

**Miten virheiden tekeminen vaikuttaa opiskelijoiden  
tilannekohtaiseen sitoutumiseen kemian  
laboratoriotöissä?**

Kemian opettaja  
pro gradu -tutkielma

Laatija:  
Reetta Kyynäräinen

10.8.2024  
Turku

Pro gradu -tutkielma

**Oppiaine:** Kemia

**Tekijä:** Reetta Kyyväräinen

**Otsikko:** Miten virheiden tekeminen vaikuttaa opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen kemian laboratoriotöissä?

**Ohjaajat:** Veli-Matti Vesterinen, Elisa Vilhunen ja Ari Lehtonen

**Sivumäärä:** 33 sivua

**Päivämäärä:** 10.8.2024

Lukuisat tieteelliset teoriat ovat rakentuneet yritys ja erehdys -menetelmällä. Jo tästä syystä on ilmeistä, että virheiden tekeminen kuuluu kiinteästi tieteen luonteeseen ja on keskeinen osa myös kemian oppimista. Tutkimustietoa virhetilanteista, saati niiden vaikutuksesta esimerkiksi opiskelijoiden motivaatioon tai sitoutumiseen on kuitenkin häviävän vähän. Tämä pro gradu -tutkimus tarttuu tähän aiheeseen, sillä tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten virheiden tekeminen vaikuttaa kemian yliopisto-opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen kemian laboratoriotöissä. Tilannekohtaista sitoutumista tarkastellaan tässä tutkielmassa optimaalisen oppimisen hetkien teorian näkökulmasta, jonka mukaan tilannekohtainen sitoutuminen koostuu kolmesta osatekijästä – opiskelijan kiinnostuksesta, tämän taitavuuden kokemuksesta sekä aktiviteetin haastavuudesta.

Tutkimuksen aineisto kerättiin 155 yliopisto-opiskelijalta kemian harjoitustyökurssin aikana käyttäen kokemusotantamenetelmää (engl. ecological momentary assessment, EMA). Menetelmän mukaisesti opiskelijat raportoivat hetkellisen kiinnostuksen, taitavuuden ja haastavuuden kokemuksensa sekä mahdollisesti tapahtuneet virheet eri harjoitustyöaktiiviteettien aikana. Tilannekohtaisia vastauksia kertyi yhteensä 1049. Virheen tekemisen vaikutusta tutkittiin käyttämällä niin yksitasoista kuin myös monitasoista rakenneyhtälömallinnusta (engl. single-/multilevel structural equation modelling), jotka huomioivat datan hierarkkisen luonteen. Opiskelijoiden tilannekohtaiset vastaukset ovat kytkeytyneitä opiskelijoihin yksilöinä, joten käytetty menetelmä mahdollistaa sekä yksilöiden että oppimishetkien ominaispiirteiden ja virheiden välisen yhteyden tarkastelun.

Tulosten perusteella oppimishetket, joissa opiskelijoiden tuli yhdistää teoriaa ja kokeellisuutta, ennustivat opiskelijoiden korkeaa tilannekohtaista sitoutumista. Näissä samoissa oppimishetkissä opiskelijat tekivät todennäköisemmin virheitä. Virheiden tekeminen taas vaikutti kaikkiin tilannekohtaisen sitoutumisen osatekijöihin. Laskennalliset virheet vahvistivat niitä negatiivisia vaikutuksia kiinnostukseen ja taitavuuteen, sekä positiivisia vaikutuksia haastavuuteen, jotka havaittiin jo tarkasteltaessa kaikkia virhetilanteita yhdessä. Kokeelliset virheet taas heikensivät näitä vaikutuksia.

Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin sitä, kuinka opettajan tai opiskelukaverin apu virhetilanteessa vaikutti opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen. Avun pyytäminen opettajalta tai opiskelukaverilta virheen tekemisen jälkeen oli yhteydessä korkeaan haastavuuden kokemukseen. Jos apua pyydettiin opettajalta, kokivat opiskelijat myös todennäköisemmin matalaa taitavuutta.

Tutkimustulosten mukaan harjoitustöiden matala haastavuuden taso on selkein yksittäinen este opiskelijoiden korkean tilannekohtaisen sitoutumisen kokemiselle. Tulokset tarjoavat myös suuntaviivoja asian ratkaisemiseksi, sillä tutkimuksessa havaittiin opiskelijoiden kokevan korkeampaa haastavuutta, sekä vahvempaa tilannekohtaista sitoutumista sellaisissa harjoitustyövaiheissa, joissa heidän tuli luoda yhteyksiä kokeellisen työn ja sen teoriataustan välille. Lisäksi tutkimustulokset antavat viitteitä siitä, että opiskelijoiden tilannekohtaisen sitoutumisen kehittymistä voitaisiin tukea kannustamalla opiskelijoita ratkaisemaan kohtaamiaan ongelmia ja virhetilanteita yhteistyössä muiden opiskelijoiden kanssa.

**Avainsanat:** tilannekohtainen sitoutuminen, laboratorio-opetus, kokeellinen työskentely, oppimismotivaatio, virheiden tekeminen

## **Sisällysluettelo**

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Teoriatausta</b>	<b>7</b>
2.1	Kemian laboratoriotyöskentely	7
2.2	Tilannekohtainen sitoutuminen	9
2.3	Tilannekohtainen sitoutuminen kemian laboratorioympäristössä	11
2.4	Virheiden tekeminen osana oppimista	12
<b>3</b>	<b>Menetelmät</b>	<b>17</b>
3.1	Osallistujat	17
3.2	Aineiston keruu	18
3.3	Analyysimenetelmät	19
<b>4</b>	<b>Tulokset</b>	<b>23</b>
4.1	Yksilötason ja hetkellisen tason muuttujien vaikutukset optimaalisen oppimisen hetkiin	23
4.2	Yksilötason ja hetkellisen tason muuttujien vaikutukset optimaalisen oppimisen osatekijöihin	25
4.3	Virhetyyppien ja avun vaikutus tilannekohtaiseen sitoutumiseen	27
<b>5</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Tutkimuksen reflektointi</b>	<b>32</b>
6.1	Tutkimuksen luotettavuus	32
6.2	Pohdinta	34
	<b>Lähteet</b>	<b>37</b>

# 1 Johdanto

Kemisti voisi kuvailla virheiden tekemistä vertauskuvallisesti katalyytiksi oivaltamiselle. On kuitenkin yhä hyvin epäselvää, mitä muita reaktiotuotteita virheiden tekeminen voikaan katalysoida. Tämä pro gradu -tutkielma tarkastelee virhetilanteita kemian opetuksen kontekstissa ainedidaktisesta sekä oppimispsykologisesta näkökulmasta. Tutkielma tarjoaa katsauksen siihen, miten virheiden tekeminen sekä muut oppimishetkien ominaispiirteet vaikuttavat yliopisto-opiskelijoiden sitoutumiseen kemian laboratoriossa tilannekohtaisella tasolla.

Vaikka oppimiseen sitoutuminen ja oppiminen eivät ole keskenään ekvivalentteja, liittyy sitoutumiseen monia oppimiseen epäsuorasti vaikuttavia tekijöitä. Sitoutumisen tason tiedetään vaikuttavan opiskelijan käyttämiin oppimisstrategioihin (Schmidt ym., 2018), akateemiseen menestykseen sekä opiskelijoiden käyttämiin itsesäätelykeinoihin (esim. Lee ym., 2014). Opiskelijoiden kokema sitoutumisen taso taas riippuu opiskeltavasta aiheesta ja jopa käsillä olevasta aktiviteetista (Inkinen ym., 2019; Renninger & Su, 2012; Vilhunen ym., 2022b). Näin ollen on olennaista ymmärtää opiskelijan sitoutumiseen vaikuttavia tekijöitä, sillä tukemalla ja vahvistamalla opiskelijoiden sitoutumista voidaan mahdollisesti myös tehostaa heidän oppimistaan.

Oppimiseen sitoutumista voidaan tarkastella joko pitkäaikaisesti ja yleisellä tasolla tai sitten oppimishetkispesifisti (esim. Salmela-Aro ym., 2016), ja näistä jälkimmäinen on tässä tutkielmassa käytettävä lähestymiskulma. Tutkielmaan on valittu optimaalisen oppimisen hetkien teoria (Schneider ym., 2016) mittaamaan opiskelijoiden tilannekohtaista sitoutumista. Tämän teorian mukaan sellaiset hetket, joissa opiskelija kokee samanaikaisesti korkeaa kiinnostusta, taitavuutta sekä haastavuutta, ovat optimaalisen oppimisen hetkiä. Jos opiskelijan tilannekohtainen sitoutuminen on toistuvasti korkealla tasolla, voi myös opiskelijan pitkäaikainen ja yleinen oppimismotivaation kasvaa (Hidi & Renninger, 2006), ja opiskelijan keskeisen tiedon omaksuminen voi tehostua merkittävästi (Tuominen-Soini & Salmela-Aro, 2014).

Kuten jo aivan luvun alussa mainittiin, sitoutumisen lisäksi tutkielman keskiössä on kemian laboratoriotyöskentelyyn olennaisesti kuuluva, mutta kovin heikosti tunnettu ilmiö, nimittäin virheiden tekeminen. Virheiden tekeminen on täysin erottamaton osa oppimista. Yleisesti hyväksytty näkemys on se, että mitä enemmän tekee, sitä enemmän myös tulee tehneeksi

virheitä. On hyvin olennaista, että opettajat oppisivat ymmärtämään virhetilanteiden roolin entistä syvällisemmin, koska silloin he osaisivat tukea opiskelijoita tarkoituksenmukaisella ja oppimista edistävällä tavalla myös näissä tärkeissä tilanteissa.

Virheiden tekeminen voi keskeyttää työskentelyn ja tulee täten hyvin todennäköisesti vaikuttaneeksi opiskelijan sitoutumiseen. Tutkimuksen teoreettisena viitekehyksenä toimiva optimaalisen oppimisen hetkien teoria onkin johdettu alun perin flow-teoriasta, joten myös se pohjaa ajatukseen keskeytyksettömästä työskentelyflow'sta, syvästä tehtävään paneutumisesta. Virheiden tekeminen saattaa siis haitata tätä työskentelyn flow'ta, ja näin ollen se voi vaikuttaa sitoutumisen tasoon ja optimaalisen oppimisen kokemiseen. Tästä huolimatta virheiden vaikutusta tilannekohtaisella tasolla ei ole aiemmin juurikaan tutkittu.

Se virheistä kuitenkin tiedetään, että ne saavat opiskelijoissa aikaan erilaisia itsesäätelyn prosesseja, jotka voivat olla hyvin tai huonosti sopeutuvia (engl. *adaptive or maladaptive*). Näiden prosessien laatu riippuu esimerkiksi luokkahuoneessa tai muussa oppimisympäristössä vallitsevasta virheiden tekemisen ilmapiiristä (engl. *error climate*) sekä opiskelijoiden oppimisorientaatioista. (Tulis ym., 2016; Soncini ym., 2022). Prosessin laatu taas vaikuttaa esimerkiksi siihen, kuinka opiskelija tulee oppineeksi virheestä ja säilyttäneeksi motivaationsa.

Lisäksi aikaisempi tutkimus on luonut yhteyksiä niin opiskelijoiden sitoutumisen sekä itsesäätelytaitojen (Lee ym., 2014), kuin myös itsesäätelytaitojen ja opiskelijoiden adaptiivisten prosessien aktivoitumiseen virheiden satututtua (Tulis ym., 2016) välille. Näin ollen löytyy teoreettista tukea hypoteesille, että virheiden tekeminen sekä sitoutuminen voisivat olla yhteydessä myös toisiinsa, jolloin itsesäätelyprosessit toimisivat tämän vaikutuksen välittäjänä.

Tässä tutkielmassa virheitä lähestytäänkin nimenomaan tilannekohtaisina tapahtumina, jotka vaikuttavat opiskelijoiden sitoutumiseen. Tutkielman aineisto on kerätty käyttäen kokemusotantamenetelmää (engl. *ecological momentary assessment*, EMA), jonka avulla mitattiin opiskelijoiden erilaisten aktiviteettien aikaisia subjektiivisia kokemuksia kemian laboratoriossa. Osallistuneet opiskelijat vastasivat neljän harjoitustyön aikana kolmesti tai neljästi EMA-kyselyihin, jotka sisälsivät kysymyksiä optimaalisen oppimisen osatekijöistä (kiinnostus, taitavuus ja haastavuus), sekä virheiden tekemisestä. Mahdollisesti tapahtuneen virheen tausta pyrittiin selvittämään EMA-kyselyssä väittämien avulla.

Aineiston analysointiin käytettiin sekä yksi- että kaksitasoista rakenneyhtälömallinnusta (engl. *single-/multilevel structural equation modelling*, SEM/MSEM). Menetelmien avulla luotiin malleja, jotka kuvailevat tilannekohtaisten taustamuuttujien, kuten virheiden tekemisen ja yksilöllisten taustamuuttujien, kuten opiskelijoiden osaamisen, sekä tilannekohtaisen sitoutumisen välisiä yhteyksiä. Tutkielmassa pyrittiin selvittämään, millä tavalla virheiden tekeminen, sekä erilaiset virhetilanteet vaikuttavat yliopisto-opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen.

Tulis (2018; 2016) on tutkimuksissaan ehdottanut, että virheiden tekemisen vaikutukset ovat seurausta nimenomaan käsillä olevasta virhetilanteesta, eikä ainoastaan esimerkiksi kouluaineesta, oppimisympäristön virheiden tekemisen ilmapiiristä tai opiskelijoiden tavoiteorientaatioista. Tässä tutkielmassa tartutaan Tulisin ehdotuksen mukaisesti kemian laboratoriossa tapahtuviin virheisiin tilannekohtaisesti hyödyntäen kokemusotantamenetelmää. Tässä tutkielmassa tilannekohtaisen sitoutuminen tarkoittaa optimaalisen oppimisen hetkiä sekä niiden osatekijöitä.

Tässä pro gradu -tutkielmassa etsitään vastausta seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten sukupuoli, pääaine sekä opintomenestys vaikuttavat opiskelijoiden todennäköisyyteen tehdä virheitä, sekä heidän tilannekohtaiseen sitoutumiseensa?
2. Miten kokeellisuuden ja teorian yhdistäminen sekä virheiden tekeminen vaikuttavat opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen?
3. Miten virheen tyyppi sekä virheiden ratkaisemiseksi saatu apu vaikuttavat opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen?

