

Työselostusten kirjoittaminen osana kemian opintoja lukiossa

Pro gradu -tutkielma

Jyväskylän yliopisto

Kemian laitos

27.11.2024

Hilma Rantakangas

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa käsiteltiin tieteellisten tekstien, kuten työselostusten kirjoittamisen vaikutuksia osana kemian opiskelua lukiossa. Kirjallisuuden avulla taustoitettiin tieteellisten tekstien kirjoittamista. Kirjallisuudesta etsittiin tietoa esimerkiksi tieteellisen kirjoittamisen tavoitteista ja tarkoituksesta sekä tieteellisten tekstien kirjoitustyylistä. Tärkeitä aiheita olivat myös kirjoitusprosessin ohjaaminen, arviointi, yleisimmät haasteet sekä oppimistulokset.

Kirjallisuuden mukaan ohjaaminen, arviointi ja palaute ovat keskeisiä tekijöitä kirjoitusprosessissa. Kirjoitustaitojen kehittymisen kannalta erittäin tärkeää on selkeiden arviointikriteerien asettaminen sekä oppimista ohjaavan arvioinnin ja palautteen antaminen. Kirjallisuudesta haettiin lisäksi tietoa kirjoittamisen suurimmista haasteista, jolloin esiin nousivat kemian kielelliset erot verrattuna arkikieleen. Haasteet tieteellisen kielen ymmärtämisessä tuovat vaikeuksia myös tieteellisten selitysten rakentamiseen ja sanoittamiseen.

Tutkimuksen kokeellinen osa koostui kyselytutkimuksesta, havainnointitutkimuksesta sekä tulosten sisällönanalyysistä. Kyselytutkimukseen osallistui 38 lukiolaista, joista muodostui koe- ja kontrolliryhmä. Molemmat ryhmät suorittivat tutkimukseen liittyvä kokeellisen työn, jonka jälkeen koeryhmä kirjoitti työhön liittyvän työselostuksen. Opiskelijoiden asenteita ja oppimista kartoitettiin kyselytutkimuksien avulla ennen kokeellista työskentelyä ja sen jälkeen. Tutkija havainnoi oppitunteja ja opiskelijoiden osallistumista ulkopuolisen tarkkailijana. Kyselytutkimusten vastauksia arvioitiin sisällönanalyysin avulla.

Kokeellisen tutkimuksen mukaan työselostusten kirjoittaminen vaikuttanut merkittävästi opiskelijoiden opiskelumotivaatioon. Kokeellisesta tutkimuksesta nousi esille kirjallisen osuuden kanssa yhteneväisiä kirjoittamisen haasteita. Omaa pohdintaa vaativia osioita, kuten johtopäätösten kirjoittamista pidetään yleisesti haastavimpina, mutta myös opettavaisimpina osioina työselostusten kirjoittamisessa.

Esipuhe

Yläkoulussa ja lukiossa suorittamani opetusharjoittelun aikana havaitsin, että työselostusten kirjoittaminen on yleistynyt jo lukio-opinnoissa. Myös lukion uusin opetussuunnitelma (LOPS2019) tukee ajatusta kirjoittamisen tärkeydestä. Nämä havainnot herättivät minussa kiinnostuksen, sillä olen itse pitänyt tällaisten tekstien laatimista haastavana ja kirjoitin itse ensimmäisen työselostukseni vasta yliopisto-opintojen alussa. Työselostusten kirjoittaminen vaatii monenlaisia taitoja sekä ymmärrystä kokeellisesta työskentelystä ja siihen liittyvästä teoriasta. Tämä herätti minussa kiinnostusta siitä, miten lukiolaiset pystyvät hallitsemaan prosessin ja miten he pystyvät hyödyntämään kirjoittamista tehokkaasti oman oppimisensa kannalta.

Tutkielma on toteutettu vuoden 2024 aikana. Kokeellinen osa toteutettiin maaliskuussa. Kokeellisen osuuden tulokset analysoitiin huhti-toukokuun aikana. Tutkielman kirjallinen osuus on kirjoitettu kokeellisen osuuden jälkeen touko-lokakuussa. Käytetty kirjallisuus on haettu Jyväskylän yliopiston tietokannoista, sekä Google Scholarista. Tutkielman ohjaajana toimi yliopistonopettaja, FT, KM Jouni Välisaari. Haluan kiittää Välisaarta asiantuntevasta ohjauksesta ja rakentavasta palautteesta, mitkä kehittivät ajatuksiani ja tutkielmaani eteenpäin. Haluan kiittää myös kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

Jyväskylässä 27.11.2024

Hilma Rantakangas

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	ii
Esipuhe	iii
1 Johdanto	1
2 Tieteellisen kirjoittamisen pedagogiikka	1
2.1. Kokeellisuus osana luonnontieteiden opiskelua.....	2
2.2 Tieteellinen lukutaito ja tieteellinen kirjoittaminen.....	3
2.3 Lukion opetussuunnitelma	5
3 Tieteellinen raportointi	7
3.1 Tieteellisten tekstien rakenne	8
3.1.1 IMRaD -rakenne.....	8
3.1.2. Työselostuksen rakenne.....	10
4 Työselostusten kirjoittaminen toisella asteella	12
4.1 Kirjoitusprosessin ohjaaminen	13
4.1.1 Yhteistoiminnallinen kirjoittaminen.....	14
4.1.2 Tieteellisen kirjoittamisen mallintaminen	15
4.1.3 Arviointimatriisi kirjoittamisen tukena	19
4.2 Tieteellisen kirjoittamisen arviointi.....	21
4.2.1 Arviointimatriisi tieteellisen kirjoittamisen arvioinnissa	24
4.2.2 Itsearviointi ja vertaisarviointi.....	24
4.3 Yleisimpiä haasteita	26
4.4 Oppimistuloksia	28
5 Orgaaniset yhdisteet ja isomeria	30
5.1 Stereoisomeria.....	31
5.1.1 Konformaatioisomeria ja enantiomeria	33
5.1.2 <i>Cis-trans</i> -isomeria	34
6 Tutkimuskysymykset	36
7 Tutkimusmenetelmät	36
7.1 Kyselytutkimus.....	36
7.2 Havainnointitutkimus	38
7.3 Aineistolähtöinen sisällönanalyysi	38
7.4 Tilastollinen analyysi	39
8 Tutkimusaineisto	39
8.1 Kyselytutkimus.....	39
8.2 Havainnointitutkimus	40
8.3 Sisällönanalyysi.....	40

9 Tutkimuksen toteutus	40
9.1 Ensimmäinen tunti: Teoreettisten sisältöjen käsittely	41
9.2 Toinen tunti: Kokeellinen työskentely	41
9.3 Kolmas tunti: Kokeellisen työn tulosten tutkiminen ja aiheen kertaus	41
10 Tulokset ja tulosten analysointi.....	42
10.1 Kyselytutkimuksen tulokset	42
10.1.2 Ennakkokysely	42
10.1.2.1 Kontrolliryhmä	42
10.1.2.2 Koeryhmä	43
10.1.2.3 Yhteenveto.....	45
10.1.3 Välikyselyn tulokset	45
10.1.4 Jälkikyselyn tulokset	46
10.2 Opettajan havainnointi	48
11 Yhteenveto.....	49
11.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin	49
11.2 Pohdinta.....	51
11.3 Tutkimuksen luotettavuuden ja eettisyyden tarkastelu.....	53
11.4 Jatkotutkimusaiheita	54
12 Kirjallisuus.....	56

Liitteet

1 Johdanto

Kirjoittaminen on merkittävä osa tieteellisen tutkimuksen tekemistä. Sen merkitys korostuu erityisesti luonnontieteiden opiskelussa, jossa kokeellisuus ja teoria kytkeytyvät vahvasti toisiinsa. Kokeellisesta työskentelystä raportoivien työselostusten kirjoittaminen on tullut osaksi lukio-opetusta, mikä on linjassa myös nykyisten lukion opetussuunnitelman perusteiden (LOPS2019) kanssa. Luonnontieteiden opiskelussa tietoa rakennetaan monien eri lähteiden, kuten oppikirjojen, omien havaintojen ja laboratoriomuistiinpanojen pohjalta. Työselostusten kirjoittaminen vaatii siis sekä kielellistä osaamista että kykyä jäsentää tietoa eri lähteistä.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään työselostusten kirjoittamista osana lukion kemian opintoja. Tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisia lähestymistapoja kokeellisesta työstä raportoivan työselostuksen kirjoittamiseen siten, että siitä voisi muodostua tehokas työkalu kemian sisällöllisen osaamisen edistämiseksi. Kirjallisuusosuudessa määritettiin sekä tieteellisen tekstin että siitä pohjautuvan työselostuksen rakenne ja pohdittiin sen soveltamista lukio-opintoihin. Lisäksi etsittiin tietoa kirjoitusprosessin yleisimmistä haasteista ja erilaista keinoista ohjata prosessia oppimisen kannalta mahdollisimman tehokkaasti. Kyselytutkimus koostui kolmesta eri kyselystä: ennakkokyselystä, välikyselystä ja jälkikyselystä. Kyselytutkimusten avulla kerättiin opiskelijoiden kokemuksia kirjoittamisesta ja kirjoittamisen haasteista, mitkä vahvistivat kirjallisuudesta etsittyjä tietoja. Lisäksi opiskelijoiden sisällöllistä osaamista mitattiin kyselytutkimuksen avulla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää työselostusten kirjoittamisen vaikutuksia kemian sisällölliseen oppimiseen, opiskelijoiden asenteita kirjoittamiseen sekä merkittävimmät ongelmakohdat.

2 Tieteellisen kirjoittamisen pedagogiikka

Luonnontieteiden koulutus on osa jokaista toisen asteen koulutussuunnitelmaa ympäri maailman. Luonnontieteitä eli fysiikkaa, kemiaa ja biologiaa pidetään matematiikan ohella yksinä tärkeimmistä oppiaineista. Näissä aineissa painotetaan erityisesti kriittisen ajattelun ja ongelmanratkaisun kehittämistä, jotka ovat keskeisiä taitoja tieteen tekemisessä.^{1,2} Oppiaineiden opettaminen ja oppiminen eroaa monin tavoin muista kouluaineista, sillä opetuksessa korostetaan kokeellisuutta ja havaintojen tekemistä.³ Opiskelijoiden odotetaan

osallistuvan kokeelliseen työskentelyyn, tekevän havaintoja ja raportoivan niistä muille kirjallisesti.⁴

2.1. Kokeellisuus osana luonnontieteiden opiskelua

Kokeellisuudella on ollut jo pitkään keskeinen rooli luonnontieteiden opettamisessa ja oppimisessa monista eri syistä. Sen tavoitteena on auttaa opiskelijoita saamaan parempi käsitys tieteen ja tieteellisen tutkimuksen luonteesta korostamalla havaintoihin ja tutkimukseen perustuvaa lähestymistapaa.^{3,5} Kokeellinen työskentely tarjoaa opiskelijoille mahdollisuuden arvioida tietoa kriittisesti, tehdä johtopäätöksiä sekä viestiä tieteellisistä tuloksista.⁶ Kokeellisuuden merkitys korostuu opetussuunnitelmissa, oppikirjoissa sekä jo opettajankoulutuksessa. Laboratoriotöiden tekeminen nähdään oleellisena osana opiskelijoiden tieteellisen tiedon kehittämistä.^{3,5}

Laboratoriotöiden korostaminen osana tiedekasvatusta on kohdannut myös kritiikkiä, sillä suoraa yhteyttä laboratoriotyöskentelyn sekä käsitteellisen että teoreettisen tiedon oppimisen välillä on harvoin onnistuttu osoittamaan tutkimusten avulla.^{3,5} Kokeellisuutta on kritisoitu esimerkiksi siitä, ettei työskentelylle aseteta selkeitä tavoitteita. Kritiikkiä on tullut toisaalta myös tavoitteiden liiallisesta määrästä. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että opiskelijoiden ja opettajien näkemykset tavoitteista eroavat usein toisistaan.^{7,8} Opettajien tulisi siis asettaa laboratoriotyöskentelylle selkeät tavoitteet ja varmistaa, että myös opiskelijat ymmärtävät työskentelyn merkityksen. Siihen, mitä opiskelijat pitävät laboratoriotyöskentelyssä tärkeänä vaikuttavat yleensä opettajan omat tavoitteet. Opettajan ja opiskelijan välisen vuorovaikutuksen kokeellisen työskentelyn aikana on havaittu vaikuttavan siihen, mitä opiskelijat pitävät tärkeänä oppia.⁹

Kritiikistä huolimatta kokeellisuus on tehokas ja toimiva opetusväline joidenkin tiedekasvatuksen tavoitteiden saavuttamiseksi.^{3,5} Kokeellisen työskentelyn on havaittu kehittävän opiskelijoiden tutkimustaitoja, kriittistä ajattelua sekä ongelmanratkaisukykyä. Kokeellinen työskentely antaa opiskelijoille mahdollisuuden harjoitella johtopäätösten muodostamista, tulosten raportointia sekä argumentointia. Lisäksi kokeellisuuden tekeminen voi vaikuttaa positiivisesti sekä opiskelijoiden asenteisiin että kiinnostukseen luonnontieteitä kohtaan. Sen sanotaan auttavan myös hahmottamaan, miten tiede liittyy jokapäiväiseen

elämään. Laboratoriotyöskentelyn yksi tärkeä tavoite onkin teorian yhdistäminen käytäntöön. Kokeellinen työskentely tarjoaa lisäksi opettajille mahdollisuuksia monipuolistaa opetusta sekä tarjota opiskelijoille erilaisia oppimisympäristöjä.^{3,5,6,9}

Kokeellisuuden toteuttaminen toisen asteen opinnoissa on tuonut mukanaan myös haasteita. Opettajat ovat esimerkiksi raportoineet, että toisinaan opiskelijoita on haastavaa motivoida osallistumaan kokeellisuuteen.^{1,10} Myös kokeellisuuden arviointi on koettu haasteelliseksi.¹

2.2 Tieteellinen lukutaito ja tieteellinen kirjoittaminen

Kuten empiirinen tiedonkeruu ja kokeellisuus, myös erilaiset tekstit, mukaan lukien työselostukset, ovat olennainen osa tiedettä ja sen tekemistä.⁶ Esimerkiksi *The National Research Council*¹ määrittelee tieteellisen tiedon välittämisen yhdeksi tieteen keskeisimmistä osa-alueista. Tieteellisten tekstien kirjoittaminen ja raportointi ovat osa tieteen luonnetta, sillä uusien tutkimusten ja havaintojen raportointi muulle tiedemaailmalle on ehto uuden tiedon jakamiselle ja leviämislle.^{11,12} Tieteellisen lukutaidon kehittäminen onkin ollut tiedekasvatuksen tavoite jo pitkään.^{10,11,13}

Tieteellisen lukutaidon käsitettä käytetään usein ilmaisemaan, mitä kaikkea luonnontieteiden opetuksen tulisi sisältää ja se onkin tuttu useimmille luonnontieteiden opettajille. Käsitteelle ei kuitenkaan ole olemassa yhtä yksiselitteistä määritelmää.¹⁴ Tieteelliseen lukutaitoon sisältyvät esimerkiksi kyky rakentaa tieteellisiä käsityksiä ja selittää luonnonilmiöitä, ymmärrys tieteen luonteesta ja sen rajoituksista sekä tehokas tieteellinen viestiminen muille. Erityisesti lukeminen, tieteellinen kirjoittaminen ja tieteen kielen ymmärtäminen luovat perustaa tieteelliselle lukutaidolle.^{10,15}

Tieteellisten tekstien tuottaminen on merkittävässä osassa tieteellisen lukutaidon ja tieteen luonteen ymmärtämisen kehittämisessä.¹³ Tieteellinen kirjoittaminen antaa opiskelijoille tarvittavia välineitä ilmaista ajatuksiaan selkeästi oikeita käsitteitä käyttäen ja mahdollistaa osallistumisen tieteelliseen keskusteluun.¹⁶ Tieteellinen kirjoittaminen vaatii ajattelua, reflektointia sekä henkilökohtaisten merkitysten saavuttamista.¹⁷ Tieteen kirjoitustyyli poikkeaa monista muista kirjoittamisen muodoista ja se on taito, jota opiskelijoiden on

harjoiteltava.¹⁷⁻¹⁹ Monet oppikirjat ja jopa opettajat esittävät tieteen usein suoraviivaisena menetelmänä tuottaa tietoa ja löytää ratkaisuja. Todellisuudessa tieteellinen tieto kehittyy monien yritysten, virheiden ja yhteistyön kautta.^{13,20}

Kokeellisesta työstä kirjoitettu kirjallinen raportti kehittää opiskelijoiden kykyä etsiä tietoa, analysoida saatuja tuloksia ja tehdä johtopäätöksiä.¹⁹ Kirjallisia raportteja kirjoittaessa opiskelijat näkevät konkreettisesti, kuinka epävirallisista laboratoriomuistiinpanoista muodostuu virallinen tieteellinen teksti, jonka avulla pyritään välittämään selkeästi tutkimuksen tuloksia ja niistä tehtyjä johtopäätöksiä. Lisäksi raporttien kirjoittaminen omien havaintojen ja muistiinpanojen pohjalta korostaa tieteen tekemisen henkilökohtaista luonnetta.¹³

Luonnontieteiden opiskelussa myös kielen ja käsitteiden rooli korostuu merkittävästi, sillä monet arkipäiväiset sanat saavat uusia merkityksiä. Tutkijat ovatkin ehdottaneet, että kemian opetuksessa keskityttäisiin enemmän tieteen kielen ja käsitteiden rooliin erityisesti toiseen asteen koulutuksessa.² Esimerkiksi lukion opetussuunnitelma perusteissa (LOPS2019) korostetaan kemian osalta käsitteisiin ja kemian kieleen tutustumista.²¹ Rakentaakseen tieteellisiä käsityksiä, opiskelijoiden täytyy ymmärtää tieteessä käytettyjen käsitteiden merkitys ja osata soveltaa niitä.²²

Ymmärrys konstruktivistisesta oppimisteoriasta luonnontieteiden opiskelussa on lisännyt tieteelliselle kirjoittamiselle painoarvoa. Konstruktivistiset oppimisteoriat korostavat, että opiskelijoiden tulisi rakentaa itse omaa ymmärrystään tieteestä. Tieteellistä kirjoittamista pidetään tärkeänä välineenä tiedon rakentamisessa, sillä sen nähdään auttavan aiemmin opitun tiedon yhdistämisessä uuteen tietoon sekä tekstin ja selitysten rakentamisessa erilaisten lähteiden, kuten keskusteluiden ja laboratoriomuistiinpanojen, pohjalta.¹³

Tutkiva oppiminen on noussut suureen osaan luonnontieteiden opetusta 2000-luvulla ja esimerkiksi Keys *et al.*^{3,13} ovat kehittäneet tutkivaan oppimiseen perustuvan opetustyökalun tieteellisen kirjoittamisen tueksi. Tutkiva oppiminen kehittää opiskelijoiden kykyjä tieteellisten kysymysten esittämiseen, hypoteesien asettamiseen, tieteellisen tutkimuksen suunnittelemiseen ja tieteellisten selitysten rakentamiseen. Lisäksi opiskelijoiden argumentointitaitojen on huomattu kehittyvän. Nämä taidot ovat keskeisiä tieteellisen lukutaidon kehittymisessä.³

2.3 Lukion opetussuunnitelma

Luonnontieteellinen lukutaito, sisältäen tieteellisten tekstien kirjoittamisen, on keskeinen osa tiedekasvatusta, sillä se tukee opiskelijoiden kriittistä ajattelua sekä ongelmanratkaisutaitoja.^{13,21} Myös lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS2019) nostetaan esille tieteellisten tekstien kirjoittamisen monessa eri muodossa.²¹

Käsitteillä on iso merkitys kemian opiskelussa. Lukion opetussuunnitelman perusteissa²¹ opettajia kehoitetaan hyödyntämään monipuolisia opetusmenetelmiä, jotka kehittävät opiskelijoiden käsitteellistä osaamista sekä tutustuttamaan opiskelijoita kemian kieleen ja erilaisiin tapoihin rakentaa tietoa.²¹

”Opetuksessa perehdytään oppiaineen ja sen taustalla olevien tieteenalojen kieleen, käsitteistöön ja tapoihin rakentaa tietoa.”²¹

Opetussuunnitelman perusteissa mainitaan, että kokeellisuus tukee käsitteiden ymmärtämistä ja omaksumista.²¹ Kokeelliseen työskentelyyn voi sisältyä myös erilaisten tekstien, kuten työselostusten ja raporttien, tuottamista, sillä kirjoittamisen ajatellaan olevan tärkeä väline uuden tiedon ja käsitteiden oppimiselle. Lisäksi opiskelija harjoittelee tieteellisen tiedon rakentamista erilaisten aineistojen, kuten laboratoriomuistiinpanojen pohjalta.^{13,17} Työselostusten kirjoittaminen tuo myös vaihtelua kemian opetukseen ja opiskeluun.

Opetussuunnitelman perusteissa nostetaan esille myös luonnontieteellisen lukutaidon kehittyminen sekä kriittisen ajattelun taidot.²¹ Myös Keys *et al.*¹³ korostavat luonnontieteellisen lukutaidon ja kriittisen ajattelun yhteyttä. He painottavat erityisesti tieteellisen kirjoittamisen merkitystä luonnontieteellisen lukutaidon kehittämisessä. Key *et al.*¹³ mukaan tiedekasvatuksen tehtävät on suunniteltu yleensä siten, että ne auttavat opiskelijoita arvioimaan saamaansa tietoa kriittisesti, keskustelemaan ideoista sekä tukemaan väitteitä erilaisilla todisteilla. Tällaiset prosessit kehittävät opiskelijoiden kriittistä ajattelua sekä ongelmanratkaisutaitoja, mitkä ovat tärkeitä ominaisuuksia tieteellisen lukutaidon kehittämisessä.¹³

*”Opiskelijan luonnontieteellinen lukutaito kehittyy, mikä auttaa opiskelijaa arvioimaan kriittisesti erilaisia arjen valintoja sekä näkökulmia yhteiskunnallisessa keskustelussa.”*²¹

Vaikka tieteellisen lukutaidon kehittymistä pidetään yhtenä tiedekasvatuksen tärkeimmistä tavoitteista^{11,13}, kaikki opiskelijat eivät ole harjoitelleet tieteellisten tekstien kirjoittamista ennen yliopisto-opintoja²³⁻²⁵. Esimerkiksi Kalaskas²³ havaitsi, että ainoastaan puolet hänen yliopisto-opiskelijoistaan oli harjoitellut työselostusten tai raporttien kirjoittamista ennen opintoja yliopistossa. Lähes kaikki opiskelijat kertoivat kokevansa turhautumista ja epävarmuutta siitä, mikä työselostus on, miten se kuuluu tehdä ja miksi työselostuksia kirjoitetaan.²³ Monelle opiskelijalle ensimmäinen kosketus tieteelliseen kirjoittamiseen tapahtuu korkeakouluopintojen aikana.²⁴

Kokeellisesta työstä raportoiva työselostus tai raportti on kansainvälisesti yliopistotasolla luonnontieteiden ja tekniikan opiskelijoilla yleisimmin käytössä oleva kirjallinen työ.^{23,26} Koska lukion opetussuunnitelma²¹ kehottaa opettajia suunnittelemaan opetustaan siten, että opiskelijoilla on valmiuksia menestyä jatko-opinnoissa lukiosta valmistumisen jälkeen, pitäisi tieteellisen kirjoittamisen harjoittaminen sisällyttää osaksi opetusta. Kokeellinen työskentely ja siihen liittyvä tieteellinen raportointi ovat keskeisessä osassa opiskelijoiden valmistamisessa jatko-opintoihin ja työelämään.²³

*” Opetus herättää kiinnostusta kemian opiskelua ja kemian alan ammatteja kohtaan sekä antaa valmiuksia menestyä jatko-opinnoissa luonnontieteellisillä ja luonnontieteitä soveltavilla aloilla.”*²¹

Työselostusten kirjoittamisen oppimistavoitteet liittyvät syvemmän tieteellisen ymmärryksen rakentamiseen sekä tieteellisen ajattelun kehittämiseen. Luonnontieteiden opiskeluun liittyy usein termien ja käsitteiden ulkoa opettelua ilman syvempää ymmärrystä aiheesta. Kokeellisuudella ja työselostusten kirjoittamisella pyritään poistamaan tällaisia käsityksiä tieteen oppimisesta.^{17,27} Opetussuunnitelman tekstissä korostuvat erityisesti tutkimustaitojen harjoittelu sekä opiskelijan omiin havaintoihin ja kokemuksiin perustuva opetus pelkän käsitteisiin nojautuvan opiskelun sijaan.²¹ Tutkimustaitoihin kuuluvat esimerkiksi havaintojen tekeminen, kokeellisuus, käsitteellinen osaaminen sekä kriittisen ajattelun ja argumentoinnin taidot.

