Kehittämistutkimus: Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden kokeelliset työt lukion kemian oppimisen tukena

Pro gradu -tutkielma
Heli Vilén
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Kemian laitos
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Helsingin Yliopisto
04/2015
Ohjaajat: Maija Aksela
Mikko Oivanen

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta	Laitos/Institution– Department Kemian laitos	
Tekijä/Författare – Author Heli Vilén		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Kehittämistutkimus: Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden kokeelliset työt lukion kemian oppimisen tukena		
Oppiaine /Läroämne – Subject Kemia (aineenopettajan suuntautumisvaihtoehto)		
Työn laji/Arbetets art – Level pro gradu -tutkielma	Aika/Datum – Month and year 04/2015	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 69 + 30

Tiivistelmä/Referat – Abstract

Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiot ovat yksi keskeisimmistä reaktiotyypeistä orgaanisessa kemiassa. Nämä reaktiot ovat tärkeä orgaanisen kemian sisältö myös lukion opetussuunnitelman perusteissa.

Kokeellisuus on kemialle luonteenomainen tiedonhankintamenetelmä, ja lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaan sen tulee olla luonteenomaista myös kemian opetukselle. Laboratorio on hyvin uniikki oppimisympäristö, joka mahdollistaa abstraktien käsitteiden havainnollistamisen ja tätä kautta niiden oppimisen. Varsinaisten opetettavien sisältöjen lisäksi laboratoriosta voi parhaimmillaan oppia muun muassa ongelmanratkaisukykyä, luovuutta, kriittisyyttä ja ryhmätyöskentelyn taitoja. Kaikki nämä taidot ovat osa lukion opetussuunnitelman perusteiden arvopohjaa sekä kriittisen ja vastuullisen kansalaisen kasvatusta.

Tässä kehittämistutkimuksessa tutkittiin sitä, millaista kokeellisuutta orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden opetuksessa käytetään. Ongelma-analyysi jaettiin kahteen osaan: teoreettiseen ja empiiriseen. Teoreettinen ongelma-analyysi suoritettiin perehtymällä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin, kokeellisen kemian opetuksen sekä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden oppimisen ja opettamisen tutkimuskirjallisuuteen. Empiirinen ongelma-analyysi toteutettiin tarveanalyysinä valituista lukion oppikirjoista.

Oppikirja-analyysista huomattiin, että orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden kokeelliset työt keskittyivät täysin hapettumiseen, josta vielä suurelta osin alkoholien hapettumiseen. Suurimmassa osassa hapetustöitä reagenssina käytettiin karsinogeenisuutensa vuoksi kouluissa kiellettyä reagenssia. Oppikirjoissa ei ollut yhtään työtä, joka olisi liittynyt orgaanisten yhdisteiden pelkistymiseen. Lisäksi kaikki työt olivat luonteeltaan keittokirjamaisia.

Teoreettisen ongelma-analyysin perusteella kokeellista työskentelyä voi harjoittaa neljän eri laboratoriopedagogian mukaan. Näistä selvästi suosituin on keittokirjamainen tyyli, jossa opiskelija suorittaa työn reseptinomaisesti. Tämä ei kuitenkaan mahdollista lainkaan opiskelijan omien ideoiden kehittelyä tai testausta eivätkä työt näin tue mielekästä oppimista. Ne eivätkä myöskään ole nykyisen konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaisia, jonka mukaan oppiminen vaatii aktiivista tiedonkäsittelyä ja tulkintaa. Tutkijat ovat ehdottaneet yhdeksi mahdolliseksi ratkaisuksi tutkimuksellista lähestymistapaa.

Ongelma-analyysien tuottamien tulosten pohjalta syntyi kolme tutkimuksellista, kokeellista työtä ja niihin työohjeet. Yhdessä työssä tutkitaan avoimen tutkimuksellisuuden avulla hedelmien tummumista, toisessa suunnitellaan oma tutkimus alkoholien hapettumisesta annetun materiaalin pohjalta ja kolmannessa tehdään orgaaninen synteesi, jossa bentsaldehydi hapetetaan bentsoehapoksi uuden, turvallisemman hapettimen avulla. Teorian haastavuuden sekä tutkimuksellisuuden aste vaihtelee töiden välillä.

Lukion uuden opetussuunnitelman perusteiden myötä opiskelijaa osallistavan ja mielekästä oppimista edistävän tutkimuksellisen kokeellisuuden rooli tulee yhä keskeisemmäksi, joten sen periaatteita noudattavien töiden kehittäminen on kemian opetuksen tulevaisuuden kannalta tärkeää.

Avainsanat – Nyckelord – Keywords
Kemia, kemian opetus, kehittämistutkimus, orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiot, kokeellisuus, tutkimuksellisuus

Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited
Kumpulan tiedekirjasto ja Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto / E-thesis

Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information
Ohjaajat: Maija Aksela ja Mikko Oivanen

Sisällys

1. Johdanto 7
2. Kehittämistutkimus 9
   2.1 Tutkimuskysymykset 10
   2.2 Kehittämistutkimuksen toteutus 11
   2.3 Tarveanalyysi 13
      2.3.1 Sisällönanalyysi 13
      2.3.2 Tarveanalyysin suorittaminen 13
   2.4 Kokeellisten töiden kehittäminen 14
3. Orgaanisen kemian hapetus-pelkistysreaktiot 15
   3.1 Hapettuminen ja pelkistyminen orgaanisessa kemiassa 16
      3.1.1 Alkoholien hapettuminen 19
      3.1.2 Karbonyyliyhdisteiden hapettuminen ja pelkistyminen 20
      3.1.3 Alkeenien hapettuminen ja pelkistyminen 22
      3.1.4 Hapetus-pelkistysreaktioiden mekanismit 24
4. Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden oppiminen ja opetus 31
   4.1 Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiot lukion opetussuunnitelman perusteissa 31
   4.2 Orgaanisen kemian hapetus-pelkistysreaktioiden opettamisen ja oppimisen tutkimus 32
   4.3 Mielekäs oppiminen 34
   4.4 Oppimissykli 35
5. Kokeellisuus kemian opetuksessa 38
   5.1 Kokeellisuus lukion opetussuunnitelman perusteissa 39
   5.2 Kokeellisuuden hyödyt ja haasteet 40
   5.3 Kokeellisen työskentelyn avulla oppiminen 40
   5.4 Tutkimuksellisuus 43

6. Tulokset 46
6.1 Tarveanalyysi 46
6.1.1 Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin liittyvät kokeelliset työt 46
6.2 Tuotetut kokeelliset työt 49
6.3 Tuotettujen töiden tutkimuksellinen opettaminen 51
7. Johtopäätökset ja pohdinta 55
7.1 Tarveanalyysi 55
7.2 Teoreettinen ongelma-analyysi 57
7.3 Tuotetut kokeelliset työt 58
7.4 Luotettavuus 59
7.5 Yhteenveto 59
Lähteet 62
Liitteet 70

Lyhenneluettelo

KE1	Valtakunnallinen kemian pakollinen kurssi lukiossa
KE3	Valtakunnallinen kemian syventävä kurssi lukiossa
PPO	Polyfenolioksidaasi, oksidoreduktaaseihin kuuluva entsyymi

Kuvat

Kuvat 1, 22 Tutkimuksen kehittämiskuvaus ja tutkielmassa käytetty oppimissykli, Heli Vilén

Kuvat 3, 4 Ruutukaappauskuva, tehty ohjelmalla: Edumol <http://www.edumol.fi/>, Heli Vilén

Kuvat 2, 5-13 Hapetus-pelkistysreaktion määritelmä ja keskeisiä hapetus-pelkistysreaktioita McMurry (2008).

Kuvat 14, 17 Polyfenolioksidaasin aktiivisen kohdan rakenne ja kineettinen reaktiomekanismi PPO:n reaktioista monofenolien ja *o*-difenolien kanssa (Espín, García-Ruiz, Tudela, Varón, & García-Cánovas, 1998). Kopioitu (Espín *et al*., 1998) luvalla. Tekijänoikeudet (1998) American Chemical Society.

Kuvat 15, 16 Monofenolien hydroksylaatio *o*-difenoleiksi ja *o*-difenolien hapettuminen *o*-kinoneiksi (Mesquita & Queiroz, 2013).

Kuvat 18,19 Alkoholin hapettaminen karbonyyliyhdisteeksi kaliumpermanganaatilla (Clayden, Greeves, & Warren, 2012).

Kuva 20. Bentsaldehydin hapetus bentsoehapoksi nukleofiilisellä additiolla (Gandhari, Maddukuri, & Vinod, 2007).

Kuva 21. Kemiallisen tiedon kolme tasoa (Johnstone, 1991).

Kuva 23. Kokeellisen työn tehokkuuden arviointi (Millar, 2009).

Kuva 24. Kokeellisen työskentelyn tavoite (Tiberghien, 2000).

Taulukot

Taulukot 1, 5-9 Heli Vilén.

Taulukko 2. Bloomin uudistettu taksonomia (Anderson, Krathwohl, Airasian, Cruikshank, Mayer, Pintrich, Raths & Wittrock, 2001).

Taulukko 3. Tekemisen ja ideoinnin yhdistäminen tehokkuuden kahteen eri tasoon (Millar, 2009).

Taulukko 4. Laboratoriopedagogioiden vertailu (Domin, 1999).

Taulukko 10. Tutkimuksellisuuden arviointikaavake (Hofstein, Shore & Kipnis, 2004).

Liitteet

Liite 1. Tarveanalyysissä tutkitut oppikirjat

Liite 2. Kehitetty kokeellinen työ: Hedelmien tummuminen, opettajan ja opiskelijan ohje

Liite 3. Kehitetty kokeellinen työ: Alkoholien hapettuminen, opettajan ja opiskelijan ohje

Liite 4. Kehitetty kokeellinen työ: Bentsaldehydin hapetus bentsoehapoksi, opettajan ja opiskelijan ohje

1. Johdanto

Orgaaniset yhdisteet ja niiden reaktiot kattavat kaiken ihmiskehosta ympäröivään yhteiskuntaan. Orgaanisen kemian, sekä edelleen orgaanisen kemian hapetus-pelkistysreaktioiden ymmärtäminen, ovat osa luonnontieteellistä yleissivistystä, joka on tärkeä osa kriittisen ja vastuullisen kansalaisen kasvatusta. Lukion opetussuunnitelman perusteissa lukiokoulutuksen yleistavoitteiksi mainitaan muun muassa kyky osallistua yhteiskunnalliseen keskusteluun erityisesti ympäristö- , energiantuotanto- ja teollisuuskysymyksissä. Lisäksi opiskelijan tulisi osata tehdä omat valintansa tavoiteltavan tulevaisuuden kannalta (Opetushallitus, 2003). Yleissivistyksen lisäksi yhteiskunta tarvitsee uusia kemian huippuosaajia, jotta voimme ylläpitää korkeita elintasostandardejamme. Huippuosaaminen varmistetaan tulevaisuudessakin muun muassa huolehtimalla, että alan koulutus on mielekästä.

Kokeellisuus on kemian tieteenalalle ensisijainen tiedonhankintamenetelmä ja lukion opetussuunnitelman perusteet painottaakin kokeellisuutta luonteenomaisena osana kemian opetusta. Kokeellisen työskentelyn avulla opiskelijan tulisi osata hankkia ja tuottaa tietoa kemian ilmiöistä, sekä arvioida kerättyä tietoa kriittisesti. Oppimisympäristön tulisi olla sellainen, jossa opiskelijat voivat asettaa omia tavoitteitaan, sekä oppivat työskentelemään itsenäisesti ja yhteistoiminnallisesti erilaisissa ryhmissä sekä verkostoissa. Nämä kokeelliselle työskentelylle asetetut tavoitteet kumpuavat nykyisestä oppimiskäsityksestä, jossa oppiminen perustuu vuorovaikutteisuuteen ja aktiiviseen tiedonkäsittelyyn. (Opetushallitus, 2003)

Ymmärtääkseen kemian sisältöjä, opiskelijan täytyy osata liikkua kemian kolmitasolla (ks. luku 4.2). Hänen täytyy osata käyttää, konstruoida, analysoida, arvioida ja soveltaa tietoa erilaisten representaatioiden tai mallien avulla. Nämä kuvatut prosessit vaativat opiskelijalta korkeamman ajattelutason taitoja. Kokeellisten töiden oppimistavoitteet sekä niiden vaatima kognition taso voivat kuitenkin vaihdella suurestikin. Korkeamman tason kognitiota vaativan työn oppimistavoitteiden saavuttamiseksi opiskelija tarvitsee huomattavasti enemmän aikaa ja tukea, kuin alemman tason kognitiota vaativan työn suorittamiseen. Tämän tutkielman tavoite on edistää lukiolaisten ymmärrystä orgaanisen kemian hapetus-pelkistysreaktioiden käsitteistä mielekkään oppimisen ja korkeamman tason ajattelutaitojen avulla. Tutkielmassa on sovellettu tavoitetta tukevia opetusmenetelmiä oppimisympäristöön käyttämällä tutkimuksellista, kokeellista työskentelyä, jossa opiskelija osallistuu aktiivisesti työn suunnitteluun, toteutukseen ja arviointiin, sekä luvussa 4.4 esitettyä oppimissykliä.

Tämän tutkielman seuraavassa luvussa syvennytään kehittämistutkimuksen piirteisiin, ja sen varsinaiseen käytännön toteutukseen. Kolmannessa luvussa määritellään orgaanisten yhdisteiden hapettuminen ja pelkistyminen, sekä käydään läpi tutkielman kannalta keskeisimmät hapetus-pelkistysreaktiot ja kehitettyjen töiden reaktiomekanismit. Neljännessä luvussa selvitetään orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden paikkaa lukion opetussuunnitelmassa, sekä aiheen opetuksen ja oppimisen aikaisempaa tutkimuskirjallisuutta. Luvussa tutustutaan myös mielekkään oppimisen teoriaan sekä esitellään tutkielmassa käytetty oppimissykli. Viidennessä luvussa käsitellään kokeellisuus kemian opetuksessa ja oppimisen tukena, sekä sen rooli lukion opetussuunnitelmassa. Luvussa tutkitaan kokeellisen kemian hyötyjä ja haasteita, sekä syvennytään tutkimukselliseen laboratoriopedagogiaan. Kuudennessa luvussa kerrotaan tämän kehittämistutkimuksen empiirisen ongelma-analyysin tulokset, ja esitellään tutkimuksen kehittämistuotoksena syntyneet kolme kokeellista työtä sekä niiden tutkimuksellinen opettaminen. Viimeisessä luvussa esitetään tutkimuksen johtopäätökset ja arvioidaan kehittämistuotoksen onnistuneisuutta ja luotettavuutta. Kehitettyjen tutkimuksellisten töiden työohjeet ovat tutkielman lopussa liitteinä. Tässä tutkielmassa on keskitytty hiiliyhdisteiden osittaiseen hapettumiseen, koska orgaanisten yhdisteiden täydellisestä hapettumisesta, eli palamisesta, on jo runsaasti tutkimusta (Chin-Quen & Hsiao-Ching, 2010; Lampiselkä, 2003). Hiiliyhdisteiden osittaisella hapettumisella tarkoitetaan sellaista hapettumista, jossa molekyylin hiilirunko säilyy ehjänä.

2. Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on opetuksen tutkimuksen saralla uusi ja nuori menetelmä. Ensimmäiset julkaisut ovat 1990 luvun alkupuolelta, mutta vasta 2000 luvulla tyyli alkoi todella kasvattaa suosiotaan ja julkaisujen määrä kasvoi (Pernaa, 2013). Kirjallisuudessa sanotaan kehittämistutkimuksen tulleen jäädäkseen, ja sen uskotaan antavan vastauksia kysymyksiin, joihin ei ole voitu saada vastauksia perinteisin kasvatustieteellisin tutkimusmenetelmin (Collins, Joseph, & Bielaczyc, 2004; Edelson, 2002; Wang & Hannafin, 2005).

Opetuksen tutkimus on yleensä kaukana opetustyön jokapäiväisistä ongelmista sekä tarpeista, ja sen tulokset ovat harvoin sovellettavissa suoraan opetukseen. Kehittämistutkimuksen etu on se, että se tuo teoreettista opetuksen tutkimusta sekä opetuksen käytäntöä yhteen. Kehittämistutkimuksen kohteet nousevat aidoista muutoksen tarpeista autenttisista luokkahuonetilanteista, joten tutkimustulokset ovat usein suoraan sovellettavissa käytäntöön, ja kehittäminen todella tuottaa opetusta edistävää tietoa. (Collins *et al*., 2004; The Design-Based Research Collective, 2003)

Kehittämistutkimus on monimutkainen ja monimenetelmällinen prosessi, eikä sille ole yksiselitteistä määritelmää. Kaikille kehittämistutkimuksille yhteisiä piirteitä ovat Juutin ja Lavosen (2006) mukaan:

i) Iteratiivinen kehittäminen syntyy muutoksen tarpeesta
ii) Kehittäminen johtaa käytettävään tuotokseen
iii) Kehittäminen tuottaa opetusta edistävää tietoa (Juuti & Lavonen, 2006).

Edelson (2002) korostaa kehittämistutkimuksen syklistä luonnetta. Edellisestä syklistä kerätään mahdollisimman paljon informaatiota seuraavaa varten. Yksi sykli koostuu Edelsonin (2002) mukaan kolmesta vaiheesta:

1. Ongelma-analyysi
2. Kehittämisprosessi
3. Kehittämistuotos

Ongelma-analyysissä määritellään tutkimuksen tarpeet ja tavoitteet sekä selvitetään tutkimuksen kontekstin asettamat rajat, haasteet ja mahdollisuudet. Vaihe sisältää usein sekä empiirisen että teoreettisen osion, joiden tehtävänä on varmistaa, että kehittämistarve todella nousee aidosta ongelmasta. Kehittämisprosessin tehtävänä on kuvata kehittämistutkimuksen käytännön toteutus ja eteneminen. Kehittämistuotos on jokin kehitetty artefakti. Se voi olla esimerkiksi opetusvideo, tunti tietylle luokalle, tai tässä tutkielmassakin kehitetty kokeellisen työn ohje. Konkreettisen kehittämistuotoksen lisäksi kehittämistutkimuksen tavoite on luoda uutta opetuksen teoriaa.

Edelson (2002) huomauttaa, että syklit eivät välttämättä toteudu esitetyssä järjestyksessä, eivätkä siististi eroteltuina prosesseina. Myös niiden lukumäärä vaihtelee. Pienissä tutkimuksissa syklejä voi olla vain kaksi, laajemmissa runsaasti enemmän. Esimerkiksi Pro Gradu tutkielmissa on tyypillisesti kaksi sykliä (Pernaa, 2013).

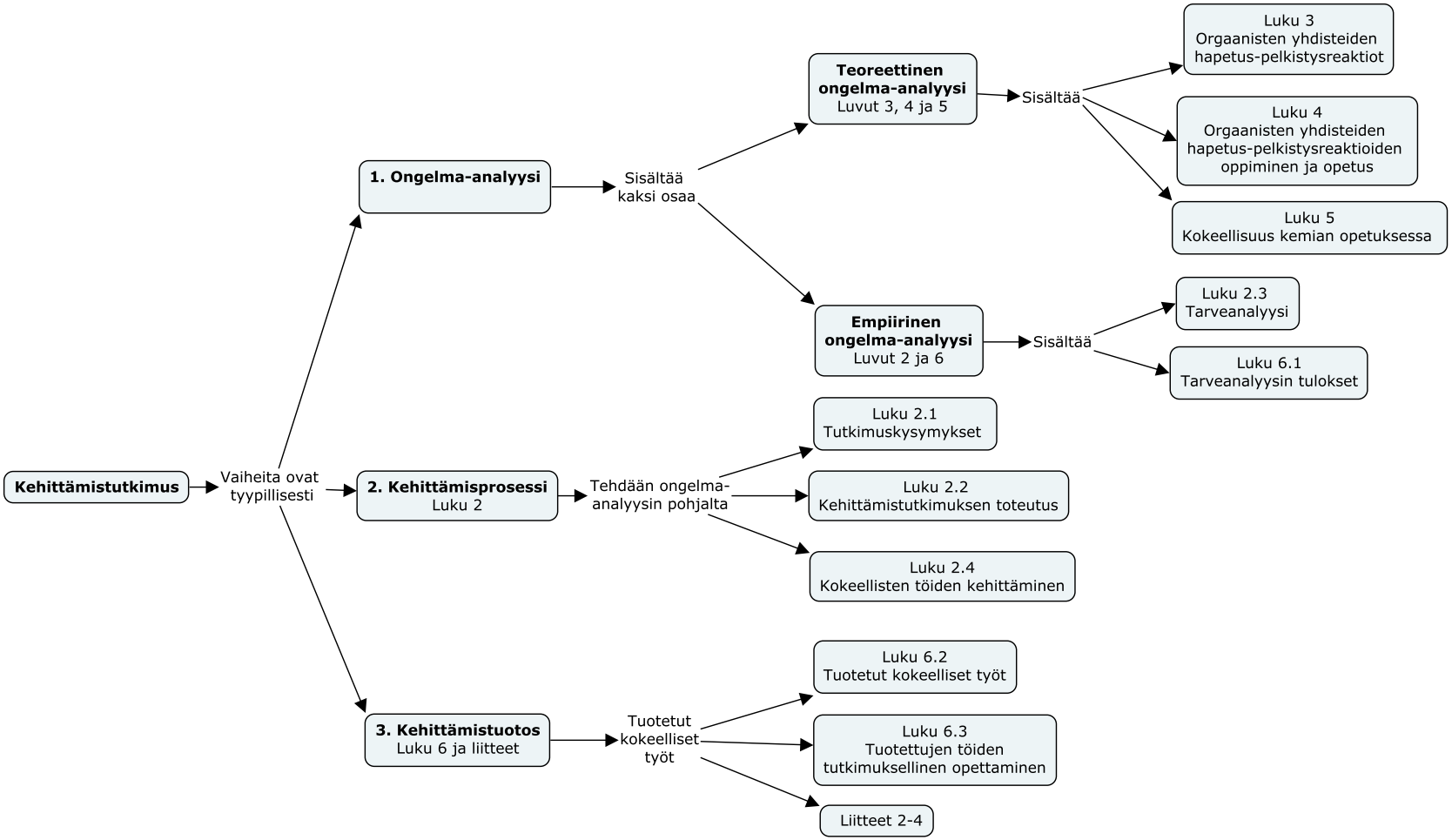
Kehittämistutkimusta on kritisoitu tulosten luotettavuudesta ja vakiintuneiden tutkimuskäytänteiden puutteesta verrattuna perinteisiin empiirisiin tutkimuksiin. Näitä kahta tutkimusmenetelmää ei kuitenkaan tulisi arvioida samoin perustein, sillä kehittämistutkimuksen tavoite eroaa empiirisen tutkimuksen tavoitteista. Kehittämistutkimuksen tavoitteena on kehittää nimenomaan sellaisia teorioita, joita ei perinteisillä tutkimuksilla voida tuottaa. Laadullisia osioita sisältävän kehittämistutkimuksen luotettavuustarkasteluun voi soveltaa esimerkiksi uskottavuuden, siirrettävyyden, luotettavuuden ja varmuuden sekä vahvistettavuuden käsitteitä reliabiliteetin ja validiteetin sijaan. (Edelson, 2002; Golafshani, 2003; Pernaa, 2013)

2.1 Tutkimuskysymykset

1. Millaisia kokeellisia töitä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin liittyy lukion oppikirjoissa?
2. Millaisilla kokeellisilla töillä voidaan tukea mielekästä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin liittyvää kemian opetusta?