Tutkimuksessa tarkasteltavat ilmiöt, laboratoriotyöskentely, tilannekohtainen sitoutuminen sekä virheiden tekeminen esitellään tutkielman luvussa 2 omina alalukuinaan. Tämän jälkeen luvussa 3 esitellään tutkimuksen osallistujat, aineiston keruu sekä analyysimenetelmät. Menetelmistä siirrytään tutkimuksen tuloksiin, jotka on esitetty tutkimuskysymyskohtaisesti tiiviissä muodossa luvussa 4, jonka jälkeen luvussa 5 käsitellään laajemmalti tulosten pohjalta tehtyjä päätelmiä. Tutkielma päättyy luvussa 6 esitettävään tutkimuksen reflektointiin, joka on jaettu tutkimuksen luotettavuutta käsittelevään osaan, sekä tutkimustulosten pohjalta tehtävään pohdintaan.

## 2 Teoriatausta

Tutkielman keskiössä ovat sekä oppimiseen sitoutuminen että virheiden tekeminen. Kumpaakin aihetta on tutkittu aiemmin jonkin verran, mutta sitoutumisen ja virheiden tekemisen välinen yhteys on kuitenkin edelleen hyvin koskematon tutkimusaihio. Tarkastelu tehdään kemian laboratorioympäristön kontekstissa, joten alaluku 2.1 esittelee kemian kokeellisen työskentelyn keskeisiä teemoja. Alaluvussa 2.2 esitellään teoriataustaa tilannekohtaiselle sitoutumiselle, jonka jälkeen alaluku 2.3 tarjoaa tarkemman katsauksen aiempiin tutkimuksiin, joissa on tarkasteltu sitoutumisesta nimenomaan kemian laboratorioympäristössä. Alaluku 2.4 taas taustoittaa virheiden tekemistä osana oppimista. Tässä alaluvussa esitellään myös virheiden tekemiseen liittyvät keskeisiä käsitteitä, kuten virheiden tekemisen ilmapiiri.

### 2.1 Kemian laboratoriotyöskentely

Laborioryöskentely on keskeinen, ja jopa hyvin itsestään selvänä pidetty osa kemian yliopisto-opetusta. Alun perin laboratorio-opetus tuotiin osaksi kemian yliopistokoulutusta, sillä äkkiä kehittynyt teollisuusyhteiskunta tarvitsi lisää osaavia rivityöntekijöitä (Morrell, 1969). Vaikka yhteiskunnan ja teollisuuden tarpeet ovat vuosien saatossa muuttuneet, ei kemian laboratorio-opetuksen rooli yliopistoissa ole hiipunut mihinkään.

Nykyään kokeellisen työskentelyn opetusta perustellaan tyypillisesti opiskelijoiden käytännöllisten taitojen (esim. turvallinen työskentely, menetelmien hallinta) vahvistamisella, siirrettävien taitojen (esim. ryhmätyöskentelytaidot, ajanhallinta) kehittämällä sekä intellektuaalisella stimuloinnilla (esim. Carnduff & Reid, 2003). Opetuksen tavoitteiden tarkoituksenmukaistamista, uudelleen harkitsemista, tehostamista ja opiskelijoiden nähtäväksi esille nostamista on kuitenkin yhä ehdotettu vahvistamaan kemian laboratoriokurssien hyötyjä oppimiselle (Reid & Shah, 2007).

Useat tutkimukset esittävät kritiikkiä edelleen tänä päivänä laajalti harjoitustyökurseilla esiintyvää työhajeisen reseptikirjamaista luonnetta kohtaan (esim. Reid & Shah, 2007; Sadeh & Zion, 2009), perustellen sitä sillä, ettei kyseinen työskentelyn malli tue opiskelijoiden oman päättelyn, havaintojen tekemisen ja suunnittelutaitojen kehittymistä tai laboratorioryöskentelyn prosessimaisuuden omaksumista. Tämä nostaa myös esiin harjoitustöihin liittyvän ongelman siitä, että oikean lopputuloksen saavuttaminen ylikorostuu,

ja täten työskentelyn ja oppimisen prosessi jää sivuseikaksi. Tämän seurauksena opiskelijat saattavat tavoitella ainoastaan oikeaa vastausta ja virheiden välttämistä.

Kemian oppimisesta omintakeista tekee sen sisältötiedon monitasoinen luonne. Johnstonen (1991) kemian kolmitasomalli, jonka mukaan kemia koostuu mikroskooppisesta, makroskooppisesta ja symbolisesta tasosta, näkyy myös kemian laboratorio-opetuksessa keskeisesti. Harjoitustyöt tarjoavat mahdollisuuden tuoda nämä kolme tasoa yhteen, ja sitoa ne opiskelijalle loogiseksi kokonaisuudeksi (Milenković ym., 2014). Kun opiskelija yhdistää kemian harjoitustöitä tehdessään kemian teoreettisen tiedon käytännölliseen tietoon, tulee tämä sitoneeksi kemian kolme tasoa toisiinsa. Käytännön tämä voisi tapahtua esimerkiksi tilanteessa, jossa opiskelija kirjoittaa titrauksen reaktioyhtälöä laboratoriopäiväkirjaansa, pohtien sitä, miten aineet reagoivat molekyyllitasolla. Tämänlaisen kemian mikroskooppisen, makroskooppisen ja symbolisen tason yhtenäistävän loogisen kokonaisuuden muodostaminen edistää opiskelijoiden oppimista sekä laskee oppimisprosessin kognitiivista kuormitusta (Milenković ym., 2014).

Tämä tutkielma keskittyy tarkastelemaan virheiden tekemistä osana kemian laboratoriotyöskentelyä, ja Johnstonen malli voidaan liittää myös tähän kontekstiin. Voidaan esimerkiksi pitää todennäköisenä, että mikäli opiskelija tekee kokeellisen virheen laboratoriossa, tulee hän todennäköisesti kohdanneeksi näiden tasojen välisen ristiriidan, sillä makroskooppiset havainnot eivät ole linjassa teoreettisesti todellisen symbolisen tason kanssa. Jos taas makroskooppiset havainnot tukevat virheellisesti symbolista tasoa, voi virhe jäädä opiskelijalta huomaamatta. Käytännössä tämänlainen tilanne voisi tulla vastaan, jos opiskelija olisi esimerkiksi laskenut puskuriliuoksen valmistukseen tarvittavien kemikaalien määrät, ja niitä vastaavan liuoksen pH-arvon, mutta todellisuudessa pH-mittari näyttäisi jotain muuta. Koska tällöin makroskooppinen havainto sekä symbolinen, teoreettinen arvo olisivat ristiriidassa, huomaisi opiskelija tehneensä jonkin virheen. Jos taas pH-mittarin arvo näyttäisi teoreettista arvoa, vaikka puskuriliuoksen valmistuksessa jokin olisikin mennyt pieleen, saattaisi virhe jäädä huomaamatta.

Mikäli opiskelija huomaa tehneensä virheen, on hänen prosessoitava tämä tapahtunut virhe päästäkseen siitä yli. Prosessoinnin yhteydessä opiskelijan on käsitettävä, että kemian kolmen tason muodostama looginen kokonaisuus on ympäröivässä, havaittavassa todellisuudessa yhä voimassa, ja että ristiriitainen tulos on todennäköisesti seurausta jostakin työskentelyssä tapahtuneesta virheestä. Virheen käsittely edellyttää opiskelijalta siis kognitiivista



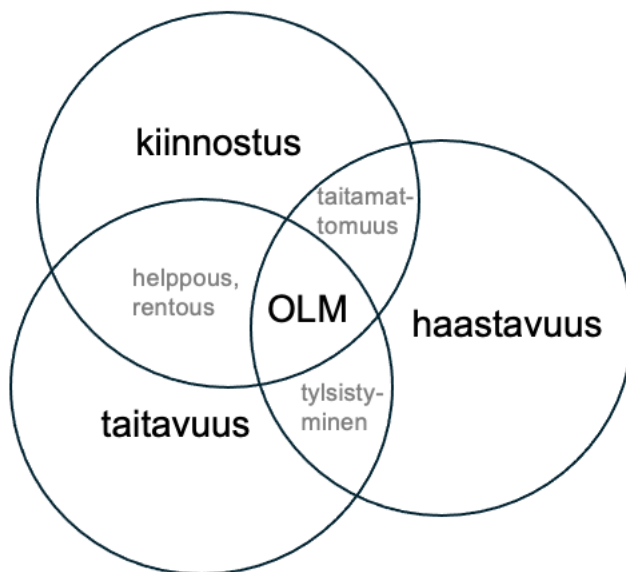
vaivannäköä, joka mahdollistaa uuden tiedon oivaltamisen ja tuo lähes väistämättä kemian kolme tasoa yhteen.

## 2.2 Tilannekohtainen sitoutuminen

Oppiminen on monimutkainen prosessi, ja yksi tapa käsitellä sen monimutkaisuutta on tunnistaa oppimisen tilannekohtainen luonne. Eräs tapa tutkia oppimista on tutkia esimerkiksi opiskelijoiden oppimiseen sitoutumista (Carini ym., 2006; Schneider ym., 2016). Oppimiseen sitoutuminen voi olla yleistä ja pitkäaikaista, tai sitten oppimishetkeen liittyvää (esim. Salmela-Aro ym., 2016; Upadyaya ym., 2021). Sitoutumisen on havaittu vaihtelevan hyvin voimakkaasti oppiaineen sisällä tilanteesta toiseen, ja tutkimuksen nykyaikainen painotus onkin nimenomaan tässä tilannekohtaisessa lähestymistavassa (Salmela-Aro ym., 2016; Schneider ym., 2016; Schmidt ym., 2018; Salmela-Aro ym., 2021; Upadyaya ym., 2021).

Tässä tutkielmassa tilannekohtaista sitoutumista tarkastellaan Schneiderin ja kollegoiden (2016) muotoilun mukaisesti. Tämä muotoilu pohjaa flow-teoriaan (Csikszentmihalyi, 2000; Schmidt, 2010), ja tilannekohtaiseen kiinnostukseen (Krapp & Prenzel, 2011). Schneiderin ja kollegoiden (2016) muotoilun mukaan korkea tilannekohtainen sitoutuminen koostuu hetkistä, joissa opiskelijat ovat samanaikaisesti kiinnostuneita käsillä olevasta aktiviteetista, tuntevat itsensä siinä taitaviksi sekä kokevat aktiviteetin haastavaksi. Näitä hetkiä kutsutaan optimaalisen oppimisen hetkiksi (engl. *optimal learning moments*, OLM). Kaaviossa 1 on esitetty optimaalisen oppimisen osatekijöiden, kiinnostuksen, taitavuuden ja haastavuuden muodostamat yhdistelmät.

Upadyaya kollegoineen (2021) tutki tilannekohtaisen sitoutumisen vaihtelua optimaalisen oppimisen osatekijöiden, kiinnostuksen, taitavuuden ja haastavuuden suhteen käyttäen latenttia profiilianalyysiä. Tämä analyysimenetelmä ryhmittelee opiskelijoiden sitoutumisen osatekijöiden hetkelliset arvot erilaisiin sitoutuneisuusprofiileihin. Heidän tutkimustulostensa mukaan opiskelijat kokevat oppitunneilla tyypillisimmin korkean kiinnostuksen ja taitavuuden, sekä matalan haastavuuden yhdistelmää. Tällöin opiskelijat eivät ole vahvasti sitoutuneita, sillä oppitunnin aktiviteettien haastavuuden taso on liian matala.



**Kaavio 1.** Optimaalisen oppimisen hetkien (OLM) teoriaa kuvaava Venn-diagrammi. Leikkausten koot pohjautuvat Upadyayan ja kollegoiden (2021) tuloksiin.

Optimaalisen oppimisen hetkien aikana opiskelijat paneutuvat oppimiseen ideaalisella tavalla. Hetket edistävät opiskelijoiden keskeisen tiedon omaksumista ja opiskelijoiden omien oppimistavoitteiden asettamista (Salmela-Aro & Upadyaya, 2022). Kemiassa, ja luonnontieteissä ylipäätään, on hyvin tyypillisistä, ettei oppiminen ole täysin lineaarista, vaan se tapahtuu ahaa-elämysten aikana tapahtuvina harppauksina ymmärryksessä. Ahaa-elämysten aikana opiskelijat ovat hyvin vastaanottavaisia oppimista kohtaan, ja on viitteitä siitä, että juuri tämänlaiset hetket olisivat optimaalisen oppimisen hetkiä (Schneider ym., 2016).

Schneiderin ja kollegoiden (2016) muotoilu tilannekohtaiselle sitoutumiselle on erityinen siitä, että se yhdistää niin positiivista kuin negatiivista psykologiaa. Muotoilun mukaan optimaalinen oppiminen vaatii kiinnostuksen ja taitavuuden kokemuksen lisäksi myös riittävän korkeaa haastavuutta, ja siten edellyttää työntekoa ja jopa epäonnistumisia. Tehtävien ja aktiviteettien on oltava riittävän haasteellisia, ja oppimisprosessiin kuuluu onnistumisten ja hyvinvoinnin lisäksi myös kohtuullinen määrä myös stressiä sekä ahdistusta (Tuominen-Soini & Salmela-Aro, 2014; Schneider ym., 2016; Vilhunen ym., 2022a).

Erityistä tilannekohtaisessa sitoutumisessa on se, että kun opiskelija kokee sitä säännöllisesti korkealla tasolla, edistää se myös tämän pitkäaikaista motivaatiota ja koulutyöhön sitoutumista (Hidi & Renninger, 2006). Tilannekohtainen sitoutuminen on seurausta

opiskelijan sekä oppimisympäristön vuorovaikutuksesta ja se riippuu kontekstista sekä meneillään olevasta aktiviteetista (Renninger & Su, 2012; Inkinen ym., 2019). Kiinnostavaa tilannekohtaisessa sitoutumisessa on myös se, että optimaalisen oppimisen kokemusten ja opiskelijan taustan välillä ei ole havaittu olevan selkeää yhteyttä, toisin kuin pitkäaikaisen motivaation, kiinnostuksen ja sitoutumisen kohdalla on (esim. Hidi & Renninger, 2006; Schnitzler ym., 2021).

Toisen tunnetun motivaatioteorian, odotusarvoteorian suuntaisesti on myös havaittu, että opiskelijoiden käsitykset oppimishetken hyödyllisyydestä ja tärkeydestä heijastuvat heidän sitoutumiseensa (Eccles & Wigfield, 2020; Salmela-Aro ym., 2021; Upadyaya ym., 2021). Odotusarvoteoria pohjaa ajatukseen siitä, että opiskelijoiden odotukset onnistumisesta sekä käsitykset opiskeltavan sisällön hyödyllisyydestä ja tärkeydestä vaikuttavat heidän oppimismotivaatioonsa. Optimaalisen oppimisen teoriaa tukee kuitenkin aiempi tutkimustulos siitä, että sellaiset interventiot, jotka ohjaavat opiskelijoita kohtaamaan haasteita, vähentävät näiden hyödyllisyys- ja tärkeysarvojen merkitystä suhteessa opiskelijoiden sitoutumiseen (Upadyaya ym., 2021).

