Kehittämistutkimus: Lukion kemian opettajien toiveita ja tarpeita vastaavien tutkimuksellisten oppilastöiden kehittäminen

Katariina Tammi

Pro gradu - tutkielma

30.5.2019

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian osasto

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

Ohjaajat: Maija Aksela ja

Johannes Pernaa

HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA FAKULTETEN
FACULTY OF SCIENCE

Tiedekunta – Fakultet – Faculty	Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta	Matematiikan, fysiikan ja kemian opettajan maisteriohjelma

Tekijä – Författare – Author

Katariina Maria Tammi

Työn nimi – Arbetets titel – Title

Kehittämistutkimus: Lukion kemian opettajien toiveita ja tarpeita vastaavien tutkimuksellisten oppilastöiden kehittäminen

Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages
Pro gradu -tutkielma	5/2019	66 + 16

Tiivistelmä – Referat – Abstract

Lukion opetussuunnitelma uudistettiin vuonna 2015, mikä johti tarpeeseen kehittää opetussuunnitelman toteutuksen tueksi uusia opetusmateriaaleja. Tässä kehittämistutkimuksessa kartoitetaan opettajien mielipiteitä ja tarpeita ja luodaan niiden pohjalta materiaalia tutkimuksellisen kokeellisuuden tekemiseen lukion kemian kursseilla.

Kokeellisuus voidaan jakaa neljään tasoon sen mukaan, miten paljon vastuuta oppijalle annetaan tutkimuskysymyksen, työn toteutuksen ja tulosten tulkinnan osalta. Tasolla 0 opettaja määrittää nämä kaikki kolme, mukaanlukien kokeellisen työn oikean lopputuloksen. Tasolla 1 opettaja määrittää tutkimuskysymyksen ja työn toteutuksen, mutta jättää tulosten tulkinnan oppijalle. Tasolla 2 opettaja määrittää tutkimuskysymyksen, mutta työn toteutus ja tulosten tulkinta jää oppijalle. Tasolla 3 kaikkien osa-alueiden vastuu on siirretty oppijalle. Tasot 1-3 lasketaan tutkimukselliseksi kokeellisuudeksi, sillä niissä annetaan oppijalle aktiivinen rooli tutkimuksen teossa.

Tässä tutkielmassa käytettiin menetelmänä kehittämistutkimusta, jonka ongelma-analyysinä toteutettiin kysely lukion kemian opettajille. Yhteensä 63 opettajaa vastasi kyselyyn ja tulosten perusteella arvioitiin opettajien käsityksiä tutkimuksellisuudesta sekä toiveita uusien tutkimuksellisten töiden osalta. Kyselyyn pystyi vastaamaan suomeksi tai ruotsiksi. Opettajien toivomista aiheista tiivistettiin aineistolähtöisen analyysin keinoin lista toivotuimmista aiheista uusille tutkimuksellisille töille sekä selostukset tutkimuksellisuuden hyödyistä ja haasteista. Näihin tuloksiin pohjautuen valittiin kaksi aihetta, joihin kehitettiin tutkimukselliset kokeelliset työohjeet. Työohjeita testattiin Kemianluokka Gadolinissa vierailevien lukioryhmien kanssa ja paranneltiin opiskelijoiden palautteen sekä ohjaajan havaintojen pohjalta.

Opettajien kaksi eniten toivomaa töiden aihetta olivat orgaaniset reaktiot sekä aineen ominaisuudet. Ensimmäiseen aiheeseen kehitettiin tutkimuksellinen työ etanolin hapettumisesta. Työssä hapetetaan etanolia hehkuvalla kuparilangalla ja verrataan saatua reaktiotuotetta opiskelijoiden valitsemiin vertailunäytteisiin. Lopullinen työohje on tasolla 1, sillä siinä annetaan aika tarkat ohjeet hapetusreaktioon sekä aineiden tutkimiseen Tollensin reagenssin avulla. Toiseksi työksi valikoitui kasvien väriaineiden uutto, jonka toteutus onnistuu täysin myrkyttömillä aineilla. Työn ohjeistus säädettiin tasolle 2, jolloin opettaja antoi tutkimuskysymyksen ja valikoiman välineitä ja reagensseja. Opiskelijat pääsivät soveltamaan osaamistaan erotusmenetelmistä ja tutkimaan poolisuuden merkitystä käytännössä.

Kyselyn tuloksista ilmeni, että opettajat käyttivät kokeellisuutta pääosin tasoilla 0 ja 1. Opettajat tunnistivat tutkimuksellisen lähestymistavan hyödyt muun muassa opiskelijoiden motivointina, teorian havainnollistamisen keinona ja vaihteluna opetukseen. Suurimpia tutkimuksellisuuden haasteita olivat rajalliset resurssit, opiskelijoiden ominaisuudet sekä kokeellisen työn ominaisuudet. Näihin kuuluivat muissakin tutkimuksissa esiin nousseiden suurten ryhmäkokojen ja ajanpuutteen lisäksi huoli opiskelijoiden kykyjen ja motivaation riittävyydestä. Opiskelijoiden ominaisuuksiin vetoaminen tutkimuksellisen työskentelyn haasteena on uusi ilmiö, jota varmasti kannattaisi tutkia enemmän.

Kehittämistutkimukselle tyypilliseen tapaan aineistoa kertyi paljon ja siitä jouduttiin rajaamaan osia pois järkevän kokonaisuuden luomiseksi. Jotta kehittämissykli kulkisi lähtötilanteeseen saakka, olisi tutkimusta pitänyt jatkaa vielä selvittämällä opettajien mielipiteet luoduista työohjeista. Tutkimus jää kuitenkin opiskelijoiden palautteen tasolle. Jatkotutkimuksen kannalta mielenkiintoisia esiin nousseita aiheita olivat esimerkiksi voidaanko opettajien käsitystä opiskelijoiden kyvystä tehdä tutkimuksellisia töitä muuttaa koulutuksen avulla tai miten paljon suomenkielisten ja ruotsinkielisten opettajien näkemykset ja käytännöt eroavat toisistaan tutkimuksellisuuden osalta.

Avainsanat – Nyckelord – Keywords

Kemain opetus, Kokeellisuus, Tutkimuksellisuus, Kehittämistutkimus

Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited

Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto HELDA/eThesis

Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information

Ohjaajat: Maija Aksela ja Johannes Pernaa

Sisällys

1. Johdanto....1
2. Kehittämistutkimus....3
2.1 Kehittämistutkimus menetelmänä....3
2.2 Tutkimuksen vaiheet....6
3. Teoreettinen ongelma-analyysi....7
3.1 Kokeellisuus....7
3.2 Tutkimuksellisuus....9
4. Empiirinen ongelma-analyysi: Opettajakysely....15
4.1 Tutkimusmenetelmä....15
4.2 Kyselyn tulokset ja pohdintaa....16
4.2.1 Opettajien käyttämä kokeellisuus....18
4.2.2 Mielipiteet tutkimuksellisuudesta....20
4.2.3 Toiveet kehitettävien tutkimuksellisien töiden osalta....23
5. Kehittämistuotos 1: Työohjeiden ensimmäiset versiot....25
5.1 Kokeellisten töiden valintakriteerit....25
5.2 Etanolin hapettuminen....26
5.2.1 Työn kemiallinen tausta....26
5.2.2 Työohjeen rakenne....30
5.3 Kasvien väriaineiden uuttaminen....31
5.3.1 Työn kemiallinen tausta....32
5.3.2 Kasvien väriaineet....36
5.3.2 Työohjeen rakenne....39
6. Tapaustutkimus: Työohjeiden arviointi....40
6.1 Etanolin hapettuminen....40
6.1.1 Koejärjestely oppilasryhmien kanssa....40
6.1.2 Kyselyn tulokset ja pohdintaa....41
6.1.3 Opettajan palaute ja ohjaajan omia havaintoja....45
6.2 Kasvien väriaineiden uutto....46
6.2.1 Koejärjestelyn kuvaus....46
6.2.2 Kyselyn tulokset ja pohdintaa....47
6.2.3 Opettajan palaute ja ohjaajan omia havaintoja....53
7. Kehittämistuotos 2: Työohjeiden kehitetyt versiot....55
7.1. Etanolin hapettuminen....55
7.2 Kasvien väriaineiden uutto....57
8. Johtopäätökset ja pohdinta....58
Lähteet....63
Kuvalähteet....66
Liitteet....67

1. Johdanto

Tämän tutkielman lähtökohtana oli lukion opetussuunnitelman uudistus 2015, jossa korostettiin aikaisempaa vahvemmin tutkimuksellista kokeellista työskentelyä. Tutkimuksellisuutta tukevia työohjeita ei kuitenkaan ollut tarjolla, minkä vuoksi tämän tutkielman päätavoitteeksi asetettiin niiden kehittäminen.

Aihe on tärkeä, sillä kokeellisuudella on keskeinen rooli lukion kemian opetuksessa (Opetushallitus 2015). Kokeellisuus on käsitteenä erittäin laaja sisältäen kaiken opettajan demonstraatioista opiskelijoiden omiin projekteihin. Laajan määritelmänsä vuoksi kokeellisuuden hyötyjä ja haasteita on vaikea arvioida (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007; Millar, Le Maréchal & Tiberghien, 1999), mutta sitä käytetään usein opetuksen tukena ja havainnollistamaan käsiteltyä aihetta.

Kokeellisuutta voidaan toteuttaa reseptimäisin ohjein ja opettajajohtoisesti, mutta tällöin on riskinä, etteivät oppijat uskalla ajatella itse, vaan odottavat opettajan ohjaavan myös tulosten tulkintaa. (Lavonen & Meisalo, 2010). Avaamalla kokeellisuus tutkimukselliseksi annetaan oppijoille enemmän valtaa koejärjestelyn ja tulosten tulkinnan suhteen, jolloin myös oppimistulokset voivat olla parempia (Cacciatore & Sevian, 2009). Tässä työssä jaotellaan kokeelliset työt neljään tasoon ja keskitytään tutkimuksellisuuteen, eli tasoihin 1-3. Kokeellisuuden tasot ovat (Schwab, 1962; Colburnin, 2000; Abrams, Southerland & Evans, 2007):

- Taso 0: Suljettu tutkimus, jossa opettaja päättää tutkimuskysymyksen, käytettävät menetelmät ja lopputuloksen.
- Taso 1: Tutkimuksellinen työ, jossa opettaja määrittää tutkimuskysymyksen ja työmenetelmät, mutta jättää tuloksen ja johtopäätökset oppijalle.
- Taso 2: Opettaja antaa tutkimuskysymyksen ja oppijat saavat suunnitella toteutuksen ja tulkita tulokset
- Taso 3: Oppija saa itse asettaa tutkimuskysymyksen ja suorittaa tutkimuksen.

Tässä tutkielmassa tutkimuksellisten työohjeiden kehittäminen toteutetaan tutkimuspohjaisesti kehittämistutkimusta hyödyntäen. Se on kehittämisstrategia, joka soveltuu hyvin uusien opetusmateriaalien ja -menetelmien kehittämiseen. Kehittämistutkimus on syklinen prosessi, jossa tutkimuksen edetessä arvioidaan uudelleen myös lähtöasetelmaa ja muutetaan tarvittaessa lähtökohtia, jotta saadaan tuotettua parempi kehittämistuotos. (Edelson, 2002)

Kehittämistutkimus alkaa ongelma-analyysillä, jossa määritetään, mitä tarvitsee kehittää. Tämän jälkeen tehdään ensimmäinen kehittämistuotos, jota testataan ja peilataan alkuasetelmaan ja ongelma-analyysiin. Kehittämistuotosta parannellaan ja voidaan jälleen arvioida alkuasetelmaan nähden, jotta saataisiin tuotettua vielä parempaa. (Edelson, 2002; Pernaa, 2013)

Kehittämistä ohjattiin kolmella tutkimuskysymyksellä:

1. Millaisia hyötyjä ja haasteita lukion kemian opettajien mielestä liittyy tutkimukselliseen kokeelliseen työskentelyyn?
2. Mihin teemoihin opettajat toivovat lisää tutkimuksellisia työohjeita?
3. Millaiset kokeelliset työt tukevat tutkimuksellista työskentelyä?

Tutkielman ongelma-analyysinä toimii lukion kemian opettajilla teetetty kyselytutkimus. Kyselytutkimuksen avulla saadaan vastattua ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen. Kyselyn pohjalta on valittu teemat kehitettäviin tutkimuksellisiin töihin, joiden kautta haetaan vastausta kolmanteen tutkimuskysymykseen. Työohjeiden kehittämiseen vaikuttivat paitsi opettajien toiveet ja mielipiteet, myös Helsingin yliopistolla toimivan Kemianluokka Gadolinin teemakokonaisuudet ja tavoitteet, sillä uudet työohjeet testattiin Gadolinissa vierailevien opiskelijaryhmien kanssa.

2. Kehittämistutkimus

Tässä luvussa esitellään yleisesti kehittämistutkimusta menetelmänä ja kerrotaan, miten kehittämistutkimusta sovelletaan tähän tutkimukseen. Menetelmän esittelyn jälkeen kerrotaan, miten kehittämistutkimus käytännössä tehdään johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi.

2.1 Kehittämistutkimus menetelmänä

Kehittämistutkimus on muihin tutkimusmenetelmiin verrattuna aika uusi ja hivenen epämääräinen menetelmä, jolle ei löydy yksiselitteisiä arviointikriteerejä tai toimintaohjeita. Menetelmää on käytetty 1990-luvulta alkaen ja sen käyttö on pikkuhiljaa yleistynyt opetuksen tutkimuksessa. Englanniksi kehittämistutkimuksesta käytetään nimityksiä *design research* tai *design-based research* ja alkuvuosina käytettiin myös käsitettä *design experiment*. Joskus kehittämistutkimuksesta käytetään suomeksi käsitettä *design-tutkimus*. (Pernaa, 2013)

Kehittämistutkimus perustuu iteratiiviseen prosessiin, missä tutkijat muokkaavat tutkimusta ja tutkimuksen teoriaa tutkimuksen edetessä. Lähtökohtana olevat hypoteesit ja teoriat, joiden pohjalta suunnitellaan käytännön materiaalia muutosta tukemaan. Materiaalin vaikutuksia tutkimalla voidaan arvioidaan lähtökohtana olevaa teoriaa ja hypoteesia ja niitä tai niiden osia muokataan. Näin ollen kehittämistutkimus etenee sykleissä. (Edelson, 2002) Yleisesti voidaan muotoilla kehittämistutkimukselle kolme kysymystä, joiden mukaan tutkimus muovautuu: a) mitä reittiä kehittämisessä edetään, b) mitä tarpeita ja millaisia mahdollisuuksia kehittämiseen liittyy ja c) mitä kehittämisprosessi tuottaa? (Edelson 2002, Pernaa, 2013)

Kehittämistutkimus on monipuolinen ja joustava tapa tutkia, eikä siihen löydy täysin yksiselitteistä toimintamallia. Edelson tiivistää tutkimuksen komponentit kolmeen päävaiheeseen, joita tutkijan valinnat ohjaavat:

1. Ongelma-analyysi: Kuvailee tavoitteita, tarvetta tai mahdollisuutta tutkimuksen toteutuksessa. Asettaa tutkimuksen tavoitteet ja asettaa tutkimukselle raamit rajoitteiden, haasteiden ja mahdollisuuksien perusteella.

2. Kehittämisprosessi: Tutkijan valitsemat ja kehittämät menetelmät. Kehittämisen syklit. Prosessiin vaikuttavat tutkimuksen rajoitteet ja tavoitteet, joista osa muovautuu myös kehittämissyklien aikana uudelleen.
3. Kehittämistuotos: Tutkimuksen tulos, jolla pyritään vastaamaan tavoitteisiin ja tarpeeseen.

(Edelson, 2002; Pernaa, 2013)

Ongelma-analyysi on kehittämistutkimuksen ensimmäinen vaihe, jossa kartoitetaan lähtötilanne ja kehittämistarve. Kehittämistutkimus lähtee aina liikkeelle tarpeesta ja teoreettisesta viitekehyksestä, joiden pohjalta tutkimuksen vaiheet suunnitellaan. Ongelma-analyysi voi olla joko empiirinen (esim. kyselytutkimus) tai teoreettinen (esim. oppikirja-analyysi). (Pernaa, 2013)

Kehittämistavoitteet muovautuvat ongelma-analyysin perusteella ja niiden pohjalta tehdään kehittämissuunnitelma. Suunnitelma etenee sykleissä ja sitä arvioidaan ja muokataan tutkimuksen edetessä. Aluksi kehitetään ongelma-analyysissä nousseeseen ongelmaan ratkaisu, jota testataan ja arvioidaan. Ratkaisun arvioinnin perusteella kehitetään parempi ratkaisu ja ratkaistaan muita esiin nousseita kehittämistutkimuksen kannalta järkeviä ongelmia, jotta kehittämisen tuotoksesta tulisi parempi. Kehittämissyklin laajuus ja toteutus riippuu tutkimuksessa valitusta suunnasta ja sitä ohjaavat kehittämistutkimukselle olennaiset kysymykset. Lopulta kehittämistutkimuksen tuloksena saadaan kehittämistuotos, joka vastaa tutkimuksen tarpeisiin ja tavoitteisiin. (Edelson, 2002; Pernaa, 2013)

Kehittämistutkimus on muotoutunut tarpeesta tehdä käytäntöön sovellettavissa olevaa tutkimusta, jossa tutkimuksen luotettavuus ja pätevyys ei kuitenkaan kärsisi. Se ei siksi ole verrattavissa perinteisempiin tutkimuksen muotoihin, joissa pääasiassa pyritään vahvistamaan tai kumoamaan teoriaa. Kehittämistutkimus palvelee myös paremmin tutkimuksen kohdetta, sillä tutkimustulokset ovat suoraan sovellettavissa ja hyödynnettävissä tutkittavaan ilmiöön. Näin ei aina käy perinteisillä empiirisillä tutkimuksilla, joissa tulokset voivat mennä aiheen ohi tai muuten olla hankalasti hyödynnettävissä käytännön tilanteessa. (Edelson 2002, Pernaa, 2013)

Kehittämistutkimuksen vahvuutena on sen monipuolisuus. Siinä voidaan yhdistää määrällisiä ja laadullisia tutkimuksia, joiden avulla saadaan laajempi kuva tutkittavasta ilmiöstä. (Pernaa, 2013) Laadullinen tutkimus on tutkimusmuoto, missä ei käytetä laskettavissa olevia parametreja tai lukumääriä. Aineistoa voivat olla teksti, video, äänite tai vastaava ja aineistoa voidaan kerätä ihan mistä lähteestä tahansa. (Eskola & Suoranta, 2008) Määrällisellä tutkimuksella puolestaan saadaan paljon laskettavissa olevaa dataa jostakin ilmiöön liittyvästä.

Perinteisissä määrällisissä tutkimuksissa ongelmana on usein, ettei tutkimusmenetelmään mahdu kuin yksi tai muutama mitattava parametri, jolloin jokin oleellinen olosuhteisiin vaikuttava tekijä jää arvioimatta. Kehittämistutkimuksessa voidaan ottaa huomioon lukuisia muuttujia, mihin perinteiset tutkimusmenetelmät eivät oikein sovellu. Ja juuri muuttujien huomioon ottaminen tekee tutkimuksesta käytännönläheisempää ja samalla luotettavampaa. Kehittämistutkimuksella voidaan kiertää määrällisen tutkimuksen kapeutta ja arvioida kaikkia oleellisia muuttujia. (Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004)

Jotta kehittämistutkimuksesta olisi oikeasti tiedeyhteisölle hyötyä, tulee sen olla 1) tutkimukseen pohjautuva, 2) systemaattisesti dokumentoitu, 3) formatiivisesti arvioitu ja 4) yleistettävissä otantaa isompaan ryhmään. (Edelson, 2002) Mitä enemmän tutkimusmenetelmiä ja muuttujia kehittämistutkimuksessa yhdistetään, sitä enemmän resursseja ja osaamista tutkimuksen tekeminen kuitenkin vaatii. (Collins et. al. 2004; Pernaa, 2013) Tutkimuksessa kertyvän datan suuri määrä ja sen rajaus ja raportointi voivat olla haasteellisia tutkimuksen tekijälle. (Pernaa, 2013)

Kehittämistutkimuksen luotettavuuden arviointiin ei ole yksiselitteisiä kriteereitä. Laadullisen tutkimuksen kohtaama kritiikki osuu osittain myös kehittämistutkimukseen, sillä sen arvioimista määrällisen tutkimuksen mittareilla ei aina voi tehdä. Laadullisen tutkimuksen yleisenä piirteenä on, että otoskoko ei ole riittävän suuri ollakseen tilastollisesti merkittävä. (Pernaa, 2013)

2.2 Tutkimuksen vaiheet

Tämä kehittämistutkimus lähti liikkeelle uudistuneen lukion opetussuunnitelman myötä. Uudessa opetussuunnitelmassa korostuu tutkimuksellinen kokeellinen tekeminen. (Opetushallitus 2015; Opetushallitus 2003) Muuttunut opetussuunnitelma nostaa esiin jonkinlaista tarvetta uusille työohjeille opettajien käytettäväksi. Ensimmäisessä vaiheessa opettajille tehtiin laaja kysely, jossa kartoitettiin tarvetta ja opettajien toiveita uusien tutkimuksellisten työohjeiden suhteen. Tästä muodostui tutkimuksen empiirinen ongelma-analyysi.

Opettajakyselyn perusteella koostettiin lista opettajien eniten toivomista aiheista uusille työohjeille. Kolmeen suosituimpaan kategoriaan alettiin kehittämään tutkimuksellisia työohjeita ja niistä kaksi käytännössä toteutui. Kolmannen työohjeen osalta työn kemia tuotti liikaa päänvaivaa, eikä työtä saatu muotoiltua järkevästi.

Työohjeista muovattiin kehittämistutkimukselle ominaiseen tapaan paremmat versiot kokeilun ja palautteen pohjalta. Palautetta antoivat pääasiassa töitä testanneet opiskelijat, mutta myös testiryhmien opettajat antoivat oma-aloitteisesti vapaamuotoista palautetta.

3. Teoreettinen ongelma-analyysi

Tässä luvussa käsitellään kokeellisuutta ja tutkimuksellisuutta ja perustellaan tämän kehittämistutkimuksen kohdistaminen nimenomaan tutkimukselliseen kokeellisuuteen.

3.1 Kokeellisuus

Kokeellinen työskentely on olennainen osa luonnontieteiden opetusta ympäri maailmaa ja sitä käytetään kaikilla kouluasteilla. Kokeellisuus on itsessään kuitenkin erittäin laaja käsite ja siihen kuuluu kaikkea opettajan lyhyistä demonstraatioista laajaan oppilaslähtöiseen tutkimuksen tekoon. (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007; Millar, Le Maréchal & Tiberghien, 1999) Esimerkiksi kysymysten muotoilu ja ongelmien tunnistaminen, hypoteesien muodostaminen ja testaaminen, kaikenlainen vertailu ja luokittelu, mittaustulosten kerääminen ja käsittely, koejärjestelyn suunnittelu sekä tulosten kriittinen arviointi muodostavat yksittäin tai erilaisina kombinaatioina koulussa tehtävän kokeellisuuden (Lavonen & Meisalo, 2010).

Koulussa tehtävä kokeellinen työskentely fysiikassa ja kemiassa tähtää opetuksen tukemiseen ja uusien asioiden omaksumiseen, sekä jossain määrin luomaan kuvaa luonnontieteen luonteesta. Se ei siis ole identtistä yliopistotason kokeellisuuden tai tutkimuksen kanssa. Yleisesti kokeellisuudella tavoitellaan ja sen käyttöä perustellaan sillä, että se a) helpottaa käsitteiden omaksumista ja ymmärtämistä, b) kehittää kokeellisen työskentelyn taitoja, c) helpottaa luonnontieteen luonteen hahmottamista ja d) luo positiivisempaa asennetta ja lisää kiinnostuksen ja motivaation määrää. Kokeellisuuden hyviin puoliin voidaan lukea myös ryhmätyötaitojen ja ongelmanratkaisukyvyn kehittyminen ja sillä on helpompi kohdistaa opetusta tuttuihin ilmiöihin. (Lavonen & Meisalo, 2010)

Oppimisen kannalta ei kuitenkaan ole pystytty osoittamaan, että kokeellisuus yleisellä tasolla ja laajassa merkityksessään edistäisi tai helpottaisi oppimista. Kokeellisuutta kritisoidaan hämmentävänä ja opetuksesta irrallisena osana, jonka roolia ei ole tarkkaan mietitty loppuun asti.

(Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007; Millar, Le Maréchal & Tiberghien, 1999) Kokeellisesti saatujen tulosten tulkinta on lisäksi paljon hankalampaa tietämättä taustalla olevaa teoriaa. Sillä teorian osaaminen ja ennakkokäsitykset ohjaavat havainnointia. Tämä tekee uusien aihepiirien kohdalla kokonaisuuden hahmottamisesta ja johtopäätösten tekemisestä hyvin haastavaa. Myös se, että opettaja tietää "oikean tuloksen" saa oppijat herkästi empimään ja odottamaan opettajan ohjaavan tulosten tulkinnan oikeaan lopputulokseen. (Lavonen & Meisalo, 2010)

Kokeellisuutta tehdessä pätee yleinen oletus, että opettaja ja oppija ymmärävät toisiaan, Kummallekin osapuolelle on selvää, mitä tutkitaan, mihin teoriaan tutkimus nojaa ja miten tutkimuksen tuloksia tulisi käsitellä ja tulkita. Käytännössä opettajan ja oppijan näkemyksissä on kuitenkin eroavaisuuksia. Esimerkiksi työohjeiden jaottelu sen perusteella, mikä on kokeellista ja mikä ei ("experiment or not") oppijat jakoivat saamansa työohjeet enemmänkin tunnepohjalta kuin esimerkiksi tutkimuksellisuuden ja reseptinmukaisuuden puolesta. Monille kokeellisuus osoittautui vain reaktioiden aikaansaamiseksi, eikä niinkään kysymysten vastaamiseksi. (Leach, 1999)

Kokeellisuutta pidetään tärkeänä ja siitä voi olla oppimiselle hyötyä, mikäli kokeellinen aktiviteetti suunnitellaan kunnolla opetuksen osa-alueeksi ja annetaan oppijoille mahdollisuus vaikuttaa käytettäviin menetelmiin ja välineisiin kokeellisuutta tehdessä. (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007) On myös pystytty osoittamaan, että muuttamalla osan reseptimäisistä kokeellisista laboratoriotöistä avoimemmiksi tutkimuksellisiksi töiksi, voitaisiin parantaa oppimistuloksia ainakin tutkimuksellisen työn aihepiirin osalta (Cacciatore & Sevian, 2009). On kuitenkin hyvä pitää mielessä, ettei kokeellisuus itsessään ole tae hyville tuloksille ja kokeellisuudelta usein odotetaan enemmän kuin saadaan (Lavonen & Meisalo, 2010).