2.2 Kehittämistutkimuksen toteutus

Tässä tutkielmassa ongelma-analyysi sisältää sekä teoreettisen että empiirisen vaiheen (kuva 1). Teoreettinen ongelma-analyysi suoritetaan perehtymällä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden, kokeellisen kemian opetuksen sekä aiheen opettamisen ja oppimisen aikaisempaan tutkimustietoon. Empiirinen ongelma-analyysi, eli tarveanalyysi, suoritetaan tekemällä aineistolähtöinen sisällönanalyysi valituista lukion ensimmäisen ja kolmannen kurssin oppikirjoista. Sisällönanalyysin suorittamisesta kerrotaan tarkemmin luvussa 2.3. Empiirisen ongelma-analyysin on tarkoitus antaa vastaus ensimmäiseen tutkimuskysymykseen (ks. luku 2.1), ja vastaavasti teoreettisen ongelma-analyysin on tarkoitus antaa vastaus toiseen tutkimuskysymykseen. Kehittämisprosessi kuvataan luvuissa 2.1, 2.2 sekä 2.4, ja kehittämisen tuloksena saatava kehittämistuotos kuvaillaan luvussa 6. Tuotoksen onnistuneisuutta arvioidaan vertaamalla sitä ongelma-analyysin osoittamiin tutkimuksen tavoitteisiin ja tarpeisiin. Tämän pro gradu -tutkielman on tarkoitus toimia tutkimuksen raportointina.



Kuva 1. Tutkimuksen kehittämiskuvaus

2.3 Tarveanalyysi

2.3.1 Sisällönanalyysi

Sisällönanalyysi on laadullisen tutkimuksen perusmenetelmä. Sisällönanalyysin tavoite on kuvata tekstin olemusta analyyttisesti sekä objektiivisesti pilkkomalla ja pelkistämällä se ensin pieniin osiin (redusointi), jonka jälkeen pilkottu aineisto käsitteellistetään (klusterointi) ja järjestetään uudelleen (abstrahointi). Se on lähtökohtaisesti kvalitatiivinen menetelmä, mutta siihen voidaan sisällyttää aineistoa kvantifoivia vaiheita, jossa jotakin tekstin tai dokumentin sisältöä kuvataan määrällisesti. Tässä tutkielmassa sisällönanalyysi on tarveanalyysin suorittamisen apuna käytetty aineistolähtöinen menetelmä, mutta se voidaan suorittaa myös teorialähtöisesti, ja viitata näin laajempaan teoreettiseen viitekehykseen (Tuomi & Sarajärvi, 2002).

2.3.2 Tarveanalyysin suorittaminen

Tarveanalyysissä analysoitiin lukion ensimmäisen ja kolmannen kurssin oppikirjoja (liite 1). Yhteensä analysoitiin kahdeksan eri kirjaa. Tarveanalyysi suoritettiin tekemällä aineistolähtöinen sisällönanalyysi (ks. edellinen luku) kolmivaiheisena prosessina: aineiston redusointi, klusterointi ja abstrahointi.

Aineiston redusoinnissa analysoitavasta sisällöstä karsitaan tutkimuksen kannalta epäolennainen aines pois (Tuomi & Sarajärvi, 2002). Tässä tutkielmassa aineiston redusointi tehtiin valikoimalla tutkituista oppikirjoista sellaiset kokeelliset työt, joissa käsiteltiin orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioita. Orgaanisten yhdisteiden palaminen (niin sanottu yhdisteen täydellinen hapettuminen) jätettiin tämän tutkielman ulkopuolelle. Tutkielman aiheeksi rajattiin sellainen orgaanisten yhdisteiden hapettuminen, jossa molekyylin hiilirunko säilyy ehjänä (niin sanottu yhdisteen osittainen hapettuminen). Kokeelliseksi työksi luettiin myös opettajan demonstraatiot. Analyysissä ei huomioitu sellaisia ilmaisuja, joissa ei ollut täysin selvää, oliko kyse juuri orgaanisten yhdisteiden hapettumisesta ja/tai pelkistymisestä.

Aineiston klusteroinnissa eli ryhmittelyssä redusoitu aineisto ryhmitellään alaluokiksi ja edelleen yläluokiksi (Tuomi & Sarajärvi, 2002). Tässä tutkielmassa klusterointi suoritettiin käymällä kerätty aineisto läpi uudelleen. Aineisto ryhmiteltiin pienempiin alaluokkiin työn aihealueen sekä töissä käytetyn pedagogisen menetelmän mukaan. Lisäksi tutkittiin kokeellisten töiden lukumäärää oppikirjoittain, ja samojen töiden esiintymistä muissa oppikirjoissa. Aineiston abstrahointi eli käsitteellistäminen alkaa jo aineiston klusterointivaiheessa. Abstrahoinnin tavoite on liittää empiirinen aineisto teoreettisiin käsitteisiin (Tuomi & Sarajärvi, 2002). Tässä tutkielmassa abstrahointi on klusteroinnin osa.

Tämän tutkielman aineisto on kvantifioitu. Kirjasarjojen kokeellisten töiden lukumäärä, työn aihe ja töissä käytettyjen opetuksellisien menetelmien määrä kvantifioitiin, eli ilmaistiin määrällisesti, koska sen koettiin antavan lisätietoa orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin liittyvien kokeellisten töiden opetuksen tilasta suomalaisissa oppikirjoissa.

2.4 Kokeellisten töiden kehittäminen

Tämän kehittämistutkimuksen tarkoitus on kehittää lukioon kolme kokeellista työtä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioista. Kehitettyjen töiden ja niiden työohjeiden on tarkoitus edistää mielekästä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden oppimista. Kehittämisen taustalla ovat tutkielmassa esitetyt kokeelliseen kemian opetukseen liittyvät näkökulmat sekä tarveanalyysistä nousseet huomiot kokeellisten töiden kehitystarpeista (ks. luku 6.1 ja 7.1). Yhtenä kehittämistutkimuksen tekijän tavoitteena on ollut myös kehittää työ, jossa tehtäisiin orgaaninen synteesi, koska nykyistä orgaanisen synteesikemian opetusta pitää otteessaan yliedustettu aspiriinisynteesi. Kehittämisen fyysisinä rajoina ovat lukion välineet, resurssit sekä turvallisuus. Kehitettyjen töiden aiheet ovat lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisia, ja töihin valittu tutkimuksellinen näkökulma painottuu lukion opetussuunnitelmassa (ks. luku 5.1). Kaikki kehitetyt kokeelliset työt suunniteltiin ja testattiin huolellisesti kemian opettajankoulutusyksikön opetuslaboratorio Gadolinissa.

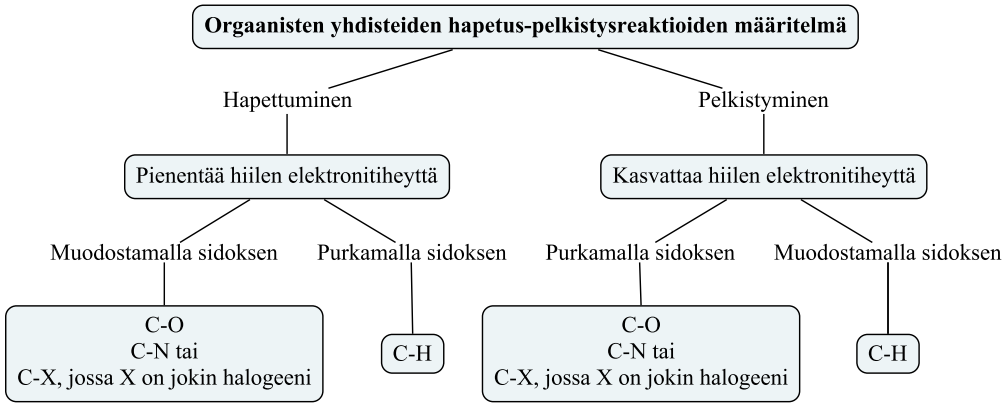
3. Orgaanisen kemian hapetus-pelkistysreaktiot

Alun perin erottelu orgaanisten ja epäorgaanisten yhdisteiden välillä tehtiin sen perusteella, oliko yhdiste elollisen luonnon tuote vai ei. Esimerkiksi ennen 1800 lukua uskottiin, että orgaanisilla yhdisteillä oli niin sanottua ”elämän voimaa”, ja vain elävät organismit voisivat tuottaa kyseisiä yhdisteitä. (Zumdah & Zumdahl, 2003, 1043) Nykykäsityksen mukaan orgaaninen kemia on hiiliyhdisteiden sekä niiden johdannaisten kemiaa (McMurry, 2008, 3). ”Elämän voima” -käsitys ei ollut kuitenkaan aivan väärässä. Jokainen elävä organismi koostuu erilaisista orgaanisista yhdisteistä, jotka osaltaan mahdollistavat elämän sellaisena kuin me sen tunnemme. Esimerkiksi elimistön rakennusaineet kuten proteiinit, rasvat, DNA ja hiilihydraatit ovat orgaanisia yhdisteitä. Niitä ovat myös elintoimintoja säätelevät hormonit kuten insuliini.

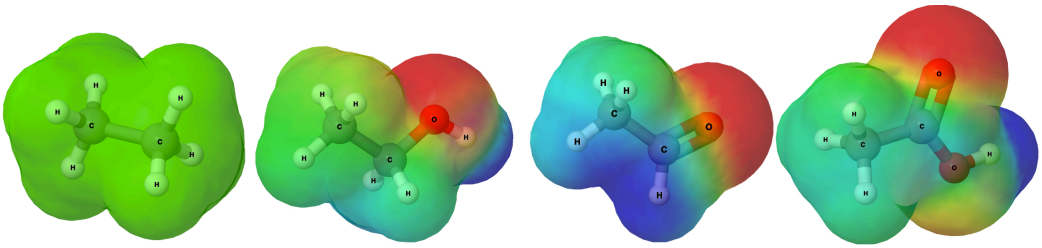
Orgaaninen kemia ja -kemianteollisuus ovat elintärkeitä myös yhteiskunnalle, joka on pitkälti riippuvainen orgaanisen kemianteollisuuden tuotteista kuten lääkkeistä, synteettisistä kuiduista, pinnoitteista ja muoveista. Myös energiantuotanto perustuu suurelta osin orgaanisiin yhdisteisiin kuten hiileen ja öljyyn. Orgaanisella kemialla on myös tärkeä rooli uusien saasteettomien energiamuotojen sekä ympäristöystävällisten tuotteiden kehittämisessä.

3.1 Hapettuminen ja pelkistyminen orgaanisessa kemiassa

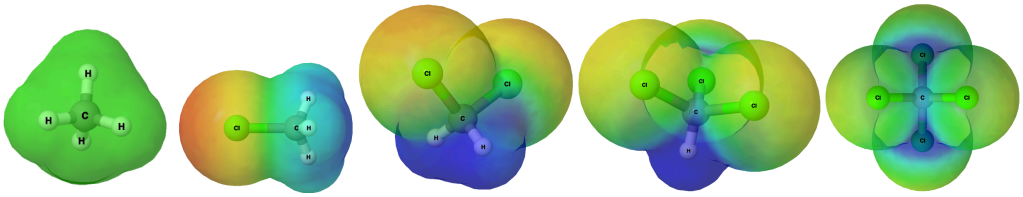
Hapettuminen määritellään elektronien luovuttamisena ja pelkistyminen elektronien vastaanottamisena. Orgaanisessa kemiassa varsinaisten muodollisten varausten laskeminen ei ole kovin käytännöllistä, joten hapetus-pelkistysreaktioita käsitellään hiilen elektronitiheyden avulla. Hapettuminen on reaktio, jonka seurauksena hiilen elektronitiheys pienenee (kuvat 2-5). Hiilen elektronitiheys pienenee, kun se muodostaa sidoksen sellaisen atomin kanssa (tyypillisesti happi, typpi tai jokin halogeeni), jolla on suurempi elektronegatiivisuusarvo (taulukko 1). Hiilen elektronitiheys pienenee myös, jos se purkaa sidoksen sellaisen atomin kanssa, jolla on pienempi elektronegatiivisuusarvo (tyypillisesti vety). Pelkistyminen taas on reaktio, jossa hiilen elektronitiheys kasvaa. Tällöin hiili muodostaa sidoksen johonkin atomiin, jolla on pienempi elektronegatiivisuusarvo, tai vastaavasti purkaa hiilen ja suuremman elektronegatiivisuus arvon omaavan atomin välisen sidoksen. (McMurry, 2008, 348)



Kuva 2. Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden määritelmä. (McMurry, 2008, 348)



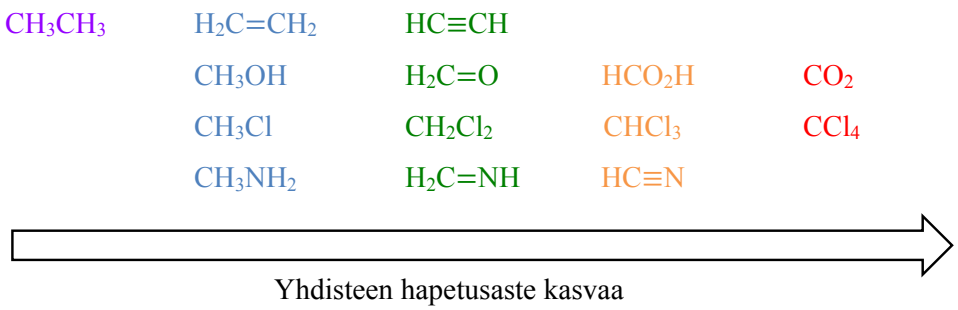
Kuva 3. Etaanin hapettaminen etaanihapoksi eli etikaksi. Järjestyksessä vasemmalta oikealle: etaanin, etanolin, etanaalin ja etaanihapon elektronitiheyskartta. Kartan väriasteikko alkaa sinisestä, elektroniköyhästä alueesta, ja kulkee vihreän sekä keltaisen kautta punaiseen, elektronirikkaaseen alueeseen.



Kuva 4. Metaanin klooraus. Järjestyksessä vasemmalta oikealle: metaanin, monokloorimetaanin, dikloorimetaanin, trikloorimetaanin ja tetrakloorimetaanin elektronitiheyskartta. Kartan väriasteikko alkaa sinisestä, elektroniköyhästä alueesta, ja kulkee vihreän sekä keltaisen kautta punaiseen, elektronirikkaaseen alueeseen.

Taulukko 1. Tyypillisimpien orgaanisissa yhdisteissä esiintyvien alkuaineiden elektronegatiivisuusarvot.

Alkuaine	Elektronegatiivisuus
Vety, H	2,1
Hiili, C	2,5
Bromi, Br	2,8
Typpi, N	3,0
Kloori, Cl	3,0
Happi, O	3,5
Fluori, F	4,0



Kuva 5. Kaavio orgaanisten yhdisteiden hapetusasteista (McMurry, 2008, 349).

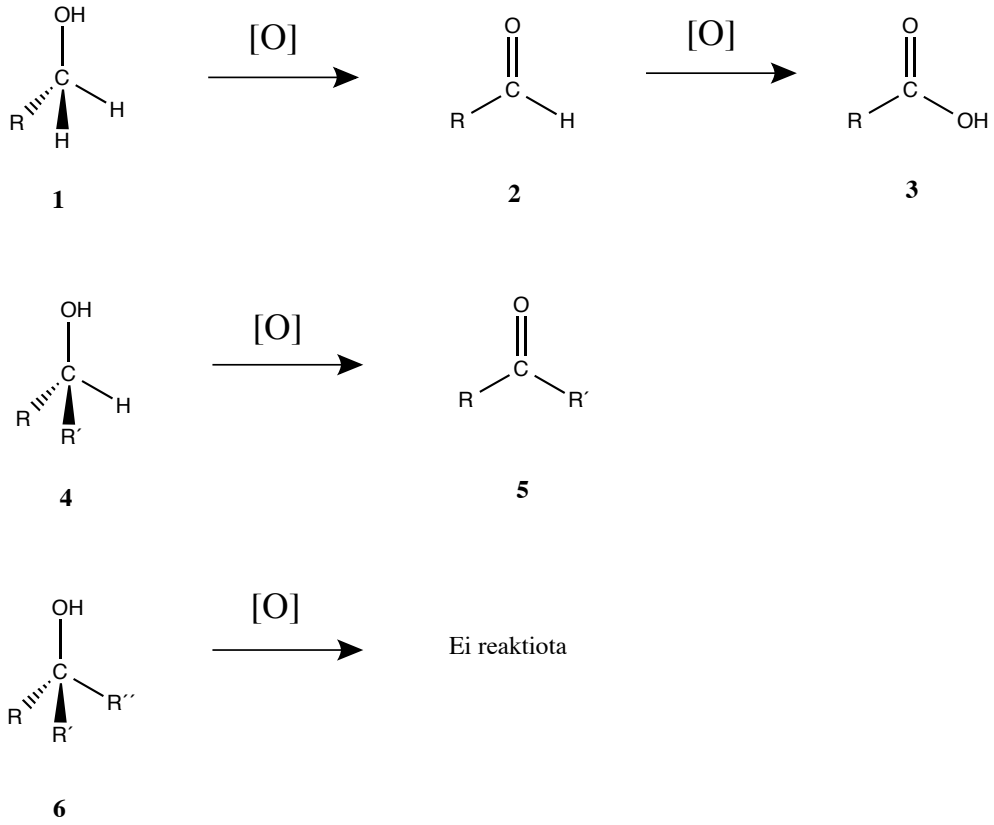
Kuvassa viisi on listattu erilaisia orgaanisia yhdisteitä sekä niiden hapetusasteita. Samalla värillä olevilla yhdisteillä on sama hapetusaste, joka kasvaa nuolen osoittamaan suuntaan violetista punaiseen. Alkaanit (kuvassa etaani) ovat hapetusasteeltaan alhaisimpia, koska niillä on hiiltä kohden maksimimäärä C-H sidoksia. Hiilidioksidi ja hiilitetrakloridi ovat hapetusasteeltaan korkeimpia, koska niillä on hiiltä kohden maksimimäärä C-O tai C-Cl sidoksia. Yhdiste hapettuu, jos se siirtyy kuvassa alemmalta hapetusasteelta korkeammalle (esimerkiksi metanolin hapetus metanaaliksi). Vastaavasti yhdiste pelkistyy, jos se siirtyy kuvassa korkeammalta hapetusasteelta pienemmälle (esimerkiksi eteenin pelkistys etaaniksi). On tärkeää muistaa, että hapetus-pelkistysreaktiot ovat käänteisiä reaktioita. Aina kun jokin yhdiste hapettuu, jonkin toisen on pelkistyttävä. Toisin sanoen hapettimet pelkistyvät hapetusreaktiossa, ja pelkistimet hapettuvat pelkistysreaktiossa.

Tyypillisiä hapettimia ovat erilaiset runsashappiset yhdisteet, kuten otsoni O_3, kaliumpermanganaatti $KMnO_4$, kromitrioksidi CrO_3, natriumdikromaatti $Na_2Cr_2O_7$, kaliumdikromaatti $K_2Cr_2O_7$, perjodihappo HIO_4, pyridiniumkloorikromaatti PCC ($C_5H_6NCrO_3Cl$), natriumhypokloriitti NaOCl, mangaanidioksidi MnO_2, peroksihapot (RCO_3H), osmiumtetroksidi OsO_4 sekä NMO eli N-Metyylimorfoliini-N-oksidi ($C_5H_{11}NO_2$). Hapettimena voi toimia myös esimerkiksi bromi (katso luku 3.1.3). Yleisesti käytettyjä pelkistimiä ovat vetykaasu metallikatalyytillä, natriumboorihydridi $NaBH_4$ ja litiumalumiinihydridi $LiAlH_4$. Hapettimen tai pelkistimen valinta riippuu monista tekijöistä, kuten reaktio-olosuhteista, muista reagensseista, saannosta, hinnasta, tehokkuudesta, käytännöllisyydestä sekä myrkyllisyydestä.

Seuraavissa luvuissa ei ole käsitelty läheskään kaikkia mahdollisia orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioita, vaan tutkielmassa on keskitytty lukiossa käsiteltäviin reaktioihin. Käsittelyä on laajennettu muutamiin keskeisimpiin orgaanisen kemian hapetus-pelkistysreaktioihin, joita ei lukiossa käsitellä. Käsittelyä laajentaa luonnostaan tässä tutkielmassa käytetty laajempi määritelmä orgaanisen kemian hapetus-pelkistys reaktioille.

3.1.1 Alkoholien hapettuminen

Alkoholit hapettuvat karbonyyliyhdisteiksi seuraavasti:



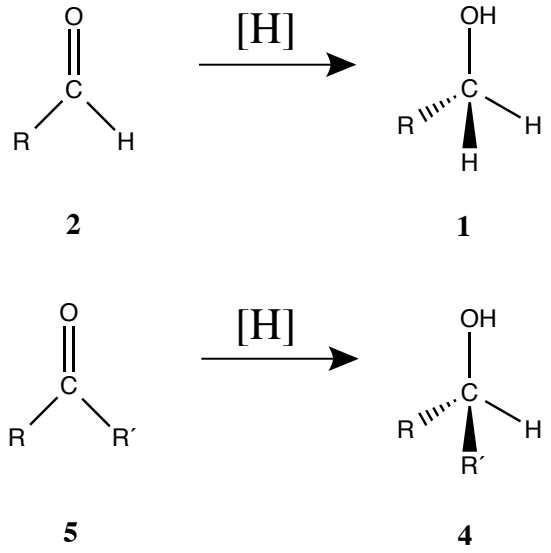
Kuva 6. Alkoholien hapettuminen. [O] on jokin hapettava reagenssi, ja R on jokin hiiliketju. (Esimerkiksi McMurry, 2008, 623).

