E., & Locke, L. E. (1986). Topics in chemical instrumentation: Evolution of instrumentation for UV/Vis spectrophotometry: Part II. *Journal of Chemical Education*, 63(11), A262-A266.

Ananiadou, K., & Claro, M. (2009). *21st century skills and competencies for new millennium learners in OECD countries* OECD Publishing.

Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., & Bloom, B. S. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of bloom's taxonomy of educational objectives* Allyn & Bacon.

Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16-25. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/964181537?accountid=11365>

Anttila, P. (2013). Taitojen ja luovien alojen arvioinnin kysymyksiä. In A. Räisänen (Ed.), *Oppimisen arvioinnin kontekstit ja käytännöt* (pp. 89-114) Helsinki: Opetushallitus.

Asheim, J., Kvittingen, E. V., Kvittingen, L., & Verley, R. (2014). A simple, small-scale lego colorimeter with a light-emitting diode (LED) used as detector. *Journal of Chemical Education*, 91(7), 1037-1039. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/1651856311?accountid=11365>

Baumfield, V., Butterworth, M., Downey, G., Higgins, S., Lin, M., Moseley, D., & Rockett, M. (2004). *Thinking skills approaches to effective teaching and learning: What is the evidence for impact on learners*. London: EPPI-Centre,

Blonder, R., Mamlock-Naaman, R., & Hofstein, A. (2008). Analyzing inquiry questions of high-school students in a gas chromatography open-ended laboratory experiment. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(3), 250-258.

BLOOM'S, T. M. E. (1965). *Bloom's taxonomy of educational objectives* Longman.

Bruegge, C. J., Davies, R., Schwandner, F. M., & Seidel, F. C. (2014). Chapter 12 - spectrophotometry applications: Remote sensing. *Experimental Methods in the Physical Sciences*, 46, 457-487. doi:<http://dx.doi.org.libproxy.helsinki.fi/10.1016/B978-0-12-386022-4.00012-1>

Burns, D. T. (1987). Towards a definitive history of optical spectroscopy. part I. simple prismatic spectra: Newton and his predecessors. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2(4), 343-347.

Burns, D. T. (1975). One hundred years of atomic spectroscopy, 1874-1974. *Proceedings of the Analytical Division of the Chemical Society*, 12(5), 155-8. doi:10.1039/ad9751200155

Chang, C., & Mao, S. (1999). Comparison of taiwan science students' outcomes with inquiry-group versus traditional instruction. *Journal of Educational Research*, 92(6), 340-346. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62403361?accountid=11365>

Chin, C., & Osborne, J. (2008). Students' questions: A potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/61944514?accountid=11365>

- Chin, C., & Osborne, J. (2010). Supporting argumentation through students' questions: Case studies in science classrooms. *Journal of the Learning Sciences*, 19(2), 230-284. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/742872368?accountid=11365>
- Christian, G. D. (cop. 2003). *Analytical chemistry* (6th ed. ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Colburn, A. (2000). *An inquiry primer*. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62333570?accountid=11365>
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/62118094?accountid=11365>
- Corte, E., Verschaffel, L., & Ven, A. (2001). Improving text comprehension strategies in upper primary school children: A design experiment. *British Journal of Educational Psychology*, 71(4), 531-559.
- Craic Technologies. (2012). *Nanospectrophotometer*. Retrieved from http://www.microspectra.com/component/content/article/52-craictech/254-nanospectrophotometer?gclid=CjwKEAiAgeW2BRDDtKaTne77ghgSJACq2U4byYkQ-zVYEqcvsmbaPVlm1l7kCZvcIa6PQTZBUXn7dxoCp-jw_wcB
- Czegan, D. A. C., & Hoover, D. K. (2012). UV-visible spectrometers: Versatile instruments across the chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, 89(3), 304-309. doi:10.1021/ed200776x
- De Corte, E., Op't Eynde, P., & Verschaffel, L. (2001). *Knowing what to believe: The relevance of students' mathematical beliefs for mathematics education*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Delgado, J., Quintero-Ortega, I. A., & Vega-Gonzalez, A. (2014). From voltage to absorbance and chemical kinetics using a homemade colorimeter. *Journal of Chemical Education*, 91(12), 2158-2162. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/1651856913?accountid=11365>
- Delgado, J., Quintero-Ortega, I. A., & Vega-Gonzalez, A. (2014). From voltage to absorbance and chemical kinetics using a homemade colorimeter. *Journal of Chemical Education*, 91(12), 2158-2162. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/1651856913?accountid=11365>

- Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. (2003). *Educational Researcher*, 32(1), 5-8. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62234819?accountid=11365>
- Dierick, S., & Dochy, F. (2001). New lines in edumetrics: New forms of assessment lead to new assessment criteria Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62278228?accountid=11365>
- Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62386506?accountid=11365>
- Edelson, D. (2006). What we learn when we engage in design: Implications for assessing design research. In J. Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 156) NWO/PROO.
- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105-121. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/61987392?accountid=11365>
- Feyzioglu, B., Demirdag, B., Akyildiz, M., & Altun, E. (2012). Developing a science process skills test for secondary students: Validity and reliability study. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 12(3), 1899-1906.
- Fisher, R. (2013). *Teaching thinking: Philosophical enquiry in the classroom* A&C Black.
- G.F.S. (1931). Thomas young's place in the history of the wave theory of light. *Journal of the Franklin Institute*, 212(1), 131-133.
- Gaertner, A. A., Yoon, H. W., & Germer, T. A. (2014). Chapter 3 - dispersive methods. *Experimental Methods in the Physical Sciences*, 46, 67-95. doi:<http://dx.doi.org.libproxy.helsinki.fi/10.1016/B978-0-12-386022-4.00003-0>
- Gibson, H. L. (1998). A study of the long term impact of an inquiry-based science program on student's attitudes towards science and interest in science careers
- Graesser, A. C., & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31(1), 104-137.
- Herranen, J., & Aksela, M. K. (2015). Oppilaiden kysymykset oppilaslähtöisessä luonnontieteen opetuksessa. *Lumat*, 3(7), 999-1004.

Herschel, J. F. W., & Bart., M. A. (1827). *Light. Treatises on physical astronomy, light and sound. contributed to the encyclopaedia metropolitana* (pp. 438-341-583) London and Glasgow, Richard Griffin company.

Herschel, W. (1800). Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the sun. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 90(1 January), 284-292. doi:10.1098/rstl.1800.0015

Higson, S. (2004). *Analytical chemistry*. Oxford: Oxford University Press.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62011461?accountid=11365>

Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 791-806. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62003033?accountid=11365>

Hofstein, A., Shore, R., & Kipnis, M. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory: A case study. research report. *International Journal of Science Education*, 26(1), 47-62. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62120760?accountid=11365>

Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2015). In Houck M. M., Siegel J. A. (Eds.), *Fundamentals of forensic science, applications of UV/Visible spectroscopy in forensic science* (3.th ed.) Elsevier.

Hudson, J. (1995). *Suurin tiede, kemian historia* (K. Pietiläinen Trans.). Art house.

Ilmatieteenlaitos. (2005). OMI-mittauslaitteella entistä tarkempi kuva ilmakehän koostumuksesta. Retrieved from <http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1130936328>

Inczédy, J., Lengyel, T., & Ure, A. M. (1997). *COMPENDIUM OF ANALYTICAL NOMENCLATURE - definitive rules 1997* (3.th ed.) IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry.

Juuti, K., & Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education: One step towards methodology. *Nordina*, (4)

Kaur, H. (2010). Instrumental methods of chemical analysis. Meerut, IND: Pragati Prakashan.

Kay, K. (2010). 21st century skills: Why they matter, what they are, and how we get there? In J. Bellanca, & R. Brand (Eds.), 21st century skills: Rethinking how students learn (). Solution Tree Press.

Ketelhut, D. J. (2007). The impact of student self-efficacy on scientific inquiry skills: An exploratory investigation in "river city," a multi-user virtual environment. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), 99-111. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/61932632?accountid=11365>

Ketelhut, D. J., Nelson, B. C., Clarke, J., & Dede, C. (2010). A multi-user virtual environment for building and assessing higher order inquiry skills in science. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 56-68. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/61820258?accountid=11365>

King, A. (1990). Enhancing peer interaction and learning in the classroom through reciprocal questioning. *American Educational Research Journal*, 27(4), 664-687.

King, A., & Rosenshine, B. (1993). Effects of guided cooperative questioning on children's knowledge construction. *The Journal of Experimental Education*, 61(2), 127-148.

Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence : The development of scientific reasoning*. Cambridge (MA): MIT Press.

Kärnä, P., & Aksela, M. (2013). Työskentely- ja ajattelutaitojen arviointi kouluopetuksessa. In A. Räisänen (Ed.), *Oppimisen arvioinnin kontekstit ja käytännöt* (pp. 119) Helsinki: Opetushallitus.

Lavonen, J., Aksela, M., Juuti, K., & Meisalo, V. (2003). Designing a user-friendly microcomputer-based laboratory package through the factor analysis of teacher evaluations. *International Journal of Science Education*, 25(12), 1471-1487. doi:10.1080/0950069032000072755

Lederman, N. G., Abell, S. K., & Akerson, V. (2008). *Sektion 1 - student knowledge and skill with inquiry*. In P. C. Silva, S. A. Southerland & E. Abrams (Eds.), *Inquiry in the classroom : Realities and opportunities* (). Charlotte, N.C.: Information Age Publishing. Retrieved from

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=470000&site=ehost-live&scope=site>

Linn, M. C. (1995). Designing computer learning environments for engineering and computer science: The scaffolding knowledge integration framework. *Journal of Science Education and Technology*, 4(2), 103.

Marx, R. W., Blumenfeld, P. C., Krajcik, J. S., Fishman, B., Soloway, E., Geier, R., & Tal, R. T. (2004). Inquiry-based science in the middle grades: Assessment of learning in urban systemic reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 1063-1080. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/61992550?accountid=11365>

Metsämuuronen, J., (2003). *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä* (2. uud. p. ed.). Helsinki: Methelp.

Meyers, R. A. (2000). *Encyclopedia of analytical chemistry : Applications, theory and instrumentation*. Chichester: Wiley.

Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.

Miyake, N., & Norman, D. A. (1978). To ask a question, one must know enough to know what is not known. report no. 7802.

Mukhopadhyay, R. (2008). The rise of instruments during world war II. *Analytical Chemistry* (Washington, DC, United States), 80(15), 5684-5691. doi:10.1021/ac801205u

Nakhleh, M. B., Polles, J., & Malina, E. (cop. 2002). Learning chemistry in a laboratory environment. In J. Gilbert (Ed.), *Chemical education : Towards research-based practice* (pp. 69). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Nawrocka, A., & Lamorska, J. (2013). Determination of food quality by using spectroscopic methods. In S. Grundas, & A. Stepniewski (Eds.), *Advances in agrophysical research* () doi:10.5772/52722

Neber, H. (2012). Discovery learning. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the sciences of learning* (pp. 1009-1021) Springer.

Neber, H., & Anton, M. (2008). Promoting Pre-experimental activities in High-school chemistry: Focusing on the role of students' epistemic questions. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1801-1821.