*”Opiskelun edetessä tutkimisen taidot kehittyvät sekä kokonaisvaltaisesti että kunkin moduulin keskeisten sisältöjen osalta. Tutkimisen taitojen perustana on kysymysten ja havaintojen tekeminen.”*²¹

Tutkimustaitoihin voidaan sisällyttää myös tiedon käsittelyn ja esittämisen taidot, jotka mainitaan opetussuunnitelmassa.²¹ Oman tutkimuksen raportointi työselostusten tai muiden tieteellisten tekstien välityksellä on tärkeä osa tieteen luonnetta.^{11–13} Tieteellisten tekstien kirjoittaminen harjoittaa opiskelijan kykyä jäsentää tietoaan erilaisista lähteistä, kuten omista havainnoista ja laboratoriomuistiinpanoista. Lisäksi kyky analysoida tuloksia ja tehdä johtopäätöksiä kehittyi.¹⁹ Tieteellinen kirjoittaminen edistää myös tieteellisen lukutaidon kehittymistä, joka nähdään tärkeänä osana luonnontieteiden koulutusta sekä opetussuunnitelmia.^{11,21}

3 Tieteellinen raportointi

Tutkijoilla on velvollisuus raportoida tehdyistä havainnoista muulle tiedemaailmalle, erityisesti, jos tehdyt havainnot tai saadut tulokset täydentävät aiempia tuloksia tai ovat ristiriidassa niiden kanssa.²⁸ Tieteellisen tutkimuksen raportoinnin tavoitteena on välittää tietoa loogisesti ja järkevästi noudattaen tieteenalalle ominaista tyyliä. Raportissa tiedot tulee esittää ytimekkäästi ja objektiivisesti muodollista kirjoitustyyliä noudattaen.¹⁶ Sen tarkoituksena on perustella tutkimuksen ja tulosten merkityksellisyyttä aiemman tutkimustiedon valossa. Lisäksi sen on annettava riittävät tiedot tutkimusmenetelmistä ja teoriasta, jotta tutkimus on toistettavissa. Raportoinnissa tulee myös esittää tulokset sekä niistä tehdyt johtopäätökset perusteluineen.⁴

Työselostus on tarkka ja tiivis kuvaus, jossa raportoidaan tehdystä tutkimuksesta. Se voi sisältää asiakielisen tekstin lisäksi myös kuvia ja kaavioita. Työselostuksessa työhön liittyvästä teoriasta, käytännön toteutuksesta ja tuloksista muodostetaan yhtenäinen selkeä kokonaisuus. Tavoitteena on, että raportin lukija kykenisi toistamaan suoritettun työhön siihen liittyvät taustat ymmärtäen.^{29,30} Työselostukset ovat oleellinen osa laboratoriotöiden tekemistä ja niitä kirjoitetaan sekä työelämässä että osana opintoja tehtävissä oppilastöissä.

3.1 Tieteellisten tekstien rakenne

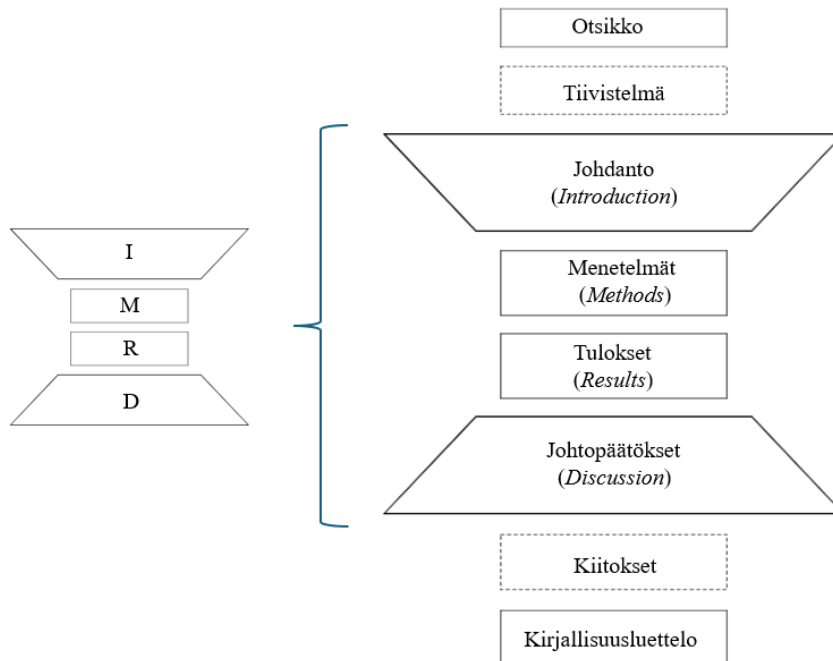
Tutkimusraporteille on kehitetty yhteinen ydinrakenne, joka ohjaa tutkijoita kirjoittamaan johdonmukaisia raportteja tehdyistä tutkimuksista.^{28,31} Yhteisestä ydinrakenteesta on kuitenkin monia eri variaatioita eri tieteenalojen mukaan.³¹ Tässä luvussa tutustumme luonnontieteissä yleisimmin käytössä olevaan raportointimuotoon sekä työselostusten rakenteeseen.

3.1.1 IMRaD -rakenne

Yleisesti käytössä olevaa tieteellisen tekstin rakennetta, joka sisältää johdannon (*introduction*), menetelmät (*methods*), tulokset (*results*) ja yhteenvedon (*discussion*), kutsutaan IMRaD-rakenteeksi (*introduction-methods-results-discussion*).^{28,31,32} Rakennetta alettiin käyttämään tiedejulkaisuissa 1940-luvulla ja se otettiin käyttöön laajemmin 1970-luvun lopulla. Useiden tutkijoiden mukaan IMRaD-mallin yksi suuri hyöty on, että se ohjaa kirjoittajaa kirjoittamaan johdonmukaisia tekstejä, jotka käsittelevät tutkimuksen ymmärtämisen kannalta oleellisia kysymyksiä. Osittain tämän takia ydinrakenne otettiin nopeasti käyttöön lähes kaikissa tiedejulkaisuissa sen ilmestyttyä.³²

IMRaD-rakenne on esitetty kuvassa 1. Kaavion osien leveys ilmaisee kirjoitetun tekstin laajuutta. Esimerkiksi johdanto aloitetaan kertomalla käsiteltävästä aiheesta laajemmin, jonka jälkeen keskitytään tarkemmin artikkelin aiheeseen. Menetelmissä ja tuloksissa keskitytään käsiteltävään aiheeseen, kun taas johtopäätöksissä pohditaan saatuja tuloksia laajemmassa mittakaavassa.^{31,32}

Kuvasta 1 huomataan, että IMRaD-rakenteeseen voidaan liittää muitakin osia, kuin johdanto, menetelmät, tulokset ja johtopäätökset. Useista nykyajan tutkimusraporteista löytyykin ydinrakenteen lisäksi myös muita vakiintuneita osioita, kuten otsikko (*title*), tiivistelmä (*abstract*), kiitokset (*acknowledgements*) ja kirjallisuusluettelo (*references*).^{32,33} Tieteen ja tekniikan kehittyessä myös IMRaD-rakenne on kehittynyt. Esimerkiksi joissain lähteissä puhutaan AIMRaD-rakenteesta, jolloin tiivistelmä on sisällytetty osaksi ydinrakennetta. Myös kiitokset ja kirjallisuusviitteet mielletään usein osaksi tieteellisen tekstin ydinrakennetta.^{31,32}



Kuva 1. Tieteellisen artikkelin rakennetta kuvaava IMRaD-rakenne (*introduction-methods-results-discussion*).³¹

Tieteellisen artikkelin jokaisella osalla on oma tarkoituksensa. Tiivistelmässä esitetään ytimekkäästi työn tarkoitus, menetelmät, saadut tulokset ja tuloksista tehdyt johtopäätökset.^{29,32} Johdannossa kerrotaan tehdyn tutkimuksen tarkoitus, tutkimuksen yhteys jo aiemmin olemassa olevaan tietoon sekä tutkimuskysymykset.^{31,32} Menetelmät-osiossa kirjoittajan tulee vastata kysymykseen ”Miten tutkimus tehtiin?”. Osiossa kuvataan tutkimusasetelma, käytetyt laitteet, kokeellisen osuuden suoritus sekä analyysimenetelmät sillä tarkkuudella, että tutkimus olisi toistettavissa annettujen tietojen pohjalta.³² Tuloksissa esitellään saadut tulokset ja tehdyt havainnot ilman tulkintaa. Tulokset voidaan esittää esimerkiksi taulukoiden ja kuvaajien avulla havainnollistettuna. Yhteenvedossa saatuja tuloksia ja tehtyjä havaintoja tulkitaan ja analysoidaan. Osiossa vastataan tutkimuskysymyksiin ja tuloksia verrataan aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Yhteenvedossa tutkija esittelee myös mahdollisia jatkotutkimusaiheita.³² Kirjallisuusviitteissä esitetään kirjoittamisen tukena käytetyt lähteet.²⁹

3.1.2. Työselostuksen rakenne

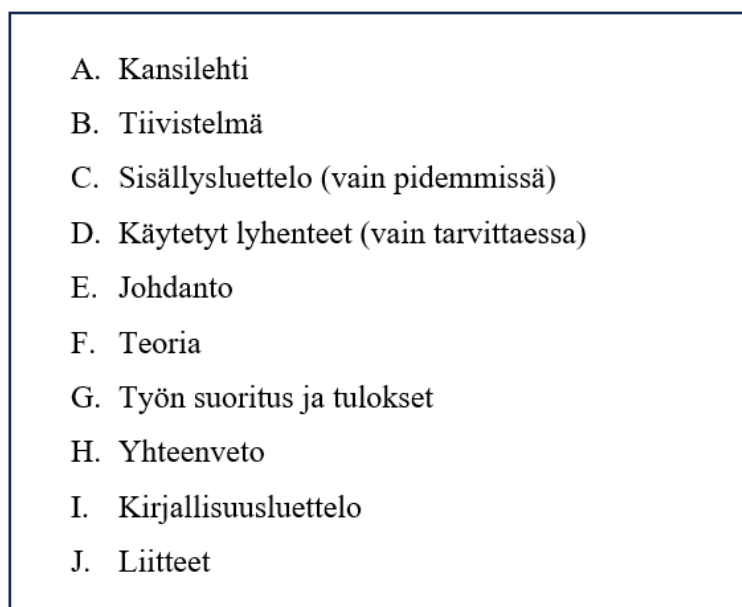
Työselostusten rakenteen ja tyylin taustalla vaikuttavat kansainväliset tutkimusraportit ja niiden rakenne.³⁴ Selostuksen tulee olla rakenteeltaan selkeä ja johdonmukainen sekä edetä loogisesti. Vaikka työselostukselle ei yleensä aseteta tiettyjä sivumääriä, sen tulee olla tiivis kuvaus tehdystä työstä.³⁴ Työselostusta voidaankin kuvailla tekstinä, joka mukailee tieteellisen kirjoittamisen IMRaD-rakennetta.^{23,33}

Kuten tieteellisissä artikkeleissa, myös työselostuksissa jokaisella osiolla on oma tarkoituksensa. Tiivistelmässä kerrotaan ytimekkäästi työn tarkoitus ja tärkeimmät tulokset. Johdannossa kerrotaan lukijalle työn tarkoitus ja selitetään, miten se liittyy jo olemassa olevaan tutkimustietoon aiheesta. Johdannon jälkeen esitellään työssä käytetyt materiaalit ja kuvataan työn suoritus yksityiskohtaisesti siten, että lukijan olisi mahdollista toistaa työ annettujen tietojen perusteella. Tuloksissa esitetään lukijalle työstä saatua dataa. Saatu data voidaan esittää esimerkiksi taulukoiden tai kuvien avulla. Pohdinnassa esitetään saaduista tuloksista tehdyt johtopäätökset. Lisäksi pohditaan mahdollisia virhelähteitä sekä tulosten merkityksellisyyttä. Pohdinnasta käytetään joissain lähteissä myös nimitystä yhteenveto.^{28,29,34–37} Erityisesti pohdinnan ja johtopäätöksen kirjoittamista pidetään kaikkein opettavaisimpina osioina, sillä niitä kirjoittaessa opiskelija pääsee muodostamaan päätelmiä sekä selittämään tekemiään havaintoja teorian avulla.³⁸

Työselostusten rakenteissa on pieniä eroja tieteenalan mukaan. Fysiikan ja kemian alalla työselostukset sisältävät yleensä ainakin kansilehden, johdannon, teorian, työn suorituksen, tulokset, yhteenvedon, kirjallisuuden sekä liitteet.^{29,34,35} Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen ohjeistuksen mukainen työselostuksen rakenne on esitetty kuvassa 2.

Korkeakouluissa tehdyt työselostukset mukailevat tieteellisissä artikkeleissa käytettyä IMRaD-mallia enemmän kuin yläkoulussa ja toisella asteella kirjoitettavat raportit.^{29,36,37} Kuvasta 2 voidaan havaita, että esimerkiksi Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella tehtävistä työselostuksista löytyy IMRaD-rakenne eli johdanto, menetelmät, tulokset ja yhteenveto. Ydinrakenteen lisäksi työselostuksista löytyy myös tiivistelmä, sisällysluettelo, lyhenteet, teoria, kirjallisuusluettelo ja liitteet. Sisällysluetteloä käytetään pidemmissä selostuksissa, jotta lukijan on helpompi hahmottaa esitetyt asiat. Jos työselostus sisältää paljon lyhenteitä, ne voidaan esittää erillisenä listana. Lyhenteet on kuitenkin avattava myös tekstissä. Kemian alalla

kirjoitetut työselostukset voivat sisältää usein myös mittauspöytäkirjan, spektrejä, taulukoita ja muita isoja tiedostoja. Näitä tiedostoja kutsutaan liitteiksi ja ne sijoitetaan selostuksen loppuun omaan osioon.²⁹

- 
- A. Kansilehti
 - B. Tiivistelmä
 - C. Sisällysluettelo (vain pidemmissä)
 - D. Käytetyt lyhenteet (vain tarvittaessa)
 - E. Johdanto
 - F. Teoria
 - G. Työn suoritus ja tulokset
 - H. Yhteenvedo
 - I. Kirjallisuusluettelo
 - J. Liitteet

Kuva 2. Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen ohjeistuksen mukainen työselostuksen rakenne.²⁹

Yläkoulussa ja toisella asteella työselostusten rakenne on usein tiiviimpi kuin tieteellisessä raportoinnissa käytetyssä muodossa ja rakenteen vaihtelevuus on suurta. Työselostukset sisältävät yleensä otsikon, lyhyen kuvauksen työn tarkoituksesta ja työn taustalla olevasta teoriasta, käytännön toteutuksen sekä tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset.^{8,30,38,39} Selostuksista löytyy siis myös samoja piirteitä kuin IMRaD-rakenteesta kohderyhmälle suhteutetulla tasolla. Lyhyen kuvauksen työn tarkoituksesta voidaan ajatella mukailevan johdantoa. Käytännön toteutuksesta löytyy samoja piirteitä kuin tieteellisen artikkelin menetelmistä. Tulosten lisäksi työselostuksista löytyy usein myös johtopäätökset, joka mukailee yhteenvedon kirjoittamista. Sekä tieteellisten raporttien että työselostusten tavoitteena on siis esitellä empiirisiä menetelmiä, kokeellisia tuloksia sekä kirjoittajan tekemiä päätelmiä perusteluineen.

Rakenteissa on kuitenkin myös eroja liittyen kirjoittajan ja lukijan väliseen suhteeseen sekä kirjoittamisen tavoitteisiin. Tutkijat raportoivat kollegoilleen käytetyistä menetelmistä sekä saaduista tuloksista ja havainnoista suhteessa aikaisemmin tehtyyn tutkimukseen.^{23,30}

Opiskelijat käyttävät usein työskennellessään tutkimusmenetelmiä, joita on jo aikaisemmin testattu ja raportit on suunnattu yleensä opettajien tai ohjaajien luettavaksi.^{17,30} Työselostusten kirjoittamisen pääpaino onkin sisältöjen oppimisessa sekä teorian ja kokeellisuuden yhteyden havaitsemisessa. Kirjallinen raportti kokeellisesta työskentelystä ja sen tuloksista mahdollistaa opiskelijan pohdinnan ja reflektoinnin, mikä voi parantaa oppimistuloksia.³⁰ Työselostukset toimivat siis oppimisen ja arvioinnin välineenä, joiden tavoitteena on kehittää opiskelijoiden tieteellistä ajattelua sekä luonnontieteiden ymmärtämistä.^{23,38}

4 Työselostusten kirjoittaminen toisella asteella

Sekä suullisen että kirjallisen kommunikoinnin on tiedostettu jo pitkään olevan ratkaisevassa osassa luonnontieteiden ja matematiikan opiskelun sekä opiskelijoiden valmistumisen ja tulevaisuudessa työllistymisen kannalta.⁴⁰ Kokeellisesta työstä raportoiva työselostus tai raportti onkin kansainvälisesti yliopistotasolla luonnontieteiden ja tekniikan opiskelijoilla yleisimmin käytössä oleva kirjallinen työ.^{16,23} Tieteellisen argumentoivan tekstin kirjoittaminen voi auttaa opiskelijoita hahmottamaan tieteen luonnetta. Opiskelijat myös usein ymmärtävät sisältötietoa paremmin kirjoitusprosessin jälkeen, sillä siihen sisältyy esimerkiksi sisältöjen pohdiskelua, tiedonkäsittelyä sekä väitteiden ja perustelujen muodostamista.⁴¹

Toisen asteen luonnontieteiden koulutuksessa kirjoittamisen tulisi heijastaa sekä pedagogista että oppiainelähtöistä näkökulmaa.^{39,42} Työselostusten kirjoittamisen tulisi siis osittain kuvastaa tieteellisen kirjoittamisen piirteitä, mutta samalla myös auttaa opiskelijoita ymmärtämään tieteellisiä merkityksiä ja käsitteitä. Myös kirjoittamisen merkityksellisyydellä on tärkeä rooli oppimisen kannalta. Opiskelijoiden kirjoitustehtävien tulisi keskittyä tiedon rakentamiseen, eikä vain sen kertomiseen tai sen toistamiseen.⁴¹

Työselostusten kirjoittaminen voidaan nähdä helposti yksinkertaisena ja suoraviivaisena tehtävänä. Todellisuudessa se on kuitenkin paljon vaativampi ja monimutkaisempi prosessi.³³ Kirjoittaessa tieteellistä tekstiä opiskelijoilta vaaditaan paljon pohdintaa sekä perusteluja saatuihin tuloksiin ja tehtyihin havaintoihin. Heidän on esitettävä todisteita väitteiden tueksi ja verrattava omia tuloksiaan jo olemassa olevaan tutkimustietoon. Tällaiset ajattelumallit kehittävät opiskelijoiden ymmärrystä tieteen luonteesta, mikä on tärkeä osa luonnontieteiden

koulutusta.^{4,39} Lisäksi opiskelijoille on tärkeää painottaa, että työselostuksen kirjoitusprosessi alkaa jo ennen kokeellisen työn aloittamista ja jatkuu työn suorittamisen aikana sekä sen jälkeen. Työselostuksen kirjoittaminen ei siis tapahdu ainoastaan silloin, kun kokeellinen osuus on suoritettu. On tärkeää, että opiskelijat ymmärtävät esimerkiksi havaintojen tekemisen merkityksen jo kokeellisen työskentelyn aikana.³⁹

Työselostusten kirjoittaminen poikkeaa monista muista kirjoitustyyleistä ja on taito, jota opiskelijoiden tulisi harjoitella.^{18,19} Työselostusten kirjoittamisen tärkeinä tavoitteina ovat opiskelijoiden aktiivinen osallistaminen tieteen tekemiseen sekä selkeiden yhteyksien luominen teorian ja kokeellisen työskentelyn välille.^{27,43} Työselostusten kirjoittaminen koetaan kuitenkin haasteelliseksi jopa kansainvälisellä tasolla²³ ja luonnontieteiden opiskelijoiden kirjoitustaitojen yleisestä heikkoudesta erityisesti toisen asteen jälkeen on raportoitu paljon viime vuosina.⁴⁴ Tieteellisen kirjoittamisen opettaminen ja ohjaaminen onkin ollut opettajien suuri huolenaihe jo useiden vuosien ajan.⁴⁵

4.1 Kirjoitusprosessin ohjaaminen

Tiedekasvatuksessa on tutkittu useita erilaisia lähestymistapoja sekä työkaluja tieteellisen kirjoittamisen ohjaamiseen ja ohjeistamiseen.^{23,40} Kun opiskelijat pohtivat kokeellisen työskentelyn tavoitteita sekä tehtyjen havaintojen ja saatujen tulosten merkitystä, vuorovaikutus vertaisten ja opettajan kanssa on olennainen osa ajatteluprosessia.⁸ Ohjattu kirjoittamisprosessi voi parantaa tieteellistä osaamista ja ymmärtämistä huomattavasti.⁶

Tutkimukset ovat osoittaneet, että palautteen saaminen ja antaminen ovat tärkeitä tekijöitä kirjoittamisen ohjaamisessa ja kirjoitustaitojen kehittämisessä^{40,41,46,47}. Opettajan tai ohjaajan tulisi antaa opiskelijoille palautetta useita kertoja kirjoitustyön edetessä, sillä säännöllinen palaute ohjaa opiskelijoiden oppimisprosessia.^{46,47} Palautetta voi saada opettajan lisäksi myös vertaisiltaan. Esimerkiksi yhteistoiminnallisessa kirjoittamisessa ja ryhmitöissä opiskelijat pääsevät antamaan toisilleen palautetta kirjoittamisesta, kuten esimerkiksi kirjoitusasusta tai tekstin johdonmukaisuudesta. Palautteen avulla opiskelija voi myös oppia tunnistamaan omia heikkouksiaan ja vahvuuksiaan kirjoittajana.⁴⁶

4.1.1 Yhteistoiminnallinen kirjoittaminen

Tiedekasvatuksessa tulisi ottaa huomioon tiedon sosiaalinen ja dialoginen luonne. Tieteellistä lukutaitoa voidaan kehittää muun muassa argumentoinnin avulla, mikä kehittää samalla myös opiskelijoiden kriittisen arvioinnin taitoja.²⁰ Ryhmissä toimiminen tarjoaa oppilaille lisäksi monenlaisia mahdollisuuksia havainnoida vertaistensa ongelmanratkaisua, tieteellistä keskustelua sekä tieteen kielen käyttämistä.⁴³ Näistä syistä on tärkeää, että opiskelijat osallistuvat aktiivisesti keskusteluihin ja ryhmätoimintaan luonnontieteiden opiskelussa^{20,43} Yhteistoiminnallisessa työskentelyssä ilmapiirin tulisi siis olla avoin, jotta se kannustaisi opiskelijoita omien ajatusten, ideoiden ja perustelujen esille tuomiseen.