Primääriset alkoholit (**1**) hapettuvat vastaaviksi aldehydeiksi (**2**) ja edelleen karboksyylihapoiksi (**3**) (kuva 6). Reaktion tuote riippuu reagensseista, käytettävästä hapettimesta sekä reaktio-olosuhteista. Primääristen alkoholien hapettamiseen voidaan käyttää useita eri hapettimia, esimerkiksi kaliumpermanganaattia, kromitrioksidia, natriumdikromaattia tai pyridiniumkloorikromaattia. Jotkin hapettimet ovat vahvempia hapettimia kuin toiset. Esimerkiksi kromitrioksidia käytettäessä reaktio etenee usein välittömästi karboksyylihapoksi asti. Pyridiniumkloorikromaattia käytettäessä reaktio on miedompi, ja aldehydi saadaan usein hyvin eristettyä. Sekundääriset (**4**) alkoholit hapettuvat ketoneiksi (**5**), hapettavana reagenssina voidaan käyttää esimerkiksi natriumdikromaattia etaanihapon vesiliuoksessa. Jos hapetettava alkoholi on termisesti epästabiili, hapettimena voidaan käyttää pyridiniumkloorikromaattia, jonka avulla reaktio tapahtuu alemmassa lämpötilassa. Tertiääriset alkoholit (**6**) eivät hapetu lainkaan, koska alkoholifunktionaalisuuden omaavaan hiiliatomiin ei ole kiinnittyneenä yhtään ylimääräistä vetyatomia. (McMurry, 2008, 624)

3.1.2 Karbonyyliyhdisteiden hapettuminen ja pelkistyminen

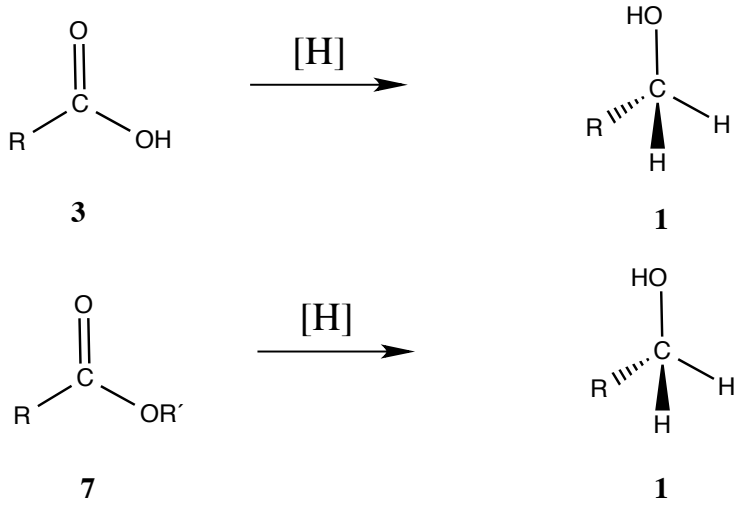
Aldehydit (**2**) voidaan hapettaa edelleen karboksyylihapoiksi (**3**) käyttämällä hapettimena esimerkiksi kaliumpermanganaattia kuumassa typpihapossa tai kromitrioksidia happamassa liuoksessa (kuva 6). Hapetuksessa voidaan käyttää myös hopeaoksidia, Ag_2O, ammoniakin vesiliuoksessa (Tollensin reagenssi), jos hapetettava reagenssi sisältää happamuudelle herkän funktionaalisen ryhmän, kuten esimerkiksi kaksoissidoksen. Ketonit (**5**) eivät voi hapettua eteenpäin, koska niillä ei ole karbonyylihiilessä yhtään ylimääräistä vetyatomia (kuva 6). (McMurry, 2008, 701)

Aldehydit (**2**) pelkistyvät primäärisiksi alkoholeiksi (**1**) ja ketonit (**5**) sekundäärisiksi alkoholeiksi (**4**) (kuva 7). Aldehydien ja ketonien pelkistämiseen voidaan käyttää useita reagensseja, esimerkiksi litiumalumiinihydridiä, mutta käytetyin on natriumboorihydridi sen turvallisuuden sekä käsittelyn suhteellisen helppouden vuoksi verrattuna muihin saatavilla oleviin pelkistimiin. (McMurry, 2008, 609)



Kuva 7. Aldehydien (**2**) ja ketonien (**5**) pelkistyminen. [H] on jokin pelkistävä reagenssi, ja R on jokin hiiliketju. (Esimerkiksi McMurry, 2008, 609).

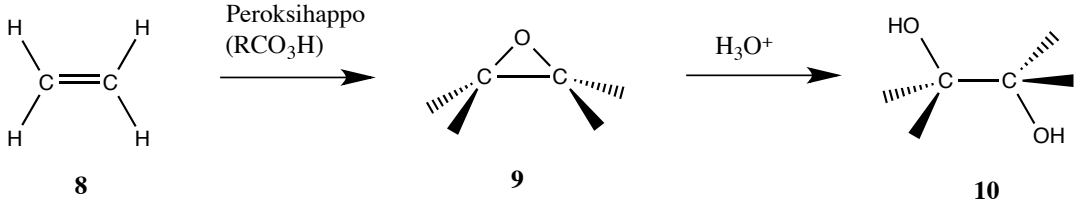
Karboksyylihapot (**3**) ja esterit (**7**) pelkistyvät primäärisiksi alkoholeiksi (**1**) (kuva 8). Aldehydien ja ketonien pelkistämiseen käytetty natriumboorihydridi pelkistää estereitä hyvin hitaasti, karboksyylihappoja se ei pelkistä lainkaan. Tähän tarkoitukseen pelkistävänä reagenssina käytetään usein litiumalumiinihydririä. (McMurry, 2008, 611)



Kuva 8. Karboksyylihappojen (**3**) ja estereiden (**7**) pelkistyminen. [H] on jokin pelkistävä reagenssi, ja R on jokin hiiliketju. (Esimerkiksi McMurry, 2008, 611).

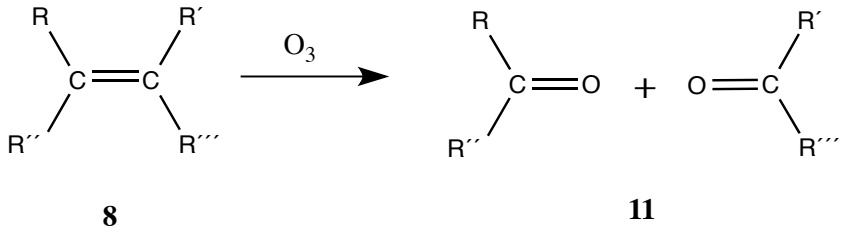
3.1.3 Alkeenien hapettuminen ja pelkistyminen

Alkeeneita (**8**) voidaan hapettaa epoksideiksi (**9**) peroksihappojen (RCO_3H) avulla (epoksidaatio). Epoksidirengas aukeaa happokatalyytin vaikutuksesta veden läsnä ollessa vastaavaksi dialkoholiksi (**10**) (hydrolyysi). Reaktion seurauksena alkeenin kaksoissidos purkautuu, ja sen molempiin hiiliatomeihin kiinnittyy hydroksyyliryhmä (alkeenien hydroksylaatio) (kuva 9). Osmiumtetroksidin avulla hyrdoksylaatio voidaan tehdä ilman epoksidirengas-välivaihetta, jolloin alkeeni hapettuu suoraan vastaavaksi dioliksi. (McMurry, 2008, 235)



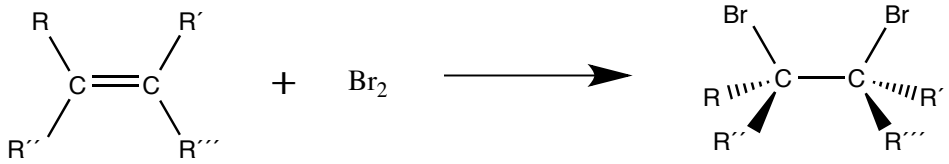
Kuva 9. Alkeenien (**8**) hydroksylaatio epoksidirengas välivaiheen kautta (McMurry, 2008, 234). R voi olla hiiliketju tai vetyatomi H.

Alkeeneita (**8**) voidaan myös pilkkoa suoraan karbonyyliyhdisteiksi (**11**) käyttämällä otsonikaasua. Tällöin alkeeni katkeaa kaksoissidoksen kohdalta kahtia, ja molempiin päihin kiinnittyy karbonyyliryhmä (kuva 10). Myös kaliumpermanganaatti pilkkoo alkeenit karbonyyliyhdisteiksi happamissa tai neutraaleissa olosuhteissa. (McMurry, 2008, 237)



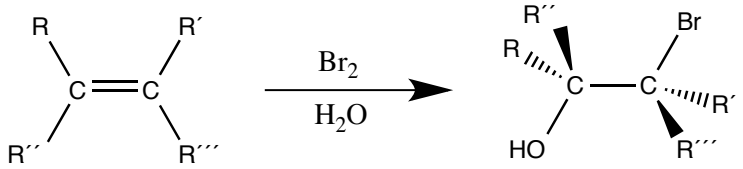
Kuva 10. Alkeenin (**8**) pilkkominen karbonyyliyhdisteiksi (**11**) otsonikaasun avulla (McMurry, 2008, 237). R voi olla hiiliketju tai vetyatomi H.

Alkeenin (**8**) halogenointi bromin tai kloorikaasun avulla 1,2-dihalidiksi (**12**) on myös hapetusreaktio, koska reaktiossa hiili muodostaa kaksi uutta sidosta halogeeniin, jolla on suurempi elektronegatiivisuusarvo kuin hiilellä (katkennut C=C sidos) (kuva 11) (McMurry, 2008, 349). Reaktiotuotteena muodostuu halohydriiniä (**13**), jos reaktio tehdään veden läsnä ollessa (kuva 12) (McMurry, 2008, 219).



8 **12**

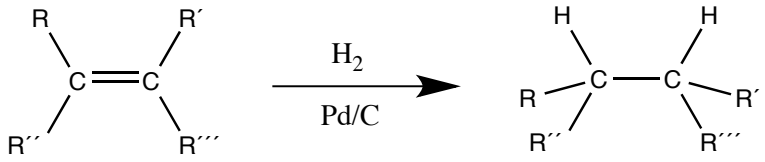
Kuva 11. Alkeenin (**8**) reaktio bromin kanssa, reaktiotuotteena muodostuu 1,2-dihalidia (McMurry, 2008, 349). R voi olla hiiliketju tai vetyatomi H.



8 **13**

Kuva 12. Alkeenin (**8**) reaktio bromin kanssa veden läsnä ollessa, reaktiotuotteena muodostuu halohydriiniä (McMurry, 2008, 219). R voi olla hiiliketju tai vetyatomi H.

Alkeenit (**8**) pelkistetään alkaaneiksi (**14**) vedytyksellä eli hydrogenaatiolla (kuva 13). Pelkistimenä käytetään yleensä vetykaasua platina- tai palladiumkatalyytin läsnä ollessa. Käytetty platinakatalyytti on usein platinadioksidia, PtO_2, (niin sanottu Adamsin katalyytti), ja palladiumkatalyytti usein hienojakoista jauhetta, johon on sekoitettu hieman hiiltä. Reaktio on suhteellisen selektiivinen, eivätkä muut pelkistettävän alkeenin sisältämät funktionaaliset ryhmät pelkisty normaalilla vedytyksellä. (McMurry, 2008, 230-231)



8 **14**

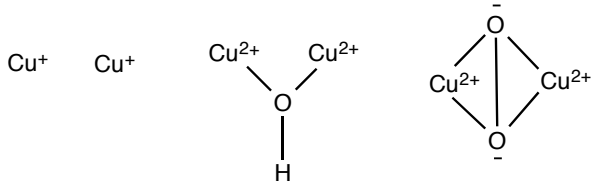
Kuva 13. Alkeenin (**8**) vedytys vetykaasulla ja palladiumkatalyytillä (McMurry, 2008, 229). R voi olla hiiliketju tai vetyatomi H.

3.1.4 Hapetus-pelkistysreaktioiden mekanismit

Esimerkkinä käsitellään kehitettyjen töiden (liitteet 2-4) reaktiomekanismit. Omenan tummuminen etenee (a) entsyymin katalysoimalla hapetusreaktiolla, alkoholien hapettaminen kaliumpermanganaatin avulla (b) tapahtuu nukleofiilisen substituution sekä eliminaation kautta, ja aldehydin hapettaminen bentsoehapoksi oxonen avulla (c) on nukleofiilinen additioreaktio. Esitetyt tapaukset eivät kata kaikkia mahdollisia hapetus-pelkistysreaktioiden mekanismeja.

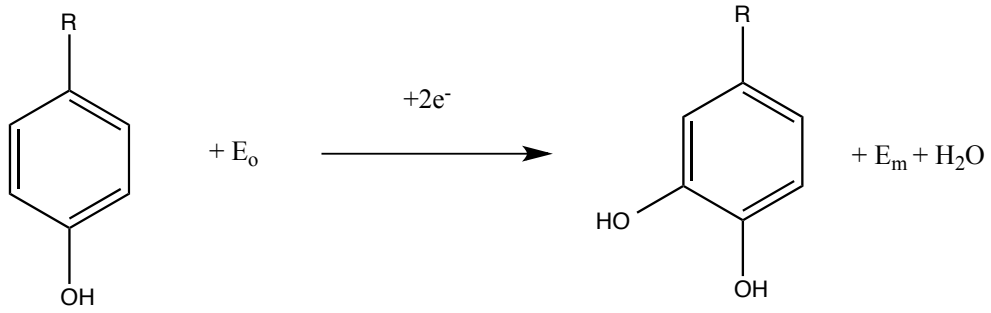
a) Omenan tummuminen -entsymaattinen hapettuminen

Omenan leikkauspinnan tummuminen on entsymaattisen hapetusreaktion seurausta. Polyfenolioksidaasi eli PPO on joukko kuparia sisältäviä entsyymejä, jotka kuuluvat oksidoreduktaaseihin (kuva 14). PPO katalysoi tummumisen kannalta kahta tärkeää reaktiota: monofenolien (**15**) hydroksylaatiota *o*-difenoleiksi (**16**) (kuva 15) sekä *o*-difenoleiden (**16**) hapettumista *o*-kinoneiksi (**17**) (kuva 16). Polyfenolioksidaaseihin kuuluva tyrosinaasi (EC 1.14.18.1) katalysoi molempia reaktioita, kun taas katekolioksidaasi (EC 1.10.3.1) katalysoi vain jälkimmäistä reaktiota. (Espín *et al.*, 1998; Mesquita & Queiroz, 2013)



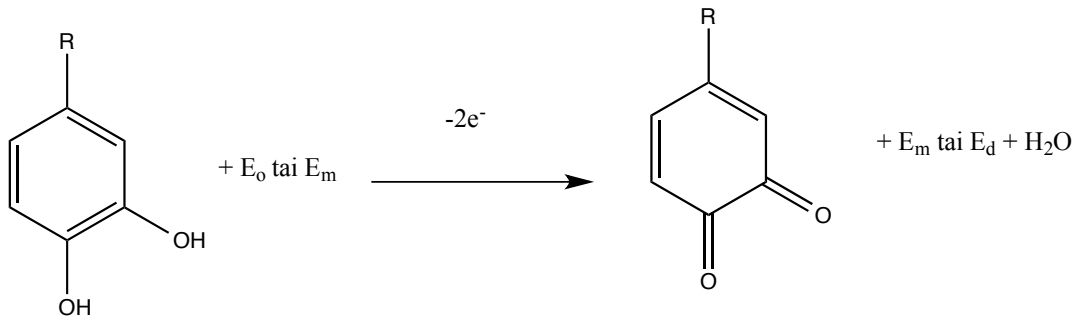
(a) (b) (c)

Kuva 14. Polyfenolioksidaasin aktiivisen kohdan rakenne: (a) *deoxy*PPO = E_d, (b) *met*PPO = E_m ja (c) *oxy*PPO = E_o. (Espín *et al.*, 1998)



15 **16**

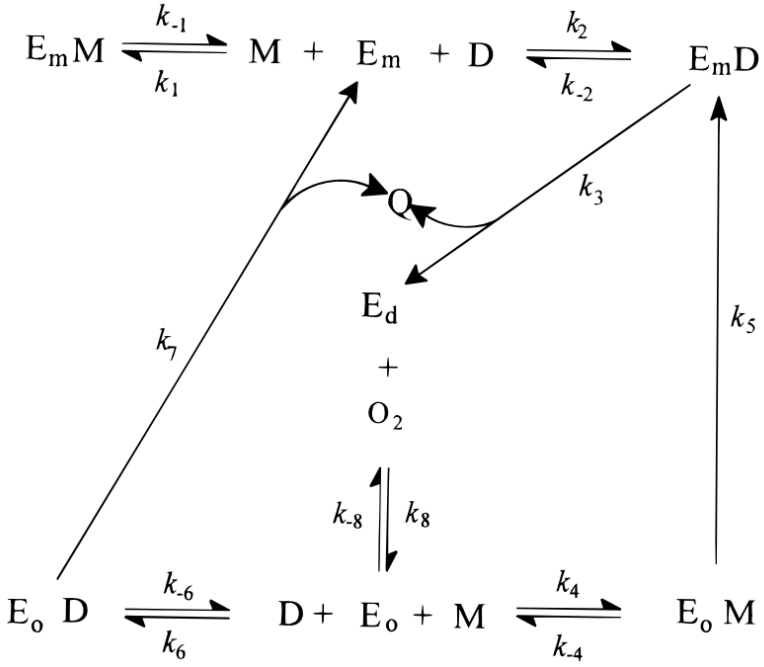
Kuva 15. Monofenolien (**15**) hydroksylaatio *o*-difenoleiksi (**16**). E_m = *met*PPO, E_o = *oxy*PPO, R = jokin hiiliketju tai vetyatomi. (Mesquita & Queiroz, 2013)



16 **17**

Kuva 16. o-Difenolien (**16**) hapettuminen *o*-kinoneiksi (**17**). E_d = *deoxy*PPO, E_m = *met*PPO, E_o = *oxy*PPO, R = jokin hiiliketju tai vetyatomi. (Mesquita & Queiroz, 2013)

Espín *et al*. (1998) ovat kehittäneet sekä rakenteelliset että kineettiset reaktiomekanismit fenolisen aineksen hapettumiselle PPO:n katalysoimana (kuva 17). Monofenolinen lähtöaine (**15**) hydroksyloituu *o*-difenoliksi (**16**) sitoutumalla toiseen *oxy*PPO:n Cu^{2+} ioneista (E_oM). Reaktiossa vapautuu vettä ja entsyymi pelkistyy *met*PPO muotoon. Samalla syntyy entsyymi-difenoli kompleksi (E_mD), joka voi vapauttaa muodostuneen *o*-difenolin (**16**) tai hapettaa sen edelleen *o*-kinoniksi (**17**). Hapetusreaktiossa *met*PPO pelkistyy *deoxy*PPO:ksi, joka regeneroituu takaisin *oxy*PPO:ksi sitomalla itseensä molekulaarista happea. Vapaa difenolinen lähtöaine (**16**) sitoutuu molempiin *oxy*PPO:n (E_oD) tai *met*PPO:n (E_mD) Cu^{2+} ioneihin hapettuen reaktiossa *o*-kinoniksi (**17**).

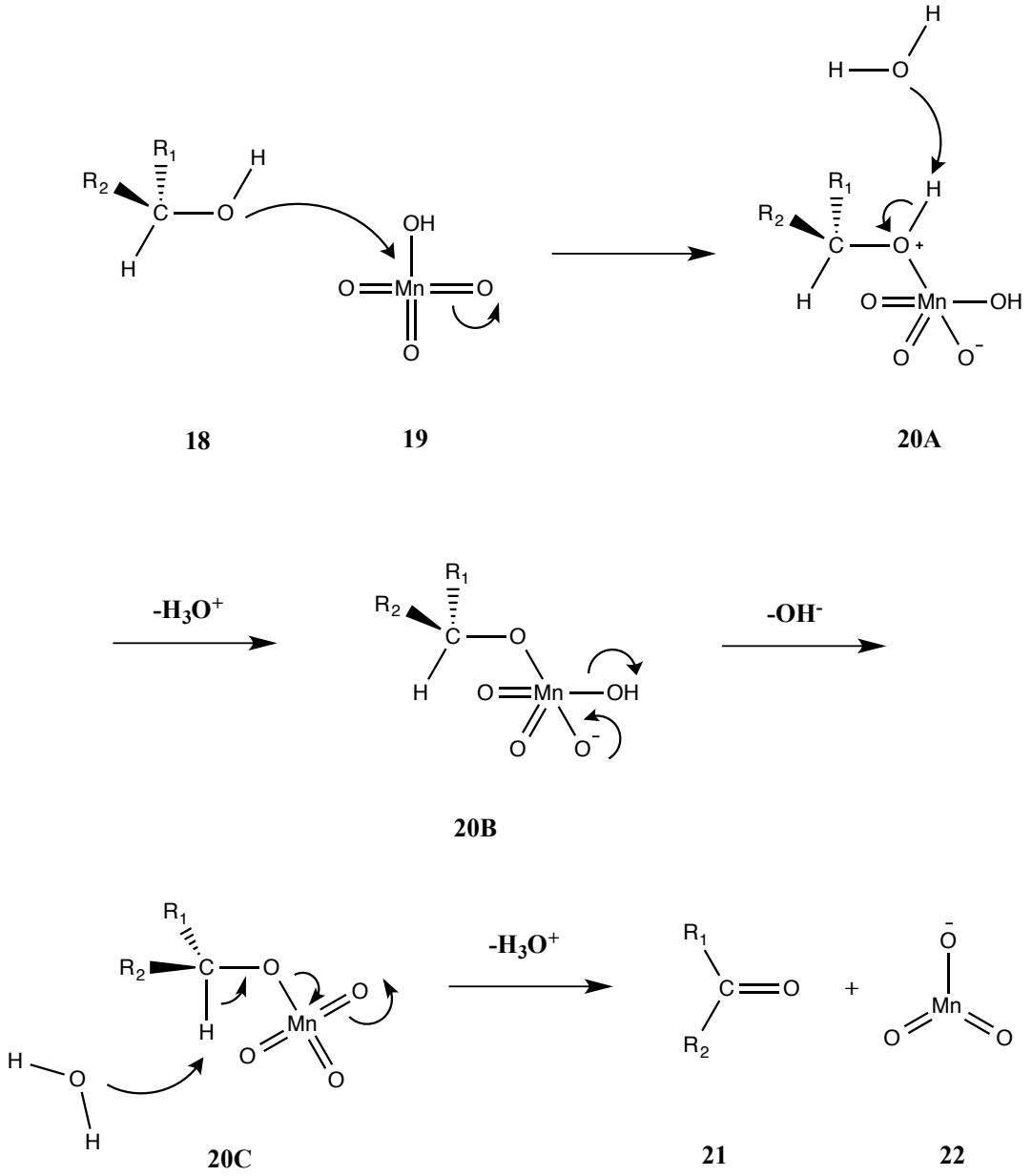


Kuva 17. Kineettinen reaktiomekanismi PPO:n reaktioista monofenolien ja *o*-difenolien kanssa. Kaavion lyhenteet: E_d = *deoxy*PPO, E_m = *met*PPO, E_o = *oxy*PPO, M = monofenoli, D = *o*-difenoli, Q = *o*-kinoni. Kopioitu (Espín *et al*., 1998) luvalla. Tekijänoikeudet (1998) American Chemical Society.