Nelson, B. C., & Ketelhut, D. J. (2007). Scientific inquiry in educational multi-user virtual environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 265-283. Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/61954306?accountid=11365>

Newton, I. (1. January 1671). A letter of mr. isaac newton, professor of the mathematics in the university of cambridge; containing his new theory about light and colours. *Phil. Trans.*, 6(69-80), 3075-3087. doi:10.1098/rstl.1671.0072

Nobel Media AB 2014. All nobel prizes in chemistry

. Retrieved from http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/

Nobel Media AB 2014. All nobel prizes in physics. Retrieved from http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/

Novak, A. M., & Krajick, J. S. (2004). Using technology to support inquiry in middle school science. In L. B. Flick, & N. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science : Implications for teaching, learning, and teacher education* (1.th ed., pp. 75). Dordrecht: Kluwer.

Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015, (2015).

Padilla, M. J. (1990). The science process skills. *Research Matters - to the Science Teacher*, 1(no 9004)

Pajares, F. (1996). Assessing self-efficacy beliefs and academic outcomes: The case for specificity and correspondence Retrieved from <http://search.proquest.com.libproxy.helsinki.fi/docview/62681963?accountid=11365>

Partnership for 21st Century Learning, (P21). (2007). Our vision and mission. Retrieved from <http://www.p21.org/about-us/our-mission>

Pernaa, J. (2013). *Kehittämistutkimus opetuslalla*. Jyväskylä: PS-Kustannus.

Quack, M. (2011). Frontiers in spectroscopy. *Faraday Discussions*, 150, 533-565. doi:10.1039/c1fd00096a

- Rezba, R. J. (2007). Learning and assessing science process skills (5th ed. ed.). Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Schafersman, S. D. (1991). An introduction to critical thinking. Retrieved March, 3, 2008.
- Schwab, J. J., & Brandwein, P. F. (1962). The teaching of science as enquiry. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Taverner, S. J., & Thomas-Oates, J. E. (2007). Build your own spectrophotometer. Education in Chemistry,
- Thermo Scientific. (2013). Nanodrop One/Onec UV-vis spectrophotometer. Retrieved from <http://www.nanodrop.com/ProductOneOverview.aspx>
- Thomas, N. C. (1991). The early history of spectroscopy. Journal of Chemical Education, 68(8), 631-4. doi:10.1021/ed068p631
- Thomsen, V. (2006). A timeline of atomic spectroscopy. Spectroscopy, 21(10), 32-42.
- Tortosa, M. (2012). The use of microcomputer based laboratories in chemistry secondary education: Present state of the art and ideas for research-based practice. Chemistry Education Research and Practice, 13(3), 161-171. doi:10.1039/c2rp00019a
- Tuohilampi, L. (2016). Deepening mathematics related affect research into social and cultural: Decline, measurement and significance of students' multi-level affect in finland and chile.
- Wegerif, R. (2002). Literature review in thinking skills, technology and learning.
- Wegerif, R. (2002). Literature review in thinking skills, technology and learning.
- Whitworth, J. (2015). Shimadzu DU launch for UV/Vis spectrophotometer. Retrieved from <http://www.foodqualitynews.com/Lab-Technology/Food-quality-analysis-with-UV-visible-spectrophotometer>

9. Liitteet

Liite 1: Oppikirja-analyysissä tutkitut oppikirjat – Oppikirjat, joissa mainitaan spektrofotometria tai näkyvän valon hyödyntäminen analytiikassa

Oppikirjat, joissa mainitaan spektrofotometria tai näkyvän valon hyödyntäminen analytiikassa	
Koodi	Oppikirja
A2	Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., 2012. Mooli 2 - Kemian mikromaailma. 2.-10.painos. Keuruu: Otava.
A4	Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., 2012. Mooli 4 - Metallit ja materiaalit. 1.-6.painos. Keuruu: Otava.
B5	Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2008. Reaktio 5 - Reaktiot ja tasapaino. Hämeenlinna: Sanoma Pro Oy.
C2	Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. ja Mäkelä, R. 2009. Kemisti 2 -Kemian mikromaailma. 1.-2. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.
C3	Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2005. Kemisti 3 - Reaktiot ja energia. 1. painos. Porvoo: WSOY.
C6	Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2007. Kemisti 6 -Kertaus. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
D2	Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2004. Neon 2 - Kemian mikromaailma. Helsinki: Edita Prima Oy.
E2	Kalkku, I., Kalmi, H., Korvenranta, J., 2004. Kide 2 - Kemian mikromaailma. 1. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
E3	Kalkku, I., Kalmi, H., Korvenranta, J., 2005. Kide 3 - Reaktiot ja energia. 1. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
E4	Kalkku, I., Kalmi, H., Korvenranta, J. 2006. Kide 4 - Metallit ja materiaalit. 1. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
G2	Kanerva, K., Karkela, L. ja Valste J. 1996. Katalyytti - Epäorgaaninen kemia. Porvoo: WSOY.
G3	Kanerva, K. ja Karkela, L. 1997. Katalyytti - työkurssin käsikirja. Porvoo: WSOY.

Liite 2: Oppikirja-analyysissä tutkitut oppikirjat – Oppikirjat, joissa mainitaan spektrofotometria tai näkyvän valon hyödyntäminen analytiikassa

Oppikirjat, joissa käsitellään spektroskopiaa, mutta ei spektrofotometriaa	
Koodi	Oppikirja
A1	Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., 2009. Mooli 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia. 1.-5.painos. Keuruu: Otava.
B2	Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2012. Reaktio 2 - Kemian mikromaailma. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
B3	Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2008. Reaktio 3 - Reaktiot ja energia. Hämeenlinna: Sanoma Pro Oy.
E1	Kalkku, I., Kalmi, H., Korvenranta, J. 2004. Kide 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia 1.-2.painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Liite 3: Oppikirja-analyysissä tutkitut oppikirjat – Oppikirjat, joissa ei käsitellä spektroskopiaa

Oppikirjat, joissa ei käsitellä spektroskopiaa	
Koodi	Oppikirja
A5	Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., 2012. Mooli 5 - Reaktiot ja tasapaino. 1.-6.painos. Keuruu: Otava.
B1	Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2012. Reaktio 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
B4	Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 20012. Reaktio 4 - Metallit ja materiaalit. 4., uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
C1	Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2007. Kemisti 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia. 1.-2. painos. Helsinki: WSOY.
C4	Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2008. Kemisti 4 - Metallit ja materiaalit. 1.-2. painos. Helsinki: WSOY.
C5	Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2007. Kemisti 5 - Reaktiot ja tasapaino. 1. painos. Helsinki: WSOY.
D1	Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2004. Neon 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia. Helsinki: Edita Prima Oy.
E5	Kalkku, I., Kalmi, H., Korvenranta, J. 2006. Kide 5 - Reaktiot ja tasapaino. 1. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
F1	Lehtiniemi, K. ja Turpeenoja, L. 2007. Abi kemia 1.-3.-painos. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava.
G1	Kanerva, K., Karkela, L. ja Valste, J. 2000. Katalyytti - Orgaaninen kemia. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Liite 4: Oppikirja-analyysin tulokset – Spektroskopian ja spektrofotometrian esiintyminen lukion kemian oppikirjoissa

Oppikirja	Spektrometriaan liittyvä sisältö	Visualisointi	Asiayhteys	Paikka	Mainittu spektrofotometria tai näkyvän valon analytiikkaa
A1	"Eri isotooppien yksittäisten atomien massa ja suhteellinen osuus on määritetty massaspektrometrillä." s.58	1 Kuva: massaspektrometrin ulkonäkö	Ainemäärä ja konsentraatio	Kuvateksti	
A1	"Atomiabsorptiospektrometrin (AAS) kuuma liekki saadaan aikaan asetyleeni-happikaasuseoksella." s.86	1 Kuva: AAS ulkonäkö	hiilivedyt: Kolmoissidos	Kuvateksti	
A2	Kemian mittausmenetelmiä: Esimerkkinä atomispektroskopia, NMR ja MRI lääketieteessä. S. 9	1 Kuva: Magneettikuvaus	Miten tietoa atomin rakenteesta voidaan hyödyntää?	Tekstissä	
A2	Liekkikokeet selitetty atomin viritystilan purkautumisena sähkömagneettisena säteilynä näkyvän valon alueella. S. 23	2 kuvaa: Elektronin siirtymen energiatasoilla ja litiumin liekkikoe	Atomin elektronirakenteen muutokset	Tekstissä	X
A2	Atomispektrometriset menetelmät, perusteet ja sovelluksia. Esimerkkinä atomiabsorptiospektrometri. S. 32	2 kuvaa: valoja ja AAS ulkonäkö	Elektronien virittyminen - hyötyä ja huvia	Lisätietosivu	
A2	Työ 1: Ulkoelektronien virittyminen. Alkuaineiden tunnistaminen liekkivärien avulla. S. 121	1 kuva: ilotulitteita	Kemiaa kokeellisesti: Ulkoelektronien virittyminen	Laboratoriotyö	

A2	Kivennäisveden Ca- ja Mg-pitoisuuden määrittäminen atomiabsorptiospektrometrillä s.122	2 kuvaa: Vichy-pullo ja AAS liekki	Pitoisuuden määrittäminen	Laboratoriotyö	
A2	Tehtävä 22: Yhdisteen molekyylikaavan ja mahdollisten rakennekaavojen määrittäminen massaspektristä. S. 155	1 kuva: massaspektri	Molekyyli- ja rakennekaavan määrittäminen	Tehtävä	
A3	"Kolorimetrillä mitataan liuosten värin voimakkuutta eli intensiteettiä." s. 95	1 kuva: kolorimetri ja liuossarja	kemiallisen reaktion nopeus	Kuvateksti	
A4	Siirtymämetallien värien selittäminen. Näkyvän valon energia siirtää elektronit d-orbitaalilta toiselle eli atomi virittyy. Yhdisteen väri määräytyy sen mukaan mikä väri sen läpäisee. Absorptiossa atomi sitoo energiaa. S.75	3 kuvaa: Siirtymäalkuaineiden suolojen liuoksia, sähkömagneettisen säteilyn spektri ja väriympyrä (värien näkeminen).	Sivuryhmien metallien kemiaa, siirtymäalkuaineiden erityisominaisuuksia	Tekstissä	x
A4	Tehtävä 82. Etsi absorptiomaksimit ja tunnista klorofyllin ja hemoglobiinin spektrit. S.83	2 kuvaa: Spektri A ja B	Sivuryhmien metallien kemiaa, siirtymäalkuaineiden erityisominaisuuksia	Tehtävä	x
A4	Tehtävä 89: Laske kolorimetrisistä tuloksista teräksen permanganaattipitoisuus. S. 84	2 kuvaa: Taulukko mittaustuloksista ja kolorimetri	Sivuryhmien metallien kemiaa	Tehtävä	x
A4	Työ 12: Veden rautapitoisuuden määrittäminen kolorimetrisesti/spektrofotometrisesti s. 154-155	3 kuvaa: kolorimetrin toimintaperiaate, raudan reaktiokaavio ja sinkin absorptio	Metallit	Laboratoriotyö	x