Tieteellinen kirjoittaminen on harvoin pelkästään yksilötyöskentelyä⁴⁸ ja opiskelijoille onkin hyödyllistä päästä neuvottelemaan tuloksista ja havainnoista vertaistensa kanssa.³⁹ Esimerkiksi Keys *et al.*⁴³ raportoivat yhteistyöhön perustuvan vertaiskeskustelun antaneen kognitiivista tukea työselostusten kirjoittamiselle yhdeksäsluokkalaisilla opiskelijoilla.⁴³ Yhteistoiminnallisesta oppimisesta onkin tulossa yhä yleisempää luonnontieteiden opiskelussa ja siihen sisältyy usein myös yhteistoiminnallinen kirjoittaminen.^{24,43}

Usein opiskelijat voivat myös kokea monimutkaisen ja monisivuisen tieteellisen tekstin kirjoittamisen tieteen kielellä haastavaksi ja jopa pelottavaksi. Jos opiskelijoita pyydetään kirjoittamaan työselostuksen kaikki osiot kerralla, tehtävä voi tuntua ahdistavalta ja ylivoimaiselta varsinkin silloin, jos työselostusta kirjoitetaan vasta ensimmäisiä kertoja. Onkin havaittu, että monia opiskelijoita helpottaa, jos työselostuksen kirjoittaminen jaetaan pienempiin osioihin. Tällöin keskittyminen siirtyy koko projektista yhden osion harjoitteluun.⁴⁰ Kun kirjoitustehtävät ovat tiiviimpiä, niiden työstämiseen voidaan käyttää enemmän aikaa kuin kokonaisen työselostuksen kirjoittamisessa.⁹ Tällöin opiskelijat kehittyvät ja saavat itsevarmuutta jopa suurempien projektien kirjoittamiseen.⁴⁰

Yhteistoiminnallinen kirjoittaminen on yksi tapa laajentaa luonnontieteellisten käsitteiden käytön ja ilmaisun mahdollisuuksia.⁴³ Yhteistoiminnallinen kirjoittaminen on prosessi, jossa ryhmä keskittyy yhteiseen tavoitteeseen eli yhteisen tekstin tuottamiseen. Kirjoittamiseen voidaan hyödyntää monia erilaisia tekniikoita ryhmän toiminnasta ja dynamiikasta riippuen.⁴⁸ Kun oppilaat kirjoittavat yhdessä kokeellisesta työskentelystä raportoivia työselostuksia, he voivat yhdessä muotoilla, muokata ja arvioida toistensa kirjoittamista, mikä kehittää myös

argumentointitaitoja.^{43,48} Yhteistoiminnallinen kirjoittaminen voi auttaa opiskelijoita myös jäsentämään tieteellistä tietoa vertaiskeskustelujen kautta.⁴³ Kirjoittamisessa on kuitenkin tärkeää sopia tarkasti roolit ja vastualueet, jotta työmäärä jakautuu kirjoittajien kesken tasapuolisesti. Vastualueiden jakaminen ja lyhyempien tekstiosuuksien kirjoittaminen helpottaa myös noudattamaan annettuja aikatauluja.^{40,46}

4.1.2 Tieteellisen kirjoittamisen mallintaminen

Mallintaminen on vakiintunut menetelmä ohjata opiskelijoita kirjoittamaan halutulla tavalla.^{38,40,41} Sillä erilaisten mallipohjien ja esimerkkien käytön on todistetusti huomattu parantavan opiskelijoiden kirjoitustaitoja.⁴⁹ Keysin⁵⁰ mukaan opettaja voi kehittää opiskelijoiden kykyä rakentaa tieteellistä tietoa mallintamalla tieteellistä kirjoittamista ja kirjoitusasua sekä sanoittamalla omia ajatusprosessejaan ääneen. Tieteellisen kirjoittamisen mallintaminen voi auttaa opiskelijoita myös hahmottamaan kielellisiä eroja tieteellisen kielen ja arkikielen välillä. Selkeä malli havainnollistaa opiskelijoille, kuinka tiedettä kuuluu kirjoittaa.^{38,39,50} Lisäksi mallintamista voidaan hyödyntää myös ei-halutun tekstin havainnollistamiseksi⁴⁰. Tieteellisen kirjoittamisen mallintamiseen voidaan hyödyntää esimerkiksi työselostuspohjia, jotka antavat lähtökohdan kirjoittamiselle estäen tyhjän paperin pelkoa⁴⁰. Hyvin rakennetussa työselostuspohjassa opiskelijaa ohjataan pohtimaan kokeellista työskentelyä, tehtyjä havaintoja ja työn taustalla olevaa teoriaa sekä raportoimaan tuloksista ytimekkäästi.³⁰

Science Writing Heuristic eli tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka on työkalu, jonka Keys *et al.*¹³ kehittivät sekä opettajille että opiskelijoille tieteellisen kirjoittamisen tueksi ja ohjaamiseksi. Sen tavoitteena on tukea opiskelijoiden tieteellisen kirjoittamisen prosessia yhdistäen perinteisten laboratorioraporttien kirjoittamisen sekä henkilökohtaisen merkityksen rakentamisen. Lisäksi sen avulla pyritään lisäämään ymmärrystä kokeellisen työskentelyn merkityksestä osana opintoja.

Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka on suunnattu erityisesti toisen asteen opiskelijoille ja sen avulla opiskelija harjoittelee tuottamaan kuvailevaa tieteellistä tekstiä. Työkalu helpottaa myös hahmottamaan käsitteellisen tiedon ja kokeellisen työskentelyn yhteyksiä.¹³ Siinä yhdistyvät kirjoittaminen, kokeellinen tutkimus, yhteistyö muiden kanssa sekä oman

työskentelyn reflektointi^{13,51}. Sen avulla voidaan luoda selkeämpiä yhteyksiä kokeellisten menetelmien, havaintojen ja teorian välille. Tällaiset yhteydet kokeellisuuden ja teorian välillä voivat olla aluksi opiskelijoille hankalasti havaittavissa.^{13,51} Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikan kehittämisen taustalla on vaikuttanut muun muassa konstruktivistinen oppimisteoria sekä ymmärrys tieteen luonteesta. Keysin *et al.*¹³ mukaan kirjoittamalla tai lukemalla tieteellisiä tekstejä opiskelijat osallistuvat oman tieteellisen ymmärryksensä rakentamiseen.

Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka koostuu kahdesta eri osasta. Ensimmäinen osa on opettajille suunnattu malli opiskelijoiden tieteellisen ajattelun ja käsitteellisen osaamisen kehittämisen tueksi. Mallin avulla opettaja voi ohjata opiskelijoita tarkoituksenmukaiseen ajatteluprosessiin, tieteelliseen kirjoittamiseen sekä vuorovaikutukseen vertaistensa kanssa. Mallissa painottuvat ohjattu tutkimus, yhteistyö, pohdinta ja tieteellinen kirjoittaminen. On hyvä huomioda, että mallin käyttöön voivat kuitenkin vaikuttaa monet ulkopuoliset tekijät, kuten esimerkiksi ryhmädynamiikka, suoritettujen kokeellisuuden taso sekä opettajan oma persoona. Opettajille suunnattu malli onkin työkalu, jota voidaan hyödyntää eri kontekstien mukaan. Mallin eri vaiheet on esitetty kuvassa 3.^{13,51}

Menetelmän toinen osa on suunnattu opiskelijoille itsenäiseen työskentelyyn yksilöinä tai pienissä ryhmissä. Se korostaa väitteiden perustelua sekä tieteen luonteen ymmärtämistä. Opiskelijoille suunnattu malli on esitetty kuvassa 4. Mallin kysymykset muodostavat päättelyyn perustuvan työkalun, jonka avulla opiskelijat voivat rakentaa selityksiä ja väitteitä sekä löytää todisteita väitteiden perusteeksi. Se myös kannustaa opiskelijoita vertaamaan omia havaintojaan ja löydöksiään sekä vertaistensa että oppikirjan sisällön kanssa. Lopuksi opiskelija reflektoi omaa oppimistaan työskentelyn aikana. Työkalua on helppo räätälöidä erilaisiin tarkoituksiin tai käyttää sellaisenaan.^{13,42}

1. Opiskelijoiden ennakkotietojen kartoittaminen yksin tai ryhmässä käsitekarttojen avulla.
2. Ennen kokeellista työskentelyä tehtäviä kirjoitustehtäviä, kuten ideointia, havaintojen ja kysymysten sanoittamista sekä vapaata kirjoittamista.
3. Osallistuminen kokeelliseen työskentelyyn.
4. Henkilökohtainen kirjoittaminen kokeellisesta työstä, kuten esimerkiksi laboratoriomuistiinpanojen tekeminen.
5. Omien tulkintojen ja ideoiden jakaminen vertaisryhmissä.
6. Kokeellisesta työskentelystä saatujen tulosten vertaaminen painettuihin lähteisiin, kuten esimerkiksi oppikirjoihin.
7. Yksilöllinen pohdinta ja kirjoittaminen sekä niiden pohjalta esityksen valmisteleminen (esim. PowerPoint, posterit).
8. Opiskelijoiden ymmärryksen kartoittaminen kokeellisen työskentelyn jälkeen käsitekarttojen avulla.

Kuva 3. Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka: Opettajajohtoisia aktiviteetteja tukemaan opiskelijoiden tieteellistä kirjoittamista ja ymmärrystä kokeellisesta työskentelystä.¹³

1. Aloitus - Mitkä ovat tutkimuskysymykseni? Entä hypoteesi?
2. Kokeellinen osuus - Mitä tein? Mitä menetelmiä käytin?
3. Havainnot - Mitä havaitsin/näin?
4. Väitteet - Mitä voin päätellä tekemiäni havaintojen perusteella?
5. Todisteet - Mitkä tiedot tukevat tekemiäni päätelmiä?
6. Vertailu - Millaisia tuloksia ovat verrattuna muiden tuloksiin? Entä kirjallisuuslähteisiin?
7. Reflektio - Miten ajatukseni ovat muuttuneet? Vastasivatko tulokset alussa tehtyjä hypoteeseja?

Kuva 4. Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka: Opiskelijalle suunnattu malli ohjaamaan tieteellisen kirjoittamisen kirjoitus- ja ajatteluprosessia.¹³

Keysin *et al.* kehittämä työkalu mukailee hieman perinteistä työselostuspohjaa³⁸ ja sen hyödyntämistä kirjoittamisen tukena. Kuvassa 5 on vertailu tieteellisen kirjoittamisen heuristiikan sekä yleisesti käytössä olevan työselostuspohjan kirjoittamisen vaiheita. Kuvasta voidaan havaita, että mallit sisältävät joitain samoja piirteitä. Ne etenevät yhteneväisesti ja sisältävät esimerkiksi tutkimuskysymysten esittämisen, laboratoriotyöskentelyn kuvauksen, havaintojen sanoittamisen ja johtopäätösten tekemisen. Lisäksi molempien mallipohjien perusteella lopuksi saatuja tuloksia verrataan jo olemassa olevaan tietoon ja aikaisemmin saatuihin tuloksiin. Voidaan siis sanoa, että sekä tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka että perinteinen työselostuspohja mukailevat IMRaD-rakennetta.

“Science Writing Heuristic”	Työselostuspohja
1. Aloitus - Mitkä ovat tutkimuskysymykseni?	1. Työn tarkoitus - Sisältää hypoteesit ja alkukäsitykset
2. Kokeellinen osuus - Mitä tein? Millaisia välineitä/metodeja käytin?	2. Työn suoritus - Sisältää käytetyt laitteet ja menetelmät
3. Havainnot - Mitä havaitsin?	3. Tulokset - Sisältää havainnot ja työn tulokset.
4. Päätelmät - Mitä voin päätellä tekemiäni havaintojen perusteella?	4. Johtopäätökset Sisältää työn tuloksista tehdyt päätelmät. Päätelmät ovat yhteydessä kokeen tuloksiin, mikä varmistaa ymmärryksen tehdystä työstä.
5. Johtopäätökset - Mitkä tiedot tukevat tekemiäni päätelmiä?	
6. Vertailu - Millaisia tulokset ovat verrattuna muiden tuloksiin? Entä kirjallisuuslähteisiin?	5. Yhteenveto Sisältää kriittistä tulosten arviointia ja vertailua kirjallisuusarvoihin sekä mahdollisten virhelähteiden pohtimista ja niiden vaikutusta tuloksiin.
7. Reflektio - Miten ajatukseni/ideani ovat muuttuneet tai kehittyneet?	Lisäksi pohdintaa tulosten merkityksellisyydestä.

Kuva 5. Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka verrattuna perinteiseen työselostuspohjaan.^{13,38}

Kirjoittamisen malleissa myös eroja. Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka painottaa kirjoitusprosessin jatkuvuutta tutkimuksen eri vaiheissa. Mallissa painottuu myös tieteellisen työskentelyn yhteistoiminnallisuus, jossa opiskelijat osallistuvat aktiivisesti tulosten ja ideoiden jakamiseen vertaistensa kanssa. Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka ohjaa myös

opiskelijoita yhdistämään toisiinsa tutkimuskysymykset, tehdyt havainnot, väitteet ja todisteet. Kun opiskelijat esittävät väitteitä, heitä kannustetaan tekemään yleistyksiä sekä rakentamaan selityksiä, joita heidän täytyy perustella todisteilla ja teoreettisella tiedolla. Malli sisältää myös reflektointia ja pohdintaa oman ajattelun ja ymmärryksen kehittymisestä.^{39,42}

Perinteinen työselostus tai raportti on tieteen kehittymisen myötä syntynyt tehokas tiedonvälityskeino. Tieteessä kirjoitetut raportit jättävät usein kertomatta kokemukselliset merkitykset, joihin opiskelijat tukeutuvat eniten tieteellisten käsitysten rakentamisessa.³⁹ Kuvasta 5 voidaan havaita, että tieteellisen kirjoittamisen heuristiikasta poiketen työselostuksen mallipohja ei niinkään korosta tieteen henkilökohtaista luonnetta. Malli pyrkii harjoittamaan opiskelijoiden kykyä kirjoittaa tieteellistä tekstiä yleisesti käytössä olevan rakenteen mukaan ja välittää tietoa tehokkaasti.

On kuitenkin tärkeää huomata, että perinteisten työselostusten luonne sopii monien oppikirjojen ”keittokirjamaisiin” työohjeisiin, joissa ei anneta juurikaan tilaa omien tutkimuskysymysten asettamiselle tai tiedon tulkinnalle. Kun kaikki suorittavat kokeelliset työt samoja menetelmiä käyttäen, työselostusten kirjoittamisesta voi tulla kaavamaista. Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikassa opiskelijat pääsevät esittämään omia tutkimuskysymyksiä, kehittämään tutkimusmenetelmiä sekä tulkitsemaan odottamattomia tuloksia.⁴² Molemmat tieteellisen kirjoittamisen mallit pyrkivät kuitenkin samaan tavoitteeseen. Ne ohjaavat opiskelijaa tieteellisen ajatusprosessin kehittämiseen ja ymmärryksen syventämiseen^{13,38}.

4.1.3 Arviointimatriisi kirjoittamisen tukena

Arviointimatriisien hyödyntäminen on havaittu hyödylliseksi sekä arvioinnissa että oppimisessa STEM-aloilla (*science, technology, engineering, math*), sillä niiden käyttöön liittyy monia hyödyllisiä ominaisuuksia.^{24,52} Näitä työkaluja käytetään usein arvioinnissa, mutta niillä voi olla myös toinen tieteellisen kirjoittamisen kannalta keskeinen tehtävä. Yksityiskohtainen arviointimatriisi voi toimia tieteellisen kirjoittamisen mallina, joka ohjaa tuottamaan halutunlaista tieteellistä tekstiä.^{24,47} Arviointimatriisia hyödyntämällä opiskelija voi saada jatkuvaa palautetta edistymisestään kohti asetettuja tavoitteita.⁴⁷ On myös havaittu, että arviointimatriisien käyttö on kehittänyt opiskelijoiden kykyä käyttää tieteellisiä termejä sekä arvioida kriittisesti tieteellisiä tutkimuksia²⁴. Monet tutkimukset ovat raportoineet, että myös

opiskelijat itse kokevat arviointimatriisien käyttämisen hyödyllisenä kirjoitusprosessin ohjaamisessa. Matriisien on koettu lisäävän tehtävän tavoitteiden ja kriteerien selkeyttä. Lisäksi niiden on raportoitu vähentävän kirjoitustehtävistä aiheutuvaa ahdistusta ja stressiä.⁴⁷

Arviointimatriisissa voidaan havaita yhtäläisyyksiä Keys *et al.*¹³ tieteellisen kirjoittamisen heuristiikan kanssa. Sekä arviointimatriisi että tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka keskittyvät molemmat kirjoittamisen ohjaamiseen sekä tieteellisen ajatteluprosessin tukemiseen. Lisäksi molemmat tähtäävät konstruktivistiseen oppimiseen, jossa opiskelija muokkaa tietoa omaehtoisesti oppimansa perusteella.

Whitehead & Murphy³⁸ selvittivät, miten työselostuspohjan ja arviointimatriisin käyttö vaikuttaa opiskelijoiden työselostusten kirjoittamiseen lukiotason kemian kurssilla. Opiskelijoilla oli käytössään työselostuspohjan lisäksi arviointimatriisi kirjoittamisen tukena. Arviointimatriisi oli käytössä usein luonnontieteiden oppituntien yhteydessä ja sen huomattiin kehittävän opiskelijoiden tieteellistä lukutaitoa sekä sisällöllistä osaamista.³⁸ Tutkimuksessa käytössä ollut arviointimatriisi on esitetty kuvassa 6. Opettaja on koonnut matriisiin eri osa-alueita ja eri arvosanoja vastaavia kuvauksia, jolloin opiskelija tietää millaisia osaamista kirjoitustehtävässä vaaditaan kunkin arvosanan kohdalla. Matriisiin on valittu osa-alueet, joita opettaja on halunnut painottaa arvioinnissa.

Monet ohjaajat hyödyntävät matriiseja arvioinnissa, mutta eivät jaa niitä opiskelijoille kirjoitusprosessin aikana. Jos opiskelijat saavat hyödyntää arviointimatriiseja jo kirjoitusprosessin aikana, he voivat tietoisesti asettaa tavoitteita sekä tavoitella tiettyä arvosanaa annettujen kriteerien perusteella.²⁴ Toisaalta, vaikka opiskelijat tiedostaisivatkin erinomaisen tekstin piirteet, kriteerien siirtäminen itse kirjoittamiseen voi olla hankalaa.⁴⁷

	Erinomainen	Hyvä	Välttävä	Hylätty
Johtopäätökset	Johtopäätös yhdistää selkeästi tulokset tavoitteeseen ja osoittaa täydellisen kokeen ymmärryksen.	Johtopäätös yhdistää tulokset tavoitteeseen ja osoittaa hyvää ymmärrystä kokeesta.	Johtopäätös yhdistää osittain tulokset tavoitteeseen ja osoittaa jonkinlaista kokeen ymmärrystä.	Johtopäätös ei liity mitenkään kokeen tavoitteeseen.
Pohdinta	Tulokset on liitetty teoriaan ja työn tavoitteisiin tiiviisti ja selkeästi. Virhelähteitä on tunnistettu ja pohdittu.	Tulokset on liitetty teoriaan ja kokeen tavoitteeseen. Virhelähteitä on tunnistettu ja pohdittu.	Yhteenvedossa on käsitelty jonkin verran teoriaa tai tuloksia.	Yhteenvetoa ei ole tai sitä on hyvin vähän.
Kirjoitusasu	Tavoite on ilmaistu selkeästi ja tarkasti asianmukaisella kielellä. Teksti noudattaa oikeaa järjestystä. Käsitteitä ja kaavoja on käytetty oikein.	Tavoite on ilmaistu selkeästi ilmaistu asianmukaisella kielellä. Teksti noudattaa oikeaa järjestystä. Käsitteitä ja kaavoja on käytetty oikein.	Työn tavoite on ilmaistu. Kaavoja on käytetty oikein.	Työn tavoitetta ei ole ilmaistu selkeästi.
Tekstin selkeys	Ideat on esitetty selkeästi ja tekstiä on helppo seurata. Väitelauseet tukevat tekstin pääkohtia.	Useimmat ideat on ilmaistu selkeästi ja ja tekstiä on suurimmaksi osaksi helppo seurata.	Esitetyt ideat eivät muodosta yhtenevää kokonaisuutta.	Ideat on esitetty epäselvästi ja tekstiä on hankala seurata.
Käsitteiden käyttö	Käsitteitä on käytetty oikein ja ne on määritelty tarkasti.	Käsitteitä on käytetty suurimmaksi osaksi oikein ja niiden merkitykset on määritelty.	Joitakin käsitteitä on käytetty oikein ja niiden merkitykset on määritelty.	Käsitteitä ei ole käytetty oikein eikä merkityksiä ole määritelty.
Teorian käsittely	Työn teoria on on selitetty täydellisesti ja linkitetty tarkasti työn tavoitteisiin.	Työn teoria on selitetty ja linkitetty työn tavoitteisiin.	Työn teoria on yritetty liittää linkittää työn tavoitteisiin.	Työn teoriaa ei ole selitetty eikä liitetty työn tavoitteisiin.

Kuva 6. Esimerkki arviointimatriisista, jota hyödynnettiin tieteellisen kirjoittamisen tukena lukion kemian kurssilla.³⁸

4.2 Tieteellisen kirjoittamisen arviointi

Arvioinnilla on useita eri tarkoituksia ja tavoitteita.¹⁴ Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden²¹ mukaan kemian arvioinnin tulisi perustua monipuoliseen näyttöön ja siinä tulisi ottaa huomioon muun muassa opiskelijan kyky esittää kemiallista tietoa. Vaikka tieteellinen kirjoittaminen nähdään usein olennaisena osana tieteellistä oppimisprosessia, sitä voidaan hyödyntää myös arvioinnin välineenä.^{16,53} Opiskelijoiden kyvyt esittää kemiallista tietoa ja rakentaa tieteellisiä selityksiä tarjoavat opettajalle mahdollisuuden tarkastella käsitteellistä

ymmärrystä ja sen kehittymistä.^{53,54} Kirjoitusprosessin arvioinnissa painotetaan erityisesti jatkuvaa arviointia sen sijaan, että keskityttäisiin summatiivisen arvioinnin muodostamiseen.⁵³

Summatiivisella arvioinnilla tarkoitetaan arviointia, joka tehdään yleensä opintojakson tai oppimiskokonaisuuden lopuksi. Koska opintojaksoille on yleensä ennalta määritelty jokin tietty osaamistaso, summatiivisen arvioinnin avulla voidaan osoittaa, miten taso on saavutettu. Summatiivinen arviointi esitetään usein numeerisella arvosanalla.⁵⁵ Vaikka kirjoitusprosessissa painottuu usein jatkuva arviointi⁵³, prosessia on mahdollista arvioida myös summatiivisesti. Esimerkiksi yliopistotasolla tieteellistä kirjoittamista, kuten opinnäytetöitä, voidaan arvioida arviointimatriisien avulla. Matriiseissa tieteellisen tekstin eri osioille muodostetaan oma numeerinen arvosana, jonka jälkeen voidaan koota lopullinen kokonaisuutta kuvaava arvosana. Lopullinen arvosana ei välttämättä muodostu keskiarvona, vaan tekstin eri osioita voidaan myös painottaa eri tavoin.^{56,57} Kuvassa 7 on esitetty osa Malmön yliopistossa⁵⁷ käytössä olevasta arviointimatriisista. Matriisista voidaan havaita, että esimerkiksi johdantoa painotetaan arvioinnissa enemmän kuin tiivistelmän kirjoittamista. Samanlaista arviointitapaa voitaisiin soveltaa myös toisen asteen opinnoissa esimerkiksi työselostusten arvioinnissa.