Kokeellisuuden tutkimuksessa raportoinnin osalta on tärkeää, että kuvaillaan yksityiskohtaisesti kaikki mahdolliset muuttujat: ryhmä yleisesti, opettajien toiminta, luokkatila ja opetussuunnitelman tavoitteet suhteessa yksittäisen työn tavoitteisiin sekä annettujen ohjeiden tarkka muoto. Edellä lueteltujen lisäksi oppijan ja muiden toimijoiden välinen kommunikaatio on hyvä raportoida mahdollisimman tarkkaan. Kokeellisen osion kesto ja miten työ on integroitu tai eroteltu muusta ryhmän opetuksesta voi vaikuttaa tutkimustuloksiin ja on otettava huomioon jollain tavoin. (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007)

Kokeellisuuden jaottelu eri kategorioihin riippuu pitkälti kategoriajaon tarkoituksista ja kokeellisuutta käsittelevän yksittäisen tutkimuksen suunnasta. Kokeellisuutta voidaan jaotella esimerkiksi käytännön toimijan mukaan opettajan suorittamiin demonstraatioihin ja oppilastöihin. Myös esimerkiksi jako tarkoitusperien pohjalta on mahdollista: esimerkkinä lain tai ominaisuuden vaikutuksesta, tutkimuksen teon harjoituksena, käytännön taitojen ja prosessien harjoitteluna tai yhteisistä lähtöasetelmista alkavana vapaampana, haaroittuvana tutkimuksena. Tai kokeellisuus voidaan jakaa tutkimuksellisuuden kategorioiden mukaan työn avoimuuden ja oppilaslähtöisyyden pohjalta, mikä alkaa olla aika yleinen lähestymistapa. (Millar et. al. 1999)

3.2 Tutkimuksellisuus

Tutkimuksellisuutta pidetään yleisesti parhaimpana tapana ohjata opiskelija ymmärtämään luonnontieteen luonnetta ja tutkimuksen tekemistä, ainakin opetuksen tutkimuksen piireissä. Silti tutkimuksellisuuden roolista keskustellaan ja väitellään paljon. Väittelyn teemoina ovat niin tutkimuksellisuuden määritelmä kuin sen hyödytkin. (Abrams, Southerland & Evans, 2007) Tutkimuksellisuutta painotetaan ja siihen tähdätään monissa maissa luonnontieteiden opetussuunnitelman perusteissa (esim. Abrams, Southerland & Evans, 2007; Colburn, 2000; Barnea, Dori & Hofstein, 2010; Lavonen & Meisalo, 2010). Tutkimuksellisuuden määritelmä ei kuitenkaan ole yksiselitteinen, eivätkä alan tutkijat tunnu pääsevän asiassa yhteisymmärrykseen (Abrams, Southerland & Evans, 2007; Colburn, 2000).

Jo 1960-luvulla USA:ssa kritisoitiin fysiikan ja luonnontieteen opetusta siitä, että se perustui liikaa tietojen opetteluun ja liian vähän huomiota annettiin tieteen luonteelle ja tieteelliselle ajattelutavalle (Abrams, Southerland & Evans, 2007). Muun muassa Schwab (1962) kirjoittaa, ettei laboratoriotyöskentelyn muuttaminen tutkimukselliseksi ole vaikeaa ja vaatii vain kaksi asiaa: Laboratoriotyöskentelyssä tarvitsee siirtyä teorian johtamiseen kokeellisuuden kautta sen sijaan että teoriaa todistetaan jälkikäteen tekemällä jotain kokeellisesti. Lisäksi demonstraationa toimiva kokeellisuus tulee avata tutkimuksen osa-alueiksi, jotta pelkkien johtopäätösten teon sijaan painotetaan tutkimusprosessia kokonaisuutena. (Schwab, 1962, s. 52)

Schwab (1962, s.55) oli ensimmäisten joukossa määrittelemässä tutkimuksellisuutta. Hänen mukaansa tutkimuksellisuus koostuu kolmesta keskeistä osasta:

1. Tutkimuskysymyksen tai -ongelman asettelu
2. Tutkimusmenetelmän ja -välineiden valinta
3. Tulosten tulkinta

Näiden perusteella saadaan kolme tasoa tutkimuksellisuudelle. Kevyimmällä tasolla (Taso 1) annetaan tutkittava kysymys ja ohjeet kysymyksen tutkimiseen, mutta varsinaiset tulokset eivät ole oppijan saatavilla suoraan. Tasolla 2 siirretään osa tutkimuksen suunnittelusta ja tulosten koostamisesta ja arvioinnista oppijalle. Tasolla 2 oppija siis suunnittelee, toteuttaa ja arvioi tulokset itse tai työryhmänsä kanssa. Tasolla 3 tutkimus on täysin opiskelijalähtöistä tutkimuskysymyksestä lähtien. (Schwab, 1962, s.55). Korkeimmalla tasolla tutkimuksellisuutta tavataan Suomessa esimerkiksi IB-lukioiden Extended Essay-osiossa, jossa opiskelijat itse suunnittelevat ja toteuttavat tutkimuksen, josta kirjoittavat 4000 sanan esseen (IB, 2019).

Myös Colburn (2000) määrittelee tutkimuksellisen opetuksen ("inquiry-based instruction") avoimena, oppilaslähtöisenä ja käytännössä tehtävänä toiminnalla. Hän jakaa tutkimuksellisuuden kolmeen hyvin samantapaiseen tasoon kuin Schwab (1962) aikoinaan:

- **Strukturoitu** (*structured inquiry*): Opiskelijat saavat "keittokirjamaiset" ohjeet, joissa kerrotaan tutkimuskysymys ja annetaan menetelmä kysymykseen vastaamiseksi. Esimerkiksi kerrotaan askel askeleelta, miten tulisi edetä ja mahdollisesti myös mitä tulisi havainnoida. Opiskelijoille jää tulosten kerääminen ja niiden analysointi.
- **Ohjattu** (*guided inquiry*): Opettaja esittää ongelman ja antaa välineet sen ratkaisemiseksi. Opiskelijat suunnittelevat tutkimusmenetelmän ja toteuttavat tutkimuksen. Myös tulosten kerääminen ja analysointi jää opiskelijalle.
- **Avoin** (*Open inquiry*): Opiskelijat valitsevat ongelman, jota tutkivat ja josta raportoivat. Esimerkiksi tiedekilpailujen tuotokset voivat kuulua tähän kategoriaan.
  (Colburn, 2000)

Kokeellisuuden tasot on koostettu taulukossa 1. Taso 0 on Abrams et. al. (2007) lisäys, joka ei varsinaisesti vastaa Schwabin eikä Colburnin kuvausta, vaan edustaa heidän malleissaan

tutkimuksellisuuden ulkopuolelle jäävää kokeellisuutta. Taso 0 kuvastaa opettajasta lähtöisin olevaa työskentelyä ja kokeellisuutta, missä tutkimusta tekevä opiskelija ei välttämättä tiedä kokonaisuudessaan lopputulosta, mutta opettaja ohjaa tulosten tulkinnan ennalta määrittämäänsä ratkaisuun. Opiskelijalle jää siis käytännössä tarkat reseptimäiset ohjeet toteutettavaksi ja ohjeet tulosten tulkintaan. (Abrams, Southerland & Evans, 2007) Taso 0 on kätevä lisäys, jolla saadaan taulukko 1 kattamaan kaikki kokeellisuuden tasot, olivat ne sitten tutkimuksellisia tai eivät. Taulukon määritelmiä kokeellisuudesta on käytetty tämän tutkielman eri osissa.

Taulukko 1. Kokeellisuuden ja tutkimuksellisuuden tasot (Schwab, 1962; Colburnin, 2000; Abrams, Southerland & Evans, 2007).

	Tutkimuskysymyksen asettaa	**Tutkimusmenetelmät ja -välineet valitsee**	**Työn tuloksen määrittää**
Taso 0 Verifioiva (todentava, suljettu)	Opettaja	Opettaja	Opettaja
Taso 1 Strukturoitu (jäsennelty)	Opettaja	Opettaja	**Oppija**
Taso 2 Ohjattu (guided)	Opettaja	**Oppija**	**Oppija**
Taso 3 Avoin	**Oppija**	**Oppija**	**Oppija**

Tutkimuksellisuus toimii parhaiten, kun työ on opiskelijoiden osaamisen tasoon nähden sopiva. Liian vaikeasta työstä opiskelijoiden on vaikea oppia kemian käsitteistöä ja liian helppona työ ei kehitä kognitiivista ajattelua. Usein samalla kurssilla oleville työ on kuitenkin eri tasolla, jolloin työstä ei voi odottaa koko ryhmälle parasta oppimistulosta. Opettajan asenteella ja osaamisella on siksi keskeinen merkitys tutkimuksellisen työn onnistumisen kannalta. (Colburn, 2000)

Siirtyminen tutkimuksellisuuteen kannattaa tehdä vaiheittain, jotta sekä opettaja että opiskelijat löytävät sopivan roolin. Alussa opiskelijat yleensä vierastavat tutkimuksellista lähestymistapaa, mutta oppivat arvostamaan tutkimuksellista tapaa muutamissa viikoissa. (Colburn, 2000) Suurin opettajien ja opetuksen tutkijoiden vastustus tutkimuksellisuudelle kumpuaa eri määritelmistä tutkimuksellisuuden käsitteelle. Monet vastustajista näkevät tutkimuksellisuuden ainoastaan avoimimpana muotonaan, Schwabin 3. tason työskentelynä, missä opettaja luovuttaa kaiken

vastuun tutkimuksen suunnittelusta ja toteutuksesta opiskelijalle. (Abrams, Southerland & Evans, 2007)

Monet tutkimuksellisuuden haasteista ovat samoja kuin kokeellisuuden yleensäkin. Tutkimuksellisuuden haasteita (Abrams, Southerland & Evans, 2007) ovat muun muassa:

- Laajat kurssisisällöt ja vaatimukset tarpeeksi syvällisestä sisällön ymmärtämisestä
- Aikataulutus
- Paineet saada opiskelijat selviämään kansallisista tasotesteistä
- Opetussuunnitelman antamat raamit
- Rajalliset resurssit
- Opiskelijoiden taustat ja niihin sopivien mielekkäiden töiden löytäminen
- Opettajan vahvimpien osaamisalueiden hyödyntäminen vaativimpiin tutkimuksiin
- Opettajien virheellinen käsitys, joka saa vierastamaan kaikkea tutkimuksellisuuteen viittaavaa, kun tutkimuksellisuus mielletään 3. tason avoimeksi työskentelyksi.

Schwab (1962) piti tutkimuksellisuuden haasteena varsinaisen tutkimuksellisuuden yksinkertaistamista yhdeksi tieteelliseksi metodiksi tai työtapojen harjoitteluksi. Mutta mikäli kokeellisuus keskittyy työmenetelmien harjoitteluun ja datan keräämiseen, ei ongelmanratkaisulle, kysymysten asettelulle ja tulosten tulkinnalle jätetä tilaa. Hän korostaa tutkimuksen teon ja tutkimuksellisuuden eri tarkoitusperiä ja luonnontieteen luonnetta epävarmana ja kyseenalaistettavana tieteenä, jota ei tulisi yksinkertaistaa vain yhdenlaiseen tutkimuksellisuuden kokeelliseen näkökulmaan. Sen sijaan hän ehdottaa, että tutkimuksellisuutta voisi harjoitella myös esimerkiksi tieteellisiä artikkeleita lukemalla ja omia tutkimuksia suunnitellen. (Schwab 1962, s. 100-103) Vaikka Schwab kirjoitti tutkimuksellisuudesta 50 vuotta sitten, eivät hänen ajatuksensa ole vanhentuneet.

Yhtenä esimerkkinä tutkimuksellisuuden haasteisiin vastaamisesta aikataulutuksen ja opetussuunnitelman vaatimusten osalta on Israelissa lukion syventävässä kemian opetuksessa karsittu sisältöjä, jotta on voitu luoda tutkimuksellinen kokonaisuus osaksi kansallista opetussuunnitelmaa ja kansallista päättötutkintoa (ylioppilastutkinnon vastaavuutta). "Less is more"-mentaliteetilla opiskelijoille jää aikaa keskittyä ja pohtia kokonaisuuksia. Sekä opettajat että

opiskelijat ovat pitäneet tutkimuksellisuutta inspiroivana ja innostavana vaihteluna. Tutkimuksellisuutta toteutetaan sekä ohjatusti että avoimesti, jolloin siitä on hyötyä myös opiskelijoiden ajattelutaitojen kehittymiselle ja luonnontieteen luonteen käsittämiselle. (Barnea, Dori & Hofstein, 2010)

Opettajan käyttämä oppikirja sanelee suurilta osin kemian opetuksen suunnan lukiossa, joten oppikirja-analyysi on mielekäs tapa arvioida opettajien käyttämiä kokeellisia töitä. Tomperi & Aksela (2009) ovat oppikirja-analyysillä tutkineet edellisen opetussuunnitelman (eli LOPS 2003) mukaisia lukion ensimmäisen kurssin kemian kirjoja ja niissä annettuja kokeellisten töiden ohjeita. Niistä 75% on reseptimäisiä työohjeita, eikä niitä suoraan käyttämällä kovinkaan paljoa tule harjoiteltua korkeamman tason ajattelutaitoja tai tutkimuksellista lähestymistapaa. Työohjeet ohjaavat lähinnä mekaaniseen suorittamiseen eivätkä tiedon käsittelyyn ja uuden tiedon konstruoimiseen löydy tehtävistä kannustinta. (Tomperi & Aksela, 2009) Niinpä tuki avoimeen ja tutkimuksellisempaan työhön jäi ainakin vielä edellisessä suomalaisessa opetussuunnitelmassa vähäiseksi kirjantekijöiden suunnalta.

Tutkimuksellisuutta voidaan lähestyä useasta eri näkökulmasta. Tutkimuksellisuudesta oppiminen on tapa oppia tutkimusprosessin kautta esimerkiksi uusia käsitteitä tai ilmiöiden taustateoriaa. Sen sijaan tutkimuksen tekemisen oppiminen on tärkeä vaihe kädentaitojen harjoittelussa ja luonnontieteen luonteen hahmottamisessa. On kuitenkin tärkeää muistaa, ettei tutkimuksellisuudesta oppiminen ja tutkimuksellisuuden tekeminen automaattisesti johda uuden teorian tai tieteellisen tiedon rakentumiseen. (Abrams, Southerland & Evans, 2007)

Tutkimuksellisuus toimii myös tapana saattaa opiskelijat tutkimuksen kulttuurin pariin ja yhtenä näkökulmana tutkimuksellisuuteen on tutkimustiedon validointi argumentoinnin kautta. Perustavana ideana on, että opiskelijaryhmät muodostavat kilpailevia hypoteeseja, tutkivat ja väittelevät keskenään päästäkseen jonkinlaiseen konsensukseen tutkimustuloksista. Opiskelijat oppivat argumentoinnin kautta näkemään eron yksittäisen tutkimustuloksen ja tieteellisen konsensuksen välillä. Tieteellinen osaaminen syvenee, kun opiskelija joutuu perustelemaan kantansa kokeellisuuden ja teorian pohjalta. (Abrams, Southerland & Evans, 2007)

Kulttuuriin ja ilmiöihin sitominen saattaa myös olla kompastuskivi tutkimuksellisuudelle. Sillä opettajaa kiinnostavat aiheet eivät todennäköisesti kiinnosta kaikkia ryhmässä. Opettajan mielekkäät aiheet tukevat silloin erityisesti opettajan kaltaisia opiskelijoita. Tutkimuksellisuudesta tuleekin hankalampaa, mikäli ottaa huomioon tietestä riippumattomat tekijät. (Abrams, Southerland & Evans, 2007) Esimerkiksi moottoripyörän toimintaan pohjautuva tehtävä on paljon mielekkäämpi ja relevantimpi opiskelijalle, joka omistaa moottoripyörän kuin opiskelijalle, joka tekee kaikki matkansa bussilla. Samoin kuin huulipunan kemia oletettavasti kiinnostaa enemmän huulipunaa käyttäviä opiskelijoita kuin muita.

4. Empiirinen ongelma-analyysi: Opettajakysely

Tutkielman empiirisenä ongelma-analyysinä tehtiin lukion kemian opettajille sähköinen kysely kokeellisuudesta ja tutkimuksellisuudesta (Kysymykset liitteessä 1). Kyselystä tiedotettiin mainostamalla yhtä tämän tutkielman päätavoitteista: Opettajien toivotuimpiin aiheisiin kehitetään tutkimuksellisia töitä. Tutkimuslinkki lähtetettiin sähköpostitse sekä laitettiin muutamaan Facebook-ryhmään: Kemian opettajien vertaisryhmä, Luma-klubi, Kemilärare i Finland.

Opettajien sähköpostiosoitteita kerättiin koulujen nettisivuilta väliaikaiseksi sähköpostilistaksi ja kyselyn linkki lähetettiin listan perusteella sähköpostitse 50 ruotsinkieliselle sekä 271 suomenkieliselle opettajalle toukokuun alussa 2016. Koulujen nettisivujen etsimiseen googlen hakukonetta ja koulujen nimien löytämiseen hyödynnettiin YLE:n listaamaa vertailua lukioiden menestyksestä (Tebest & Sjöholm, 2015).

4.1 Tutkimusmenetelmä

Kyselututkimuksessa koottiin aineistoa nettilomakkeella, jossa oli sekä monivalintakysymyksiä että avoimia tekstikenttiä vastausten vapaaseen muotoiluun. Esimerkiksi tutkimuksellisuuden hyödyt ja haasteet, toivotut aiheet sekä hyvän työohjeen ja opettajan ohjeen kuvailua varten annettiin tekstikenttä, johon opettajilla oli mahdollisuus kirjoittaa vapaamuotoinen vastaus. Kvantitatiivisia kysymyksenasetteluja käytettiin puolestaan kurssien määrän ja kokeellisuuden määrän arviointiin. Tyypillisiä kvantitatiivisen analyysin monivalintakysymyksiä tai väittämien valintoja ei opettajakyselyyn sisällytetty.

Aineistolähtöinen analyysi tarkoittaa aineistosta kumpuavaa teorian muodostusta ja käsitteistön muodostusta (Eskola & Suoranta, 2008). Tähän pro Gradu tutkielmaan käytetty kvalitatiivinen analyysi on toteutettu osittain ohjatusti kyselylomakkeen kysymyksien asettelun pohjalta ja osittain avoimena aineistolähtöisenä sisällönanalyysinä. Käytännössä kyselylomakkeella koottua aineistoa on kysymys kerraallaan luokiteltu ja järjestelty, jotta yleiset teemalinjaukset saadaan esiin kerätystä aineistosta.

Käytännössä Aineistolähtöisen analyysin tarkoituksena on helpottaa dokumenttien (tässä kyselyssä opettajien kirjoittamien vastausten) systemaattista ja objektiivista analyysiä. Opettajien vastauksia analysoitiin ensin sanallisen sisältönsä perusteella ja niistä tiivistettiin avainsanat taulukoksi. Samoja ja lähes samoja avainsanoja ryhmiteltiin alakategorioihin. Alakategorioita puolestaan yhdistettiin pääluokiksi, joille annettiin sisältöä kuvaava nimi. (Tuomi & Sarajärvi, 2009) Näin saatiin hahmotettua, minkä tyyppisiä vastauksia kysymyksiin on annettu. Luokat luotiinn aineistosta nousevien avainsanojen ja teemojen pohjalta, eikä luokkia siksi voinut määrittää ennalta esimerkiksi tutkimussuunnitelmaa tehdessä.

Kyselyn vastauksiin tullaan myös joiltain osin soveltamaan kvantitatiivista analyysiä. Kvantitatiivisessa analyysissä käytetään erilaisia mitta-asteikkoja, joiden avulla vastauksia voi laittaa järjestykseen. Käyttäytymistieteiden yleisimpiä asteikkoja ovat laatuero-, järjestys-, välimatka- ja suhdeasteikko. (Nummenmaa, 2009) Tässä kysymyksessä kvantitatiivisia mittauksia suoritettiin lähinnä kokeellisuuden määrän osalta ja laskemalla kvalitatiivisen analyysin luokkien sisältämien vastausten määriä. Myös joitakin monivalintoja kurssien määrästä ja kokeellisuuden laadusta pystytään käsittelemään yksinkertaisina kvantitatiivisina tuloksina, vaikka tutkimuksen pääpaino onkin kvalitatiivisessa analyysissä opettajien vastauksista.

4.2 Kyselyn tulokset ja pohdintaa

Kyselyyn vastasi yhteensä 63 lukion kemian opettajana keväällä 2016 työskennellyttä henkilöä. Suomenkieliseen kyselyyn vastasi 49 opettajaa ja ruotsinkieliseen 14 opettajaa. Suomessa lukio-opetusta tarjottiin vajaassa 400 oppilaitoksessa lukuvuonna 2015-2016 (SVT, 2016; Laatikainen, 2016). Ruotsinkielistä lukio-opetusta tarjottiin 36 oppilaitoksessa (Laatikainen, 2016). Kyselyssä ei ole eritelty vastaajien työpaikkaa tai selvitetty kuinka monta kemian opettajaa koulu työllistää, joten yksiselitteistä vastausprosenttia on vaikea laskea. Mikäli arvioidaan, että vastaajat ovat kaikki olleet eri kouluista, olisi vastaajien keskuudessa edustettu noin 16% Suomen lukioista. Samalla oletuksella ruotsinkielisistä lukioista olisi 39% edustettuna.

Taulukko 2: Opetuskokemus

	0-5 vuotta	**6-10 vuotta**	**11-15 vuotta**	**Yli 15 vuotta**	**Yhteensä**
Suomenkieliset	14 hlö	5 hlö	8 hlö	22 hlö	49 hlö
Ruotsinkieliset	3 hlö	2 hlö	2 hlö	7 hlö	14 hlö
Yhteensä	**17 hlö (27%)**	**7 hlö (11%)**	**10 hlö (16%)**	**29 hlö (46%)**	**63 hlö (100%)**

Lähes puolet vastaajista (46%) on hyvin kokeneita opettajia, joilla kokemusta on karttunut yli 15 vuoden ajan. Ruotsinkielisistä opettajista tasan 50% on tässä kokeneimmassa vastaajaryhmässä. Toiseksi yleisin vastaus on korkeintaan 5 vuoden opettajakokemus, eli vastauksia on saatu myös tuoreilta alalla työskenteleviltä. Opetuskokemuksen jakautuminen esitetään taulukossa 2.

Kyselyssä kartoitettiin myös opetuskieltä tarkemmin, sen lisäksi että kysely tarjottiin ruotsiksi ruotsinkielisille opettajille. Suurin osa vastaajista opettaa pelkästään suomeksi, 44 henkilöä (70%). Pelkästään ruotsiksi opettaa 12 vastaajaa (19%) ja jomman kumman kotimaisen kielen ohella opetetaan englanniksi (6 opettajaa, 10%). Yksi vastaajista ilmoittaa opettavansa suomeksi ja ruotsiksi.

Taulukossa 3 eritellään, mitä kursseja vastanneet opettajat ilmoittavat opettavansa. Valtakunnalliset kurssit Ke 1-5 osalta suomeksi vastanneet opettavat keskimäärin 4,16 kurssia. Ruotsinkielisten osalta keskiarvo on hivenen korkeampi, 4,57 kurssia viidestä. Kaikkien vastaajien keskiarvo on 4,25 kurssia. Yleisimmin opettajilla on lukujärjestyksessään kaikille lukiolaisille pakollinen Ke 1 kurssi. Koulun omia soveltavia tai syventäviä kursseja opettaa 73% vastaajista.

Taulukko 3: Opetettavat kurssit

	Ke 1	**Ke 2**	**Ke 3**	**Ke 4**	**Ke 5**	Koulun oma kurssi
Suomeksi	44	40	37	42	41	36
Ruotsiksi	14	13	12	13	12	10
Yhteensä	58 (92%)	53 (84%)	49 (78%)	55 (87%)	53 (84%)	46 (73%)

4.2.1 Opettajien käyttämä kokeellisuus

Kyselyssä pyydettiin opettajia arvioimaan tekemänsä kokeellisuuden määrää. Koska kokeellisuus on ymmärrettävissä monella tavoin, annettiin kyselylomakkeessa (kts. Liite 1) tarkempi määritelmä kokeellisuudelle. Kokeellisuudeksi määriteltiin tässä kaikki käytännön työt aina opettajan näyttämistä demonstraatioista opiskelijoiden itsenäisiin projekteihin, jotta saataisiin yleinen kuva kokeellisuuden määrästä kouluissa. Viiden valtakunnallisen kurssin osalta esitetään tulokset taulukossa 4.

Taulukko 4: Kokeellisuuden määrä

	Ke 1		**Ke 2**		**Ke 3**		**Ke 4**		**Ke 5**	
	(k.a.)	**moodi**	**(k.a.)**	**moodi**	**(k.a.)**	**moodi**	**(k.a.)**	**moodi**	**(k.a.)**	**moodi**
Suomenkieliset	2,57	2	2,67	3	2,68	3	2,43	2	2,76	3
Ruotsinkieliset	3,07	3	2,92	3	2,77	3	2,69	3	3,00	3
Yhteensä	2,69	3	2,73	3	2,70	3	2,29	3	2,82	3

Kokeellisuuden määrää arvioitiin numeroiduin kategorioin: 1 = jokaisella tunnilla, 2 = kerran viikossa, 3 = 2-4 kertaa kurssilla, 4 = kerran kurssilla, 5 = ei ollenkaan. Keskimääräinen opettaja tekee kyselyn perusteella siis jotakin kokeellista 2-4 kertaa kurssin aikana. Viikoittaisiin kokeellisiin töihin päädytään useammin suomenkielellä opettavana opettajan Ke 1 ja Ke 4 kursseilla kuin muilla.

Kokeellisuuden määrän ääripäinä kolme vastaajista ilmoittaa tekevänsä kokeellisuutta jokseenkin jokaisella tunnilla kurssista riippumatta. Vastaavasti viisi opettajaa ilmoittaa jonkin kurssin kohdalla, ettei tee ollenkaan kokeellisuutta ja kaksi opettajaa jättää lukion pakollisen Ke 1 kurssin ilman kokeellisuutta. Kaikkien kurssien osalta ruotsiksi vastanneet tekevät keskimäärin hieman harvemmin kokeellisuutta kuin suomenkieliset vastaajat.

Opettajien käyttämän tutkimuksellisuuden tasoa arvioitiin Shwabin/Colburnin jaottelulla, joka on esitetty luvussa 3.2 (taulukko 1, s. 11). Määritelmän selkeyttämiseksi annettiin kyselyssä kuvailu

kokeellisuuden tasoille 0-3 edellä mainitun taulukon mukaisesti. Tämän jälkeen opettajat arvioivat rastittamalla, käyttävätkö kyseisen tason työskentelyä laboratoriossa. Opettajien vastaukset on koostettu taulukkoon 5. Yhteensä 43 opettajaa, eli 70% vastaajista, tekee strukturoitua kokeellisuutta tasolla 1. Tällä tasolla opiskelija saa tarkat ohjeet toteuttamiseen, mutta tulkitsee itse työn tulokset. Suomenkielisistä 21% ja ruotsinkielisistä 8% tekee tätä avoimempia, ohjattuja töitä, tasolla 2, missä opiskelija suunnittelee itse työn toteutusta ja tulkitsee tulokset. Tason 3 opiskelijoiden täysin hallitsemia avoimia tutkimuksia tekee vain yksi vastaajista.

Taulukko 5: Millä tasolla tehdään tutkimuskellisia töitä? (N = 61)

	Kokeellisen työn avoimuuden taso			
	Taso 0	**Taso 1**	**Taso 2**	**Taso 3**
Suomenkieliset	5	33	10	0
Ruotsinkieliset	1	10	1	1
Yhteensä	**6 (10%)**	**43 (70%)**	**11 (18%)**	**1 (2%)**

Tämän tutkimuksen tulos on parempi kuin Tomperin (2015) saamat tulokset, jolloin opettajat saivat valita kokeellisia työohjeita ja niitä tasoiksi määritettiin 0 ja 1, muttei ainuttakaan tasolta 2. Toki näiden tutkimusten välillä on eroa, sillä kyselyssä opettajat lukivat itse määritelmän ja pohtivat omaa kokeellisen työnsä valikoimaa, kun taas Tomperin (2015) tutkimuksessa opettajat valitsivat työohjeet ja tutkija määritti niissä esiintyvän kokeellisuuden tason. Voisi olla mielenkiintoista verrata tähän kyselyyn vastanneiden mielikuvia käyttämiensä töiden tutkimuksellisuuden tasosta tutkijan määrittämään tasoon.