A4	Spektrofotometrinen mittaus s. 204		Hakemistossa	Hakemistossa	x
B2	Massaspektromertia s.29	1 kuva: laitteen ulkonäkö	Yhdisteen koostumus	Ekstratietosivu (sininen pohja)	
B2	Röntgenkristallografia s.39	2 kuvaa: röntgensäteilyn diffraktio ja proteiinikiteestä saatu diffraktiokuva	Vahvat sidokset	Ekstratietosivu (sininen pohja)	
B2	NMR-spektrometria näyttää erilaiset atomit s.123	2 kuvaa: laitteen ulkonäkö ja anisaldehydin 1H-NMR- spektri	Isomeria	Ekstratietosivu (sininen pohja)	
B3	Viittaus kirjan B2 tietoon aineen rakenteen tutkimisesta s.10		Reaktiomekanismi	Huomautus/ viittaus	
B5	UV-detektorin: "Yhdisteet tunnistetaan detektorin avulla. Detektorin voi esimerkiksi mitata, kuinka paljon läpivirtaava liuotin imee itseensä UV-säteilyä." s.143	1 kuva: kaasugromatografian rakenne, siinä laatikon mallinen detektorin	Kromatografia	Tekstissä	
B5	Optisten ominaisuuksien mittaaminen: Muutos näytteen läpi kulkeneen säteilyn intensiteetissä. Absorptiospektrin mittaus: vis- (ihmissilmälle näkyvä valo), UV-säteily, IR- säteily s.145		Kvantitatiiviset analyysimenetelmät, koulun soveltuvat tekniikat, optisten ominaisuuksien mittaaminen	Tekstissä	x
C2	Sisällysluettelossa kpl 4: Spektroskopia perustuu energian kvantittumiseen. S.5		Kvanttimekaaninen atomimalli	Sisällysluettelossa	

C2	Säteilyn sitoutumista ja vapautumista tutkitaan ns. spektroskooppisilla menetelmillä. S.29	1 kuva: UV-valaistu taulu	Elektronien siirtyminen, taulujen väriaineiden ainesosien tutkiminen	Tekstissä	
C2	Atomi voi vastaanottaa tai luovuttaa energiaa - kappale, mainitaan myös näkyvän valo. S.30-31	3 kuvaa: litiumin punainen liekki; Vedyn, natriumin ja kalsiumin viivaspektri; ja Tonic-veden sininen valo, kun siihen tuodaan UV-valoa	Elektronien siirtyminen, energian siirtyminen	Tekstissä	x
C2	Valkoisen valon absorboituminen ja värien syntyminen. S.33	1 kuva: väriaineita myynnissä Devarajan torilla	Elektronien siirtyminen: Valot ja värit	Lisätietosivu	x
C2	Säteilyn avulla saadaan tietoa aineen rakenteesta. S.71	1 kuva: maapallo avaruudesta katsottuna	Kvanttimekaaninen atomimalli, sähkömagneettisen säteilyn absorboituminen	Tekstissä	x
C2	"Orbitaalien kirjainsymbolit ovat peräisin alkalimetallien spektriviivoja kuvaavista sanoista: sharp, principal, diffuse ja fundamental." s. 73	1 kuva: s-, p-, d- ja f-orbitaalit	Kvanttimekaaninen atomimalli, orbitaalit	Huomautus/viittaus	

C2	Spektroskopia perustuu energian kvanttittumiseen -kappale; "näkyvä valo ja IR-säteily aiheuttavat molekyylien värähtelyä, sekä sidosten venymistä ja taipumista." Kuvataan eri säteilylajien vaikutusta atomeihin tai molekyyliin. Tarkemmin kuvataan IR- NMR- ja massaspektrometrin toimintaa. s. 80-83	7 kuvaa: IR-teleskoopin kuva avaruudesta, atomien rotaatio ja taivutus, asetonin IR-spektri, 2 kuvaa taulun tutkimisesta IR-valossa, dodekaanin massaspektri, 1H ja 13C NMR-spektrien kuvat, magneettikuvaus ja magneettikuva.	Kvanttimekaaninen atomimalli	Tekstissä. Ei keskity kuitenkaan selittämään näkyvän valon spektrofotometriä a.	x
C2	kysymys: "Mihin spektritutkimukset perustuvat?" s. 84		Kvanttimekaaninen atomimalli	Tekstissä	
C2	tehtävä 120: Ratutaionien pitoisuuden määrittäminen spektrofotometrillä. S. 86	Taulukko mittaustuloksista	Kvanttimekaaninen atomimalli, harjoittelutehtäviä	Tehtävä	x
C2	tehtävä 121: Kiisken elohopeapitoisuuden määrittäminen atomiabsorbtiospektrofotometrillä. S. 86		Kvanttimekaaninen atomimalli, harjoittelutehtäviä	Tehtävä	x
C2	Työ 4: aineiden ominaisuuksia: Tutki aineiden käyttäytymistä valossa suurennuslasilla s.124	Taulukkopohja ominaisuuksista havaintoja varten	Kokeellista työskentelyä	Laboratoriotyö	x
C2	Sähkömagneettinen säteily ja spektroskopia selitettynä sanastossa kirjan lopussa s.147		sanastoluettelossa	Sanastossa	

C3	Tutkittavan aineen valmistaminen värilliseksi kompleksiyhdisteeksi, jonka pitoisuus voidaan mitata spektrofotometrillä. Liuoksen konsentraation määrittäminen: kolorimetrialla (lyhyt selitys) tai atomiabsorptiospektrometrialla (lyhyt selitys). Lisäksi lisätietohuomautus värin voimakkuuden ja konsentraation yhteydestä, sekä silmämääräisestä pitoisuuden määrittämisestä. s.29-30	2 kuvaa: atomiabsorbtiospektrofotometrin ulkonäkö ja spektrofotometrin ulkonäkö, sekä liuoksia kyveteissä värisarjana	Reaktioyhtälö ja sen käyttö: Kvantitatiivisella analyysillä selvitetään aineen määrä näytteessä: liuoksen konsentraation määrittäminen	Tekstissä ja huomautuksena	x
C3	Tehtävä 37. Liuoksen konsentraation määrittäminen kolorimetrisesti silmän tarkkuudella. S. 35	1 kuva: Neljä eriväristä liuosta dekantterilaseissa	Reaktioyhtälö ja sen käyttö: Kvantitatiivisella analyysillä selvitetään aineen määrä näytteessä: liuoksen konsentraation määrittäminen	Tehtävä	x
C3	Spektrofotometri = Laite, joka mittaa valon absorboitumista näyteaineeseen. S.151		sanastoluettelossa	Sanastossa	x
C6	Spektroskopia kvantitatiivisenä analyysimenetelmänä, periaatteen lyhyt kuvaus ja esimerkkeinä atomiabsorptiospektrofotometria ja spektrofotometria (lyhyet selitykset esimerkeistä) s.129	Taulukossa	Kokeellinen kemia: Analyysimenetelmät, kvantitatiivinen analyysi	Tekstissä	x

C6	"Orgaaniset yhdisteet tunnistetaan esimerkiksi NMR-, IR-, tai massaspektreistä." s.129		Kokeellinen kemia: Analyysimenetelmät, kvalitatiivinen analyysi	Tekstissä	
C6	Spektroskopia kvalitatiivisena analyysimenetelmänä, periaatteen lyhyt kuvaus ja esimerkkeinä atomiabsorptiospektrofotometria, spektrofotometria ja IR-spektrometria. (lyhyt avaus esimerkeistä) s.130	Taulukossa	Kokeellinen kemia: Analyysimenetelmät, kvalitatiivinen analyysi	Tekstissä	x
C6	Esimerkkitehtävä aineen rakenteen tunnistamisesta massaspektrin ja IR-spektrin avulla. S.132-133	2 kuvaa: IR-spektri ja massaspektri.	Kokeellinen kemia: Analyysimenetelmät, kvalitatiivinen analyysi	Tekstissä	
C6	Spektroskopia s. 156		Hakemistossa	Hakemistossa	
D2	Atomien perustila, virittyminen, absorptio ja emissio, sekä absorptio- että emissioenergioiden tutkiminen spektrien avulla. Puhutaan spektreistä, mutta ei erikseen mainita spektroskopiaa tai spektrofotometriaa. S. 24-25	2 kuvaa: Spektrin mittausta / rakenne ja energiatasojen vastaavuus elektronien siirtymiseen	Atomeista alkuaineita: Bohrin atomimalli	Tekstissä	x
D2	Sateenkaaren syntymisen selittäminen valon aaltoliikkeen avulla ja tähtien kirkkauden mittaaminen fotonien lukumäärän avulla. Ei mainita erikseen spektroskopiaa tai spektrofotometriaa. S.26	2 kuvaa: sateenkaari ja tähtijärjestelmä	Atomeista alkuaineita: Kvanttimekaaninen atomimalli	Kuvatekstit	x

D2	Tehtävä 37: Massaspektrometrin avulla voidaan erottaa massaltaan erilaiset hiukkaset ja määrittää niiden suhteellinen määrä näytteessä. Bromin Br ₂ massaspektristä saatiin seuraavat tulokset. Laske bromin suhteellinen atomimassa. S. 36	Taulukko mittaustuloksista	Atomeista alkuaineiksi	Tehtävä	
D2	Laboratoriotyö: liekkikokeita. "Ota selvää, miksi monet metallit värjäävät liekin tietyn väriseksi." s. 37	1 kuva: erivärisiä liekkejä	Atomeista alkuaineita	Laboratoriotyö	x
D2	Spektrometrin rakenne ja toimintaperiaate.Sähkömagneettinen säteilyn spektri. S. 155	2 kuvaa: Spektrometrin rakenne ja sähkömagneettisen säteilyn eri säteilylajit ja niitä vastaavat aallonpituuden ja taajuudet	Aineen tutkiminen: kvalitatiivinen analyysi	Tekstissä	x
D2	Kvantitatiivisen analyysin menetelmiä: spektroskopia (lyhyt selytys menetelmän perusteista) s. 157	Taulukko	Aineen tutkiminen: kvantitatiivinen analyysi	Tekstissä	
D2	Erilaisten laitteiden hyödyntäminen teollisuudessa ja tutkimuslaitoksissa. Esimerkkinä valon absorptio hyödyntäminen. S.157		Aineen tutkiminen: kvantitatiivinen analyysi	Tekstissä	x
D2	Esimerkkitehtävä: rautaliuoksen pitoisuuden määrittäminen spektrometrisesti. S.158	1 kuva: Kuvaaja	Aineen tutkiminen: kvantitatiivinen analyysi	Tekstissä	x

D2	Röntgendiffraktio s. 158-159	1 kuva: L(+)-maitohappomolekyylin rakenne määritettynä röntgendiffraktiolla.	Aineen tutkiminen: Aineen rakenteen analyysi	Tekstissä	
D2	NMR-, IR- ja UV-spektrometria lyhyesti kuvattuna. S.159	1 kuva: MRI-laite lääketieteessä	Aineen tutkiminen: Aineen rakenteen analyysi	Tekstissä	
D2	Massaspektrometria s.160		Aineen tutkiminen: Aineen rakenteen analyysi	Tekstissä	
D2	Butan-2-onin spektrejä s.160-162	7 kuvaa: IR-spektri ja spektriä selittävä kuva, massaspektri, ¹ H-NMR ja ¹³ C NMR-spektrien kuvat, sekä NMR-spektrejä selittävät kuvat.	Aineen tutkiminen: Aineen rakenteen analyysi	Tekstissä	
D2	Massaspektrometriin liittyvät tehtävä 162: Litiumionin kulkeutuminen ja tuntemattoman aineen tunnistaminen. S. 165-166	1 kuva: tuntemattoman aineen massaspektri	Aineen tutkiminen: aineen rakenteen analyysi	Tehtävä	
D2	Massaspekttriin liittyvä tehtävä 163: germaniumin suhteellisen atomimassan määrittäminen. (laskennallisesti) s.164	1 kuva: tuntemattoman aineen massaspektri	Aineen tutkiminen: Aineen rakenteen analyysi	Tehtävä	
D2	Tehtävä 164: Atomiabsorptiospektrometrin toimintaan liittyvä tehtävä s.164-165	1 kuva: atoabsorptiospektrometrin toiminta/rakenne	Aineen tutkiminen: absorptio	Tehtävä	x