### **2.3 Tilannekohtainen sitoutuminen kemian laboratorioympäristössä**

Koska optimaalisen oppimisen hetket ovat tilannekohtaisia, voivat erilaisten aktiviteettien aiheuttamat erilaiset tilanteet stimuloida opiskelijoiden oppimiseen sitoutumista eri tavoin. Inkinen ja kollegat (2019) tutkivat optimaalisen oppimisen hetkien ilmenemistä erilaisten opetuksellisten aktiviteettien yhteydessä lukiokoulutuksessa niin Suomessa kuin Yhdysvalloissa käyttämällä tämän tutkielman tavoin kokemusotantamenetelmää. Tutkimuksen kyselyissä selvitettiin meneillään oleva aktiviteetti, sekä opiskelijoiden kokemukset kiinnostuksesta, taitavuudesta ja haastavuudesta. Tulokset analysoitiin kolmitasoista hierarkkista logistista regressiomallinnusta, jossa tarkasteltavat tasot olivat hetkellinen taso, yksilötaso ja luokkataso.

Suomessa 20,7 % ja Yhdysvalloissa 15,1 % laboratoriotyöskentelyyn käytetyistä oppimishetkistä oli optimaalisen oppimisen hetkiä, ja näin ollen opiskelijat olivat korkeasti tilannekohtaisesti sitoutuneita oppimiseen. Tutkimuksessa ilmeni, että kummankin valtion kohdalla opiskelijoiden raportoima haastavuuden kokemus laboratoriotyöskentelyn osalta oli hyvin alhainen muihin aktiviteettityyppeihin verrattuna. Haastavuuden taso jäi kuitenkin kaikissa muissakin aktiviteettityypeissä kiinnostuksen ja taitavuuden tasoa alemmaksi.

Atabek-Yigit ja Senoz (2023) tutkivat optimaalista oppimista yliopiston kemian harjoitustyökurssilla, samankaltaisessa ympäristössä tämän tutkimuksen kanssa. Turkissa toteutetun tutkimuksen aineisto kerättiin myös kokemusotantamenetelmällä, mutta se yhdistettiin haastatteluaineistoon ja analysoitiin käyttämällä yksinkertaisia korrelaatioanalyysijä. Heidän tutkimuksessaan optimaalisen oppimisen hetkien ilmenemä oli hyvin alhainen, vain 2,5 % kaikista raportoiduista oppimishetkistä. Tutkimuksen tulokset ovat linjassa Inkisen ja kollegoiden (2019) tulosten kanssa, osoittaen sen, että opiskelijoiden raportoima alhainen haastavuuden kokemus oli tyypillisesti esteenä optimaalisen oppimisen kokemuksille. Vaikka optimaalisen oppimisen hetkien esiintyvyys jäi tutkimuksessa hyvin alhaiseksi, havaitsivat Atabek-Yigit ja Senoz kuitenkin positiivisen korrelaation laboratoriotyön teoriataustan käsittelyn, sekä optimaalisen oppimisen välillä. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin positiivinen korrelaatio optimaalisen oppimisen kokemusten sekä arvosanan välillä, ja optimaalisen oppimisen kokemusten ja työn hyödyllisyysarvon tunnistamisen välillä.

Laboratoriotyöskentely koostuu useista erilaisista elementeistä, joita ovat esimerkiksi täysin kokeelliset osat, sekä teoriaa ja kokeellisuutta yhdistävät osat, kuten laskujen suorittaminen ja tulosten analysoiminen. Vilhusen ja kollegoiden (2021) tutkimuksen mukaan opiskelijoiden episteemiset tunteet vaihtelevat näissä eri laboratoriotyöskentelyn osissa siten, että laskennallisten osuuksien aikana opiskelijat kokevat enemmän ahdistuneisuutta, hämmennystä ja turhautumista. Tämä viittaa siihen, että näiden osien kognitiiviset vaatimukset ovat korkeammalla tasolla. Näin ollen voidaankin pitää perusteltuna, että myös tilannekohtaista sitoutumista tulisi tutkia nimenomaan suhteessa näihin erilaisiin laboratoriotyöskentelyn osiin.

## **2.4 Virheiden tekeminen osana oppimista**

Konstruktivistinen ja sosiokulttuurinen oppimisteoria ovat kasvatustieteellisen ajattelun ajankuvia. Näiden oppimisteorioiden mukaan opiskelijat ovat aktiivisia toimijoita, oppiminen tapahtuu vuorovaikutuksessa ympäristön ja oppimistilanteen kanssa ja tieto rakentuu konstruktivistisesti aiemmin hankitun tiedon päälle (Piaget, 1964; Leach & Scott, 2003).

Tämä oppimiskäsitys on linjassa tieteen luonteen (engl. *nature of science*) kanssa. Tieteelliset teoriat ja konseptit ovat historiallisesti rakentuneet yritystä ja erehdystä käyttäen, ja yhä nykypäivänä kemia on olennaisesti juuri tämänlainen kokeellinen luonnontiede. Näin ollen, virheiden tekeminen ja epäonnistumisten kohtaaminen ovat väistämättömiä osia niin tiedettä

kuin myös kaikkea luonnontieteiden oppimista. Tästä huolimatta, virheiden tekemisen vaikutuksia opiskelijaan sekä tämän ajatteluun, toimintaan ja motivaatioon on tutkittu hyvin vähän niin kemian opetuksen, kuin myös laajemmin tiedeopetuksen sekä kasvatopsykologian tieteenaloilla.

Opiskelijoiden kemian laboratoriossa tekemät virheet voivat olla esimerkiksi huolimattomuusvirheitä, tai taidon, tiedon tai ymmärryksen puutteesta aiheutuvia virheitä. Jälkimmäiset virheet voivat johtaa käsitteelliseen konfliktiin ja yhä käsitteelliseen muutokseen opiskelijoiden ajattelussa (kts. D’Mello ym., 2014; Merenluoto & Lehtinen, 2004; Chiu ym., 2019). Käsitteelliset konfliktit, joiden seurauksena opiskelijat voivat oivaltaa jotakin uutta, aiemman käsityksen kanssa ristiriitaista, nostavat pintaan tyypillisesti negatiivisia emootioita, huolimatta siitä, että oppimiseen ajatellaan yleensä liittyvän nimenomaan positiivisia emootioita (Chiu ym., 2019). Tulis ja Fulmer (2013) ehdottivat samansuuntaisesti tutkimuksessaan, ettei opiskelijan sitoutuneena pysyminen virheen tekemisen jälkeen riippuisikaan positiivisen affektin, eli tunteen tai mielialan kokemuksen, säilymisestä.

Huangfu kollegoineen (2023) tutkivat, minkälainen suhde kemian oppimisella ja opiskelijoiden uskomuksilla virheiden tekemisestä kohtaan on. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että positiivinen suhtautuminen virheiden tekemistä kohtaan vaikuttaa positiivisesti myös opiskelijoiden kemian oppimiseen. Tutkimustulos on linjassa konstruktivistisen, oppijan kognitiivista kehitystä keskeisenä pitävän oppimiskäsityksen kanssa (Piaget, 1964). Tutkijat kuitenkin huomauttavat, että tämä positiivinen virheistä oppiminen edellyttää oppijalta kognitiivisten sekä metakognitiivisten prosessien läpikäyntiä, eikä pelkät positiiviset uskomukset virheiden tekemistä kohtaan yksinään riitä (Huangfu ym., 2023). Opiskelijan on prosessoitava tapahtunutta virhettä, reflektoitava virheen aiheuttaneita vääriä ennakkokäsityksiä sekä pohdittava miten toimia jatkossa toisin (Van Lehn ym., 2003). Vaikka opiskelijan on itse käytävä prosessi läpi, voi opettaja voi tukea tätä omalla toiminnallaan.

Opiskelijoiden uskomuksia virheiden tekemisestä (engl. *error beliefs*) on tarkasteltu aiemmin suhteessa heidän akateemiseen menestykseensä, tavoiteorientaatioonsa sekä opettajan tapoihin käsitellä virhetilanteita (kts. Leighton ym., 2018; Tulis, 2013; Tulis & Fulmer, 2013; Soncini ym., 2022; Huangfu ym., 2023;). Tutkimukset on toteutettu pääosin validoiduista kyselypattereista rakennettujen sähköisten kyselylomakkeiden avulla, ja nämä kyselyt on yhdistetty tyypillisesti esimerkiksi opiskelijoiden arvosanatietoihin. Näiden tutkimusten

mukaan hallintasuuntainen (engl. *mastery oriented*) tavoiteorientaatio ja opettajan antama tuki ennustavat merkittävästi opiskelijoiden positiivista suhtautumista sekä adaptiivisia reaktioita virhetilanteissa. Samojen tekijöiden on myös ehdotettu edistävän oppimista (Huangfu ym., 2023; Tulis ym., 2018). Lisäksi vertaisten keskeinen vuorovaikutus ja huumori ovat tapoja, joiden avulla opiskelijat voivat säädellä virheistä ja epäonnistumisista kumpuavia negatiivisia emootioita laboratoriotyöskentelyn aikana (Lamminpää & Vesterinen, 2018).

Aiemman tutkimuksen perusteella on myös havaittu, että yksi virheistä oppimiseen vaikuttava tekijä on virheiden tekemisen ilmapiiri (engl. *error climate*) (Soncini, 2022). Virheiden tekemisen ilmapiirillä tarkoitetaan yleistä luokkahuoneessa vallitsevia ajattelu- ja toimintamalleja, jotka aktivoituvat virheiden tapahduttua. Virheiden tekemisen ilmapiiriin vaikuttavat kaikki oppimisympäristön toimijat, niin opettaja kuin myös opiskelijat.

Positiivinen virheiden tekemisen ilmapiiri on läsnä sellaisessa oppimisympäristössä, jossa virheiden tekeminen nähdään neutraalina, tai jopa positiivisena asiana, virheiden ymmärretään olevan erinomaisia mahdollisuuksia oppia uutta, eikä virheiden tekemiseen liity negatiivisia seurauksia.

Oppimisympäristön virheiden tekemisen ilmapiiriä, ja jopa oppimista, voitaisiin mahdollisesti edistää niin kutsutuilla virheidenhallintainterventioilla (engl. *error management treatment*) (Keith & Frese, 2008). Näissä interventioissa opiskelijoita muistutetaan aktiivisesti siitä, että virheet ovat täysin luonnollisia ja hyvä mahdollisuus oppia uutta. Lisäksi interventioiden on havaittu vahvistavan opiskelijoiden adaptiivisten reaktioiden esiintymistä sekä positiivista suhtautumista virheitä kohtaan (Kuhl, 2000; Soncini ym., 2022).

Virheidenhallintainterventioiden on havaittu olevan oppimisen ja suoriutumisen kannalta tehokkaita pidemmällä tarkasteluvälillä, vaikka yksittäisen oppitunnin aikainen suoritus saattaakin niiden seurauksena olla heikompi (Keith & Frese, 2008).

Virhehallintainterventioita toteutettaessa tulisi opettajan puhua virheistä yleisellä tasolla nimenomaan oppituntien alussa, eikä vasta jonkin virheen satuttua. Kun virhe on päässyt jo tapahtumaan, ovat opiskelijat herkemässä tilassa, ja he kaipaavat yksityiskohtaisempaa positiivista tukea virheeseen yleisemmän tason kommentoinnin sijaan. Esimerkkinä tästä yksityiskohtaisemmasta tukemisesta virheen jälkeen voisi olla se, että opettaja esittäisi positiivisen kommentin siitä, että oli hyvä, että juuri tämä ilmiö ja ennakkokäsitys nousi keskusteluun (Wan ym., 2023).

Kemian harjoitustyökurssilla virheidenhallintainterventiota voitaisiin toteuttaa esimerkiksi harjoitustyökertojen aluksi. Tällöin laboratorio-opettaja voisi muistuttaa opiskelijoita ennen harjoitustöiden suorittamista, että virheiden tekeminen on normaali osa oppimisprosessia ja jos virheitä sattuu tekemään, ovat ne oiva mahdollisuus uuden oppimiselle.

Huolimatta siitä, että opetus- ja koulutuslalla käsitetään virheiden tekemisen olevan tärkeä osa oppimista, eivät kaikki opiskelijat pidä virheiden tekemistä luonnollisena (Leighton ym., 2018). DeKrover and Towns (2015) tutkivat kemian yliopisto-opiskelijoiden oppimistavoitteita harjoitustyökurssilla käyttämällä videoaineistoa sekä puolistrukturoituja haastatteluja, ja he havaitsivat, että suurin osa opiskelijoista nimeää virheiden välttämisen ja oikean vastauksen löytämisen keskeiseksi oppimistavoitteekseen. Opiskelijat yhdistävät virheiden tekemisen negatiivisiin emootioihin, ja kertoivat niiden heikentävän heidän minäkuvaansa. Tutkimustulos on linjassa Chiun ja kollegoiden (2019) sekä Tulisin ja Fulmerin (2013) tutkimustulosten kanssa osoittaen, että virheiden tekeminen ja epävarmuuden kohtaaminen aktivoivat opiskelijoissa negatiivisiksi koettuja tunnetiloja. Näiden negatiivisten emootioiden esiin nouseminen voi tuntua ikävältä, mikä saattaa saada opiskelijat välttelemään näitä ikävältä tuntuja negatiivisia emootioita aktivoivia tapahtumia, eli tässä tapauksessa juuri laboratoriossa tapahtuvia virheitä.

Havainto korostaa tarvetta hyvälle virheiden tekemisen ilmapiirille laboratoriossa.

Opiskelijoita pitäisi kannustaa näkemään virheet ennemminkin erinomaisina mahdollisuuksina oppia uutta, kuin esteinä harjoitustyön valmiiksi saamiselle tai harjoitustyössä onnistumiselle. DeKrover ja Towns (2015) ehdottivat, että tekemällä yliopiston harjoitustyökurssille asettamat oppimistavoitteet opiskelijoille näkyvämmäksi, voitaisiin myös opiskelijat saada tavoittelemaan linjakkaammin näitä keskeisiä ja kenties oppimista tehokkaammin edistäviä tavoitteita esimerkiksi juuri virheiden välttämisen ja ajoissa laboratoriossa pois pääsemisen sijasta.