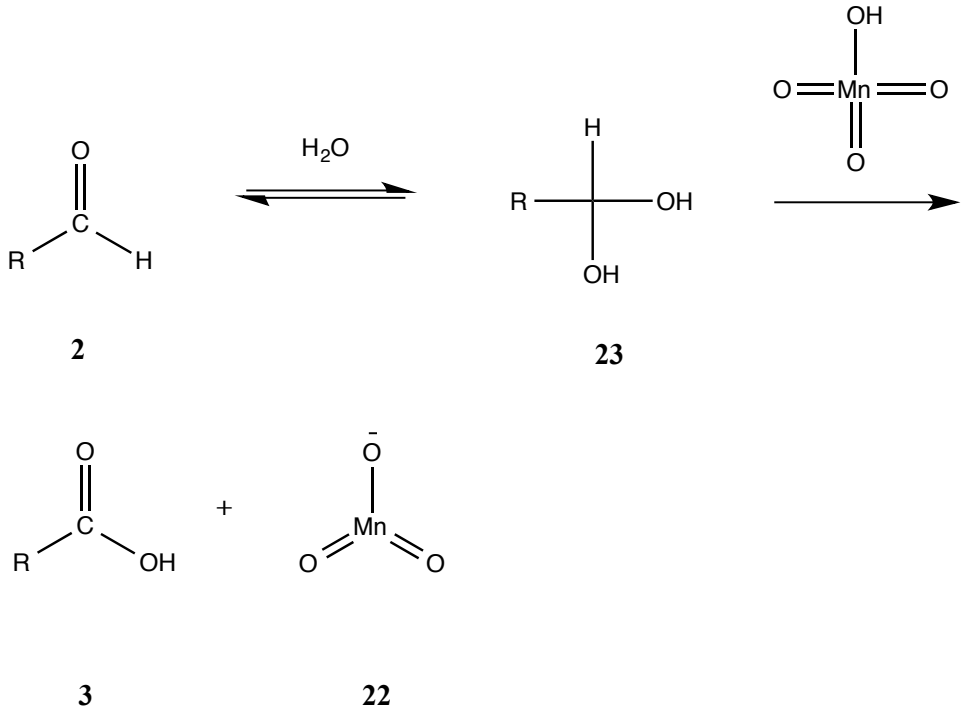
Omenoissa fenoliset yhdisteet (esimerkiksi kloorigeenihappo ja katekiini) sijaitsevat solunesterakkuloissa erillään PPO:sta. Kun omena esimerkiksi kuoritaan tai siitä leikataan paloja, solunesterakkulat rikkoutuvat ja fenoliset yhdisteet sekä PPO pääsevät reagoimaan keskenään. Varsinainen leikkauspinnan tummuminen johtuu todennäköisesti PPO:n katalysoimien reaktioiden tuotteiden hydroksylaatiosta trifenolisiksi trihydroksibentseeneiksi, jotka reagoivat edelleen *o*-kinonien kanssa muodostaen hydroksikinoneja. Nämä polymerisoituvat punaruskeiksi polymeereiksi ja lopulta ruskeiksi melaniineiksi, jotka aiheuttavat vaurioituneen kudoksen tummumisen. (Mesquita & Queiroz, 2013; Song, Yao, Zhai, Du, Chen & Shu-Wei, 2007)

b) Alkoholien hapettaminen kaliumpermanganaatin avulla

Happamissa olosuhteissa mekanismi muistuttaa kromihapon avulla suoritettavan hapetuksen mekanismia (Jonesin hapetus) (kuva 18). Hapetettava alkoholi **(18)** ja permanganaatti-ioni MnO_4^- **(19)** muodostavat manganaatti(VII)esterin **(20A-C)** nukleofiilisen substituution seurauksena. Vesi (emäs) irrottaa välituotteesta vedyn, ja eliminaatioreaktio vapauttaa reaktiotuotteena karbonyyliyhdisteen **(21)** sekä pelkistetyn mangaanin(V) **(22)**. Muodostuva karbonyyli **(21)** on aldehydi **(2)**, jos hapetettava alkoholi oli primäärinen **(1)** ja ketoni **(5)**, jos hapetettava alkoholi oli sekundäärinen **(4)**. Veden läsnä ollessa aldehydi **(2)** muodostaa hydraatin **(23)**, joka hapettuu edellä kuvatun mekanismin tavoin karboksyylihapoksi **(3)** (kuva 19). Muodostunut mangaani(V) on epästabiili, ja se pelkistyy jatkoreaktioiden avulla stabiiliksi mangaani(IV)dioksidiksi sekä mahdollisesti edelleen mangaani(II)-ioniksi. Reaktio tapahtuu myös emäksisissä olosuhteissa. (Clayden *et al*., 2012; McMurry, 2008)



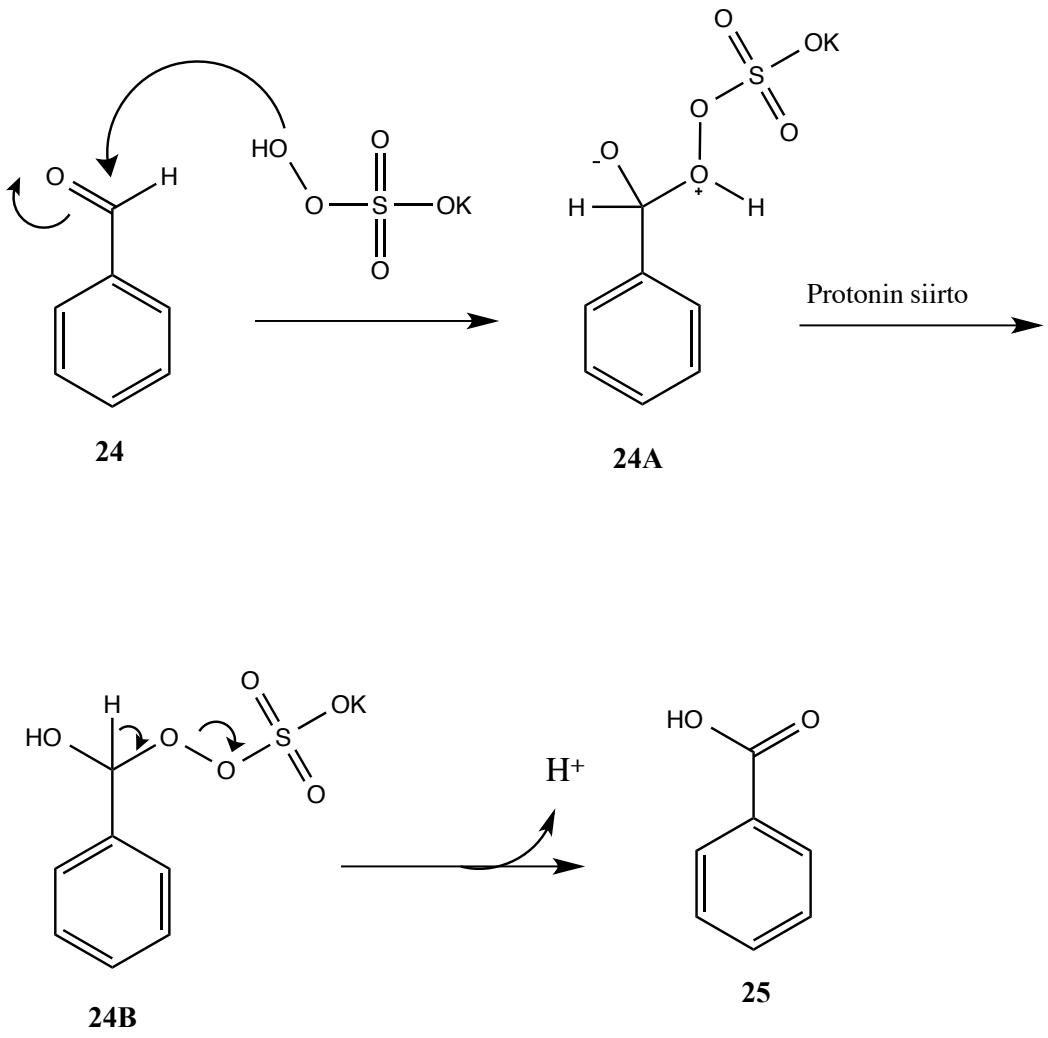
Kuva 18. Alkoholin hapettaminen karbonyyliyhdisteeksi kaliumpermanganaatilla (Clayden *et al*., 2012). R_1 ja R_2 voivat olla hiiliketjuja tai vetyatomeita.



Kuva 19. Aldehydin hapettaminen karboksyylihapoksi kaliumpermanganaatilla (Clayden *et al*., 2012). R_1 ja R_2 voivat olla hiiliketjuja tai vetyatomeita.

c) Aldehydin hapettaminen karboksyylihapoksi

Esimerkkinä käsitellään nukleofiilinen additio karbonyylihiileen (kuva 20). Reaktio on hapetus-pelkistysreaktio, jossa kaliumperoksimonosulfaatti $KHSO_5$ hyökkää bentsaldehydin (**24**) karbonyylihiileen (**24A**). Protonin siirron seurauksena saadaan peroksiasetaali (**24B**), joka deprotonoituu ja muodostaa bentsoehapon (**25**). Bentsaldehydin hapettuessa bentsoehapoksi, kaliumperoksimonosulfaatti pelkistyy kaliumvetysulfaatiksi, $KHSO_4$. (Gandhari *et al*., 2007)



Kuva 20. Bentsaldehydin hapetus bentsoehapoksi nukleofiilisellä additiolla.

4. Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden oppiminen ja opetus

4.1 Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiot lukion opetussuunnitelman perusteissa

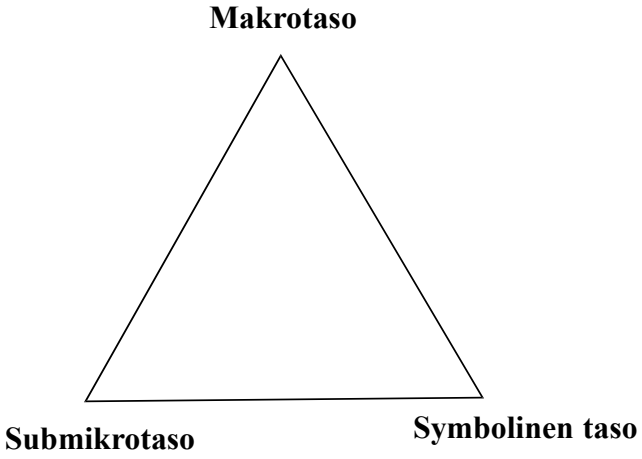
Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiot esiintyvät lukion opetussuunnitelman perusteissa kahdessa kurssissa: KE1 *Ihmisen ja elinympäristön kemia* sekä KE3 *Reaktiot ja energia.* Tähän tutkielmaan on edellisen perusteella valittu lukion kemian kurssikirjoista vain ensimmäisen ja kolmannen kurssin oppikirjat. Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiot painottuvat lukion opetussuunnitelman perusteissa ensimmäiselle kemian kurssille, jonka keskeisissä sisällöissä mainitaan suoraan orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiot sekä orgaaniset happiyhdisteet. Tämän lisäksi kurssin tavoitteissa mainitaan, että opiskelijan tulee osata orgaanisten yhdisteiden reaktioita ja ominaisuuksia, sekä osata tutkia niitä kokeellisesti. Kolmannen kurssin tavoitteissa tai keskeisissä sisällöissä ei suoraan lue mitään hiiliyhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioista, mutta keskeisissä sisällöissä mainitaan orgaaniset reaktiotyypit, joihin hapetus-pelkistysreaktiot kuuluvat. Tavoitteissa opiskelijan tulisi ymmärtää näihin reaktioihin vaikuttavia tekijöitä, osata tutkia kokeellisesti kyseisiin reaktioihin liittyviä ilmiöitä sekä osata kirjoittaa reaktioyhtälöitä. (Opetushallitus, 2003)

Kokeellisuus kuuluu olennaisesti kemian opetukseen (ks. luku 5). Huomattavaa on, että lukion opetussuunnitelman perusteissa molempien aihetta käsittelevien kurssien tavoitteiden kohdalla painotetaan kokeellisuutta aiheen käsittelyssä. Tavoitteissa esimerkiksi mainitaan suoraan, että opiskelijan tulee osata tutkia kokeellisesti orgaanisten yhdisteiden reaktioita (Opetushallitus, 2003).

4.2 Orgaanisen kemian hapetus-pelkistysreaktioiden opettamisen ja oppimisen tutkimus

Kemia koetaan yleisesti vaikeana oppiaineena. Johnstone (1991) totesi tämän johtuvan todennäköisesti kemian luonteesta tieteenä. Normaalisti käsitykset eri asioista sekä ilmiöistä muodostuvat silmin havaittavista esimerkeistä, niiden yhteisistä ominaisuuksista sekä säännönmukaisuuksista, esimerkeistä ja ei-esimerkeistä. Kemiassa tällainen suora käsitteenmuodostus on suurelta osin mahdotonta. Metallit ovat esimerkiksi kemian käsite, jonka voi oppia pelkästään havainnoimalla, mutta yhdisteen tai alkuaineen käsitteen kannalta tämä on jo hyvin ongelmallista. Tietyt kemian käsitteet ovatkin olemassa vain mielissämme, eikä opiskelijoilla ole kokemusta tällaisten abstraktien käsitteiden oppimisesta, mikä vaikeuttaa oppimista.

Toinen opettamista ja oppimista hankaloittava tekijä on kemiallisen tiedon luonne. Johnstonen (1991) mukaan se jakautuu kolmeen tasoon: makroskooppiseen, submikroskooppiseen ja symboliseen (kuva 21). Makroskooppinen taso on jokin aistein havaittava ilmiö, submikroskooppinen taso selittää makrotason ilmiötä atomi-, ioni tai molekyylitasolla ja symbolinen taso yhdistää kaksi edellistä erilaisten representaatioiden avulla (esimerkiksi reaktioyhtälöt). Opiskelijan täytyy osata liikkua kaikilla kolmella tasolla, ja muodostaa näiden välille syy-seuraussuhteita, jotta kemiaa pystyy ymmärtämään syvällisesti. Kokenut kemisti pystyy liikkumaan tasojen välillä sujuvasti, mutta opiskelijalle tämä on haastavaa (Johnstone, 2000). Johnstonen mukaan kemian kolmitaso on omiaan ylikuormittamaan opiskelijan työmuistin, jos hänen tulee kiinnittää huomiota kaikkiin kolmeen tasoon samanaikaisesti. Esimerkiksi kokeellisessa työskentelyssä opiskelija voi joutua yhtäaikaisesti kiinnittämään huomiota havaintoon, sen selitykseen ja sitä esittävään representaatioon. Tätä tulisi välttää, jos halutaan edistää opiskelijan ymmärrystä asiasta. Kemian opetuksen tulisikin lähteä makrotasosta, ja edetä siitä tarpeeksi hitaasti sekä tarpeeksi pienissä erissä kohti submikroskooppista- ja symbolistatasoa. (Johnstone, 1991)



Kuva 21. Kemiallisen tiedon kolme tasoa (Johnstone, 1991).

Kirjallisuudessa ei ole juuri tutkittu opiskelijoiden vaihtoehtoisia käsityksiä tai oppimisen vaikeutta nimenomaan orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden näkökulmasta, mutta yleisesti orgaaninen kemia koetaan hankalana aiheena erityisesti vasta-alkajille (O´ Dwyer & Childs, 2014). Orgaanisessa kemiassa on paljon omaa termistöä ja uusia yhdisteluokkia, jotka voivat aiheuttaa ahdistusta ainakin, jos niitä koittaa opetella ulkoa ymmärtämättä asian ydintä.

Duis (2011) selvitti tutkimuksessaan ylioppilaiden yleisimpiä vaihtoehtoisia käsityksiä orgaanisessa kemiassa. Opiskelijat saattoivat esimerkiksi ajatella, että hiiliatomista lähtee enemmän tai vähemmän kuin neljä sidosta, tai että orgaanisen yhdisteen eri resonanssirajarakenteet ovat kemiallisessa tasapainossa keskenään (Duis, 2011). Kirjallisuudessa hyvin laajalti tutkitut orgaanisen kemian vaihtoehtoiset käsitykset liittyvät muun muassa vetysitoutumiseen ja sidosenergiaan (erityisesti sidosten katkeamiseen) (Galley, 2004; Henderleiter, Smart, Anderson, & Elian, 2001).

4.3 Mielekäs oppiminen

Mielekäs oppiminen määritellään tapahtumaksi, jossa opiskelija pelkän muistamisen sijaan ymmärtävää ja osaava soveltaa oppimaansa tietoa. (Anderson *et al*., 2001) Minzesin, Wanderseen ja Novakin (2000) mukaan tämä tapahtuu, kun opiskelija muokkaa aktiivisesti omia tietorakenteitaan jo olemassa olevien tietojen pohjalta. Mielekäs oppiminen on täten aktiivista, kumulatiivista ja konstruktiivista.

Ymmärtääkseen kemian sisältöjä, opiskelijan täytyy osata liikkua kemian kolmitasolla (ks. luku 4.2). Hänen täytyy osata käyttää, konstruoida, analysoida, arvioida ja soveltaa tietoa erilaisten representaatioiden tai mallien avulla. Nämä kuvatut prosessit vaativat opiskelijalta korkeamman ajattelutason taitoja (taulukko 2).

Taulukko 2. Bloomin uudistettu taksonomia (Anderson *et al*., 2001)

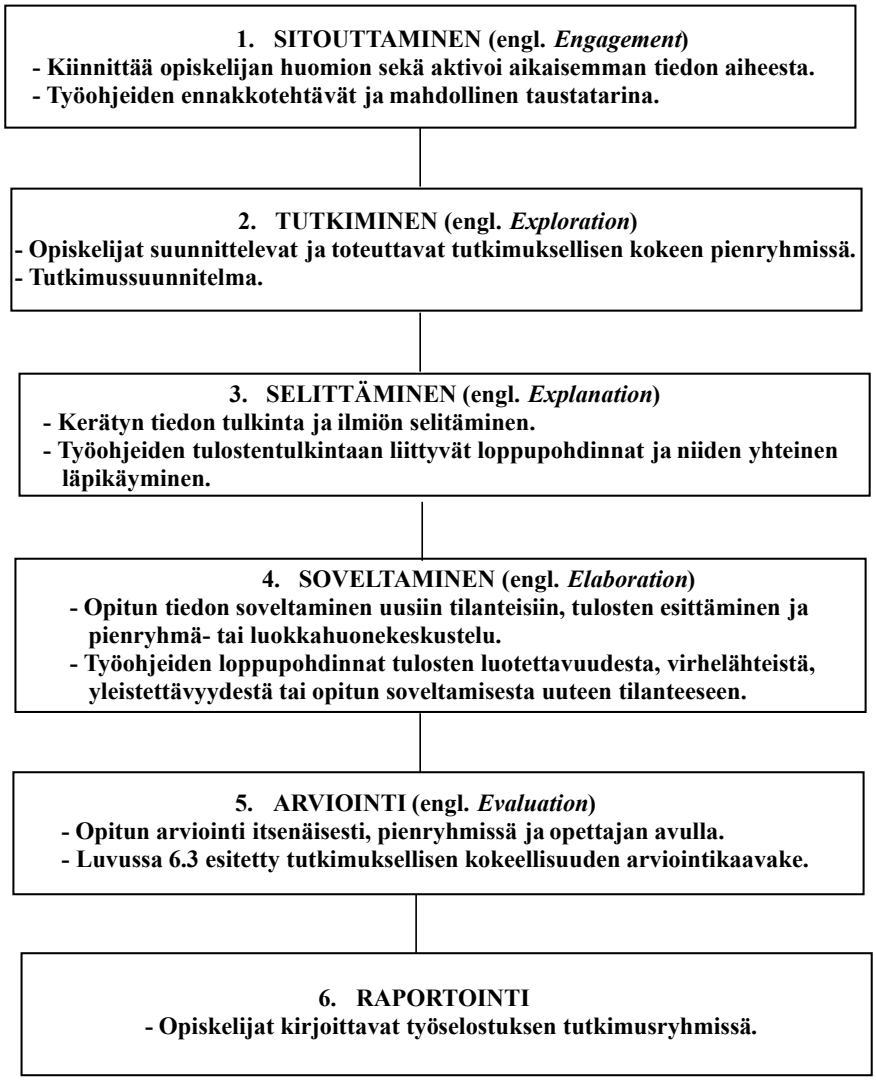
Ajattelun taso	Bloomin uudistettu taksonomia
Alemman tason ajattelu	Muistaa
Alemman tason ajattelu	Ymmärtää
Korkeamman tason ajattelu	Soveltaa
Korkeamman tason ajattelu	Analysoida
Korkeamman tason ajattelu	Arvioida
Korkeamman tason ajattelu	Luoda

Mielekästä oppimista ja korkeamman tason ajattelutaitojen kehittymistä voidaan tukea soveltamalla niitä tukevia pedagogisia malleja oppimisympäristöön. Tässä tutkielmassa on käytetty tutkimuksellista, kokeellista työskentelyä sekä luvussa 4.4 esitettyä oppimissykliä.

4.4 Oppimissykli

Kemian käsitteen muodostuksen tukeminen vaatii usein sopivan ristiriidan opiskelijan omien käsitteiden ja uuden tiedon välille tai jo olemassa olevan tiedon riittämättömyyden osoittamisen. Käsityksen tarkentumiseksi opiskelija tarvitsee aikaa ja uusia kokemuksia. Toisin sanoen tiedon rakentumista voidaan edesauttaa käyttämällä opetusstrategiaa, joka haastaa opiskelijan nykyiset käsitykset, sekä antaa tarpeeksi aikaa ja mahdollisuuksia käsitteen muodostukselle. Käsitteellinen muutos tapahtuu yleensä mielekkäässä oppimisessa.