D2	Tehtävä 165: Vesijohtoveden rautapitoisuuden määrittäminen spektrofotometrillä. S. 165	1 kuva: taulukko tuloksista	Aineen tutkiminen: kvantitatiivinen analyysi	Tehtävä	x
D2	Tehtävä 166: massaspektrin tulkitseminen. S.166	1 kuva: massaspektri	Aineen tutkiminen: analyysi	Tehtävä	
D2	Tehtävä 167: massa-, IR- ja NMR-spektrin tulkitseminen, sekä moolimassan laskeminen.	3 kuvaa: peptiinin rakennekaava, IR- ja H-NMR-spektri.	Aineen tutkiminen: analyysi	Tehtävä	
D2	Laboratoriotyö: Pinaatin rautapitoisuuden määrittäminen s.171-172	1 kuva: erilaisia rautakonsentraatioita	Aineen tutkiminen: analyysi	Laboratoriotyö	x
D2	Spektroskopia ja sen lyhyt selitys s.181		sanastoluettelossa	Sanastossa	
D2	Spektri, spektrometri ja spektroskopia s.183		Hakemistossa	Hakemistossa	
G2	Massaspektrometria, toimintaperiaatteen selittäminen s. 8-9	2 kuvaa: massaspektrometrin periaate ja kloorimetaanin massaspektri	Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Alkuaineiden tunnistaminen nykyaikaisin menetelmin	Tekstissä	
G2	Spektroskopia: periaate, atomien virittyminen, sähkömagneettisen säteilyn lajit ja spektroskooppisia tutkimusmenetelmiä. Näkyvän valon kohdalla mainittuna atomiabsorptiospektrometria ja resonanssiionisaatiospektrometria. S.9-10	Taulukko: spektroskooppisia tutkimusmenetelmiä	Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Alkuaineiden tunnistaminen nykyaikaisin menetelmin	Tekstissä	x

G2	Röntgentutkimukset: historiaa ja toimintaperiaate s. 10	1 kuva: röntgendiffraktiomittauksen periaate	Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Alkuaineiden tunnistaminen nykyaikaisin menetelmin	Tekstissä	
G2	"Atomiabsorptiospektrometri eli lyhyemmin AAS on laite, jolla analysoidaan alkuaineiden pitoisuuksia tutkittavassa näytteestä, mm. haitallisten metalli-ionien pitoisuuksia vedestä. Kun metallin atomeja kuumennetaan, uloimmat elektronit saavat lisää energiaa ja virittyvät." s.16	1 kuva: AAS liekki	Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Atomin ionisoituminen ja virittyminen: Atomimallin kehitysvaiheita	Kuvateksti	x
G2	"Viritystilän purkautuessa vapautuu valoa, joka on juuri kyseiselle alkuaineelle ominaista. Syntyvän valon voimakkuus mitataan, ja vertailutulosten perusteella voidaan ilmoittaa tutkittavan aineen pitoisuus. Kuvassa Thermo Jarrel Ash'n laitteella tehdyn sinkkianalyysin tulos." s.16	1 kuva: Sinkkianalyysin spektri	Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Atomin ionisoituminen ja virittyminen: Atomimallin kehitysvaiheita	Kuvateksti	x
G2	Näkyvä valo mainittu atomin virittäytymisen yhteydessä s.17	2 kuvaa: sähkömagneettinen spektri ja valon taittuminen spektri	Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Atomin ionisoituminen ja virittyminen:	Tekstissä	x

			Virittäytymisessä sitoutuu energiaa.		
G2	"Ulompien elektronien irrottamiseen saattaa riittää lämpö tai valo, mutta sisäelektronien poistamiseen tarvitaan jo röntgen tai gammasäteilyä." ja "Valokennojen ja TV-kameroiden toiminta perustuu ns. valosähköiseen ilmiöön, jossa sähkömagneettinen säteily irrottaa elektroneja jonkin metallin atomeista." s.18	1 kuva: vetyatomin energiatasokaavio	Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Atomin ionisoituminen ja virittyminen: Uloimmat elektronit irtoavat helpommin: ionisaatioenergia	Tekstissä	X
G2	Kolmiarvoisen raudan pitoisuuden määrittäminen kolorimetrisesti... "Tarkempi tulos saadaan spektrofotometrillä, joka mittaa vain valitun valon intensiteetin. Tällöin muut värit eivät häiritse mittausta." s.78	1 kuva: Kolmiarvoisen raudan värilliset liuokset	Metallien kemialla: useimmat käyttömetallit ovat siirtymäalkuaineita: värillisiä yhdisteitä: kolorimetria	Kuvateksti	x
G2	Sähköä auringosta: "Kennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön: auringon valo irrottaa elektrodilta elektroneja, jotka aiheuttavat sähkövirran." s.82	1 kuva: aurinkokenno	Sähkö ja kemiallinen reaktio: sähköä auringosta, aurinkokenno	Tekstissä	x
G2	Sähkömagneettisesta säteilystä, bio- ja kemiluminesenssista kertova kappale: kemiallista valoa. S. 108	2 kuvaa: tulikärpäsiä ja luminolin hapettuminen	Kemiallisen reaktion säätely, kemiallista valoa,	Tekstissä	

G2	kokeellista työskentelyä 2: Atomin virittyminen: fosforenssi ja fluoresenssi s.247		Atomin virittyminen	Laboratoriotyö	
G2	Kokeellista työskentelyä 7: Raudan määrittäminen kolorimetrisesti s. 257	Taulukko vertailuliuksista	Kvantitatiivinen analyysi	Laboratoriotyö	x
G2	Spektroskopia ja selitys s. 332		sanastoluettelossa	Sanasto	
G3	"Jos määrityksissä tarvitaan spektroskooppisia tai tarkempia kromatografisia menetelmiä, kannattaa kääntyä lähiseudulla olevien yritysten, kunnan vesilaboratorion tai ammatillisten oppilaitosten puoleen." s.3		Ainemäärän määrittäminen, Lukijalle - johdanto	Tekstissä	
G3	"Molekyylin koon tai muodon tutkiminen edellyttää spektroskooppisia tai muita kehittyneempiä menetelmiä." s.53		Orgaaninen kvalitatiivinen analyysi	Tekstissä	
G3	"Hyvin pieniä pitoisuuksia ei kouluolosuhteissa pystytä tutkimaan. Näissä määrityksissä tarvitaan tarkempia mittalaitteita kuten atomiabsorptiospektrometria." s. 63		Kvantitatiivinen analyysi	Tekstissä	x
G3	"Kun käytetään spektrometria, vertailuliuksista tehdään intensiteettimittaukset, joista piirretään kalibrointisuora. Tutkittavan lioksen konsentraatio määritetään tämän kalibrointisuoran mukaan." s. 76		Kolorimetrinen ja spektrofotometrinen analyysi	Tekstissä	x

G3	Työ 14: Fosfaattipitoisuuden määrittäminen		Kolorimetrinen ja spektrofotometrinen analyysi	Laboratoriotyö	x
E1	Tomaatin makututkimus massaspektrometrilla. S. 30	1 kuva: tomaatin makututkimuksen suorittamisesta	Kuinka paljon, mikä pitoisuus, miten hapanta? Tomaatin makututkimus	Kuvateksti	
E2	Otsikot: Yhdisteen rakenteen määrittäminen; IR-, NMR- ja massaspektrometria mainittu s.5		Sisällysluettelo; Työt ja tutkimus; Yhdisteen rakenteen määrittäminen	Sisällysluettelossa	
E2	Litiumin liekkiväri ja emissio s. 25	1 kuva: Punainen liekki	Orbitaalit	Kuvateksti	x
E2	Värien näkeminen ja spektrofotometrin toiminnan selittäminen s.34	1 kuva: kaavio spektrometristä	Jaksollinen järjestelmä ja alkuaineiden ominaisuudet: Värillisyyys	Tekstissä	x
E2	Näkeminen: porkkanan karoteenin eri cis-trans isomeerien vaikutus näkemiseen. 76	1 kuva: porkkanoita	Molekyylien muoto ja isomeria	Kuvateksti	x
E2	Yhdisteen rakenteen määrittäminen; IR-, NMR- ja massaspektroskopia ja röntgenkristallografia 95-97	4 kuvaa: natriumbentsoaattisaostuman IR-spektri, NMR-spektrometrin rakenne, kaavio massaspektrometristä ja kristallografian avulla selvitetty molekyyli malli	Työt ja tutkimus: tutkimusmenetelmiä: yhdisteen rakenteen määrittäminen	Tekstissä	

E3	UV-VIS- spektrofotometrin toimintaperiaate, käyttötarkoitus ja kaksisädespektrometrin rakenne kuvattuna lyhyesti. S.31	1 kuva: Kaksisädespektrofotometrin rakenne	Stoikiometria; Reaktioyhtälöön liittyviä laskuja; seoslaskut; pitoisuuden määrittäminen	Kuvateksti	x
E3	käsite spektroskopia mainittu hakemistossa s. 118		käsite hakemistossa	Hakemistossa	
E4	Alkuaineiden löytämisen historiaa. Bunsenin ja Kirchhoffin spektroskooppi, alkuaineiden emissio liekkivärinä ja spektroskopia alkuaineiden löytämisen välineenä. S. 49		Jaksollisen järjestelmän s-lohkon alkuaineiden kemiaa: alkalimetallit; Robert Bunsen	Lisätietosivu	x

Liite 5: Oppikirja-analyysin tulokset – Spektroskopian ja spektrofotometrian esiintymisten asiayhteydet lukion kemian oppikirjoissa

Spektroskopian esiintymisten asiayhteydet			
Oppikirjat	Spektroskopiaan liittyvä sisältö	Asiayhteys	Yläkäsite
C2, D2	Energian kvantittuminen	Kvanttimekaaninen atomimalli, Atomeista alkuaineita, Bohrin atomimalli	Atomin rakenne ja sen muutokset
A2, A4, C2, D2, G2, E2, E4	Absorptio tai emissio	Elektronien siirtyminen, taulujen väriaineiden ainesosien tutkiminen, energian siirtyminen, valot ja värit, Atomeista alkuaineita, Bohrin atomimalli, Tähtien kirkkauksien mittaaminen, Aineen tutkiminen, kvantitatiivinen analyysi, Atomiabsorptiospektrometrin toiminta, Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot, Alkuaineiden tunnistaminen nykyaikaisin menetelmin, sinkkianalyysin spektri, Atomin ionisoituminen ja virittyminen, Virittäytymisessä sitoutuu energiaa, Fosforenssi ja fluoresenssi, Litiumin liekkiväri, Orbitaalit, Alkuaineiden löytäminen, Bunsen ja Kirchhoff, spektroskooppi, Jaksollisen järjestelmän s-lohkon alkuaineiden kemiaa, Alkalimetallit, Liukkekokeita, Sivuryhmien metallien kemiaa, siirtymäalkuaieiden erityisominaisuuksia	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmät, Käytännön sovelluksia, Metallien kemiaa, Historiallinen näkökulma, Ilmiöiden selittäminen
C2, D2, G2	Sähkömagneettinen spektri, säteily	Kvanttimekaaninen atomimalli, Sateenkaaren syntyminen, Aineen tutkiminen, Kvalitatiivinen analyysi, Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot, Alkuaineiden tunnistaminen nykyaikaisin menetelmin, Bio- ja kemiluminesenssi, Kemiallista valoa	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmät, Käytännön sovelluksia, Ilmiöiden selittäminen