Keith ja Frese (2008) esittivät tutkimuksessaan, että virheiden tekeminen saattaisi keskeyttää työskentelyn flow'n. Tulkiten tätä huomiota flow-teoriasta kummunneen optimaalisen oppimisen teorian (Schneider ym., 2016) valossa, voitaisiin arvella, että virheiden tekeminen vaikuttaa negatiivisesti myös opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen. Aiemmin on kuitenkin todettu, että sellaiset opiskelijat, jotka osoittavat adaptiivista itsesääätelyä, positiivisia kognitiivisia ja affektiivisia reaktioita virheiden satuttua, pysyvät todennäköisemmin sitoutuneina oppimiseen (Kuhl, 2000; Käfer ym., 2019; Tulis ym., 2016;

Soncini ym, 2022). Tämänlaiset opiskelijat myös analysoivat virheitä syvällisemmin, ja sen seurauksena oppivat tehokkaammin (Käfer ym., 2019; Tulis ym., 2016). Virheiden tekemisen ja tilannekohtaisen sitoutumisen välinen yhteys on kuitenkin yhä hyvin vähän tutkittu, ja nimenomaan kemian laboratorio-opetuksen näkökulmasta vielä täysin koskematon aihe, mutta tämä pro gradu -tutkimus tarjoaa katsauksen juuri tähän ilmiöön.



### 3 Menetelmät

Tämän pro gradu -tutkielman tutkimus on toteutettu Turun yliopistossa. Tutkimuksen aineisto kerättiin vuoden 2023 syksyllä käyttäen kokemusotantamenetelmää (engl. *ecological momentary assessment*, EMA) neljän harjoitustyön aikana yliopisto-opiskelijoiden ensimmäisellä kemian harjoitustyökurssilla. Käytetty menetelmä perustuu siihen, että vastaaja raportoi useaan otteeseen subjektiivisia kokemuksiaan autenttisessa ympäristössä ja tilanteessa, jossa hän juuri sillä hetkellä on.

Tutkimusaineiston keruussa ja analysoinnissa on noudatettu Euroopan unionin yhteisiä tietosuojasetuksia, tietosuojasuojalakeja sekä Tutkimuseettisen neuvottelukunnan TENKin hyvää tieteellistä käytäntöä. Tutkimukseen osallistuminen ei asettanut osallistujia minkäänlaiseen vaaraan, eikä se aiheuttanut osallistujille merkittävää fyysistä tai emotionaalista stressiä.

Tämän luvun alaluvuissa 3.1 kuvaillaan lyhyesti tutkimuksen osallistujien taustoja, ja alaluvussa 3.2 esitellään aineiston keruuseen valittu menetelmä, sekä kuvaillaan EMA-kyselyiden sisältö. Alaluku 3.3 taas taustoittaa tutkimuksen menetelmällisiä ratkaisuita analyysien osalta. Lisäksi alaluvussa 3.3 pohjustetaan myöhemmin luvussa 4 tuloksina esitettävien mallien rakennetta sekä sopivuutta.

#### 3.1 Osallistujat

Tutkimuksen aineistonkeruu sijoittui yliopisto-opiskelijoiden ensimmäiselle kemian harjoitustyökurssille (Kemian harjoitustyöt I), joka on yhteinen, pakollinen opintojakso kaikille kemian, biokemian ja biotekniikan pääaineopiskelijoille, sekä kemian sivuaineopiskelijoille. Kurssi koostui seitsemästä laboratoriotyöstä, joita ennen opiskelijoiden tuli suorittaa tulevaan harjoitustyöhön liittyviä oppimistehtäviä sähköisessä oppimisympäristössä.

Kurssille osallistui kaiken kaikkiaan 178 opiskelijaa, ja heistä 155 osallistuivat vapaaehtoisesti tähän tutkimukseen. Jokainen osallistuja vastasi taustatietokyselyyn sähköisessä oppimisympäristössä. Taustatietokyselyn tarkoituksena oli selvittää osallistujien sukupuoli, pääaine sekä vuosikurssi. Tutkimuksen tietosuojalomake oli opiskelijoiden nähtävillä sähköisessä oppimisympäristössä taustatietokyselyn yhteydessä, jonka lisäksi opiskelijoita informoitiin etukäteen suullisesti osallistumisen vapaaehtoisuudesta,

tutkimuksesta, tutkimuksen tavoitteista sekä tietosuojasta. Opiskelijat antoivat tutkimusluvan taustatietokyselyyn vastatessaan.

Osallistujista 115 (74,2 %) identifioituivat naisiksi ja 36 (23,2 %) miehiksi. Suurin osa, tarkalleen ottaen 124 (80,0 %) osallistujaa olivat ensimmäisen vuoden opiskelijoita, kun taas 18 (11,3 %) olivat toisen vuoden opiskelijoita, ja loput 13 (8,7 %) olivat vähintään kolmannen vuoden opiskelijoita. Osallistujien pääaineet jakaantuivat seuraavasti: kemia 47 (30,3 %), biokemia 43 (27,7 %), bioteknologia 35 (22,5 %), fysiikka 8 (5,2 %), biologia 7 (4,5 %), matematiikka 6 (3,9 %) ja jokin muu 9 (5,8 %).

### 3.2 Aineiston keruu

Pro gradu -tutkimuksen aineiston keruu kattoi neljä harjoitustyötä. Osallistujat vastasivat kaiken kaikkiaan 13 EMA-kyselyyn näiden neljän harjoitustyökerran aikana, ja kokonaisuudessaan tilannekohtaisia vastauksia kertyi 1049. Vastausprosentti oli 52,1 %. Tutkimukseen kuuluneet harjoitustyöt liittyivät seuraaviin teemoihin: neste-nesteutto, pH-titraus, kompleksometrinen titraus ja puskuriliuokset.

EMA-kyselyitä käytettiin tilannekohtaisen sitoutumisen mittaamiseen sekä virheiden havaitsemiseen. Kokemusotantamenetelmään perustuu lyhyisiin, vastaajaa mahdollisimman vähän kuormittaviin kyselylomakkeisiin, jotka vastaajat täyttävät autenttisessa kokemusympäristössä, eli tässä yhteydessä kemian opetuslaboratoriossa. Kyselyihin raportoidaan vastaushetkellä vallitsevia, vastaajan omia subjektiivisia kokemuksia. Kokemukset voidaan myöhemmin yhdistää vastausajankohtaan, sekä sen ominaispiirteisiin, ja näin ollen tarkastella sitä, miten hetkelliset tekijät vaikuttavat saatuihin vastauksiin.

Kyseinen menetelmä sopi tähän tutkimukseen erinomaisesti, sillä se mahdollistaa tehokkaan ja hyvin tilannekohtaisen subjektiivisten kokemusten tutkimisen (Carson ym. 2010; Hektner ym., 2007; Salmela-Aro ym., 2016). Tämän lisäksi tilannekohtainen raportointi vähentää niin kutsuttua muistiharhaa, sillä vastaajan ei tarvitse reflektoida taaksepäin, vaan vastaus tapahtuu nimenomaan käsillä olevan hetken kokemuksiin perustuen (Mulligan, Schneider, & Wolfe, 2005; Kitterød & Lyngstad, 2005; Salmela-Aro ym., 2016).

Tässä tutkimuksessa EMA-kyselyiden linkit oli upotettu laboratoriotöiden työohjeisiin. Opiskelijat ohjattiin vastaamaan kyselyihin tietyissä laboratoriotyön vaiheissa. Kyselyitä oli kolme tai neljä kutakin työkertaa kohden. Koska EMA-kyselyt olivat synkronoitu

opiskelijoiden työssä etenemiseen, ei vastaaminen häirinnyt opiskelijoiden työskentelyn flow'ta, ja näin ollen vaikuttanut epätarkoituksenmukaisesti heidän sitoutumiseensa.

Kyselyt koostuivat optimaalisen oppimisen osatekijöitä, sekä virheiden tekemistä ja virhetyyppiä mittaavista kysymyksistä. Kyselyiden avulla pyrittiin selvittämään opiskelijoiden kiinnostuksen, taitavuuden ja haastavuuden kokemus, sekä se, oliko opiskelija huomannut tehneensä jonkin virheen edeltäneen aktiviteetin aikana. Kyselyn muotoilu noudatti Inkisen ja kollegoiden (2019) käyttämää muotoilua optimaalisen oppimisen osatekijöiden osalta. Opiskelijat raportoivat tilannekohtaisen kokemuksensa kiinnostuksesta, taitavuudesta sekä haastavuudesta 5-portaisella Likert-asteikolla. Virheen tekeminen selvitettiin kategorisella kysymyksellä: ”Huomasitko tehneesi jonkin virheen?”. Jos opiskelija vastasi tähän kyllä, tuli tämän valita virheeseen sopivat väittämät seuraavista: ”Virhe liittyi kokeelliseen työskentelyyn.” (eli *virhe, kokeellinen*), ”Virhe liittyi tulosten tulkintaan tai laskuihin.” (eli *virhe, laskennallinen*), ”Opettaja auttoi minua virheen ratkaisemisessa.” (eli *virhe, opettaja auttoi*), ”Opiskelukaveri auttoi minua virheen ratkaisemisessa.” (eli *virhe, opiskelukaveri auttoi*).

Lisäksi EMA-kyselyssä oli mukana virheväittämät ”Virhe johtui omasta huolimattomuudestani.” ja ”Virhe johtui puutteesta omissa tiedoissa tai taidoissani.”, mutta näitä väittämiä ei hyödynnetty tämän tutkimuksen analyyseissa. Nämä väittämät jätettiin pois johtuen siitä, että väittämän ” Virhe johtui puutteesta omissa tiedoissa tai taidoissani.” todettiin analyysejä tehdessä olevan hyvin päällekkäinen raportoitujen taitavuuden kokemusten kanssa, eikä näiden väittämien sisällyttäminen siten tuonut enää lisäarvoa tuloksiin.

### 3.3 Analyysimenetelmät

Tutkimusaineiston keräämisen ja kokoamisen jälkeen poistettiin kaikkien niiden vastaajien vastaukset, jotka eivät olleet antaneet tutkimuslupaa. Muilta osin aineisto pseudonymisoitiin muuttamalla vastaajien nimitiedot tunnistamattomiksi vastaajatunnuksiksi ja kaikki muut yksilöivät henkilötiedot poistettiin. Tutkimuksen analyysit tehtiin tälle pseudonymisoidulle aineistolle, josta vastaajia ei voitu enää suoraan yksilöidä.

Aineiston valmistelu analyysikuntoon alkoi optimaalisen oppimisen hetkien koodaamisella. Optimaalisen oppimisen hetket ovat teorian mukaisesti sellaisia oppimishetkiä, joissa opiskelijan kiinnostus aktiviteettia kohtuaan sekä tämän taitavuuden ja haastavuuden

kokemus saavat samanaikaisesti korkean arvon (Schneider ym., 2016). Tässä tutkimuksessa kunkin osatekijän keskimääräistä arvoa pidettiin kynnsarvona optimaaliselle oppimiselle. Näihin kynnsarvoihin päädyttiin, sillä osatekijöiden arvojen tulee olla *riittävän* korkeita. Keskiarvo kiinnostukselle oli 3,67, taitavuudelle 3,55 ja haastavuudelle 2,47. Käyttämällä näitä kynnsarvoina, koodattiin optimaalisen oppimisen hetkiksi sellaiset tilanteet, joissa opiskelijat raportoivat samanaikaisesti kiinnostukselle ja taitavuudelle arvon neljä tai viisi, sekä haastavuudelle kolme, neljä tai viisi. Optimaalisen oppimisen hetket muodostivat täten dikotomisien, latentin muuttujan. Dikotomisella muuttujalla tarkoitetaan muuttujaa, jolla on kaksi toisensa poissulkevaa arvoa, kyllä tai ei (1 tai 0). Latentti muuttuja on taas sellainen teoreettinen konstruktio, mutta jonka arvo on laskettu muiden mitattujen arvojen pohjalta.

Optimaalisen oppimisen hetkien lisäksi myös virheiden tekeminen sekä virheväittämät toimivat dikotomisina muuttujina. Työskentelyn vaihe koodattiin myös työohjeen pohjalta joko täysin kokeelliseksi tai kokeellisuutta ja teoriaa yhdistäväksi. Jälkimmäiset vaiheet sisälsivät esimerkiksi laskemista, havaintoihin perustuvien muutosten tekemistä tai tulosten analysointia.

Tutkimusta varten luotiin kuusi kategoriaa kuvaamaan opiskelijoiden osaamisen tasoa. Nämä kategoriat luotiin opiskelijoiden koko kurssin aikana keräämien oppimistehtävapisteen avulla. Osaamisen tasoa kuvaavia kategorioita käytettiin yksilötason taustamuuttujina. Kategoriat käytännössä kuvastivat opiskelijoiden teoreettista ymmärrystä harjoitustöihin keskeisesti liittyvien kemian aihepiirien osalta. Opiskelijat, jotka saivat oppimistehtävien pisteistä alle 33,3 % kuuluivat kategoriaan 0, alle 46,6 % kuuluivat kategoriaan 1, alle 60,0 % kuuluivat kategoriaan 2, alle 73,2 % kuuluivat kategoriaan 3, alle 86,6 % kuuluivat kategoriaan 4 ja yli 86,7 % kuuluivat kategoriaan 5. Kategorioita voitiin käyttää analyyseissä välimatka-asteikon muuttujina, sillä ne olivat normaalijakautuneita. Niiden normaalijakautuneisuus todettiin Kolmogorov-Smirnovin testillä ( $p < 0,001$ ). Muut tutkimuksessa käytetyt yksilötason taustamuuttujat, sukupuoli ja pääaine, olivat dikotomisii muuttujia.

Aineiston analyysiin käytettiin monitasoista rakenneyhtälömallinnusta (engl. *multilevel structural equation modelling*, MSEM), sillä se huomioi datan hierarkkisen luonteen. Yksilön sisäiset vastaukset ovat tyypillisesti samankaltaisempia kuin yksilöiden väliset vastaukset, siis tilannekohtaiset vastaukset ovat kytkeytyneitä (engl. *nested*) yksilöiden vastauksiin. Yksilön vastaajatunnus toimi siis klusterina kaikissa suoritetuissa analyyseissä. Sukupuoli, pääaine ja

osaamisen taso olivat yksilötason (between) ennustavia muuttujia, kun taas opiskelijoiden raportoimat virheet, virhetyypit sekä kokeellisuuden ja teorian yhdistäminen olivat hetkellisen tason (within) ennustavia muuttujia. Analyysit suoritettiin Mplus 8.6 (Muthén & Muthén, 1998–2017) ohjelmistoa käyttäen.