	Not sufficient (1)	Excellent (4)	Weight W x grade
Title	Unclear or poorly stated	Complete title, includes clear keywords found in aim and mentioned in introduction.	W = 1
Abstract	Missing or too long or too short. Does not contain background, aim, results or conclusion	Excellently written, clear and concise abstract with highly relevant background, aim, results and conclusion, in proportion to each other.	W = 1
Introduction/ background	Missing, too short or little or no relevance to the topic. No references or inadequate references.	Gives a clear perspective on the problem on a national and international level. What is known and what is unknown. Clearly states why the aim is important to study. Uses highly relevant references.	W = 2
Aim	Missing or not relevant to the topic or inadequately formulated.	Clearly stated aim, highly relevant to the topic. Well suited for the course.	W = 2
Methods/ Material	Not suited or poorly suited for testing the hypothesis or not described or poorly described. Not applicable or poorly used method. No references or inadequate references. Descriptions of statistical methods missing or only mentioning which program was used, not which analyses. For qualitative projects: method poorly described, analysis poorly described or analysis not applicable for method.	Well suited and clearly described with correct references. Correct and very well applied method for testing the hypothesis in the chosen material. Clearly applicable. Statistical program and version stated and referenced. Correct statistical method used and clearly described with references. For qualitative projects: Method and analysis well suited and correctly presented. Analysis very well applied for the method.	W = 2
Ethics	Missing or considerations not relevant to the project.	Ethical approval from regional ethics board if appropriate. Current and future ethical implications of the current study are mentioned in the background and discussed in the discussion	W = 1

Kuva 7. Tieteellisen tekstin eri osioiden painotus summatiivisessa arvioinnissa yliopistotasolla (kuva muokattu lähteestä).⁵⁷

Tieteellisen kirjoittamisen arviointi on tärkeä osa myös kirjoitusprosessin ohjaamista, sillä laadukas arviointi voi edesauttaa kirjoitustaitojen kehittymistä.^{21,58,59} Lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS2019)²¹ kuvataan yleisesti arvioinnin tavoitteita muun muassa seuraavanlaisesti:

”Opiskelijan arvioinnilla pyritään ohjaamaan ja kannustamaan opiskelua sekä kehittämään opiskelijan edellytyksiä itsearviointiin.”²¹

Opetussuunnitelmassa²¹ tekstin perusteella opettajan arvioinnin, vertaisarvioinnin sekä opettajan tuella tehdyn itsearvioinnin tulisi ohjata opiskelijan työskentelyä. Arvioinnin yksi suuri tavoite onkin antaa palautetta, jota opiskelijat voivat hyödyntää oman oppimisensa seuraamiseen. Tällöin puhutaan formatiivisesta arvioinnista. Formatiivinen arviointi voi siis osallistuttaa opiskelijoita omaan oppimisprosessiinsa. Opetushallituksen⁵⁵ mukaan formatiivinen arviointi painottuu oppimisprosessin arviointiin ja sen tehtävä on ohjata oppimista sekä antaa palautetta opiskelijalle. Formatiivisen arvioinnin määrä on lisääntynyt peruskoulussa sekä toiseen asteen koulutuksessa.⁶⁰

Formatiivinen arviointi voi olla sekä opettajan antamaa arviointia, vertaisarviointia että itsearviointia.^{47,59} Erityisesti suurten opiskelijaryhmien kohdalla vertaisarviointi ja itsearviointi voivat tarjota opiskelijoille mahdollisuuden saada nopeampaa formatiivista palautetta kirjoittamisesta.⁴⁷ Formatiivisessa arvioinnissa voidaan hyödyntää erilaisia työkaluja, kuten esimerkiksi arviointimatriiseja. Arvioinnissa käytettyjen työkalujen tulisi olla luotettavia, oikeudenmukaisia, valideja sekä oppimista edistäviä.⁵⁷ Arviointimatriiseja käytetään usein vertaisarvioinnin tukena, sillä niiden avulla voidaan taata arvioinnin luotettavuus^{24,47,57}. Vertaisarviointia tehdään usein kirjoitusprosessin aikana, koska sen tarkoituksena on ohjata työskentelyä ja kehittää tekstiä ja kirjoitustaitoja.⁶¹ Toisaalta, kun opiskelija kirjoittaa tieteellistä tekstiä arviointimatriisin avulla, hän saa jatkuvaa formatiivista palautetta itseltään matriisin avulla.⁴⁷

Vaikka tutkimukset ovat osoittaneet palautteen ja arvioinnin olevan tärkeässä osassa oppimisen ohjaamisessa ja tavoitteiden saavuttamisessa, monet opiskelijat saavat opettajilta formatiivista palautetta liian harvoin. Palautteen vähäisyys saattaa johtua esimerkiksi suurista ryhmäkoista ja ajanpuutteesta. Opiskelijat voivat kuitenkin arvioida myös itse sekä itseään että vertaisiaan.⁴⁷

4.2.1 Arviointimatriisi tieteellisen kirjoittamisen arvioinnissa

Arviointimatriisit ovat osoittautuneet luotettavaksi tavaksi arvioida laboratorioraportteja jopa suurissa yliopistoympäristöissä ja monet opettajat hyödyntävätkin niitä arvioinnin tukena.²⁴ Arviointimatriisit edistävät arvioinnin objektiivisuutta, johdonmukaisuutta sekä luotettavuutta.⁶² Matriiseja voidaan hyödyntää sekä formatiivisen että summatiivisen arvioinnin antamisessa.^{24,47,56,57} Niiden avulla voidaan viestiä opiskelijoille työn tavoitteista, antaa palautetta keskeneräisistä töistä ja arvioida lopputuotoksia.^{47,57}

Arviointimatriisien yksi suuri etu on, että ne antavat välitöntä palautetta sekä opiskelijalle että opettajalle.⁶³ Lisäksi ne auttavat opettajaa sekä opiskelijaa hahmottamaan alueita, joissa opiskelija tarvitsee vielä harjoitusta. Toisaalta niiden avulla on myös helppo havaita ja sanoittaa opiskelijan vahvuuksia.²⁴ Eräs tärkeä etu on, että opettaja voi räätälöidä arviointimatriisin erilaisten tarpeiden mukaan ja varmistaa arvioinnin luotettavuuden.^{24,64} Matriisien avulla opiskelijat voivat siis arvioida luotettavasti sekä omaa että vertaistensa työskentelyä.^{24,47,56,57}

Kuvassa 6 (luku 4.1.3) on esitetty esimerkki opetuksessa käytössä olleesta arviointimatriisista.³⁸ Kyseinen matriisi oli käytössä opiskelijoilla jo kirjoittamisprosessin aikana, mutta matriisia voitaisiin hyödyntää myös esimerkiksi opettajan arvioinnissa. Kuvasta 6 voidaan havaita, että arviointimatriisi sisältää kuvauksen kirjoittajan osaamisesta eri arvosanojen osalta. Arviointimatriiseista löytyykin usein tarkoin määritellyt kuvaukset eri osaamisen tasoista erinomaisesta heikoimpaan⁴⁷.

4.2.2 Itsearviointi ja vertaisarviointi

Lukion opetussuunnitelman perusteet (LOPS2019)²¹ korostavat itsearvioinnin merkitystä osana opintoja. Lukio-opintojen aikana opiskelijoille tulee tarjota mahdollisuuksia itsearviointiin ja sen harjoitteluun. Kemian opetussuunnitelmassa²¹ painotetaan, että opintojakson tavoitteiden saavuttamisen arvioinnin lisäksi keskitytään myös oppimisprosessin aikana tapahtuvan palautteen ja arvioinnin antamiseen. Oppimista tukeva formatiivisen palaute voi tulla opettajalta tai vertaisilta, mutta myös opiskelijan oma itsearviointi nostetaan esille.²¹

” Oppimisprosessin aikana annettu arviointi ja palaute sekä itsearviointi tukevat opiskelijaa kemian osaamisensa tiedostamisessa ja kehittämisessä. ”²¹

Itsearviointi on formatiivisen arvioinnin prosessi, jonka aikana opiskelijat pohtivat työnsä laatua sekä arvioivat tavoitteiden saavuttamista ja työskentelyprosessia. Itsearvioinnin päämääränä ei ole se, että opiskelijat määrittäisivät arvosanansa itse vaan se, että he refleктоivat omaa työskentelyään ja sen tuloksia.^{47,55} On olemassa joitakin empiirisiä todisteita siitä, että opiskelijoiden osallistaminen kirjoittamisen itsearviointiin arviointimatriisien avulla on näkynyt positiivisesti oppimistuloksissa.⁴⁷

Vertaisarviointi asettaa opiskelijat opettajan tai ohjaajan rooliin palautteen annossa ja arvioinnissa.²⁴ Vertaisarvioinnilla on jo pitkä historia kemian opiskelussa ja sen on raportoitu olevan hyödyllinen työkalu kehittämään opiskelijoiden tieteellistä kirjoittamista sekä vähentämään ohjaajan tai opettajan työtaakkaa.^{45,61} Vertaisarvioinnin kautta opiskelijat saavat näkökulmaa siihen, miten ja millä kriteereillä heidän työskentelyään arvioidaan. Tämä voi kannustaa heitä pohtimaan oman työnsä laatua arvioimalla vertaistensa tuotoksia.⁶¹

Vertaisarviointi voi olla parhaimmillaan tehokas oppimisprosessi, joka edistää opiskelijoiden kirjoitustaitojen, käsitteellisen osaamisen sekä kriittisen ajattelun kehittymistä.⁶¹ Kun opiskelijat arvioivat muiden tekstejä, he oppivat antamaan rakentavaa palautetta, mikä puolestaan kehittää yhteistyö- ja kommunikaatiotaitoja²⁷. Yksi keskeisistä vertaisarvioinnin periaatteista onkin, että se auttaa opiskelijoita kehittämään omia taitojaan antamalla vertaisille palautetta.^{6,59,61,65}

Vaikka vertaisarviointi tarjoaa monia etuja, siihen liittyy myös erilaisia haasteita. On raportoitu, että opiskelijat eivät luota omiin kykyihinsä arvioida luotettavasti vertaistensa töitä ja antaa palautetta. Opiskelijat ovat olleet myös huolissaan arvioinnin puolueellisuudesta, jos arvioitavan henkilöllisyys on tiedossa.⁵⁹ Vertaisarvioinnissa olisikin tärkeää, että arviointi tehtäisiin anonymisti, mikä vähentäisi puolueellisuuden riskiä ja lisäisi arvioinnin luotettavuutta. Vertaisarviointi voi kuitenkin olla hyödyllinen väline tieteellisen kirjoittamisen arvioinnissa sekä palautteen antamisessa, sillä opiskelijat saavat usein palautetta puutteellisista raporteista, eivätkä niinkään virheellisestä tiedosta tai virheellisistä väittämistä.⁶¹ Opiskelijoiden ei siis yleensä tarvitse puuttua vertaistensa asiavirheisiin, vaan tarkastella tekstiä annettujen kriteerien perusteella.

Itse- ja vertaisarvioinnissa käytetään usein apuna erilaisia työkaluja, jotka auttavat varmistamaan arvioinnin luotettavuutta. Arviointimatriisit ovat hyödyllinen työväline myös itsearvioinnissa ja vertaisarvioinnissa.⁴⁷ Arviointimatriisien hyöty on, että opettajat voivat muokata matriisit sopiviksi kunkin tehtävän tarpeisiin, mikä tukee arvioinnin luotettavuutta ja tasapuolisuutta.^{24,64} Ne myös selkeyttävät opiskelijoille laadukkaan suorituksen vaatimuksia ja auttavat ohjaamaan kirjoitusprosessia oikeaan suuntaan.⁴⁷ Kun arviointimatriiseja hyödynnetään osana formatiivista opiskelijakeskeistä arviointia, ne voivat auttaa opiskelijoita tekemään luotettavaa arviota oman työnsä laadusta.

Arviointimatriisien heikkous vertais- ja itsearvioinnin tukena voi olla arviointikriteerien tulkinnanvaraisuus. Opiskelijoiden käsitys kriteerien saavuttamisesta voi olla kaukana siitä, mitä opettaja on ajatellut. On osoitettu, että malliratkaisujen tutkiminen luonnontieteiden ja matematiikan opetuksessa voi auttaa opiskelijoita omaksumaan uusia tietoja ja taitoja uusien ongelmien ratkaisemiseen. Myös tieteellisen kirjoittamisen harjoittelussa esimerkit tai mallit voivat olla hyödyllisiä.^{38,40,47} Onkin suositeltu, että arviointimatriisien lisäksi kirjoittamista mallinnettaisiin myös esimerkkiteksteillä. Tällöin opiskelijat voisivat kehittyä myös vertais- ja itsearvioinnin antamisessa annettujen kriteerien avulla.⁴⁷

4.3 Yleisimpiä haasteita

Kyky välittää tieteellistä tietoa informatiivisesti on kriittinen ominaisuus tutkijoille, joita opiskelijat voivat tulevaisuudessa olla. Tehokkaalla viestinnällä voi olla merkittävä vaikutus esimerkiksi lehtiartikkelien julkaisuun tai apurahahakemusten menestymiseen.¹⁶ Myös monet työnantajat pitävät kirjallisia viestintätaitoja arvokkaana ominaisuutena työntekijälle lähes alasta riippumatta.⁶ Tieteellinen kirjoittaminen on myös oleellista jatko-opintojen kannalta, koska esimerkiksi opinnäytetöissä toistuvat tieteellisen kirjoittamisen periaatteet. Tieteellisen kirjoittamisen sisällyttäminen laboratorioskursseihin voi siis valmistaa opiskelijoita sekä jatko-opintoja että työelämää varten ja kehittää tärkeitä taitoja kuten kriittistä ajattelua.^{16,41} Tieteellisten artikkeleiden kirjoittaminen koetaan kuitenkin pelottavaksi ja haastavaksi tehtäväksi jopa joidenkin vastavalmistuneiden tutkijoiden keskuudessa.⁶⁶ Myös monet opiskelijat kokevat tieteellisen kirjoittamisen haasteelliseksi, mikä tekee havaintojen ja ilmiöiden sanoittamisesta ja selittämisestä haastavaa.¹⁶ Tieteellinen kirjoittaminen tuokin haasteita sekä opettajan että opiskelijan näkökulmasta.¹⁷

Tutkimukset ovat osoittaneet, että luonnontieteiden opettajat eivät usein käytä riittävästi aikaa argumentoivan tekstin kirjoittamisen opettamiseen.⁴¹ Suuri osa lukion opiskelijoista ei saa mahdollisuutta oppia toisella asteella, kuinka tieteellisiä väitteitä tulisi rakentaa tai kuinka tieteellistä tekstiä kirjoitetaan.^{17,23,41} Tilannetta hankaloittaa se, että monen opettajan mielestä lukion kursseilla kirjoittamisen opettamiselle ei ole tarpeeksi aikaa. Kusseilla käytössä oleva aika menee niiden sisältöjen opettamiseen, jotka opetussuunnitelmien mukaan tulee opettaa, eikä aikaa jää juurikaan muulle työskentelylle.⁴¹

Myös kielelliset erot kemian tunneilla ja niiden ulkopuolella voivat luoda vaikeuksia tieteellisten tekstien kirjoittamiseen. Opiskelijoilla on havaittu vaikeuksia ymmärtää, mitä tieteellisellä selityksellä tarkoitetaan tai miten selityksiä pitäisi rakentaa tieteen kielellä.²² Selitysten rakentaminen vaatii todisteiden käyttöä, päättelyä sekä argumentointia, mikä tekee kirjoittamisprosessista vaativan.⁵⁴ Tieteen kielen oppiminen on olennainen osa tieteellisen lukutaidon kehittymistä ja se vaatii paljon opettajajohtoista harjoittelua.^{18,19,22} Monet opiskelijoiden kirjoittamat selitykset eivät myöskään liity tieteellisiin teorioihin vaan omakohtaiseen tietoon ja havaintoihin.⁵⁴ Myös monimutkaisten syy-seuraussuhteiden hahmottamisessa on vaikeuksia, mikä tuo haasteita tieteellisen kirjoittamiseen ja johtopäätösten tekemiseen.^{22,38,54} Johtopäätösten kirjoittaminen koetaan haastavaksi jopa yliopistotasolla.³⁴ Opiskelijat tarvitsisivat selkeämpää opastusta tieteellisten käsitysten rakentamisessa ja sanoittamisessa sekä erilaisten mallien muodostamisessa.^{39,54} Opiskelijoita voitaisiin ohjata muodostamaan paremmin perusteltuja väitteitä esimerkiksi esittämällä heille ohjaavia lisäkysymyksiä kirjoitusprosessin aikana.¹⁷

Jotkin kirjoittamisen haasteista voivat johtua myös puutteellisista kirjoitusohjeista.^{45,57} Ohjeista voivat puuttua esimerkiksi kirjoittamisen tavoitteet, arviointiperusteet tai muotoiluohjeet tekstille⁴⁵. Haasteeksi voi muodostua myös kokeellisen työskentelyn muoto koulussa. Toisella asteella kokeellisuus on usein ennalta suunniteltua ja oppikirjojen työhjeita noudattamalla opiskelijat päätyvät samoihin lopputuloksiin. Myös raporttien kirjoittaminen on usein kaavamaisesti ohjattua, jolloin oppiminen kirjoitusprosessista jää vähäisemmäksi.³⁹ Jotta kirjoitusprosessista voitaisiin oppia, täytyisi antaa tilaa myös pohdinnalle ja päättelylle.

Tieteellisen lukutaidon arviointi koetaan yleisesti haasteelliseksi, sillä tiedekasvatuksen laajenevat tavoitteet vaativat uusien arviointitekniikoiden kehittämistä.^{10,53} Monet käytössä

olevat arviointimenetelmät eivät sovellu tieteellisen kirjoittamisen ja tieteellisen lukutaidon kehittymisen arviontiin. Lisäksi koulutieteissä huomioidaan harvoin, kuinka opiskelijat käyttävät tai tuottavat tieteellistä tietoa. Arvioinnin painopiste on usein opetusmateriaalin pohjalta muodostetuissa ongelmissa, joiden vastaus on ennalta määritelty.¹⁰

4.4 Oppimistuloksia

Vaikka tieteellisen kirjoittamisen katsotaan edistävän oppimista monin eri tavoin luonnontieteiden opetuksessa, kirjoittamisprosessi ei automaattisesti tuo mukanaan näitä hyötyjä. Harvat tutkimukset ovat käsitelleet suoraan kirjoittamisen vaikutusta oppimiseen ja näidenkin tutkimusten tulokset ovat olleet vaihtelevia. Lisätutkimusten tarve on erityisesti yläkoulussa ja toisella asteella. Tutkimusta tarvitaan erityisesti löytämään keinoja kirjoittamisen avulla oppimisen tehostamiseen sekä selventämään yhteyksiä kirjoittamisen ja käsitteellisen ymmärryksen välillä.¹⁷

Whitehead & Murphy³⁸ ovat tutkineet työselostusten kirjoittamisen vaikutuksia kemian sisällölliseen oppimiseen sekä kirjoitustaitoihin lukiossa. Tutkimukseen osallistui 27 lukio-opiskelijaa Uudesta-Seelannista. He osallistuivat yhdeksän kuukautta kestäväan intensiivijaksoon, jonka aikana keskityttiin työselostusten kirjoittamiseen. Tutkimukseen osallistunut luonnontieteiden opettaja kertoi opiskelijoiden selittävän ennen intensiivijaksoa havaintojaan arkikielellä, esimerkiksi saostumaa kuvailtiin kiinteäksi ja kelluvaksi asiaksi. Lisäksi hän havaitsi, että opiskelijoilla oli hankaluuksia kirjoittaa pohdintaa ja johtopäätöksiä, eivätkä he osanneet rakentaa syy-seuraussuhteita. Hän huomasi myös, että opiskelijat suoriutuivat kokeellisesta työskentelystä, mutta heillä oli hankaluuksia ymmärtää teoriaa töiden taustalla.³⁸

Tutkimuksessa oli käytössä arviointimatriisi, joka on esitetty kuvassa 6 (luku 4.1.3). Opettaja havaitsi, että opiskelijat, jotka kirjoittivat työselostuksia työselostuspohjaa ja arviointimatriisia apuna käyttäen, kykenivät hahmottamaan paremmin yhteyksiä kokeellisten havaintojen ja teorian välillä sekä sanoittamaan havaintojaan luonnontieteiden käsitteiden avulla. Esimerkiksi muutamat opiskelijat paransivat suoritustaan jopa kahdella tai kolmella arviointimatriisin osa-alueella saavuttaen hyväksytyt tason aiemmin saadun hylätyn tason sijaan. Opiskelijat kertoivat, että työselostusten kirjoittaminen auttoi heitä ymmärtämään teoriaa ilmiöiden taustalla. Työselostusten kirjoittaminen vaati opiskelijoita rakentamaan tieteellisiä selityksiä ja

auttoi hahmottamaan kokonaiskuvaa paremmin. Tutkimuksen luonnontieteiden opettaja koki, että työselostusten kirjoittaminen sitoi opiskelijat tehokkaammin kemian sisältöjen opiskeluun, sillä heidän täytyi pohtia ja perustella tehtyjä havaintoja ja päätelmiä. Opiskelijoiden huomattiin jopa suoriutuvan NCEA-kokeista (*The National Certificate of Educational Achievement*) paremmilla arvosanoilla.³⁸

On olemassa kuitenkin useita tutkimuksia, jotka tutkivat erilaisia kirjoittamisen malleja osana opetusta. Monet tutkimukset^{17,67} keskittyvät erityisesti Keys *et al.*¹³ kehittämään tieteellisen kirjoittamisen heuristiikkaan ja sen vertaamiseen perinteisiin työselostuspohjiin. Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka kannustaa opiskelijoita esittämään omia tutkimuskysymyksiä, esittämään väitteitä sekä etsimään todisteita väitteiden tueksi.^{13,17,67} Näiden tutkimusten tuloksista voidaan päätellä, että kirjoitusmallilla voi olla hyötyä opiskelijoiden käsitteellisen osaamisen, ymmärtämisen ja tieteellisen kirjoittamisen kehittämisessä.⁶⁷

Hohenshell & Hand¹⁷ vertasivat tutkimuksessaan kahden lukion biologian kurssin opiskelijoiden käsitteellisen osaamisen kehittymistä tieteellisen kirjoittamisen avulla. Toinen ryhmistä kirjoitti tutkimusraportteja perinteisen työselostuspohjan mukaan ja toinen ryhmistä hyödynsi Key *et al.*¹³ kehittämää tieteellisen kirjoittamisen heuristiikkaa (Kuva 3, luku 4.1.2). Tutkimuksessa oli siis tarkoitus selvittää, kehittääkö tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka opiskelijoiden käsitteellistä ymmärrystä tehokkaammin verrattuna perinteiseen työselostuspohjaan. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että tieteellisen kirjoittamisen heuristiikkaa hyödyntäneet opiskelijat suoriutuivat käsitteellistä ymmärrystä mittaavasta testistä paremmin, kuin koeryhmän opiskelijat, joilla oli käytössä perinteinen työselostuspohja.¹⁷ Tutkimuksessa havaittiin myös, että opiskelijat, jotka käyttivät tieteellisen kirjoittamisen heuristiikkaa kirjoittamisessa, kokivat kirjoittamisen syventävän oppimista. Perinteistä työselostuspohjaa käyttäneet opiskelijat eivät kokeneet kirjoittamista yhtä hyödyllisenä oppimisen kannalta, vaan lähinnä jo ymmärretyn asian toistamisena.

Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikkaa hyödyntäneet opiskelijat kertoivat myös kokeneensa tieteen tekemisen merkityksellisempänä ja henkilökohtaisempana, koska heidän piti etsiä vastauksia itse esittämiinsä tutkimuskysymyksiin. Työskentelyn henkilökohtaisuus paransi opiskelumotivaatiota sekä mielenkiintoa kokeellista työskentelyä kohtaan. Opiskelijoista tuntui, että he tekivät omaa tutkimusta, jonka tuloksia pääsivät esittelemään muille sen sijaan, että kaikki suorittaisivat tutkimukset oppikirjan työohjeen mukaan ja saisivat samanlaisia

tuloksia. Osa opiskelijoista koki kuitenkin epävarmuutta omasta kyvystään esittää olennaisia tutkimuskysymyksiä, mikä näkyi heidän kokemuksissaan työskentelytavasta.¹⁷

Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikkaa on tutkittu myös yläasteen laboratoriotyöskentelyssä. Hand *et al.*⁶⁷ tutkivat tieteellisen kirjoittamisen heuristiikan käyttöä seitsemännen luokan biologian tunneilla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka parantaa oppimistuloksia sekä oppilaiden käsitteellistä ymmärtämistä verrattuna perinteiseen työselostuspohjaan.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että oppilaat, jotka hyödynsivät tieteellisen kirjoittamisen heuristiikkaa kirjoittamisen tukena, menestyivät merkittävästi paremmin käsitteellistä osaamista mittaavissa tehtävissä kuin tutkimuksen kontrolliryhmä. Hand *et al.* raportoivat, että koeryhmän oppilaat nauttivat omien tutkimuskysymysten muotoilemisesta ja myös tässä tutkimuksessa havaittiin, että oppilaiden opiskelumotivaatio kasvoi tutkimuksen henkilökohtaisemman luonteen takia. Oppilaat kokivat, että omien kysymysten esittäminen ja niihin vastaaminen auttoivat heitä ymmärtämään opiskeltavaa aihetta. Hand *et al.* väittävät myös, että tieteellisen heuristiikan hyödyntäminen edisti oppilaiden väitteiden ja selitysten muodostamisen taitoja. Oppilaat kokivat käsitteellisen ymmärryksen myös kehittyvän, kun he pääsivät keskustelemaan selityksistään ja tutkimuksesta vertaisryhmissä tutkimuksen aikana.⁶⁷

Tieteellisen kirjoittamisen heuristiikan käyttöä on tutkittu myös yliopistotasolla erityisesti ensimmäisen vuoden kemian opiskelijoiden keskuudessa. Myös yliopistotasolla on saatu positiivisia tuloksia menetelmän käytöstä, ja opiskelijat ovat pitäneet mallia hyödyllisempänä vaihtoehtona perinteiselle työselostuspohjalle. Opiskelijat ovat kokeneet oppivansa enemmän ja työskentely on koettu mielekkäämpänä.⁴²

5 Orgaaniset yhdisteet ja isomeria

Tässä tutkimuksessa tehty oppilastyö liittyy lukion orgaanisen kemian sisältöihin, tarkemmin orgaanisissa yhdisteissä esiintyvään stereoisomeriaan ja sen alalajeihin. Orgaaninen kemia tutkii hiiltä sisältävien yhdisteiden rakennetta, ominaisuuksia, koostumusta ja reaktioita. Useimmat orgaaniset yhdisteet sisältävät hiiltä ja vetyä ja tällöin niitä voidaan kutsua hiilivedyiksi.⁶⁸⁻⁷⁰

Orgaanisia eli hiiltä sisältäviä yhdisteitä tunnetaan miljoonia ja tutkijat löytävät niitä yhä lisää jatkuvasti. Hiiliatomin kyky muodostaa neljä kovalenttista sidosta mahdollistaa erittäin monimutkaisten yhdisteiden muodostumisen. Lisäksi hiiliatomit pystyvät muodostamaan myös kaksois- ja kolmoissidoksia, mikä lisää hiilyhdisteiden monimuotoisuutta. Hiili voi myös sitoutua toisiin hiiliatomeihin muodostaen erilaisia ketju- ja rengasrakenteita. Orgaanisia yhdisteitä onkin enemmän kuin muista alkuaineista muodostuneita yhdisteitä yhteensä.^{68,69}