Tässä tutkielmassa sovelletaan Biological Sciences Curriculum Studyn, BSCS:n, kehittämää 5E oppimissykliä (Bybee, Taylor, Gardner, Van Scotter, Carlson, Westbrook & Landes, 2006) (kuva 22). Sitouttamisvaiheessa opiskelijan huomio kiinnitetään tulevaan tehtävään sekä sen vaatimiin tietoihin ja taitoihin. Tavoitteena on aktivoida aiheeseen liittyvä aikaisempi tieto ja käynnistää näin käsitteellinen muutos, sekä motivoida opiskelijaa työn suoritukseen. Kehitetyissä työohjeissa on ennakkotehtäviä ja yhdessä on myös taustatarina. Tutkimusvaiheessa on tarkoitus laatia tutkimussuunnitelma sekä suorittaa konkreettinen tutkimus, jossa opiskelijat muokkaavat aktiivisesti käsityksiään tutkittavasta ilmiöstä. Sitouttamisvaiheessa osoitettuun tiedolliseen ristiriitaan tai tiedon riittämättömyyteen etsitään vastauksia sekä kehitetään ideoita käsitteen muodostuksen tukemiseksi. Kehitetyissä työohjeissa on käytössä tutkimuksellinen lähestymistapa, joka tukee käsitteellistä muutosta ja mielekästä oppimista. Selittämisvaiheessa opiskelija tulkitsee sekä analysoi tutkimuksensa avulla hankittua tietoa ilmiöstä. Vaihe antaa opiskelijalle aikaa ja mahdollisuuksia ideoiden kehittelyyn sekä ilmaisuun. Työohjeissa on tähän tarkoitukseen loppupohdintoja työn tulosten tulkinnasta. Soveltamisvaiheessa opiskelija syventää ymmärrystään tutkittavasta ilmiöstä, ja soveltaa opittua tietoa uusiin tilanteisiin. Työohjeissa on loppupohdintoja työn tulosten luotettavuudesta, mahdollisista virhelähteistä, tulosten yleistettävyydestä tai mahdollisista uusista tilanteista. Vaiheeseen kuuluu myös työn tulosten sekä loppupohdintojen läpikäyminen pienryhmissä tai luokkahuonekeskustelun avulla. Arvioinnissa opiskelija arvioi omien tiedollisten ja taidollisten kykyjensä kehitystä itsenäisesti, ryhmässä sekä opettajan avulla. Luvussa 6.3 on esitelty tutkimuksellisen, kokeellisen työn arviointikaavake, joka on yksi mahdollisuus toteuttaa arviointi. Alkuperäiseen viisivaiheiseen oppimissykliin on lisätty kuudenneksi vaiheeksi raportointi, jonka aikana ryhmät kirjoittavat työselostuksen tehdystä tutkimuksesta. Selostuksen arviointi voidaan sisällyttää edelliseen vaiheeseen. Tutkielman oppimissykliin ei ole sisällytetty yhteistoiminnallista oppimista, joka korostuu alkuperäisessä BSCS:n strategiassa.



Kuva 22. Tutkielmassa käytetty oppimissykli

5. Kokeellisuus kemian opetuksessa

Kokeellisuus voi olla kemiassa didaktinen lähestymistapa tai sisältö. Se ei ole pelkästään opiskelijan toimintaa, vaan se voidaan ymmärtää myös laajemmin. Se voi olla esimerkiksi laboratoriotyöskentelyä, demonstraatioita, opintokäyntejä tai audiovisualisten apuvälineiden avulla tapahtuvaa toimintaa. Tässä tutkielmassa käsitellään vain kokeellisia töitä. Eilks ja Hofstein (2013) määrittelevät kokeellisen työn toiminnaksi, jossa opiskelija pyrkii havainnoimaan ja ymmärtämään luonnon ilmiöitä suunnittelemalla koejärjestelyitä sekä tulkitsemalla niiden avulla saamiaan tuloksia. He tiivistävät tutkimuskirjallisuuden asettamat tavoitteet kokeelliselle työskentelylle seuraavasti:

i) Auttaa opiskelijaa ymmärtämään abstrakteja luonnontieteellisiä käsitteitä.
ii) Lisää opiskelijan kiinnostusta ja motivaatiota luonnontieteitä kohtaan.
iii) Parantaa opiskelijoiden asenteita luonnontieteitä kohtaan.
iv) Kehittää opiskelijoiden käytännöntyöskentelyn taitoja ja ongelmanratkaisukykyä.
v) Kehittää opiskelijoiden luonnontieteellistä ajattelua.
vi) Auttaa opiskelijaa ymmärtämään luonnontieteiden luonnetta.
vii) Mahdollista opiskelijan aktiivisen osallistumisen käytännön kokeelliseen työskentelyyn.

Kokeellinen työskentely voi olla luonteeltaan kvalitatiivista tai kvantitatiivista, ja sen kesto voi vaihdella pitkistä projektitöistä muutaman minuutin demonstraatioihin. Sen tavoite voi olla suppeampi, kuten ilmiön toteaminen tai havainnollistaminen, siihen liittyvien suureiden toteaminen tai mittaus, mittausarvojen laskennallisen käsittelyn harjoittelu tai laboratoriovälineiden käytön oppiminen. Kemian kokeellisuuden tavoitteena voi olla myös laajempia kokonaisuuksia, kuten ilmiötä koskevien lakien kvalitatiivinen tai kvantitatiivinen osoittaminen, ilmiöön liittyvän käsitteenmuodostuksen havainnollistaminen, tehdyn ennusteen testaaminen, mallin pätevyysalueen tunnistaminen tai vaikka ilmiön sovellusten esittely. (Lavonen & Meisalo, 2014)

Läpi historian kemian oppilaslaboratorioissa on vallinnut neljä eri tyyliä: selittävä tai keittokirjamainen (engl. *expository*), avoin tutkimuksellinen, ohjattu tutkimuksellinen (engl. *guided inquiry tai discovery-based*) sekä ongelmalähtöinen (Domin, 1999). Kaikki tyylit ovat saaneet osakseen kritiikkiä, mutta tutkimuskirjallisuudessa vallitsee selvä käsitys siitä, että opetuksessa yleisistä reseptinomaisista kokeellisista töistä on mentävä eteenpäin (Cooley, 1991; Cooper & Kerns, 2006; Dunlap & Martin, 2012; Gallet, 1998; Hart, Mulhall, Berry, Loughran, & Gunstone, 2000; Laredo, 2013; Mohrig, 2004). Selittäviä, reseptinomaisia oppilaslaboratorioita on kritisoitu muun muassa kriittisen ajattelun vaatimisen puutteesta (Gallet, 1998; Pavelich & Abraham, 1979). Galletin (1998) mukaan keittokirjamaiset laboratoriotyöt eivät salli opiskelijan oma-aloitteisuutta, mielikuvitusta tai omien hypoteesien ja kokeiden tekemistä. Työt eivät opeta ottamaan vastuuta ryhmässä, eivätkä opiskelijat opi tärkeitä ryhmätyöskentelyn taitoja. Lisäksi kokeen voi suorittaa ymmärtämättä lainkaan siihen liittyvää kemiaa. Toisin sanoen monet tekijät, jotka ovat tärkeitä elementtejä tieteellisessä prosessissa ja mielekkäässä oppimisessa, jäävät tässä opetustyylissä käsittelemättä.

5.1 Kokeellisuus lukion opetussuunnitelman perusteissa

Lukion opetussuunnitelman perusteissa korostuu se, että kokeellisuus on luonteenomaista kemialle tieteenalana ja sen tulee olla luonteenomaista myös kemian opetukselle sekä sen arvioinnille. Opiskelijan tulee osata kokeellisen työskentelyn avulla hankkia, tuottaa, tulkita ja arvioida tietoa kemian ilmiöistä sekä aineiden ominaisuuksista, sekä esimerkiksi huomioida työturvallisuusnäkökohtia. Lisäksi oppimisympäristön tulisi olla sellainen, jossa opiskelijat voivat asettaa omia tavoitteitaan sekä oppia työskentelemään itsenäisesti ja yhteistoiminnallisesti erilaisissa ryhmissä sekä verkostoissa. Kemian kokeellinen työympäristö opettaa työskentelemään itsenäisesti tai ryhmissä, ja se voidaan myös rakentaa esimerkiksi tutkimuksellisuuden avulla sellaiseksi, jossa opiskelijat voivat vapaammin asettaa omia tavoitteitaan (ks. luku 5.4). Tutkimuksellista lähestymistapaa tukee myös lukion opetussuunnitelman oppimiskäsitys, jonka mukaan opiskelija käsittelee ja tulkitsee vastaanottamaansa tietoa aktiivisesti aikaisemman tietorakenteensa pohjalta vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. (Opetushallitus, 2003)

5.2 Kokeellisuuden hyödyt ja haasteet

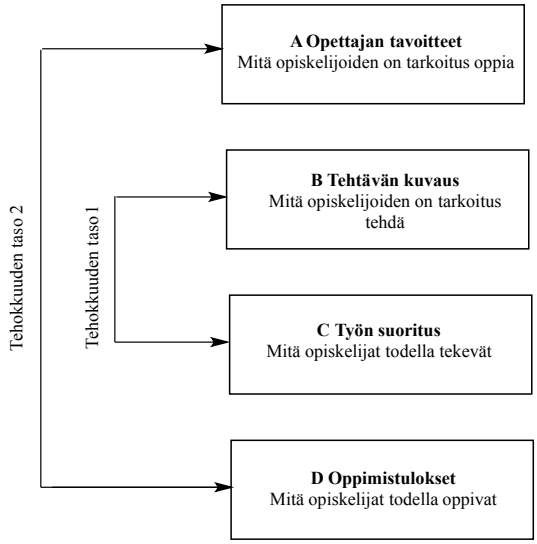
Hyvin suunniteltu ja toteutettu kokeellinen työskentely voi auttaa opiskelijaa oppimaan, harjaannuttaa opiskelijan kädentaitoja, kehittää opiskelijan kognitiivisia sekä sosiaalisia taitoja, asenteita, arvoja ja persoonaa (Eilks & Hofstein, 2013). Se voi auttaa opiskelijaa omaksumaan luonnontieteellisiä käsitteitä ja periaatteita, sekä erityisesti auttaa opiskelijaa konstruoimaan uutta tietoa ja muokkaamaan mahdollisesti virheellisiä käsityksiään (Aksela & Karjalainen, 2008; Lavonen & Meisalo, 2014). Kokeellinen työskentely voi myös herättää kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan (Hofstein, 2004).

Aksela ja Juvonen (1999) teettivät kyselyn opettajille kemian opetuksen työtavoista. 95% opettajista oli sitä mieltä, että kemiaa oppii parhaiten itse tekemällä. 65 % opettajista vastasi käyttävänsä kemian opetuksessaan kokeellisuutta. He perustelivat kokeellisten töiden käyttöä opiskelijoiden motivoinnilla, kemian oppimisella, taitojen oppimisella, vaihtelulla sekä kemian kokeellisella luonteella. Tutkimukseen osallistuneiden opettajien mielestä hyvä kokeellinen työ motivoi opiskelijoita, on selkeä, turvallinen ja yksinkertainen suorittaa. Tärkeänä pidettiin myös sitä, että kokeellisen työn tuli olla nopeasti suoritettavissa, ja sen piti onnistua helposti. Työn aiheen tuli mielellään liittyä arkielämään ja olisi hyvä, jos opiskelija saisi valita sen itse. Enemmistö opettajista, jotka eivät käyttäneet opetuksessaan kokeellisuutta opettivat lukiossa. He perustelivat tämän aikapulalla, isoilla ryhmillä, välineiden tai kemikaalien riittämättömyydellä, laboratorioluokan tai kemikaalien puuttumisella, luokkien ahtaudella sekä sopivien töiden puutteella (Aksela & Juvonen, 1999).

5.3 Kokeellisen työskentelyn avulla oppiminen

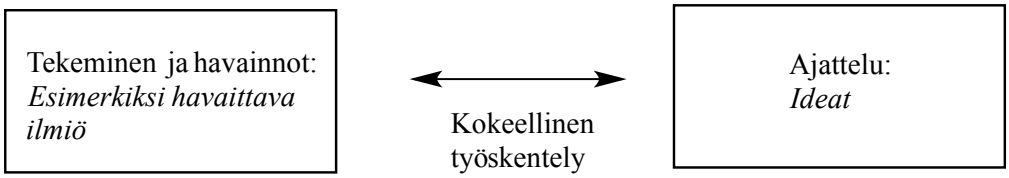
Vaikka kokeellisella työskentelyllä on vahva ja vakiintunut rooli kemian opetuksessa, opetuksen tutkimus ei ole tähän mennessä pystynyt osoittamaan tärkeää yhteyttä opiskelijan oppimisen ja kokeellisen työskentelyn välille (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007).

Millarin (2009) mukaan kokeellisen työn tehokkuuden arviointi voidaan jakaa kahteen tasoon (kuva 23). Ensimmäinen taso kuvaa tekemistä ja havainnointia: Mitä opiskelijat käytännössä tekevät (C) verrattuna siihen, mitä heidän pitäisi tehdä (B). Toinen taso kuvaa oppimistavoitteiden toteutumista: Mitä opiskelijat oppivat työstä (D), ja mitä heidän todella tulisi oppia kyseisestä kokeellisesta työstä (A). Yleensä kun puhutaan opetuksen tai jonkin opetuksellisen aktiviteetin tehokkuudesta, tarkoitetaan linkkiä AD, eli tehokkuuden toista tasoa.



Kuva 23. Kokeellisen työn tehokkuuden arviointi. (Millar, 2009)

Kokeellisen työskentelyn tarkoitus on yhdistää tutkittavasta ilmiöstä tehtävät havainnot sekä niihin liittyvä luonnontieteellinen tieto (kuva 24) (Tiberghien, 2000). Kokeelliset työt voivat painottua joko tekemisen ja havainnoinnin tasolle, tai vastaavasti keskittyä työhön liittyvän teoreettisen tiedon ymmärtämiseen sekä sen soveltamiseen. Toisin sanoen, jotkin kokeelliset työt keskittyvät tehokkuuden ensimmäiseen tasoon (tekeminen ja havainnointi), ja toiset tehokkuuden toiseen tasoon (ajattelu). Taulukkoon kolme on tiivistetty, miten tehokkuuden tasot liittyvät kokeellisen työskentelyn tuottaman tiedon kahteen luokkaan.



Kuva 24. Kokeellisen työskentelyn avulla on tarkoitus yhdistää kaksi tiedon luokkaa. (Tiberghien, 2000)

Taulukko 3. Tekemisen ja ideoinnin yhdistäminen tehokkuuden kahteen eri tasoon. (Millar, 2009)

	Tekeminen ja havainnot	**Ajattelu**
Tehokkuuden 1. taso	Opiskelijat käyttävät materiaaleja ja välineitä tarkoituksen mukaisesti, ja kiinnittävät huomionsa oikeisiin havaintoihin	Opiskelijat ajattelevat työn aikana aktiivisesti, mitä he ovat tekemässä ja havainnoimassa, sekä miten työvaiheet ja havainnot liittyvät työn teoriaan.
Tehokkuuden 2. taso	Opiskelijat osaavat myöhemmin kertoa työn kulun ja keskeisimmät havainnot	Opiskelijat osaavat keskustella työn aiheesta ja siihen liittyvästä luonnontieteellisestä tiedosta. He osaavat myös mahdollisesti soveltaa ideoita uusiin tilanteisiin.

Abrahams ja Millar (2008) käyttävät artikkelissaan Leachin ja Scottin (2002) kehittämää käsitettä ”oppimisvaade” (engl. *learning demand*), jossa joidenkin suoritettavien aktiviteettien oppimisvaateet ovat suurempia kuin joidenkin toisten. Mitä suuremmat oppimisvaateet, sitä korkeamman tason kognitiota aktiviteetin suoritus vaatii. Taulukossa kolme tehokkuuden ensimmäinen taso edustaa alemman tason kognitiota, ja tehokkuuden toinen taso korkeampaa kognitiota. Abraham ja Millar (2008) argumentoivat, että kokeellisten töiden oppimisvaateiden välillä on perusteellisia eroja. Kokeellisen työn, jonka päätavoite on, että opiskelijat havaitsevat ilmiön tai oppivat käyttämään tiettyä laitetta, oppimisvaade on alhainen (taulukossa kolme tekemiseen ja havainnointiin painottuva työ, tehokkuuden tasot 1 ja 2). Työn, jonka päätavoite on auttaa opiskelijaa ymmärtämään ilmiön takana päteviä teoreettisia ideoita, oppimisvaade on huomattavasti korkeampi (taulukossa kolme ajatteluun painottuva työ, tehokkuuden tasot 1 ja 2).

Abrahamsin ja Millarin (2008) suorittaman tutkimuksen mukaan teetettyjen töiden oppimisvaateet, ja niiden vaatima kognition taso eivät kuitenkaan usein kohtaa varsinaisessa opetustilanteessa. Tutkimuksen mukaan opettajat teettivät alhaisen oppimisvaateen kokeellisia töitä, mutta vaativat korkean oppimisvaateen tuloksia. Toisin sanoen opettajat olettivat opiskelijoiden poimivan teoreettiset ideat ilmiön takaa suoraan kokeellisesta työskentelystä, ilman että idea esiteltäisiin opiskelijoille ensin, tai että he saisivat tukea ja aikaa ideoida ilmiötä selittäviä teorioita. Tämä Abrahamsin ja Millarin (2008) argumentti on yksi mahdollinen syy sille, että opiskelijat eivät välttämättä opi haluttuja sisältöjä kokeellisen työskentelyn avulla. Tutkijat ehdottavat julkaisussaan, että perinteisen kokeellisuuden sijaan, jossa opiskelijan rooli oli usein reseptiomaisesti ymmärtää ohjeet, suorittaa koe, ja päätyä oikeaan lopputulokseen, opettajien tulisi käyttää enemmän aikaa auttamaan opiskelijoita käyttämään sekä soveltamaan luonnontieteellistä tietoa ja ideoita kokeellisesti tuottamaansa ilmiöön (kuva 24). Tutkimuksellisuus voi olla yksi ratkaisu mielekkään oppimisen edistämiseen ja korkeamman tason ajattelutaitojen kehittymiseen.

5.4 Tutkimuksellisuus

Tutkimuksellinen sekä ohjattu tutkimuksellinen oppilaslaboratorio ovat saaneet osakseen paljon huomiota, ja aiheesta löytyy paljon tutkimuskirjallisuutta (Allen, Barker, & Ramsden, 1986; Farrell, Moog, & Spencer, 1999; Horowitz, 2003; Newton, Tracy, & Prudenté Caryn, 2006; Pavelich & Abraham, 1979; Ricci & Ditzler, 1991; Rudd, Greenbowe, Hand, & Legg, 2001). Nykyisen oppimiskäsityksen mukaiset sosiokonstruktivistiset oppimisen teoriat tukevat siirtymistä selittävistä oppilaslaboratorioista kohti tutkimuksellisuutta. (Bodner, 1986; Rudd *et al*., 2001). Niissä pääajatuksena on, että oppiminen on sosiaalista, ja se vaatii opiskelijalta aktiivista tiedonkäsittelyä ja tulkintaa.

Tutkimuksellisen oppilaslaboratorion avoimuus ja opiskelijan vastuun aste vaihtelevat (taulukko 4). Avoin tutkimuksellisuus voi olla hyvinkin typistetty tehtävänanto, jossa oikeastaan vain todetaan tutkittava ilmiö. Avoimessa tutkimuksellisuudessa opiskelijan on tarkoitus kehitellä itse omat hypoteesit sekä suunnitella toteutettava koe. Ohjattu tutkimuksellisuus antaa usein opiskelijoille osittain valmiin tehtävänannon ja tavan suorittaa se. Opiskelija päätyy ennalta määrättyyn, mutta ei ennalta kerrottuun lopputulokseen. Ohjattu tutkimuksellisuus hyödyntää näin avoimen tutkimuksellisuuden pedagogisia etuja sekä reseptinomaisen kokeellisuuden käytännöllisyyden etuja (Domin, 1999; Schoffstall & Gaddis, 2007).

Taulukko 4. Laboratoriopedagogioiden vertailu Dominia (1999) mukaillen.

Tyyli	Kokeellinen menetelmä	Lähestymistapa	Tulos
Reseptinomainen	Annettu	Deduktiivinen	Ennalta määrätty
Ohjattu tutkimuksellisuus	Annettu	Induktiivinen	Ennalta määrätty
Avoin tutkimuksellisuus	Opiskelija suunnittelee itse	Induktiivinen	Ei määritelty

Tutkimuksellisuuteen perustuvalla oppilaslaboratoriolla on havaittu olevan joitain etuja verrattuna perinteiseen reseptimäiseen kokeellisuuteen. Sen kautta opiskelija pystyy esimerkiksi harjoittamaan korkeamman ajattelutason taitojaan käymällä läpi kyseisen opetusmenetelmän neljä eri vaihetta: Suunnittelu, suoritus, analyysi ja soveltaminen. Suunnitteluvaiheessa opiskelija haastetaan kysymään oikeita kysymyksiä sekä etsimään, yhdistelemään ja keräämään tietoa. Vaiheen avulla on tarkoitus muotoilla tutkimuskysymykset, hypoteesit sekä suunnitella sopiva sekä toimiva koejärjestely. Suoritusvaiheessa toteutetaan suunniteltu luonnontieteellinen koe, tehdään muistiinpanoja ja raportoidaan kerätyt havainnot sekä tulokset. Seuraavaksi kerätty tieto käsitellään sekä analysoidaan mielekkäällä tavalla. Opiskelija tekee yleistyksiä, etsii virhelähteitä ja tekee jatkokysymyksiä. Lopuksi opiskelijan on tarkoitus soveltaa oppimaansa tekemällä mahdollisesti uusia ennustuksia sekä lisää kokeita eri tilanteissa. Tässä tutkielmassa käytetty oppimissykli noudattaa yllä olevaa rakennetta. (Aksela, 2005; Hofstein, 2004)

Kuten edellä on mainittu, hyvin suunniteltu ja toteutettu tutkimuksellinen kokeellisuus voi kehittää opiskelijoiden kriittistä ajattelua, korkeamman ajattelutason taitoja, kykyä kysyä tieteellisiä kysymyksiä, muodostaa hypoteeseja, suunnitella luonnontieteellisiä kokeita sekä kykyä käsitellä ja tulkita tieteellistä tietoa (Allen *et al*., 1986; Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007; Schoffstall & Gaddis, 2007). Lisäksi tutkimuksellisuus voi myös edistää mielekästä oppimista, kun opiskelijoille annetaan enemmän aikaa ja tukea linkittää heidän havaintonsa teoreettisiin ideoihin (ks. luku 5.3). Avoimemmat tehtävänannot ja tutkimusongelmat myös tukevat opiskelijoiden ymmärrystä tieteen luonteesta. Lisäksi tutkimuksellisuus kasvattaa opiskelijan ottamaa vastuuta työstä, ja näin sitouttaa opiskelijan paremmin projektiin. Koska projekti on henkilökohtaisempi, opiskelijoilla voi kehittyä tutkimuksellisuuden aikana parantuneita asenteita luonnontieteitä kohtaan (Domin, 1999; Horowitz, 2003).