Tutkimuskysymyksiin pyrittiin vastaamaan neljän mallin avulla. Kaksi näistä malleista oli kaksitasoisia, ja toiset kaksi olivat yksitasoisia. Kaksitasoisissa malleissa oli tarkastelussa samanaikaisesti sekä yksilötasolla että hetkellisellä tasolla havaittavat vaikutukset, kun taas yksitasoiset mallit sisälsivät ainoastaan hetkellisen tason. Yksitasoiset mallit tarkastelivat tarkemmin virhetyypin sekä virheen ratkaisemiseksi hyödynnetyn avun vaikutuksia tilannekohtaiseen sitoutumiseen.

Jokainen malli rakennettiin, jotta voitaisiin tarkastella muuttujien välisiä yhteyksiä siihen valitun estimaatin avulla. Mitä suurempi estimaatin itseisarvo on, sitä voimakkaampi muuttujien välinen yhteys on kyseessä. Tulosten tilastollista merkitsevyyttä analysoitiin tarkastelemalla estimaatteja vastaavia p-arvoja. P-arvo kuvastaa sitä todennäköisyyttä, jolla kahden toisistaan riippuvan otoksen keskiarvojen poikkeama selittyy pelkästään otantavirheellä. Mikäli tuloksessa on alle 5 % virhe, eli p-arvo on pienempi kuin 0,05, puhutaan tilastollisesti melkein merkitsevästä tuloksesta. Jos taas p-arvo on alle 1 % eli 0,01, on tulos merkitsevä ja kun arvo on alle 0,1 %, eli 0,001, puhutaan tilastollisesti erittäin merkitsevästä tuloksesta (esim. Vidgen & Yasseri, 2016). Tulosten yhteydessä estimaateille on esitetty myös keskivirheet (engl. *standard error*, S.E.).

Kaksitasoisissa malleissa käytettiin painotetun pienimmän neliösumman keskiarvon varianssisäädettyä estimaattoria, eli WLSMV-estimaattoria (engl. *weighted least square mean and variance adjusted*) ja yksitasoisissa malleissa suurimman uskottavuuden estimaattoria vakaalle keskivirheelle, eli MLR-estimaattoria (engl. *maximum likelihood for robust standard error*) (kts. Muthén, 1994; Muthén ym., 1997). Jokaisen mallin sopivuutta arvioitiin käyttämällä useita sopivuusindeksejä (engl. *fit index*). Aiempien tutkimusten yhteenvedon mukaisesti (Schreiber ym., 2006), käytössä olevat välit hyväksyttävälle tuloksille ovat <0,06 RMSEA (*root mean square of approximation*) indeksille, >0,95 CFI (*comparative fit index*) indeksille ja <0,08 SRMR (*standard root mean square residual*) indeksille.

Ensimmäisessä mallissa analysoitiin sekä yksilö- että hetkellisen tason muuttujien vaikutuksia optimaalisen oppimisen kokemukseen. Kaksitasoinen lähestyminen oli tähän analyysiin sopiva, sillä luokkiensisäisen korrelaation (engl. *intraclass correlation*, ICC) arvo oli 0,102

virheiden tekemiselle ja 0,392 optimaalisen oppimisen hetkille. Monitasomallinnusta suositellaan, kun ICC on 0,100 tai sitä suurempi (Irimata & Wilson, 2018). Tämän mallin sopivuutta arvioitiin Mplus-ohjelmiston antamien sopivuusindeksien avulla (RMSEA=0,017; CFI=0,993; TLI=0,894; SRMR=0,000 (within); SRMR=0,075 (between);  $\chi^2=1,295$  (p=0,2552)).

Toinen malli luotiin tunnistamaan näiden yksilö- että hetkellisen tason muuttujien vaikutuksia optimaalisen oppimisen osatekijöihin. ICC-arvo oli 0,102 virheiden tekemiselle, 0,438 kiinnostukselle, 0,244 taitavuudelle ja 0,191 haastavuudelle, osoittaen jälleen kaksitasoisen mallinnuksen olevan tarkoituksenmukainen. Myös tämän mallin sopivuutta arvioitiin käyttäen samoja sopivuusindeksejä (RMSEA=0,000; CFI=1,000; TLI=1,000; SRMR=0,000 (within), SRMR=0,033 (between);  $\chi^2=0,778$  (p=0,8546)), viitaten täydelliseen mallin sopivuuteen.

Kolmas ja neljäs malli keskittyi virheväittämiin. Virheen tyyppi, eli se, oliko virhe kokeellinen vai laskennallinen, sekä virheen selvittämiseen käytetty apu opettajalta tai opiskelukaverilta toimi näissä malleissa moderaattorina virheen tekemisen vaikutukselle. Koska virheväittämien raportoidut määrät olivat suhteellisen pieniä verrattuna kaksitasoisissa malleissa käytettyjen muuttujien raportoituuihin määriin, suoritettiin nämä analyysit ainoastaan hetkellisellä tasolla. Kolmannessa analyysissä selvitettiin virheväittämien vaikutusta optimaalisen oppimisen kokemiseen. Tämä analyysi suoritettiin käyttäen logistista regressioanalyysiä, koska kaikki muuttujat olivat dikotomisia. Neljännessä mallissa, jonka avulla pyrittiin selvittämään virheväittämien vaikutuksia optimaalisen oppimisen osatekijöihin, oli mukana myös välimatka-asteikkoisia muuttujia, joten analyysi tehtiin lineaarisella regressiomallinnuksella. Koska kumpikaan malli ei sisältänyt latentteja muuttujia, ja residuaalien (mallin ennustaman arvon ja havaitun arvon välinen ero) annettiin varioida vapaasti, sopivuusindeksit viittasivat täydelliseen mallin sopivuuteen (RMSEA=0,000; CFI=1,000; TLI=1,000; SRMR=0,000).

## 4 Tulokset

Tutkielman seuraavat kaksi alalukua esittelevät analyysien tulokset siitä, miten yksilölliset ja hetkelliset muuttajat vaikuttavat opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen optimaalisen oppimisen hetkien avulla mitattuna. Näiden analyysien avulla pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin 1 ja 2. Tämän luvun viimeinen alaluku taas keskittyy erilaisten virhetyyppien ja virheiden ratkaisemiseen käytetyn avun vaikutusten selvittämiseen, ja alaluvussa pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen 3.

### 4.1 Yksilötason ja hetkellisen tason muuttujien vaikutukset optimaalisen oppimisen hetkiin

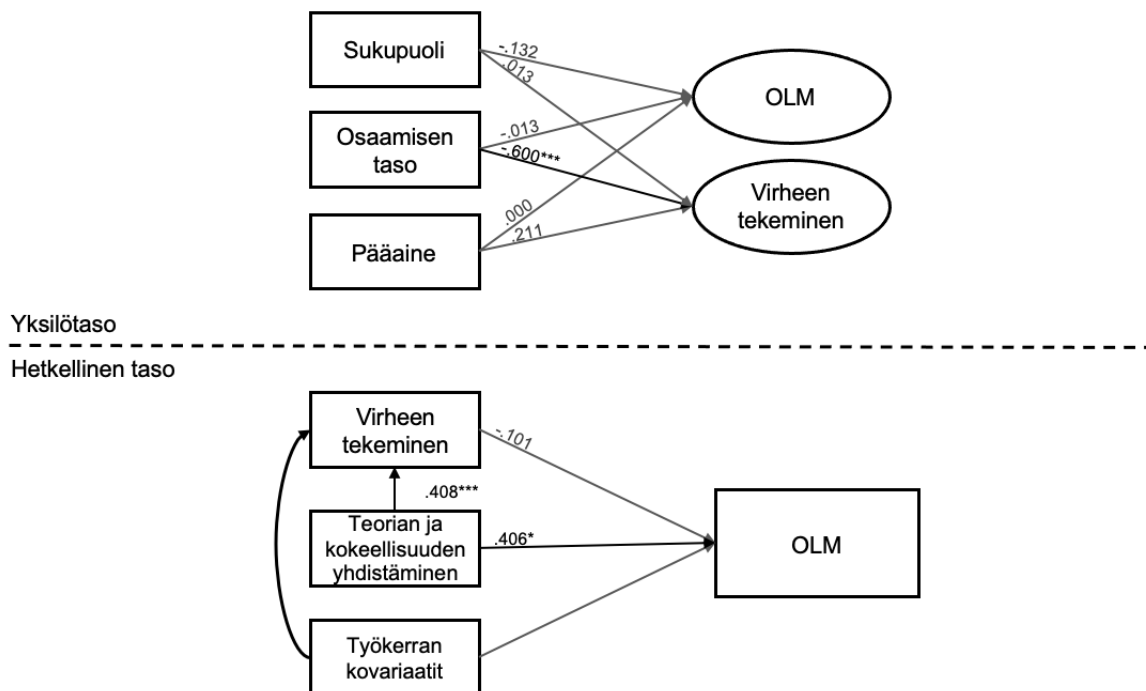
Tutkimukseen osallistuneet 155 opiskelijaa raportoivat yhteensä 1049 oppimishetkeä. Näihin oppimishetkiin liittyvät kuvailevat tunnusluvut, kuten esimerkiksi optimaalisen oppimisen hetkien esiintyvyys, on esitelty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Kuvailevat tunnusluvut hetkellisistä muuttujista.

	n	% kaikista mitatuista hetkistä
Optimaalisen oppimisen hetket	125	11,9 %
Teorian ja kokeellisuuden yhdistäminen	423	40,3 %
Virheet	304	29,0 %

Kaavio 2 taas esittelee ensimmäisen kaksitasoisen rakenneyhtälömallin. Mallissa tarkastellaan sekä yksilö- että hetkellisen tason muuttujien vaikutukset optimaalisen oppimisen hetkiin. Yksilöllisellä tasolla (kts. taulukko 2), opiskelijan sukupuoli, pääaine tai osaamisen taso eivät ennustaneet optimaalisen oppimisen kokemisen todennäköisyyttä tilastollisesti merkitsevällä tasolla. Yksilötason analyysin tulosten perusteella kuitenkin ne opiskelijat, joiden osaamisen taso oli korkea, tekivät todennäköisesti myös selvästi muita vähemmän virheitä harjoitustöissä.

Hetkellisellä tasolla (kts. taulukko 3), harjoitustyön vaiheet, joissa opiskelijoiden tuli yhdistää teoriaa ja kokeellisuutta, ennustivat merkittäväällä tavalla optimaalisen oppimisen hetkiä. Mallin mukaan virheiden tekeminen tai meneillään ollut harjoitustyö eivät vaikuttaneet optimaalisen oppimisen kokemuksiin tilastollisesti merkitsevällä tasolla. Opiskelijat tekivät virheitä todennäköisemmin teoriaa ja kokeellisuutta yhdistävissä harjoitustyövaiheissa ja ennen kaikkea pH-titraukseen liittyvän harjoitustyön (työkerta 2) aikana.



**Kaavio 2.** Kaksitasoinen malli, joka kuvaa muuttujien vaikutukset optimaalisen oppimisen hetkiin sekä virheiden tekemiseen, tilastollinen merkitsevyys tasoilla \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Arvot työkerran kovariaateille on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 2.** Sukupuolen, osaamisen tason ja pääaineen vaikutukset optimaalisen oppimisen hetkien kokemiseen ja virheiden tekemiseen yksilötasolla.

	Optimaalisen oppimisen hetket			Virheen tekeminen		
	$\beta$	S.E.	p	$\beta$	S.E.	p
Sukupuoli	.132	.307	.668	.013	.354	.971
Osaamisen taso	-.013	.124	.916	-.600	.133	<.001
Pääaine	.000	.301	.999	.211	.326	.518



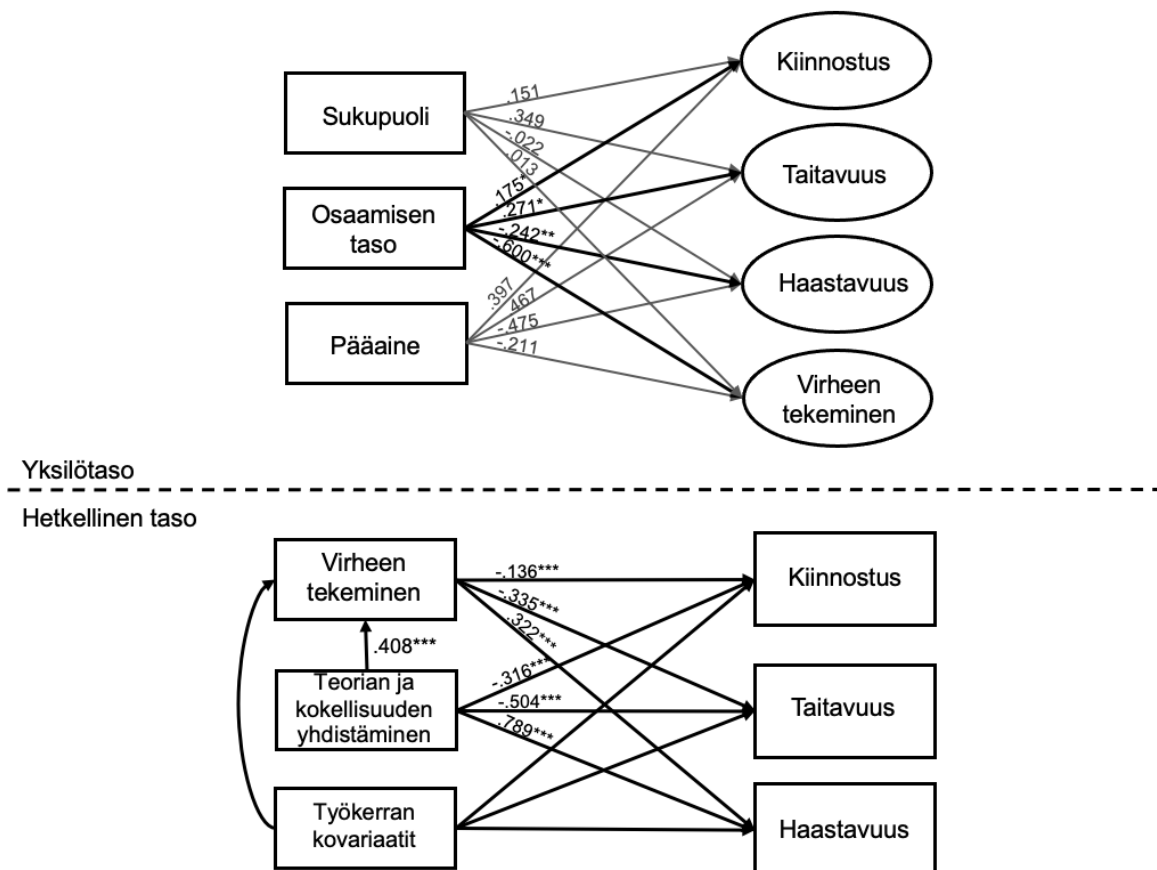
**Taulukko 3.** Virheen tekemisen, teorian ja kokeellisuuden yhdistämisen ja työkerran vaikutukset optimaalisen oppimisen hetkien kokemiseen ja virheiden tekemiseen hetkellisellä tasolla. Työkertoja 2–4 on verrattu työkertaan 1.