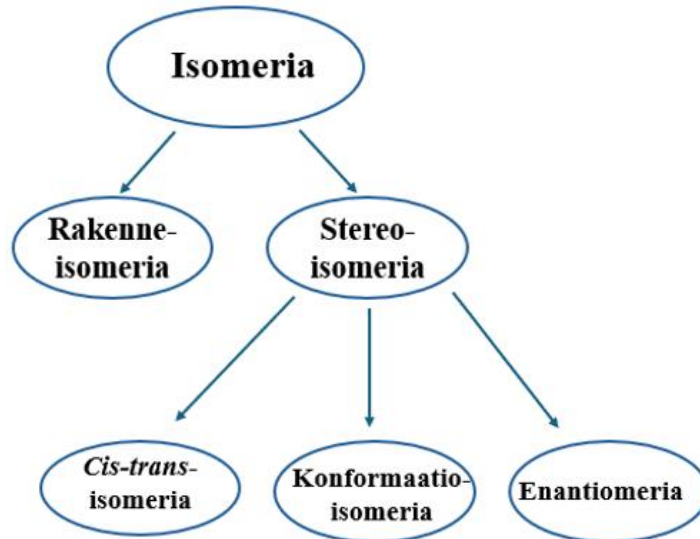
Isomeria on yleistä monilla orgaanisilla molekyyleillä. Isomeerit ovat eri yhdisteitä, joilla on samanlainen molekyylikaava. Isomeria voidaan jakaa kahteen eri pääryhmään, jotka ovat rakenneisomeria ja stereoisomeria. Rakenneisomeerit eroavat toisistaan siinä, miten atomit ovat sitoutuneet toisiinsa.⁶⁹ Stereoisomeriassa atomit ovat järjestäytyneet samoin, mutta isomeerien kolmiulotteinen rakenne eroaa toisistaan.^{71,72}

5.1 Stereoisomeria

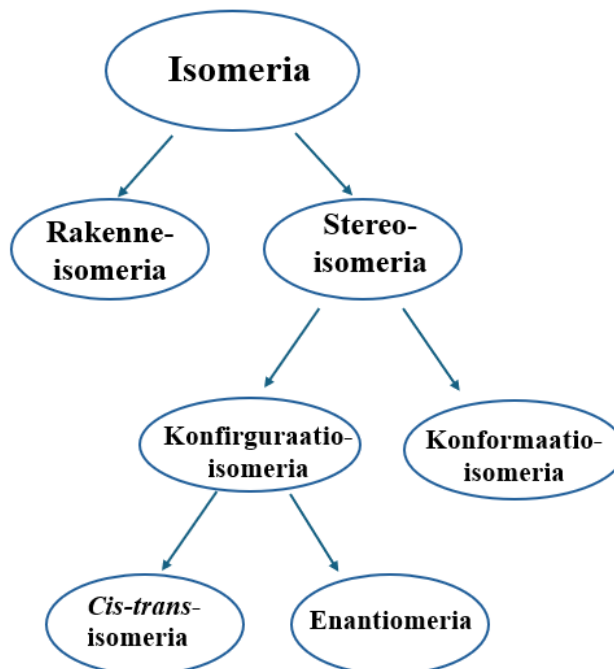
Stereosiomeriassa yhdisteet voivat olla koostumukseltaan samanlaisia, mutta niiden avaruudellinen järjestäytyminen poikkeaa toisistaan. Stereoisomeria jaetaan usein kahteen eri tyyppiin, joita ovat enantiomeerit ja diastereomeerit. Enantiomeerit ovat yhdisteitä, jotka ovat toistensa peilikuvia. Jos isomeerit eivät ole toistensa peilikuvia, niitä kutsutaan diastereomeereiksi. Esimerkiksi *cis-trans*-isomeerit ja konformaatioisomeerit ovat diastereomeereja.^{69,70} Stereoisomerian jakautuminen sen alalajeihin voidaan käsittää kuitekin eri tavoin lähteestä riippuen. Esimerkiksi lukion uusimman opetussuunnitelman (LOPS2019) mukaisissa oppikirjoissa ei puhuta diastereomeereista ollenkaan.^{71,73}

Tässä tutkimuksessa lukion ryhmillä oli käytössä kaksi eri kemian kirjaa. Sanoma Pron kemian oppikirjassa Sidos KE3 (LOPS2019) stereoisomeria jaetaan *cis-trans*-isomeriaan, enantio- eli peilikuvaisomeriaan sekä konformaatioisomeriaan.⁷¹ Otavan kemian oppikirjassa Mooli 3 (LOPS2019), stereoisomeria jaetaan konformaatio- ja konfiguraatioisomeriaan. Konfiguraatioisomeerit voivat muuttua toisikseen vain, jos kemiallisia sidoksia katkeaa ja muodostuu uudestaan. Konfiguraatioisomeria sisältää sekä peilikuvaisomerian, että *cis-trans*-isomerian.⁷³ Voidaan siis päätellä, että tarkastelluissa lukion oppikirjoissa ei puhuta

diastereomeereista, vaan *cis-trans*-isomeria ja enantiomeria käsitellään omina alalajeinaan. Kuvissa 8 ja 9 on havainnollistettu stereoisomerian jakautumista alalajeihin eri oppikirjojen mukaan.



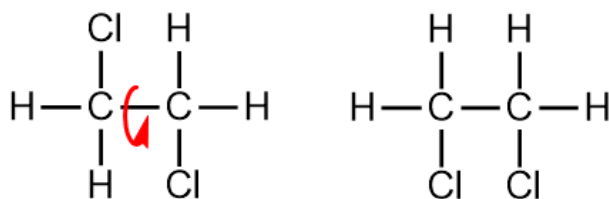
Kuva 8. Stereoisomerian jakautuminen Sanomapron oppikirjan mukaan.



Kuva 9. Isomerian jakautuminen Otavan oppikirjan mukaan.

5.1.1 Konformaatioisomeria ja enantiomeria

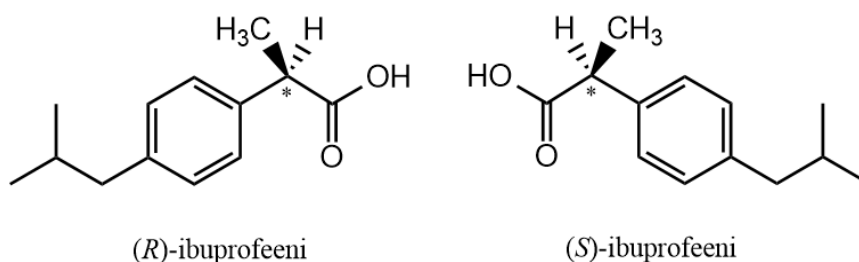
Hiilten välinen yksinkertainen sigmasidos mahdollistaa molekyylin suhteellisen vapaan kiertymisen sidoksen ympäri. Kuvassa 10 on esitetty 1,2-dikloorietaanin rakenne. Hiilten välillä on yksinkertainen sidos, joten rakenteet ovat identtiset huoneenlämmössä, koska ne vaihtuvat nopeasti konformaatiosta toiseen.⁶⁸



Kuva 10. 1,2-dikloorietaanin eri konformaatiot.

Kuvassa esitetyt rakenteet ovat toistensa konformaatioisomeereja. Konformaatioisomeriaa on seurausta siitä, että yksinkertaiset kovalenttiset sidokset voivat kiertyä sidosakselinsa ympäri. Lämpöliikkeestä johtuen konformaatiot eli molekyylin erilaiset kolmiulotteiset rakenteet eivät ole pysyviä vaan vaihtuvat jatkuvasti toisikseen.⁷³

Enantiomeerit eli peilikuvaisomeerit eroavat toisistaan ainoastaan peilikuvan perusteella.^{70,73} Koska enantiomeerit ovat eri yhdisteitä, ne nimetään eri tavoin. Enantiomeerien eri konfiguraatioita voidaan merkitä kirjaimilla (*R*) ja (*S*).^{70,73} Enantiomeereilla on identtiset fysikaaliset ominaisuudet, kuten sulamis- ja kiehumispisteet, mutta ne vuorovaikuttavat eri tavoin tasopolaroidun valon kanssa.^{70,71,73} Esimerkiksi tulehduskipulääkkeenä käytetyllä ipurofeenilla on kaksi enantiomeria, joista ainoastaan toinen vaikuttaa halutulla tavalla.⁷¹ Ibuprofeenin enantiomeerit on esitetty kuvassa 11.

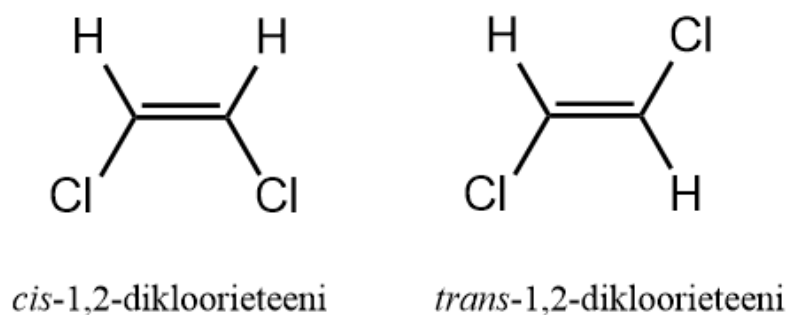


Kuva 11. Ibuprofeenin kaksi enantiomeeria.

Kuvassa 11 Ibuprofeenin enantiomeerien kiraliakeskukset on esitetty pienillä tähdillä. Kiraliakeskuksella tarkoitetaan atomia, usein hiiltä, johon on liittynyt neljä erilaista atomia tai atomiryhmää. Kiraliakeskus mahdollistaa enantiomeerien syntymisen.^{71,73}

5.1.2 *Cis-trans*-isomeria

Jos hiiliatomien välillä on pii- ja sigmasidoksesta muodostunut kaksoissidos, molekyyli ei pääse kiertymään vapaasti, sillä sidos on jäykkä. Tällöin yhdisteellä voi esiintyä *cis-trans*-isomeriaa.^{68-71,73} *Cis-trans*-isomeriasta käytetään myös nimitystä geometrinen isomeria ja sitä esiintyy yhdisteillä, joiden kaksoissidoksen hiiliatomeihin on liittynyt kaksi samanlaista ryhmää.^{68,71,73} Kuvassa 12 on esitetty 1,2-dikloorieteenin kaksi eri isomeeria. Jos hiiliatomeihin liittyneet ryhmät, tässä tapauksessa klooriatomit, ovat hiilten samalla puolella, puhutaan *cis*-isomeerista ja jos ryhmät ovat eri puolilla kaksoissidosta, puhutaan *trans*-isomeerista.^{68-71,73} *Cis-trans*-isomeerit eivät kykene muuttumaan toisikseen ilman hiilten välisen kaksoissidoksen rikkoutumista^{70,71,73}.



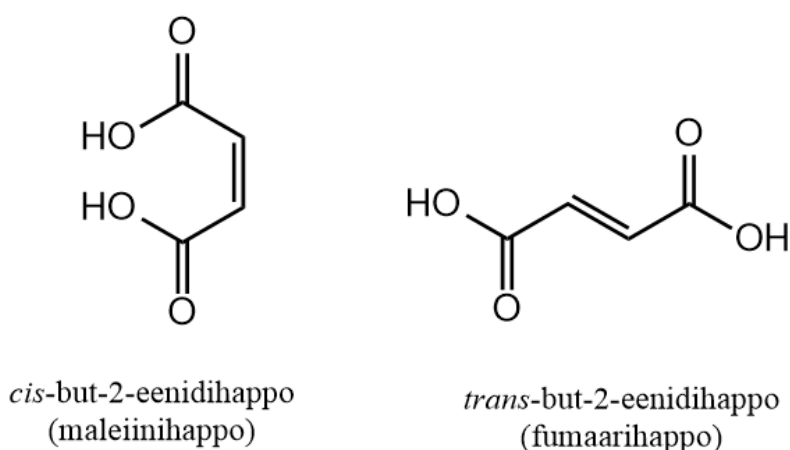
Kuva 12. 1,2-dikloorieteenin *cis*- ja *trans*-isomeerit.⁶⁸

Cis-trans-isomeria on yleistä alkeeneilla, mutta sitä voi esiintyä myös muilla yhdisteillä.⁶⁸⁻⁷⁰ *Trans*-alkeenit ovat yleensä stabiilimpia kuin *cis*-alkeenit, koska kaksoissidoksen hiiliatomeihin sitoutuneet ryhmät ovat kauempana toisistaan.^{69,70} Esimerkiksi kuvassa 12 olevan dikloorieteenin rakenteista voidaan nähdä, että *trans*-isomeerilla klooriryhmät ovat kaksoissidoksen eri puolilla eli kauempana toisistaan kuin *cis*-isomeerin samalla puolella olevat klooriryhmät. *Cis-trans*-isomeriaa voi esiintyä myös rengasrakenteisilla yhdisteillä. Tällöin *cis*-

isomeerin vastaavanlaiset hiiliatomeihin liittyneet ryhmät ovat renkaan samalla puolella, kun taas *trans*-isomeerin ryhmät ovat eri puolilla rengasta.^{70,71}

Jos kaksoissidoksen hiiliatomeihin on liittynyt kolme tai neljä erilaista atomiryhmää, yhdisteiden nimeämisessä ei voida hyödyntää *cis*- tai *trans*-etuliitteitä. Tällöin etuliitteinä käytetään kirjaimia (*E*) ja (*Z*). *E/Z*-etuliitteiden käyttäminen perustuu kaksoissidoksen hiiliin liittyneiden ryhmien atomimassoihin. (*E*)-isomeerissä atomimassoiltaan kevyimmät atomit tai atomiryhmät ovat kaksoissidoksen eri puolilla. (*Z*)-isomeerissä kevyimmät atomit tai atomiryhmät ovat samalla puolella kaksoissidosta. *E/Z*-isomeriassa on kyse samasta isomerian lajista kuin *cis-trans*-isomeria, mutta yhdisteet nimetään eri etuliitteiden avulla.^{71,73}

Tämän opinnäytetyön tutkimusosiossa opiskelijat valmistivat *cis*-but-2-eenidihaposta (rakennekaava 1) yhdisteen *trans*-muotoa, *trans*-but-2-eenidihappoa (rakennekaava 2). Yhdisteiden rakennekaavat on esitetty kuvassa 13. Yhdisteen *cis*-muodosta käytetään nimeä maleiinihappo ja *trans*-muodosta fumaarihappo. Koska yhdisteen muuntuminen *cis*-muodosta *trans*-muotoon ei tapahdu spontaanisti, reaktiota katalysoitiin väkevällä suolahapolla⁷³ Kuvasta voidaan havaita, että yhdisteen *cis*-muodossa karboksyyli ryhmät (-COOH) ovat hiiliketjun samalla puolella ja *trans*-muodossa ryhmät ovat hiiliketjun vastakkaisilla puolilla.



Kuva 13. But-2-eenidihapon kaksi *cis-trans*-isomeeriä.⁷³

6 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tutkimuskysymykset muotoutuivat seuraavanlaisiksi:

1. Onko työselostusten kirjoittamisella vaikutusta kemian sisältöjen oppimiseen lukiossa?
2. Auttaako työselostusten tekeminen hahmottamaan kokeellisuuden ja teorian yhteyttä?
3. Millainen työselostuksen pitäisi olla, jotta se edistäisi oppimista mahdollisimman tehokkaasti?
4. Mitkä ovat työselostusten kirjoittamisen suurimpia haasteita?

7 Tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimuksessa tutkimusaineisto kerättiin kyselytutkimuksella sekä havainnointitutkimuksella. Aineiston analysoinnissa käytettiin laadullista sisällönanalyysia sekä tilastollista analyysia.

7.1 Kyselytutkimus

Kyselytutkimus on keskeinen menetelmä tiedon keräämiseen ja analysointiin esimerkiksi ihmisten toiminnasta, mielipiteistä, asenteista ja arvoista. Kyselytutkimuksessa tutkija ei ole suorassa kontaktissa vastaajien kanssa, vaan kysymykset esitetään kyselylomakkeen välityksellä. Kysely ja haastattelu eroavatkin toisistaan jo tiedonkeruuvaiheessa. Kyselytutkimuksen yksi suuri hyöty on, että sen avulla voidaan tutkia moniulotteisia ja moninaisia kohteita.^{74,75}

Kyselytutkimukseen voi liittyä kuitenkin haasteita sekä tiedonkeruuvaiheessa että mittaamisessa. Haasteena voi olla yksinkertaisesti vastausten lukumäärä.⁷⁵ Toisin kuin esimerkiksi haastattelutilanteessa, kyselytutkimuksessa vastaajalla on yleensä vapaus päättää, milloin kyselyyn vastaa vai vastaako ollenkaan. Vastausten lukumäärään voi vaikuttaa esimerkiksi kyselyn ajankohta.⁷⁵ Kyselytutkimukseen liittyviä haasteita voi olla myös sekä

vastausten että kysymysten laatu. Kyselyä rakentaessa on tärkeää miettiä, mittaavatko kysymykset tutkittavia asioita.⁷⁵

Tämän tutkimuksen aineisto kerättiin maaliskuussa 2024 noin kolmen viikon aikana eräässä keskisuomalaisessa lukiossa. Aineisto kerättiin kahdelta eri lukiolaisryhmältä, kontrolliryhmältä ja koeryhmältä, kemian kurssin Molekyylit ja Mallit (KE3) aikana. Aineistonkeruumenetelmäksi valittiin kyselytutkimus, koska se mahdollisti laajan aineiston keräämisen rajallisen ajan puitteissa. Kyselytutkimus sijoitettiin osittain osaksi opiskelijoiden kurssisuoritusta, mikä varmisti, että tutkimus ei häirinnyt opetusta.

Molemmat tutkimukseen osallistuneet ryhmät vastasivat yhteen sähköiseen kyselyyn (ennakkokysely) sekä yhteen paperiseen kyselyyn (välilyksely). Koeryhmä osallistui vielä tutkimuksen lopuksi toiseen sähköiseen kyselyyn (jälkilyksely). Sähköisiin kyselyihin vastaaminen oli opiskelijoille vapaaehtoista ja linkit jaettiin ryhmillä käytössä olevan verkkoalustan välityksellä.

Ennakkokysely (Liite 1) suoritettiin ensimmäisen oppitunnin aikana. Välilyksely (Liite 2) oli opiskelijoille pakollinen osa kurssisuoritusta ja se suoritettiin myös erään oppitunnin aikana. pidettiin molemmille ryhmille noin viikon kuluttua tutkimukseen kuuluneesta viimeisestä oppitunnista. Kysely koostui yhteensä seitsemästä kysymystä, joista tehtävät 1, 2, 3, ja 7 mittasivat kemian kurssilla tutkimuksen aikana ja sitä ennen käsiteltyjä sisältöjä. Loput tehtävät liittyivät kurssilla aikaisemmin opiskeltuihin sisältöihin. Jälkilykselyyn (Liite 3) opiskelijat vastasivat oppituntien ulkopuolisella ajalla.

Kaikki kolme kyselyä sisälsivät sekä monivalintakysymyksiä että avoimia kysymyksiä. Ennakkokyselyllä kerättiin tietoa opiskelijoiden kokemuksista työselostusten kirjoittamiseen liittyen, sekä tietoa heidän aikaisemmista kemian opinnoistaan. Välilykselyllä kartoitettiin ryhmäkohtaisia sisällöllisen osaamisen eroja kontrolliryhmän ja koeryhmän opiskelijoiden välillä. Jälkilykselyllä haluttiin saada opiskelijoiden näkemyksiä työselostusten kirjoittamisesta työskentelytapana. Jälkilykselyllä haluttiin lisäksi selvittää, mitkä osiot opiskelijat kokivat helpoimmaksi ja vaikeimmaksi työselostuksen kirjoittamisprosessissa.

7.2 Havainnointitutkimus

Havainnointia voidaan pitää kyselytutkimuksen ja haastattelututkimuksen rinnalla yhtenä yleisimmistä laadullisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmistä. Havainnointia voidaan käyttää joko itsenäisenä menetelmänä tai esimerkiksi haastattelu- tai kyselytutkimuksen tukena. Sen avulla voidaan esimerkiksi monipuolistaa jo hankittua aineistoa. Havainnointitutkimuksen yksi suuri etu on, että se tarjoaa suoraa ja välitöntä tietoa esimerkiksi yksilöiden tai ryhmien toiminnasta.^{74,76} Havainnointi jaetaan usein neljään eri muotoon: piilohavainnointiin, havainnointiin ilman osallistumista, osallistuvaan havainnointiin ja osallistavaan havainnointiin.⁷⁴

Yksi havainnointiin liittyvä haaste on, että havainnoitsija voi vaikuttaa läsnäolollaan tutkimustilanteeseen. Esimerkiksi opettajat ja oppilaat saattavat muuttaa käyttäytymistään, jos opetustilannetta tulee seuraamaan ulkopuolinen henkilö. Havainnoinnin vaikutuksia käyttäytymiseen voidaan vähentää, jos tutkija vieraillee havainnoitavassa luokassa joitain kertoja ennen aineiston keruuta.⁷⁶

Tässä tutkimuksessa tutkija oli havainnoi opetustilaisuutta osallistumatta toimintaan. Havainnoinnista saatua informaatiota hyödynnettiin kyselytutkimusten avulla kerätyn aineiston tukena. Havaintotutkimuksen avulla haluttiin havainnoida opiskelijoiden kyselytutkimuksissa antamien vastausten taustalla olevia tekijöitä. Havainnointi keskittyi erityisesti luokkatilassa vallitsevaan ilmapiiriin sekä opiskelijoiden asenteisiin kirjoittamista kohtaan ja toimintaan ryhmissä sekä yksinään. Tutkija teki havainnointitilanteesta muistiinpanoja, joita hyödynnettiin tässä tutkimuksena osana tutkimusaineistoa.

7.3 Aineistolähtöinen sisällönanalyysi

Sisällönanalyysi on tekstianalyysiä, jota voidaan hyödyntää laadullisen tutkimuksen aineiston analysoinnissa. Aineisto voi olla peräisin haastatteluista, keskustelusta, havainnoista tai lähestä tahansa kirjallisesta materiaalista. Sisällönanalyysillä pyritään muokkaamaan saatu data tiiviiseen muotoon sen sisältämää informaatiota hävittämättä ja liittää saadut tulokset laajemmin taustalla olevaan ilmiöön.^{74,77}

Aineistolähtöinen laadullinen sisällönanalyysi voidaan käsittää kolmivaiheisena prosessina. Ensimmäisessä vaiheessa aineistoa pelkistetään eli redusoidaan siten, että tutkimuksen kannalta epäolennaista informaatiota karsitaan pois. Toisessa vaiheessa aineistoa ryhmitellään eli klusteroidaan, jolloin aineistosta pyritään löytämään yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia. Kolmannessa vaiheessa aineiston sisältämää tietoa pyritään käsitteellistämään eli abstrahoimaan.⁷⁴

7.4 Tilastollinen analyysi

Tässä tutkimuksessa otanta oli melko suppea, mikä vaikutti tilastollisen analyysin tekemiseen. Tutkimuksessa oleelliseksi katsottiin keskiarvon ja keskihajonnan määrittäminen.

8 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto hankittiin kahdelta eri lukiolaisryhmältä kolmella kyselylomakkeella sekä tutkijan tekemien havaintojen perusteella. Kaikki opiskelijoiden vastaukset ja opiskelijoita koskevat havainnot dokumentointiin anonymisti ja aineistoa käsiteltiin asianmukaisesti. Aineistosta saadut tulokset on esitetty luvussa 10.

8.1 Kyselytutkimus

Ennakkokyselyyn vastasi yhteensä 38 lukiolaista. Heistä 13 opiskelijaa kuului kontrolliryhmään ja 25 opiskelijaa koeryhmään. Ennakkokyselyyn vastaaminen oli vapaaehtoista. Myös välikyselyyn vastasi yhteensä 38 opiskelijaa eli 13 lukiolaista kontrolliryhmästä ja 25 lukiolaista koeryhmästä. Välikyselyyn vastaaminen kuului opiskelijoiden kurssisuoritukseen ja vaikutti kurssin arvosanaan. Jälkikyselyyn osallistui ainoastaan koeryhmän opiskelijat, sillä ainoastaan koeryhmän opiskelijat osallistuivat työselostusten kirjoittamiseen. Kyselyyn vastasi 18 opiskelijaa.