Tutkimuksellinen lähestymistapa on saanut osakseen myös kritiikkiä. Allen (1986) sai selville tutkimuksessaan, että vaikka opiskelijat kokivat hyötyvänsä tutkimuksellisesta lähestymistavasta, laboratoriotyöt olivat opiskelijoiden mielestä usein vaikeita ja turhauttavia. Kirjallisuudessa kritisoidaan erityisesti töiden induktiivisuutta: Opiskelijan on hankala ellei jopa mahdotonta päästä ”oikeaan lopputulokseen”, jos hänellä ei ole siihen tarvittavia perustietoja/käsitteitä. On myös epäselvää, kuinka suuri ryhmä opiskelijoita voi päätyä samaan lopputulokseen hyvinkin avoimesta tehtävänannosta. Tutkimukselliset laboratoriotyöt ovat myös aikaavieviä verrattuna perinteisiin reseptinomaisiin töihin. Lisäksi menetelmä vaatii ohjaajien koulutusta sekä opiskelijoilta kärsivällisyyttä ja harjoittelua toimia avoimemman tehtävänannon alaisena. (Dunlap & Martin, 2012)

Domin (1999) huomauttaa, että vaikka tutkimuksellisuutta sekä ohjattua tutkimuksellisuutta tutkineissa artikkeleissa useimmiten väitetään opetuksella olevan etuja verrattuna muihin tyyleihin, väitteet perustuivat usein pelkästään opiskelijoilla teetettyihin raportteihin ja kyselyihin. Aihetta tulee vielä tutkia lisää, jotta saadaan tietoa siitä, mikä kokeellisuuden opetustyyleistä on oppimisen kannalta kaikkein tehokkain. Tehtävän tutkimuksen tulee keskittyä pelkkien yleisten oppimistulosten sijaan myös opiskelijoiden konseptuaaliseen ymmärrykseen, opetetun sisällön muistamiseen, tieteellisen perustelun taitoihin, ylemmän kognition ajattelutaitojen sekä laboratoriotaitojen kehittymiseen. (Domin, 1999).

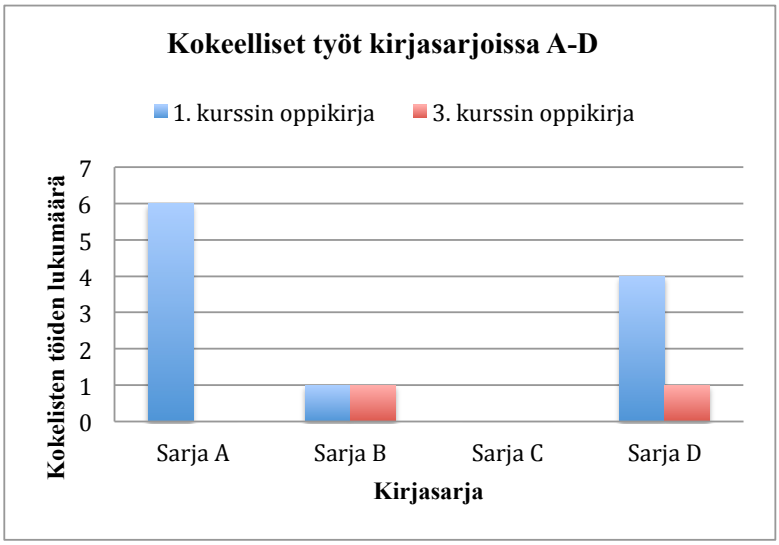
6. Tulokset

6.1 Tarveanalyysi

6.1.1 Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin liittyvät kokeelliset työt

Taulukkoon viisi on koottu tutkittujen kirjojen (sarjat A-D) sisältämien orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden kokeellisten töiden lukumäärä oppikirjoittain. Taulukosta nähdään, että kokeellisten töiden määrä kirjasarjoissa A-D vaihteli suuresti. Sarjassa A niitä oli yhteensä kuusi, sarjassa B kaksi, sarjassa D viisi ja sarjassa C ei yhtään. Sarjojen sisällä voi karkeasti sanoa kokeellisten töiden painottuneen ensimmäiselle kurssille.

Taulukko 5. Orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin liittyvien kokeellisten töiden lukumäärä kirjasarjoissa A-D



Taulukkoon kuusi on koottu tutkituissa kirjoissa esiintyneet kokeelliset työt. Oppikirjoissa esiintyi yhteensä kymmenen orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin liittyvää kokeellista työtä. Taulukosta nähdään, että kirjoissa ei juurikaan esiinny samoja kokeellisia töitä. Poikkeuksena on hopeapeilikoe, joka esiintyy kolmessa neljästä ensimmäisen kurssin oppikirjoista, ja etanolin hapettaminen etikkahapoksi, joka esiintyy kirjasarjan D sekä ensimmäisen että kolmannen kurssin oppikirjoissa.

Taulukko 6. Kokeelliset työt oppikirjoittain

Kokeellinen työ	Oppikirja
Etanolin tunnistaminen kaliumdikromaatin avulla	A1
Primäärisen, sekundäärisen ja tertiäärisen alkoholin tunnistaminen sinkkikloridi-suolahappoliuoksen avulla	A1
Yksi- ja moniarvoisten alkoholien tunnistaminen kaliumpermanganaatin avulla	A1
Propanaalin valmistus propanolista kaliumdikromaatin avulla	A1
Aldehydin osoitus Fehlingin reaktiolla	A1
Aldehydin osoitus hopeapeilikokeella	A1, B1 ja D1
Bentsyylialkoholin hapettaminen bentsaldehydiksi mangaanidioksidin avulla	B2
Etanolin hapettaminen etanaaliksi kaliumdikromaatin avulla	D1
Etanolin hapettaminen etikkahapoksi kaliumdikromaatin avulla	D1, D2
Sininen pullo (hapetus-pelkistysindikaattori)	D1

Taulukkoon seitsemän on koottu kokeellisten töiden aihealueiden yläluokat. Seitsemän kirjasarjojen A-D sisältämistä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden kokeellisista töistä liittyivät alkoholien hapettumiseen. Huomioitavaa on, että neljässä seitsemästä alkoholien hapettumiseen liittyvästä työstä hapettavana reagenssina käytettiin kaliumdikromaattia (taulukko 6), joka on karsinogeeni. Kaksi töistä liittyi aldehydien osoitusreaktioihin ja yksi indikaattoriin, jonka hapettunut muoto on eri värinen kuin sen pelkistynyt muoto.

Suurin osa töistä liittyi siis primääristen, sekundääristen ja tertiääristen alkoholien hapettumisen kemiaan. Huomioitavaa on, että kaikki tutkittujen oppikirjojen kokeelliset työt liittyvät orgaanisten yhdisteiden hapettumiseen, eikä missään oppikirjassa ollut yhtään kokeellista työtä, joka olisi liittynyt orgaanisten yhdisteiden pelkistymiseen.

Taulukko 7. Kokeellisten töiden aihealueiden yläluokat

Kokeellisen työn aihealueen yläluokka	Yläluokkaan kuuluvat kokeellisten töiden lukumäärä
Alkoholien hapettuminen	7
Aldehydien hapettaminen (osoitusreaktiot)	2
Muut (hapetus-pelkistys indikaattori)	1

Taulukkoon kahdeksan on koottu kokeellisten töiden opetukselliset menetelmät. Kaikki tutkittujen oppikirjojen kokeelliset työt olivat luonteeltaan reseptinomaisia ja lyhyitä. Toisin sanoen työohjeessa oli tarkasti kerrottu vaihe vaiheelta työn suoritus, ikään kuin keittokirjoissa. Yksikään töistä ei sisältänyt orgaanista synteesiä. Kolme A1 kirjasarjan työtä (taulukossa 6 kolme ensimmäistä) eivät sisältäneet käsin tehtävää kokeellisuutta, vaan koe tuli suorittaa katsomalla työ cd:ltä, ja vastata sen perusteella annettuihin kysymyksiin.

Taulukko 8. Kokeellisessa työssä käytetty opetuksellinen menetelmä

Kokeellisen työn opetuksellinen menetelmä	Menetelmää käyttävien töiden lukumäärä
Reseptinomainen	6
Työ katsotaan opetusvideolta	3
Tutkimuksellinen	0

6.2 Tuotetut kokeelliset työt

Hedelmien tummuminen -työ on tässä tutkimuksessa kehitelty (työ 1, liite 2). Tehtävänä on tutustua tarkemmin arjesta tuttuun kemialliseen ilmiöön: hedelmien leikkauspinnan tummumiseen. Samalla tutustutaan orgaaniseen hapetusreaktioon ja antioksidantteihin sekä niiden toimintaperiaatteisiin. Työssä harjoitellaan oman tieteellisen tutkimuksen suunnittelemista hankitun tiedon pohjalta, hypoteesien muodostamista, tutkimuksen toteutusta ja tulosten tulkintaa tutkimalla, miten hedelmien tummumisen voisi estää. Tavoitteena on myös harjoitella aikamuuttujan hallintaa nolla- ja kontrollinäytteen avulla. Työn suorituksen jälkeen tavoitteena on pohtia tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Alkoholien hapettuminen -työ on tehty Kemisti 1 kirjan s. 75 tehtävän 67 pohjalta (työ 2, liite 3) (Aroluoma *et al*., 2007). Työssä hapetetaan primäärisiä, sekundäärisiä ja tertiäärisiä alkoholeja kaliumpermanganaatin avulla. Tarkoituksena on tutkia, mitkä annetuista alkoholinäytteistä hapettuvat. Tavoitteena on suunnitella oma tutkimus annetun taustatiedon sekä opiskelijoiden aikaisemman tiedon perusteella. Tutkimuksen suunnittelussa tulee hyödyntää aikaisempaa tietoa alkoholien rakenteista ja työturvallisuudesta. Työ painottaa tulosten tulkintaa sekä johtopäätösten tekemistä oman tutkimuksen perusteella.

Bentsaldehydin hapetus bentsoehapoksi -työ on tehty Gandharin tutkimusryhmän (2007) artikkelin pohjalta (työ 3, liite 4). Työssä hapetetaan aromaattinen aldehydi vastaavaksi karboksyylihapoksi (Gandhari *et al*., 2007). Orgaaninen synteesi toteutetaan refluksointilaitteistolla, tuote eristetään imusuodatuksella ja puhdistetaan uudelleenkiteyttämällä. Työohjeen loppupohdinnoissa on tarkoituksena pohtia tuotteen tunnistamisen sekä puhtauden määrittämisen keinoja, jotka voidaan toteuttaa kurssilla ajan ja resurssien salliessa. Tämä työ oli kaikista kehitetyistä töistä haastavin muokata tutkimukselliseksi, koska vaativa teoria esti avoimemman tehtävänannon käyttämisen. Ennen synteesiä tavoitteena on keskittyä taustatiedon hankintaan. Pelkän mekaanisen suorituksen välttämiseksi työohjeessa on kursivoituja kysymyksiä, joiden on tarkoitus ohjata opiskelijaa ajattelemaan työn suoritukseen liittyvää kemiaa. Synteesin jälkeen pohditaan tulosten mahdollisia virhelähteitä ja taustatiedon hankintaan käytettyjen lähteiden luotettavuutta.

Taulukko 9. Kehitettyjen kokeellisten töiden tavoitteet ja pääpiirteet

Työ	Kokeellisen osuuden kesto	Kurssi	Sisältö	Tutkimuksellisuus
Hedelmien tummuminen	25 min	KE1	Orgaanisen aineksen hapettuminen ja sen estäminen, antioksidantit	Tiedonhankinta, hypoteesien muodostaminen ja testaaminen, koejärjestelyn suunnittelu, muuttujan kontrollointi, tulosten tulkinta, johtopäätösten tekeminen, tutkimuksen luotettavuuden arviointi
Alkoholien hapettuminen	15 min	KE1, KE3, (KE4)	Primääristen, sekundääristen ja tertiääristen alkoholien hapettuminen	Aiemman- ja taustatiedon hyödyntäminen, hypoteesien muodostaminen ja testaaminen, koejärjestelyn suunnittelu, tulosten tulkinta, johtopäätösten tekeminen
Bentsaldehydin hapetus bentsoehapoksi	3h	Työ-kurssi tai KE3	Aldehydin hapettuminen karboksyyli-hapoksi, orgaaninen synteesi, uudelleenkiteytys, tuotteen toteaminen ja puhtauden määrittäminen	Tiedonhankinta, tulosten tulkinta, virhelähteiden pohdita, lähdekritiikki

6.3 Tuotettujen töiden tutkimuksellinen opettaminen

Työohjeet sisältävät ennakkotehtäviä ja loppupohdintoja. Ne on tarkoitettu käytäväksi läpi luokan kanssa yhteisesti ennen ja jälkeen työn, mutta ne voi antaa ajan säästämiseksi esimerkiksi kotitehtäviksi. Ennakkotehtävien on tarkoitus herätellä opiskelijan tietorakenteita tulevaa työtä varten, ja keskittää huomio työn kannalta olennaiseen tietoon. Ennakkotehtävissä on usein myös tiedonhakua vaativia tehtäviä. Tällöin lähteet on kirjattava ylös. Niiden luotettavuutta voidaan pohtia ajan salliessa. Loppupohdintojen on tarkoitus koota tehtyä työtä yhteen, sekä mahdollisesti auttaa opiskelijaa johtopäätösten ja yleistysten tekemisessä.

Töissä yksi ja kaksi on tarkoitus tehdä tutkimussuunnitelma ennen varsinaisen tutkimuksen suorittamista. Tutkimussuunnitelma voi olla hyvinkin erilaisen näköinen tekijästä riippuen, mutta periaatteessa sen tulisi sisältää ainakin seuraavat osiot: tutkimuksen tarkoitus, työhön/ilmiöön liittyvä teoria lyhyesti, käytettävät välineet ja reagenssit sekä hypoteesit. Työohjeissa ei ole erikseen mainittu mitään työselostusten teettämisestä. Tehdyistä kokeellisista töistä olisi kuitenkin aina hyvä tehdä jonkinlainen työselostus tai loppuraportti, josta käy ilmi tutkimussuunnitelman sisältämien asioiden lisäksi tulokset ja johtopäätökset. Työselostuksia on monenlaisia, ja sen pituus voi vaihdella yhdestä sivusta pitkään kurssityöhön. Tutkimussuunnitelmat sekä loppuraportit voi antaa koti- tai kurssitehtäviksi.

Työohjeet on pyritty laatimaan mahdollisimman kattaviksi, jotta ne olisivat mahdollisimman helppoja toteuttaa käytännössä. Jokaisessa työohjeessa on erikseen kyseiseen työhön liittyviä opetuksellisia huomioita ja vihjeitä. Myös työn mahdollinen jakaminen useammalle työkerralle on kerrottu ohjeissa. Pääasiassa kaikki tutkimukselliset työt kannattaa toteuttaa ryhmätöinä (2-3 henkilöä per ryhmä), jotka tukevat opiskelijoiden sosiaalisten- ja ryhmätyötaitojen kehitystä sekä oppimisen sosiaalista luonnetta.

Tutkimuksellisuuden yksi päätavoite on tukea opiskelijaa ideoimaan ja ajattelemaan itse, joten työohjeissa esitetyt tutkimusmenetelmät eivät ole ainoita oikeita. Opettajan tulisi suhtautua opiskelijoiden vaihtoehtoisiin tutkimusmenetelmiin positiivisesti, ja antaa toteuttaa ne, jos ne ovat toteuttamiskelpoisia. Tutkimuksellisen kokeellisen työn tulokset saattavat myös vaihdella enemmän tutkimusryhmien kesken kuin perinteisessä reseptinomaisessa työssä. Tällöin on hyvä pysähtyä pohtimaan yhdessä, mistä tulosten vaihtelu johtuu, ja mitkä tekijät vaikuttavat havaittuihin tuloksiin. Lisäksi on hyvä miettiä, onko suoritettu tutkimus luotettava, ja mitkä tekijät vaikuttavat siihen.

Töiden käytännön toteuttamisen haasteet kasvavat työhön tarvittavien reagenssien ja välineiden määrän kasvaessa. Hedelmien tummuminen sekä alkoholien hapettuminen -työt eivät juuri vaadi materiaalisia resursseja, ja ne pitäisi pystyä toteuttamaan suhteellisen helposti. Hedelmien tummuminen -työn pystyy käytännössä tekemään jopa ulkona kauniina kesäpäivänä. Jälkimmäisessä työssä vetokaappi on välttämätön, joten tämä asettaa sen suorittamiselle tietyn rajaehdon. Bentsaldehydin hapetus bentsoehapoksi -työn toteuttamiseen vaaditaan jo huomattavasti enemmän lasitavaraa sekä reagensseja. Tämän takia ryhmäkoko ei voi olla kovin suuri, ja työ soveltuu parhaiten tehtäväksi työkurssilla. Kyseisessä työssä käytännön toteuttamisen haasteena on lisäksi siinä käytettävän reagenssin harvinaisuus. Oxone on kemikaali, jota ei todennäköisesti löydy kouluista, vaan se pitää tilata erikseen.

Kuten luvussa 5.4 mainittiin, tutkimuksellinen kokeellisuus on opiskelijoiden mielestä usein työlästä sekä aikaavievää, ja tutkimukselliset työt koetaan usein vaikeiksi sekä turhauttaviksi. On selvää, että reseptinomaisiin ohjeisiin verrattuna paljonkin avoimemman tehtävänannon alaisena toimiminen vaatii harjoittelua, eikä se tule itsestään. Tämä vaatii opiskelijoilta ja ohjaajilta kärsivällisyyttä. Lisäksi työt, joiden avulla harjoitellaan tutkimuksellisuutta, tulee valita tarkoin. Kannattaa aloittaa jostain riittävän yksinkertaisesta ilmiöstä ja teoriasta. Esimerkiksi tämän kehittämistutkimuksen tuotoksena kehitetty hedelmien tummuminen -työ on ilmiönä kaikille tuttu, ja riittävän yksinkertainen tutkia. Kun tutkimuksellisuutta on harjoiteltu, ja esimerkiksi tutkimussuunnitelman laatiminen on jo tullut tutuksi, voi siirtyä haastavampiin tehtäviin. Esimerkiksi alkoholien hapettuminen -työ on teorialtaan jo paljon vaikeampi, ja tutkimuksen suunnittelu on huomattavasti haastavampaa.

Tutkimuksellisen työn arviointi eroaa perinteisen reseptinomaisen työn arvioinnista. Oppimisen lisäksi perinteisen työn arvioinnissa kädentaidot ja ilmiön tuottaminen ovat keskiössä, kun taas tutkimuksellisuudessa myös itse tutkimuksellisuutta sekä opiskelijoiden tutkimuksellisten taitojen kehitystä (ks. luku 5.4) tulisi pystyä arvioimaan. Tämä on kuitenkin hankalaa, sillä siihen kehitettyjä menetelmiä on melko vähän (Hofstein, Shore, & Kipnis, 2004). Hofsteinin tutkimusryhmä (2004) on kehittänyt tutkimuksellisuuden arviointia varten kaavakkeen, joka koostuu opettajan arvioinnista sekä opiskelijoiden itse täyttämästä osiosta (Taulukko 10).

Hofsteinin ryhmän kehittämä kaavake on hyvä ja perusteellinen työkalu tutkimuksellisuuden arviointiin. Ryhmän toteuttamassa tutkimuksessa opiskelijoita arvioitiin kaksi vuotta samalla kaavakkeella, ja kokeellisen työskentelyn arviointi muodosti lopulta 20% lopullisesta arvosanasta. Tällainen jatkuva arviointi on ryhmän mielestä tärkeää, jotta opiskelijat motivoituisivat oppimaan kokeellisista töistä. Suomalaisissa lukiossa tämä on kuitenkin vaikeaa kurssimuotoisen opiskelun vuoksi. Arviointikaavaketta voi kuitenkin soveltaa yhteen kurssiin kerrallaan, ja halutessaan jatkaa saman kaavakkeen käyttöä seuraavalla kurssilla.

Taulukko 10. Tutkimuksellisuuden arviointikaavake Hofsteinia, Shorea ja Kipnistä (2004) mukaillen.

OPETTAJAN ARVIOINTI (20 %)			**RYHMÄN ARVIOINTI** (80 %)								Kriteeri
			Raportti (5 %)	Tulokset ja johtopäätökset (30 %)			Tutkimuksellisuus (35 %)			Havainnointi (10 %)	
Kommunikointitaidot (10 %)	*Yhteistyö ryhmässä (5 %)*	*Tutkimuslaitteisto (5 %)*	*Kirjallinen raportti*	*Tiivistelmä*	*Johtopäätökset*	*Tulosten esittäminen*	*Suunnittelu*	*Hypoteesien muodostaminen*	*Kysymysten tekeminen*	*Kirjaaminen*	Työn nimi
											Keskiarvo

7. Johtopäätökset ja pohdinta

7.1 Tarveanalyysi

Tarveanalyysin tekeminen lukion ensimmäisen ja kolmannen kurssin oppikirjoista antaa jonkinlaisen kuvan tutkitun aiheen opetuksesta kotimaisissa lukioissa, koska suomessa oppikirja on yleensä ensisijainen opetuslähde. On kuitenkin muistettava, että kokeellisia töitä löytyy muualtakin kuin oppikirjasta, ja kirjaa tärkeämpää on se, mitä luokkahuoneessa todella tapahtuu. Täten tarveanalyysin tuloksiin tulee suhtautua varauksella, ja muistaa että ne eivät täysin kuvaa todellisuutta. Jatkotutkimuksen kannalta olisi mielekästä teettää opettajilla sekä mahdollisesti myös opiskelijoilla kysely siitä, millaisia kokeellisia töitä he aiheesta teettävät tai tekevät.