	Optimaalisen oppimisen hetket			Virheen tekeminen		
	$\beta$	S.E.	p	$\beta$	S.E.	p
Virheen tekeminen	-.101	.068	.138	-	-	-
Teorian ja kokeellisuuden yhdistäminen	.406	.132	.002	.408	.089	<.001
Työkerta 2: pH-titraus	.334	.171	.051	.448	.122	<.001
Työkerta 3: kompleksometrinen titraus	-.032	.182	.861	-.044	.132	.742
Työkerta 4: puskuriliuokset	.040	.138	.773	-.082	.118	.486

#### 4.2 Yksilötason ja hetkellisen tason muuttujien vaikutukset optimaalisen oppimisen osatekijöihin

Analyysi, joka kuvailee muuttujien vaikutuksia optimaalisen oppimisen osatekijöihin sekä yksilöllisellä että hetkellisellä tasolla, on esitetty kaaviossa 3. Yksilötasolla (kts. taulukko 4) korkeampi osaamisen taso oli ainoa tilastollisesti merkitsevä ennustava muuttuja opiskelijoiden kiinnostuksen, taitavuuden ja haastavuuden kokemuksille. Opiskelijat, joiden osaamisen taso oli korkea, raportoivat todennäköisesti korkeampaa kiinnostuksen ja taitavuuden kokemusta, ja matalampaa haastavuuden kokemusta.

Hetkellisellä tasolla (kts. taulukko 5), teorian ja kokeellisuuden yhdistäminen ennusti matalampaa kiinnostusta ja taitavuutta, sekä todella merkittävästi korkeampaa haastavuutta. Virheiden tekemisen aiheuttama vaikutus osatekijöihin oli tämän kanssa samansuuntainen, mutta vaikutukset olivat efektikooltaan pienempiä. Analyysin tuloksina saatiin myös taustamuuttujien vaikutukset virheiden tekemiseen, mutta niitä ei ole esitetty enää taulukossa 5, sillä arvot olivat luonnollisesti identtiset taulukossa 3 esitettyjen arvojen kanssa.



**Kaavio 3.** Kaksitasoinen malli, joka kuvaa muuttujien vaikutukset optimaalisen oppimisen osatekijöihin ja virheiden tekemiseen, tilastollinen merkitsevyys tasolla \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Arvot työkerran kovariaateille on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 4.** Sukupuolen, osaamisen tason ja pääaineen vaikutukset optimaalisen oppimisen hetkien osatekijöihin yksilötasolla.

	Kiinnostus			Taitavuus			Haastavuus		
	$\beta$	S.E.	p	$\beta$	S.E.	p	$\beta$	S.E.	p
Sukupuoli	.151	.233	.517	.349	.261	.182	-.022	.253	.931
Osaamisen taso	.175	.083	.034	-.271	.107	.011	-.242	.090	.007
Pääaine	.397	.217	.067	.467	.250	.057	-.475	.256	.063

**Taulukko 5.** Teorian ja kokeellisuuden yhdistämisen ja työkerran vaikutukset optimaalisen oppimisen osatekijöihin ja virheiden tekemiseen hetkellisellä tasolla. Työkertoja 2–4 on verrattu työkertaan 1.

	Kiinnostus			Taitavuus			Haastavuus		
	$\beta$	S.E.	p	$\beta$	S.E.	p	$\beta$	S.E.	p
Virheen tekeminen	-.136	.042	.001	-.335	.034	<.001	.322	.035	<.001
Teorian ja kokeellisuuden yhdistäminen	-.316	.068	<.001	-.504	.065	<.001	.789	.053	<.001
Työkerta 2: pH-titraus	-.235	.096	.015	-.366	.095	<.001	.618	.090	<.001
Työkerta 3: kompleksometrinen titraus	-.222	.105	.035	-.239	.098	.015	.276	.087	.002
Työkerta 4: puskuriliuokset	-.491	.080	<.001	-.434	.080	<.001	.569	.080	<.001

### 4.3 Virhetyyppien ja avun vaikutus tilannekohtaiseen sitoutumiseen

Kolmanteen tutkimuskysymykseen pyrittiin vastaamaan analysoimalla virhetyyppien sekä avun vaikutuksia tarkemmin hetkellisellä tasolla. Virheitä tapahtui yhteensä 304 kappaletta, ja kunkin virheväittämän kuvailevat tunnusluvut on esitetty taulukossa 6. Virheväittämät ovat osin päällekkäisiä, sillä opiskelijat saivat valita useamman kuin yhden väittämän.

**Taulukko 6.** Kuvailevat tunnusluvut virheväittämisestä.

	n	% kaikista virheistä
Virhe, kokeellinen	127	41,8 %
Virhe, laskennallinen	132	43,4 %
Virhe, opettaja auttoi	93	30,6 %
Virhe, opiskelukaveri auttoi	67	22,0 %

Virhetyyppien ja virheen ratkaisemiseen saadun avun ei havaittu vaikuttavan tilastollisesti merkittävästi optimaalisen oppimisen hetkien esiintyvyyteen (kts. taulukko 7). Tästä huolimatta ne vaikuttivat merkittävästi optimaalisen oppimisen osatekijöihin (kts. taulukko 8). Opiskelijoiden kokemana kiinnostuksen ja taitavuuden taso oli korkeampi, ja haastavuuden taso alhaisempi, kun virhe liittyi kokeellisuuteen. Jos taas virhe oli liittynyt tulosten tulkintaan tai laskuihin, oli vaikutus vastakkaisuuntainen, sillä opiskelijat kokivat tällöin matalampaa taitavuutta ja korkeampaa haastavuutta. Sekä opettajan että opiskelukaverin apu oli

yhteydessä korkeampaan haastavuuden kokemukseen, mutta näistä vain opettajan apu oli yhteydessä matalampaan taitavuuden kokemukseen.

**Taulukko 7.** Logistisen regressiomallin tulokset virheväittämien vaikutukselle optimaalisen oppimisen hetkiin.

X on OLM	95 % C.I.			
	OR	S.E.	Alempi 2.5 %	Ylempi 2.5 %
<i>Virhe</i>	.725	.257	0.362	1.454
<i>Virhe, kokeellinen</i>	1.252	.480	.591	2.653
<i>Virhe, laskennallinen</i>	1.667	.709	.724	3.837
<i>Virhe, opettaja auttoi</i>	.851	.368	.364	1.988
<i>Virhe, opiskelukaveri auttoi</i>	1.092	.479	.462	2.582

**Taulukko 8.** Virheväittämien vaikutukset optimaalisen oppimisen osatekijöihin.

	Kiinnostus			Taitavuus			Haastavuus		
	$\beta$	S.E.	p	$\beta$	S.E.	p	$\beta$	S.E.	p
<i>Virhe</i>	-.235	.116	.042	-.509	.112	<.001	.353	.099	<.001
<i>Virhe, kokeellinen</i>	.276	.132	.037	.508	.118	<.001	-.391	.119	.001
<i>Virhe, laskennallinen</i>	-.253	.179	.157	-.395	.166	.017	.641	.138	<.001
<i>Virhe, opettaja auttoi</i>	-.213	.148	.149	-.389	.155	.012	.321	.133	.016
<i>Virhe, opiskelukaveri auttoi</i>	.293	.177	.098	-.089	.146	.540	.402	.127	.002

## 5 Johtopäätökset

Lähes yhdessä kolmesta (29,0 %) kaikista tutkimuksen oppimishetkistä opiskelijat olivat huomanneet tehneensä jonkin virheen. On myös mahdollista, että virheitä tapahtui jopa tätä enemmän, mutta opiskelijat eivät olleet vain huomanneet niitä. Virheiden runsas esiintyminen korostaa sitä, kuinka tärkeää niiden vaikutuksien ymmärtäminen on (vrt. Huangfu ym., 2023; Käfer ym., 2019; Tulis & Ainley, 2011; Tulis & Fulmer, 2013). Kaksitasoisten mallien mukaan korkean osaamistason omaavat opiskelijat tekivät todennäköisesti muita vähemmän virheitä laboratoriossa. Kuitenkaan opiskelijan sukupuolen tai pääaineen ei havaittu vaikuttavan tilastollisesti merkitsevästi virheiden tapahtumisen todennäköisyyteen.

Optimaalisen oppimisen hetkiä, joissa opiskelijoiden kiinnostus, taitavuus ja haastavuus olivat keskimääräistä korkeammalla tasolla samanaikaisesti, oli yhteensä 11,9 % kaikista tutkimuksessa mitatuista oppimishetkistä. Aiempien tutkimusten (Schneider ym., 2016; Pöysä ym., 2020) kanssa samansuuntaisesti, yksilötason piirteiden, eli sukupuolen, pääaineen ja osaamisen tason ei havaittu vaikuttavan optimaalisen oppimisen hetkien esiintyvyyteen tässäkään tutkimuksessa. Kuitenkin opiskelijoiden osaamisen taso vaikutti optimaalisen oppimisen osatekijöihin, sillä korkeampi osaamisen taso ennusti korkeampaa kiinnostuksen ja taitavuuden, sekä matalampaa haastavuuden tasoa.

Voikin siis olla niin, että hyvin pärjäävät opiskelijat eivät keskimääräistä korkeammasta kiinnostuksesta ja taitavuudestaan huolimatta tule kokeneeksi muita enempiä optimaalisen oppimisen kokemuksia johtuen nimenomaan siitä, että he kokevat harjoitustöiden aktiviteetit muita helpommiksi. Optimaalisen oppimisen edellytyksenä on riittävän korkea haastavuuden taso (Schneider ym., 2016), joka ei näiden opiskelijoiden kohdalla täyty. On siis mahdollista, että keskivertotaitotason omaavat opiskelijat mieltävät aktiviteetit todennäköisimmin sopivan haastaviksi, ja näin ollen voivat mahdollisesti pysyä sitoutuneempina. Tämän havainnon mahdollisuus nostaa esiin edelleen yliopistokoulutuksenkin aikaisen tarpeen opetuksen eriyttämiselle osaamisen tason mukaan.

Kaksitasoisen rakenneyhtälömallin hetkellisen tason tulosten mukaisesti opiskelijat kokivat optimaalisen oppimisen hetkiä todennäköisemmin sellaisissa harjoitustyövaiheissa, joissa heidän tuli yhdistää teoriaa kokeellisuuteen. Tämä vahvistaa Atabek-Yigitin ja Senozin (2023) tulosta, jonka mukaan työn teoriataustan käsittelemisellä sekä optimaalisen oppimisen kokemuksilla havaittiin olevan positiivinen korrelaatio. Vaikka opiskelijoiden kiinnostus ja

taitavuus olivat näissä harjoitustyövaiheissa matalammalla tasolla, lisäsi teorian ja kokeellisuuden yhdistäminen opiskelijoiden kokema haastavuutta merkittävästi, jonka seurauksena opiskelijat olivat lopulta sitoutuneempia oppimiseen. Näiden samojen vaiheiden aikana opiskelijat tekivät todennäköisemmin virheitä, mikä edelleen vahvisti teorian ja kokeellisuuden yhdistämisen vaikutusta kiinnostukseen, taitavuuteen ja haastavuuteen.

Tämänlaisissa harjoitustyövaiheissa, joissa täytyy yhdistää teoriaa ja kokeellisuutta, tulee opiskelijoiden tyypillisesti koota Johnstonen (1991) kemian kolmitasomallin kaikki kolme tasoa (mikroskooppinen, makroskooppinen ja symbolinen) yhteen meneillään olevan harjoitustyön näkökulmasta. Käytännössä opiskelijoiden täytyy yhdistää työstä tehtävät makroskooppiset havainnot siis atomi- tai molekyyli-tason tapahtumiin esittäen työhön liittyvän kemiallisen tiedon symbolisessa muodossa. Näin ollen voidaan pitää mahdollisena, että tämän tasojen muodostaman loogisen kokonaisuuden yhteen punominen sitouttaa opiskelijoita oppimiseen tehokkaasti. Vaikutus on myös suuruudeltaan hyvin merkittävä, etenkin kun huomioidaan, että kyseessä on ainoastaan yksi laboratoriotyöskentelyyn liittyvä piirre.

Malleissa ilmeni myös joitakin tilastollisesti merkitseviä eroja neljän työkerran välillä niin virheiden esiintyvyyden kuin optimaalisen oppimisen osatekijöiden tason suhteen. Tämä korostaa kontekstuaalisten tekijöiden huomioimisen tärkeyttä tutkittaessa niin virheiden tekemistä, kuin tilannekohtaista sitoutumista kemian laboratorioympäristössä (vrt. Schmidt ym., 2018; Atabek-Yigit & Senoz, 2023; Spicer, 2015). Esimerkiksi pH-titraukseen liittyvä kokeellinen työ koettiin selvästi muita harjoitustöitä haastavammaksi, ja sen aikana tehtiin selvästi useampia virheitä. Työn haastavuus ei kuitenkaan yksin selitä virheiden tekemistä, sillä myös puskuriliuostyötä pidettiin vaikeana, mutta siinä ei tapahtunut virheitä merkittävästi muita töitä enemmän. Opettajien onkin siis olennaista tiedostaa töiden keskinäinen vaihtelevuus sen suhteen, kuinka alttiita opiskelijat ovat virheiden tekemiselle työn aikana, tukeakseen opiskelijoita tarkoituksenmukaisella tavalla.

Virheen tyyppi ei vaikuttanut merkittävästi optimaalisen oppimisen hetkien esiintyvyyteen, mutta se vaikutti kuitenkin opiskelijoiden raportoimien kiinnostuksen, taitavuuden ja haastavuuden tasoon. Jos virhe oli laskennallinen, vahvisti se virheen tekemisen negatiivista vaikutusta opiskelijoiden taitavuuden kokemukseen ja positiivista vaikutusta haastavuuden kokemukseen. Kokeellisten virheiden vaikutus oli vastakkaissuuntainen johtuen todennäköisesti siitä, että laskennallisten vaiheiden kognitiiviset vaatimukset ovat

korkeammalla tasolla verrattuna kokeellisiin vaiheisiin. Kokeellisuuteen liittyvien virheiden kokonaisvaikutus optimaalisen oppimisen osatekijöihin jäikin lähes olemattomaksi.