Vaikka tutkimukseen osallistuminen oli vapaaehtoista, kaikki opiskelijat molemmista ryhmistä osallistuivat tutkimukseen. Vastausprosentteihin vaikutti kuitenkin kyselyn ajankohta. Sekä ennakkokyselyyn että välikyselyyn vastattiin oppitunnin aikana, mikä vaikutti siihen, että

kaikki opiskelijat osallistuivat kyselyyn. Välikyselyn tulos vaikutti myös opiskelijoiden kurssiarvosanoihin, vaikka he eivät olisikaan osallistuneet tutkimukseen. Koeryhmän opiskelijat vastasivat jälkikyselyyn kemian oppituntien ulkopuolella, mikä näkyi myös vastausten määrässä. Kyselyyn vastasi ainoastaan 72 prosenttia koeryhmän opiskelijoista.

8.2 Havainnointitutkimus

Tutkija havainnoi opetustilannetta osallistumatta toimintaan. Opetustilanteita havainnoitiin kuuden oppitunnin (6 x 75 min) ajan. Tutkija havainnoi molempien tutkimukseen osallistuneiden ryhmien teoriaa käsitteleviä oppitunteja, kokeellista osuutta sekä opiskeltua aihetta kertaavaa tuntia. Tutkijan tekemät havainnot dokumentoitiin aineiston analyysiä varten.

8.3 Sisällönanalyysi

Tässä tutkimuksessa kyselytutkimusten avoimien kysymysten analyysi on toteutettu aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä, joka on soveltuva menetelmä, kun halutaan korostaa yksilöiden kokemuksia ja mielipiteitä. Myös tutkijan tekemän havainnointitutkimuksen muistiinpanojen analysoinnissa käytettiin aineistolähtöistä sisällönanalyysiä analyysimenetelmänä.

9 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus suoritettiin eräässä keskisuomalaisessa lukiossa kurssilla Molekyylit ja mallit (KE3). Molemmille ryhmille pidettiin yhteensä kolme oppituntia (3 x 75min), joilla käsiteltiin stereoisomeriaan liittyviä sisältöjä. Ensimmäisellä tunnilla keskityttiin stereoisomerian sisältöihin ja toisella tunnilla opiskelijat suorittivat *cis-trans*-isomeriaan liittyvän kokeellisen työn. Kolmannella tunnilla käsiteltiin kokeellisen työn tuloksia. Koeryhmän opiskelijat aloittivat lisäksi työselostusten kirjoittamisen kolmannen oppitunnin aikana. Molempia ryhmiä opetti sama opettaja kaikilla oppitunneilla. Tutkimuksessa käytetty työselostuspohja on esitetty liitteessä 4. Koeryhmällä oli käytössä Sanoma Pron kirjasarja Sidos ja kontrolliryhmällä Otavan kirjasarja Mooli.

9.1 Ensimmäinen tunti: Teoreettisten sisältöjen käsittely

Sekä kontrolliryhmälle että koeryhmälle pidettiin ennen kokeellista työtä yhteneväiset tunnit stereoisomeriaasta. Tuntien tavoitteena oli, että opiskelija tutustuu stereoisomeriaan, oppii erilaisia stereoisomerian alalajeja sekä syventää ymmärrystään isomerian käsitteestä. Opiskelijoilla oli aikaisempien tuntien perusteella pohjatietoja funktionaalisista ryhmistä, molekyylikaavan ja rakennekaavan eroista sekä rakenneisomeriaasta.

Tunti aloitettiin muistiinpanoilla stereoisomeriaasta, jonka jälkeen opiskelijat rakensivat eri isomeerejä pallomallien avulla. Pallomallien avulla harjoiteltiin konformaatioisomeriaa ja *cis-trans*-isomeriaa sekä tutkittiin enantiomeerien kiraliakeskuksia. Teoriaa harjoiteltiin tuntitehtävillä, jonka jälkeen katsottiin video isomeerien eroavista ominaisuuksista.

9.2 Toinen tunti: Kokeellinen työskentely

Toisella tunnilla molempien ryhmien opiskelijat suorittivat kokeellisen tutkimuksen liittyen stereoisomeriaan, tarkemmin *cis-trans*-isomeriaan. Työssä opiskelijat valmistivat maleiinihaposta yhdisteen *trans*-isomeeria, fumaarihappoa. Kokeellinen työ suoritettiin neljän opiskelijan ryhmissä kirjan Sidos 3 (LOPS21) työn 8 työohjeen mukaisesti (Liite 5).

Tunnin tavoitteena oli, että opiskelija syventää ensimmäisellä tunnilla oppimaansa teoriaa isomeereistä kokeellisen työn avulla. Lisäksi opiskelijat harjoittelivat laboratoriotaitoja, kuten imusuodatuslaitteiston käyttöä sekä havaintojen tekemistä.

9.3 Kolmas tunti: Kokeellisen työn tulosten tutkiminen ja aiheen kertaus

Kolmannella tunnilla molemmat ryhmät tutkivat valmistamansa isomeerin sulamispistettä ja vertasivat sitä alkuperäisen yhdisteen sulamispisteeseen. Opiskelijat myös havainnoivat muodostuneen yhdisteen ulkonäköä sekä punnitsivat yhdisteen.

Sulamispistettä tutkittiin infrapunalämpömittarin avulla. Mittaamaan pääsi yksi 4 opiskelijan ryhmä kerrallaan. Kontrolliryhmän opiskelijat tutkivat tuotteensa ulkoisia ominaisuuksia ja

massaa sekä tekivät aiheeseen liittyviä kertaavia tehtäviä odotellessaan vuoroaan sulamispisteen mittaamiseen. Koeryhmän opiskelijat saivat aloittaa työselostuksen kirjoittamisen opettajan laatiman pohjan (Liite 4) avulla odotellessaan vuoroaan. Opiskelijat viimeistelivät kesken jääneet työselostukset valmiiksi oppituntien ulkopuolisella ajalla.

10 Tulokset ja tulosten analysointi

10.1 Kyselytutkimuksen tulokset

Tässä luvussa esitellään ennakkokyselyn, välikyselyn ja jälkikyselyn tulokset. Ennakkokyselyyn ja välikyselyyn osallistuivat sekä koe- että kontrolliryhmä. Jälkikyselyyn osallistui ainoastaan koeryhmän opiskelijat.

10.1.2 Ennakkokysely

10.1.2.1 Kontrolliryhmä

Ennakkokyselyn perusteella kontrolliryhmän opiskelijat (N=13) olivat kiinnostuneita kemian opiskelusta ja suurin osa oppilaista (92 %) vastasi saaneensa edellisestä kurssista arvosanaksi 8–10. Heistä 15 % sai arvosanaksi 10. Lisäksi yksi opiskelija vastasi saaneensa arvosanaksi 7. Opiskelijat kokivat kuitenkin epävarmuutta siitä, haluavatko työskennellä kemian alalla tulevaisuudessa. Suurin osa opiskelijoista ei pitänyt kemian opiskelua hankalana. Lähes kaikki opiskelijat (92 %) aikoivat kirjoittaa kemian ylioppilaskirjoituksissa.

Työselostusten tekeminen oli kaikille kontrolliryhmän opiskelijoille tuttua aikaisemmista opinnoista. Kyselytutkimuksen vastauksista ilmeni, että työselostusten kirjoittaminen ei herätä opiskelijoissa suurta mielenkiintoa, mutta sitä pidetään kohtuullisen miellyttävänä opiskelutapana. Useat opiskelijat kuvaavat työselostusten kirjoittamista kommentteilla ”ihan ok” tai ”ihan mukava”, mikä viittaa siihen, että kirjoittamista ei koeta erityisen innostavaksi tai motivoivaksi opiskelutavaksi, mutta se ei kuitenkaan herätä suuria negatiivisia tunteita. Eräs opiskelija kirjoitti vastauksessaan, että työselostusten tekeminen auttaa ymmärtämään tunnilla käytyä teoriaosuutta. Toisaalta toinen kyselyyn vastannut opiskelija koki, ettei työselostusten

tekemisellä ole mitään merkitystä kemian sisältöjen oppimisessa. Monen mielestä työselostusten kirjoittamisen on enemmän rutiininomaisena kurssitehtävänä kuin hyödyllistä oppimisen kannalta

”Ehkä ne voivat olla tarpeellisia, vaikka niistä ei varsinaisten kurssin asioiden oppimiseen olekaan hyötyä.”

Oppilaiden vastauksista nousi esille myös erilaisia kirjoittamisen haasteita. Osa oppilaista mainitsi, että työselostusten kirjoittaminen on haastavaa ilman selkeitä arviointikriteereitä tai mallivastausta siitä, millaista osaamista tavoitellaan. Opiskelijat kertoivat myös, että ilman työselostuspohjaa kirjoittaminen tuntuisi erityisen haastavalta. Haastavina osioina pidettiin myös pohdintaa ja yhteenvetoa, mutta samalla opiskelijat kokivat, että juuri nämä osiot auttoivat heitä syventämään oppimistaan parhaiten.

”koskaan ei kerrota mitään arviointikriteerejä, tai millainen oli hyvä mallivastaus”

”palautteet on ollut tähän mennessä vähän puutteelliset, on ollut hankala saada selville, mikä meni pieleen jos meni”

Yleisesti opiskelijat siis kokivat työselostusten kirjoittamisen oppimista edistävänä, mutta ei erityisen innostavana opiskelutapana. He toivoivat enemmän selkeyttä arviointiin ja palautteeseen. Opiskelijoiden mukaan työselostusten määrän ollessa kohtuullinen, ne voivat olla jopa mukava tapa pienentää kirjallisten kokeiden painoarvoa.

10.1.2.2 Koeryhmä

Myös koeryhmän opiskelijat (N=25) olivat kiinnostuneita kemiasta ja kemian opiskelusta. Suurin osa opiskelijoista (92 %) vastasi saaneensa edellisestä kurssista arvosanaksi 8–10. Heistä 28 % vastasi saaneensa arvosanaksi 10. Yksi opiskelija vastasi saaneensa edellisestä kurssista arvosanan 7 ja yksi opiskelija arvosanan 6. Suurin osa opiskelijoista ei tiennyt, haluaako työskennellä kemian alalla tulevaisuudessa. Suurin osa opiskelijoista (80 %) aikoi kirjoittaa kemian ylioppilaskirjoituksissa.

Työselostusten tekeminen oli myös lähes kaikille koeryhmän opiskelijoille tuttua aikaisemmista kemian tai fysiikan opinnoista. Ainoastaan yksi opiskelija vastasi, ettei ole tehnyt aikaisemmin työselostuksia. Kyselyn vastausten perusteella työselostusten kirjoittaminen ei vaikuta olevan kovin motivoiva työskentelytapa koeryhmän opiskelijoille. Moni opiskelija kokee työselostusten kirjoittamisen työläänä, aikaa vievänä ja jopa stressaavana. Tästä huolimatta moni opiskelijoista ymmärtää kirjoittamisen hyödyt.

”Se on varmaan ihan hyödyllistä, ja siitä oppii paljon, mutta en itse koe sitä kauhean mielekkäänä. En siis tykkää, mutta ymmärrän hyödyt.”

Vaikka työtapaa ei yleisesti pidetty miellyttävänä, opiskelijat mainitsivat, että työselostusten kirjoittamisesta oppii paljon ja ne auttavat pohtimaan suoritettua kokeellista työtä. Eräs opiskelija mainitsi myös, että kokee työselostusten kirjoittamisen hankalaksi, mutta samalla hyödylliseksi tulevaisuuden kannalta.

”Se on varmaan ihan hyödyllistä, ja siitä oppii paljon, mutta en itse koe sitä kauhean mielekkäänä. En siis tykkää, mutta ymmärrän hyödyt.”

”Koen sen hyödylliseksi, kun siinä samalla tulee pohdittua tarkemmin työn tekoa. Kuitenkin se on joskus hieman vaikeaa ja rasittavaa, joten on hyvä, että niitä tehdään vain noin 1–2/kurssi.”

Yleisesti koeryhmän opiskelijat eivät pitäneet työselostusten kirjoittamista motivoivana, vaan lähinnä yhtenä kurssitehtävänä kokeiden rinnalla. Opiskelijat kuitenkin tiedostivat kirjoittamisen hyödyllisyyden oppimisen kannalta, vaikka useimmat eivät valitsisi tätä työtapaa vapaaehtoisesti. Vastauksista nousi myös esille, että ryhmätyönä työselostusten kirjoittaminen saattaa olla motivoivampaa, mutta yksin tehtynä monet kokevat ne raskaiksi.

”Ei ole mitään erityistä mielipidettä. Ne ovat yksi pakollinen osa opintoja ja pitää tehdä siinä missä kokeetkin. En välttämättä vapaaehtoisesti niitä kirjoittaisi, mutta ei ne kamalimpiakaan koulutehtäviä ole.”

10.1.2.3 Yhteenveto

Ennakkokyselyn avulla haluttiin kartoittaa tutkimukseen osallistuneiden ryhmien ryhmäkohtaisia eroja. Tulosten perusteella voidaan todeta, että ryhmät edustivat samanlaista otosta keskenään. Molempien ryhmien opiskelijat olivat kiinnostuneita kemian opiskelusta ja aikoivat kirjoittaa kemian ylioppilaskirjoituksissa. Molemmissa ryhmissä suurin osa opiskelijoista oli saanut edellisestä kemian kurssista arvosanan, joka sijoittui välille 8–10. Vaikka opiskelijat pitivät kemian opiskelua kiinnostavana, he kokivat epävarmuutta siitä, haluavatko työskennellä kemian alalla tulevaisuudessa.

Työselostusten kirjoittaminen oli tuttu työtapana lähes kaikille opiskelijoille aikaisemmista opinnoista. Opiskelijat kokivat työselostusten kirjoittamisen olevan hyödyllistä oppimisen kannalta, mutta pitivät sitä haastavana ja aikaa vievänä tehtävänä. Kirjallisuudesta tehtiin yhteneväisiä havaintoja kyselytutkimuksen tulosten kanssa. Monet opiskelijat sekä jopa jotkut tutkijat pitivät tieteellisten tekstien kirjoittamista haasteellisena.^{16,66} Lisäksi esimerkiksi Whitehead & Murphyn³⁸ tutkimuksessa opiskelijat kuitenkin tiedostivat kirjoittamisen hyödyt oppimisen kannalta.

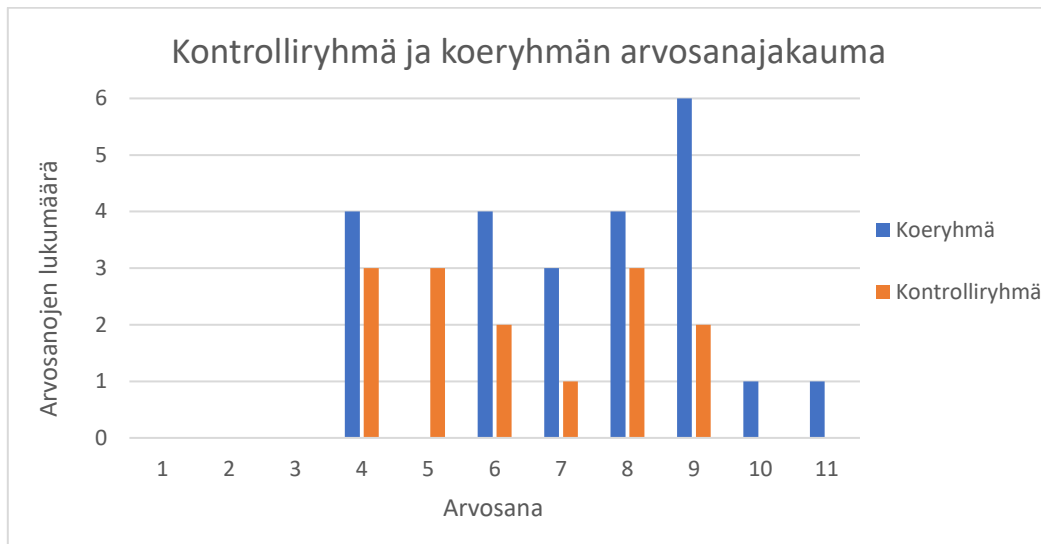
Opiskelijat kertoivat kokevansa kirjoittamisen raskaaksi erityisesti silloin, kun työskennellään yksin tai ilman selkeää ohjeistusta ja arviointikriteerejä. Monimutkaisen ja monisivuisen tekstin kirjoittaminen koetaan usein haastavaksi tai jopa pelottavaksi tehtäväksi.⁴⁰ Opiskelijoiden vastausten perusteella kirjoittamisesta aiheutuvaa painetta voisi vähentää yhdessä kirjoittaminen. Onkin raportoitu, että yhteistoiminnallisesta kirjoittamisesta on tulossa yhä yleisempää luonnontieteiden opiskelussa.^{24,43} Arviointikriteerejä ja ohjeistusta voidaan selkeyttää esimerkiksi arviointimatriisien avulla.^{24,47} Arviointimatriisien käytön on havaittu jopa kehittäväksi opiskelijoiden tieteellistä lukutaitoa sekä sisällöllistä osaamista.³⁸

10.1.3 Välikyselyn tulokset

Kontrolliryhmän (N=25) välikyselystä saatu keskiarvopistemäärä oli 6,3 pistettä. Koeryhmän (N=13) välikyselyn keskiarvopistemäärä oli 7,1 pistettä. Molempien ryhmien arvosanjakauma on esitetty kaaviossa 1. Kaaviosta nähdään, että kontrolliryhmän parhaiten pärjännyt opiskelija sai kyselystä 9 pistettä. Yksikään ryhmän opiskelija ei saanut täysiä pisteitä. Kolme opiskelijaa eli noin 21 % sai ryhmän heikoimman tuloksen 4 pistettä. Koeryhmän parhaiten pärjännyt

opiskelija sai kyselystä täydet 11 pistettä. Toiseksi parhaiten suoriutunut opiskelija sai 10 pistettä. Neljä opiskelijaa eli noin 17 % ryhmästä sai heikoimman tuloksen 4 pistettä.

Tulosten perusteella koeryhmä suoriutui sisällöllistä osaamista mittaavasta välikyselystä hieman paremmin kuin kontrolliryhmä. Koeryhmän keskiarvopistemäärä (7,1 pistettä) oli 0,8 pistettä korkeampi kuin kontrolliryhmän keskiarvopistemäärä (6,3 pistettä). Lisäksi koeryhmässä parhaiten pärjännyt opiskelija sai kyselystä täydet 11 pistettä, kun taas kontrolliryhmän korkein pistemäärä oli 9 pistettä. Koeryhmän opiskelijoiden saamat pistemäärät olivat yleisesti korkeampia ja pisteiden moodi oli 9. Kontrolliryhmän opiskelijoiden yleisesti saamat pistemäärät olivat alhaisempia ja vastausten moodit olivat 4, 5 ja 8.



Kaavio 1. Kontrolliryhmän ja koeryhmän arvosanjakauma.

10.1.4 Jälkikyselyn tulokset

Jälkikyselyyn vastasi yhteensä 18 opiskelijaa koeryhmän (N=25) opiskelijoista. Vähän yli puolet opiskelijoista (53 %) ei pitänyt työselostusten kirjoittamista miellyttävänä työtapana opiskella stereoisomerian sisältöjä. Prosentuaalisesti lähes sama määrä (56 %) piti työtapaa kuitenkin joko vähän hyödyllisenä tai hyödyllisenä opiskelutapana kemian opiskelussa.

Vähän yli puolet (61 %) opiskelijoista vastasi, ettei kokenut työselostusten tekemisen vaikuttavan positiivisesti opiskelumotivaatioon. Loput opiskelijat eivät kokeneet työselostusten

kirjoittamisen vaikuttavan mitenkään opiskelumotivaatioon (28 %) tai työtavan koettiin vaikuttavan motivaatioon hieman positiivisesti (8 %).

Kyselyn mukaan opiskelijat pitivät työselostuksen kirjoittamisessa helpoimpana työn tekemisen selostamista sekä kaavojen ja kuvaajien piirtämistä. Myös opiskelijoiden tarve tarkemmille arviontikriteereille näkyi osassa vastauksista. Myös sellaiset kohdat, jotka eivät vaatineet pitkiä vastauksia, koettiin helppoina vastata.

”Helpointa oli kohdat, joissa oli selkeät ohjeet ja kriteerit.”

Opiskelijoiden vastausten perusteella hankalinta työselostusten kirjoittamisessa olivat erityisesti tulosten analysointi ja pohdintaa ja päättelyä vaativat osiot, kuten esimerkiksi johtopäätösten kirjoittaminen. Moni opiskelija koki hankalaksi selittää, miksi havaittuja ilmiötä tapahtui ja miten teoria liittyi niihin.

”Vaikeaa oli tulosten analysointi ja pohdinta”

Jälkikyselyn perusteella voidaan todeta, että työselostusten tekeminen ei vaikuttanut koeryhmän opiskelijoiden opiskelumotivaatioon positiivisesti eikä sitä pidetty miellyttävänä tapana opiskella. Kirjallisuudesta tehtiin vastaavia havaintoja opiskelijoiden asenteista perinteisten työselostusten kirjoittamista kohtaan. Esimerkiksi Hohenshell & Hand¹⁷ havaitsivat tutkimuksessaan, että perinteisiä työselostuksia kirjoittaneet opiskelijat pitivät kirjoittamista lähinnä jo opitun tiedon toistamisena. Tutkimuksen opiskelijat eivät siis nähneet kirjoittamista motivoivana tai hyödyllisenä oppimisen kannalta.

Helpoimpana pidettiin kohtia, joissa oli selkeät ohjeet. Haastetta toivat avoimet kohdat, joissa opiskelijan täytyi kertoa havainnoimastaan omin sanoin teoriaan pohjautuen. Myös kirjallisuudesta tehtiin yhteneväisiä havaintoja. Opiskelijoiden omia selityksiä vaativien kohtien, kuten johtopäätösten, kirjoittamista pidetään haastavina.^{22,34,38,54} Haasteiden taustalla voi olla esimerkiksi erot tieteiden kielen ja arkikielen välillä tai monimutkaisten syy-seuraussuhteiden ymmärtäminen.

10.2 Opettajan havainnointi

Arvioidessa tutkimukseen osallistuneiden lukiolaisten käyttäytymistä oppitunneilla on oleellista huomioda, että opiskelijat olivat tottuneet ulkopuolisen henkilön läsnäoloon opetustilanteessa. Tämä vähentää sen mahdollisuutta, että tutkijan havainnointi olisi vaikuttanut merkittävästi opiskelijoiden käyttäytymiseen luokassa. Voidaan siis perustellusti olettaa, että kerätty aineisto edustaa opiskelijoiden normaalia toimintaa opetustilanteessa.

Opetuskokonaisuudessa tutkijan tekemän havainnoinnin perusteella molemmat ryhmät vaikuttivat kiinnostuneilta kemiasta ja motivoituneilta kemian opiskeluun. Oppilaat osoittivat aktiivisuuttaan tunneilla esimerkiksi kysymällä asioista, joita eivät ymmärtäneet. Kaikki opiskelijat osallistuivat lisäksi aktiivisesti isomerian havainnollistamiseen pallotikkumallien avulla.

Sekä kontrolli- että koeryhmän opiskelijat osallistuivat aktiivisesti myös kokeellisen osuuden suorittamiseen. Opiskelijoista huomasi, että he olivat työskennelleet ennenkin laboratoriossa, sillä työskentely laboratoriovälineillä oli itsenäistä. Opettaja jakoi opiskelijat ennalta neljän hengen ryhmiin, joissa tiesi työskentelyn onnistuvan. Ideaalitulanteessa kokeellinen osuus olisi suoritettu kahden opiskelijan ryhmissä, jolloin työn suorittaminen olisi vaatinut molemmilta osapuolilta aktiivista osallistumista. Osassa neljän hengen ryhmistä oli havaittavissa joidenkin oppilaiden jäämistä taka-alalle. Työn suorittaminen pareittain ei kuitenkaan ollut mahdollista resurssien, kuten tilan ja laboratoriovälineiden puutteen takia.

Opiskelijat suorittivat kokeellisen tutkimuksen oppikirjan ohjeen mukaisesti. Oletuksena oli, että jokainen ryhmä suoriutuu työskentelystä samoin lopputuloksin. Jokainen ryhmä saikin valmistettua halutun lopputuotteen. Saantojen määrä vaihteli, mutta jokainen ryhmä pystyi tutkimaan oman tuotteen ominaisuuksia. Oppilaat tutkivat tuotteen (fumaarihappo) sulamislämpötilaa ja vertasivat sitä lähtöaineen (maleiinihappo) sulamislämpötilaan ja kirjallisuusarvoon. Jokainen ryhmä havaitsi, että valmistetun tuotteen sulamislämpötila oli alhaisempi kuin lähtöaineen.