Opettajakyselyssä 2016 jopa 94% opettajista on ilmoittanut kurssikirjan yhdeksi kokeellisten töiden lähteeksi. Käytännössä kaikki suomenkieliset vastaajat käyttävät kurssikirjoja yhtenä lähteenä ja ruotsinkielisistä opettajista vain neljä ei käyttänyt kurssikirjoja lähteenä työohjeille. 57% opettajista käyttää lisäksi kustantajan tarjoamia opettajan materiaaleja kokeellisten töiden lähteenä. Opettajien käyttämät lähteet uusien työohjeiden etsimiseen on koottu taulukkoon 6. Ja siitä ilmenee aika selkeä ero suomenkielellä ja ruotsinkielellä vastanneiden välillä. Vanhojen oppikirjojen hyödyntäminen on yleisempää ruotsinkielisten kuin suomenkielisten parissa. Kustantajan tarjoamat materiaalit

puolestaan ovat paljon yleisempiä suomenkielisten kuin ruotsinkielisten keskuudessa. Yksi mahdollinen syy eroavaisuuksiin on oppimateriaalin käännöstyöhön uppoava aika, jolloin kaikkea opettajan materiaalia ei välttämättä käännetä.

Taulukko 6: Mistä opettajat etsivät työohjeita?

	Kurssikirjat	**Kustantajan tarjoamat opettajan materiaalit**	**Vanhoista oppikirjoista (aiemmat OPSit)**	**Netistä**	**Muualta**
Suomenkieliset (N=49)	49 (100%)	34 (69%)	33 (52%)	44 (90%)	29 (59%)
Ruotsinkieliset (N=14)	10 (71%)	2 (14%)	10 (71%)	11 (79%)	7 (50%)
Kaikki	**59 (94%)**	**36 (57%)**	**43 (68%)**	**55 (87%)**	**36 (57%)**

Yleisimmin opettajat siis hakevat uusia työohjeita kurssikirjoista ja netistä. Aivan varmasti tarjottujen työohjeiden muoto vaikuttaa jollain tavoin opettajien käsitykseen kokeellisuudesta ja tutkimuksellisuuden määrästä sekä mielikuvaan kollegoiden valinnoista. Tomperin (2015) tutkimuksessa opettajat valitsivat seitsemän työohjetta kymmenestä lukiolaisten kurssikirjoista. Työohjeiden valintaperusteita voisi olla mielenkiintoista tutkia lisää.

4.2.2 Mielipiteet tutkimuksellisuudesta

Opettajia pyydettiin kyselyssä kertomaan tutkimuksellisuuden hyödyistä ja haasteista vastaamalla avokysymyksiin. Avokysymysten vastauksia pelkistettiin avainsanoiksi ja luokiteltiin aineistolähtöisen analyysin menetelmin alakategorioihin ja pääkategorioihin. Mielipiteet ovat saman suuntaisia kuin aiemmin yleisemmän määritelmän mukaista kokeellisuutta tutkiessa on käynyt ilmi, mutta myös joitakin uusia aihepiirejä nousee esiin.

Kysymykseen tutkimuksellisuuden hyödyistä vastasi yhteensä 57 opettajaa. Tutkimuksellisuuden hyödyt on voitu opettajien vastausten pohjalta pelkistää kymmeneen pääkategoriaan, joista osalla on alakategorioita (kts. Taulukko 7). Yleisimmät tutkimuksellisuuden hyödyt olivat opettajien mielestä

teorian konkretisoituminen (39%), opiskelijan kiinnostukseen vaikuttaminen (32%), opiskelijan aktiivisuus (25%) ja ajattelutaitojen harjoittelu (25%). Opettajien vastauksissa oli hajontaa ja osa vastauksista jäi yksittäisiksi yhden opettajan mielipiteiksi (yhteensä 11 vastausta, eli 20%).

Taulukko 7. Tutkimuksellisuuden hyödyt opettajien mielestä.

Pääkategoria (alakategoriat on esitetty otsikon alla)	**Frekvenssi** (N=57)	**Osuus vastaajista** (%)
Teorian konkretisoiminen • Konkretisoi (10) • Yhdistää teorian käytäntöön (9) • Tukee teoriaa (3)	22	39%
Opiskelijan kiinnostukseen vaikuttaminen • Positiivinen vaikutus kiinnostukseen ja motivaatioon (13) • Tekee opiskelusta mielekästä (5)	18	32%
Opiskelijan aktiivisuus • Opiskelijoiden omatoimisuuden lisääntyminen (7) • Opiskelijalla on aktiivinen rooli (4) • Opiskelijakeskeisempää opetusta (3)	14	25%
Ajattelutaitojen harjoittelu • Opiskelijan ajattelun taidot kehittyvät (6) • Ognelmanratkaisun harjoittelua (4) • Opettaa tieteellistä ajattelua (4)	14	25%
Kokeellista tieteen tekemistä • Oppii tutkimusmenetelmät (5) • Kädentaidot kehittyvät (4) • Korostaa kemian luonnetta kokeellisena tieteenä (2)	11	20%
Syvempi ja laajempi ymmärrys • Syventää opittua (5) • Opiskelija ymmärtää paremmin (5)	10	18%
Auttaa muistamaan	4	7%
Tuo vaihtelua	4	7%
Muut/yksittäiset • Ei ulkoa opettelua (2) • Valmistaa työelämään ja jatko-opintoihin (2) • Yksittäiset muut vaihtoehdot (11)	15	26%

Tutkimuksellisuuden hyödyistä suurin osa esiintyy jossain muodossa myös kokeellisuuden hyödyissä ja tavoitteissa. Ainakin opiskelijan syvempi ja laajempi ymmärrys, teorian konkretisointi ja opiskelijoiden kiinnostukseen vaikuttaminen löytyy kokeellisuutta käsittelevistä teoksista. (esim. Lavonen & Meisalo, 2010) Opettajien perusteet kokeellisuuden käyttämisestä ovat aiemmassa tutkimuksessa olleet saman suuntaisia kuin tässä kootut hyödyt tutkimuksellisuudesta. (vrt esim. Aksela & Karjalainen, 2008: Tomperi 2015)

Opettajien ilmaisemat tutkimuksellisuuden haasteet ovat karkeasti jaettavissa neljään kategoriaan: Resurssien puute, opiskelijan ominaisuudet, työn ominaisuudet ja muut yksittäiset haasteet. Jopa 68% (43 opettajaa) vetosi puutteellisiin resursseihin. Tässä puutteellisiksi resursseiksi luokiteltiin ajanpuute (51% vastaajista), liian suuret ryhmäkoot (24%), tilojen ja välineiden puutteet (11%) sekä taloudelliset rajoitteet (3%).

Kolmannes vastaajista (21 opettajaa, 33%) ilmaisi opiskelijoiden ominaisuuksien olevan haaste tutkimuksellisuuden toteuttamiseksi. Näihin opiskelijoiden ominaisuuksiin lukeutuivat erityisesti opiskelijoiden tiedon ja taidon taso (21%), opiskelijoiden vastuunkanto ja motivaatio (9%) ja tottumattomuus (8%). Opettajat kertoivat haasteiksi esimerkiksi, että: "Opiskelijan ajattelun taidot eivät riitä", "Hutiloivat opiskelijat eivät mieti tekemisiään" tai "En del elever är opraktiska och ovana att laborera och då vill de hellre se demonstrationer eller bara läsa teori."

Opettajien käsityksiä tutkimuksellisuuden haasteista voidaan verrata opettajien vuonna 2008 ilmoittamiin syihin olla tekemättä yleisesti kokeellisuutta. Taulukossa 8 Kemia Tänään - tutkimuksen tuloksia (Aksela & Karjalainen, 2008) kokeellisuuden haasteista verrataan 2016 tehtyyn opettajakyselyyn, jonka tuloksia tässä kappaleessa pääasiassa käsitellään. Jo 2008 suurimpana syynä oli ajanpuute. Ajanpuute, resurssit ja ryhmäkoko olivat jo silloin keskeisesti esillä ja nousivat myös yleisiksi tutkimuksellisuuden haasteiksi.

Taulukko 8: Miksi kemian opettajat eivät tee kokeellisia töitä? vs tutkimuksellisuuden haasteet

Perustelut	**Miksi opettajat eivät tee kokeellisia töitä? (2008 N= 28)**	**Tutkimuksellisuuden haasteet (2016 N=63)**
Ajan puute	46% (13 vastaajaa)	51% (32 vastaajaa)
Resurssit (materiaalit, tilat, välineet)	36% (10 vastaajaa)	20% (13 vastaajaa)
Ryhmän koko	32% (9 vastaajaa)	24% (15 vastaajaa)
Muut	25% (7 vastaajaa)	57% (36 vastaajaa)

Muita syitä 2008 olivat mm. Opettajan epävarmuus ja ryhmän liiallinen sähläys.

Tutkimuksellisuuden osalta 2016 nousseet aihepiirit töiden ja opiskelijoiden ominaisuuksista ovat kokeellisuudesta kysyttäessä 2008 olleet marginaalisia ja kuuluneet kategoriaan "Muita syitä". Vuonna 2016 tehdyssä kyselyssä tutkimuksellisuudesta nämä muut syyt ovat nousseet isompaan roolissa ja opiskelijoiden ominaisuuksiin ja taitoihin viittaavat vastaukset on koottu omaksi kategoriakseen. Opettajien epäilys opiskelijoiden taitojen tasosta näkyy kuitenkin Tomperin (2015) haastattelemien lukion opettajien vastauksissa, missä kaksi opettajaa neljästä ei luota opiskelijoiden taitojen riittävän kokeelliseen työskentelyyn. Tämän kyselytutkimuksen laajempi aineisto vahvistaa Tomperin haastattelujen tuloksen. Tomperin haastatteluissa myös perinteiset syyt, eli ajan puute, resurssit ja ryhmien koko ovat nousseet esille haasteina tutkimuksellisuudelle.

Tutkimuksellisuuden hyödyt ovat opettajille tuttuja, mutta silti valtaosa vastaajista pitäytyy tason 0-1 reseptimäisissä kokeellisissa töissä. Tämä voi osittain selittyä oppikirjojen työvalikoimalla, sillä ainakin Ke 1-kurssin osalta valtaosa työohjeista on tasolla 0-1 (Tomperi, 2015). Kirjojen sisällöllä on vaikutusta opetukseen ja opettajien valintoihin, eikä niiden sisältöä valvota Suomessa (Heinonen, 2005, 29, 241; Lappalainen, 1992, 11-12)

4.2.3 Toiveet kehitettävien tutkimuksellisien töiden osalta

Opettajat saivat kyselyssä täyttää avoimeen kenttään haluamansa määrän toiveita kehitettävien töiden suhteen. Kysymyksen tarkka muotoilu sisälsi opettajille lupauksen uusista ohjeista: "11. Mistä aihepiireistä kaipaisit lisää tutkimuksellisia työohjeita? Voit luetella useampia aiheita. 2-3 suosituinta aihepiiriä saavat uusia työohjeita kevään ja kesän 2016 aikana."

Osa opettajista esitti pitkän listan toiveita ja osa saattoi mainita vain yhden kurssin tai aihepiirin. Saman opettajan vastaus voi siis kuulua useampaan toivomuskategoriaan. Vastauksien hajonta on suurta ja jopa 11 vastaajaa keksi toivoa jotain, mitä ei saa järkevästi yhdistettyä muihin alakategorioihim. Seitsemän vastaajaa puolestaan toivoi yleisesti kaikkea tai jotain yleisesti yhteen kurssiin. Lopulta aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä saatiin toiveet jaoteltua seuraaviin alakategorioihin. Prosenttiosuudet ilmaisevat osuuden työohjeita toivoneista opettajista (N = 44).

Opettajien toivomat työohjekategoriat:

1. Orgaanisia reaktioita, 12 vastaajaa (27%)
2. Aineen ominaisuudet, 9 vastaajaa (20%)
3. Tasapainoreaktiot ja pH, 5 vastaajaa (11%)
4. Sähkökemia, 5 vastaajaa (11%)
5. Spektrometria, 5 vastaajaa (11%)
6. Ainemäärä, 4 vastaajaa (9%)
7. Isomeria, 4 vastaajaa (9%)
8. Reaktion energia, 2 vastaajaa (5%)
9. Reaktionopeus, 2 vastaajaa (5%)
10. Kaasulait, 2 vastaajaa (5%)
11. Metallit, 2 vastaajaa (5%)
12. Molekyylimallinnus, 2 vastaajaa (5%)
13. Biokemia, 2 vastaajaa (5%)
14. Polymeerit, 2 vastaajaa (5%)
15. Lyhyitä töitä suurille ryhmille, 8 (18%)
16. Arkeen kytkeytyvät, 5 (11%)
17. Yleisesti kaikkea, 7 (16%)
18. Yksittäiset toiveet, 11 (25%)

Vuoden 2015 opetussuunnitelmaan (Opetushallitus, 2015) verratessa alakategorioita on jokaisen lukion valtakunnallisen kurssin osalta. Kursseittain jako voisi toimia yläkategorioina toiveille, mutta toisaalta jako kursseittain voi tulevaisuudessa vaikeuttaa töiden löytämistä, mikäli kurssien sisällöt jaetaan uudelleen. Epämääräisempi yläkategoria ei myöskään anna kehittämistutkimuksen kannalta oleellista tietoa töiden kehittämistä varten.

5. Kehittämistuotos 1: Työohjeiden ensimmäiset versiot

Kehitettävien työohjeiden valintaan vaikuttivat useammat tekijät. Ensinnäkin työohjeet haluttiin vastaamaan opettajien yleisimpiä toiveita. Toisekseen kehittämistyötä ohjasivat Kemianluokka Gadolinin tavoitteet. Lisäksi mahdollisimman myrkyttömät ja helposti koulun kemianluokkaan siirrettävät työt kiinnostivat töiden laatijaa eniten. Tässä luvussa esitetään tarkemmin valintakriteerit ja valittujen töiden kemiallinen tausta. Lopuksi esitetään tiiviisti, miten kehitetty työ on rakennettu tutkimukselliseksi työohjeeksi.

5.1 Kokeellisten töiden valintakriteerit

Opettajakyselyssä nousseet toiveet on listattu sivulla 26 ja niistä yleisimmät ovat Orgaaniseen kemiaan liittyvät työt sekä Aineiden ominaisuuksiin liittyvät työt. Myös tasasijalla kolmanneksi yleisimmistä kategorioista (Tasapainoreaktiot ja pH, Sähkökemia, Spektrometria) valittiin aluksi yksi teema kehitettäväksi, mutta työohjeen kemiaa ei saatu toimimaan, jolloin sen kehittäminen jäi. Opettajakyselyssä nousivat esiin toiveet lyhyistä töistä ja isoille ryhmille skaalautuvista töistä, mikä myös ohjasi työohjeiden suunnittelussa.

Kemianluokka Gadolinia käytettiin töiden testaukseen, jolloin luokan tavoitteet olivat avainroolissa töiden kehitysprosessissa. Gadolinin kolme painopistealuetta ovat Kestävä kehitys ja kemia, Arkipäivän kemia sekä Moderni teknologia. Joten valittujen töiden tulisi sopia näihin. Lisäksi töiden olisi hyvä olla mahdollisimman myrkyttömiä ja muovattavissa tutkimukselliseen muotoon.

Lopulta työohjeita valmistui kaksi: Etanolin hapettuminen sekä Kasvien väriaineiden uutto. Kolmantena kategoriana yritin kehittää työohjetta mustaherukkamehun tasapainoreaktioista, mutta työn toteutus ei onnistunut. Mustaherukkamehu reagoi odottamattomalla tavalla, jolloin työn kemia petti.

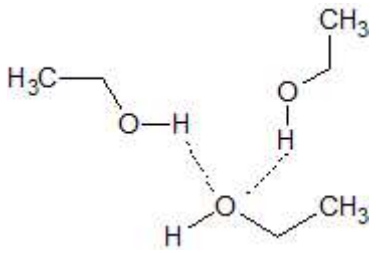
5.2 Etanolin hapettuminen

Opettajien eniten toivomana kategoriana alkoi työohjeen kehittely etanolin hapettumiseen liittyen. Ensimmäisessä vaiheessa työohjeen nimi oli "Etanolin hapettumisreaktiot", mikä myöhemmässä kehitysvaiheessa lyheni hapettumiseksi. Ensimmäinen työtä testaava ryhmä osallistui terveyden ja hyvinvoinnin soveltavalle kemian kurssille, joten työn taustalle valittiin biologinen kemia ja etanolin metabolia ihmisessä. Etanolin metaboliasta ja krapulasta valtaosa nuorista on ainakin kuullut, joten työhön saatiin myös Kemianluokka Gadolinin puolesta yhteys arkipäivän kemiaan.

Lukion opetussuunnitelmassa (Opetushallitus 2015) työ soveltuu erityisesti kurssiin Ke 3 Reaktiot ja energia, missä se kytkeytyy tyypillisiin orgaanisiin reaktioihin. Lisäksi työn voi kytkeä kurssiin Ke 4 Materiaalit ja teknologia, jolloin viitekehyksenä on metallien hapettuminen ja pelkistyminen ja metallien kompleksiyhdisteet. Tätä varten työn kemiallisen taustan esittelyssä on sisällytetty myös lyhyesti kytkös normaalipotentiaaleihin, jotta työn muokkaaminen Ke 4 -kurssille olisi helpompaa.

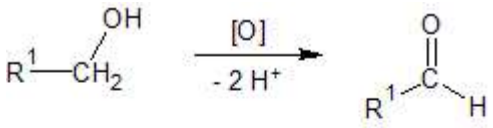
5.2.1 Työn kemiallinen tausta

Pienimolekyyliset alkoholit ovat huoneenlämmössä nestemäisiä ja helposti hajunsa perusteella tunnistettavia yhdisteitä. Alkoholien funktionaalinen ryhmä, hydroksyyliryhmä (-OH), antaa alkoholeille niiden tyypilliset ominaisuudet, kuten poolisuuden. Alkoholien molekyylpainoon nähden korkeat sulamispisteet selittyvät niiden poolisuudella ja molekyylien välisillä vetysidoksilla (katso kuva 1). Poolisina molekyyleinä pienet alkoholimolekyylit ovat vesiliukoisia. Lisäksi alkoholin hydroksyyliryhmällä on lievästi happamia ominaisuuksia. Esim. Metanolin pK_a = 15,5 ja etanolin pK_a = 15,9 (Streitweiser, Heathcook & Kosover, 1992; s. 207-211).

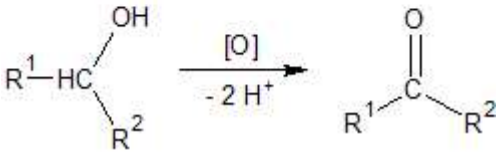


Kuva 1. etanolimolekyylien välissä on vetysidoksia.

Primääriset ja sekundääriset alkoholit voivat hapettua karbonyyliyhdisteiksi. Primääriset alkoholit muodostavat aldehydejä ja sekundääriset alkoholit ketoneja alla kuvattujen reaktioyhtälöiden 1 ja 2 mukaan:

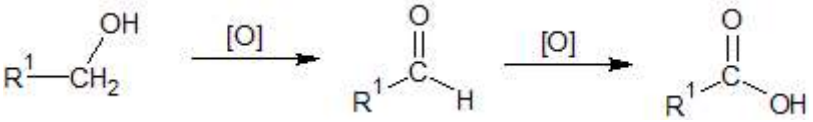


(1)



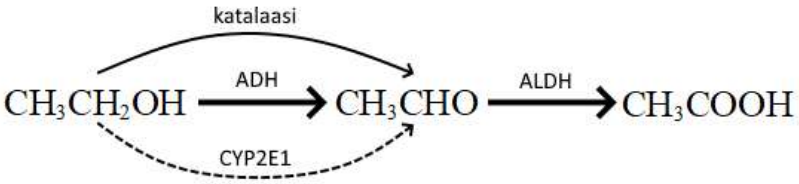
(2)

Aldehydit hapettuvat herkästi karboksyylihapoiksi. Primäärisen alkoholin hapettumisen reaktioyhtälöä voidaan siksi jatkaa reaktioyhtälön 3 mukaan karboksyylihapoksi asti.



(3)

Alkoholijuomissa on etanolia, joka arkikielessä saa kutsumanimekseen alkoholi. Etanolin sietokyvyn rajat ovat yksilöllisiä ja sidoksissa etanolin hapettumiseen ihmiskehossa. Useampi entsyymi osallistuu ensimmäiseen vaiheeseen, eli etanaalin muodostukseen. Toisessa vaiheessa aldehydi hapettuu karboksyylihapoksi ja hajoaa lopulta vedeksi ja hiilidioksidiksi. Metaboliassa haitallisin vaihe on aldehydimuoto, sillä etanaalin on todettu olevan muun muassa syöpää aiheuttava. (NIAAA, 2007) Etanolin metabolian keskeisimmät entsyymit on koottu kuvaan 2.



Kuva 2. Etanolin metabolia pohjautuu pääasiassa entsyymeihin ADH ja ALDH. Pienessä määrin myös katalaasi ja CYP2E1 osallistuvat alkoholin hapettumiseen.

Yleisin etanolin hapettaja on entsyymi nimeltä *alcohol dehydrogenase* (ADH), joka tuottaa aldehydiä. Myös entsyymit cytochrome P450 2E1 (CYP2E1) ja katalaasi hapettavat etanolin etanaaliksi ja osa etanolista voi muodostaa rasvahappojen kanssa estereitä. Suuret alkoholimäärät aktivoivat entsyymi CYP2E1:n, joten se ei aina ole osana alkoholin metaboliaa. Katalaasi puolestaan metaboloi vain murto-osan etanolista. Aldehydi hapettuu edelleen entsyymin aldehyde dehydrogenase (ALDH) avulla karboksyylihapoksi, eli etaanihapoksi. (NIAAA, 2007)

Henkilön etanolin sietokyky riippuu siitä, kuinka nopeasti metabolian eri vaiheet etenevät. Henkilöillä, joilla ensimmäinen hapettumisvaihe aldehydiksi on nopea ja toinen hapettumisvaihe hapoksi hidas kestävät yleensä alkoholia heikommin kuin henkilöt, joilla ensimmäinen vaihe on hidas ja toinen vaihe nopea. Entsyymien ADH ja ALDH tarkka rakenne vaihtelee ja on voitu osoittaa entsyymien muodon olevan geneettinen ominaisuus. Osa tutkijoista arvioi myös aldehydin olevan alkoholille tyypillisten käytösoireiden, kuten hoipertelun, uneliaisuuden ja muistikatkosten, todellinen aiheuttaja. (NIAAA, 2007)

Laboratorio-oloissa aldehydien ja ketonien valmistusprosesseissa voidaan hyödyntää kromi(VI)-yhdisteitä hapettimina, jotka alkoholin hapettuessa pelkistyvät kromi(III)-yhdisteiksi. Kromiyhdisteet hapettavat kuitenkin herkästi aldehydit karboksyylihapoiksi asti (kts. reaktio 3, s. 29). Kromilla hapettaminen toimii siksi parhaiten sekundäärisillä alkoholeilla, joista muodostuva ketoni ei hapetu edelleen. Myös pienimolekyylisistä primäärisistä alkoholeista voidaan valmistaa kromiyhdisteillä aldehydejä, mikäli reaktiotuotteen tislaaminen onnistuu reaktion aikana. Suurien aldehydimolekyylien tislaus ei kuitenkaan onnistu liian korkeiden kiehumispisteiden vuoksi. (Streitweiser et. al, 1992; s. 228-229) Vesiliuoksissa hapettumisreaktio aldehydistä karboksyylihapoksi on usein nopeampi kuin alkoholista aldehydiksi, minkä vuoksi kromaattikatalyytti sopii käytettäväksi vain vedettömässä reaktiossa. (Streitweiser et. al, 1992; s. 338)

Myös kupari- tai hopeakatalyytin avulla voidaan hapettaa primäärinen alkoholi aldehydiksi tai sekundäärinen alkoholi ketoniksi. Alkoholi-happiseos saa reagoida kuuman katalyytin kanssa, jolloin saadaan toivottu reaktio. Metanolin ja etanolin osalta saantoprosentti hapetusreaktiolla hopeakatalyytillä on 80-90%. Kuparikatalyytti yltää vastaaviin tuloksiin, vaikka vaatiikin hieman

korkeamman lämpötilan. Esimerkiksi metanolin reaktiossa hopeakatalyytti vaatii 600-650°C ja kuparikatalyytti noin 100 astetta korkeamman lämpötilan. (Wachs & Madix, 1978)

Alkoholeista saadaan aldehydejä ja ketoneja myös dehydrogenoinnin kautta käyttäen kuumia metallikatalyyttejä. Erityisesti kuparikatalyyttiä käytetään dehydrogenoinnissa lämpötilaintervallissa 250-400°C, eli viileämmässä kuin hapettumisreaktioissa. Varsinkin metanolin osalta hapettuminen on kuitenkin tehokkaampi keino, sillä dehydrogenointi hajottaa pienen molekyylin hiilimonoksidiksi ja vetykaasuksi. (Wachs & Madix, 1978) Dehydrogenoinnissa yhdisteestä poistetaan vetyä eliminaatioreaktiolla, joten menetelmä ei varsinaisesti liity tähän hapettumis-pelkistys-reaktioihin keskittyvään työhön. Aiheen voi kuitenkin mainita kurssin aikana teorian osalta eliminaatioreaktioita käsitellessä.

Sokereita esiintyy sekä aldehydien että ketonien muodossa ja niiden erotteluun on yli 100 vuoden ajan osattu hyödyntää Tollensin reagenssia. Reagenssi valmistetaan lisäämällä hopeanitraattiin emästä (esim. NaOH), jolloin muodostuu hopeaoksidisakkaa (reaktioyhtälö 4). Sakkaan lisätään ammoniakkia, kunnes sakka liukenee hopea-ammiinikompleksi-ioneina (reaktioyhtälö 4). (Baker, 2007; Byju's, 2019; Streitweiser et. al, 1992; s. 224)

$$2Ag^{+}\,(aq) + 2OH^{-}\,(aq) \rightarrow Ag_2O\,(s) + H_2O\,(l) \qquad (4)$$

$$Ag_2O\,(s) + 4NH_3\,(aq) + H_2O\,(l) \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]^{+}\,(aq) + 2OH^{-}\,(aq) \qquad (5)$$

Aldehydin ja hopea-ammiinikompleksin välisessä reaktiossa hopea pelkistyy ja aldehydi hapettuu karboksyylihapoksi. Etanaalin osalta tämä reaktio on esitetty yhtälönä 6. Puhtaassa lasiastiassa, esimerkiksi koeputkessa, pelkistyvä hopea tarttuu lasin pintaan ja muodostaa peilipinnan. Vaikka hopeapeiliä on alkujaan hyödynnetty sokereiden erotteluun, soveltuu se mainiosti myös yksinkertaisempien aldehydien tunnistamiseen. (Baker, 2007; Byju's, 2019)

(6)

Hopean diammiinikompleksi reagoi hitaammin kuin esimerkiksi hopeanitraatissa vapaana olevat hopeaionit ja tämä mahdollistaa hopeapeilin synnyn. Mikäli reaktio tapahtuu liian nopeasti, muodostuu kiinteää tummaa hopeajauhetta koeputkeen. Reaktion nopeutta voi esimerkiksi selittää normaalipotentiaaliarvojen avulla (vrt reaktioita 7 ja 8), sillä normaalipotentiaali kompleksi-ionille on matalampi kuin hopeanitraatin vapailla hopeaioneilla. Mitä suurempi normaalipotentiaali on, sitä nopeammin pelkistysreaktio tapahtuu. (Baker, 2007)

$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag \qquad E° = +0.799\ V \qquad (7)$$

$$Ag(NH_3)_2^+ + e^- \rightarrow Ag + 2NH_3 \qquad E° = +0.373\ V \qquad (8)$$

Hopeapeili toimii hyvin aldehydien osoitusreaktiona, sillä se ei anna positiivista tulosta esimerkiksi ketoneille tai karboksyylihapoille. Testi ei kuitenkaan erottele, minkälainen aldehydi osallistuu tapahtuvaan reaktioon. Yksittäisten aldehydien ja ketonien tunnistukseen käytetään synteesiä, missä aldehydi tai ketoni reagoi dinitrofenyylihydrastinin kanssa muodostaen keltaisen tai oranssin kiinteän aineen. Kiinteän aineen sulamispiste on yhdistekohtainen, joten vertaamalla sulamispisteitä taulukoituihin arvoihin, voi tutkitun aineen tunnistaa ja nimetä. (Wellesley, 2019: Baker, 2007)

5.2.2 Työohjeen rakenne

Kokeellisen osuuden teoria kytkettiin etanolin metaboliaan ja verrattiin tutkittuja reaktioita etanolin metabolian vaiheisiin. Työohjeen ensimmäisessä versiossa ohjeistetaan opiskelijat ensiksi valitsemaan vertailunäytteet aldehydille: positiivisen näytteen tulee varmasti olla aldehydi ja negatiivisessa näytteessä ehdottomasti ei saa olla aldehydiä. Tämän jälkeen heidät opastetaan hapettamaan etanolia hehkuvan kuuman kuparilangan avulla. Hapettunutta etanolia verrataan positiiviseen ja negatiiviseen vertailunäytteeseen valmistamalla Tollensin reagenssia ja antamalla kunkin näytteen reagoida Tollensin kanssa samalla, kun koeputkia lämmitetään vesihauteessa. Kahden koeputken pintaan tulisi muodostua hopeapeili osoittamaan aldehydiä ja etanolista muodostunut etanaali hapettuu edelleen etaanihapoksi.