G2	Valosähköinen ilmiö	Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot, Atomin ionisoituminen ja virittyminen, Uloimmat elektronit irtoavat helpommin: ionisaatioenergia, Sähkö ja kemiallinen reaktio, Sähköä auringosta, Aurinkokenno	Atomin rakenne ja sen muutokset, Sähkö
A4, C2, E2	Värien syntyminen/näkeminen	Elektronien siirtymien, valot ja värit, Jaksollinen järjestelmä ja alkuaineiden ominaisuudet, Molekyylien muoto, Isomeria, Sivuryhmien metallien kemiaa, siirtymäalkuaideiden erityisominaisuuksia	Atomin rakenne ja sen muutokset, Metallien kemiaa, Jaksollinen järjestelmä
B3, B5, C2, C6, D2, G3	Aineen rakenteen tutkiminen	Reaktiomekanismi, Kromatografia, Sähkömagneettisen säteilyn absorboituminen, Orbitaalit, Kvanttimekaaninen atomimalli, Kokeellinen kemia, Analyysimenetelmät, kvalitatiivinen analyysi, orgaanisten yhdisteiden tunnistaminen, röntgendiffraktio, NMR-, IR-, ja UV-spektrometria, Aineen tutkiminen/analyysi, Butan-2-onin spektri, Litiumionin kulkeutuminen, Tuntemattoman aineen spektri, Massaspektrometria	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmät, Käytännön sovelluksia,
B2, C3, C6, D2, G3	Aineen pitoisuuden tutkiminen, liuoksen konsentraation määrittäminen	Yhdisteen koostumus, Reaktioyhtälö ja sen käyttö, Kvantitatiivinen analyysi, Kokeellinen kemia, Analyysimenetelmät, Aineen tutkiminen, Rautapitoisuuden määrittäminen, Spektrofotometria, Atomiabsorptiospektrometria, Kolorimetria	Käytännön sovelluksia, Stoikiometria, Analyysimenetelmiä,
A3, A4, C3, G2, G3	Kolorimetria	Reaktioyhtälö ja sen käyttö, Kvantitatiivisella analyysillä selvitetään aineen määrä näytteessä, liuoksen konsentraation määrittäminen, Kolmiarvoisen raudan pitoisuuden määrittäminen, Metallien kemiaa, useimmat käyttömetallit ovat siirtymäalkuaineita, värillisiä yhdisteitä, Fosfaattipitoisuuden määrittäminen, Kemiallisen reaktion nopeus, Sivuryhmien metallien kemiaa, Teräksen permanganaattipitoisuuden määrittäminen,	Stoikiometria, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia, Metallien kemiaa, Reaktion nopeus,
A1, A2, C2, C6, D2, G2, E1, E2	Massaspektrometria, massaspektrometri	Kvanttimekaaninen atomimalli, Kokeellinen kemia, Analyysimenetelmät, kvalitatiivinen analyysi, orgaanisten yhdisteiden tunnistaminen, suhteellisen atomimassan laskeminen, Atomeista alkuaineiksi, Aineen tutkiminen, Aineen rakenteen analyysi, Butan-2-onin spektri, Litiumionin kulkeutuminen, Tuntemattoman alkuaineen spektri, germaniumin	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä,

		suhteellisen atomimassan määrittäminen, Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Alkuaineiden tunnistaminen nykyaikaisin menetelmin, Tomaatin makututkimus, Yhdisteen rakenteen määrittäminen, Ainemäärä ja konsentraatio, Yhdisteen molekyyli- ja rakennekaavan määrittäminen.	Käytännön sovelluksia, Stoikiometria
B5, C2, C6, D2, E2	IR-spektrometria	Kvantitatiiviset analyysimenetelmät, kouluun soveltuvat tekniikat, optisten ominaisuuksien mittaaminen, Kvanttimekaaninen atomimalli, Kokeellinen kemia, Analyysimenetelmät, kvalitatiivinen analyysi, orgaanisten yhdisteiden tunnistaminen, Aineen tutkiminen, Aineen rakenteen analyysi, Butan-2-onin spektri, Yhdisteen rakenteen määrittäminen	Analyysimenetelmiä, Aineen rakenne ja sen muutokset, Käytännön sovelluksia,
A2, B2, C2, C6, D2, E2	NMR-spektrometria	Isomeria, Kvanttimekaaninen atomimalli, Kokeellinen kemia, Analyysimenetelmät, kvalitatiivinen analyysi, orgaanisten yhdisteiden tunnistaminen, Aineen tutkiminen, Aineen rakenteen analyysi, MRI-laite lääketieteessä, Butan-2-onin spektri, Moolimassan laskeminen, Yhdisteen rakenteen määrittäminen, Miten yhdisteen rakenteen määrittämistä voidaan hyödyntää? MRI lääketieteessä	Aineen rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia, Stoikiometria,
A4, B5, C2, C3, C6, D2, G2, G3, E2, E3	Spektrofotometria	Kvantitatiiviset analyysimenetelmät, kouluun soveltuvat tekniikat, optisten ominaisuuksien mittaaminen, elektronien siirtyminen, energian siirtyminen, Kvanttimekaaninen atomimalli, Reaktioyhtälö ja sen käyttö, Liuoksen konsentraation määrittäminen, Kokeellinen kemia, Kvantitatiivinen analyysi, Analyysimenetelmät, Aineen tutkiminen, kvalitatiivinen analyysi, Rautaliuoksen pitoisuuden määrittäminen, kvantitatiivinen analyysi, Pinaatin rautapitoisuuden määrittäminen, sinkkianalyysin spektri, Metallien kemiaa: useimmat käyttömetallit ovat siirtymäalkuaineita: värillisiä yhdisteitä: kolorimetria, Fosfaattipitoisuuden määrittäminen, Jaksollinen järjestelmä ja alkuaineiden ominaisuudet: Värillisuus, molekyylien muoto ja isomeria, Stoikiometria,	Aineen rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia, Stoikiometria, Ilmiöiden selittäminen, Metallien kemiaa, Jaksollinen järjestelmä

		Reaktioyhtälöön liittyviä laskuja, seoslaskut, pitoisuuden määrittäminen, Sivuryhmien metallien kemiaa, siirtymäalkuaieiden erityisominaisuuksia,	
B2, B5, D2	UV-spektrometria	Kvantitatiiviset analyysimenetelmät, kouluun soveltuvat tekniikat, optisten ominaisuuksien mittaaminen, Aineen tutkiminen, Aineen rakenteen analyysi, taulujen väriainepitoisuuksien tutkiminen	Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia,
D2, G2, E2	Röntgenkristallografia, röntgendiffraktio	Vahvat sidokset, L(+)-maitohappomolekyylin rakenteen määrittäminen, Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Alkuaineiden tunnistaminen nykyaikaisin menetelmin, tutkimusmenetelmiä, Yhdisteen rakenteen määrittäminen	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia,
A2, D2, E2, E4	Liekkikokeita	Metallien liekkivärit, Atomeista alkuaineiksi, Litiumin liekkiväri, Orbitaalit, Bunsen ja Kirchhoff, Atomin elektronirakenteen muutokset,	Atomin rakenne ja sen muutokset, Metallien kemiaa, historiallinen näkökulma
A1, A2, C2, C3, C6, G2, G3	Atomiabsorptiospektrometri (AAS)	Kvanttimekaaninen atomimalli, Kiiskan elohopeapitoisuuden määrittäminen, Reaktioyhtälö ja sen käyttö, Kvantitatiivisella analyysillä selvitetään aineen määrä näytteessä, liuoksen konsentraation määrittäminen, Kokeellinen kemia, Kvantitatiivinen analyysi, Analyysimenetelmät, Atomin rakenne ja alkuaineiden reaktiot: Alkuaineiden tunnistaminen nykyaikaisin menetelmin, hiilivedyt; kolmoissidos, Elektronien virittyminen, Kivennäisveden Ca- ja Mg-pitoisuuden määrittäminen.	Atomin rakenne ja sen muutokset, Analyysimenetelmiä, Käytännön sovelluksia,

Liite 6 – Alkuperäinen tuntisuunnitelma (kehittämistuotos)

TUNTISUUNNITELMA – SPEKTROFOTOMETRIAA TUTKIMUKSELLISESTI

Lukion kemian kursseille: Aiheisältönä aineen rakenteen analyysimenetelmät käsitellään kemian 2. kurssilla, mutta tutkimisen taitoja harjoitellaan kaikilla kemian kursseilla.

(LOPS 2015) Ohjattu tutkimus vaatii aikaa noin 3 x 75 min.

Tavoitteet:

- Kehittää opiskelijoiden tutkimisen taitoja. Näistä erityisesti keskitytään harjoittelemaan luonnontieteellistä kysymysten esittämistä ja luonnontieteelliselle tutkimuksen tekemiselle tyypillistä sosiaalista vuorovaikutusta.
- Tutustutaan spektrofotometriaan aineen rakenteen ja etenkin pitoisuuksien analyysimenetelmänä.
- Opitaan, mitä tarkoittaa valon absorboituminen ja miten värit syntyvät.

Aikataulutus:

1. OPPITUNTI:

- Spektrofotometriaan tutustuminen.
- Oppilaiden kysymykset spektrofotometriasta.
- Oman tutkimusaiheen valitseminen.
- Läksyksi oman tutkimuksen suunnitteleminen.

2. OPPITUNTI: Kokeellinen osuus eli oman tutkimuksen toteuttaminen. Läksyksi esityksen koostaminen omasta tutkimuksesta.

3. OPPITUNTI: Oman tutkimuksen esittäminen muulle luokalle. Opittujen tutkimisen taitojen arviointi.

HUOM! Kysymysten asettelun harjoittelemisella ja oman tutkimuksen esittämisellä on tärkeä osuus tutkimisen taitojen kehittämisessä, joten pelkän kokeellisen osan suorittaminen ei välttämättä kehitä tutkimisen taitoja tai korkeamman tason ajatteluntaitoja. Kokeelliset työt ovat toki sellaisenaankin kivoja ja opettavaisia, mutta silloin tulee kiinnittää huomiota opetukselle asetettuihin tavoitteisiin ja arviointiin.

1. OPPITUNTI

Tavoitteet:

- Spektrofotometriaan tutustuminen. Ymmärtää mihin spektrofotometria analyysimenetelmänä perustuu.
- Oppilaat esittävät kysymyksiä spektrofotometriasta.
- Oman tutkimusaiheen valitseminen ja tutkimuksen suunnitteleminen.

Aikataulukutus:

10 min Tunnin aloitus. Työn tavoitteiden ja arvioinnin esittäminen oppilaille.

5 min Lyhyt kysymysrunko spektrofotometriasta.

Mitä tiedät spektrofotometriasta?

Mitä haluaisit tietää spektrofotometriasta?

Samalla saadaan tietoa oppilaiden ennakkotiedoista. Kysymyksiä voidaan kerätä esim. post-it lappujen avulla.

10 min Vastaaminen oppilaiden esittämiin kysymyksiin ja johdatus spektrofotometriaan spektroskopian historian kautta.

15 min Spektrofotometrian perusta. Sähkömagneettinen säteily, absorptio, emissio ja Lambert-Beerin laki. Ajetaan eriväristen liuosten spektri. Päätellään miten eri värit syntyvät.

10 min Mitä kaikkea voidaan tutkia spektrofotometriasta? Tutkimusaiheen valitseminen ja ryhmiin jakautuminen.