Harjoitustyöt, joiden aikana aineisto kerättiin, koostuivat perinteisistä laboratoriotöistä, jotka suoritettiin hyvin tarkkojen, yksityiskohtaisten ja vaiheittaisten työohjeiden avulla. Ohjeita voisikin luonnehtia reseptikirjamaisiksi. Työt noudattivat niin kutsutun esittävän opetuksen kaavaa ollen hyvin suljettuja opiskelijan omien valintojen suhteen. Avoimempien, enemmän opiskelijan luovuutta ja harkintaa vaativien, tutkivien tehtävien aikana työn kognitiiviset vaatimukset saattaisivat olla korkeampia myös kokeellisten vaiheiden osalta (vrt. Lamminpää & Vesterinen, 2018; Sadeh & Zion, 2009).

Aiempien tutkimusten perusteella laboratoriossa vallitseva virheiden tekemisen ilmapiiri ja opiskelijoiden luottamus opettajiinsa on yhteydessä opiskelijoiden avoimuuteen keskustella virheistään (Soncini ym., 2022; Leighton ym., 2018). Tämän tutkimuksen mukaan avun saaminen virheiden tekemisen jälkeen korreloi opiskelijoiden raportoimien taitavuuden ja haastavuuden kanssa. Hyvin ymmärrettävästi opiskelijat pyysivät apua joko opettajalta tai opiskelukavereilta todennäköisemmin silloin, kun he kokivat aktiviteetin haastavaksi. Avun pyytäminen opettajalta voimisti myös virheiden tekemisen negatiivista vaikutusta opiskelijoiden taitavuuden kokemukseen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että opettajalta avun pyytäminen olisi välttämättä saanut opiskelijat tuntemaan itsensä vähemmän taitaviksi, vaan voi myös olla, että opiskelijat tulivat vain pyytäneeksi apua opettajalta vasta kun he kokivat itsensä hyvin taitamattomaksi.

## 6 Tutkimuksen reflektointi

Tutkielman lopuksi reflektoidaan tutkimusta sekä sen luotettavuuden, että käytännön sovellusten ja mahdollisten jatkotutkimusten näkökulmasta. Alaluku 6.1 käsittelee sitä, mitkä tekijät vaikuttavat tutkimuksen luotettavuuteen sitä kasvattavasti tai laskevasti. Alaluku 6.2 taas sisältää pohdintaa tutkimustuloksista peilaten niitä esimerkiksi aiempiin tutkimustuloksiin. Pohdinnassa tehdään päätelmiä siitä, miten harjoitustöiden opetusta voitaisiin kehittää tämän tutkimuksen tulosten pohjalta. Pohdinta perustuu tutkimustuloksista tehtyihin tutkielman luvussa 5 esitettyihin johtopäätöksiin.

### 6.1 Tutkimuksen luotettavuus

Tämän pro gradu -tutkimuksen harjoitustyökurssin opiskelijoista hyvin kattava otos (155, 87 %) osallistui tutkimukseen, mikä lisää tulosten yleistettävyyttä, vaikka aineisto onkin peräisin vain yhden yliopiston yhdeltä kurssilta. Kuten tässäkin tutkimuksessa havaittiin, kontekstuaaliset tekijät, kuten meneillään oleva harjoitustyö, vaikuttavat opiskelijoiden tilannekohtaiseen sitoutumiseen. Tästä syystä esimerkiksi eri yliopistojen harjoitustöihin liittyvät ominaispiirteet voisivat aiheuttaa eroja havaittavissa vaikutuksissa. Tutkimuksen tulokset ovat kuitenkin samansuuntaisia aiemman tutkimuksen kanssa, ja lisäksi ne vaikuttavat siltä, että ne voitaisiin yleistää myös muiden kokeellisten luonnontieteiden, kuten esimerkiksi fysiikan, opetukseen ja oppimiseen. Tämän oletuksen varmistamiseksi tulisi kuitenkin luonnollisesti toteuttaa vastaava tutkimus toisen tutkittavan tiedeaineen autenttisessa oppimisympäristössä, jolloin voitaisiin tarkastella mahdollisia oppiainekohtaisia eroavaisuuksia.

Tutkimustulokset myös osoittavat, että kokemusotantamenetelmä on erinomaisesti toimiva aineistonkeruumenetelmä, kun tarkoituksena on tutkia useita erilaisia laboratoriotyöskentelyyn liittyviä ilmiöitä samanaikaisesti. Kyselyt eivät kuormita opiskelijoita liikaa, eivätkä siten häiritse laboratoriotyöskentelyä turhaan. Kompaktista luonteestaan huolimatta ne tarjoavat monipuolisen katsauksen ilmiöihin, etenkin, kun niihin yhdistetään erillinen taustatietokysely ja mahdollisesti myös muuta oppimisanalytiikkaa, tässä tutkimuksessa esimerkiksi oppimistehtäväsuoritukset, jotka kuvastivat opiskelijoiden teoreettista osaamista.

Tämän tutkimusaineiston koko oli kiitettävän suuri mahdollistaen monitasoisen rakennetylömallinnuksen käyttämisen tutkimuksen keskeisenä analyysimenetelmänä.



Kyseessä on edistynyt kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä, joka sopii yksilöiden ja erilaisten oppimishetkien välisten erojen tutkimiseen erinomaisesti, kunhan otoskoko on kooltaan riittävä. Myös kyseinen analyysimenetelmä on erityisen toimiva usean eri tekijän vaikutuksien tutkimiseen samanaikaisesti. Tutkimuksen luotettavuutta lisää myös se, että menetelmän analyysituloksia voidaan pitää kohtuullisen uskottavina, sillä eri taustamuuttujien mahdolliset päällekkäiset vaikutukset saadaan erotettua toisistaan.

Käytetyissä menetelmissä on kuitenkin joitakin rajoituksia, ja on tärkeää pitää ne mielessä tuloksia tulkittaessa. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa aineisto kerättiin laboratoriotöiden aikana, jolloin tutkimukseen osallistuneilla opiskelijoilla oli paljon muutakin huomioitavaa EMA-kyselyihin vastaamisen lisäksi. Tämä johti huomattavasti matalampaan vastausprosenttiin verrattuna esimerkiksi sähköisellä oppimisalustalla suoritettuihin oppimistehtäviin liitettyihin kyselyihin verrattuna. Oppimistehtävien kyselyiden vastauksia ei käytetty tämän tutkielman analyysiin. Pienemmästä vastausten määrästä johtuen virhetyyppien ja avun saamisen vaikutuksia pystyttiin analysoimaan ainoastaan hetkellisellä tasolla, ja näin ollen yksilökohtaiset vaihtelut jäivät havaitsematta. Vielä suuremmalla aineiston koolla oltaisiin voitu luoda kaksitasoinen malli myös virhetyyppien ja avun saamisen vaikutuksista, ja näin oltaisiin voitu tulkita esimerkiksi sitä, pyytävätkö heikomman osaamistason omaavat opiskelijat muita todennäköisemmin apua opettajalta vai ei.

Tämän tutkielman tuloksia tarkasteltaessa on myös tärkeää muistaa, että virhe ei ole yksikäsitteisesti määritelty käsite, vaan jokaisella opiskelijalla on jokin oma subjektiivinen näkemys siitä, mitä se tarkoittaa. Eri opiskelijat saattavatkin siis raportoida tehneensä virheen erilaisiin ajattelumalleihin pohjautuen. Tutkimuksen luonne ja siihen käytetyt menetelmät aiheuttavat myös sen, ettei opiskelijoiden näkemyksiä virheiden tekemisestä saada selville. Koska tämä tutkimus oli täysin kvantitatiivinen, on virheiden tarkastelu ilmiötasolla hyvin pinnallista. Kvalitatiivinen tarkastelu määrällisen tarkastelun ohessa saattaisi tuoda joitakin tässä tutkimuksessa piiloon jääviä virheiden tekemiseen liittyviä ilmiöitä näkyviksi.

Huolimatta näistä edellä mainituista rajoitteista, saatiin tutkimuksessa hyvin mielenkiintoisia, sekä luotettavana pidettäviä tutkimustuloksia aikaan. Luotettavuutta lisää esimerkiksi aineiston koko, tuloksina esitettyjen korrelaatioiden voimakkuus sekä hyvin suuri tilastollinen merkitsevyys. Tutkimustulokset tarjoavat hyvän pohjan jatkotutkimuksille sekä näiden tutkimustulosten yleistämiselle myös toisenlaisissa oppimisympäristöissä.

## 6.2 Pohdinta

Harjoitustöiden sisältöjä, sekä niihin liittyviä ohjauksellisia ratkaisuita suunniteltaessa pitäisi huomioida myös tässä tutkimuksessa esille noussut kokeellisten töiden matala haastavuuden taso entistä tehokkaammin. Opetuksesta pyritään usein tekemään selkeää ja suoraviivaista – sellaista, jota jokainen opiskelija ymmärtää. Vaikka nämä ovatkin tavoitteina täysin perusteltuja, saattavat ne salakavalasti aiheuttaa sen, että aktiviteettien vaikeustasoa lasketaan turhan matalaksi opiskelijoiden epävarmuuden ja negatiivisten tunteiden välttämiseksi (vrt. Vilhunen ym., 2022a). Aktiviteettien riittävän korkea haastavuuden taso on todellisuudessa kuitenkin opetuksen voimavara, opiskelijoiden sitoutumista vahvistava tekijä (vrt. Schneider ym., 2016), eikä mikään, mitä tulisi välttää.

Niin tämän tutkimuksen tutkimustulosten, kuin myös aiempien tutkimusten (Inkinen ym., 2019; Atabek-Yigit & Senoz, 2023) valossa voidaan ehdottaa, että opiskelijoiden sitoutumista voitaisiin lisätä lisäämällä laboratoriotöiden haastavuutta. Tämä voitaisiin tehdä esimerkiksi tekemällä harjoitustöistä ja niiden työohjeista tutkimuksellisia tai ratkaisultaan avoimia (esim. Sadeh & Zion, 2009). Käytännössä tämä voisi tarkoittaa sitä, että laboratoriotyön tulos, siihen käytettävät tutkimusmenetelmät tai välttämättä edes tutkimuskysymykset eivät ole ennalta määriteltyjä, vaan opiskelijoiden itse selvitettävissä tai päätettävissä. Myös Schmidtin ja kollegoiden (2018) tutkimustulokset tukevat tätä ajatusta osoittaen, että jos opiskelijoilla on mahdollisuus tehdä omia päätöksiä työskennellessään laboratoriossa, lisää se heidän sitoutumistaan kemian oppimiseen.

Harjoitustöillä on myös muita tehtäviä, kuten työskentelyn rutiinin oppiminen, minkä takia voidaan ajatella, että työn matala kognitiivinen vaatimustaso ei ole tämän tavoitteen saavuttamisen näkökulmasta ongelmallista. Mikäli se kuitenkin vaikuttaa opiskelijoiden sitoutumiseen negatiivisesti ja samalla tulee heikentäneeksi heidän motivaatiotaan, voi vaikutukset olla oppimiselle hyvin haitallisia ja jopa kauaskantoisia (vrt. Hidi & Renninger, 2006). Tämä voitaisiin mahdollisesti välttää myös tekemällä harjoitustöiden oppimistavoitteet opiskelijoille entistä näkyvämmäksi, jolloin opiskelijat ymmärtäisivät paremmin, mitä heiltä odotetaan (Reid & Shah, 2007). Tavoitteiden tiedostaminen saattaisi myös vaikuttaa opiskelijoiden oppimismotivaatioon positiivisesti aiemmin mainitun odotusarvoteorian mukaisesti (Eccles & Wigfield, 2020), sillä opiskelijat saattaisivat kokea työskentelyn näiden tavoitteiden valossa hyödyllisemmäksi ja tärkeämmäksi jo itsessään, tai välineellisesti esimerkiksi kehittyäkseen taitaviksi kemisteiksi. Harjoitustyökursseja suunniteltaessa onkin

tarpeen pohtia, onko matala kognitiivinen vaatimustaso tarkoituksenmukaista vai ei, ja jos vaatimustasoa halutaan nostaa, on tärkeää tehdä niin sisällöllisiä kuin ohjauksellisia ratkaisuita asian korjaamiseksi.

On myös huomionarvoista, että kaikki oppimishetket eivät voi olla optimaalisen oppimisen hetkiä. On tärkeää varmistaa, että korkeasti oppimiseen sitouttavien hetkien lisäksi opiskelijat saavat riittävästi taukoja tai muita kognitiivisesti vähemmän vaativia palautumishetkiä. Esimerkiksi kolme tuntia kestävä harjoitustyön aikana jatkuvasti korkeasti sitoutuneena pysyminen olisi kognitiivisesti liian raskas taakka kenelle tahansa kannettavaksi (Kirschner ym., 2011), ja se johtaisi ainoastaan suorituskyvyn laskuun (Chang, 2018).

Kun opiskelijoilla on mahdollisuus kommunikoida toistensa kanssa laboratoriotyöskentelyn aikana, on heidän helpompaa pyytää apua esimerkiksi virheiden ratkaisemiseksi vertaisiltaan. Harjoitustyökurssilla, josta aineisto kerättiin, opiskelijat suorittivat työt parin kanssa, mahdollistaen jatkuvan vuorovaikutuksen opiskelukaverin kanssa. Tutkielman tulosten perusteella opiskelukaverin kanssa virheen ratkaiseminen oli yhteydessä opiskelijan taitavuuden kokemuksen säilymiseen.

Opiskelijoiden sitoutuminen voikin kärsiä siitä, jos opettajat tarjoavat välitöntä tukea auttamalla virheen ratkaisemisessa tarjoamatta opiskelijoille mahdollisuutta ratkaista virhettä itsekseen. Atabek-Yigitin ja Senozin (2023) tekemien haastatteluiden perusteella nimenomaan tämänlainen opettajien tarjoama välitön apu johti siihen, ettei opiskelijat pitäneet harjoitustöitä enää haastavina. Näin ollen tarjoamalla opiskelijoille mahdollisuuksia ratkaista virheet vertaistensa kanssa, voisi haastavuuden kokemus säilyä tarkoituksenmukaisen korkealla tasolla, oppimisympäristön virheiden tekemisen ilmapiiri voisi parantua, opiskelijoiden itsesäätely voisi vahvistua ja adaptiiviset reaktiot virheiden satuttua voisivat tehostua (Tulis ym., 2016).

Laboratorioympäristön virheiden tekemisen ilmapiiriä kehittäessä on myös tärkeää muistaa, että vertaisten keskeinen huumori ja nauru ovat tyypillisesti nimenomaan positiivisia reagoititapoja virheiden tapahtumiseen. Esimerkiksi tutkivan kokeellisen kemian oppimisen yhteydessä on havaittu, että opiskelijat käyttävät hyvin runsaslukuisesti positiiviseksi miellettyä huumoria itsesäätelykeinona kohdatessaan epäonnistumisia (Lamminpää & Vesterinen, 2018). Positiivisen virheiden tekemisen ilmapiirin luominen ja ylläpitäminen vaatiikin opettajalta siis hyviä sosiaalisia ja sosioemotionaalisia taitoja, jotta virheiden

tekemistä seuraavat negatiiviset reaktiot saadaan kitkettyä laboratoriosta ulos, jättäen kuitenkin tilaa huumorille ja naurulle.