Työstä muotoiltiin tutkimuksellinen antamalla opiskelijoille valinnanvapautta ja jättämällä lopputulos avoimeksi. Heidän tuli itse valita sopivat vertailunäytteet opettajan tarjoamista vaihtoehdoiste. Tollensin reagenssista heille kerrottiin aineen hapettavan aldehydejä, muttei reagoivan muiden yhdisteryhmien kanssa eikä työohjeesta käy ilmi, että hopeapeili on tavoiteltu lopputulos. Kokeellisuuden tasoihin verratessa työ on strukturoitu tutkimuksellinen työ, eli tasolla 1. Vertailunäytteiden valinnan vapaus tekee työstä hieman avoimemman kuin pelkistetysti kuvatulla tasolla 1, mutta pääpiirteittäin työ jää tasolle 1.

5.3 Kasvien väriaineiden uuttaminen

Toiseksi toivotuimpaan kategoriaan valittiin työksi aineiden ominaisuuksiin liittyen työ, joka liittyy poolisuuteen ja liukoisuuteen. Työn inspiraationa käytettiin Kemianluokka Gadolinin materiaalipankissa (Tiedekasvatuskeskus, 2018) tarjolla olevaa työohjetta otsikolla Värien eristys. Työohjetta on muokattu kohtalaisen paljon, sillä alkuperäisessä versiossa käytettiin liuottimena heksaania ja työohje vaati vetokaapin käyttöä ja tarkkaa, reseptimäistä työskentelyä. Niinpä ensimmäisenä vaiheena oli kehittää työstä myrkytön versio, jotta siitä voisi kehittää tutkimuksellisen työn ja antaa opiskelijoiden käsitellä liuottimia omatoimisesti, mieluiten ilman vetokaappia ja suojavälineitä. Työn nimeksi valikoitui kasvien väriaineiden uuttaminen. Nimi antaa aika laajan käsitteen uutettavista aineista, vaikka käytännössä työtä testattiin marjojen, vihannesten ja mausteiden osalta.

Lukion opetussuunnitelmassa (Opetushallitus 2015) työ soveltuu erityisesti kaikille pakolliseen kurssiin Ke 1 Kemiaa kaikkialla, jolloin se linkittyy poolisuuden ja liukoisuuden käsittelyyn.

Työn kemia pohjautuu molekyylien poolisuuteen ja liukoisuuteen. Näihin liittyen tässä osassa työtä selvitetään, mitä poolisuus on ja miten molekyylien poolisuus liittyy liukoisuuteen. Tässä kappaleessa käsitellään myös tyypillisiä aineita, joita kyseiseen työohjeeseen liittyy ja lopuksi esitellään tiivistetysti, miten työohjeen ensimmäinen versio rakentui.

5.3.1 Työn kemiallinen tausta

Elektronegatiivisuusarvot kuvaavat alkuaineen kykyä vetää elektroneja puoleensa sidoksessa. Arvot ovat alkuainekohtaisia ja tyypillisimmin käytetään Linus Paulingin määrittämiä arvoja. Paulingin arvot muodostuvat kokeellisen sidosenergian ja laskennallisen sidosenergian erotuksesta hypoteettiselle sidokselle H-X, missä X on tutkittu aine. Paulingin laskennallinen sidosenergia yhdisteelle H-X saadaan keskiarvona H-H ja X-X sidoksista, eli yhtälön 9 mukaisesti. (Zumdahl & Zumdahl, 2003, s. 350-357)

$$E_{H-X} = \frac{E_{H-H} + E_{X-X}}{2} \qquad (9)$$

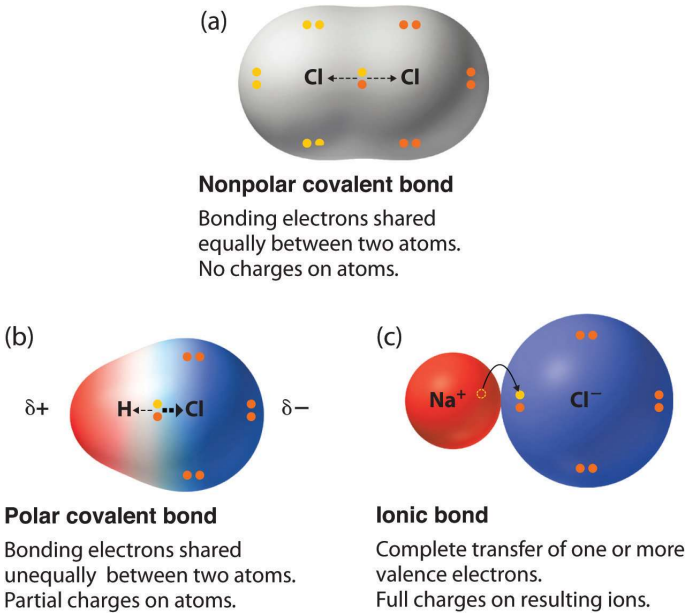
Laskennallinen arvo vähennetään kokeellisesta arvosta, jolloin saadaan suhteellinen elektronegatiivisuus X-atomille. Näin saadut arvot jakautuvat frankiumin 0,7 ja fluorin 4,0 välille ja sopivat kuvastamaan kyseisen atomin kykyä vetää sidoksen elektroneita puoleensa. Mitä suurempi arvo on, sitä voimakkaammin atomi vetää sidoksen elektroneita. (Zumdahl & Zumdahl, 2003, s. 350-357) Paulingin menetelmän suurimpana pulmana on, ettei kaikille alkuaineille saada stabiileja yhdisteitä, joiden sidosenergioita voisi mitata. Niinpä muitakin menetelmiä on lukuarvojen saamiseksi. (Averill & Eldredge, 2012, kappale 7.3) Paulingin arvot esitetään taulukossa 9.

Taulukko 9. Elektronegatiivisuus L. Paulingin mukaan

H 2,1																
Li 1,0	Be 1,5											B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0
Na 0,9	Mg 1,2											Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0
K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti 1,5	V 1,6	Cr 1,6	Mn 1,5	Fe 1,8	Co 1,8	Ni 1,8	Cu 1,9	Zn 1,6	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8
Rb 0,8	Sr 1,0	Y 1,3	Zr 1,4	Nb 1,6	Mo 1,8	Tc 1,9	Ru 2,2	Rh 2,2	Pd 2,2	Ag 1,9	Cd 1,7	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5
Cs 0,7	Ba 0,9	La 1,1	Hf 1,3	Ta 1,5	W 1,7	Re 1,9	Os 2,2	Ir 2,2	Pt 2,2	Au 2,4	Hg 1,9	Tl 1,8	Pb 1,8	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2
Fr 0,7	Ra 0,9	Ac 1,1														

Mitä suurempi kahden atomin välinen elektronegatiivisuus on, sitä enemmän sidoksen elektronit siirtyvät elektronegatiiviselle atomille. Ioniluonne kasvaa elektronien ollessa epätasaisesti jakautuneena.

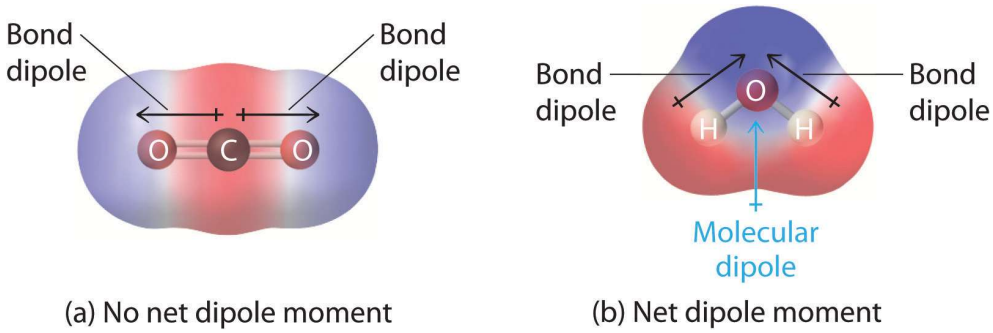
Pienellä elektronegatiivisuuserolla sidos on pooliton, kuten esimerkiiksi kuvassa 3 Cl-Cl-sidoksessa (a). Vetykloridissa kloori on elektronegatiivisempi kuin vety, joten kloori vetää sidoksen elektroneja lujemmin ja ne ovat lähempänä klooria kuin vetyä. Mutta vedyn ja kloorin elektronegatiivisuusero ei ole riittävän suuri, jotta muodostuisi ioneja, vaan sidos on edelleen kovalenttinen.. Natriumkloridissa (c) elektronegatiivisuusero on niin suuri, että elektronit ovat osa kloridi-ionia ja saadaan elektronivajauksen vuoksi natriumioni. (Averill & Eldredge, 2012, kappale 8.9)



Kuva 3. Poolittoman kovalenttisen (a), poolisen kovalenttisen (b) ja ionisidoksen (c) erot. Sininen osoittaa negatiivista ja punainen positiivista varausta.

Kuvalähde: https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/s11-the-periodic-table-and-periodi.html, Tekijä anonyymi. Julkaistu Creative Commonsi-lisenssin alaisuudessa (By-nc-sa 3.0)

Sidoksen dipolimomentti on vektori, jonka avulla osoitetaan elektronien siirtymissuunta. Kun sidos pn poolinen, voidaan piirtää dipolimomentti nuolen muodossa osoittamaan elektronien siirtymissuunta. Esimerkiksi kuvassa 4 on piirretty yskittäisten sidosten dipolimomentit mustalla nuolella. (Averill & Eldredge, 2012, kappale 9.1)

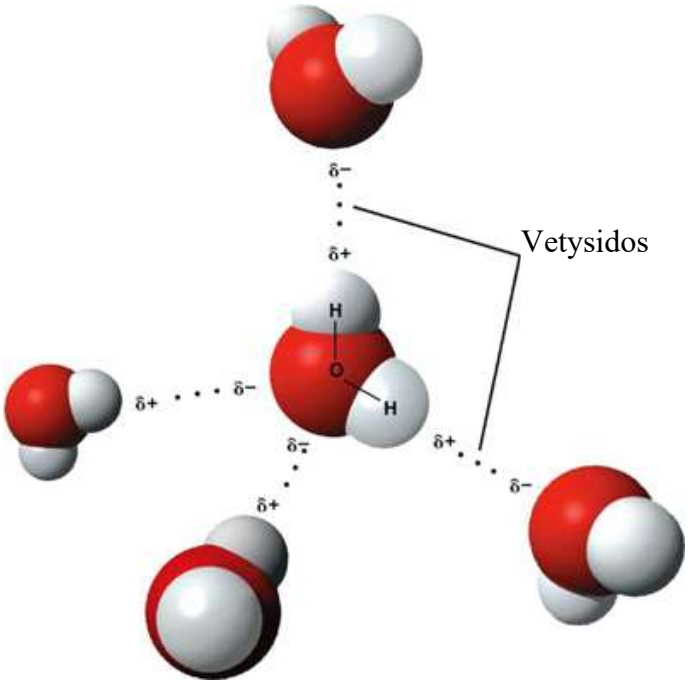


Kuva 4. Sidoksen dipolimomentit on ilmaistu mustalla vektorilla ja molekyylin dipolimomentti vaalean sinisellä vektorilla. Sininen kuvaa negatiivista ja punainen positiivista osittaisvarausta.

Kuvalähde: https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s13-01-predicting-the-geometry-of-mol.html Tekijä anonyymi. Julkaistu Creative Commonsi-lisenssin alaisuudessa (By-nc-sa 3.0)

Pooliset sidokset voivat johtaa pooliseen molekyyliin ja tämä voidaan selittää dipolimomentteja tarkastelemalla. Molekyylin dipolimomentti saadaan laskemalla yhteen sidosten dipolimomentit. Koska nämä ovat vektoreita, saadaan summana vektori. (Zumdahl & Zumdahl, 2003, s. 350-357; Averill & Eldredge, 2012, kappale 9.1) Kuvassa 4 (b) on vesimolekyylin dipolimomentti esitetty sinisellä vektorilla erottuakseen paremmin sidosten dipolimomenteista. Sininen nuoli selittää käytännössä sen, että elektronit siirtyvät lähemmäksi elektronegatiivisempaa happiatomia ja vedyt saavat positiivisen osittaisvarauksen. Kuvassa esitetään myös elektronijakauma, missä suurempi elektronitiheys on väritetty siniseksi ja elektronivajaus punaiseksi. Hiilidioksidimolekyylissä (a) sidosten dipolimomenttien summa on nolla, jolloin molekyyli on käytännössä pooliton, vaikka yksittäiset sidokset ovat poolisia. Mikäli molekyylissä ei ole poolisia sidoksia, ei molekyyli voi olla poolinen.

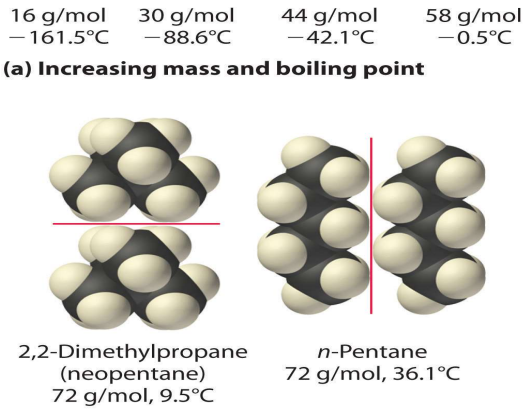
Poolisten molekyylien välillä esiintyy dipoli-dipoli-sidoksia ja vetysidoksia (Averill & Eldredge, 2012, kappale 11.2). Poolisissa molekyyleissä esiintyy positiivisia ja negatiivisia osittaisvarauksia, jotka vetävät toisiaan puoleensa. Tätä heikkoa vuorovaikutusta kutsutaan dipoli-dipolisidokseksi. Erityistapauksena on vetysidos, missä erittäin elektronegatiiviseen atomiin on sitoutunut vetyatomi, jolloin vedyllä on kohtalaisen korkea positiivinen osittaisvaraus. Kuvassa 5 havainnollistetaan dipoli-dipolisidoksia vesimolekyylien välillä.



Kuva 5. Vesimolekyylien välille muodostuu vetysidoksia, jotka ovat dipoli-dipoli-sidosten erityistapaus, sillä vetysidos on vahvimpia dipoli-dipoli-sidoksia.

Kuvalähde: Wikimedia Commons, tekijänä Michal Maňas (User:snek01). Julkaistu Creative Commonsi-lisenssin alaisuudessa (By-nc-sa 3.0)

Poolittomien molekyylien välillä ei esiinny dipoli-dipolisidoksia, sillä niissä ei ole pysyviä osittaisvarauksia. Sen sijaan poolittomien molekyylien ominaisuuksia selitetään dispersiovoimilla, jolloin molekyyleihin muodostuu väliaikaisia osittaisvarauksia. Yhden molekyylin osittaisvaraus indusoituu seuraavaan molekyyliin, joka sitten indusoituu seuraavaa jne. Mitä suuremman yhteisen pinta-alan kaksi poolitonta molekyyliä muodostavat, sitä suurempi dispersiovoima niiden välillä vaikuttaa. (Averill & Eldredge, 2012, kappale 11.2) Tämä näkyy esimerkiksi kuvan 6 molekyylejä vertaamalla, identtisen moolimassan, mutta eri rakennekaavan omaavat molekyylit saavat eri kiehumispisteet.



Kuva 6. 2,2-dimetyylipropaanimolekyylien välinen pinta-ala on pienempi kuin n-pentaanimolekyylien välinen pinta-ala, jolloin 2,2-dimetyylipentaanilla on matalampi kiehumispiste kuin n-pentaanilla.

Kuvalähde: https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s15-02-intermolecular-forces.html Tekijä anonyymi. Julkaistu Creative Commonsi-lisenssin alaisuudessa (By-nc-sa 3.0)

Yleisesti ottaen pätee sääntö, että pooliset molekyylit liukenevat poolisiin ja poolittomat molekyylit poolittomiin liuottimiin. Tämä pätee yleissääntönä, tosin monesti poolinen liukenee pienissä määrissä poolittomiin liuottimiin ja pooliton poolisiin liuottimiin. Esimerkiksi veden liukoisuus bentseeniin on 178 mg/100ml ja lämpötilasta riippuen esimerkiksi metaania ja hiilidioksidia liukenee veteen pieniä määriä. (Averill & Eldredge, 2012, kappale 13.2) Tässä tutkielmassa käsiteltävässä kokeellisessa työssä ei tarvitse ottaa huomioon poolisen ja poolittoman heikkoa liukenemista toisiinsa, vaan voidaan olettaa poolisen ja poolittoman olevan toisiinsa liukenemattomia kaikissa tilanteissa.

5.3.2 Kasvien väriaineet

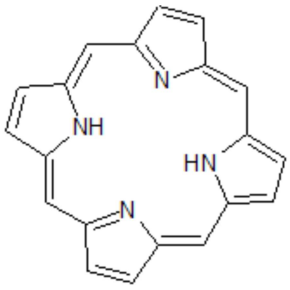
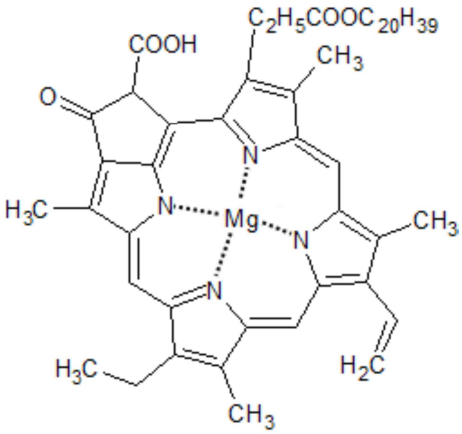
Kokeellisen työn ymmärtämisen tueksi on hyvä tutkia rakennekaavoja ja rakenteiden poolisuutta. Tässä työn osiossa keskitytään työohjeessa mainittuihin kasvien väriaineisiin, joita työssä on tarkoitus liuottaa. Myös tutustuminen poolisten ja poolittomien liuottimien rakennekaaavoihin on mielekästä ennen työn aloittamista, jotta työn teoria ja käytännön toteutus linkittyisivät selkeämmin toisiinsa. Eri rasvoista voi hyvin käyttää yhtä esimerkkiä yhdisteen sisältämästä rasvahaposta, sillä

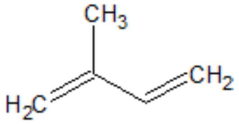
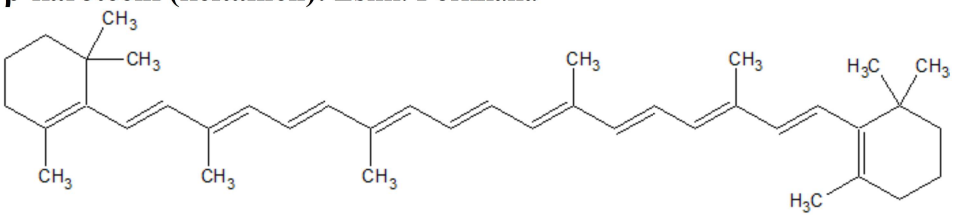
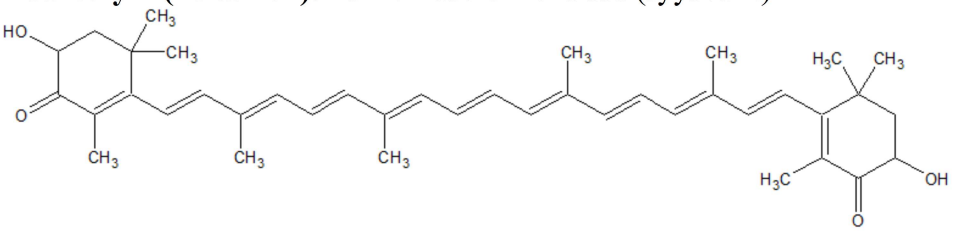
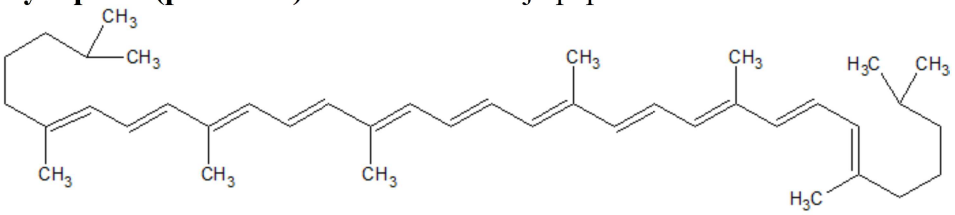
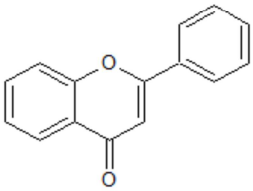
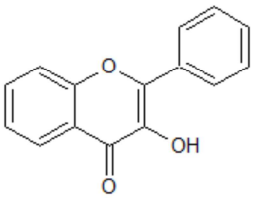
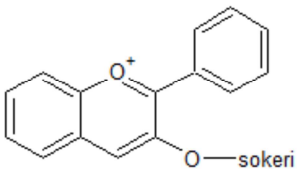
yksi molekyyli riittää tässä työssä selittämään rasvahapposeoksen ominaisuuksia liuottimena.

Työhön kannattaa valita mahdollisimman myrkyttömät liuottimet, jotta työn voi suorittaa ilman vetokaappia tai pelkoa opiskelijoiden turvallisuudesta. Opiskelijoille voi tarjota vaihtoehtoina poolisiksi liuottimiksi vettä, etanolia ja etaanihappoa (esim. Väkiviinaetikkaa). Poolittomina liuottimina voi käyttää esimerkiksi paraffiiniöljyä tai sulatettua kookosöljyä/-rasvaa (ruokakaupasta). Rypsiöljyn voi nostaa tarjolle, mutta sen sisältämät keltaiset väripigmentit häiritsevät tulosten tulkinnassa.

Kasveissa esiintyvät väriaineet, eli pigmentit, voidaan molekyylin rakenteen perusteella karkeasti jakaa kolmeen ryhmään: porfyriinit, karotenoidit ja flavonoidit. Ryhmittelyperusteena on jokin molekyylin perusrakenne, joka löytyy kaikista ryhmään kuuluvista yhdisteistä (kts taulukko 10). Porfyriineistä tyyppiesimerkkinä on vihreä klorofylli. Karotenoideja ovat esimerkiksi keltainen ksantofylliini ja keltaisena, oranssina ja punaisena eri variaatiot karoteeneista. Flavonoideihin kuuluvat esimerkiksi keltainen flavoni ja punaiseen, violettiin ja siniseen taipuvat antosyaanit. Taulukkoon 10 on koottu joitakin rakennekaavoja esimerkeiksi näistä yhdisteryhmistä. (Alkema & Seager, 1982)

Taulukko 10: Kasvien pigmenttien pääryhmät ja esimerkkiyhdisteitä

Pääryhmän perusrakenne	**Esimerkkiyhdisteitä**
Porfyriinit Perusrakennus-palikkana porfiini  porfiini	**Klorofylli A (vihreä):** Erityisesti vihreissä kasvin osissa 

Pääryhmä	Esimerkkirakenteita
Karotenoidit Perusrakennuspalikkana isopreeni, joka toistuu useita kertoja rakenteessa  **isopreeni**	**β-karoteeni (keltainen):** Esim. Porkkana  **Ksantofylli (keltainen):** Esim. Kasvien lehdissä (syysvärit)  **Lykopeeni (punainen):** Esim. Tomaatti ja paprika 
Flavonoidit Perusrakennuspalikkana kaksi bentseenirengasta, jotka on kytketty toisiinsa muutaman hiilen ja eetterihapen muodostamalla heterosyklisellä renkaalla. Kolme alakategoriaa riippuen siitä, minkälainen regnas on.	**Flavonit (keltaisia):** Esim. kukkien terälehdet  **Flavonolit (keltaisia):** Esim. kukkien terälehdet  **Antosyaanit (punaisia, sinisiä, violetteja jne)**. Esim. marjat, hedelmien kuoret ja kukkien terälehdet 

Antosyaanien väri kasveissa on riippuvainen myös pH:sta sekä muista kasvissa esiintyvistä flavonoideista ja pigmenteistä. Antosyaanit voivat myös muodostaa värillisiä kompleksiyhdisteitä metalli-ionien kanssa, jolloin metalli-ionit vaikuttavat yhdisteen väriin. (Alkema & Seager, 1982; Glower & Martin, 2012) Luonnossa esiintyy yli 600 erilaista antosyanidia ja yhdisteiden välisiin eroihin vaikuttaa antosyaanin flavonoidiryhmään sitoutunut sokeri sekä antosyaanille ominaisten hydroksyyliryhmien sijainnit. Antosyaanit ylipäätään ovat iso yhdisteryhmä, jossa monet seikat vaikuttavat yhdisteen rakenteeseen ja väriin. (Glower & Martin, 2012)

Värimolekyylien rakenteiden perusteella porfyriinit ja karotenoidit ovat pääasiassa poolittomia yhdisteitä ja liukenevat poolittomaan liuottimeen. Flavonoideista ainakin antosyaanit ovat poolisia ja riippuen rakenteiden substituutioista myös flavonit ja flavonolit voivat olla poolisia ja siten vesiliukoisia.

5.3.2 Työohjeen rakenne

Työn teema on jo itsessää aika selkeästi arjen ilmiöön liittyvä, kun pohditaan kasvien väriaineita ja niiden liukoisuutta. Halutessaan työn voi kytkeä tarkemmin esimerkiksi elintarviketeollisuuten tai makeisten värjäämiseen, mutta tässä sille ei ollut selkeää tarvetta.

Työohjeesta muotoiltiin ohjattu tutkimus, missä opiskelijoille annettaan valikoima työvälineitä ja tutkimuskysymys. Oppettajan on tarkoitus rajata työvälineitä ja liuottimia vain hieman ja tarjota opiskelijoille enemmän kuin he tarvitsevat työn toteuttamiseksi. Varsinainen työn toteutuksen suunnittelu, liukoisuuden tutkimine ja tulosten tulkinta jää opiskelijoiden vastuulle. Tällä asetelmalla työohje vastaa kokeellisuuden tasoa 2. Työohjeen tasoa voi laskea kuvailemalla tarkemmin tai rajaamalla opiskelijoiden valinnat pois, mutta tarjoamalla sopivia myrkyttömiä liuotinvaihtoehtoja, voi työn hyvin jättää näin avoimeen muotoon.