Vaikka koeryhmän opiskelijat vastasivat jälkikyselyssä (Liite 3), etteivät pitäneet työselostusten kirjoittamista miellyttävänä opiskelutapana, tutkijan tekemän havainnoinnin perusteella kaikki opiskelijat aloittivat kirjoitusprosessin omatoimisesti. Opiskelijoilla oli

havainnoinnin perusteella positiivinen asenne kemian opiskelua kohtaan, mikä näkyi myös heidän kyvyssään suoriutua epämiellyttävästäkin tehtävästä. Opiskelijoilla ei ollut havaittavissa suuria hankaluuksia työselostusten kirjoittamisessa. Muutama opiskelija pyysi apua reaktioyhtälöiden kirjoittamisessa, mutta muuten opiskelijat työskentelivät ilman opettajan apua pareittain. Tutkijan tekemiä havaintoja tuki myös koeryhmän ennakkokyselyn (Liite 1) vastaukset, sillä lähes kaikki opiskelijat vastasivat tehneensä työselostuksia aiemmissa opinnoissaan. Ainoastaan yksi opiskelija vastasi, ettei ole tehnyt työselostuksia aiemmin. Opiskelijat siis tiesivät mitä työselostusten kirjoittaminen pitää sisällään. Toisaalta opiskelijoiden jälkikyselyssä kertomat haasteet avoimien kohtien kirjoittamisessa eivät näkyneet tutkijan tekemässä havainnoinnissa.

11 Yhteenveto

11.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tutkimukseen osallistuneiden lukiolaisten vastausten perusteella työselostusten tekemisellä on vaikutusta kemian sisältöjen oppimiseen. Myös sisällöllistä oppimista mittaava kysely viittasi siihen, että työselostusten kirjoittamisella voi olla myönteinen vaikutus kemian oppimiseen, sillä koeryhmän opiskelijat saivat yleisesti hieman korkeimpia arvosanoja kuin kontrolliryhmän opiskelijat. Samanlaisia tuloksia on saatu myös aikaisemmin. Esimerkiksi Whitehead & Murphy³⁸ havaitsivat tutkimuksessaan, että työselostusten kirjoittaminen kehitti opiskelijoiden sisällöllistä osaamista. On kuitenkin tärkeää huomioida, että opiskelijoiden suoriutumiseen voivat vaikuttaa myös monet muut tekijät, kuin työselostusten kirjoittaminen.

Tämän tutkimuksen perusteella työselostusten kirjoittaminen voi auttaa opiskelijoita hahmottamaan yhteyksiä kokeellisen työskentelyn ja teorian välillä. Osa opiskelijoista koki, että kirjoittaminen auttaa syventämään sisällöllistä osaamista, kun he joutuvat pohtimaan tuloksia ja tekemään johtopäätöksiä. Koska omaa pohdintaa vaativien osuuksien tekeminen vaatii opiskelijalta selitysten rakentamista ja päätelmien tekemistä, näitä osioita pidetään oppimisen kannalta kaikista hyödyllisimpinä.³⁸ Oppimiseen viittaa myös se, että näitä osioita pidettiin sekä tässä tutkimuksessa että myös kirjallisuudessa^{22,34,38,54} yleisesti työselostusten kirjoittamisen haastavimpina osioina.

Aikaisempien tutkimusten^{17,42,67} perusteella kirjoittamisen merkityksellisyydellä voi olla merkitystä oppimisen kannalta. Merkityksellisyyteen voi vaikuttaa esimerkiksi raportoinnin muoto ja oppimista edistävän työselostuksen tulisikin antaa tilaa opiskelijan omalle päättelylle ja pohdinnalle. Päättelyyn perustuva lähestymistapa luo opiskelijalle henkilökohtaisemman näkökulman tieteen tekemiselle ja kirjoittamiselle, jolloin myös oppiminen voi tehostua.^{17,67} Tässä tutkimuksessa opiskelijoilla oli käytössään työselostuspohja, joka mukaili yliopistotasolla käytössä olevaa IMRaD-rakenteen sisältävää selostusta. Osa tutkimukseen osallistuneista opiskelijoista ei pitänyt työselostusten kirjoittamista merkityksellisenä, vaan lähinnä pakollisena ja arvioitavana osana kurssia. Aikaisempien tutkimusten mukaan erityisesti perinteisten työselostusten kirjoittaminen koetaankin usein merkityksettömänä sekä jo opitun tiedon toistamisena.^{17,67}

Oppimisen kannalta olisi tärkeää, että työselostukset eivät vain toistaisi tietoa esimerkiksi oppikirjasta, vaan auttaisivat opiskelijaa rakentamaan omaa ymmärrystään teoriasta kokeellisuuden avulla. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa kirjoittamisen henkilökohtaisuutta ja merkityksellisyyttä olisi voinut lisätä työselostuspohja, joka olisi ohjannut opiskelijan kirjoitusprosessia enemmän kohti oman tiedon rakentamista. Esimerkiksi Keys *et al.*¹³ kehittämä tieteellisen kirjoittamisen malli olisi voinut edistää kirjoittamisen henkilökohtaista luonnetta. Aikaisempien tutkimustulosten^{17,67} perusteella tieteellisen kirjoittamisen heuristiikka on lisännyt kirjoittamisen henkilökohtaisuutta ja merkityksellisyyttä opiskelijoille verrattuna perinteisempään työselostuspohjaan. Henkilökohtaisuuden korostaminen voisi myös sitouttaa opiskelijoita enemmän oman oppimisensa rakentamiseen.

Työselostusten kirjoittaminen voi parhaimmillaan auttaa opiskelijoita hahmottamaan kokeellisuuden ja teorian yhteyksiä, mutta niiden kirjoittamiseen liittyy myös useita haasteita, jotka voivat vaikuttaa sekä työskentelytavan miellyttävyyteen että opiskelumotivaatioon. Tutkimuksessa koeryhmän opiskelijat kokivat erityisesti avoimien kohtien, kuten johtopäätösten tekemisen, tulosten tulkitsemisen sekä omaa pohdintaa vaativien osioiden kirjoittamisen haastavana. Tämä havainto on linjassa myös kirjallisuudesta^{22,38,54} etsityn tiedon kanssa ja esimerkiksi johtopäätösten³⁴ tekemistä pidetään haasteellisena jopa yliopistotasolla. Avoimien kohtien kirjoittamisen haasteet voivat johtua siitä, että opiskelijoilla on vaikeuksia selittää ja rakentaa tietoa tieteen kielellä. Työselostusten kirjoittaminen voisi siis toimia oppimisen välineenä, jos sanoittamista tieteen kielellä harjoiteltaisiin vielä enemmän. Esimerkiksi Keys *et al.*¹³ kehittämässä tieteellisen kirjoittamisen heuristiikan mallissa ohjataan

opettajaa teettämään opiskelijoilla tehtäviä, jotka liittyvät pohdintaan, havaintojen sanoittamiseen sekä havaintojen vertaamiseen tieteelliseen tietoon, ennen tieteellisen kirjoittamisen aloittamista.

Toiseksi merkittäväksi haasteeksi nousi arviointikriteerien epäselvyys. Moni opettaja hyödyntää arviointikriteerejä ainoastaan arviointiprosessin aikana²⁴, vaikka niitä voitaisiin hyödyntää myös kirjoitusprosessin ohjaamisessa. Moni koeryhmän opiskelijoista koki työselostusten kirjoittamisen stressaavana tehtävänä, koska heille ei annettu tarpeeksi tietoa siitä, millainen on hyvä työselostus tai millaisilla arviointikriteereillä heitä arvioidaan. Arviointikriteerejä ja kirjoittamisen tavoitteita olisi voinut selkeyttää arviointimatriisin avulla. Myös aikaisemmin on raportoitu⁴⁷, että opiskelijat ovat kokeneet arviointimatriisin käytön hyödyllisenä apuna kirjoitusprosessissa. Arviointikriteerien ja oppimistavoitteiden epäselvyys saattoi näkyä tässä tutkimuksessa myös kyselytutkimuksen vastauksissa, koska osa koeryhmän opiskelijoista vastasi, ettei pitänyt työselostusten kirjoittamista miellyttävänä opiskelutapana eikä kokenut sen vaikuttavan opiskelumotivaatioon positiivisesti.

Kirjallisuuden mukaan yleensä liian kaavamaista, myös tässä tutkimuksessa Jotkut opiskelijat kokivat työselostusten kirjoittamisen myös turhaksi, koska ei tehty mitään ”huippututkimusta”. Esille nousi myös kommentti, että selostusten tekeminen on helppoa, jos työn suorittaminen onnistuu. Havainnoista nousee esille kokeellisuuden yleinen malli koulussa. Työt suoritetaan tarkkojen ohjeiden mukaan ja jokaiselta odotetaan samanlaisia tuloksia. Myös kirjallisuuden perusteella kokeellinen työskentely on usein liian kaavamaista, jolloin syvemmän tason oppiminen jää vähäiseksi. Tällöin myös työselostusten kirjoittamisesta voi tulla kaavamaista, jos tutkimuksen tulokset ovat ennalta määrättyjä. Jos kokeellinen työskentely suoritettaisiin tutkivammalla otteella, voisi opiskelijoille jäädä enemmän tilaa itse tutkimiselle ja pohdinnalle.

11.2 Pohdinta

Toisella asteella koulutetaan osajia sekä jatko-opintoihin että työelämään, mukaan lukien kemian ala ja monet muut. Kirjallisen raportoinnin taito on tärkeä sekä jatko-opintojen että työelämän kannalta, sillä esimerkiksi monet työnantajat eri aloilla voivat arvostaa kykyä raportoida selkeästi ja ytimekkäästi. Lisäksi tieteellisen kirjoittamisen tavoitteet ja sisällöt toistuvat vielä esimerkiksi oppinnäytetyönkin kirjoittamisessa. Tämäkin oppinnäytetyö mukailee

tieteellisen tekstin muotoa ja rakennetta. Tieteellisten tekstien, kuten työselostusten, kirjoittaminen kehittää myös monia tärkeitä metakognitiivisia taitoja, kuten esimerkiksi kriittistä ajattelua ja ongelmanratkaisukykyä. Tieteellisestä kirjoittamisesta opittuja taitoja voi siis tarvita muuallakin kuin koulussa. Näiden tavoitteiden ja merkitysten avaaminen opiskelijoille voisi tehostaa oppimista ja motivoida opiskelijoita tieteellisen kirjoittamisen harjoitteluun.

Tämän tutkimuksen tuloksena havaittiin, että työselostuksen kirjoittaminen osana kemian kurssia johti hieman korkeampiin arvosanoihin sisällöllistä osaamista mittaavassa kyselyssä. Lisäksi havaittiin, että kirjoittamisen ohjaamisella on suuri rooli oppimisen kannalta. Opiskelijoille on tärkeää antaa formatiivista palautetta jo kirjoitusprosessin aikana. Myös tämän tutkimuksen kirjoitusprosessin edetessä havaittiin ohjaamisen ja palautteen merkitys. Tutkimuksen kirjoittamista ohjasi myös arviointimatriisi, jonka kriteereihin tuotettua tekstiä verrattiin. Arviointimatriisia voidaankin hyödyntää jatkuvan palautteen antamisessa. Tässä tutkimuksessa opiskelijat olisivat kaivanneet lisää selkeyttä ja avoimuutta arviointiin sekä mallivastauksia kirjoittamisen tueksi. Tämä korostaa palautteen ja selkeiden tavoitteiden merkitystä oppimisprosessissa.

Tärkeänä havaintona nousi esille myös kirjoittamisen merkityksellisyyden tärkeys. Useat tutkimukseen osallistuneet opiskelijat kertoivat, että työselostusten kirjoittaminen ei herätä heissä suuria tunteita, vaan se koetaan yhtenä monista kurssiin liittyvistä tehtävistä. Eräs opiskelija totesi suoraan, ettei näe työselostusten kirjoittamisen hyötyjä. Nämä havainnot viittaavat siihen, että kirjoittamista ei koeta henkilökohtaisena, mikä vähentää myös merkityksellisyyttä. Kirjoittamisen merkityksiä ja tavoitteita olisi siis tärkeää ja kannattavaa avata opiskelijoille selkeämmin, jotta oppiminen voisi olla tehokkaampaa.

Työselostusten kirjoittaminen vaatii monia erilaisia taitoja ja se voikin välillä tuntua haastavalta sekä oppilaan että opettajan näkökulmasta. Aikaisemman tutkimuksen mukaan opiskelijat voivat usein kokea monisivuisen tekstin kirjoittamisen jopa ahdistavaksi.⁴⁰ Myös tässä tutkimuksessa muutama opiskelija mainitsi työselostusten kirjoittamisen aiheuttavan stressiä. Koska tieteellisessä kirjoittamisessa harjoitellaan tärkeitä taitoja esimerkiksi jatko-opintojen ja työelämän kannalta, voitaisiin itse kirjoitusprosessikin ajatella oppimisen ja harjoittelun kannalta. Opiskelijoille ei siis kannata asettaa liian korkeita tavoitteita, jotta pitkän tekstin kirjoittamisesta ei muodostuisi liian haastavaa ja ahdistavaa tehtävää. Kirjoittaminen

kannattaisi aloittaa harjoittelemalla esimerkiksi pienempien osien kirjoittamista kerralla. Esimerkiksi Keys *et al.*¹³ suosittelevat, että opettaja aloittaisi opiskelijoiden kirjoitustaitojen kehittämisen jo ennen varsinaisten työselostusten kirjoittamista.

11.3 Tutkimuksen luotettavuuden ja eettisyyden tarkastelu

Tutkimuksen toteutuksessa on pyritty noudattamaan tarkasti hyvän tieteellisen käytännön perusperiaatteita, joita ovat Tutkimuseettisen neuvottelukunnan mukaan luotettavuus, rehellisyys, arvostus ja vastuunkanto.

Tämän tutkimuksen luotettavuutta tarkastellessa nousee esille otoksen suuruus. Otos oli määrällisesti suhteellisen pieni, mikä vaikuttaa tulosten luotettavuuteen ja yleistettävyyteen. Tutkimuksen avulla onnistuttiin kuitenkin selvittämään erään koulun lukiolaisten asenteita ja mielipiteitä työselostusten kirjoittamista kohtaan. Tehdyt havainnot ja päätelmät olivat linjassa myös aikaisempien tutkimusten tulosten kanssa. Myös sisällölliseen oppimiseen liittyneet tulokset olivat yhteneväisiä aikaisempien tutkimuksien kanssa.

Luotettavuuden kannalta on tärkeä huomioida, että tämä tutkimus oli osa opinnäytetyötä. Tutkimuksen tekeminen, kuten aineiston keruu ja sen analysointi, oli tutkijalle oppimistilanne, millä saattaa olla vaikutusta tutkimuksen luotettavuuteen. Luotettavuuteen voi vaikuttaa myös se, että kyselytutkimuksen sisällönanalyysin tekemiseen osallistui vain yksi tutkija, joten tulokset perustuvat ainoastaan yhden tutkijan tulkintaan. Ideaalitalanteessa sisällönanalyysin olisi osallistunut useampi tutkija, jolloin tutkijoiden tulkintoja vastauksista olisi voitu verrata keskenään. Tutkimuksen luotettavuus huomioitiin myös kirjallisuuden haussa. Tutkimuksessa pyrittiin hyödyntämään uusinta mahdollista tutkimustietoa tutkittavasta aiheesta. Tutkimuksen kirjallista osaa kirjoitettaessa pyrittiin tekemään mahdollisimman laajaa kirjallisuushakua käsiteltävästä aiheesta. Tutkimuksen otos oli kooltaan myös melko pieni, mikä saattaa heikentää tulosten luotettavuutta ja yleistettävyyttä. On hyvä myös huomata, että sisällöllistä osaamista mittaavan kyselytutkimuksen tuloksiin voivat vaikuttaa muutkin tekijät kuin työselostusten kirjoittamisen kautta oppiminen.

Tutkimuksen eettisyyden kannalta on tärkeä varmistaa, ettei tutkimukseen osallistuminen häiritse nuoren opiskelua. Tässä tutkimuksessa aineiston keruu pyrittiin liittämään jo ennalta mietittyyn kurssirakenteeseen. Lukion kurssit ovat aikatauluiltaan rajallisia, joten tutkimuksen tekemiseen ja toteuttamiseen vaikutti kiireinen aikataulu, mikä saattoi osaltaan vaikuttaa myös tutkimuksen luotettavuuteen.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 38 lukiolaista. Opiskelijoiden huoltajia oli tiedotettu ennakkoon koulussa tehtävästä tutkimuksesta ja alaikäisillä opiskelijoilla oli huoltajien lupa osallistua tutkimukseen. Ennen aineiston keruuta opiskelijoille kerrottiin, minkälaisesta tutkimuksesta on kyse, mitä tutkimukseen osallistuminen tarkoittaa ja mitä kerätyllä aineistolla tehdään. Opiskelijoille myös selitettiin, että sähköisiin kyselyihin vastaaminen on vapaaehtoista ja tutkimuksessa kerätty data hävitetään tutkimuksen jälkeen. Jos opiskelija ei halunnut osallistua tutkimukseen, myöskään pakollisena osana kurssia tehdyn paperisen kyselyn tuloksia ei käytetty tutkimuksen aineistossa. Tällöin kyselyn tulokset menivät ainoastaan lukion kemian opettajalle, joka hyödynsi tuloksia osana kurssiarvosanan muodostamista.

Tutkimukseen osallistuneiden ryhmien opiskelijoille painotettiin, että tutkimukseen liittyvät tiedot kerätään anonymisti, eikä opiskelijoita voida tunnistaa vastausten perusteella. Opiskelijoiden anonymiyyttä on pyritty suojelemaan myös siten, että tutkimukseen osallistuneesta koulusta on kerrottu tietoja vain suurpiirteisesti. Opiskelijoilta kerättyä aineistoa käsiteltiin luottamuksellisesti siten, että ainoastaan tutkijalla ja ohjaajalla oli pääsy siihen.

11.4 Jatkotutkimusaiheita

Tämän tutkimuksen otoskoko oli suhteellisen pieni, joten jatkotutkimusaiheena voisi olla työselostusten kirjoittamisen vaikutusten tutkiminen laajemassa mittakaavassa. Suurempi otoskoko lisäisi luotettavuutta sekä mahdollisuuksia tehdä yleisempiä johtopäätöksiä.

Koska kirjoittamisen henkilökohtaisuus on merkittävä tekijä kirjoittamisesta oppimisessa, voisi olla tärkeää myös tutkia tarkemmin erilaisten raportoinnin muotoja ja niiden vaikutusta oppimiseen. Jatkotutkimuksissa voitaisiin tutkia esimerkiksi perinteisten työselostusten kirjoittamista verrattuna tieteellisen kirjoittamisen heuristiikkaan.

Moni opiskelija kirjoittaa työselostuksia ensimmäisen kerran vasta korkeakouluopintojen aikana. Jatkotutkimusaiheena voisikin olla, kuinka asenteet kirjoittamista kohtaan eroavat niillä opiskelijoilla, jotka ovat kirjoittaneet työselostuksia jo toisella asteella verrattuna niihin opiskelijoihin, jotka kirjoittavat työselostuksia ensimmäistä kertaa.

12 Kirjallisuus

1. Gericke, N.; Högström, P. ja Wallin, J., A systematic review of research on laboratory work in secondary school, *Studies in Science Education*, **2023**, 59, 245–285.
2. Akbasli, S.; Mehmet, Ş. ja Yaykiran, S. The Effect of Reading Comprehension on the Performance in Science and Mathematics, *Journal of Education and Practice*, **2016**, 7, 108–120.
3. Hofstein, A., ja Mamlok-Naaman, R., The Laboratory in Science Education: The State of the Art., *Chemistry Education Research and Practice*, **2007**, 8, 105–107.
4. Hodson, D., Learning science, learning about science, doing science: Different goals demand different learning methods, *Int J Sci Educ.*, **2014**, 36, 2534–2553.
5. Hofstein, A., The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research, *Chemistry education: Research and practise*, **2004**, 5, 247–264.
6. Lim, K. F., Improving laboratory learning through self and peer assessment of laboratory reports, *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, **2015**, 23, 59–73.
7. Hodson, D., Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Stud Sci Educ.*, **2008**, 22, 85–142.
8. Knain, E., Identity and genre literacy in high-school students' experimental reports, *Int J Sci Educ.*, **2005**, 27, 607–624.
9. Högström, P.; Ottander C. ja Benckert S., Lab work and learning in secondary school chemistry: The importance of teacher and student interaction. *Res Sci Educ.* **2010**, 40, 505–523.
10. Tomas, L., ja Ritchie, S. M., The challenge of evaluating students' scientific literacy in a writing-to-learn context. *Res Sci Educ.*, **2015**, 45, 41–58.
11. Abd-El-khalick, F. ja Lederman, N. G., Improving science teachers' conceptions of nature of science: A critical review of the literature. *Int J Sci Educ.* **2000**, 22, 665–701.
12. Position Statement: The Nature of Science, National Science Teaching Association (NSTA), <https://www.nsta.org/nstas-official-positions/nature-science> (25.10.2024).

13. Keys, C. W.; Hand, B.; Prain, V. ja Collins, S., Using the science writing heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science, *Journal of research in science teaching*, **1999**, *36*, 1065–1084.
14. Abell, S. K. ja Lederman N.G., *Handbook of Research on Science Education*, Lawrence Associates, Inc., Publisher, 2007, 729–780.
15. OECD, *PISA Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy*, Programme for International Student Assessment, 2010, 19-42.
16. Hamzah, N. B.; Che Balian, S. R. B.; Binti Dzulkurnain, N. A.; Abbasvandi, N. ja Binti Daud, N. A. A., An Investigation on Scientific Writing Difficulties & Writing Process, *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, **2024**, *14*, 1596–1608.
17. Hohenshell, L. M. ja Hand, B., Writing-to-learn strategies in secondary school cell biology: A mixed method study. *Int J Sci Educ.* **2006**, *28*, 261–289.
18. Willmott, C. J. R.; Clark, R. P. ja Harrison, T. M., Introducing undergraduate students to scientific reports, *Bioscience Education.* **2003**, *1*, 1–8.
19. Sari, Y. I.; Sumarmi; Utomo, D. H. ja Astina, I. K., The effect of problem based learning on problem solving and scientific writing skills, *International Journal of Instruction*, **2021**, *14*, 11–26.
20. Casado-Ledesma, L.; Cuevas, I. ja Martín, E., Learning science through argumentative synthesis writing and deliberative dialogues: a comprehensive and effective methodology in secondary education. *Read Writ.* **2023**, *36*, 965–996.
21. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019, Opetushallitus, <https://www.oph.fi> (18.10.2024)
22. Seah, L. H., Understanding the conceptual and language challenges encountered by grade 4 students when writing scientific explanations, *Res Sci Educ.*, **2016**, *46*, 413–437.
23. Parkinson, J., The student laboratory report genre: A genre analysis. *English for Specific Purposes.* **2017**, *45*, 1–13.