Opiskelijoiden omien asenteiden ja oppimisympäristön virheiden tekemisen ilmapiirin tärkeys (kts. Tulis & Ainley, 2011; Huangfu ym., 2023; Leighton ym., 2018; Käfer ym., 2019; Soncini ym., 2022) korostaa jatkotutkimusten tarvetta virheiden ympärillä. Laboratoriossa tapahtuvien virheiden tekemisen yhteydessä esiintyviä tilannekohtaisia emootioita olisikin tarkoituksenmukaista tutkia lisää. Aiemman tutkimuksen perusteella laboratoriotyöskentelyyn itsessään liittyy muihin aktiviteetteihin verrattuna enemmän innostusta ja toisaalta myös innottomuutta (Salmela-Aro & Upadyaya, 2022), ja olisikin kiinnostavaa selvittää, miten virheet vaikuttavat näihin tunteisiin. Tämän tutkimuksen tulosten mukaisesti virheiden tekeminen vaikuttaa opiskelijoiden sitoutumiseen vaikuttaviin osatekijöihin, jotka aiempien tutkimusten mukaan ovat yhteydessä opiskelijoiden emootioihin (kts. Schneider ym., 2016). Aktivoivat positiiviset tunteet, kuten itsevarmuus, iloisuus ja nautinto, sekä aktivoivat negatiiviset tunteet, kuten stressi ja jopa ahdistus, on aiemman tutkimuksen (Schneider ym., 2016) mukaan yhteydessä optimaalisen oppimisen kokemuksiin. Tätä tutkimuslinjaa olisi hedelmällistä jatkaa toistaiseksi koskemattomasta virhetilanteiden näkökulmasta.

## Lähteet

- Atabek-Yigit, E., & Senoz, A. B. (2023). Optimal learning moments in an undergraduate chemistry lab. *Research in Science & Technological Education*, 1–17.  
<https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2224241>
- Carnduff J. and Reid N., (2003), *Enhancing undergraduate chemistry laboratories, pre-laboratory and post-laboratory exercises, examples and advice*. Education Department, Royal Society of Chemistry.
- Carini, R. M., Kuh, G. D., & Klein, S. P. (2006). Student engagement and student learning: Testing the linkages. *Research in Higher Education*, 47(1), 1–32.  
<https://doi.org/10.1007/s11162-005-8150-9>
- Carson, R. L., Weiss, H. M., & Templin, T. J. (2010). Ecological momentary assessment: A research method for studying the daily lives of teachers. *International Journal of Research & Method in Education*, 33(2), 165–182.  
<https://doi.org/10.1080/1743727X.2010.484548>
- Chang, C.-C. (2018). Outdoor ubiquitous learning or indoor CAL? Achievement and different cognitive loads of college students. *Behaviour & Information Technology*, 37(1), 38–49. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2017.1394366>
- Chiu, M., Liaw, H. L., Yu, Y., & Chou, C. (2019). Facial micro-expression states as an indicator for conceptual change in students' understanding of air pressure and boiling points. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 469–480.  
<https://doi.org/10.1111/bjet.12597>
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper Perennial.
- DeKorver, B. K., & Towns, M. H. (2015). General chemistry students' goals for chemistry laboratory coursework. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2031–2037.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00463>
- D'Mello, S., Lehman, B., Pekrun, R., & Graesser, A. (2014). Confusion can be beneficial for learning. *Learning and Instruction*, 29, 153–170.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.05.003>
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2020). From expectancy-value theory to situated expectancy-value theory: A developmental, social cognitive, and sociocultural perspective on motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101859.  
<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101859>

- Hektner, J. M., Schmidt, J. A., & Csikszentmihalyi, M. (2007). *Experience sampling method. Measuring the quality of everyday life*. Sage Publications.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist, 41*(2), 111–127.  
[https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_4](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4)
- Huangfu, Q., Luo, Z., Cao, Y., & Wu, W. (2023). The relationship between error beliefs in chemistry and chemistry learning outcomes: A chain mediation model investigation. *Chemistry Education Research and Practice, 24*(4), 1262–1275.  
<https://doi.org/10.1039/D3RP00108C>
- Inkinen, J., Klager, C., Schneider, B., Juuti, K., Krajcik, J., Lavonen, J., & Salmela-Aro, K. (2019). Science classroom activities and student situational engagement. *International Journal of Science Education, 41*(3), 316–329.  
<https://doi.org/1.1080/09500693.2018.1549372>
- Irimata, K. M., & Wilson, J. R. (2018). Identifying intraclass correlations necessitating hierarchical modeling. *Journal of Applied Statistics, 45*(4), 626–641.  
<https://doi.org/10.1080/02664763.2017.1288203>
- Johnstone A. H., (1991), Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *J. Comput. Assist. Lear.*, 7, 75–83.
- Käfer, J., Kuger, S., Klieme, E., & Kunter, M. (2019). The significance of dealing with mistakes for student achievement and motivation: Results of doubly latent multilevel analyses. *European Journal of Psychology of Education, 34*(4), 731–753.  
<https://doi.org/10.1007/s10212-018-0408-7>
- Keith, N., & Frese, M. (2008). Effectiveness of error management training: A meta-analysis. *Journal of Applied Psychology, 93*(1), 59–69. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.93.1.59>
- Kitterød, R. H., & Lyngstad, T. H. (2005). Diary versus questionnaire information on time spent on housework – The case of Norway. *Electronic International Journal of Time Use Research, 2*(1), 13–32. <https://doi.org/1.13085/eIJTUR.2.1.13-32>
- Kirschner, F., Kester, L., & Corbalan, G. (2011). Cognitive load theory and multimedia learning, task characteristics and learning engagement: The current state of the art. *Computers in Human Behavior, 27*(1), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.003>
- Krapp, A., & Prenzel, M. (2011). Research on Interest in Science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education, 33*(1), 27–50.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518645>

- Kuhl, J. (2000). The volitional basis of Personality Systems Interaction Theory: Applications in learning and treatment contexts. *International Journal of Educational Research*, 33(7–8), 665–703.
- Lamminpää, J., & Vesterinen, V. M. (2018). The use of humour during a collaborative inquiry. *International Journal of Science Education*, 40(14), 1718–1735.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1508926>
- Leach, J., & Scott, P. (2003). Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education. *Science & Education*, 2003(12), 91–113.
- Lee, W., Lee, M.-J., & Bong, M. (2014). Testing interest and self-efficacy as predictors of academic self-regulation and achievement. *Contemporary Educational Psychology*, 39(2), 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.02.002>
- Leighton, J. P., Tang, W., & Guo, Q. (2018). Undergraduate students' attitudes towards mistakes in learning and academic achievement. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 43(4), 612–628. <https://doi.org/10.1080/02602938.2017.1387230>
- Merenluoto, K., & Lehtinen, E. (2004). Number concept and conceptual change: Towards a systemic model of the processes of change. *Learning and Instruction*, 14(5), 519–534.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.016>
- Morrell, J. B. (1969). Practical Chemistry in the University of Edinburgh, 1799–1843. *Ambix*, 16(1–2), 66–80. <https://doi.org/10.1179/amb.1969.16.1-2.66>
- Mulligan, C. B., Schneider, B., & Wolfe, R. (2005). Non-response and population representation in studies of adolescent time use. *Electronic International Journal of Time Use Research*, 2(1), 33–53.
- Muthén, B. O. (1994). Multilevel covariance structure analysis. *Sociological methods & research*, 22(3), 376-398.
- Muthén, B. O., du Toit, S. H. C., & Spisic, D. (1997). *Robust inference using weighted least squares and quadratic estimating equations in latent variable modeling with categorical and continuous outcomes*.  
[http://gseis.ucla.edu/faculty/muthen/articles/Article\\_075.pdf](http://gseis.ucla.edu/faculty/muthen/articles/Article_075.pdf)
- Muthén, L.K. and Muthén, B.O. (1998-2017). *Mplus. User's guide* (Vol. 8). Muthén & Muthén.
- Piaget, J. (1964). Cognitive development in children: Development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 176-186.  
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660020306>

- Pöysä, S., Poikkeus, A.-M., Muotka, J., Vasalampi, K., & Lerkkanen, M.-K. (2020). Adolescents' engagement profiles and their association with academic performance and situational engagement. *Learning and Individual Differences*, 82, 101922. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2020.101922>
- Reid, N., & Shah, I. (2007). The role of laboratory work in university chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8(2), 172–185. <https://doi.org/10.1039/B5RP90026C>
- Renninger, K.A & Su, S. (2012). Interest and its development. Teoksessa R.M. Ryan (Ed.), *The Oxford Handbook of Human Motivation* (pp. 167–187). Oxford University Press.
- Salmela-Aro, K., Moeller, J., Schneider, B., Spicer, J., & Lavonen, J. (2016). Integrating the light and dark sides of student engagement using person-oriented and situation-specific approaches. *Learning and Instruction*, 43, 61–7. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.01.001>
- Salmela-Aro, K., Upadyaya, K., Cumsille, P., Lavonen, J., Avalos, B., & Eccles, J. (2021). Momentary task-values and expectations predict engagement in science among Finnish and Chilean secondary school students. *International Journal of Psychology*, 56(3), 415–424. <https://doi.org/10.1002/ijop.12719>
- Salmela-Aro, K. & Upadyaya, K. (2022). Optimaalisen oppimisen hetket. Teoksessa K. Juuti, J. Lavonen & K. Salmela-Aro (Toim.), *Projektioppiminen luonnontieteissä* (pp. 211–218). Helsinki University Library.
- Schmidt, J. A. (2010). Flow in education. In *International Encyclopedia of Education* (pp. 605–611). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.00608-4>
- Schmidt, J. A., Rosenberg, J. M., & Beymer, P. N. (2018). A person-in-context approach to student engagement in science: Examining learning activities and choice. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(1), 19–43. <https://doi.org/10.1002/tea.21409>
- Schneider, B., Krajcik, J., Lavonen, J., Salmela-Aro, K., Broda, M., Spicer, J., Bruner, J., Moeller, J., Linnansaari, J., Juuti, K., & Viljaranta, J. (2016). Investigating optimal learning moments in U.S. and Finnish science classes. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(3), 400–421. <https://doi.org/10.1002/tea.21306>
- Schnitzler, K., Holzberger, D., & Seidel, T. (2021). All better than being disengaged: Student engagement patterns and their relations to academic self-concept and achievement. *European Journal of Psychology of Education*, 36(3), 627–652. <https://doi.org/10.1007/s10212-020-00500-6>



- Schreiber, J. B., Nora, A., Stage, F. K., Barlow, E. A., & King, J. (2006). Reporting structural equation modeling and confirmatory factor analysis results: A review. *The Journal of Educational Research*, 99(6), 323–338. <https://doi.org/10.3200/JOER.99.6.323-338>
- Spicer, J. J. (2015). *Measuring student engagement in science classrooms: An investigation of the contextual factors and longitudinal outcomes* [Väitöskirja, Michigan State University]. Michigan State University Electronic Thesis and Dissertations. <https://d.lib.msu.edu/etd/2733>
- Soncini, A., Visintin, E. P., Matteucci, M. C., Tomasetto, C., & Butera, F. (2022). Positive error climate promotes learning outcomes through students' adaptive reactions towards errors. *Learning and Instruction*, 80, 101627. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2022.101627>
- Tulis, M., & Ainley, M. (2011). Interest, enjoyment and pride after failure experiences? Predictors of students' state-emotions after success and failure during learning in mathematics. *Educational Psychology*, 31(7), 779–807. <https://doi.org/10.1080/01443410.2011.608524>
- Tulis, M. (2013). Error management behavior in classrooms: Teachers' responses to student mistakes. *Teaching and Teacher Education*, 33, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.02.003>
- Tulis, M., & Fulmer, S. M. (2013). Students' motivational and emotional experiences and their relationship to persistence during academic challenge in mathematics and reading. *Learning and Individual Differences*, 27, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.06.003>
- Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M. (2016). Learning from errors: A model of individual processes. *Frontline Learning Research*, 4(4), 12–26. <https://doi.org/10.14786/flr.v4i2.168>
- Tuominen-Soini, H., & Salmela-Aro, K. (2014). Schoolwork engagement and burnout among Finnish high school students and young adults: Profiles, progressions, and educational outcomes. *Developmental Psychology*, 50(3), 649–662. <https://doi.org/10.1037/a0033898>
- Upadaya, K., Cumsille, P., Avalos, B., Araneda, S., Lavonen, J., & Salmela-Aro, K. (2021). Patterns of situational engagement and task values in science lessons. *The Journal of Educational Research*, 114(4), 394–403. <https://doi.org/10.1080/00220671.2021.1955651>

- Van Lehn K., Siler S., Murray C., Yamauchi T. and Baggett W., (2003), Why do only some events cause learning during human tutoring? *Cognition Instruct.*, 21(3), 209–249.
- Vidgen, B., & Yasserli, T. (2016). P-Values: Misunderstood and Misused. *Frontiers in Physics*, 4. <https://doi.org/10.3389/fphy.2016.00006>
- Vilhunen E., Tang X., Juuti K., Lavonen J., & Salmela-Aro K. (2021). Instructional activities predicting epistemic emotions in Finnish upper secondary school science lessons: Combining experience sampling and video observations. Teoksessa O. Levrini, G. Tasquier, T.G. Amin, L. Branchetti, & M. Levin (Toim.), *Engaging with contemporary challenges through science education research: Contributions from science education research* (Vol .9, pp. 317–329). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74490-8_25)
- Vilhunen, E., Turkkila, M., Lavonen, J., Salmela-Aro, K., & Juuti, K. (2022a). Clarifying the relation between epistemic emotions and learning by using experience sampling method and pre-posttest design. *Frontiers in Education*, 7, 826852. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.826852>
- Vilhunen, E., Lavonen, J., Salmela-Aro, K., & Juuti, K. (2022b). Luonnontieteen opetuksen ja opiskelun työtapojen yhteys lukiolaisten tilannekohtaiseen sitoutumiseen. *Kasvatus*, 53(3), 245–258. <https://doi.org/10.33348/kvt.120240>
- Wan, T., Doty, C. M., Geraets, A. A., Saitta, E. K. H., & Chini, J. J. (2023). Responding to incorrect ideas: Science graduate teaching assistants' operationalization of error framing and undergraduate students' perception. *International Journal of STEM Education*, 10, 5. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00398-8>