6. Tapaustutkimus: Työohjeiden arviointi

Kehitetyt työohjeet arvioitiin tapaustutkimuksen muodossa. Kemianluokka Gadoliniin sovittiin kummankin työn testauksesta kahden opiskelijaryhmän kanssa. Vierailevat opiskelijat saivat tehdä kokeellisen työn ja heidän mielipiteitään kerättiin paperiselle kyselylomakkeelle työn suorituksen jälkeen. Opiskelijoiden antama palaute toimi pääasiallisena kehittämistyökaluna. Palautetta ei varsinaisesti kerätty vierailevien ryhmien opettajilta, mutta opettajien spontaanisti antamaa palautetta on hyödynnetty kehittämisprosessissa. Myös ohjauksen jälkeen kirjoitettuja ohjaajan muistiinpanoja on hyödynnetty, vaikkei niille tehty selkeää pohjaa, jolla arvioida työtä.

6.1 Etanolin hapettuminen

Kokeellisessa työssä opiskelijat hapettivat etanolia etanaaliksi ja käyttivät Tollensin reagenssia hapettaakseen etanaalin edelleen karboksyylihapoksi, jolloin reaktiossa syntyy hopeapeili. Työtä testattiin yhteensä kahden opiskelijaryhmän kanssa ja yhteensä 20 opiskelijan voimin. Työn päätteeksi opiskelijat täyttivät kyselylomakkeen, jonka tuloksiin tässä luvussa pääasiassa keskitytään.

6.1.1 Koejärjestely oppilasryhmien kanssa

Käytännössä työtä testattiin kahden opiskelijaryhmän kanssa samana päivänä. Testiryhmä 1 koostui suomenkielisistä soveltavan lukiokurssin opiskelijoista (N = 14), joiden kurssin kokonaisteemana oli Terveys ja hyvinvointi. Ryhmä 2 koostui ruotsinkielisistä iltalukion Ke 4 -kurssilaisista (N = 6), jotka juuri olivat suorittaneet kurssin Ke 3 ja kurssia Ke 4 oltiin vasta päästy aloittelemaan. Työtä testanneet täyttivät palautelomakkeen joko heti työn jälkeen, tai osa ryhmästä 1 seuraavalla viikolla kurssinsa tunnilla. Testiryhmä 2 on sen verran pieni, ettei ryhmien välisiä eroja kannata kovinkaan tarkkaan ruveta vertailemaan.

Kirjallinen työohje annettiin suomen- tai ruotsinkielisenä ryhmän opetuskielen mukaan. Tämän työohjeen pohjalta opiskelijat saivat toteuttaa työn vaiheita eikä varsinaista pohjustusta työn teoriaan tai työn vaiheista tehty. Ryhmän 2 osalta kerrattiin työn teoriaa suullisesti muutaman minuutin ajan ennen työn alkua ja luettiin kirjallinen työohje läpi ennen aloittamista. Myös ensimmäinen ryhmä olisi hyötynyt yhdessä lukemisesta, jotta ohjeistuksen väärinymmärryksiltä olisi vältytty. Tarvittavat välineet ja reagenssit oli nostettu pöydille tai vetokaappiin tarjolle ja opiskelijat saivat ohjetta lukiessaan vapaasti ottaa tarvitsemansa. Vertailunäytteiksi ehdotettavia aineita oli tarjolla useampia ja opiskelijat valitsivat niistä sopivan.

6.1.2 Kyselyn tulokset ja pohdintaa

Työn suoritettuaan opiskelijat saivat vastata paperiseen kyselyyn. Suomenkielinen ryhmä sai kysymykset suomeksi ja ruotsinkielinen ruotsiksi, jotta mahdollisimman monella vastaajalla olisi mahdollisuus vastata äidinkielellään. Kyselyssä oli sekä monivalintoja että avoimia kysymyksiä.

Ryhmä 1 koostuu jokseenkin samanikäisistä ja ikäjakauma on lukiolaisille tyypillinen 16-18-vuotta. Ryhmässä 2 ikäjakauma on laajempi, 18-38 vuotta, koska ryhmän jäsenet ovat aikuislukiolaisia. Myös aiemmin suoritettujen kemian kurssien määrä poikkeaa. Ryhmässä 1 suoritettuja kemian kursseja on 2-6 kpl ja ryhmässä 2 on pääasiassa suoritettu 3 kurssia (ainoana poikkeuksena yksi ryhmästä on suorittanut 7 kurssia). Yleisimmin työn tehnyt on vastannut olevansa 17 vuotias nainen, joka on suorittanut kolme lukion kemian kurssia (tulosten moodi kaikista vastaajista).

Kokeellisen työn soveltuvuutta ja mielekkyyttä arvioitiin väittämin, joille vastaajat antoivat numeroarvon. (1= täysin samaa mieltä ja 5 = täysin eri mieltä.) Taulukossa 11 esitetään kootusti keskiarvoja näihin monivalintakysymyksiin. Keskimäärin opiskelijat osasivat liittää työn aiemmin oppimaansa ja 55% vastaajista oli väitteen kanssa samaa tai jokseenkin samaa mieltä. Ryhmän 2 osalta tässä kysymyksessä on annettu positiivisempia vastauksia kuin ryhmässä 1. 40% vastaajista oli kuitenkin jokseenkin tai täysin eri mieltä siitä, että työ liittyisi aiemmin opittuun.

Taulukko 11: Opiskelijoiden mielipiteet kokeellisesta työstä, arvioitu numeroin 1-5.
Kun 1= täysin samaa mieltä ja 5 = täysin eri mieltä.

	Työ liittyi aiemmin oppimaani	**Työ sopi hyvin kurssille, jota käyn nyt**	**Työ liittyi selkeästi arkipäivän ilmiöön**	**Sain tarpeeksi selkeät ohjeet**	**Sain tutkia jotain mielenkiintoista**	**Opin jotain uutta kemiasta**	**Opin jotain uutta tutkimisesta**
Ryhmä 1 k.a.	3,1	3,0	2,7	2,4	2,9	2,9	3,1
Ryhmä 2 k.a.	1,8	2,5	2,8	2,3	2,2	2,5	2,3
Kaikki k.a.	2,7	2,8	2,8	2,4	2,7	2,8	2,9
Moodi kaikki	1	3	2	2	1	2	1

Ryhmä 1 suoritti soveltavaa kurssia terveyteen ja hyvinvointiin liittyen, jolloin työn aihe ei ehkä heti muistunut mieleen. Ryhmä 2 oli vastikään suorittanut Ke 3 -kurssin, jonka aihepiireihin työ sopii hyvin ja 4 vastaajaa (67%) oli väittämän kanssa samaa tai jokseenkin samaa mieltä. Kukaan ryhmässä 2 ei ollut väitteen kanssa eri mieltä, toisin kuin ryhmässä 1, missä useampi oli eri mieltä kuin samaa mietlä. Kaikkien vastaajien suhteen puolet, eli 11 vastaajaa (55%). oli täysin samaa tai jokseenkin samaa mieltä. Lisäksi kahdeksan vastaajaa (40%) oli jokseenkin tai täysin eri mieltä.

Eniten vastaajat ovat valinneet neutraalin mielipiteen väittämään ”Työ sopi hyvin kurssille, jota käyn nyt”. Vastaukset ovat kuitenkin jakautuneet aika tasan kaikkien vaihtoehtojen välillä. Yhteensä 8 vastaajaa (40%) on ollut täysin tai jokseenkin samaa mieltä ja 6 vastaajaa (30%) on jokseenkin tai täysin eri mieltä. Ryhmä 1 on soveltavalla kurssilla, johon ei välttämättä tämä kyseinen työ ole oikein optimaalinen ja ryhmä 2 puolestaan saattoi kokea työn paremmin sopivaksi edelliseen, vastikään suoritettuun kurssiin.

Useimmat vastaajista ovat väittämän ”Sain tarpeeksi selkeät ohjeet” kanssa täysin samaa tai jokseenkin samaa mieltä (11 vastaajaa, 55%). Vastaajista kolme (15%) oli jokseenkin eri mieltä väittämän kanssa ja he kaikki olivat ryhmästä 1. Kukaan ei ollut täysin eri mieltä, vaikka työn toteutuksessa olikin jonkinverran sähläystä.

Aiheen mielenkiintoisuus jakoi vastauksia. Enemmistö on ollut samaa tai jokseenkin samaa mieltä (11 vastaaja, 55%) ja kolmannes on ollut jokseenkin tai täysin eri mieltä (7 vastaajaa, 35%). 50% vastaajista on täysin tai jokseenkin samaa mieltä siitä, että ovat oppineet jotain uutta kemiasta. Hieman harvempi, 45% on täysin tai jokseenkin samaa mieltä siitä, että on oppinut uutta tutkimisesta. Vastaavasti 30% on jokseenkin tai täysin eri mieltä siitä, että olisi oppinut uutta kemiasta ja 35% on eri mieltä siitä, että olisi oppinut tutkimisesta.

Avokysymyksin opiskelijat saivat myös kertoa, mikä työssä oli parasta (N = 19) ja mitä tulisi parantaa (N = 17). Vain yksi jätti kertomatta, mikä työssä on parasta. Kolme jätti vastaamatta siihen, mitä tulisi parantaa ja lisäksi neljän mielestä mitään ei tarvitse parantaa. Kaksi on ilmoittanut työssä parhaaksi koejärjestelyissä sattuneet virheet. Vastauksista ei kuitenkaan käy ilmi, viittasivatko opiskelijat itse tekemiinsä virheisiin vaiko ohjaajan tekemiin virheisiin. Eikä vastauksesta ole selvää, onko se vahingossa päätynyt väärän otsikon alle ja kuuluisi parannusehdotuksiin. Avokysymyksistä kootut mielipiteet on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Opiskelijoiden mielipiteet kokeellisesta työstä

Mikä työssä oli parasta? (N = 19)	**Mitä pitäisi muuttaa seuraavaa kertaa varten?** (N = 18)
1. Vapaus tutkia (32%) 2. Sai soveltaa aiemmin oppimaansa (16%) 3. Ryhmässä työskentely (16%) 4. Laboratorioympäristö (16%) 5. Työtavat ja tulokset (11%) 6. Kaikki (11%) 7. Virheitä koejärjestelyssä (11%)	1. Selkeämmät ohjeet (33%) 2. Enemmän teorian pohjustusta (22%) 3. Ei parannettavaa (22%) 4. Enemmän aikaa työn tekoon ja purkuun (11%) 5. Tiedonhaku ärsytti (6%) 6. Toivoi haastavampaa työtä (6%)

Monivalintoihin vastanneista kysymyksessä "sain tarpeeksi selkeät työohjeet" ei kukaan ollut täysin eri mieltä. Vain 15% oli väittämän kanssa jokseenkin eri mieltä, mutta silti 33% toivoi saavansa selkeämmät työohjeet. Olisi voinut olla järkevää haastatella osaa työn tehneistä, jotta tähän ajatukseen olisi saatu selkeämpi kuva. Nyt jää epäselväksi, mikä olisi opiskelijoiden mielestä selkeämpi ohje tai millä tavoin työohjetta olisi kannattanut selkeyttää.

Palautelomakkeessa esitettiin myös kysymyksiä tehdyn työn teoriaan liittyen, jotta opiskelijoiden osaamisen tasoa voisi kartoittaa työn suorituksen jälkeen. Opiskelijoita pyydettiin vastaamaan monivalinnoin ja viimeisenä sanallisesti selittämään hopeapeilin muodostumisen syy.

Monivalinnoissa pyydettiin vertaamaan etanolin metaboliaa tehtyihin hapettumisreaktioihin. Opiskelijoiden tuli ympyröidä se aine, joka vastaa ADH-entsyymiä. Tulokset on esitetty taulukossa 13. Vain harva osasi yhdistää ensimmäisen reaktion tapahtumat. ADH on entsyyminä katalyytin roolissa, aivan kuten kuparilanka suoritetussa kokeellisessa työssä. Ensimmäisen ryhmän kanssa opettajan johdolla pohdittiin hapen roolia reaktiossa ja siitä saattoi jäädä epäselvyyksiä katalyytin roolista kyseisessä hapettumisreaktiossa. Epäselväksi jää, miksi osa ensimmäisessä ryhmässä otti mukaan hopeaionit, vaikka niitä lisättiin liuokseen vasta seuraavassa reaktion vaiheessa.

Taulukko 13. Mikä aine tekemissäsi reaktioissa vastaa ADH-entsyymiä?

	happi	**Cu**	**Ag+**	**etanoli**	**Väärä liuoksessa esiintynyt yhdiste**	**Väärä liuokseen kuulumaton yhdiste**
Ryhmä 1	**7**	**1**	4	0	0	11
Ryhmä 2	**0**	**2**	0	4	4	0
Kaikki	**7**	**3**	4	4	4	11

Viimeisenä avokysymyksenä opiskelijat saivat kertoa miksi hopeapeili muodostui osassa reaktioista. Yhteensä 13 vastaajaa antoi selityksen kysymykseen ja selityksistä vain kaksi oli selkeästi virheellisiä. Selitysten tarkkuus vaihteli ja eri tyyppiset vastaukset on tiivistetty alle vastaajamäärien kera.

Miksi hopeapeili muodostui?

1. Hopea pelkistyy ja muodostaa peilipinnan. Aldehydi hapettuu / toimii pelkistimenä. (3 vastaajaa)
2. Hopea pelkistyy ja muodostaa peilipinnan. (3 vastaajaa)
3. Hopea pelkistyy (3 vastaajaa)
4. Reaktion tuloksena (2 vastaajaa)
5. Väärä vastaus (2 vastaajaa)
6. Tyhjää (7 vastaajaa)

Vastanneista 69% ymmärsi siis hopeaionien pelkistyvän työssä. Osuus kaikista työtä tehneistä jää kuitenkin pienemmäksi, sillä seitsemän jätti kysymyksen kokonaan tyhjäksi. Kaikkiin testaajiin suhteutettuna 45% osasi selittää hopeaionien pelkistyvän, 10% antoi erittäin epämääräisen vastauksen, 10% antoi väärän vastauksen ja 35% jätti vastaamatta kysymykseen. Tämän vuoksi työn ymmärrystä ryhmätasolla on vaikea arvioida. Tulosten luotettavuutta voisi parantaa suuremmalla otannalla, esimerkiksi testaamalla useammalla ryhmällä. Myös haastattelututkimus voisi olla mielekäs tapa selvittää, miten opiskelijat ymmärtävät työn kemiaa.

6.1.3 Opettajan palaute ja ohjaajan omia havaintoja

Työn aikataulutuksen suhteen on tärkeää miettiä etukäteen ajankäyttöä. Testikierroksella ei käyty juuri ollenkaan teoriaa, jolloin aika kului työn toteutukseen. Opiskelijat selvittivät myös itse vaihtoehtoina annetuista aineista, mitkä ovat aldehydejä ja tähän heillä kului aikaa. Tiedon haku kannattaa antaa yhdeksi työn tavoitteista, sillä työssä sovelletaan aineita, joiden kemiallista rakennetta opiskelijat eivät todennäköisesti ole pohtineet aiemmin.

Ensimmäiselle ryhmälle annettiin tuloste työohjeesta ja annettiin aloittaa työnteko. Heiltä kului työn toteutukseen noin 90 minuuttia. Toisen ryhmän kanssa käytiin tarkemmin läpi kirjallisessa ohjeessa annetut työvaiheet ja selvennettiin, mitä varten vertailunäytteet valitaan. Toisen ryhmän työskentelyyn meni noin 65 minuuttia. Ensimmäisen ryhmän aikaa tosin kului myös ohjaajan sähläykseen, sillä osaan hopeanitraattiastioista oli täytetty väärää reagenssia, jolloin peilinmuodostus ei onnistunut.

Vierailevan opettajan kanssa keskustellessa päädyttiin siihen, että hieman pidempi aika olisi ollut hyödyksi, jotta teoriaa ehditään kertaamaan ennen työn aloitusta. Myös muutama opiskelija mainitsi suullisesti toivoneensa hieman enemmän teoriaa ja kertausta ennen käytännön työskentelyn aloittamista. Vierailevan ryhmän opettaja antoi myös palautetta kirjallisesti työohjeen tulosteeseen. Opettaja toivoi aineiden pitoisuuksia mukaan listaukseen ja ehdotti konkreettisia sanavalintoja työn toteutuksen kuvaukseen, jotta ohjeesta tulisi selkeämpi

6.2 Kasvien väriaineiden uutto

Työssä opiskelijoiden annettiin ohjatun tutkimuksen muodossa selvittää kasvien väriaineiden liukoisuutta poolisiin ja poolittomiin liuottimiin. Työohjetta testattiin kahdessa Kemianluokka Gadolinissa vierailleessa ryhmässä peräkkäisinä päivinä, joten vierailujen välillä ei ollut mahdollisuutta tehdä suuria muutoksia koejärjestelyyn.

Testiryhmä 1 koostui suomenkielisen lukion Ke 1 -kurssilaisista (N=16), jotka olivat ilmoittautuneet vapaaehtoisiksi lähtemään vierailulle osana kurssisuoritustaan. Ryhmän opetuksessa ei poolisuutta tai liukoisuutta oltu käsitelty vielä ollenkaan, vaan ohjaus toimi johdantona uuteen aihepiiriin kurssilla. Testiryhmä 2 puolestaan koostui ruotsinkielisistä lukion Ke 1-kurssilaisista (N=24), joille vierailu oli osa koko kurssin opetusta. Ruotsinkieliset olivat ehtineet käsittelemään poolisuutta ja liukoisuutta vierailua edeltävällä tunnilla, joten kokeellisen työn tehtävä oli havainnollistaa ja syventävää aiemmin opittua.

6.2.1 Koejärjestelyn kuvaus

Työ toteutettiin ohjattuna tutkimuksena, missä opiskelijoille annettiin työvälineet ja tutkimuskysymys. Ennen työn aloitusta käytiin powerpoint-esitelmän avulla teoriaa poolisuudesta ja liukoisuudesta, jotta perusteet tutkimuksen tekemiselle olisivat mielessä työn alkaessa. Opiskelijoille näytettiin myös Coloradon yliopiston PHET-simulaatiota poolisuudesta havainnollistamaan käytyä teoriaa. Opiskelijat eivät kuitenkaan itse käyttäneet simulaatiota, vaan se annettiin vinkkinä ja näytettiin havainnollistavassa merkityksessä.

Työpareittain opiskelijat tutkivat, minkätyyppisiin liuottimiin yksittäisestä kasvista/marjasta sai uutettua väriä. Koko opiskelijaryhmän tavoitteena oli selvittää, onko kasvien väriaineiden liukoisuudessa jotain säännönmukaisuutta. Työn päätteeksi jokainen työpari esitteli uuttamansa värit muulle ryhmälle ja tulokset koottiin, jotta yhteiseen kysymykseen värien liukoisuuden säännönmukaisuudesta saataisiin vastaus.

Käytännössä opiskelijapareille annettiin pesuvadillinen työvälineitä (keitinlaseja, huhmare, suppilo, lusikoita jne) sekä erotussuppilo statiivissa. Tutkittavat kasvit arvottiin, jolloin korkeintaan kahdella työparilla oli sama kasvis tai marja tutkittavana ja monet tutkivat ainoana omaansa. Ensiksi opiskelijat ohjattiin valitsemaan kaksi mielekästä liuotinta pöydällä tarjolla olevista ja samalla tarjottiin päättelyn tueksi kuvaa joistakin liuottimien sisältämien aineiden rakennekaavoista.. Tämän jälkeen opiskelijat saivat hyödyntää pesuvadissa olevia välineitä ja kaikkea aiemmin oppimaansa saadakseen värit kasveista johonkin liuottimeen.

Testiryhminä oli kaksi Ke 1. Erotusmenetelmiä käsitellään aiemmin samalla kurssilla, joten työmenetelmät olivat ainakin teorian tasolla tuttuja osallistujille jo työn alussa. Tarvittaessa opiskelijat saivat lisää opastusta Gadolinin ohjaajalta tai oman ryhmänsä kemian opettajalta. Testausten perusteella paranneltu työohje löytyy liitteenä 4.

6.2.2 Kyselyn tulokset ja pohdintaa

Työn suoritettuaan opiskelijat saivat vastata paperiseen kyselylomakkeeseen ennenkuin lähtivät Kemianluokka Gadolinista. Suomenkielinen ryhmä sai kysymykset suomeksi ja ruotsinkielinen ruotsiksi, jotta mahdollisimman monella vastaajalla olisi mahdollisuus vastata äidinkielellään. Kyselyssä oli sekä monivalintoja että avoimia kysymyksiä ja lomake vastasi kysymysten asettelulta aika paljon lomaketta, jota käytettiin edeltävässä etanolin hapettumisen työssä.

Valtaosa vastaajista oli lukio-opintojen alkupuolella ja ilmoitti iäkseen 16-vuotta. Kaikki ilmoittavat suorittaneensa 0-1 kurssia kemiaa. Kysymyksen asettelu on saattanut hämmentää ja osa on saattanut ilmoittaa suorittaneensa meneillään olleen Ke 1-kurssin. Opettajien kanssa keskustellessa kävi joka tapauksessa ilmi, että testiryhmän opiskelijat ovat lukion kemian opintojen alkupäässä. Kaikista vastaajista 47,5% ilmoittaa olevansa naisia, 37,5% miehiä ja 15% (6 henkilöä) on vastannut muun sukupuolen tai tyhjää. Tuloksia esitetään sukupuolijakauman tai ryhmäjakauman mukaan, mikäli vastaukset eroavat keskiarvosta.

Työohjeen mielekkyyttä arvioitiin väittämäsarjan avulla, missä opiskelijat saivat arvioida väittämiä skaalalla 1-5, missä 1 = täysin samaa mieltä ja 5 = täysin eri mieltä. Vastausten keskiarvot on esitetty taulukossa 14. Taulukossa erotellaan testiryhmät ja vastaajien sukupuoli.

Taulukko 14. Opiskelijoiden mielipiteet kokeellisesta työstä, arvioituna numeroin 1-5.
Kun 1= täysin samaa mieltä ja 5 = täysin eri mieltä.

	Työ liittyi aiemmin oppimaani	**Työ sopi hyvin kurssille, jota käyn nyt**	**Työ liittyi selkeästi arkipäivän ilmiöön**	**Sain tarpeeksi selkeät ohjeet**	**Sain tutkia jotain mielenkiintoista**	**Opin jotain uutta kemiasta**	**Opin jotain uutta tutkimisesta**
Ryhmä 1 (N = 16)	3,25	3,16	3,25	3,13	3,07	3,19	3,50
Ryhmä 2 (N = 24)	1,83	1,88	2,88	2,42	2,33	2,54	2,63
Naiset (N = 19)	2,00	2,03	2,89	2,79	2,26	2,68	2,84
Miehet (N = 15)	2,53	2,33	3,27	2,40	2,93	2,87	3,00
Kaikki vastaajat (N = 40)	2,40	2,39	3,03	2,70	2,63	2,80	2,98

Ryhmä 1 ei käsitellyt poolisuutta ja liukoisuutta ennen vierailua, vaan aihe tuli heille aivan uutena ohjauksen alussa. Työn päätteeksi kyselyn perusteella heistä neljä oli täysin samaa tai jokseenkin samaa mieltä siitä, että työ liittyi aiemmin opittuun. Kahdeksan ryhmän 1 vastaajista puolestaan oli jokseenkin tai täysin eri mieltä väittämästä. Ryhmä 2 oli opettajan kertoman perusteella käsitellyt poolisuutta ja liukoisuutta vierailua edeltävällä tunnilla. Niinpä toisen ryhmän osalta ei ole yllättävää, että suurempi osa oli samaa tai jokseenkin samaa mieltä siitä, että työ liittyi aiemmin opittuun, jopa 19 vastaajista, eli 79%. Vain kolme tässä ryhmässä oli eri mieltä väitteestä.

Väittämään ”Työ sopi hyvin kurssille, jota käyn nyt” oli vastauksissa eroa niin ryhmien kuin sukupuolenkin välillä. Myös tässä väittämässä todennäköisesti vaikuttaa se, että teema oli ennalta tuttu vain toiselle ryhmälle. Ensimmäisessä ryhmässä useampi oli väittämän kanssa eri mieltä kuin samaa mieltä. 9 vastaajaa (56%) oli jokseenkin tai täysin eri mieltä. Vain kuusi oli täysin tai jokseenkin samaa mieltä väittämän kanssa. Ryhmän 2 osalta enemmistö, eli 14 vastaajaa (58%), oli

täysin samaa mieltä väittämän kanssa ja täysin tai jokseenkin samaa mieltä oli 17 vastaajaa (71%). Ainoastaan neljä (17%) oli jokseenkin eri mieltä, eikä kukaan ollut täysin eri mieltä. Tämäkin on ymmärrettävää ottaen huomioon, että toinen ryhmä oli käsitellyt teoriaa aiemmin samalla viikolla.

Väitteeseen ”Työ liittyi selkeästi arkipäivän ilmiöön” ovat monet vastanneet neutraalisti (18 vastaajaa, eli 45%). Ryhmän 1 vastauksista löytyy enemmän eri mieltä olevia kuin samaa mieltä olevia ja ryhmän 2 vastauksista päinvastoin. Miehet ovat olleet useammin eri mieltä kuin naiset. Miehiä oli ryhmässä 1 vain neljä, joten tätä eroa ei voi selittää myöskään ryhmien välisellä erolla.

Väittämään “Sain tarpeeksi selkeät ohjeet” suuri osa (18 eli 45%) on vastannut olevansa samaa tai lähes samaa mieltä. Eri mieltä on ollut 12 vastaajaa (30%). Ryhmässä 1 on jälleen vastattu useammin eri mieltä kuin samaa mieltä. Miehet ovat naisia useammin olleet tämän väittämän kanssa samaa mieltä, mikä saattaa olla kytköksissä myös opetusryhmään, sillä 73% on ollut ryhmässä 2 ja perehtynyt teoriaan jo aiemmin viikolla.

48% vastaajista (19 henkilöä) oli samaa mieltä siitä, että saivat tutkia jotain mielenkiintoista. Yhdeksän vastaajaa (23%) oli kuitenkin eri mieltä väittämän kanssa. Sukupuolesta ja testiryhmästä riippumatta useampi oli väittämän kanssa samaa kuin eri mieltä.

Väitteeseen “Opin jotain uutta kemiasta” jakautuivat ensimmäisen ryhmän mielipiteet aika tasan samaa ja eri mieltä olevien osalta. Ryhmästä 2, joka oli jo käsitellyt teemaa teoriatasolla ennen kokeellista työtä, puolestaan valtaosa (13, eli 52%) oli samaa tai jokseenkin samaa mieltä tästä väitteestä ja vain neljä (17%) oli täysin eri mieltä. Lähes puolet kaikista vastaajista oli samaa tai jokseenkin samaa mieltä.

Ryhmässä 1 oli väitteen ”Opin jotain uutta tutkimisesta” osalta useampi vastaaja eri mieltä kuin samaa mieltä väitteen kanssa. Ryhmässä 2 puolestaan useampi oli samaa mieltä kuin eri mieltä, jolloin kaikkien vastaajien osalta luvut jakautuvat aika tasaisesti samaa ja eri mieltä olevien osalta. Väitteiden arvioissa ei ole selkeää eroa sukupuolien välillä. Ryhmien väliset erot ovat sen sijaan selkeät. Samaa tai jokseenkin samaa mieltä väittämän kanssa oli ryhmässä 1 vain neljä vastaajaa (25%) , kun ryhmässä 2 samaa mieltä oli 10 vastaajaa (42%). Jokseenkin tai täysin eri mieltä oli ryhmässä 1 yhdeksän vastaajaa (56%) ja ryhmässä 2 kolme vastaajaa. (13%)

Ensimmäinen testiryhmä on ylipäätään arvioinut työtä negatiivisemmin ja ollut väittämien kanssa herkemmin eri mieltä. Tämä on hyvä muistutus siitä, että kokeellinen työhön on tärkeää valmistautua etukäteen. Miesten ja naisten välisiä eroja on vaikea selittää, vaikka ne näkyvätkin selkeinä. Miesten keskiarvo on korkeampi kuin naisilla jokaisessa taulukossa 14 esitetyssä väittämässä. Tämä siitä huolimatta, että miehistä valtaosa oli ryhmässä 2.