24. Clabough, E. B. D., Clabough, S. W., Using Rubrics as a Scientific Writing Instructional Method in Early Stage Undergraduate Neuroscience Study, *The Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, **2016**, *15*, 85–93.
25. Holstein, S. E.; Mickley Steinmetz, K. R. ja Miles, J. D., Teaching Science Writing in an Introductory Lab Course, *The Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, **2015**, *13*, 101–109.
26. Pelger, S. ja Nilsson, P., Popular science writing to support students' learning of science and scientific literacy, *Res Sci Educ.*, **2016**, *46*, 439–456.
27. Romulo, C. L.; Raoufi, A.; Largen, K. ja Schwebach, J. R. Using peer review to improve lab report assignments, *American Biology Teacher*, **2018**, *80*, 301–304.
28. Reports, The University of North Carolina at Chapel Hill, <https://writingcenter.unc.edu/tips-and-tools/scientific-reports/> (12.9.2024).
29. Laboratoriotyön selostuksen kirjoitusohje, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, <https://www.jyu.fi/fi/media/8720> (12.10.2024).
30. Hoffa, D. W. ja Freeman, S. A., The Impact of Laboratory Report Format on Student Learning*, *Int. J. Engng Ed.*, **2007**, *23*, 105-113.
31. Cargill, M., O'Connor, P. *Writing Scientific Research Articles: Strategy and Steps*, Wiley Blackwell, 3. painos, 2021, 9–13.
32. Wu, J., Improving the writing of research papers: IMRAD and beyond, *Landsc Ecol.*, **2011**, *26*, 1345–1349.
33. Kalaskas, A. B., *Science lab report writing in postsecondary education: Mediating teaching and learning strategies between students and instructions*, George Mason University, 2013.
34. Aloittelevan selostuksenkirjoittajan opas, Jyväskylän yliopisto, https://www.jyu.fi/sites/default/files/2023-07/selostuksenkirjoitusopas_6.pdf (19.10.2024).
35. Fysiikan oppilaslaboratorio työselostuksen laatiminen, Tampereen teknillinen yliopisto, fysiikan laitos,

- https://moodle.tampere.fi/pluginfile.php/183731/mod_resource/content/1/selostuksen_1_aatiminen.pdf (24.10.2024).
36. Lab reports, University of Toronto, Faculty of Applied Science & Engineering, <https://ecp.engineering.utoronto.ca/resources/online-handbook/types-of-documents/lab-reports/> (23.5.2024).
37. Lab Report Writing, Phoenix College, <https://phoenixcollege.libguides.com/LabReportWriting/labreportformat> (19.10.2024)
38. Whitehead, D. ja Murphy, F., “Mind your language”: High school students write laboratory reports, *Journal of Adolescent and Adult Literacy*, **2014**, *57*, 492–502.
39. Keys, C. W., Investigating the thinking processes of eighth grade writers during the composition of a scientific laboratory report, *J Res Sci Teach.*, **2000**, *37*, 676–690.
40. Dirrigl, F. J. ja Noe, M., The student writing toolkit: Enhancing undergraduate teaching of scientific writing in the biological sciences, *J. Biol. Educ.*, **2014**, *48*, 163–171.
41. Sampson, V.; Enderle, P.; Grooms, J. ja Witte, S., Writing to learn by learning to write during the school science laboratory: Helping middle and high school students develop argumentative writing skills as they learn core ideas, *Sci. Educ.* **2013**, *97*, 643–670.
42. Wallace, C. S., Hand, B., Using a science writing heuristic to promote learning from laboratory, *Science & Technology Education Library*, **2004**, *23*, 68–74.
43. Keys, C. W., Writing Collaborative Laboratory Reports in Ninth Grade Science: Three Case Studies of Social Interactions. *Sch. Sci. Math.*, **1996**, *96*, 178–186.
44. Stewart, A. F.; Williams, A. L.; Lofgreen, J. E.; Edgar, L. J. G.; Hoch, L. B. ja Dicks, A. P., Chemistry Writing Instruction and Training: Implementing a Comprehensive Approach to Improving Student Communication Skills, *J Chem Educ.*, **2016**, *93*, 86–92.
45. Guilford, W. H., Teaching peer review and the process of scientific writing, *Advances in psychology education*, **2001**, *25*, 167–175.
46. Singh, V. ja Mayer, P., Scientific writing: Strategies and tools for students and advisors, *Biochemistry and Molecular Biology Education*, **2014**, *42*, 405–413.

47. Andrade, H. L.; Du, Y. ja Mycek, K., Rubric-referenced self-assessment and middle school students' writing, *Assess Educ.* **2010**, *17*, 199–214.
48. Lingard, L., Collaborative writing: Strategies and activities for writing productively together, *Perspect Med Educ.*, **2021**, *10*, 163–166.
49. Syazali, M.; Erfan, M.; Niswatul Khair, B.; Rahmatih, A. N. ja Hasnawati, H., The effectiveness of template and example paper implementation in developing student writing skills in science courses, *Jurnal Pijar Mipa*, **2023**, *18*, 336–342.
50. Keys, C. W., Language as an Indicator of Meaning Generation: An Analysis of Middle School Students' Written Discourse About Scientific Investigations, *Journal of Research in Science Education*, **1999**, *36*, 1044–1061.
51. Stephenson, N. S. ja Sadler-Mcknight, N. P., Developing critical thinking skills using the Science Writing Heuristic in the chemistry laboratory, *Chemistry Education Research and Practice*, **2016**, *17*, 72–79.
52. Rakedzon, T., Baram-Tsabari, A., To make a long story short: A rubric for assessing graduate students' academic and popular science writing skills, *Assessing Writing*, **2017**, *32*, 28–42.
53. Hand, B.; Prain, V. ja Wallace, C., Influences of Writing Tasks on Students' Answers to Recall and Higher-Level Test Questions, *Res Sci Educ.*, **2002**, *32*, 19–34.
54. Peker, D. ja Wallace, C. S., Characterizing High School Students' Written Explanations in Biology Laboratories, *Res Sci Educ.*, **2010**, *41*, 169–191.
55. Arviointisanasto opettajalle, Opetushallitus, <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/arviointisanasto-opettajille> (11.11.2024).
56. Syventävien opintojen tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, <https://www.jyu.fi/fi/media/8691> (14.10.2024).
57. Hansson, E. E.; Svensson, P. J.; Strandberg, E. L.; Troein, M. ja Beckman, A., Inter-rater reliability and agreement of rubrics for assessment of scientific writing, **2014**, *4*, 2–17.
58. Liu, Q., Research on writing assessment in high school writing teaching, *Frontier in Sustainable Development*, **2024**, *4*, 147–151.

59. Harris, J. R., Peer assessment in large undergraduate classes: an evaluation of a procedure for marking laboratory reports and a review of related practices, *Adv Physiol Educ.*, **2011**, *35*, 178–187.
60. Bennett, R. E., Formative assessment: A critical review, *Assess Educ.* **2011**, *18*, 5–25.
61. Berry, D. E. ja Fawkes, K. L., Constructing the components of a lab report using peer review, *J Chem Educ.*, **2010**, *87*, 57–61.
62. Rakedzon, T. ja Baram-Tsabari, A., To make a long story short: A rubric for assessing graduate students' academic and popular science writing skills, *Assessing Writing*, **2017**, *32*, 28–42.
63. Reynders, G.; Lantz, J.; Ruder, S. M.; Stanford, C. L. ja Cole, R. S., Rubrics to assess critical thinking and information processing in undergraduate STEM courses, *Int J STEM Educ.*, **2020**, *7*, 28–42.
64. Brewer, D., *Teaching Writing in Science Through the Use of a Writing Rubric*, University of Michigan-Flint, 2002.
65. Walvoord, M. E.; Hoefnagels, M. H.; Gaffin, D. D.; Chumchal, M. M ja Long, D. A., An analysis of calibrated peer review (CPR) in a science lecture classroom, *Journal of College Science Teaching*, **2008**, *37*, 66–73.
66. Shah, J.; Shah, A. ja Pietrobon, R., Scientific writing of novice researchers: What difficulties and encouragements do they encounter?, *Academic Medicine*, **2009**, *84*, 511-516.
67. Hand, B.; Wallace, C. W. ja Yang, E. M., Using a Science Writing Heuristic to enhance learning outcomes from laboratory activities in seventh-grade science: Quantitative and qualitative aspects. *Int J Sci Educ.* **2004**, *26*, 131–149.
68. Tro N., *Chemistry: A Molecular Approach*, 4. painos, Pearsons Education Limited, 2016.
69. Smith J. G., *Organic Chemistry*, 3. painos, McGraw-Hill , 2010.
70. Clayden J., Greeves N., Warren S., *Organic Chemistry*, Oxford University Press, 2. painos, 2012.

71. Hieta K., Kukko A., Kylliäinen O., Mansikkamäki A., Pihko P., Vakkilainen K-M., *Sidos KE3 Molekyylit ja Mallit (LOPS2019)*, 3. painos, Sanoma Pro, 2024.
72. “Stereoisomers”, IUPAC Compendium of Chemical Terminology, <https://doi.org/10.1351/goldbook.S05984> (2.11.2024).
73. Liljeblad A., Molander O., Turpeenoja L., *Mooli 3 (LOPS2019)*, 2. Painos, 2022.
74. Tuomi J, Sarajärvi A. *Laadullinen Tutkimus Ja Sisällönanalyysi*. Tammi; 2017.
75. Kimmo V. *Kyselytutkimuksen Mittarit Ja Menetelmät*. Helsingin yliopisto; 2014.
76. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto, Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto, <https://www.fsd.tuni.fi/fi/tietoaarkisto/julkaisut/kvalimotv.pdf> (18.11.2024).
77. Content Analysis, Columbia University Irving Medical Center, <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/content-analysis> (12.6.2024).

Liitteet

Liite 1. Ennakkokysely

Liite 2. Välikysely

Liite 3. Jälkikysely

Liite 4. Tutkimuksessa käytössä ollut työselostuspohja

Liite 5. Sidos KE3, Työ 8: Maleiinihaposta fumaarihappoa

Ennakkokysely

1. Oletko kirjoittanut työselostuksia aiemmin?
2. Mitä ajattelet työselostusten kirjoittamisesta?
3. Olen kiinnostunut kemiasta ja kemian opiskelusta.
 1. Täysin samaa mieltä
 2. Vähän samaa mieltä
 3. En samaa, enkä eri mieltä
 4. Vähän eri mieltä
 5. Täysin eri mieltä
4. Aiotko kirjoittaa kemian ylioppilaskirjoituksissa?
 - Kyllä
 - En
 - En osaa sanoa
5. Haluan työskennellä kemian alalla tulevaisuudessa.
 1. Täysin samaa mieltä
 2. Vähän samaa mieltä
 3. En samaa, enkä eri mieltä
 4. Vähän eri mieltä
 5. Täysin eri mieltä
6. Koen kemian opiskelun hankalaksi
 1. Täysin samaa mieltä
 2. Vähän samaa mieltä
 3. En samaa, enkä eri mieltä
 4. Vähän eri mieltä
 5. Täysin eri mieltä

6. Minkälaisen arvosanan sait viimeisestä suorittamastasi kemian kurssista?

- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

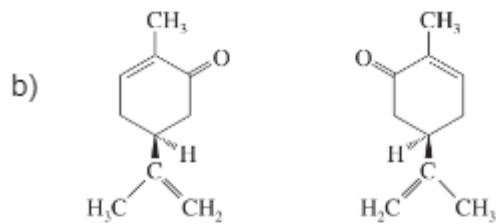
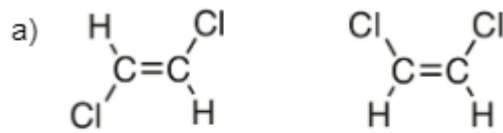
Välikysely

1. Mikä näistä ei ole stereoisomerian laji?

- a) funktioisomeria
- b) cis-trans isomeria
- c) E/Z-isomeria
- d) enantiomeria

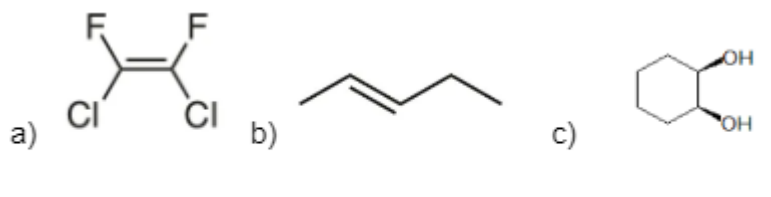
/1

2. Tunnista, mitä stereosiomeerejä molekyylit ovat toisilleen.



/3

3. Tunnista, onko molekyyli cis- vai trans-isomeeri.



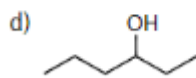
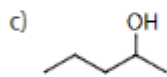
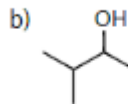
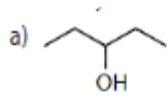
/3

4. Mikä seuraavista on 1-butanolin funktioisomeeri?

- a) 2-butanoli
- b) butanaali
- c) dietyylieetteri
- d) 2-metyyli-2-propanoli

/1

5. Mikä seuraavista on 2-pentanolin paikkaisomeeri?



/1

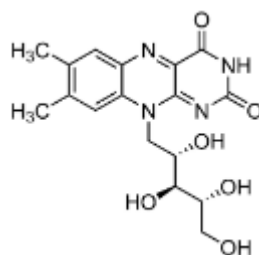
6. Kuinka monta rakenneisomeeriä voi piirää molekyylikaavasta C_4H_9Cl ?

- a) 2
- b) 3
- c) 4
- d) 5

/1

7. Kuinka monta kiraliakeskusta on B2-vitamiinissa eli riboflaviinissa?

- a) 3
- b) 4
- c) 5
- d) 7



/1

Jälkikysely

1. Työselostuksen kirjoittaminen oli mielestäni miellyttävä tapa opiskella kemian sisältöjä.
 1. Täysin samaa mieltä
 2. Vähän samaa mieltä
 3. En samaa, enkä eri mieltä
 4. Vähän eri mieltä
 5. Täysin eri mieltä

2. Koen työselostusten kirjoittamisen hyödylliseksi kemian opiskelussa.
 1. Täysin samaa mieltä
 2. Vähän samaa mieltä
 3. En samaa, enkä eri mieltä
 4. Vähän eri mieltä
 5. Täysin eri mieltä

3. Työselostusten kirjoittaminen vaikutti positiivisesti opiskelumotivaatiooni.
 1. Täysin samaa mieltä
 2. Vähän samaa mieltä
 3. En samaa, enkä eri mieltä
 4. Vähän eri mieltä
 5. Täysin eri mieltä

4. Mikä työselostuksen kirjoittamisessa oli helppoa?

5. Mikä työselostuksen kirjoittamisessa oli haasteellista?

Cis-trans-isomeria

XX.XX.2024 Oma nimi

Jyväskylän normaalikoulun lukio

Kemian moduuli 3

1 Johdanto (johdanto kannattaa kirjoittaa loppuksi)**Kerro muutamalla lauseella ainakin:**

- **Mihin fumaarihappoa ja maleiinihappoa käytetään?**
- **Mitkä ovat näiden happojen yleisimmät ominaisuudet?**
- **Mikä on työn tarkoitus?**

Maleiinihappo ja fumaarihappo ovat toistensa stereoisomeerejä. Fumaarihappoa muodostuu aineenvaihdunnassa rasvojen ja hiilihydraattien hapettumisen välituotteena niin sanotussa sitruunahappokierrossa. Fumaarihappoa käytetään happamuudensäätö- ja hapettumisenestoaineena elintarvikkeissa. Maleiinihappo on vesiliukoista ja sitä käytetään esimerkiksi muovien, hyönteismyrkkyjen ja voiteluaineiden raaka-aineena (Sidos KE3).

Työn tavoitteena oli tutkia kahden avaruusisomeerin erilaisia rakenteita ja ominaisuuksia, kuten liukoisuutta ja sulamispisteitä sekä pohtia rakenteen ja sidosvoimien vaikutusta aineen ominaisuuksiin (Sidos KE3).

2 Teoreettiset lähtökohdat**Kerro tässä työhön liittyvää teoriaa, esim.**

- **Mitä tarkoittaa stereoisomeria?**
- **Mitkä ovat stereoisomerian lajit?**
- **Mitä tarkoittaa cis-trans-isomeria?**
- **Miten yhdisteiden ominaisuudet eroavat eri isomeerien välillä? Entä mistä erilaiset ominaisuudet johtuvat?**

Kahdella molekyyllä voi olla samanlainen hiilirunko ja samat funktionaaliset ryhmät juuri samoissa hiiliatomeissa, ja silti niiden ominaisuudet voivat erota toisistaan. Jos molekyylit eroavat toisistaan vain kolmiulotteisen rakenteen perusteella, ne ovat toistensa stereoisomeereja. (Sidos KE3)

Toisin kuin yksinkertainen kovalenttinen sidos, hiiliatomien välillä oleva kaksoissidos on jäykkä, mikä tarkoittaa, että sidoksen vapaa kiertyminen ei ole mahdollista. Tässä tapauksessa isomeerin muuttuminen toiseksi edellyttää π -sidoksen katkeamista, σ -sidoksen kiertymistä ja π -sidoksen uudelleen muodostumista. Kaksoissidoksen muodostavat hiiliatomit sitovat atomit tai atomiryhmät pysyvästi joko kaksoissidoksen tason samalle puolelle tai vastakkaisille puolille. Tämä ilmiö tunnetaan nimellä cis-trans-isomeria. (Sidos KE3)

But-2-eenidihapolla on kaksi konfiguraatioisomeeriä, cis-but-2-eenidihappo (maleiinihappo) ja trans-but-2-eenidihappo (fumaarihappo). Maleiinihapon rakennekaava on esitetty kuvassa 1 ja fumaarihapon kuvassa 2.

Kuva 1. Maleiinihapon rakennekaava.

Piirrä tähän MarvinSketch-ohjelmalla kuva maleiinihapon rakennekaavasta.

Kuva 2. Fumaarihapon rakennekaava.

Piirrä tähän MarvinSketch-ohjelmalla kuva fumaarihapon rakennekaavasta.

Fumaarihapon saantoprosentti laskettiin seuraavasti:

(Lisää tähän saantoprosentin yleinen laskukaava.)

4 Koejärjestely

4.1. Välineet ja aineet

Tee tähän luettelo kaikista käytetyistä välineistä ja aineista (Huom! Kemialliset kaavat ja tarvittaessa pitoisuudet!)

4.2. Työn suoritus

Kertokaa lyhyesti, miten koe suoritettiin. Lisätkää kuvia eri työvaiheista. Muistakaa kuvatekstit ja kuvien numerointi. Tähän kohtaan ei vielä tuloksia!

5 Tulokset

Lisätkää kuvia, jossa näkyy tuotos. Kirjoittakaa auki tutkimuksista ja kuvista näkyvät **havainnot**. Tehkää havaintojen perusteella **päätelmiä** tutkimuksen tuloksista.

Laskekaa fumaarihapon saantoprosentti:

Lähtöaineena käytetyn maleiinihappoanhydridin ainemäärä:

$$n(\text{maleiinihappoanhydridi}) = \frac{m(\text{maleiinihappoanhydridi})}{M(\text{maleiinihappoanhydridi})}$$

= (laske tähän ainemäärä)

Kirjoita tähän kokonaisin lausein fumaarihapon teoreettinen saanto reaktioyhtälöstä nähtävien ainemäärien suhteiden avulla.

(Yhdestä moolista maleiinihappoanhydridia voi muodostua yksi mooli fumaarihappoa, joten fumaarihapon teoreettinen saanto on...)

Fumaarihapon teoreettinen saanto grammoina on:

$$m_{\text{teoreettinen}}(\text{fumaarihappo}) = (\text{laske tähän fumaarihapon massa grammoina})$$

Fumaarihapon punnittu massa:

$$m(\text{fumaarihappo}) = (\text{kirjoita tähän punnitsemasi massa})$$

Fumaarihapon saanto-% on:

$$\text{saantoprosentti}(\text{fumaarihappo}) = (\text{laske tähän saantoprosentti})$$

6 Johtopäätökset ja pohdinta

- Vastatkaa kirjan s. 196 osion ”Tulosten käsittely” kysymyksiin 1–6.
 1. Nimeä maleiinihappo ja fumaarihappo systemaattisilla nimillään.
 2. Mitä isomeerejä maleiinihappo ja fumaarihappo ovat toisilleen?
 3. Kumman isomeerin sulamispiste on tutkimuksen perusteella matalampi?

4. *Etsi maleiinihapon ja fumaarihapon sulamispisteet. Olivatko havaintosi kirjallisuusarvojen suuntaisia?*
 5. *Pohdi, mistä ero isomeerien sulamispisteissä johtuu.*
 6. *Miten maleiinihapon ja fumaarihapon liukoisuus veteen eroaa toisistaan? Mistä ero liukoisuudessa johtuu?*
- **Pohtikaa, miksi saantoprosentti ei ole 100 %? Onko tuloksissa eroja? Perustelkaa vastaustanne saantoprosentin avulla.**
 - **Mistä mahdolliset erot voivat johtua? Pohtikaa mahdollisia virhelähteitä JA sitä, miten ne vaikuttavat tulokseen.**
 - **Selittäkää, mitä maleiinihappomolekyylin rakenteessa tapahtuu sidostasolla, kun niistä muodostuu fumaarihappoa.**

Lähteet

Työ 8 Maleiinihaposta fumaarihappoa

[Kopioi linkki](#)

[Tutkimukset](#)

Työturvallisuus



- Työssä käytetään työtakkia, suojalaseja ja hapon kestäviä suojakäsineitä.
- Väkevä suolahappo on hyvin syövyttävää ja helposti haihtuvaa, joten sitä on käsiteltävä varovaisesti hapon kestävät käsineet käsissä vetokaapissa.
- Kuumenna seosta varovasti ja varo roiskumista.
- Ominaisuuksien tutkiminen tehdään vetokaapissa mahdollisimman pienillä määrillä ainetta, sillä maleiinihapon kuumentuessa voi muodostua maleiinihydrolyysiä, joka on vaarallista hengitettynä. Myös maleiinihappohöyryjen hengittäminen on vaarallista.
- Suodatinpaperin tulee peittää kaikki Büchner-supilon reiät, mutta se ei saa nousta supilon reunoille.

Aineet ja välineet



Aineet

- maleiinihappo $C_4H_4O_4$ (s)



- tislattu vesi H_2O (l)
- väkevä suolahappo HCl (aq)

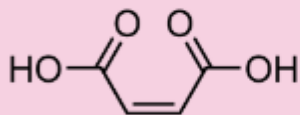


- hanavesi
- jääpaloja tai lunta

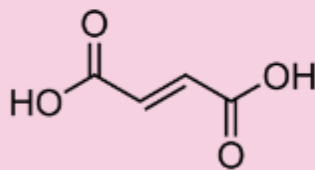
Välineet

- punnitusastia
- keittopullo 100 ml (tai keitinlasi 100 ml)
- täyspipetti 5 ml tai mittalasi 10 ml
- keitinlasi 400 ml
- keitinlasi 600 ml
- keittolevy
- vedenkeitin
- imusuodatusvälineet (Büchner-suppilo, kumiletku, imusuodatin ja suodatinpaperia) tai suppilo, suodatinpaperi ja keittopullo 100 ml
- alumiinifolion pala keittolevyn päälle
- spaatteli tai lusikka
- vaaka

Työohjeet



maleiinihappo



fumaarihappo

Työn taustaa

Maleiinihappo ja fumaarihappo ovat toistensa stereoisomeerejä. Fumaarihappoa muodostuu aineenvaihdunnassa rasvojen ja hiilihydraattien hapettumisen välituotteena niin sanotussa sitruunahappokierrossa. Koska fumaarihappo on myrkytöntä, sitä käytetään myös happamuudensäätö- ja hapettumisenestoaineena elintarvikkeissa.

Maleiinihappoa käytetään esimerkiksi joidenkin muovien, hyönteismyrkköjen ja voiteluaineiden raaka-aineena. Tässä työssä muutetaan maleiinihappo fumaarihapoksi happokatalyytin avulla.

Maleiinihappo on vesiliukoista. Reaktiossa muodostuva fumaarihappo puolestaan liukenee huonosti kylmään veteen.

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on tutkia kahden avaruusisomeerin erilaisia rakenteita ja ominaisuuksia, kuten liukoisuutta ja sulamispisteitä sekä pohtia rakenteen ja sidosvoimien vaikutusta aineen ominaisuuksiin. Lisäksi työssä harjoitellaan kokeellisia työmenetelmiä, kuten pipetointia ja imusuodatusta.

Työn suoritus

1. Kuumenna vesihauteeseen tarvittavaa vettä vedenkeittimessä kiehuvaaksi.
2. Punnitse 3,0 g maleiinihappoa keitinlasiin ja lisää täyspipetillä tai mittalasilla 5,0 ml vettä. Sekoita huolellisesti.
3. Lämmitä seosta vesihauteessa, kunnes kaikki maleiinihappo on liuennut veteen. Liukenemista voi parantaa lisäämällä seokseen 1–2 ml vettä.
4. Lisää seokseen 2–3 ml väkevää suolahappoa katalyytiksi.
5. Pyyhi keittopullon ulkopinta kuivaksi ja kuumenna sitä varovasti keittolevyllä, kunnes seos alkaa kiehua. Nosta keittopullo sen jälkeen takaisin kuumavesihauteeseen.
6. Anna reaktion jatkua hauteessa vielä 10 minuutin ajan. Nosta sen jälkeen keittopullo jäähtymään kuumuutta kestäväälle alustalle.
7. Jäähdytä seosta jää-vesi- tai lumihauteessa, kunnes keittopullon pohjalle erottuu kiinteää fumaarihappoa.
8. Aseta Büchner-suppiloon sopiva suodatinpaperi ja kostuta se tislattulla vedellä.
9. Kytke suodatuslaitteisto vesihanaan, avaa vesihana ja ime suodatinpaperi kiinni suppilon pohjaan.
10. Kaada keittopullon seos varovasti Büchner-suppiloon ja suodata seos alipaineen avulla.
11. Huuhtele keittopullo kahteen kertaan pienellä määrällä vettä ja suodata pesuliuos.
12. Anna kiteiden kuivua esimerkiksi vetokaapissa.

Ominaisuuksien tutkiminen

1. Aseta keittolevy vetokaappiin ja peitä keittolevyn pinta alumiinifolion palalla.
2. Ota lusikankärjellinen maleiinihappoa ja fumaarihappoa eri kohtiin keittolevyä ja aloita kuumennus.
3. Tarkastele kiteitä ja havainnoi, kumpi aineista sulaa ensin.

Jätteiden käsittely



- Muodostuneen fumaarihapon voi kerätä talteen mahdollista myöhempää käyttöä varten tai kiinteiden orgaanisten happojen keräysastiaan. Myös suodatetun liuoksen voi kerätä happoliuosten keräysastiaan.