Tutkimusaiheet alustavasti mietittynä:

- Lääketurvallisuus – Aspiriiniipitoisuuden määrittäminen
- Veden puhtauden tutkimus – Veden klooripitoisuuden määrittäminen
- Kuparin kierrättäminen – Kupariipitoisuuden määrittäminen
- Lääketieteessä (Ruoan laadun tutkimus) – Glukoosipitoisuuden määrittäminen
- Ruoan laadun tutkimus – Maidon proteiinipitoisuuden määrittäminen

15 min Kysymysrunko spektrofotometriasta oman kontekstin näkökulmasta.

Oppilaat hakevat tietoa ja suunnittelevat oman tutkimuksensa. Nettisivuilta löytyy taustatietoa ja työohjeita.

Läksyksi: Suunnitelma tutkimuksen toteuttamisesta valmiina seuraavalle tunnille.

Tunnin lopetus (yht. 75 min)

2. OPPITUNTI

Tavoitteet:

- Oman tutkimuksen suorittaminen.
- Spektrofotometrin rakenteeseen perehtyminen.
- Tietojenkäsittelytaitojen harjoittelua Excelin avulla.

Aikataulus:

5 min Lyhyt aloitus. Missä mennään?

10 min Oman spektrofotometrin rakentaminen lego-palikoista ryhmissä.

60 min Oman tutkimuksen suorittaminen ryhmissä.

Mikäli jää aikaa, niin tutkimuksen esittämisen valmistelu.

Tunnin lopetus (yht. 75 min)

3. OPPITUNTI

Tavoitteet:

- Oman tutkimuksen esittämisen harjoittelu.
- Tiedon oppimista jakamalla.

Aikataulukko:

5 min Tunnin lyhyt aloitus: Esitysten alustaminen.

60 min Esitykset: 10 min per ryhmä. Sisältää keskusteluajan, sekä arvioinnin.

10 min Kyselylomakkeen täyttäminen ja muu suullinen palaute.

Tunnin lopetus (yht. 75 min)

// Vaihtoehtoisesti raportointi postaamalla kuva spektrofotometria –sivustolle ja kirjoittamalla kuvatekstiin vastaukset kysymyksiin:

1. Mitä opit työn tekemisen aikana?
2. Mikä kysymys testaisi tämän työn tärkeimpien asioiden osaamista?
3. Kirjoita vielä kysymys, joka jäi mietityttämään.

TUNTISUUNNITELMA – SPEKTROFOTOMETRIAA TUTKIMUKSELLISESTI

Suunnattu kokeellisen kemian taitoja harjoittavalle lukion kemian 7. kurssille eli kokeellisen kemian kurssille. Ohjattu tutkimus on suunniteltu suoritettavaksi 2 x 80 min aikarajalla.

Tavoitteet oppimiskokonaisuudelle:

- Opiskelijat kehittävät omia tutkimisen taitojansa. Näistä erityisesti keskitytään harjoittelemaan luonnontieteellistä kysymysten esittämistä ja luonnontieteelliselle tutkimuksen tekemiselle tyypillistä sosiaalista vuorovaikutusta. Opiskelijan vaikutusmahdollisuuksia tutkimuksen suorittamiseen pyritään lisäämään tutkimusaiheiden valinnalla.
- Opiskelijat tutustuvat spektrofotometriaan aineen rakenteen ja etenkin pitoisuuksien analyysimenetelmänä.
- Opiskelijat oppivat, mitä tarkoittaa valon absorboituminen ja miten värit syntyvät.

Aikataulukutus:

1. OPPITUNTI:

- a. Tutustutaan spektrofotometriaan analyttisenä menetelmänä.
- b. Tutustutaan valon absorptioon värien absorptiospektrien kautta ja päätellään miten värit syntyvät.
- c. Kannustetaan opiskelijoita kysymysten esittämiseen ja sen harjoitteluun.
- d. Valitaan oma tutkimusaihe ja suunnitellaan oma tutkimus, joka toteutetaan seuraavalla tunnilla.

2. OPPITUNTI:

- a. Opiskelijat harjoittelevat oman tutkimuksen suorittamista pienryhmissä.
- b. Opiskelijat perehtyvät Spektrofotometrin rakenteeseen ja toimintaan.
- c. Opiskelijat harjoittelevat Lambert-Beerin lain käyttämistä ja tietojenkäsittelytaitoja Excelin avulla.
- d. Opiskelijat arvioivat omia tutkimisen taitojansa.

HUOM! Kysymysten asettelun harjoittelemisella ja oman tutkimuksen esittämisellä on tärkeä osuus tutkimisen taitojen kehittämisessä, joten pelkän kokeellisen osan suorittaminen ei välttämättä kehitä tutkimisen taitoja tai korkeamman tason ajatteluntaitoja.

1. OPPITUNTI

Tavoitteet:

- Opiskelijat tutustuvat spektrofotometriaan kemiallisena analyysimenetelmänä.
- Opiskelijat harjoittelevat kysymysten esittämistä spektrofotometriasta.
- Opiskelijat valitsevat oman tutkimusaiheen ja suunnittelevat tutkimuksen pienryhmissä.

Tarvikkeet:

- Spektrofotometri, esim. Vernierin SpectroVis ja siihen tietojenkäsittelyohjelma: LabQuest (käsikonsolille) tai Logger Pro (tietokoneelle).
- Kyvettejä
- Erivärisiä elintarvikevärejä
- Pieniä dekantterilaseja ja lasisauvoja värien sekoittamiseen
- Lisäksi Pinaatin absorptiospektrin mittaamiseen: (valinnainen)
 - o 1 tl jauhettua pakastepinaattia
 - o 10 ml etanolia
 - o 10 ml tislattua vettä

Aikataulutus:

10 min Tunnin aloitus. Opettaja esittää työn tavoitteet ja rakenteen oppilaille.

5 min Opiskelijat esittävät ennakkokysymyksiä spektrofotometriasta. Opettaja saa kysymysten avulla ennakkotietoa oppilaiden tiedoista ja taidoista. Kysymyksiä voidaan kerätä esim. post it -lappujen tai internetsovelluksen avulla.

Opettaja voi ohjata kysymysten esittämistä kysymällä oppilaista:

Mitä tiedät spektrofotometriasta?

Mitä haluaisit tietää spektrofotometriasta?

Opiskelijat esittävät todennäköisesti kysymyksiä:

Mitä on spektroskopia?

Mihin spektroskopia perustuu?

Miten spektrofotometri toimii?

Missä tai mihin spektrofotometriä/-aa käytetään?

Miten spektrofotometria on keksitty?

- 10 min Opettaja vastaa oppilaiden esittämiin kysymyksiin yleisellä tasolla ja johdattelee spektrofotometriaan spektroskopian historian kautta. Esityksen apuna voi olla esimerkiksi diaesitys. Esitys loppuu spektrofotometrian perusteiden eli sähkömagneettisen säteilyn, absorptioon ja emission yms. lyhyeen kuvaamiseen.
- 30 min Opiskelijat soveltavat tietojansa spektrofotometrian perusteista käytäntöön tutkimalla väriaineiden absorptiota ja emissiota. Opiskelijat pääsevät mittaamaan eriväristen liuosten spektrejä. Opiskelijat päättävät miten eri värit syntyvät. Opettaja voi tukea päättelyä esittämällä kysymyksiä minkä värisiä aallonpituuksia punainen liuos absorboi ja minkä värisiä se ei absorboi? Työn lopuksi voi mainita tai voidaan pohtia minkä taajuuksista valoa kasvit tarvitsevat yhteyttääkseen tai miten spektrejä voidaan käyttää apuna rikostutkimuksessa, esim. musteen vastaavuuden selvittämisessä. Ajan riittäessä voidaan ajaa myös esimerkiksi pinaatin absorptiospektri edellä kuvattujen pohdintojen tueksi.
- 10 min Mitä kaikkea voidaan tutkia spektrofotometriasta? Opettaja esittää muutaman spektroskopian sovelluskohteen dioiden avulla. Sen jälkeen opettaja esittelee lyhyesti opiskelijoille tutkimusaiheeksi sopivia konteksteja, joista opiskelijat valitsevat mielenkiintoisimman. Opiskelijat jaetaan ryhmiin valitun työn perusteella.

Tutkimusaiheet alustavasti mietittynä:

- Lääketieteellisiä sovelluksia (myös ruoan laadun tutkimus) - glukoosipitoisuuden määrittäminen
- Kuparin kierrättäminen – Kuparipitoisuuden määrittäminen
- Pesuaineet – Fosforipitoisuuden määrittäminen

- 15 min Kysymysrunko spektrofotometriasta oman kontekstin näkökulmasta. Oppilaat hakevat tietoa ja suunnittelevat oman tutkimuksensa. Nettisivuilta löytyy taustatietoa ja työohjeita. Läksyksi: Suunnitelma tutkimuksen toteuttamisesta valmiina seuraavalle tunnille.

Tunnin lopetus (yht. 80 min)

2. OPPITUNTI

Tavoitteet:

- Opiskelijat harjoittelevat oman tutkimuksen suorittamista pienryhmissä.
- Opiskelijat perehtyvät Spektrofotometrin rakenteeseen ja toimintaan.
- Opiskelijat harjoittelevat Lambert-Beerin lain käyttämistä ja tietojenkäsittelytaitoja Excelin avulla.
- Opiskelijat arvioivat omia tutkimisen taitojansa.

Aikataulukutus:

- | | |
|--------|---|
| 10 min | Lyhyt aloitus. Missä mennään? (/onko läksyt tehty eli tutkimus suunniteltu? /ongelmia?) Opettaja kirjoittaa taululle opiskelijoiden ehdottamia tutkimuksen tekemisen vaiheita läksyn pohjalta. (Kaikki tutkimukset liittyvät pitoisuuden määrittämiseen, joten niistä voidaan koostaa ”yhteinen runko” eritasoisten opiskelijoiden avuksi.) |
| 40 min | Opiskelijat suorittavat oman tutkimuksen pienryhmissä. Opettajan tuen rooli tärkeä! |
| 10 min | Opiskelijat rakentavat oman spektrofotometrin led-lampuista ja lego-palikoista omissa tutkimusryhmissä näytteen valmistamisen jälkeen. Kuvalliset ohjeet löytyvät netistä. Opettaja seuraa ryhmien edistymistä ja auttaa tarvittaessa. |
| 10 min | Opiskelijat raportoivat tekemänsä tutkimuksen lähettämällä kuvan tutkimuksestaan spektrofotometria –sivustolle ja kirjoittamalla kuvatekstiin seuraavia asioita:

4. Mitä opit työn tekemisen aikana?
5. Kirjoita kysymys, joka jäi mietityttämään tai johon seuraavaksi haluaisit etsiä vastausta. |
| 10 min | Opiskelijat vastaavat tutkimuslomakkeeseen. |
- Tunnin lopetus (yht. 80 min)

KYSELYLOMAKE - SPEKTROFOTOMETRIAA TUTKIMUKSELLISESTI

Taustatiedot:

Sukupuoli: Nainen Mies

Suoritetut kemian kurssit _____ kpl

Ikä: _____

Arvioi työn suorittamista asteikolla 1-5:

1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = en osaa sanoa, 4 = jokseenkin samaa mieltä, 5 = täysin samaa mieltä

- | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Työn suorittaminen oli mielestäni sopivan haasteellista. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2. Työn tavoitteet oli esitetty selkeästi. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3. Työn tutkimuskohteet olivat arkiläheisiä. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4. Sain tutkia työssä minulle kiinnostavia asioita. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5. Minulla oli mahdollisuus vaikuttaa työn suorittamiseen. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6. Työ oli monipuolinen. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7. Työ oli ohjeistettu selkeästi. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8. Sain tarvittaessa apua opettajalta. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9. Ryhmätyöskentely tuki työn suorittamista. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10. Spektrofotometrin käyttäminen oli helppoa. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 11. Spektrofotometrin rakentaminen legoista oli helppoa. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 12. Lego-spektrofotometrin käyttäminen oli helppoa. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 13. Lego-spektrofotometrin käyttäminen oli kiinnostavaa. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

14. Mistä pidit työssä eniten?

15. Mikä oli vaikeinta työn suorittamisessa?

16. Kuinka kuormittava työ oli mielestäsi?

17. Muita kommentteja, esim. miten kehittäisit työtä, jotta se olisi kiinnostavampi?

Arvioi verkkomateriaaleja asteikolla 1-5:

1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = en osaa sanoa, 4 = jokseenkin samaa mieltä, 5 = täysin samaa mieltä

- | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 18. Tutustuin spektrofotometriaan verkkomateriaalien kautta. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 19. Löysin tietoa verkkosivuilta helposti. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 20. Verkkosivut olivat selkeät. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 21. Työohjeita oli helppo lukea verkkosivuilta. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 22. Sivusto tuntui luontevalta tavalta oppia spektrofotometriasta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 23. Löysin kaiken tarvitsemani tiedon verkkosivuilta. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

24. Mikä oli parasta verkkomateriaalin hyödyntämisessä?

25. Mitä parannuksia verkkomateriaaliin kannattaisi tehdä?

26. Muita kommentteja verkkomateriaalista:

Arvioi oppimistasi asteikolla 1-5:

1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = en osaa sanoa, 4 = jokseenkin samaa mieltä, 5 = täysin samaa mieltä

- | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| 27. Keskusteluun oli varattu riittävästi aikaa. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 28. Kysymysten esittäminen tuki oppimistani | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 29. Uskalsin esittää kysymyksiä tunneilla. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 30. Spektrofotometrian tutkiminen edisti oppimistani. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 31. Ryhmätyöskentely tuki oppimistani. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 32. Spektrofotometrin käyttäminen auttoi oppimistani. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 33. Spektrofotometria aiheena on minulle tärkeä. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 34. Opin tulevaisuudessa minulle tärkeitä taitoja työtä tehdessäni. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 35. Voin käyttää oppimiani tietoja ja taitoja muissakin tilanteissa. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 36. Koin tutkimuksen suorittamisen merkitykselliseksi. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

37. Mitä opit näiden oppituntien aikana?

38. Millaisia tutkimisen tekemisen taitoja opit työtä tehdessäsi?

39. Miten tutkimusaiheen valitseminen vaikutti työn suorittamiseen tai oppimiseesi?

40. Miten kuvailisit työn merkitystä tulevaisuutesi kannalta?

41. Haluaisitko oppitunneille lisää vastaavanlaisia töitä? Kyllä En

Perustelut:

42. Muita kommentteja:

Kiitos!

Liite 9 – Toinen versio tutkimuslomakkeesta opiskelijoille

TUTKIMUSLOMAKE – SPEKTROFOTOMETRIAA TUTKIMUKSELLISESTI

Sukupuoli ☐ Nainen ☐ Mies

Olen opiskellut kemiaa yhteensä _____ kurssia ennen tätä kurssia.

Aion kirjoittaa kemian yo-kirjoituksissa ☐ Kyllä ☐ Ei

Osallistuin oppitunneista ☐ Yhdelle ☐ Kahdelle ☐ Kaikille kolmelle

Arvioi omien tietojesi, taitojesi ja asenteidesi kehittymistä spektrofotometriaan tutustumisen aikana:

1. Opin työn suorittamisen aikana tietoja...
2. Opin soveltamaan...
3. Opin päättämään....
4. Opin mittaamaan...
5. Esittämällä kysymyksiä opin...
6. Työn perusteella osaisin ennustaa...
7. Oman tutkimuksen suunnitteleminen oli...
8. Osasin mitata spektrofotometrillä...

9. Työn alussa ”kysy mitä haluaisit tietää spektrofotometriasta” kysymyksen pohtiminen auttoi...
10. Työohjeet ja verkkomateriaali vaikuttivat....
11. Kehittäisin työohjeita ja verkkomateriaalia...
12. Opettajan ja muiden oppilaiden kanssa keskustelu auttoi minua...
13. Valitsemalla oman tutkittavan aineen sain...
14. Legoista rakennetusta spektrofotometrillä opin...
15. Tuntemattoman aineen konsentraation määrittämistä varten piti...
16. Osasin tehdä taulukkolaskennan avulla...
17. Taulukoidusta tiedosta pystyin analysoimaan...
18. Kuvaajan avulla osasin selvittää...
19. Osaisin tämän jälkeen tehdä itse...
20. Haluaisin vielä tietää ja/tai tutkia...
21. Ymmärsin, että spektrofotometriä esiintyy arkielämässäni...

22. Koen, että työstä oli apua tulevaisuudessani, koska...

23. Kokonaisuudessaan työn suorittamisesta jäi...

24. Erityisesti pidin...

25. Muuta mieleeni tullutta...

Hei!

KIITOS tutkimukseeni osallistumisesta!

Opite lyhyeen aikaan nähden todella paljon erilaisia tietoja ja taitoja. Voitte hyvillä mielin olla itsestänne ylpeitä! Työskentelyäsi spektrofotometrinen tutkimusten parissa on ollut ilo seurata! Tsemppiä tuleviin opintoihin!

Terveisin: Nelly

Liite 10 – Toinen versio tutkimuslomakkeesta opettajalle

TUTKIMUSLOMAKE – SPEKTROFOTOMETRIAA TUTKIMUKSELLISESTI

Sukupuoli ☐ Nainen ☐ Mies

Opettajankokemus _____ vuotta

Tausta/muu osaaminen _____

Arvioi opiskelijoiden tietojen ja taitojen, sekä asenteiden kehittymistä spektrofotometriaan tutustumisen aikana:

1. Opiskelijat oppivat työn suorittamisen aikana tietoja...
2. Opiskelijat oppivat soveltamaan...
3. Opiskelijat oppivat pääättelemään....
4. Opiskelijat oppivat mittaamaan...
5. Opiskelijat esittivät tunnilla kysymyksiä ja he oppivat niistä...
6. Työn perusteella opiskelijat osaisivat ennustaa...
7. Opiskelijat suoriutuivat oman tutkimuksen suunnittelemisesta...
8. Opiskelijat osasivat mitata spektrofotometrillä...
9. Työn alussa ”kysy mitä haluaisit tietää spektrofotometriasta” kysymyksen pohtiminen auttoi opiskelijoita...

10. Opettajan ja muiden oppilaiden kanssa keskustelu auttoi opiskelijoita...
11. Valitsemalla oman tutkittavan aineen opiskelijoissa oli huomattavissa...
12. Legoista rakennetusta spektrofotometrillä opiskelijat...
13. Opiskelijat tunnistivat mitä muuttujia tuntemattoman aineen konsentraation määrittämistä varten piti määrittää...
14. Opiskelijat osasivat tehdä taulukkolaskennan avulla...
15. Taulukoidusta tiedosta opiskelijat pystyivät analysoimaan...
16. Kuvaajan avulla opiskelijat osasivat selvittää...
17. Opiskelijat osaisivat tämän jälkeen tehdä itse...
18. Arkielämän kytkökset tulivat opiskelijoille selviksi, koska...
19. Koen, että työstä oli apua opiskelijoille tulevaisuudessani, koska...
20. Kokonaisuudessaan työn suorittamisesta jäi minulle...
21. Kokonaisuudessaan opiskelijat vaikuttivat työn suorittamisesta...

22. Erityisesti pidin...

23. Opiskelijat näyttivät pitävän erityisesti...

24. Työohjeet ja verkkomateriaali vaikuttivat....

25. Kehittäisin työohjeita ja verkkomateriaalia...

26. Muuta mieleeni tullutta...

KIITOS tutkimukseeni osallistumisesta!

Liite 11 – Opiskelijoiden esittämät kysymykset ”kysy mitä haluaisit tietää spektrifotometriasta” –tehtävässä. (Huomaa, kysytty tunnin alussa ennen tietoja spektrofotometriasta)

Mikä se on?

Mitä se on?

Mitä se on?

Mitä on spektrofotometria?

Mitä spektrofotometria tarkoittaa?

Mitä siinä tutkitaan? ☺

Millaisia aineita voi tutkia?

Tutkitaanko IR- ja näkyvän valon spektrometreillä täysin samoja asioita?

Voidaanko käyttää myös esim. röntgen- tai gammasäteilyä?

Käytännön sovellukset?

Mihin spektrofotometriaa käytetään?

Öö, no mitä sil tutkitaan ja miten sitä hyödynnetään esim. teollisuudessa ja mihin sitä voi soveltaa?

Onko jotain teollista käyttöä spektrofotometreille? Muutakin kuin tutkimuskäyttöön?

Mitä lääketieteellisiä sovelluksia sillä on?

Kuinka tarkka spektrofotometria on?

TUNTISUUNNITELMA – SPEKTROFOTOMETRIAA TUTKIMUKSELLISESTI

Suunnattu tutkimisen taitoja edistäväksi oppimiskokonaisuudeksi lukion kemian oppitunneille. Ohjattu tutkimus on suunniteltu suoritettavaksi 3 x 80 min aikarajalla.

Tavoitteet oppimiskokonaisuudelle:

- Opiskelijat kehittävät omia tutkimisen taitojansa. Näistä erityisesti keskitytään tukemaan luonnontieteelliselle tutkimuksen tekemiselle tyypillistä sosiaalista vuorovaikutusta. Opiskelijan vaikutusmahdollisuuksia tutkimuksen suorittamiseen pyritään lisäämään tutkimusaiheiden valinnalla, kysymysten esittämisellä ja oman tutkimuksen suunnittelemisella.
- Opiskelijat tutustuvat spektrofotometriaan aineen rakenteen ja etenkin pitoisuuksien analyysimenetelmänä.
- Opiskelijat oppivat, mitä tarkoittaa valon absorboituminen ja miten värit syntyvät.

Aikataulukus:

1. OPPITUNTI:

- a. Tutustutaan spektrofotometriaan analyttisenä menetelmänä.
- b. Tutustutaan valon absorptioon värien absorptiospektrien kautta ja päätellään miten värit syntyvät.
- c. Kannustetaan opiskelijoita kysymysten esittämiseen ja sen harjoitteluun.
- d. Valitaan oma tutkimusaihe ja suunnitellaan oma tutkimus, joka toteutetaan seuraavalla tunnilla.

2. OPPITUNTI:

- a. Opiskelijat harjoittelevat oman tutkimuksen suorittamista pienryhmissä.
- b. Opiskelijat perehtyvät Spektrofotometrin rakenteeseen ja toimintaan lego-spektrofotometrin avulla.

3. OPPITUNTI

- a. Opiskelijat harjoittelevat Lambert-Beerin lain käyttämistä ja tietojenkäsittelytaitoja Excelin avulla.
- b. Opiskelijat arvioivat omia tutkimisen taitojansa.

1. OPPITUNTI

Tavoitteet:

- Opiskelijat tutustuvat spektrofotometriaan kemiallisena analyysimenetelmänä.
- Opiskelijat harjoittelevat kysymysten esittämistä spektrofotometriasta.
- Opiskelijat valitsevat oman tutkimusaiheen ja suunnittelevat tutkimuksen pienryhmissä.