Avokysymykseen työn parhaista puolista vastauksista saatiin aineistolähtöisen sisällön analyysin avulla eroteltua viiteen tyypillisimpään vastaukseen: Työn tekeminen, lopputulos, värit, vapaus valita, kivaa ja muut. Osa vastaajista mainitsi näistä useamman, jolloin heidät on laksettu molempiin vastauksiin. Yhteensä kahdeksan jätti avokysymyksen vastauksen tyhjäksi. Tulosten jakautuminen esitetään taulukossa 15. Ryhmässä 1 arvostettiin eniten työn tekemistä (60%) sekä lopputulosta (27%). Ryhmässä 2 eniten arvostettiin lopputulosta (29%) ja värejä (18%) ja vapautta tehdä valintoja työn toteutuksen suhteen (18%).

Taulukko 15. Mikä työssä oli parasta?

	Työn tekeminen	**Lopputulos**	**Värit**	**Vapaus valita**	**Kivaa**	**Muut**
Ryhmä 1 (N = 15)	9	4	1	1	1	1
Ryhmä 2 (N = 21)	2	5	3	3	1	6
Kaikki (N = 36)	11 (31%)	9 (25%)	4 (11%)	4 (11%)	2 (6%)	7 (19%)

Muut-kategoriaan jäivät esimerkiksi yksittäisinä vastauksina tutkiminen ja vierailukäynti yliopiston laboratorioon. Myös epämääräisemmät, kuten kaverin tiskaamisen seuraaminen on laitettu kategoriaan Muut.

Kun vastaajilta pyydettiin ehdotuksia, mitä pitäisi muutta seuraavaa kertaa varten, jakautuivat tulokset pääosin kahteen ryhmään: Selkeämmät ohjeet (10) tai Ei mitään (8). Selkeämpiä ohjeita toivoneista kaksi kertoi tarkemmin, mitä pitäisi selkeyttää. Esim. ”Kertoa, että kuinka mansikan saa suodatettua.” Avokysymyksenä selvitettiin myös, mitä opiskelijoiden mielestä tulisi muuttaa seuraavaa kertaa varten. Vastaukset on tiivistetty taulukkoon 16.

Taulukko 16. Mitä pitäisi muuttaa seuraavaa kertaa varten?

	Selkeämmät ohjeet	**Ei mitään**	**Lisää aikaa**	**Lisää valinnan-vapautta**	**Muut**
Ryhmä 1 (N = 10)	4	5	0	0	1
Ryhmä 2 (N = 18)	6	3	2	2	5
Kaikki (N = 28)	10 (36%)	8 (29%)	2 (7%)	2 (7%)	6 (21%)

Ryhmän 1 vastaajat ovat vastannut muutenkin yleisimpiin kyselyn kategorioihin: Selkeämmät ohjeet tai Ei mitään. Ryhmässä 2 vastattiin monipuolisemmin ja toivottiin myös lisää aikaa työn tekemiselle (2 vastaajaa) ja lisää valinnanvapautta työn suoritukseen (2 vastaajaa). Valinnanvapautta pyytäneet ovat toivoneet lisää tutkittavia vihanneksia ja ovat esittäneet haluavansa valita tutkittavan kasvin itse. Työtä testatessa ohjaaja arpoi jokaiselle työparille kasviksen, marjan tai mausteen. Naisista seitsemän on ehdottanut selkeämpiä ohjeita, kun taas miehistä vain yksi. Muissa kehitysehdotuksissa sukupuolieroa ei näy.

Työn teorian osaamista kartoitettiin yhdellä monivalintakysymyksellä ja yhdellä avokysymyksellä. Monivalintakysymyksessä vastaajien tuli ympyröidä pooliset liuottimet annetuista (vaihtoehtoina vesi, etanoli ja ruokaöljy). Molemmista ryhmistä suurin osa osasi ympyröidä vaihtoehdoista ruokaöljyn. Myös ryhmässä 1 (N = 16) 63% vastaajista osasi valita oikean vaihtoehdon, vaikkei ollut käsitellyt poolisuutta ennen kuin tulivat Gadoliniin tekemään kokeellisen työn. Ryhmässä 2 (N = 24) oikein vastanneiden osuus on 88%. Kaikista vastaajista 78% osasi ympyröidä oikean aineen.

Väärin vastasi yhteensä 9 henkilöä. Heistä 8 oli valinnut etanolin. Etanolin lisäksi kolme oli valinnut veden, minkä voisi toivoa johtuvan käsitteiden poolinen ja pooliton sekoittamisesta. Kyselyssä ei kuitenkaan pyydetty perustelemaan, joten emme tiedä onko kyseessä vain käsitteiden vaihtuminen vai suurempi virhekäsitys. Yksi vastaaja ympyröi veden ja ruokaöljyn, mikä viittaisi siihen, ettei aihetta ole juurikaan ymmärtänyt.

Avokysymyksellä haettiin eroa poolisen ja poolittoman molekyylin välille. Suomenkieliseltä ryhmältä kysyttiin ”Miksi osa väriaineista ei liuennut **pooliseen** liuottimeen, vaikka liukenivat poolittomaan?” Ruotsinkielisessä palautelomakkeessa kysymys oli käännösvaiheessa mennyt ristiin niin, että poolinen ja pooliton vaihtoivat paikkaa. Heiltä kysyttiin ”Varför löste sig en del färgämnen inte i det **opolära** lösningsmedlet även om de löste sig i det polära?” Ryhmä 2 oli ruotsinkielinen ja näistä kahdesta ryhmästä se paremmin aiheeseen tutustunut. Lisäksi ruotsinkielinen versio kysymyksestä tukee paremmin havaintoja kokeellisesta työstä, missä uutettiin useampaa eri väriä pelkkään pooliseen liuottimeen. Siksi on hieman epäselvää, vaikuttiko kysymyksen asettelu myös tuloksiin.

Taulukkoon 17 on koottu kaikkien vastaajien vastausten perusteella pääasialliset vastauskategoriat ja eroteltu, kuinka moni kummastakin ryhmästä vastasi mitäkin. Seitsemän lomakkeen palauttanutta vastaajaa jätti vastaamatta kysymykseen, mikä kaikista kokeellista työtä tehneistä on 18%. Aineen poolisuuden tai poolittomuuden selittäneiden osalta vastaukset on yhdistetty yhdeksi kategoriaksi, vaikka kysymykset kysyttiin ristiin liuottimien suhteen. Vastauksessa käytetty käsite viittaa kuitenkin siihen, että on ymmärtänyt asian tarpeeksi hyvin käyttääkseen sitä vapaasti muotoilemassaan lauseessa.

Taulukko 17. Opiskelijat selittivät väriaineiden liukoisuutta seuraavien asioiden kautta.

	Lika löser lika	**Väriaine oli poolinen / pooliton**	**Liuotin hylkii väriainetta**	**Ei tiedä**	**Epäselvät muotoilut**
Ryhmä 1 (N = 11)	0	1 (9%)	2 (18%)	8 (73%)	0
Ryhmä 2 (N = 21)	11 (52%)	8 (38%)	0	3 (14%)	2 (10%)
Kaikki (N = 32)	11 (34%)	9 (28%)	2 (6%)	11 (34%)	2 (6%)

Ryhmässä 2 monet selittivät lyhyesti ja ytimekkäästi ”Lika löser lika”. Tätä fraasia opettaja selkeästi käytti aiemmin viikolla opettaessaan teoriaa poolisuudesta ja liukoisuudesta. Hän myös

toisti samaa fraasia opiskelijoilleen työn lomassa keskustellessaan opiskelijoidensa kanssa. 11 opiskelijaa vastasi tällä fraasilla, mutta vain neljä heistä selitti asiaa tarkemmin. Osa saattoi vain toistaa ulkoa oppimaansa fraasia, vaikka tietenkin optimistisesti voisi ajatella heidän sisäistäneen sen merkityksenkin. Epäselviksi muotoiluiksi jaoteltiin kaksi vastausta, joiden punaista lankaa ei hahmota.

Ensimmäinen ryhmä käsitteli aihetta aivan uutena ja suoraan soveltaen kokeellisuuteen. Heistä 73% ilmoittaa suoraan, ettei tiedä miksi väriaineet liukenivat pooliseen tai poolittomaan liuottimeen. Ryhmässä 2 vain 14% vastasi samoin. Teorian pohjustus tällä työllä ei ehkä onnistu erityisen hyvin. Ainakin testiryhmässä valitettavan monille poolisuus oli kokeellisen työn jälkeen edelleen epäselvää.

6.2.3 Opettajan palaute ja ohjaajan omia havaintoja

Kummankaan ryhmän opettajalta ei saatu kirjallista palautetta tai kirjallisesti vinkkejä. Ohjaajan havaintojen ja opettajan kanssa käymien (nauhoittamattomien) keskusteluiden pohjalta pystyy päättelemään jotakin. Ensimmäisen ryhmän opettaja kertoi, etteivät olleet millään tavoin käsitelleet poolisuutta tai liukoisuutta ennen vierailua. Toisen ryhmän opettaja puolestaan oli suunnitellut kurssin ohjelmaan teorian käsittelyn vierailua edeltävälle tunnille ja oli käsitellyt aihetta ryhmänsä kanssa samalla viikolla ennen vierailulle lähtöä.

Työn vapaus hämmensi osaa opiskelijoista ja he tarvitsivat enemmän tukea ja kannustusta opettajalta ja Kemianluokka Gadolinin ohjaajalta. Toiset puolestaan tekivät ensin ja miettivät sitten, joiden kohdalla olisi ollut hyvä pyytää suunnitelmien selittämistä ennen kuin työnteon sai aloittaa.

Opiskelijaryhmät jättivät liuoksensa erotussuppiloihin ohjaajan eroteltavaksi ja siivottavaksi, jotta poolittomia liuottimia ei päädy viemääriin. Siivotessa huomasi, etteivät kaikki ryhmät suodattaneet uutettaan ennen erotussuppiloa ja useamman erotussuppilon hanan joutui purkamaan osiin puhdistuksen yhteydessä. Pooliton faasi ei ole myrkyllinen, joten sen voi kerätä sekajätteeseen

esimerkiksi pienessä pullossa. Rauhallinen ryhmä varmasti pystyisi hoitamaan jätteen käsittelyn itsekin, mutta testatessa täysin tuntemattomien opiskelijoiden kanssa kanssa Kemianluokka Gadoliinissa, ei jätteenkäsittelyä annettu opiskelijoiden vastuulle.

Ryhmä 1 käytti Kemianluokka Gadolinissa vierailuun kokonaisuudessa noin 90 minuuttia ja ryhmä 2 noin 75 min. Jätteenkäsittelyn ja erotussuppilon tiskauksen kanssa työ pitenee arviolta 10 min. Tähän tosin on laskettu mukaan työn pohjustavan teorian käsittely, josta voi tiivistää tutun ryhmän kanssa osan. Käsittelemällä teoriaa edeltävällä tunnilla enemmän, saisi työn todennäköisesti sovitettua 75 min mittaiselle oppitunnille.

7. Kehittämistuotos 2: Työohjeiden kehitetyt versiot

Alkuperäiset oppilastyöt kuvaillaan pääpiirteittäin luvussa 5. Testiryhmien opiskelijakyselyt sekä vieraillevien ryhmien opettajien palaute on esitetty luvussa 6. Palautteen pohjalta työohjeita paranneltiin, jotta niistä saataisiin paremmin toimivat.

Työohjeita arvioitiin seuraavien kysymysten avulla:

1. Onko opiskelijoilta tai opettajilta konkreettisia parannusehdotuksia? Ovatko ehdotukset toteutettavissa?
2. Onko palautteessa noussut selkeästi epäselvyyttä teorian suhteen?
3. Mitä kysymyksiä teoriasta ja työn toteutuksesta voisi esittää ennen työn tekoa ja sen jälkeen?

Lisäksi töitä tehdessä on koottu materiaalia opettajan ohjeeseen, jotta työn toteutuksesta tulisi helpompaa. Opettajan ohjeeseen annettu arvio työn kestosta on muodostettu testiryhmien käyttämästä ajasta.

7.1. Etanolin hapettuminen

Muutama työtä testannut opiskelija toivoi tarkempaa kertausta työn teoriasta. Lisäksi monille jäi epäselväksi työn jälkeen kysytty kysymys vertailusta kuparilangan entsyymiin ADH välillä, todennäköisesti katalyytin käsitteen vertailussa. Näitä selkeyttämään luotiin lisää kysymyksiä esitettäväksi ennen työn suoritusta ja työn jälkeen kokoamaan teoriaa. Katalyytin kertaus ja vertailunäytteiden käyttö lisättiin kysymyksinä pohjustamaan työtä, jotta niiden ymmärtäminen paranisi ja työstä tulisi helpommin hahmotettava kokonaisuus.

Vertailunäytteiden käyttöä selventämään muokattiin myös muita osia ohjeesta. Tarvittavien aineiden vieressä olevan vertailunäytteitä koskevan laatikon otsikointia muutettiin niin, että siinä esiintyy sanana "vertailunäyte" korostamassa, mitä siitä ollaan valitsemassa. Työn toteutuksessa muokattiin asetelmaa vertailunäytteiden. Ensimmäisessä versiossa kehotettiin valitsemaan aldehydi ja sen

lisäksi jokin näyte, missä ei ole aldehydiä. Päivitetyssä kehotetaan valitsemaan aldehydi ja karboksyylihappo ja miettimään, tarvitseeko jonkin vertailunäytteen lisää.

Opiskelijoilta ja opettajalta tullut palaute työn toteutuksen selkeyttämiseksi on huomioitu. Varsinkin koeputkien määrä Tollensin reagenssia valmistaessa hämmensi ja siihen on muotoiltu tarkempi sanamuoto, jotta työtä tekevät ymmärtäisivät valmistaa yhden koeputken jokaista tutkittavaa näytettä ja vertailunäytettä varten. Työn toteutuksen kolme vaihetta numeroitiin myös uudelleen vastaamaan paremmin etanolin hapettumisen kahta reaktiovaihetta. Aiempi numerointi korvattiin vaiheilla 1, 2a ja 2b, missä vaihe 2a ohjeistaa Tollensin reagenssin valmistuksen ja 2b reagenssin käytön.

Lisäksi työohjeeseen tehtiin pienempiä muutoksia, kuten järjesteltiin uudelleen aineiden ja välineiden listoja ja korjattiin vierailevan opettajan löytämiä outoja sanavalintoja. Työn jälkeen pohdittavat kysymykset järjestelty uudelleen ja opettajan kommenttien perusteella muotoiltiin kieliasultaan paremmaksi. Etanolin hapettumista koskevassa kysymyksessä muotoilua muutettiin epätarkemmaksi. Ensimmäisessä versiossa kysyttiin, onnistuuko hapettaminen aldehydiksi. Päivitetyssä versiossa kysytään vain onnistuuko hapettaminen, jolloin vastauksesta keskusteltaessa voidaan käydä läpi myös mahdollisuus suoraan hapoksi hapettumisesta.

Koko työn otsikko lyhennettiin etanolin hapettumiseksi ja uutta otsikkoa on tässä tutkielmassa käytetty koko prosessin kuvailuun, jotta tutkielman teksti olisi yhdenmukainen. Muokattu työohje on liitteenä 2. Ja opettajan ohje liitteenä 3.

Opettajan ohjeeseen on vierailevan opettajan toiveesta lisätty aineiden pitoisuuksista kommenttia. Aineiden pitoisuudet eivät ole niin tarkkoja, vaan niistä ohjeistetaan käytännössä sakan muodostumisen ja liukenemisen seuraamista. Työn toteutuksen osalta kuvaillaan muutamia helposti ongelmia aiheuttavia tilanteita ja annetaan aika-arvio sekä suositukset kurssista ja kontekstista, joihin työ soveltuu. Myös työohjeessa olevien kysymysten vastaukset kirjoitetaan opettajan ohjeeseen helpottamaan opettajan työtä.

7.2 Kasvien väriaineiden uutto

Testien jälkeen työohjeeseen on lisätty ohjeita ja kysymyksiä sen perusteella, mitä testiryhmien esityskalvoilla käytiin läpi ennen työtä ja sen jälkeen. Työssä käytettävien liuottimien rakennekaavoja lisättiin opettajan ohjeeseen ja samaa kuvaa käytettiin myös testiryhmien kanssa esityskalvoilla. Työn alkuun lisättiin "Pohdittavaksi ennen työtä" tehtäväksi selvittää opettajan tarjoamien liuottimien rakennekaavat ja erottelemaan pooliset ja poolittomat molekyylit toisistaan. Tämän teimme käytännössä esityskalvoja hyödyntäen testiryhmien kanssa ennen kuin opiskelijat valitsivat liuotinta. Mikäli opettaja ei anna mallina rakennekaavoja, on opiskelijoiden hyvä selvittää ne itse ennen työn alkua, jotta poolisen ja poolittoman liuottimen valinta helpottuu.

Osa tarjotuista liuottimista on monen aineen seos, jolloin niiden rakennekaavojen selvittäminen voi olla työlästä ja aikaa vievää. Niinpä listalle valittavista liuottimista lisättiin joidenkin monimutkaisempien aineiden kohdalle niiden komponentti. Komponentti on yksi yleisemmistä aineen osista ainakin Wikipedian mukaan. Opiskelijoiden voi toki antaa selvittää nämä itsekin.

Työn toteutuksen kohdalle lisättiin muistutus siitä, ettei erotussuppiloon saa laittaa kiinteitä aineita. Tämä oli useamman työparin vahinko ja ohjaajalta upposi aikaa suppiloiden tiskaukseen ja hanojen puhdistukseen. Työohjeeseen lisättiin tilaa työn suunnitelman kirjaamiselle samoin kuin työn toteutuksen aikaisille muistiinpanoille. Myös työohjeen lopussa olevia kysymyksiä päivitettiin ja annettiin ohjeeksi koota työn tuloksia taulukoksi, jonka pohjalta voisi vastata osaan kysymyksistä.

Opettajan ohjeeseen kirjattiin vinkki siitä, että jokainen työpari voi tutkia yhden kasvin. Kannattaa ohjeistaa säästämään liuokset, jotta ne voi esitellä muille kurssilaisille ja koota niistä yhteiset tulokset. Tai aikapulan kohdalla opettaja voi esimerkiksi valokuvata työparien tulokset ja kuvien perusteella voidaan koostaa koko ryhmän tulokset seuraavan tunnin alussa. Lisäksi ohjeeseen lisättiin vinkkejä liuottimien tiheyksistä, sillä paraffiiniöljy osoittautui tiheämmäksi aineeksi kuin etanoli. Opettajan ohje sisältää toki myös mallivastaukset opiskelijan ohjeessa esitettyihin kysymyksiin.

Muokattu suomenkielinen työohje on liitteenä 4 ja opettajan ohje liitteenä 5.

8. Johtopäätökset ja pohdinta

Tätä kehittämistutkimusta ohjaamaan asetettiin alunperin kolme tutkimuskysymystä: 1. Millaisia hyötyjä ja haasteita lukion kemian opettajien mielestä liittyy tutkimukselliseen kokeelliseen työskentelyyn? 2. Mihin teemoihin opettajat toivovat lisää tutkimuksellisia työohjeita? sekä 3. Millaiset kokeelliset työt tukevat tutkimuksellista työskentelyä? Tässä kappaleessa käydään lyhyesti läpi tutkielman vastaukset näihin kysymyksiin ja esitetään niihin liittyen johtopäätöksiä ja pohdintaa.

Opettajille keväällä 2016 tehty kyselytutkimus keräsi aineistoa muun muassa kysymyksien 1 ja 2 aihepiireihin liittyen. Vastaajina oli yhteensä 63 lukion kemian opettajaa, jolloin korkeintaan 16% kaikista suomen lukioista saattoi olla edustettuina. Ruotsinkielisten lukioiden osalta jopa 39% saattoi olla edustettuina. Luku on epätarkka, sillä kyselyssä ei selvitetty vastaajien koulua tai kemian opettajakollegoiden määrää koulussa, jolloin arviota varten on ollut pakko olettaa vastaajien olleen ainoana koulustaan kyselyyn vastanneena. Kyselyn aineisto on laajaa ja vain osaa siitä on käsitelty tässä tutkielmassa.

Kyselyn tuloksista hyödynnettiin kokonaisuuden luomiseksi tietoja kokeellisuuden ja tutkimuksellisuuden käytöstä sekä opettajien mielipiteistä ja toiveista työohjeiden suhteen. Opettajien mielipiteet tutkimuksellisuudesta ovat jokseenkin samassa linjassa aiemman kokeellisuutta ja tutkimuksellisuutta käsittelevien tutkimusten kanssa (esim. Aksela & Karjalainen, 2008; Tomperi 2015). Kyselyn tuloksissa näkyy myös selkeästi kokeellisuutta ja tutkimuksellisuutta tyypillisesti rajaavat tekijät, kuten ajanpuute ja suuret ryhmäkoot.

Opettajat pitävät opiskelijoiden ajattelutaitojen riittämättömyyttä rajoitteena tutkimuksellisuuden toteuttamiselle, mutta vastaavaa ei näy suomalaista kemian opetuksen kokeellisuutta kartoittavassa tutkimuksessa (Aksela & Karjalainen, 2008). Mikäli opettajat eivät usko opiskelijoidensa selviävän tutkimuksellisuuden vaatimasta ajattelusta, he eivät todennäköisesti lähde tekemään tutkimuksellista kokeellista työtä. Tämä on erittäin mielenkiintoinen tutkimustulos ja samalla tärkeä tulos, johon voisi kehittää tukea lukion opettajille. Tomperi (2015) tutki opettajien tukemista tutkimuksellisuuden osalta väitöskirjassaan ja loi pohjan opettajien koulutukselle, mutta työtä kannattaisi jatkaa ja seurata, jotta nähdään muuttuvatko opettajien asenteet jatkokoulutuksen myötä.

Toisen tutkimuskysymyksen osalta kartoitettiin opettajien toiveita tutkimuksellisten oppilastöiden kehittämiseksi. Tuloksena saatiin aika laajaa hajontaa toiveiden suhteen ja opettajien vastaukset pystyi jakamaa 19 eri kategoriaan. Yleisimmät kaksi toivetta olivat orgaaniset reaktiot sekä aineiden ominaisuudet. Kemian teemoja toivottiin kaikista lukion kursseista. Erilaisten kemian teemojen lisäksi toiveet lyhyistä töistä isoille oppilasryhmille sekä arkeen kytkeytyvistä töistä olivat aika yleisiä. Useat opettajat listasivat monia toiveita, mikä viittaisi kiinnostukseen uusia työohjeita kohtaan. Myös opettajien nopean reagoinnin, kun vastausaikaa annettiin lukuvuoden loppumetreillä toukokuussa vain kaksi viikkoa, voisi toivoa johtuvan kiinnostuksesta uusiin työohjeisiin. Kysely ei kuitenkaan erityisesti mitannut opettajien kiinnostusta, joten tätä on vaikea arvioida.

Kehittämistutkimuksen pohjana käytettiin opettajien toiveita, opettajien kokemia hyötyjä ja haasteita sekä Kemianluokka Gadolinin linjauksia. Kehittämissyklin osana työt testattiin lukioryhmien kanssa Kemianluokka Gadolinissa ja työohjeita paranneltiin opiskelijoiden palautteen, ohjaajan havaintojen ja opettajan vapaamuotoisten kommenttien perusteella. Kolmanteen tutkimuskysymykseen pyritään vastaamaan kehitettyjen tutkimuksellisten työohjeiden avulla.

Opiskelijoiden mielipiteet tutkimuksellisesta kokeellisuudesta jakautuivat kehitettyjä työohjeita arvioitaessa kahtia. Monet toivoivat selkeämpiä ohjeita, mutta suunnilleen yhtä monet samaa työtä tehneet olivat tyytyväisiä ohjeistuksen määrään. Sama toistui kummankin työohjeen kehitysprosessissa ja kaikissa neljässä testiryhmässä. Vapaasti muotoillussa palautteessa monet pitivät myös parhaimpina työn puolina vapautta valita ja tehdä itse. Työstä ja ryhmästä riippuen 40-50% opiskelijoista koki oppineensa jotain uutta kokeellista työtä tehdessään. Tämän osuuden soisi olevan suurempi, mutta se voi olla vaikeasti saavutettavissa opiskelijoiden tasoeroista johtuen. Saman opetusryhmän eri yksilöille kokeelliset työt näyttäytyvät eri tasoisina riippuen lähtötasosta (Colburn, 2000), joten kaikille sopivan tasoista työtä on vaikea kehittää.

Kokeellisuuden siirtyminen tutkimuksellisempaan suuntaan suositellaankin tekemään vaiheittain, jotta opiskelijat ehtivät tottua työn muotoon ja opettaja ehtii opetella tutkimuksellisuuden toteuttamista osana opetustaan (Colburn, 2000). Varsinkin kasvien väriaineiden uuttoa testanneet ryhmät olivat lukion ensimmäisellä kemian kurssillaan ja heidän aiemmat kemian opintonsa saattavat poiketa paljonkin tutkimuksellisuuden osalta, riippuen peruskoulun opettajien valinnoista

tutkimuksellisuuden suhteen. Voisi olla mielekästä vertailla peruskoulun kemian opettajien mielipiteitä tutkimuksellisesta kokeellisuudesta tässä esitettyihin lukion kemian opettajien mielipiteisiin, jotta saataisiin parempi kokonaiskuva lukioon tulevien opiskelijoiden aiemmasta kokemuksesta tutkimuksellisuuden tekemisessä. Vertailusta voisi olla käytännön hyötyä myös lukion opettajille opetusta suunnitellessa ja töitä valitessa.

Kokeellisuuden voi jakaa neljään tasoon, joissa vaiheittain lisätään opiskelijan roolia. Taso 0 on suljettu kokeellinen työ, jossa opettaja antaa kaiken työvälineistä, työvaiheiden reseptimäiseen kuvaukseen ja lopputulokseen. Tason 0 kokeellisuutta ei voi pitää tutkimuksellisen, vaan kokeellinen työ on tutkimuksellinen tasoilla 1-3, jolloin opiskelijalla on valtaa valita ja päätellä itse. (vrt. Schwab, 1962; Colburnin, 2000; Abrams et. al. 2007) Kehitystutkimuksen tuotoksena syntyneet kaksi kokeellista työtä ovat tutkimuksellisia ja sijoittuvat tasoille 1 ja 2.

Kyselytutkimuksen perusteella 70% lukion kemian opettajien valitsemista oppilastöistä jää jaottelulla tasolle 1. Vastaajista 18% tekee tason 2 töitä ja vain yksi opettaja tekee tason 3 töitä. 10% vastaajista ei tee tutkimuksellisia töitä, vaan jättää kokeellisuuden tasolle 0. Muutamat opettajat ilmoittavat myös jättävänsä jonkin lukion kurssin kokonaan ilman kokeellisia töitä. Vaikka tutkimuksellinen kokeellisuus on osa valtakunnallisia opetussuunnitelman perusteita, ei sitä siis toteuteta kaikkialla. Tähän tulisi ehdottomasti puuttua. Syitä tälle löytyy muun muassa opettajien ilmoittamista tutkimuksellisuuden haasteista. Osittain taustalla voi olla myös opettajien tottumattomuudesta, jolloin koulutus voisi toimia apuna työohjeiden valinnassa ja muokkauksessa (vrt. Tomperi, 2015).

Etanolin hapettumisen työ on jokseenkin kokeellisuuden tasolla 1. Opiskelijoille annetaan tutkimuskysymys ja tarkat ohjeet reagenssien valmistukseen ja käsittelyyn. Työssä jätetään kuitenkin lopputulos avoimeksi ja hopeapeili yllätykseksi. Työ jää avoimemmaksi, koska opiskelijat ohjeistetaan valitsemaan vertailunäytteitä ja päättelemään tulos vertailunäytteiden reaktioiden perusteella. Mikäli työn haluaisi avata tasolle 2, tulisi myös toteutuksen ohjeistaminen jättää pois. Esimerkiksi korvaamalla työohjeen kohdat 2a ja 2b (kts. Liite 2) fraasilla "Selvitä Tollensin reagenssin avulla, onko etanoli hapettunut vaiheessa 1". Tämä muutos vaatii kuitenkin opiskelijoilta enemmän taitoja etsiä tietoa ja soveltaa uutta oppimaansa, ellei heillä satu olemaan kokemusta Tollensin reagenssin käytöstä esimerkiksi aiemmin samalla kurssilla.

Kasvien väriaineiden uuttaminen on työnä jokseenkin kokeellisuuden tasolla 2, missä annetaan opiskelijoille vapaus suunnitella työn toteutus itse. Heidän tulee valita sopivat liuottimet ja suunnitella uuttaminen, toteuttaa uutto ja päätellä tulosten perusteella, mihin liuottimiin kasvin väriaineet liukenevat. Opettaja määrittää kuitenkin tutkimuksen lähtökohdat, eli kasvien väriaineiden liukoisuuden tutkimisen. Lisäksi työn molemmissa testiryhmissä ohjaaja päätti kunkin työparin käyttämän kasvin. Työn avaaminen kolmannelle tasolle vaatisi opiskelijoilta kykyä asettaa sopiva tutkimuskysymys ja lähtökohta liukoisuuden tutkimiselle. Lukion ensimmäisellä kemian kurssilla on todennäköisesti mielekkäämpää pitää opiskelijat opettajan antaman viitekehyksen ja teeman parissa jo tutkimuksellisuuden vaiheittaisen opettelun vuoksi.

Työ kasvien väriaineiden uuttaminen on kohtalaisen helppo muovata myös strukturoiduksi, tason 1 kokeelliseksi työksi, antamalla tarkemmat ohjeet uuttamisen vaiheista. Opiskelijoiden kykyjä epäilevälle opettajalle tämä voisi olla mielekäs vaihtoehto työn toteutuksessa. Samalla työn toteutus on kuitenkin ohjeistettu niin turvallisin kemikaalein, etteivät opettajat toivottavasti koe tarvetta laskea työn tutkimuksellisuuden tasoa. Työohjeesta on toivottavasti myös hyötyä esimerkkinä tason 2 työohjeen rakenteesta, jolloin sen käyttäminen saattaisi rohkaista opettajaa kokeilemaan oman työohjeen muokkaamista avoimemmalle tasolle.

Kasvien väriaineiden uuttotyössä ensimmäinen testiryhmä ei ollut käsitellyt poolisuutta aiemmin ja tämä näkyi selkeästi opiskelijoiden palautteessa. Ryhmän palaute erosi toisesta testiryhmästä, joka oli käsitellyt teoriaa aiemmin samalla viikolla. Työ jäi ensimmäisellä ryhmällä irrallisemmaksi kurssikokonaisuudesta, eivätkä opiskelijat hyötyneet siitä yhtä paljoa kuin toisen ryhmän opiskelijat. Tästä esimerkiksi Lavonen & Meisalo (2010) varoittavat. Kokeellisuus tarvitsee kytkeä kunnolla teoriaan, jottei se jää irralliseksi ja ylimääräiseksi osaksi opetusta (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007; Millar, Le Maréchal & Tiberghien, 1999), mutta tämä ei ensimmäisen testiryhmän kanssa onnistunut. Tämä tutkimustulos toimii hyvänä sivuhuomautuksena siihen, ettei kokeellisuus tai tutkimuksellisuus sellaisenaan ole oikotie uuden oppimiseen.

Opiskelijakyselyt tutkimuksellisten töiden arvioimiseksi olivat hieman hutiloiden tehtyjä ja niistä löytyi käännösvirhe ja yhdessä monivalintakysymyksessä jopa ajatusvirhe kysymyksenasettelussa. Käännösvirheessä poolinen ja pooliton vaihtoivat käsitteinä paikkaa samassa virkkeessä, joten sen vaikutukset tuloksiin ovat pienet. Ajatusvirheen sisältänyt kysymys on jätetty tässä tutkielmassa

käsittelemättä. Tehdyt kyselyt eivät varsinaisesti mittaa kokeellisten töiden onnistumista aiheen opiskelussa, sillä opiskelijoiden taitojen tasoa ei mitattu mitenkään ennen kokeellista työtä. Kyselyn tuloksilla saadaan kuitenkin tietoa opiskelijoiden mielipiteistä.

Opettajien mielipiteitä olisi mielenkiintoista tutkia vielä tarkemmin, jotta saisi paremman kuvan kokeellisuuden ja tutkimuksellisuuden tilanteesta suomalaisissa lukioissa sekä kuvan siitä, miten opettajat kokivat opetussuunnitelmauudistuksen vuodelta 2015. Myös erot suomeksi ja ruotsiksi vastanneiden välillä ovat mielenkiintoisia ja koulun opetuskielen vaikutusta voisi olla mielekästä verrata opettajien mielipiteisiin ja käytännön valintoihin. Opettajakyselyn tuloksia voisi ainakin osittain hyödyntää tähän, sillä osa kysymyksistä on jätetty käsittelemättä tässä tutkielmassa.

Kehittämistutkimuksen on tarkoitus kiertää kehää ja palata arvioimaan kehittämistuotosta alun ongelma-analyysiihin nähden. Tässä tutkimuksessa ongelma-analyysinä ja pohjana työohjeille on opettajilla teetetty kysely, mutta kehitettyjä työohjeita arvioidaan pääasiassa opiskelijoiden näkökulmasta. Opiskelijoiden näkökulma on tärkeä, jotta työohjeista saadaan toimivat, mutta vasta opettajien mielipiteillä työstä saisi oikeasti kierrettyä koko syklin ja palattua alkuasetelmaan. Tämän olisi voinut toteuttaa esimerkiksi haastattelemalla työtä testanneiden ryhmien opettajia Kemianluokka Gadolinissa vierailun jälkeen. Tai laajemmassa mittakaavassa olisi työt voinut esitellä opettajien jatkokoulutuksessa ja sen jälkeen kerätä kyselytutkimuksen avulla opettajien mielipiteitä töistä. Käytännössä vierailevilta opettajilta saatiin kyllä palautetta, mutta sitä ei missään vaiheessa kerätty systemaattisesti tai harkittuihin kysymyksiin pohjautuen.

Menetelmänä kehittämistutkimus on mielenkiintoista, joskin erittäin työlästä suuren datan määrän vuoksi. Mielenkiintoisia tutkimuksen ja kehityksen suuntia nousee monia, jolloin niiden välillä joutuu valitsemaan järkevän kokonaisuudet lopulliseen työhön. Tutkimus olisi kokonaisuutena kannattanut koosta eri tavalla, jotta kehittämissykli kulkisi nimensä mukaisesti syklinä alkutilanteeseen ja saataisiin selkeästi arvioitua kehittämistuotosta opettajien näkökulmasta. Opettajien mielipiteillä työohjeista ei kuitenkaan olisi niin suurta merkitystä, jos töitä ei olisi ensin testattu opiskelijoilla, joten tutkielman laajuuden vuoksi oli pakko valita opiskelijoiden palaute opettajien edelle. Opettajakyselyn tuloksista osa on vielä käsittelemättä ja niistä toivottavasti voi tarjota materiaalia tuleviin tutkimuksiin. Tässä vaiheessa voi enää toivoa, että kehitetyt työohjeet kiinnostavat opettajia ja niitä uskalletaan ottaa käyttöön suomalaisissa lukioissa.

Lähteet

Abrams, E., Southerland, S. A. & Evans, C. (2007). Inquiry in the Classroom: Identifying Necessary Components of a Useful Definition. Teoksessa. Abrams, E., Southerland, S. A. & Silva, P. (toim.). *Inquiry in the Classroom: Realities and Opportunities.*Charlotte, North Carolina: Information Age Publishing, 11-42

Aksela, M. & Karjalainen, V. (2008). *Kemian opetus tänään: Nykytila ja haasteet Suomessa.* Julkaisijana Kemian opetuksen keskus, Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino

Alkema, J. & Seager, S. (1982) The chemical pigments of plants. *Journal of Chemical Education*. 59 (3), p 183

Averill B., Eldredge P. (2012). Principles of General Chemistry. v. 1.0M [Verkkojulkaisu]. Jaettu Creative Commons lisenssin alaisuudessa http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/, luettu 7.5.2019

Baker, C. (2007) The silver mirror test. Education in Chemistry [Verkkojulkaisu]. Royal Society of Chemistry. https://eic.rsc.org/exhibition-chemistry/the-silver-mirror-test/2020077.article, luettu 2.5.2019

Barnea, N., Dori, Y. J., Hofstein, A. (2010). Development and implementation of inquiry-based and computerized-based laboratories: reforming high school chemistry in Israel. Chemistry Education Research and Practice, 11, 201-228

Byju's (2019). Tollens test [Verkkomateriaali] Byju's the Learning App. https://byjus.com/chemistry/tollens-test/. Luettu 2.5.2019

Cacciatore, L. & Sevian, H. (2009). Incrementally Approaching an Inquiry Lab Curriculum: Can Changing a Single Laboratory Experiment Improve Student Performance in General Chemistry? Journal of Chemical Education, 86:4, 498-505

Cheung, D. (2011). Teacher Beliefs about Implementing Guided-Inquiry Laboratory Experiments for Secondary School Chemistry. Journal of Chemical Education, 88, 1402-1408

Colburn, A. (2000). An Inquiry Primer. Science Scope, 23:6, 42-44.

Collins, A., Joseph, D. & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. Journal of the Learning Sciences, 13:1, 15-42.

Edelson, D. C. (2002). Design Research: What We Learn When We Engage in Design. Journal of the Learning Sciences, 11:1, 105-121.

Eskola, J. & Suoranta, J. (2008). Johdatus laadulliseen tutkimukseen (8. painos) Tampere: Osuuskunta Vastapaino

Glover, B. & Martin, C. (2012). Anthocyanins, Current Biology Volume 22, Issue 5, 6 March 2012, Pages R147-R150

Heinonen, J. (2005). Opetussuunnitelmat vai oppimateriaalit: Peruskoulun opettajien käsityksiä opetussuunnitelmien ja oppimateriaalien merkityksestä opetuksessa. väitöskirja. Helsingin yliopisto. käyttäytymistieteellinen tiedekunta, soveltavan kasvatustieteen laitos. Helsinki. http://urn.fi/URN:ISBN:952-10-1995-6

Hofstein, A. (2004). The Laboratory in Chemistry Education: Thirty Years of Experience with Developments, Implementation and Research. Chemistry Education: Research and Practice 2004, 5 (3), 247-264

Hofstein, A. & Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: the state of the art. Chemistry Education Research and Practice, 8 (2), 105-107

Helsingin yliopiston Tiedekasvatuskeskus (2018). Kemianluokka Gadolinin materiaalipankki. [Verkkomateriaali] https://www.helsinki.fi/fi/tiedekasvatus/kemianluokka-gadolinin-materiaalipankki, luettu 15.5.2018

IB - International Baccalaureate (2019) What is the extended essay? [Verkkosivu] https://www.ibo.org/programmes/diploma-programme/curriculum/extended-essay/what-is-the-extended-essay/ Luettu 20.5.2019

Laakonen, O. (2016): Suomen lukioiden määrä on pudonnut selvästi [Verkkojulkaisu]. Keskisuomalainen. https://www.ksml.fi/kotimaa/Suomen-lukioiden-m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4-pudonnut-selv%C3%A4sti/780561 Luettu 12.5.2018

Lappalainen, A. (Ed.). (1992). Oppikirjan historia, kehitys sumerialaisista suomalaisiin. Porvoo: WSOY.

Lavonen, J. & Meisalo, V (2010). Opetuksen kokeellisuus [verkkojulkaisu]. https://www.edu.fi/perusopetus/fysiikka_ja_kemia/opetuksen_kokeellisuus, luettu 20.10.2018].

Leach, J. (1999). Learning science in the laboratory. The importance of epistemological understanding. Teoksessa Leach, J & Paulsen A. (toim.) Practical Work in Science Education – Recent Research Studies. Frederiksberg: Roskilde University Press

Millar, R., Le Maréchal, J.-F. & Tiberghien, A. (1999). 'Mapping' the domain – Varieties of practical work. Teoksessa Leach, J & Paulsen A. (toim.) Practical Work in Science Education – Recent Research Studies. Frederiksberg: Roskilde University Press

National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism, NIAAA (2007): Alcohol Metabolism: An update [Verkkojulkaisu]. Alcohol Alert Bulletin, 72. https://pubs.niaaa.nih.gov/publications/aa72/aa72.htm, luettu 1.11.2018

Opetushallitus (2015). Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015 [Verkkojulkaisu]. Helsinki.

https://www.oph.fi/download/172124_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015.pdf, luettu 26.3.2016

Opetushallitus (2003). Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003 [Verkkojulkaisu]. Helsinki. https://www.oph.fi/download/47345_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2003.pdf, luettu 26.3.2016

Pernaa, J. (2013). Kehittämistutkimus tutkimusmenelmänä. Teoksessa Pernaa, J. (toim.), Kehittämistutkimus opetusalalla. Jyväskylä: PS-kustannus

Schwab, J. (1962). The teaching of science as enqury. Teoksessa The teaching of science. Cambridge, Masachusetts: Harvard university press

Streitwieser. A., Heathcook, C. & Kosower, E. (1992) Introduction to Organic Chemistry fourth ed. New Jerwey: Prentice Hall.

Tebest, T. & Sjöholm, P. (2015). Näin lukiot pärjäsivät yo-kokeissa – katso koko lista [Verkkojulkaisu]. Yle uutiset, Suomi. Luettu 3.5.2016

Tomperi, P. (2015). Kehittämistutkimus: Opettajan ammatillisen kehittymisen tutkimusperustainen tukeminen käyttäen SOLO-taksonomiaa – Esimerkkinä tutkimuksellinen kokeellinen kemian opetus. Akateeminen väitöskirja. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Helsingin yliopisto. Helsinki: Unigrafia.

Tomperi, P. & Aksela, M. (2009). Lukion kemian oppikirjojen laboratoriotöiden analysointi käyttäen SOLO-taksonomiaa. Teoksessa Aksela, M. & Pernaa, J. (toim), Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa perusopetuksesta korkeakouluihin. Helsinki: Yliopistopaino

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2009). Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi (6., uud. laitos. ed.). Helsinki: Tammi.

Wachs, I. & Madix, R. (1978). The Oxidation of Ethanol on Cu(110) and Ag(110) Catalysts. Applications of Surface Sciense 1 (1978). 303-328.

Wellesley College (2019). Chem 211 Online lab manual [Verkkomateriaali]. Wellesley College, Massachusets.http://academics.wellesley.edu/Chemistry/chem211lab/Orgo_Lab_Manual/Appendix/ClassificationTests/aldehyde_ketone.html , luettu 2.4.2019

Suomen virallinen tilasto (SVT): Koulutuksen järjestäjät ja oppilaitokset [verkkojulkaisu]. ISSN=1796-3796. 2016. Helsinki: Tilastokeskus
Saantitapa: http://www.stat.fi/til/kjarj/2016/kjarj_2016_2017-02-14_tie_001_fi.html, luettu 5.7.2018

Zumdahl S. S., Zumdahl S. A. (2003). Chemistry, 6th edition. Houghton Mifflin, USA

Kuvalähteet

Kaikki työssä esitetyt rakennekaavat on piirretty ilmaisella ChemSketch-ohjelmalla. Alla on kootusti muista kuvalähteistä käytetyt kuvat käyttölisensseineen.

3, s. 35: https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/s11-the-periodic-table-and-periodi.html, Julkaistu Creative Commonsin lisenssin alaisuudessa. Lisenssi: By-nc-sa 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

4. s. 36: https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s13-01-predicting-the-geometry-of-mol.html Julkaistu Creative Commonsin lisenssin alaisuudessa. Lisenssi: By-nc-sa 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

5. s. 37: Translated by Michal Maňas (User:snek01) CC-BY-SA-3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)], via Wikimedia Commons

6. s. 38: https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s15-02-intermolecular-forces.html Julkaistu Creative Commonsin lisenssin alaisuudessa. Lisenssi: By-nc-sa 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

Liitteet

1. Opettajakyselyn kysymykset
2. Opiskelijan ohje: Etanolin hapettuminen
3. Opettajan ohje: Etanolin hapettuminen
4. Opiskelijan ohje: Kasvien väriaineiden uutto
5. Opettajan ohje: Kasvien väriaineiden uutto

Liite 1: Opettajakysely: Tutkimukselliset oppilastyöt lukiossa

Kyselyssä kartoitetaan tutkimuksellisten oppilastöiden käyttöä ja opettajien tarpeita. Tulosten perusteella mielekkäitä kokeellisia työohjeita, opettajien toivomiin aiheisiin. Kaikki vastaukset käsitellään luottamuksellisesti eikä niitä esitellä vastaajaa yksilöivällä tavalla.

Kysely on osa Helsingin yliopiston Kemian opettajankoulutusyksikössä tehtävää pro gradu - tutkielmaa.

Vastaajan tausta

1. Miten pitkään olet toiminut opettajana? (monivalinta, valitse yksi)

	0-5 vuotta	6-10 vuotta	11-15 vuotta	yli 15 vuotta
Työkokemus				

2. Mitkä ovat koulun opetuskielet? (monivalinta, monta valittavissa)

Suomi
Ruotsi
Englanti
Muu (Kerro alla mikä kieli)
Mikä muu opetuskieli? (Avoin rivi)

3. Mitä kemian kursseja opetat lukuvuonna 2016-17? (monivalinta, monta valittavissa)

Ke 1 (valtakunnallinen pakollinen)
Ke 2 (valtakunnallinen syventävä)
Ke 3 (valtakunnallinen syventävä)
Ke 4 (valtakunnallinen syventävä)
Ke 5 (valtakunnallinen syventävä)
Koulun omia syventäviä/soveltavia kursseja

4. Mitä oppimateriaalia opiskelijasi käyttävät? (Kirjasarjojen ja yksittäisten kurssikirjojen nimet. Onko jollakin kurssilla muuta oppimateriaalia) (Avoin tekstikenttä)

5. Kuinka paljon käytät kokeellisuutta opetuksessasi valtakunnallisilla kursseilla Ke 1 - Ke 5? Laske mukaan opiskelijoiden itse tekemät työt ja opettajan näyttämät työt. (valitse yksi per rivi)

	Jokaisella tunnilla	Kerran viikossa	2-4 kertaa kurssilla	Kerran kurssilla	Ei ollenkaan	En opeta kurssia
Ke 1						
Ke 2						
Ke 3						
Ke 4						
Ke 5						

Tutkimukselliset työt

Tutkimukselliselle oppimiselle ei ole yhtä yksiselitteistä määritelmää. Tässä kyselyssä käytetään seuraavanlaista kuvausta tutkimuksellisuudelle:

Tutkimuksellisuus on prosessi, johon kuuluvat tutkimuskysymyksen asettaminen, tiedon kerääminen ja tulosten analysointi. Mitä suurempi osa tutkimuksesta on opiskelijan vastuulla, sitä avoimempi työ on.

Tutkimuksellisen työn avoimuus määritellään seuraavilla tasoilla:

Taso 0: Opettaja määrittää tutkimuskysymyksen, valitsee käytettävät välineet ja menetelmät sekä määrittelee työn tuloksen.

Taso 1: Opettaja määrittää tutkimuskysymyksen ja valitsee käytettävät välineet sekä menetelmät. Oppija selvittää työn tuloksen.

Taso 2: Opettaja määrittää tutkimuskysymyksen. Käytettävät välineet ja menetelmät ovat osittain tai kokonaan oppijan valittavissa. Oppija selvittää työn tuloksen.

Taso 3: Oppija valitsee itse tutkimuskysymyksen sekä käytettävät välineet ja menetelmät. Oppija selvittää tuloksen.

6. Millä tasolla opiskelijasi tekevät tutkimuksellisia töitä? Käytä yllä olevaa määritelmää. (valitse yksi per rivi)

	0	**1**	**2**	**3**	**Eivät tee**
Laboratoriotöinä					
Molekyylimallinnuksena					

7. Miten tutkimuksellisuus näkyy koulusi uudistetussa opetussuunnitelmassa? (Avoin tekstikenttä)

8. Mitkä ovat mielestäsi tutkimuksellisen opiskelun hyödyt? (Avoin tekstikenttä)

9. Mitkä ovat mielestäsi tutkimuksellisen opiskelun haasteet? (Avoin tekstikenttä)

10. Mistä etsit ohjeita ja ideoita uusiin oppilastöihin? (Monivalinta, valitse useampia)

Oppikirjan työohjekappaleesta
Kustantajan opettajan materiaaleista
Vanhoista oppikirjoista (käytöstä poistuneiden OPSien ajalta)
Netistä
Muualta (Tarkenna mistä)

Mistä muualta etsit oppilastöihin ohjeita ja ideoita? (Avoin tekstikenttä)

11. Mistä aihepiireistä kaipaisit lisää tutkimuksellisia työohjeita? Voit luetella useampia aiheita. 2-3 suosituinta aihepiiriä saavat uusia työohjeita kevään ja kesän 2016 aikana. (Avoin tekstikenttä)

12. Minkälainen on mielestäsi hyvä opiskelijan ohjeistus tutkimukselliseen työhön? (Avoin tekstikenttä)

13. Joku on suunnitellut opiskelijoiden ohjeet tutkimukselliseen työhön. Minkälaista opettajan ohjeistusta kaipaat, jotta työn käyttöön ottaminen olisi mahdollisimman helppoa? (Avoin tekstikenttä)

14. Minkälaista tukea kaipaat yleisesti tutkimukselliseen opiskelijatyöskentelyyn? (Avoin tekstikenttä)

Tutkimuksen jatko

Mikäli sinuun saa olla yhteydessä mahdollista haastattelua tai muita jatkotutkimuksia varten, anna sähköpostiosoitteesi tässä kentässä. Mitään vastauksiasi ei julkaista sähköpostiosoitteen kanssa, vaan vastauksiasi käsitellään anonyymisti.

(Avoin rivi osoitetta varten)

Kyselytutkimuksen tuloksien yhteenveto ja tulosten perusteella kehitetyt työohjeet on mahdollista saada sähköpostitse niiden valmistuttua. Tätä varten voit ilmoittautua sähköpostilistalle erillisellä lomakkeella kyselyn sivustolla (http://tutkimuksellistakemiaa.wordpress.com).

Kiitos vastauksistasi!

Liite 2: Oppilaan ohje: Etanolin hapettuminen

TAUSTAA

Etanoli on maailmanlaajuisesti tunnettu, alkoholijuomana. Ihmiskehossa etanoli metaboloituu, eli hajoaa, entsyymien avulla ensin hapettumalla aldehydiksi ja siitä eteenpäin karboksyylihapoksi. Happo hajoaa lopulta hiilidioksidiksi ja vedeksi. Metaboliassa haitallisin vaihe on aldehydimuoto sillä aldehydin on on todettu olevan muun muassa syöpää aiheuttava. On myös jonkinverran näyttöä siitä, että aldehydi olisi se yhdiste, joka aiheuttaisi varsinaiset päihtymisen oireet.

Etanolin sietokyky riippuu siitä kuinka nopeasti metabolian eri vaiheet etenevät. Henkilöillä joilla ensimmäinen hapettumisvaihe aldehydiksi on nopea ja toinen hapettumisvaihe hapoksi hidas kestävät yleensä alkoholia heikommin kuin henkilöt, joilla ensimmäinen vaihe on hidas ja toinen vaihe nopea.

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow{ADH} CH_3CHO \xrightarrow{ALDH} CH_3COOH$$

Entsyymit ADH ja ALDH vastaavat etanolin hapettumisprosesseista ihmiskehossa. Entsyymien tarkka rakenne vaihtelee ja on voitu osoittaa entsyymien muodon olevan geneettinen ominaisuus.

SELVITÄ ENNEN TYÖN ALOITTAMISTA

Mitä tarkoitetaan käsitteillä hapettuminen ja pelkistyminen?

Mitä eroa on primäärisellä, sekundäärisellä ja tertiäärisellä alkoholilla?

Miten alkoholit hapettuvat?

Miten katalyytti toimii?

Mitä tarkoitetaan vertailunäytteellä?

Mihin yhdisteryhmiin opettajan tarjoamat vertailunäytteet kuuluvat?

VÄLINEET

- lasisia koeputkia
- lasisauvoja
- pipettejä
- kuparilankaa
- kaasupoltin ja tulitikut
- vesihaude
- keittolevy

TURVALLISUUS

Käytä kaasupoltinta varovasti. Pidä reagenssipullot kaukana liekistä, osa saattaa olla herkästi syttyviä.

Hapot ja emäkset ovat syövyttäviä. Käytä suojalaseja, työtakkia ja tarvittaessa hanskoja. Huuhtele roiskeet välittömästi vedellä.

AINEET

- $AgNO_3$ -liuosta
- NaOH-liuosta
- NH_3-liuosta
- etanolia

Tutkit etanolin hapettumista. Valitse lisäksi vähintään kaksi vertailunäyttettä opettajan tarjoamista vaihtoehdoista.

Valinnaiset aineet vertailunäytteiksi:

- asetoni
- glukoosi
- kidesokeri
- etikka
- ruokasuola
- vehnäjauho
- rypsiöljy

Yritä valita tutkittavat aineet niin, että saat ainakin yhden näytteen joka varmasti sisältää aldehydiä ja yhden, joka sisältää karboksyylihappoa. Tarvitsetko muita yhdisteryhmiä verrattavaksi etanolin reaktioiden kanssa?

TYÖN TOTEUTUS

Työ koostuu kahdesta vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa hapetetaan etanolia kuparikatalyytillä. Seuraavassa vaiheessa valmistetaan Tollensin reagenssia ja annetaan sen hapettaa aldehydit karboksyylihapoksi

1. Etanolin hapettuminen

- Ota noin 1 ml etanolia puhtaaseen koeputkeen
- Lämmitä kuparilanka kaasupolttimella hohtavan kuumaksi
- Kasta kuuma kuparilanka etanoliin. Mitä tapahtuu? Varo koskemasta koeputken seinämiin kuumalla lankalla (ettei koeputki halkea)
- Ota hieman etanolia puhtaaseen koeputkeen. Vertaile koeputkien sisältöä ja kirjaa havainnot

2 a) Valmista Tollensin reagenssia.

Tarvitset puhtaat koeputket jokaista tutkittavaa ainetta ja vertailunäytettä varten. Valmista Tollensin reagenssia niistä jokaiseen, eli yhtä monta koeputkea kuin tutkittavia aineita/vertailunäytteitä. Muista merkitä koeputket selkeästi!

Tollensia valmistat seuraavasti:

- Laita koeputkeen 3 tippaa hopeanitraattiliuosta ($AgNO_3$)
- Lisää noin kaksi tippaa natriumhydroksidia (NaOH), jotta muodostuu tummanruskeaa sakkaa
- Lisää ammoniakkia (NH_3) pisaroittain, kunnes kaikki sakka on liuennut.

2b) Käytä Tollensin reagenssia hapettamaan aldehydi karboksyylihapoksi

- Laita 5-10 tippaa näytettä Tollensin reagenssia sisältävään koeputkeen.
- Sekoita lasisauvalla. Kirjaa havaintoja.
- Laita koeputket kuumaan vesihauteeseen noin 15 min ajaksi. Voit laittaa useamman näytteen vesihauteeseen samanaikaisesti.
- Vertaile koeputkien sisältöä. Mistä tiedät, mihin koeputkiin on lisätty aldehydiä?

POHDITTAVAKSI TYÖN JÄLKEEN

Mitä funktionaalisia ryhmiä tutkimissasi aineissa on? Piirrä rakennekaavat.

Onnistuiko etanolin hapettaminen? Anna reaktioyhtälö tapahtuneelle reaktiolle.

Mitä hopeaioneille tapahtuu reaktioissa? Kirjoita reaktioyhtälöt.

Vertaile reaktioyhtälöitäsi alkoholin metabolian kanssa. Mitä yhteistä niissä on? Löytyykö entsyymejä ADH- ja ALDH vastaavia aineita käyttämistäsi reaktioista?