Tarvikkeet:

- Spektrofotometri, esim. Vernierin SpectroVis ja siihen tietojenkäsittelyohjelma: LabQuest (käsikonsolille) tai Logger Pro (tietokoneelle).
- Kyvettejä
- Erivärisiä elintarvikevärejä
- Pieniä dekantterilaseja ja lasisauvoja värien sekoittamiseen
- Lisäksi Pinaatin absorptiospektrin mittaamiseen: (valinnainen)
 - o 1 tl jauhettua pakastepinaattia
 - o 10 ml etanolia
 - o 10 ml tislattua vettä

Aikataulutus:

10 min Tunnin aloitus. Opettaja esittää työn tavoitteet ja rakenteen oppilaille.

5 min Opiskelijat esittävät ennakkokysymyksiä spektrofotometriasta. Opettaja saa kysymysten avulla ennakkotietoa oppilaiden tiedoista ja taidoista. Kysymyksiä voidaan kerätä esim. post it -lappujen tai internetsovelluksen avulla.

Opettaja voi ohjata kysymysten esittämistä kysymällä oppilaista:

Mitä tiedät spektrofotometriasta?

Mitä haluaisit tietää spektrofotometriasta?

Opiskelijat esittävät todennäköisesti kysymyksiä:

Mitä on spektroskopia?

Mihin spektroskopia perustuu?

Miten spektrofotometri toimii?

Missä tai mihin spektrofotometriä/-aa käytetään?

Miten spektrofotometria on keksitty?

- 10 min Opettaja vastaa oppilaiden esittämiin kysymyksiin yleisellä tasolla ja johdattelee spektrofotometriaan spektroskopian historian kautta. Esityksen apuna voi olla esimerkiksi diaesitys. Esitys loppuu spektrofotometrian perusteiden eli sähkömagneettisen säteilyn, absorption ja emission yms. lyhyeen kuvaamiseen.
- 40 min Opiskelijat soveltavat tietojansa spektrofotometrian perusteista käytäntöön tutkimalla väriaineiden absorptiota ja emissiota. Opiskelijat pääsevät mittaamaan eriväristen liuosten spektrejä. Opiskelijat päättävät miten eri värit syntyvät. Opettaja voi tukea päättelyä esittämällä kysymyksiä minkä värisiä aallonpituuksia punainen liuos absorboi ja minkä värisiä se ei absorboi? Työn lopuksi voi mainita tai voidaan pohtia minkä taajuuksista valoa kasvit tarvitsevat yhteyttääkseen tai miten spektrejä voidaan käyttää apuna rikostutkimuksessa, esim. musteen vastaavuuden selvittämisessä. Ajan riittäessä voidaan ajaa myös esimerkiksi pinaatin absorptiospektri edellä kuvattujen pohdintojen tueksi.
- 10 min Mitä kaikkea voidaan tutkia spektrofotometriasta? Opettaja esittää muutaman spektroskopian sovelluskohteen diojen avulla. Sen jälkeen opettaja esittelee lyhyesti opiskelijoille tutkimusaiheeksi sopivia konteksteja, joista opiskelijat valitsevat mielenkiintoisimman. Opiskelijat jaetaan ryhmiin valitun työn perusteella.

Oppilasryhmillä testattuja tutkimusaiheita ovat: (verkkosivuilla esitetty muitakin ohjeita)

- Lääketieteellisiä sovelluksia (myös ruoan laadun tutkimus) - glukoosipitoisuuden määrittäminen
- Kuparin kierrättäminen – Kuparipitoisuuden määrittäminen
- Pesuaineet – Fosforipitoisuuden määrittäminen

Läksyksi: Suunnitelma tutkimuksen toteuttamisesta valmiina seuraavalle tunnille.

Tunnin lopetus (yht. 75 min)

2. OPPITUNTI

Tavoitteet:

- Opiskelijat harjoittelevat oman tutkimuksen suorittamista pienryhmissä.
- Opiskelijat perehtyvät Spektrofotometrin rakenteeseen ja toimintaan.

Tarvikkeet:

- Mittapulloja, pipettejä, koeputkia ja koeputkitelineitä
- Vertailuliuokset opiskelijoiden tutkimuskohteena olevista töistä
- Lego-spektrofotometrin tarvikkeet
- Tietokoneet tai lomake tuloksien kirjaamista varten

Aikataulutus:

- | | |
|--------|--|
| 10 min | Lyhyt aloitus. Missä mennään? (/onko läksyt tehty eli tutkimus suunniteltu? /ongelmia?) Opettaja kirjoittaa taululle opiskelijoiden ehdottamia tutkimuksen tekemisen vaiheita läksyn pohjalta tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää dioja. Kaikki tutkimukset liittyvät pitoisuuden määrittämiseen, joten niistä voidaan koostaa ”yhteinen runko” eritasoisten opiskelijoiden avuksi. |
| 40 min | Opiskelijat valmistelevat vertailuliuokset ja näytteet mittauksia varten. Opettajan tuen rooli tärkeä! |
| 10 min | Opiskelijat rakentavat oman spektrofotometrin led-lampuista ja lego-palikoista omissa tutkimusryhmissä näytteen valmistamisen jälkeen. Kuvalliset ohjeet löytyvät netistä. Opiskelijat pääättelevät tarvitsemansa LED-lampun ja detektorin värin. Opettaja seuraa ryhmien edistymistä ja auttaa tarvittaessa. |
| 15 min | Opiskelijat mittaavat vertailuliuosten ja näytteiden absorbanssiarvot jännitteinä Lego-spektrofotometrin avulla. Muistakaa mitata ja kirjata ylös myös Säteilyn alkuperäisen intensiteetin mukainen jännite. |

Tunnin lopetus (yht. 75 min)

3. OPPITUNTI

Tavoitteet:

- Opiskelijat harjoittelevat Lambert-Beerin lain käyttämistä ja tietojenkäsittelytaitoja Excelin avulla.
- Opiskelijat arvioivat omia tutkimisen taitojansa.

Tarvikkeet:

- Tietokoneet tutkimusten tulosten analysointia varten (ja/tai millimetripaperia)
- Tietokoneella taulukkolaskentaohjelma; Excel tai OpenOffice testattu oppilailla
- Itsearviointilomake tai muu vastaava omien tutkimisen taitoihin tähtäävä arviointitapa valmiina

Aikataulukus:

- | | |
|--------|---|
| 15 min | Opiskelijat harjoittelevat taulukkolaskentaohjelman automaattisten laskutoimintojen käyttöä. Opiskelijat taulukoivat ja laskevat mitatuista jännitteistä transmittanssit ja absorbanssit. Opettaja voi tarvittaessa näyttää yhteisesti aluksi miten erilaisia kaavoja syötetään taulukkolaskentaan. (Joko funktio -näppäimestä tai kirjoittamalla soluun = ja laskutoimitus.) |
| 15 min | Opiskelijat luovat taulukkonsa pohjalta kaavion, joka esittää mittaustuloksia pisteinä. Sen jälkeen kaavioon lisätään trendiviiva. Trendiviivaa muokataan alkamaan konsentraation arvosta nolla. (Absorbanssin tulisi olla nolla, kun konsentraatio nolla.) Viivalle määritetään myös korrelaatiokerroin R^2 kuvaamaan pisteiden osumista suoralle ja määritetään myös suoran yhtälö. |
| 20 min | Opiskelijat laskevat suoran yhtälön avulla näytteen konsentraation. Näytteen konsentraatiosta määritetään tutkimuskohteen konsentraatio. |
| 25 min | Opiskelijat arvioivat oppimiansa tietoja spektrofotometriasta ja kehittämiänsä tutkimisen taitoja. Tähän voi käyttää avuksi itsearviointilomaketta |

Mikäli aikaa jää, opiskelijat voivat harjoitella koordinaatiston käyttämistä ja kuvaajan määrittämistä millimetripaperille tai pohtia tutkimustulosten luotettavuutta.

Tunnin lopetus (yht. 75 min)

Glukoosipitoisuuden määrittäminen spektrofotometrillä

Benedictin reagenssilla voidaan määrittää [pelkistävien sokerien](#) eli tässä tapauksessa glukoosin pitoisuus liuoksessa. Kuumennettaessa Benedictin reagenssia ja glukoosi-liuosta sisältävää koeputkea Benedictin reagenssin sisältämä Cu(II) ioni pelkistyy punaiseksi Cu(I)-ioniksi. Cu(I)-ionit voidaan suodattaa liuoksesta pois ja jäljelle jääneestä sinisestä kupariliuoksesta voidaan selvittää liuoksen pitoisuus. Huomaa, että tällöin pienimmän glukoosikonsentraation absorbanssi on isoin, koska liuoksessa on silloin eniten pelkistymätöntä kuparia. Glukoosikonsentraation lisääntyessä kuparia pelkistyy yhä enemmän ja jäljelle jääneen kupari(II)-ionin konsentraatio pienenee. Eli absorbanssisuora onkin poikkeuksellisesti laskeva.

Benedictin reagenssin valmistus:

1. Punnitse sitruunahappoa 17,3 g ja natriumkarbonaattia 10 g. Liuota ne 80 ml tislattua vettä.
2. Punnitse kidevedellistä kuparisulfaattia 1,73 g ja liuota se 10 ml tislattua vettä.
3. Lisää kuparisulfaatti nopeasti sekoittaen sitruunahapon ja natriumkarbonaatin vesiliuokseen.
4. Laimenna mittapullossa 100 ml.

HUOM! Seoksen ei tulisi kuplia valmistettaessa. Huomaa myös, että joissakin valmiissa Benedictin reagensseissa käytetään kaliumtiosyanidia. Tämän tutkimus on parempi suorittaa ilman syanidia...

Tuntemattoman näytteen pitoisuutta verrataan 0,1 M, 0,2 M ja 0,5 M glukoosiliuoksiin. Liuosten valmistaminen:

1. 0,5M glukoosi-liuoksen valmistus: Punnitse 4,504 g glukoosia ja laimenna se mittapullossa tislattulla vedellä 50 ml:ksi.
2. 0,2 M glukoosi-liuoksen valmistus: Mittaa täyspipetillä 10 ml 0,5 M liuosta ja laimenna se 50 ml:ksi.
3. 0,1 M glukoosi-liuoksen valmistus: Mittaa täyspipetillä 5 ml 0,5 M liuosta ja laimenna se 50 ml:ksi.

Näytteiden ja vertailusarjan valmistaminen:

1. Merkitse koeputket huolellisesti esimerkiksi tunnuksin 0 M; 0,1 M; 0,2 M; 0,5 M ja näyte 1. (Mahdollisesti myös useampi näyte...)
2. Lisää jokaiseen koeputkeen 3 ml Benedictin reagenssia.
3. Lisää koeputkiin 10 pisaraa = 0,5 ml halutun konsentraation omaavaa liuosta tai näytettä.
4. Keitä koeputkia vesihauteessa noin 5 min.
5. Suodata liuokset suppilon ja suodatinpaperin avulla.
6. Kaada liuokset kyvetteihin ja mittaa absorbanssit/ jännitteet Lego-spektrofotometrillä.

Taulukoi tulokset valmista mallipohjaa hyödyntäen ja laske näytteen glukoosipitoisuus.

HUOM! Liuokset sisältävät kuparisulfaattia, joka on ympäristölle vaarallista ja ärsyttävää. Liuokset tulee kerätä talteen ja toimittaa kierrätettäväksi epäorgaanisen jätteen mukana.

Työohjeen lähde: <http://www.mystrica.com/Applications/Benedicts#Results>