Liite 3: Opettajan ohje: Etanolin hapettuminen

KOHDERYHMÄ: Työ on suunniteltu erityisesti lukion kurssin Ke 3 orgaanisia reaktioita havainnollistamaan. Se soveltuu myös kurssiin Ke 4, jolloin sen voi yhdistää metallien hapettumiseen ja pelkistymiseen.

KESTO: 60-90 min

TAVOITE: Havainnollistaa orgaanisia hapetus-pelkistysreaktioita ja tarjota niille biologian viitekehys etanolin metabolian kautta.

TAUSTAA

Etanoli on maailmanlaajuisesti tunnettu, alkoholijuomana. Ihmiskehossa etanoli metaboloituu, eli hajoaa, entsyymien avulla ensin hapettumalla aldehydiksi ja siitä eteenpäin karboksyylihapoksi. Happo hajoaa lopulta hiilidioksidiksi ja vedeksi. Metaboliassa haitallisin vaihe on aldehydimuoto sillä aldehydin on on todettu olevan muun muassa syöpää aiheuttava. On myös jonkinverran näyttöä siitä, että aldehydi olisi se yhdiste, joka aiheuttaisi varsinaiset päihtymisen oireet.

Etanolin sietokyky riippuu siitä kuinka nopeasti metabolian eri vaiheet etenevät. Henkilöillä joilla ensimmäinen hapettumisvaihe aldehydiksi on nopea ja toinen hapettumisvaihe hapoksi hidas kestävät yleensä alkoholia heikommin kuin henkilöt, joilla ensimmäinen vaihe on hidas ja toinen vaihe nopea.

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow{ADH} CH_3CHO \xrightarrow{ALDH} CH_3COOH$$

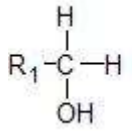
Entsyymit ADH ja ALDH vastaavat etanolin hapettumisprosesseista ihmiskehossa. Entsyymien tarkka rakenne vaihtelee ja on voitu osoittaa entsyymien muodon olevan geneettinen ominaisuus.

SELVITÄ ENNEN TYÖN ALOITTAMISTA

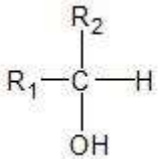
Mitä tarkoitetaan käsitteillä hapettuminen ja pelkistyminen?

Hapettuminen ja pelkistyminen ovat pohjimmiltaan reaktioita, joissa elektronit siirtyvät. Hapettuessa yhdiste luovuttaa elektroneita ja pelkistyessään vastaanottaa niitä.

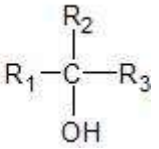
Mitä eroa on primäärisellä, sekundäärisellä ja tertiäärisellä alkoholilla?



Primäärinen



Sekundäärinen



Tertiäärinen

Käsitteillä erotellaan, miten hydroksyyliryhmän sitova hiili on sitoutunut muuhun molekyyliin. Molekyyli on primäärinen, mikäli hiili sitoo vähintään kaksi vetyatomia hydroksyyliryhmän lisäksi. Jos vetyjä on vain yksi hydroksyyliryhmän lisänä, on alkoholi sekundäärinen. Tertiäärisessä alkoholissa ei ole ainuttakaan vetyä sitoutuneena hydroksyyliryhmän kanssa samaan hiileen.

Miten alkoholit hapettuvat?

Primääriset alkoholit hapettuvat aldehydeiksi (ja edelleen karboksyylihapoiksi). Sekundääriset alkoholit hapettuvat ketoneiksi. Tertiääriset alkoholit eivät hapetu.

Miten katalyytti toimii?

Katalyytti nopeuttaa reaktiota kulumatta itse reaktiossa. Esimerkiksi monet entsyymit t oimivat katalyytteinä (myös tässä työssä mainitut ADH ja ALDH ovat katalyyttejä)

Mitä tarkoitetaan vertailunäytteellä?

Tutkimusta tehdessä otetaan tuntemattoman näytteen rinnalle tutkittavaksi näytteitä, joiden koostumus tunnetaan. Tunnetun näytteen reaktiota voi sitten verrata tuntemattoman näytteen reaktioon.

Mihin yhdisteryhmiin opettajan tarjoamat vertailunäytteet kuuluvat?

Voit tarjota muitakin aineita kuin työohjeessa on ehdotettu. Ainakin jokin aldehydi ja jokin karboksyylihappo tulee antaa vaihtoehtoina.
Tässä työohjeessa aldehydejä ovat glukoosi ja kidesokeri, joitka molemmat ovat myös alkoholeja. Karboksyylihappona tarjotaan etiika. Lisäksi tarjolla on asetoni (ketoni), ruokasuola (ioniyhdiste), vehnäjauho (seos tärkkelyksestä ja proteiineista), rypsiöljy (rasvahappojen esteri).

VÄLINEET

- lasisia koeputkia
- lasisauvoja
- pipettejä
- kuparilankaa
- kaasupoltin ja tulitikut
- vesihaude
- keittolevy

TURVALLISUUS

Käytä kaasupoltinta varovasti. Pidä reagenssipullot kaukana liekistä, osa saattaa olla herkästi syttyviä.

Hapot ja emäkset ovat syövyttäviä. Käytä suojalaseja, työtakkia ja tarvittaessa hanskoja. Huuhtele roiskeet välittömästi vedellä.

Huom! *Tarkasta etukäteen, että kuparilangan pätkät ovat tarpeeksi pitkiä ylettyäkseen ka*

pohjalle, kun niitä pitelee pihdeillä.

AINEET

- $AgNO_3$ -liuosta
- NaOH-liuosta
- NH_3-liuosta
- etanolia

Tutkit etanolin hapettumista. Valitse lisäksi vähintään kaksi vertailunäyttettä opettajan tarjoamista vaihtoehdoista.

Valinnaiset aineet vertailunäytteiksi:

- asetoni
- glukoosi
- kidesokeri
- etikka
- ruokasuola
- vehnäjauho
- rypsiöljy

Yritä valita tutkittavat aineet niin, että saat ainakin yhden näytteen joka varmasti sisältää aldehydiä ja yhden, joka sisältää karboksyylihappoa. Tarvitsetko muita yhdisteryhmiä verrattavaksi etanolin reaktioiden kanssa?

Käytettävien reagenssien pitoisuudet eivät ole niin tarkkoja. Esimerkiksi 0,1-1M NaOH ja 5% NH_5 toimivat hyvin. Tärkeintä on lisätä ensimmäistä, kunnes sakkaa muodostuu ja toista, kunnes sakka on liuennut.

TYÖN TOTEUTUS

Työ koostuu kahdesta vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa hapetetaan etanolia kuparikatalyytillä. Seuraavassa vaiheessa valmistetaan Tollensin reagenssia ja annetaan sen hapettaa aldehydit karboksyylihapoksi

1. Etanolin hapettuminen

- Ota noin 1 ml etanolia puhtaaseen koeputkeen
- Lämmitä kuparilanka kaasupolttimella hohtavan kuumaksi
- Kasta kuuma kuparilanka etanoliin. Mitä tapahtuu? Varo koskemasta koeputken seinämiin kuumalla lankalla (ettei koeputki halkea)
- Ota hieman etanolia puhtaaseen koeputkeen. Vertaile koeputkien sisältöä ja kirjaa havainnot

2 a) Valmista Tollensin reagenssia.

Tarvitset puhtaat koeputket jokaista tutkittavaa ainetta ja vertailunäytettä varten. Valmista Tollensin reagenssia niistä jokaiseen, eli yhtä monta koeputkea kuin tutkittavia aineita/vertailunäytteitä. Muista merkitä koeputket selkeästi!

Tollensia valmistat seuraavasti:

- Laita koeputkeen 3 tippaa hopeanitraattiliuosta ($AgNO_3$)
- Lisää noin kaksi tippaa natriumhydroksidia (NaOH), jotta muodostuu tummanruskeaa sakkaa
- Lisää ammoniakkia (NH_3) pisaroittain, kunnes kaikki sakka on liuennut.

2b) Käytä Tollensin reagenssia hapettamaan aldehydi karboksyylihapoksi

- Laita 5-10 tippaa näytettä Tollensin reagenssia sisältävään koeputkeen.
- Sekoita lasisauvalla. Kirjaa havaintoja.
- Laita koeputket kuumaan vesihauteeseen noin 15 min ajaksi. Voit laittaa useamman näytteen vesihauteeseen samanaikaisesti.
- Vertaile koeputkien sisältöä. Mistä tiedät, mihin koeputkiin on lisätty aldehydiä?

POHDITTAVAKSI TYÖN JÄLKEEN

Mitä funktionaalisia ryhmiä tutkimissasi aineissa on? Piirrä rakennekaavat.

Voitte kerrata nämä ennen työtä tehdyistä tehtävistä. Ryhmillä on todennäköisesti hieman eri yhdisteitä. Myös yhdisteiden määrä vaihtelee. Toivottavasti kuitenkin jokin aldehydi ja karboksyylihappo esiintyy vastauksissa.

Onnistuiko etanolin hapettaminen? Anna reaktioyhtälö tapahtuneelle reaktiolle.

Etanolin tulisi kuparilangan katalysoimana hapettua etanaaliks:

$$CH_3CH_2OH \rightarrow CH_3CHO$$

Mitä hopeaioneille tapahtuu reaktioissa? Kirjoita reaktioyhtälöt.

Tollensin reagenssin valmistuksessa ensiksi emäslisäys:

$$2Ag^+ (aq) + 2OH^- (aq) \rightarrow Ag_2O (s) + H_2O (l)$$

Hopeaoksidisakka liuotetaan ammoniakkiin hopea-ammiinikompleksi-ioniksi:

$$Ag_2O (s) + 4NH_3 (aq) + H_2O (l) \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]^+ (aq) + 2OH^- (aq)$$

Aldehydin läsnäollessa kompleksissa olleet hopeaionit pelkistyvät ja muodostavat hopeapeilin koeputken sisäpinnalle:

(Tässä voi käyttää myös hopeaionien paikalla kompleksi-ionia, jolloin tuotteisiin tulee lisäksi kaksi ammoniakkia.)

Vertaile reaktioyhtälöitäsi alkoholin metabolian kanssa. Mitä yhteistä niissä on? Löytyykö entsyymejä ADH- ja ALDH vastaavia aineita käyttämistäsi reaktioista?

Ihmiskehossa alkoholi hapettuu ensin aldehydiksi. Sama hapettumiskreaktio tapahtuu, kun etanoliin lasketaan kuuma kuparilanka. Hehkuva kupari toimii katalyyttinä aivan kuten metaboliassa entsyymi ADH toimii katalyyttinä reaktiolle.

Aldehydi hapettuu kehossa etaanihapoksi entsyymin ALDH katalysoimana. Laboratoriossa tehdyssä reaktiossa etanaali hapettuu myös etaanihapoksi. Hopeaionit pelkistyvät samalla. Hopea EI toimi katalyyttinä (koska se kuluu reaktiossa), jolloin se ei kelpaa vertailukohdaksi ALDH-entsyymille.

Liite 4: Oppilaan ohje: Kasvien väriaineiden uuttaminen

Marjoissa, vihanneksissa ja mausteissa on monia hienoja ja kirkkaita värejä. Nämä väriaineet olisivat näppäriä ruokien ja makeisten värjäämiseen ja saattaisivat jopa olla terveellisiä. Mutta miten saisit kasvit muutettua käteviksi värillisiksi liuoksiksi, jotta värin saisi siirrettyä?

POHDITTAVAKSI ENNEN TYÖTÄ

Mitä tarkoittaa poolisuus?

Miten poolisuus vaikuttaa aineen liukoisuuteen?

Selvitä rakennekaavat opettajan tarjoamille liuottimille. Mitkä niistä ovat poolisia ja mitkä poolittomia?

Miten voit kokeellisesti selvittää, onko jokin molekyyli poolinen vai pooliton?

Mitä erilaisia aineiden erotusmenetelmiä tiedät?

AINEET

Tutkittavat kasvit:

- Mansikkaa, mustikkaa, viinimarjoja (esim. pakasteena)
- Porkkana, paprika, punajuuri, tuore persilja tai muu tuore yrtti
- Chilijauhe, kurkuma

Sopikaa opettajan kanssa mitä kukin työpari tutkii. Kaikkien ei tarvitse tutkia kaikkia kasveja, vaan tuloksia voidaan koostaa lopuksi.

Tutkimme kasvit:

Valitse kaksi liuotinta työtä varten.

1. _____
2. _____

Perustele liuottimien valinta:

Liuotinvaihtoehdot:

Hanavesi

Ruokaöljy (sis. öljyhappoa)

Etanoli

Etikka (sis. etaanihappoa)

Kookosrasva (sulamispiste < 30ºC, sis. lauriinihappoa)

Parafiiniöljy (sis dodekaania)

Tislattu vesi

TYÖN SUUNNITTELU

Seuraavat **välineet** ovat saatavilla. Alleviivaa ne välineet, joita aiotte käyttää.

- Veitsi, leikkuulauta, sakset
- Huhmare ja survin
- Suodatinpaperia
- Suppilo
- Keitinlaseja
- Pipettejä
- Lusikoita
- Statiivi, koura ja pidike
- Erotussuppilo

Vertaile samasta kasvista eri liuottimiin uutettuja värejä. Voit myös yhdistää samasta kasvista uutetut liuokset erotussuppilossa ja ravistaa. **ÄLÄ laita kiinteitä** kasvin osia erotussuppiloon, ettei suppilon hana tukkeudu! Muuttuuko värin liukoisuus erotussuppilossa?

Näin aiomme uuttaa kasveista värit valitsemiimme liuottimiin:

TYÖN SUORITUS

Näin käytännössä teimme. Kirjatkaa myös havaintoja. Muuttuiko toteutus suunnitellusta työn edetessä?

POHDITTAVAKSI TYÖN JÄLKEEN

Kootkaa ryhmän tulokset taulukkoon ja vastatkaa sen pohjalta kysymyksiin.

Mistä kasveista erottui väriä pooliseen liuottimeen? Entä mistä poolittomaan?

Liukenevatko saman väristen kasvien väriaineet samaan liuottimeen?

Mitä voit päätellä värimolekyylien poolisuudesta niiden liukoisuuden perusteella?

Etsi tutkimiesi kasvien väriainemolekyyleistä rakennekaavoja netistä. Selittääkö molekyylien rakenne niiden liukoisuutta?

Liite 5: Opettajan ohje: Kasvien väriaineiden uuttaminen

KOHDERYHMÄ: Työ on suunniteltu lukion kemian peruskurssille Ke 1 ja yhdistettäväksi poolisuuden, liukoisuuden ja erotusmenetelmien käsittelyyn. Työ on soveltava tutkimuksellinen työ, joka kannattaa tehdä teoriaan tutustumisen jälkeen.

KESTO: 75-90 min

TAVOITE: Konkretisoida poolisuuden ja liukoisuuden yhteys ja soveltaa poolisuutta tutkimuksen teossa.

Marjoissa, vihanneksissa ja mausteissa on monia hienoja ja kirkkaita värejä. Nämä väriaineet olisivat näppäriä ruokien ja makeisten värjäämiseen ja saattaisivat jopa olla terveellisiä. Mutta miten saisit kasvit muutettua käteviksi värillisiksi liuoksiksi, jotta värin saisi siirrettyä?

POHDITTAVAKSI ENNEN TYÖTÄ

Mitä tarkoittaa poolisuus?

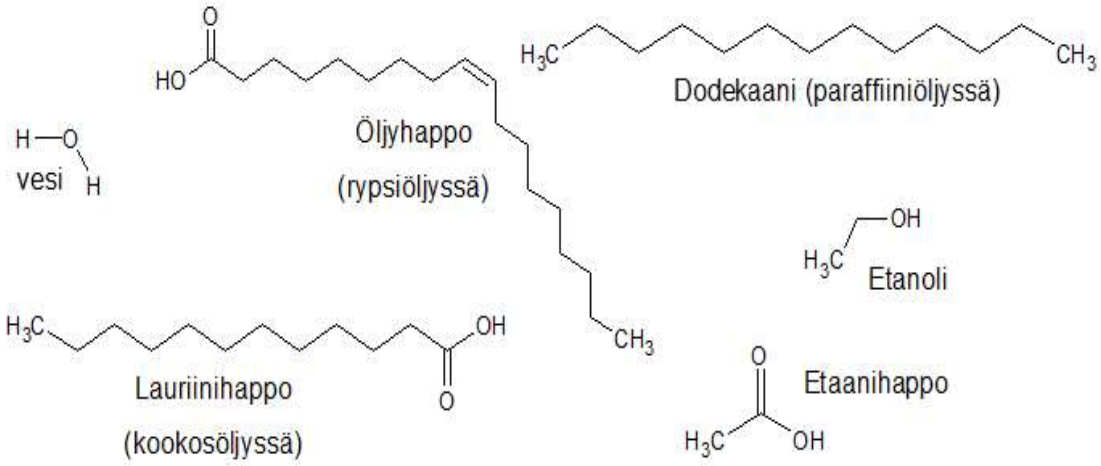
Poolisuutta tarkasteltaessa tutkitaan elektronien jakautumista sidoksessa tai molekyylissä. Poolisessa ***sidoksessa*** *elektronit ovat epätasaisesti jakautuneet kahden toisiinsa sitoutuneen atomin välissä. Poolittomassa* ***sidoksessa*** *kahden atomin välillä olevat elektronit ovat tasaisesti jakautuneet.*

Epätasaisesti jakautuneet elektronit johtavat positiivisiin ja negatiivisiin osittaisvarauksiin ***molekyylissä*** *ja molekyyli luokitellaan pooliseksi. Mikäli elektronien jakauma on jokseenkin tasan, molekyylissä ei esiinny pysyviä osittaisvarauksia ja molekyyli on pooliton. Jos kaikki sidokset ovat poolittomia, on molekyylikin pooliton. Mutta jos osa sidoksista on poolisia, voi molekyyli olla poolinen tai pooliton*

Miten poolisuus vaikuttaa aineen liukoisuuteen?

Pääsääntöisesti pooliset molekyylit liukenevat poolisiin liuottimiin ja poolittomat poolittomiin liuottimiin.

Selvitä rakennekaavat opettajan tarjoamille liuottimille. Mitkä niistä ovat poolisia ja mitkä poolittomia?



Miten voit kokeellisesti selvittää, onko jokin molekyyli poolinen vai pooliton?

Molekyylin poolisuuden pystyy päättelemään kokeellisesti uuttamalla tutkittavaa ainetta tunnetusti pooliseen ja tunnetusti poolittomaan liuottimeen.

Mitä erilaisia aineiden erotusmenetelmiä tiedät?

Tässä on hyvä käydä läpi ainakin uuttaminen erotussuppilon avulla. Myös haihdutuksesta ja tislauksesta voi olla hyötyä, jotta voi työn jälkeen pohtia värillisten liuosten jatkojalostamista.

AINEET

Tutkittavat kasvit:

- Mansikkaa, mustikkaa, viinimarjoja (esim. pakasteena)
- Porkkana, paprika, punajuuri, tuore persilja tai muu tuore yrtti
- Chilijauhe, kurkuma

Kasveja voi vaihtaa saatavuuden mukaan, kunhan valitsee sekä poolisia että poolittomia väriaineita sisältäviä. Jokseenkin kaiksita liukenee jotain pooliseen faasiin, mutta osa kasveista ei sisällä poolittomaan kerrokseen liukenevia aineita. Pooliseen liukenee erityisen hyvin antosyaanivärejä marjoista, punajuuresta, punakaalista ja joidenkin hedelmien värikkäistä kuorista.

Poolittomaan liukenee erityisesti Klorofylli kaikista vihreistä kasveista ja yrteistä sekä Karotenoidit (useita eri yhdisteitä), joita esiintyy porkkanassa, paprikassa, tomaatissa ja syksyn värjäämistä lehdistä.

Sopikaa opettajan kanssa mitä kukin työpari tutkii. Kaikkien ei tarvitse tutkia kaikkia kasveja, vaan tuloksia voidaan koostaa lopuksi.

Tutkimme kasvit:

Valitse kaksi liuotinta työtä varten.

1. _____

2. _____

Perustele liuottimien valinta:

Liuotinvaihtoehdot:
Hanavesi
Ruokaöljy (sis. öljyhappoa)
Etanoli
Etikka (sis. etaanihappoa)
Kookosrasva (sulamispiste < 30ºC, sis. lauriinihappoa)
Parafiiniöljy (sis dodekaania)
Tislattu vesi

Liuottimien valinta kannattaa aina kirjata muistiin ja myös kirjata, missä järjestyksessä liuottimet ovat erotussuppilossa. Vesi on tiheämpää kuin öljyfaasit (ja niiden alapuolella), mutta paraffiiniöljy on etanolia tiheämpää. Tarpeeksi puhtaalla etanolilla uuttaneet saattavat saada poolisen faasin päälimmäiseksi ja testikierroksilla mehukkaiden marjoje väriä päätyi sekä vesifaasina pohjalle että etanolifaasina parafiiniöljyn päälle.

Ruokaöljy liuottimena on ongelmallinen värinsä vuoksi, mutta sen voi silti tarjota "kompana" vaihtoehdoksi

TYÖN SUUNNITTELU

Seuraavat **välineet** ovat saatavilla. Alleviivaa ne välineet, joita aiotte käyttää.

- Veitsi, leikkuulauta, sakset
- Huhmare ja survin
- Suodatinpaperia
- Suppilo
- Keitinlaseja
- Pipettejä
- Lusikoita
- Statiivi, koura ja pidike
- Erotussuppilo

Vertaile samasta kasvista eri liuottimiin uutettuja värejä. Voit myös yhdistää samasta kasvista uutetut liuokset erotussuppilossa ja ravistaa. **ÄLÄ laita kiinteitä** kasvin osia erotussuppiloon, ettei suppilon hana tukkeudu! Muuttuuko värin liukoisuus erotussuppilossa?

Näin aiomme uuttaa kasveista värit valitsemiimme liuottimiin:

Käy läpi suunnitelma ennen kuin annat opiskelijoiden toteuttaa. Värit erottuvat hyvin myös erikseen eri liuottimilla uuttamalla kahdessa keitinlasissa, joten uutto onnistuu monella tavalla.

TYÖN SUORITUS

Näin käytännössä teimme. Kirjatkaa myös havaintoja. Muuttuiko toteutus suunnitellusta työn edetessä?

POHDITTAVAKSI TYÖN JÄLKEEN

Kootkaa ryhmän tulokset taulukkoon ja vastatkaa sen pohjalta kysymyksiin.

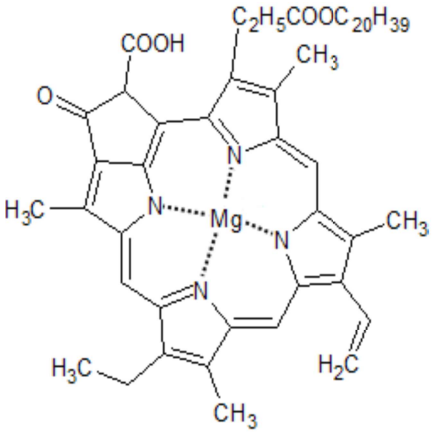
Mistä kasveista erottui väriä pooliseen liuottimeen? Entä mistä poolittomaan?

Liukenevatko saman väristen kasvien väriaineet samaan liuottimeen?

Mitä voit päätellä värimolekyylien poolisuudesta niiden liukoisuuden perusteella?

Etsi tutkimiesi kasvien väriainemolekyyleistä rakennekaavoja netistä. Selittääkö molekyylien rakenne niiden liukoisuutta?

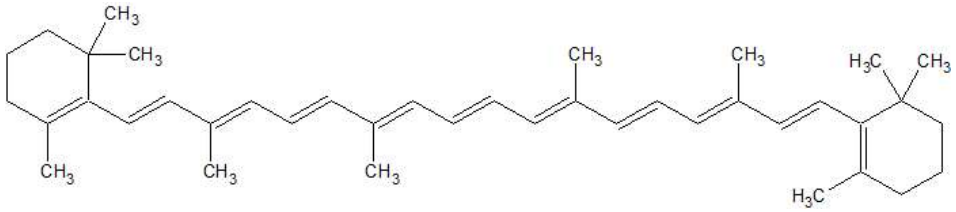
Kasvien väriaineita on monenlaisia, mutta niistä löytyy pääasiassa kolmen tyypin yhdisteitä: Porfyriinit, karotenoidit ja flavonoidit. Flavonoideista osa monet ovat vesiliukoisia, mutta kahden ensimmäisen ryhmän värit ovat jokseenkin poolittomia ja liukenevat poolittomaan liuottimeen.



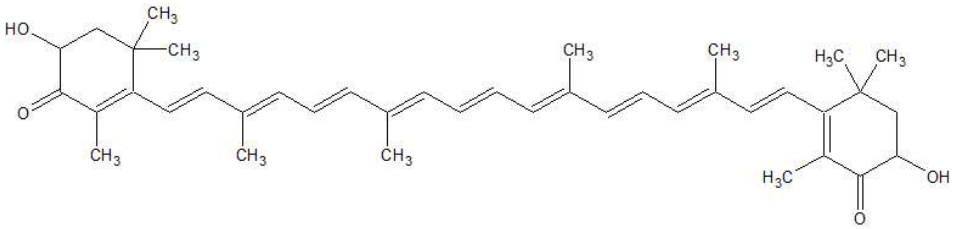
Vihreistä lehdistä ja tuoreista yrteistä voidaan uuttaa klorofylliä. Karoteeneja on esimerkiksi porkkanassa ja värikkäissä syyslehdissä antamassa keltaisen ja oranssin sävyjä. Ksantofylliä on myös keltaisissa lehdissä. Punaista lykopeeniä on esimerkiksi tomaatissa, paprikassa ja chilissä ja sitä voi uuttaa myös kuivatuista mausteista. Näitä uuttaessa myös poolinen faasi herkästi värjäytyy muista kasvien sisältämistä aineista.

Vesiliukoisia antosyaaneja voi uuttaa esimerkiksi marjoista, punakaalista ja punajuuresta. Näitä uuttaessa pooliton faasi jää siististi värittömäksi.

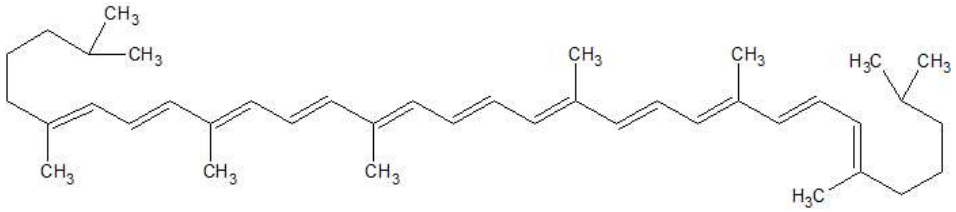
Klorofylli (vihreä)



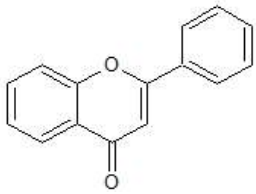
β-karoteeni (keltainen)

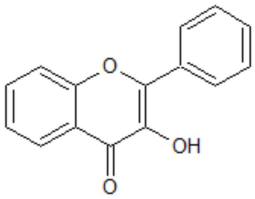


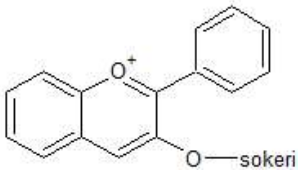
Ksantofylli (keltainen)



Lykopeeni (punainen)







Flavonit (keltaisia) *Favonolit (keltaisia)* *Antosyaanit (punaisia, sinisiä, violetteja jne)*

Flavonit, flavonolit ja antosyaanit sisältävät usein hydroksyyliryhmiä korvaamassa perusrakenteessa bentseenirenkaiden vetyjä. Nämä tekevät yhdisteistä poolisia ja siten vesiliukoisia. Antosyaanit ovat usein luonnon indikaattoreita, joten niiden kohdalla liuottimen pH voi vaikuttaa saadun liuoksen väriin.