Tarveanalyysin perusteella orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioista on olemassa kokeellisuutta, mutta sen määrä saattaa vaihdella paljonkin eri kirjasarjojen sisällä. Lisäksi työt painottuvat lukion ensimmäiselle kemian kurssille (KE1). Töiden painottuminen saattaa johtua lukion opetussuunnitelman perusteista, jossa mainitaan orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiot suoraan keskeisenä sisältönä ainoastaan lukion ensimmäisellä kurssilla (ks. luku 4.1). Kolmannen kurssin kohdalla tavoitteissa kuitenkin mainitaan, että opiskelijan tulisi osata tutkia kokeellisesti erilaisia orgaanisia reaktiotyyppejä ja niihin liittyviä ilmiöitä. Kolmannen kurssinkin siis tulisi sisältää kokeellisia töitä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioista.

Pääosin kaikki työt olivat suhteellisen lyhyitä, eikä yksikään työ sisältänyt orgaanista synteesiä. Lisäksi tutkituissa oppikirjoissa kaikki työt olivat reseptinomaisia eikä tutkimuksellisia töitä ollut yhtään. Oppikirjojen sisältämä kokeellisuus käsitteli pelkästään orgaanisten yhdisteiden hapettumista, jossa keskityttiin erityisesti primääristen, sekundääristen ja tertiääristen alkoholien hapettamiseen. Aldehydien hapettamisesta oli oppikirjoissa pari lyhyttä aldehydifunktionaalisuuden osoitusreaktiota, jossa itse aldehydin hapetusreaktio oli toissijainen. Aiheesta ei ollut mitään isompaa työtä, jossa esimerkiksi syntetisoitaisiin tarkoituksella karboksyylihappoa hapettamalla jotakin aldehydiä.

Neljässä seitsemästä alkoholien hapettamiseen liittyvästä kokeellisesta työstä hapettavana reagenssina käytettiin kaliumdikromaattia, joka on haitallinen sekä ihmiselle että ympäristölle. Se on myrkyllistä nieltynä sekä tappavaa hengitettynä. Lisäksi sen on todettu vahingoittavan elimiä toistuvassa altistumisessa, ja se saattaa aiheuttaa perimävaurioita sekä syöpää (SIGMA-ALDRICH, 2013a). Koulukemikaaliksi kaliumdikromaatti ei siis sovi. Suuressa osassa Suomen kouluja kyseinen kemikaali on hävitetty, ja sen käyttö on kielletty kokeellisissa töissä. Orgaanisten yhdisteiden hapetusreaktiot ovat kuitenkin tärkeä opetettava sisältö lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaan, ja niistä täytyy olla saatavilla kokeellisia töitä. Suositun kromireagenssin tilalle tulee löytää jokin uusi hapetin, joka on turvallisempi sen käyttäjälle sekä ympäristölle. Tässä tutkielmassa on esitelty oxone, jolla on potentiaalia täyttää annetut ehdot (ks. liite 4).

Yksikään töistä ei liittynyt orgaanisten yhdisteiden pelkistymiseen. Syynä tähän ovat todennäköisesti pelkistämisessä käytettävien reagenssien hankaluus, haitallisuus ja myrkyllisyys. Tyypillisesti orgaanisessa kemiassa käytettyjä pelkistimiä ovat erilaiset metallihydridit, kuten natriumboorihydridi ja lititiumalumiinihydridi. Natriumboorihydridi on syövyttävää ja myrkyllistä nieltynä sekä iholle joutuessaan, kun taas litiumalumiinihydridi ärsyttää voimakkaasti silmiä ja ihoa (SIGMA-ALDRICH, 2012; SIGMA-ALDRICH, 2014). Jälkimmäinen on lisäksi ongelmallinen säilyttää, sillä se reagoi veden kanssa voimakkaasti. Pelkistämiseen voidaan käyttää myös vetykaasua esimerkiksi palladiumkatalyytin läsnä ollessa. Vetykaasu on kuitenkin herkästi räjähtävää, ja palladium hyvin kallista. Kirjallisuudesta löytyy yksi pelkistin, joka ei ole myrkyllinen eikä läheskään yhtä haitallinen kuin yleisesti käytetyt metallihydridit. Nafion NR50 on kuitenkin todennäköisesti liian kallista koulussa käytettäväksi (10g 140€) (SIGMA-ALDRICH, 2013b).

Tarveanalyysin on tehnyt vain yksi henkilö, joten sen luotettavuus kärsii subjektiivisuuden takia. Lisäksi valikoitu aineisto on käyty läpi vain kerran. Luotettavuutta voisi parantaa käymällä aineisto läpi uudelleen. Objektiivisuuden parantamiseksi analyysiin voitaisiin ottaa mukaan useampi henkilö.

7.2 Teoreettinen ongelma-analyysi

Teoreettinen ongelma-analyysi on tehty aiheeseen liittyvästä tutkimuskirjallisuudesta, joka sisälsi sekä kirjoja, tutkimusartikkeleita että kirjallisuuskatsauksia. Analyysiin on pyritty valitsemaan aiheen kannalta keskeisimmät julkaisut mahdollisimman monipuolisesti. Ongelma-analyysin luotettavuus kuitenkin laskee sen subjektiivisuuden takia, koska sama henkilö on valinnut tutkimukseen otettavat artikkelit ja analysoinut ne. Luotettavuutta voisi parantaa käymällä aineisto läpi useampaan kertaan, ja ottamalla teoreettisen ongelma-analyysin tekoon mukaan useampi henkilö.

Akselan ja Juvosen teettämässä kyselyssä (1999) tuli ilmi, että opettajien mielestä kokeellisen työn tulisi olla motivoiva, selkeä, turvallinen, yksinkertainen, nopea, helppo suorittaa ja mielellään liittyä jollakin tapaa opiskelijoiden arkeen. Tutkimuskirjallisuuden suosima tutkimuksellinen lähestymistapa ei usein ole kuvailtavissa adjektiiveilla ”yksinkertainen” tai ”nopea”, vaan se on usein aikaavievää ja työlästä. Tutkimuksellisuutta kuvaisi ehkä paremmin ”oivaltava” tai nimensä mukaisesti ”tutkiva”. Vaivannäkö kuitenkin usein palkitaan, kuten luvussa 5 on kerrottu. Akselan ja Juvosen artikkelissa opettajien kuvailema hyvä kokeellinen työ muistuttaa perinteistä reseptinomaista työtä. Keittokirjamainen kokeellinen työ on myös oppikirjoissa selvästi yleisin, mutta tutkimuskirjallisuuden mukaan tästä on aika siirtyä eteenpäin. Reseptinomaisille, alhaisen oppimisvaateen töille on toki paikkansa, esimerkiksi kun opetellaan tislauslaitteiston kokoaminen ja käyttö. Korkeamman oppimisvaateen työt, jotka vaativat korkeamman tason kognitiota ja -ajattelutaitoja, on hyvä toteuttaa tutkimuksellisesti, jotta teorian sekä käytännön kuilu ei kasva liian suureksi, ja jotta opiskelijat saavat tarpeeksi aikaa sekä tukea linkittää havainnot työn teoriaan (ks. luku 5.3). Tämä edesauttaa myös mielekästä oppimista sekä kemiallisen tiedon omaksumista, kun makrotasosta siirrytään tarpeeksi pienillä, opiskelijaa tukevilla askelilla kohti submikrotasoa luvussa 4.4 esitetyn oppimissyklin mukaisesti.

Koulutuksen yleisenä kasvatustavoitteena on kasvattaa kriittisiä kansalaisia, jotka osaavat ajatella itsenäisesti, ottaa asioista selvää, ottaa kantaa heidän elämäänsä vaikuttaviin kysymyksiin alati muuttuvassa yhteiskunnassa, kyseenalaistaa heille esitettyä tai itse hankittua tietoa ja tarkastella sitä vaihtoehtoisesta näkökulmasta sekä työskennellä ryhmässä (Opetushallitus, 2003). Kuten luvussa 5 on mainittu, reseptinomaiset työt eivät juuri mahdollista yllämainittujen kriittiseen kansalaisuuteen kuuluvien taitojen oppimista, kun taas tutkimuksellisuuteen ne kuuluvat olennaisesti. Opetussuunnitelman perusteet painottaakin tutkimuksellisuutta nykyisen sosiokonstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaisesti.

7.3 Tuotetut kokeelliset työt

Tämän kehittämistutkimuksen tuloksena syntyi kolme tutkimuksellista orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistys reaktioihin liittyvää kokeellista työtä, jotka on kehitetty tarveanalyysistä nousseiden huomioiden pohjalta. Töihin on lisäksi liitetty tutkimuksellinen näkökulma, joka on tutkimuskirjallisuuden mukaan seuraava askel eteenpäin. Tutkimuksellisten töiden opettamisen erikoispiirteistä on keskusteltu luvussa 6.3. Kehitetyt työt vastaavat tarveanalyysin asettamia tarpeita muutamilla huomioilla. Alkoholien hapettamisesta oli jo valmiiksi paljon kokeellisia töitä, mutta tässä kehittämistutkimuksessa haluttiin tuoda reseptinomaisten alkoholien hapettamistöiden rinnalle ainakin yksi tutkimuksellinen vaihtoehto. Lisäksi bentsaldehydin hapetus on tutkimuksellisuuden tasolta suhteellisen alhainen, mutta sen kehittäminen oli perusteltua orgaanisen synteesin esittelemisen sekä turvallisemman hapettavan reagenssin käytön vuoksi. Pelkistymisestä ei reagenssien haitallisuuden ja hintavuuden vuoksi pystynyt kehittämään kouluun sopivaa kokeellista työtä.

7.4 Luotettavuus

Tämän kehittämistutkimuksen luotettavuutta on yritetty parantaa huomioimalla kehittämistutkimuksen ominaispiirteet sekä Edelsonin (2002) määrittelemät kolme kehittämistutkimuksen osa-aluetta. Luvussa 2 mainittiin uskottavuuden, siirrettävyyden, luotettavuuden ja varmuuden sekä vahvistettavuuden käsitteet, ja niiden soveltaminen kehittämistutkimuksen luotettavuuden arviointiin. Tämän tutkimuksen tuotoksena syntyneet kokeellisten töiden työohjeet ovat suoraan siirrettävissä opetuksen kentälle (siirrettävyys). Lisäksi kehittämisprosessista on tutkimuksen edetessä pidetty kirjaa, ja raportoitu tämän tutkielman muodossa (luotettavuus ja vahvistettavuus). Kehittämisprosessi sisältää kuitenkin vain yhden syklin, eikä kehittämistuotosta ei ole testattu tai arvioitu autenttisissa olosuhteissa (siirrettävyys, uskottavuus, luotettavuus ja vahvistettavuus).

7.5 Yhteenveto

Luonnontieteiden opetuksen pedagogiikka ja sisältö ovat muuttumassa. Tarveanalyysin mukaan suomalaisissa lukion kemian oppikirjoissa orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioihin liittyvät kokeelliset työt ovat reseptinomaisia ja keskittyvät suurelta osin vain alkoholien hapettumiseen. Keittokirjamaiset kokeelliset työt eivät mahdollista korkeamman ajattelutason sekä tutkimuksellisten taitojen, kuten luovuuden, kriittisyyden, ryhmätyöskentelytaitojen ja ongelmanratkaisukyvyn kehittymistä. Lisäksi opiskelijat eivät välttämättä opi haluttuja sisältöjä, koska töiden suoritus ei vaadi opiskelijalta aktiivista tiedonkäsittelyä ja konstruointia vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa, mikä on oppimisen edellytys nykyisen oppimiskäsityksen mukaan. Teoreettisen ongelma-analyysin tuloksien pohjalta voidaan sanoa tutkimuksellisuuden olevan yksi mahdollinen ratkaisu. Siinä opiskelija osallistuu itse kokeen suunnitteluun, toteutukseen sekä arviointiin. Työn suoritus vaatii opiskelijan aktiivista osallistumista ja edistää korkeamman ajattelutason taitojen kehittymistä sekä mielekästä oppimista.

Kokeellinen työ on tehokkaimmillaan kun: (a) oppimistavoitteita on vain muutama, ja ne ovat selkeät, (b) suoritettava työ on linjassa oppimistavoitteiden kanssa, eikä se sisällä mitään tavoitteiden kannalta ylimääräistä ja (c) opiskelijan aikaisempi tieto aiheesta on aktivoitu ennen työn suoritusta (Millar, 2004). Tässä tutkielmassa kehitetyt kokeelliset työt ovat linjassa Millarin (2004) vaatimusten kanssa. Töiden tarkoitus on edistää opiskelijoiden mielekästä oppimista orgaanisen kemian hapetus-pelkistysreaktioiden käsitteistä (ks. luku 4.3). Tähän on pyritty tukemalla korkeamman ajattelutason taitojen kehitystä soveltamalla tutkimuksellista, kokeellista työskentelyä ja kuusi vaiheista oppimissykliä oppimisympäristöön (ks. luku 4.4).

Kirjallisuudesta löytyy kasvavissa määrin orgaanisen kemian tutkimuksellisia kokeellisia töitä yliopistotasolle. Niitä on kehitelty erilaisten spektroskooppisten menetelmien oppimiseen, synteesikemiaan sekä esimerkiksi neste-neste uuttoon (Bennett & Forster, 2010; Raydo, Church, Taylor, Taylor, & Danowitz, 2015; Schoffstall & Gaddis, 2007). Lukioon kehiteltyjä töitä ei ole kirjallisuudessa juurikaan, ja orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden kontekstissa tutkimuksellisia töitä ei ole ollenkaan lukio- tai yliopistotasolla. Aiheeseen tulisi kuitenkin olla saatavilla tutkimuksellisia töitä, koska se on yksi orgaanisen kemian keskeisimmistä reaktiotyypeistä.

Tutkimuksen seuraava vaihe olisi testata työt opiskelijoilla, ja selvittää, kuinka toimivia työohjeet sekä mahdolliset tauotukset ovat luokkahuonetilanteessa. Työohjeiden jatkokehittämisen jälkeen olisi mielenkiintoista tutkia, tukevatko kehitetyt työt mielekästä oppimista valitussa kontekstissa ja edelleen, mitä oppimistuloksia kehitetyllä materiaalilla voidaan saavuttaa, sekä miten tulokset suhtautuvat perinteisten reseptinomaisten töiden avulla saavutettaviin tuloksiin. Lisäksi työohjeiden kehittämistä tukisi tieto hapetus-pelkistysreaktioiden oppimisesta sekä sen mahdollisista vaikeuksista. Luvussa neljä selvisi, että suoraan aiheeseen liittyvää opetuksen ja oppimisen tutkimusta on hyvin vähän, joten tämä voisi olla myös yksi mielenkiintoinen jatkotutkimuksen kohde.

Kehitetyt kokeelliset työt tulevat selvästi tarpeeseen, sillä tutkituissa oppikirjoissa ei ollut lainkaan tutkimuksellisia töitä orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktiosta. Aiheesta ei löydy lukiotasoisia, tutkimuksellisia, mielekästä oppimista tukevia töitä myöskään kirjallisuudesta. Uuden opetussuunnitelman myötä tutkimuksellisen kokeellisuuden rooli tulee yhä tärkeämmäksi, joten sen periaatteita noudattavien kokeellisten töiden kehittäminen on tulevaisuuden kannalta tärkeää. Myös turvallisemman hapettavan reagenssin löytäminen kirjoissa suositun, mutta todellisuudessa kouluissa kielletyn kaliumdikromaatin tilalle on merkittävä saavutus aiheen kokeelliselle opetukselle. Kehitettyjen töiden merkittävyyttä lisää se, että tutkimuksellisuus voi edistää mielekästä oppimista ja korkeamman ajattelutason taitojen kehittymistä, sekä auttaa opiskelijoita kasvamaan lukion opetussuunnitelman arvoperustan mukaisiksi kriittisiksi kansalaisiksi, jotka ymmärtävät asiasisällön lisäksi tieteellisen tiedon luonteesta ja sen tuottamisesta.

Lähteet

Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education, 30*(14), 1945-1969.

Aksela, M. (2005). *Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach* (Doctoral Thesis, Helsingin yliopisto).

Aksela, M., & Juvonen, R. (1999). *Kemian opetus tänään*. Helsinki: Opetushallitus, Edita oy.

Aksela, M., & Karjalainen, V. (2008). *Kemian opetus tänään: Nykytila ja haasteet suomessa* Kemian opetuksen keskus, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.

Allen, J. B., Barker, L. N., & Ramsden, J. H. (1986). Guided inquiry laboratory. *Journal of Chemical Education, 63*(6), 533.

Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., . . . Wittrock, M. C. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of bloom´s taxonomy of educational objectioves, abridged edition* Addison Wesley Longman, Inc.

Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T., . . . Vakkilainen, K. (2007). *Kemisti 1 ihmisen ja elinympäristön kemia 1.-2. painos* Werner Söderström Osakeyhtiö.

Bennett, J., & Forster, T. (2010). IR cards: Inquiry-based introduction to infrared spectroscopy. *Journal of Chemical Education, 87*(1), 73-77.

Bodner, G. M. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education, 63*(10), 873.

Bybee, R., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Carlson, J., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness* Colorado Springs, CO: BSCS.

Chin-Quen, L., & Hsiao-Ching, S. (2010). Facilitating students´ conceptual change and scientific reasoning involving the unit of combustion. *Research in Science Education, 40*(4), 479-504. Haettu internetistä 1.3.2015 <http://dx.doi.org/10.1007/s11165-009-9130-4>.

Clayden, J., Greeves, N., & Warren, S. (2012). *Organic chemistry* (Second Edition ed.) Oxford University Press Inc.

Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences, 13*(1), 15-42.

Cooley, J. H. (1991). A problem-solving approach to teaching organic laboratory. *Journal of Chemical Education, 68*(6), 503.

Cooper, M. M., & Kerns, T. S. (2006). Changing the laboratory: Effects of a laboratory course on students' attitudes and perceptions. *Journal of Chemical Education, 83*(9), 1356.

Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education, 76*(4), 543.

Duis, J. M. (2011). Organic chemistry educators´ perspectives on fundamental concepts and misconceptions: An exploratory study. *Journal of Chemical Education, 88*(3), 346-350.

Dunlap, N., & Martin, L. J. (2012). Discovery-based labs for organic chemistry: Overview and effectiveness. (pp. 1-11) American Chemical Society.

Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *Journal of the Learning Sciences, 11*(1), 105-121.

Eilks, I., & Hofstein, A. (2013). *Teaching chemistry - A studybook, A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* Sense Publishers.

Espín, J. C., García-Ruiz, P. A., Tudela, J., Varón, R., & García-Cánovas, F. (1998). Monophenolase and diphenolase reaction mechanisms of apple and pear polyphenol oxidases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46*(8), 2968-2975.

Farrell, J. J., Moog, R. S., & Spencer, J. N. (1999). A guided-inquiry general chemistry course. *Journal of Chemical Education, 76*(4), 570.

Gallet, C. (1998). Problem-solving teaching in the chemistry laboratory: Leaving the cooks.. *Journal of Chemical Education, 75*(1), 72.

Galley, W. C. (2004). Exothermic bond breaking: A persistent misconception. *Journal of Chemical Education, 81*(4), 523.

Gandhari, R., Maddukuri, P. P., & Vinod, T. K. (2007). Oxidation of aromatic aldehydes using oxone. *Journal of Chemical Education, 84*(5), 852.

Golafshani, N. (2003). Understanding reliability and validity in qualitative research. *The Qualitative Report, 8*(4, December 2003), 597-606. Haettu internetistä 1.2.2015 <http://www.nova.edu/ssss/QR/QR8-4/golafshani.pdf>.

Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? or can students learn something from doing experiments? *Journal of Research in Science Teaching, 37*(7), 655-675.

Henderleiter, J., Smart, R., Anderson, J., & Elian, O. (2001). How do organic chemistry students understand and apply hydrogen bonding? *Journal of Chemical Education, 78*(8), 1126.

Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry Education Research and Practice, 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.

Hofstein, A., Shore, R., & Kipnis, M. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory: A case study. *International Journal of Science Education, 26*(1), 47-62.

Horowitz, G. (2003). A discovery approach to three organic laboratory techniques: Extraction, recrystallization, and distillation. *Journal of Chemical Education, 80*(9), 1039.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*(2), 75-83.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice, 1*(1), 9-15.

Juuti, K., & Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education: One step towards methodology. *NorDiNa, 4*, 54-68.

Lampiselkä, J. (2003). *Demonstraatio lukion kemian opetuksessa* Jyväskylän yliopisto.

Laredo, T. (2013). Changing the first-year chemistry laboratory manual to implement a problem-based approach that improves student engagement. *Journal of Chemical Education, 90*(9), 1151-1154.

Lavonen, J., & Meisalo, V. (2014). KOKEELLISUUDEN TYÖTAVAT: Opetuksen kokeellisuus. [www-dokumentti], (luettu 25.9.2014). <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/lahestymist/index.htm>.

Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education, 38*(1), 115-142.

McMurry, J. (2008). *Organic chemistry* (7th edition ed.) Thomson.

Mesquita, V. L. V., & Queiroz, C. (2013). Chapter 10 - enzymatic browning. In N. A. M. Eskin, & F. Shahidi (Eds.), *Biochemistry of foods (third edition)* (pp. 387-418). San Diego: Academic Press.

Millar, R. (2009). *Analysing practical activities to asess and improve effectiveness: The practical activity analysis inventory (PAAI)* York: Centre of Innovation and Research in Science Education, University of York. Haettu internetistä 3.2.2015: <http://www.york.ac.uk/education/research/research-paper/>.

Millar, R. (2004). *The role of practical work in the teaching and learning of science. paper presented for the committee: High school science laboratories: Role and vision.* National Academy of Sciences, Washington DC.

Mohrig, J. R. (2004). The problem with organic chemistry labs. *Journal of Chemical Education, 81*(8), 1083.

Newton, T. A., Tracy, H. J., & Prudenté Caryn. (2006). A research-based laboratory course in organic chemistry. *Journal of Chemical Education, 83*(12), 1844.

Novak, J. D., Wandersee, J. H., & Mintzes, J. J. (2005). *Assessing science understanding: A human constructivist view*. Burlington, MA: Academic Press. Haettu internetistä 12.2.2015: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=240750&site=ehost-live&scope=site>.

O´ Dwyer, A., & Childs, P. (2014). Organic chemistry in action! developing an intervention program for introductory organic chemistry to improve learners´ understanding, interest, and attitudes. *Journal of Chemical Education, 91*(7), 987-993.

Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003: Nuorille tarkoitetun lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet. helsinki: Opetushallitus.*

Pavelich, M. J., & Abraham, M. R. (1979). An inquiry format laboratory program for general chemistry. *Journal of Chemical Education, 56*(2), 100.

Pernaa, J. (2013). *Kehittämistutkimus opetusalalla* PS-kustannus, Opetus 2000.

Raydo, M. L., Church, M. S., Taylor, Z. W., Taylor, C. E., & Danowitz, A. M. (2015). A guided inquiry liquid/liquid extractions laboratory for introductory organic chemistry. *Journal of Chemical Education, 92*(1), 139-142.

Ricci, R. W., & Ditzler, M. A. (1991). Discovery chemistry: A laboratory-centered approach to teaching general chemistry. *Journal of Chemical Education, 68*(3), 228.

Rudd, J. A., Greenbowe, T. J., Hand, B. M., & Legg, M. J. (2001). Using the science writing heuristic to move toward an inquiry-based laboratory curriculum: An example from physical equilibrium. *Journal of Chemical Education, 78*(12), 1680.

Schoffstall, A. M., & Gaddis, B. A. (2007). Incorporating guided-inquiry learning into the organic chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education, 84*(5), 848.

SIGMA-ALDRICH. (2012). Natriumboorihydridi, $NaBH_4$, käyttöturvallisuustiedot. Haettu internetistä 13.11.2014: <http://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=FI&language=fi&productNumber=71321&brand=FLUKA&PageToGoToURL=http%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fproduct%2Ffluka%2F71321%3Flang%3Dfi>.

SIGMA-ALDRICH. (2013a). Kaliumdikromaatti, $K_2Cr_2O_7$, käyttöturvallisuustiedote. Haettu internetistä13.11.2014: <http://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=FI&language=fi&productNumber=207802&brand=SIAL&PageToGoToURL=http%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fproduct%2Fsial%2F207802%3Flang%3Dfi>.

SIGMA-ALDRICH. (2013b). Nafion NR50 käyttöturvallisuustiedote. Haettu internetistä 13.11.2014: <http://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=FI&language=fi&productNumber=309389&brand=ALDRICH&PageToGoToURL=http%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fproduct%2Faldrich%2F309389%3Flang%3Dfi>.

SIGMA-ALDRICH. (2014). Litiumalumiinihydridi, $LiAlH_4$, käyttöturvallisuustiedote. Haettu internetistä 13.11.2014: <http://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=FI&language=fi&productNumber=199877&brand=ALDRICH&PageToGoToURL=http%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fproduct%2Faldrich%2F199877%3Flang%3Dfi>.

Song, Y., Yao, Y., Zhai, H., Du, Y., Chen, F., & Shu-wei, W. (2007). Polyphenolic compound and the degree of browning in processing apple varieties. *Agricultural Sciences in China, 6*(5), 607-612.

The Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher, 32*(1), 5-8. Haettu internetistä 1.2.2015: <http://edr.sagepub.com/content/32/1/5.abstract>.

Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 27-47) Buckingham: Open University Press.

Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2002). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi 1.-3. painos* Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research & Development, 53*(4), 5-23. Haettu internetistä 1.2.2015: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ehh&AN=19511441&site=ehost-live&scope=site>.

Zumdah, S., & Zumdahl, S. (2003). *Chemistry* (6 th edition ed.). USA: Houghton Mifflin.

Liitteet

Liite 1.

Tarveanalyysissä tutkitut oppikirjat

A1: Lehtiniemi, K., & Turpeenoja, L. (2009). *MOOLI 1 ihmisen ja elinympäristön kemia KE1 1.-5. painos* Kustannusosakeyhtiö OTAVA.

A2: Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., & Vaskuri, J. (2005). *MOOLI 3 reaktiot ja energia KE3 1.-7. painos* Kustannusosakeyhtiö OTAVA.

B1: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., & Pihko, P. (2012). *REAKTIO 1 ihmisen ja elinympäristön kemia 1.-6. painos* Sanoma Pro Oy.

B2: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., & Pihko, P. (2012). *REAKTIO 3 reaktio ja energia 1.-2. painos* Sanoma Pro Oy.

C1: Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T., Vakkilainen, K. (2007). *Kemisti 1 ihmisen ja elinympäristön kemia 1.-2. painos* Werner Söderström Osakeyhtiö.

C2: Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T., Vakkilainen, K. (2005). *Kemisti 3 reaktiot ja energia 1. painos* Werner Söderström Osakeyhtiö.

D1: Kalkku, I., Kalmi, H., & Korvenranta, J. (2004). *KIDE 1 LUKION KEMIA ihmisen ja elinympäristön kemia KE1 1.-2. painos* Kustannusosakeyhtiö OTAVA.

D2: Kalkku, I., Kalmi, H., & Korvenranta, J. (2005). *KIDE 3 LUKIONKEMIA reaktiot ja energia KE3 1.painos* Kustannusosakeyhtiö OTAVA.

Liite 2.

(Opiskelijan ohje)

HEDELMIEN TUMMUMINEN

Ympärillämme tapahtuu jatkuvasti orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioita. Ne ovat meidän olemassaolomme kannalta elintärkeitä. Automme kulkevat orgaanisella polttoaineella, lämmitämme puusaunan tulen tuottaman lämmön avulla, saamme energiaa syömästämme ruuasta ja kompostoimme biojätteen. Orgaanisen aineksen hapettumisella on myös ikäviä seurauksia, esimerkiksi ruuan pilaantuminen. Elämää ylläpitävien tehtävien lisäksi orgaanisen aineksen hapettuminen on yhdistetty myös monien sairauksien ja ihmisen ikääntymisen aiheuttajiksi.

ENNAKKOTEHTÄVÄT

1. Miten orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktio määritellään?

2. Mitä entsyymit ovat?

3. Mistä hedelmien leikkauspinnan tummuminen johtuu? Voit käyttää apunasi kirjallisuutta ja internetiä. Merkitse tällöin käyttämäsi lähteet huolellisesti ylös.

4. Mitä tarkoitetaan hapettumisenestoaineilla? Mihin niiden toiminta perustuu?

TYÖOHJE

Kuva 1. Omenan tummuminen. Oikealla tuore leikkauspinta, keskellä 45 min huoneilmassa ollut ja vasemmalla 12h (kuva: Heli Vilén).

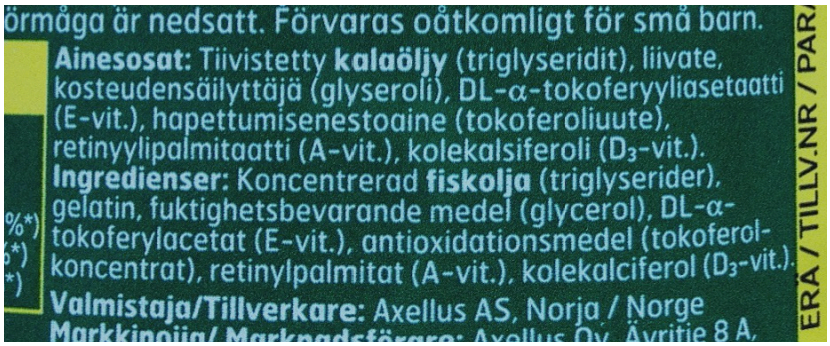
Oheinen ilmiö on monelle varmasti arjesta tuttu. Miten voisit estää tämän (keksi ainakin kolme eri keinoa)? Laadi tutkimussuunnitelma ja hyväksytä se opettajalla. Voit käyttää apunasi kirjallisuutta ja internetiä. Merkitse tällöin suunnitelmaasi selvästi käyttämäsi lähteet ja muista lähdekritiikki! Suorita tutkimus.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

1. Mikä tutkimistasi hapettumisenestokeinoista oli tehokkain? Miksi? Mikä oli heikoin? Miksi?

2. Onko suorittamasi tutkimus luotettava? Mitkä tekijät vaikuttavat tutkimuksesi luotettavuuteen? Miten voisit parantaa tutkimuksesi luotettavuutta?

3. Miksi hapettumisenestoaineita on lisätty lääkkeisiin ja ravintolisiin (kuva 1)?
   Ota selvää, mitä hapettumisenestoainetta on käytetty jossain kotoa löytyvässä ruoassa, lääkkeessä tai ravintolisässä.



Kuva 1. Kalanmaksaöljytablettien ainesosaluettelo (kuva: Heli Vilén).

(Opettajan ohje)

HEDELMIEN TUMMUMINEN

Kesto: Kokeellinen osuus kestää noin 25 min. Tutkimuksen toteuttaminen vie noin 15 minuuttia, jonka jälkeen tuloksia täytyy odottaa noin 30-40 min. Tässä välissä voidaan tehdä jotain muuta. Tuloksien kirjaamisessa menee noin 10 min. Mukaan ei ole laskettu tutkimussuunnitelman tekoa.
OPS: Työ soveltuu lukion ensimmäiselle kurssille KE1 orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden yhteyteen.
Tavoitteet: Työn tavoitteena on harjoitella tieteellisen tutkimuksen suunnittelua, toteuttamista ja tulosten tulkintaa yksinkertaisen arjen hapetusreaktion avulla. Lisäksi opiskelijat tutustuvat antioksidantteihin sekä niiden toimintaperiaatteisiin.
Avainsanat: Arjen kemia – hapettuminen – antioksidantit – tiedonhaku – hypoteesien muodostaminen – koejärjestelyn suunnittelu – muuttujan kontrollointi – tulosten tulkinta – johtopäätösten tekeminen– tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Ympärillämme tapahtuu jatkuvasti orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioita. Ne ovat meidän olemassaolomme kannalta elintärkeitä. Automme kulkevat orgaanisella polttoaineella, lämmitämme puusaunan tulen tuottaman lämmön avulla, saamme energiaa syömästämme ruuasta ja kompostoimme biojätteen. Orgaanisen aineksen hapettumisella on myös ikäviä seurauksia, esimerkiksi ruuan pilaantuminen. Elämää ylläpitävien tehtävien lisäksi orgaanisen aineksen hapettuminen on yhdistetty myös monien sairauksien ja ihmisen ikääntymisen aiheuttajiksi.

ENNAKKOTEHTÄVÄT

1. Miten orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktio määritellään?

   Orgaanisen yhdisteen hapettuessa yhdisteen hapen määrä kasvaa tai vastaavasti vedyn määrä pienenee. Pelkistymisessä päinvastoin.

2. Mitä entsyymit ovat?

Entsyymit ovat proteiineja, jotka nopeuttavat kemiallisia reaktioita.

3. Mistä hedelmien leikkauspinnan tummuminen johtuu? Voit käyttää apunasi kirjallisuutta ja internetiä. Merkitse tällöin käyttämäsi lähteet huolellisesti ylös.

Hedelmien ja vihannesten leikkauspinnan tummuminen johtuu entsyymien katalysoimista hapettumisreaktioista (polyfenolioksidaasientsyymi). Hapettavana aineena toimii ilman happikaasu.

4. Mitä tarkoitetaan hapettumisenestoaineilla? Mihin niiden toiminta perustuu?

Esimerkiksi sitruunamehu sisältää C-vitamiinia (askorbiinihappo), joka toimii hapettumisenestoaineena eli antioksidanttina. Ne estävät orgaanisen aineksen hapettumisen hapettumalla itse, ja ne ovatkin usein pelkistimiä, kuten esimerkiksi C-vitamiini.

TARVIKKEET

- Omena (myös esimerkiksi päärynä, banaani, peruna tai avokado käyvät)
- Sitruunamehua (myös askorbiinihapon vesiliuos käy)
- Mikrokennolevy (suuri kennokoko)
- Vapaavalintaiset pari muuta antioksidanttia sitruunamehun lisäksi testattaviksi, esimerkiksi kalanmaksa- tai kasviöljyä, vihreää teetä, hunajavettä, karpaloita tai muita marjoja.
- Kuumennusvälineet (jos oppilaat päättävät kokeilla kuumentamista hapettumisenestokeinona)
- Vettä (jos oppilaat päättävät kokeilla veteen upottamista hapettumisenestokeinona)
- Kelmua (jos oppilaat päättävät kokeilla hapen pääsyn estämistä omenan pinnalle hapettumisenestokeinona)

TYÖOHJE

Kuva 1. Omenan tummuminen. Oikealla tuore leikkauspinta, keskellä 45 min huoneilmassa ollut ja vasemmalla 12h (kuva: Heli Vilén).

Oheinen ilmiö on monelle varmasti arjesta tuttu. Miten voisit estää tämän (keksi ainakin kolme eri keinoa)? Laadi tutkimussuunnitelma ja hyväksytä se opettajalla. Voit käyttää apunasi kirjallisuutta ja internetiä. Merkitse tällöin suunnitelmaasi selvästi käyttämäsi lähteet ja muista lähdekritiikki! Suorita tutkimus.

TYÖN TEORIA

Omenan leikkauspinnan tummuminen on entsymaattisen hapetusreaktion seurausta. Polyfenolioksidaasi eli PPO on joukko kuparia sisältäviä entsyymejä, jotka kuuluvat oksidoreduktaaseihin. PPO katalysoi tummumisen kannalta kahta tärkeää reaktiota: monofenolien hydroksylaatiota *o*-difenoleiksi sekä *o*-difenoleiden hapettumista *o*-kinoneiksi. Omenoissa fenoliset yhdisteet (esimerkiksi kloorigeenihappo ja katekiini) sijaitsevat solunesterakkuloissa erillään PPO:sta. Kun omena esimerkiksi kuoritaan tai siitä leikataan paloja, solunesterakkulat rikkoutuvat ja fenoliset yhdisteet sekä PPO pääsevät reagoimaan keskenään. Näiden reaktioiden tuotteet reagoivat edelleen, ja lopulta polymerisoituvat ruskeiksi melaniineiksi, jotka aiheuttavat vaurioituneen kudoksen tummumisen.

Tummuminen voidaan estää, jos

1. Estetään hapen pääsy leikkauspinnalle (esimerkiksi perunoiden upottaminen veteen).
2. Tehdään entsyymi toimintakyvyttömäksi (esimerkiksi tuhoamalla entsyymi kuumentamalla).

3. Lisätään antioksidanttia, joka estää hapetusreaktiot (esimerkiksi sitruunanmehun lisääminen leikkauspinnalle).

TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Työtä varten opiskelijat kannattaa jakaa 2-3 hengen ryhmiin, joille voi antaa eri hedelmät tutkittavaksi. Ryhmät laativat ennen työn suoritusta tutkimussuunnitelman. Siitä tulisi käydä ilmi tutkimuksen tarkoitus, työhön/ilmiöön liittyvä teoria lyhyesti, tarvittavat välineet ja reagenssit sekä hypoteesit. Opiskelijat voivat käyttää apunaan kirjallisuutta tai internetiä, tällöin käytetyt lähteet on merkittävä tutkimussuunnitelmaan. Kirjallinen tutkimussuunnitelma voidaan tehdä tunnilla, mutta ajan säästämiseksi sen voi myös antaa kotitehtäväksi, tai se voidaan tehdä esimerkiksi edellisellä tunnilla.

OPETUKSELLISIA VIHJEITÄ

Opiskelijat keksivät todennäköisesti itse arkikokemustensa perusteella sitruunamehun. Heitä olisi kuitenkin hyvä ohjata ottamaan selvää, miksi juuri sitruunamehu toimii?
Sitruunamehu sisältää C-vitamiinia (askorbiinihappo), joka toimii hapettumisenestoaineena, antioksidanttina. Antioksidantit estävät orgaanisen aineksen hapettumisen hapettumalla itse. Ne ovatkin usein pelkistimiä, kuten esimerkiksi C-vitamiini.

Toimiiko jokin muu aine kuin C-vitamiini antioksidanttina, ja miten sitä voisi testata?
Esimerkiksi:

- *Retinoli (A-vitamiini ja beetakaroteeni), saantilähteitä: Esimerkiksi porkkanat, melonit.*
- *E-vitamiini, saantilähteitä: Kasviöljyt ja kalanmaksaöljy.*
- *Flavonoidit, saantilähteitä: Esim. vihreä ja musta tee, mustikat ja muut marjat.*
- *Resveratroli, saantilähteiteä: Esim. punaiset viinirypäleet ja karpalot.*

Todellisuudessa eri ruoka-aineet sisältävät suhteellisen vähän antioksidantteja, tai ne ovat suhteellisen heikkoja pelkistimiä. Tästä johtuen niiden lisääminen ei näyttävästi ainakaan hidasta tummumista (poikkeuksena sitruunamehu ja hunajavesi). Opiskelijoiden on kuitenkin hyvä testata myös näitä keinoja, ja miettiä miksi ne eivät ole niin tehokkaita.

Ryhmiä on hyvä ohjata testaamaan myös muita hapettumisenestokeinoja antioksidanttien lisäämisen ohella (keinot 1 ja 2). Omenanpalan voi koittaa upottaa veteen/vuorata kelmulla, ja yrittää näin estää hapen pääsy leikkauspinnalle. Veteen upottaminen hidastaa tummumista, mutta ei pysäytä sitä (veteen on liuenneena happikaasua). Omenanpalan kuumentaminen tuhoaa tummumista aiheuttavat entsyymit, ja tummumista ei pääse tapahtumaan.

Tutkimukseen kannattaa ottaa mukaan tutkittavien hapettumisenestokeinojen lisäksi hedelmänpala, joka toimii kontrollinäytteenä. Tulosten tulkintavaiheessa vertailuksi kannattaa ottaa juuri leikattu hedelmänpala (niin sanottu nollanäyte), ja verrata tutkittavan näytteen tummumisen astetta nolla- ja kontrollinäytteeseen.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

1. Mikä tutkimistasi hapettumisenestokeinoista oli tehokkain? Miksi? Mikä oli heikoin? Miksi?

2. Onko suorittamasi tutkimus luotettava? Mitkä tekijät vaikuttavat tutkimuksesi luotettavuuteen? Miten voisit parantaa tutkimuksesi luotettavuutta?

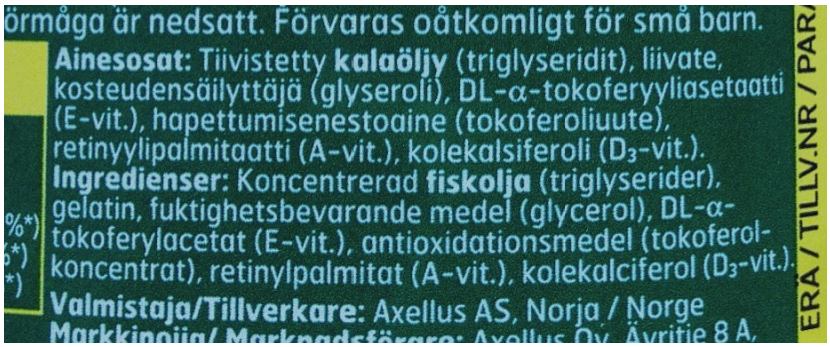
   Luotettavuutta heikentäviä tekijöitä, esimerkiksi:

- *Kontrolli- ja/tai nollanäytteen puuttuminen*
- *Antioksidanttina käytettiin jotakin hyvin vahvasti värjäävää ainetta (esimerkiksi mustikat), jolloin tummumista on hankala havaita*
- *Jos tutkittiin veteen upottamista hapettumisenestokeinona, ja käytetty vesi oli yli 42 ^{o}C. Tällöin tulos on virheellinen, koska hapettumista aiheuttavat entsyymit tuhoutuivat.*
- *Näyte ehti olla huoneilmassa suhteellisen pitkään ennen hapettumisenestokeinon toteuttamista*

Lisäksi tutkimuksen luotettavuus paranisi tekemällä se esimerkiksi useammalla näytteellä. Myös toistojen määrä parantaa tutkimuksen luotettavuutta.

3. Miksi hapettumisenestoaineita on lisätty lääkkeisiin ja ravintolisiin (kuva 1)? Ota selvää, mitä hapettumisenestoainetta on käytetty jossain kotoa löytyvässä ruoassa, lääkkeessä tai ravintolisässä.

Ne parantavat tuotteiden säilyvyyttä estämällä hapetusreaktiot, jotka aiheuttavat tuotteen pilaantumisen. Esimerkiksi rasvojen härskiintyminen on orgaanisen aineksen hapetusreaktion seuraus, ja muun muassa kalanmaksaöljytabletteihin lisätään antioksidantiksi tokoferoliuutetta, joka on E-vitamiinia.

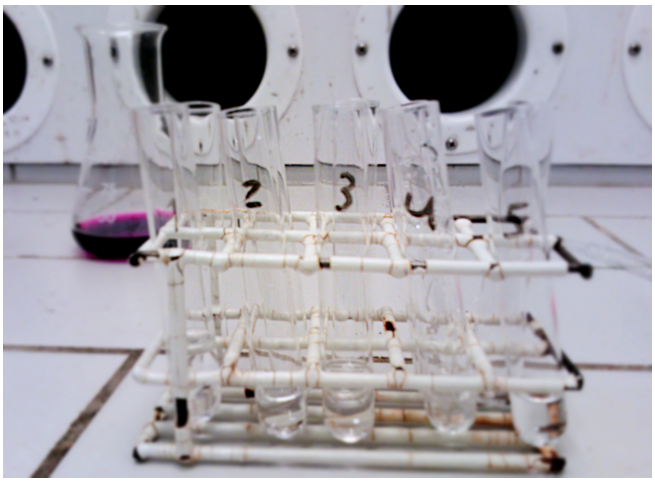


Kuva 1. Kalanmaksaöljytablettien ainesosaluettelo (kuva: Heli Vilén).

Liite 3.

(Opiskelijan ohje)

ALKOHOLIEN HAPETTUMINEN



Kuva 1. Kaliumpermanganaattiliuos ja alkoholinäytteet (kuva: Heli Vilén).

Tässä työssä tutkitaan alkoholien hapettumista kaliumpermanganaatin, $KMnO_4$, avulla.

ENNAKKOTEHTÄVÄT

1. Miten hapettuminen ja pelkistyminen määritellään epäorgaanisille yhdisteille? Entä orgaanisille? Voit käyttää apunasi kirjallisuutta tai internetiä. Merkitse tällöin käyttämäsi lähteet ylös.

2. Ota selvää kirjallisuuden tai internetin avulla, mitä ominaisuuksia kaliumpermanganaatilla on, ja mihin sitä yleensä käytetään. Merkitse ylös käyttämäsi lähteet.

3. Mitä tarkoitetaan primäärisellä, sekundäärisellä ja tertiäärisellä alkoholilla?

TAUSTAA

Kaliumpermanganaatin, $KMnO_4$, permanganaatti-ionin eli manganaatti(VII)-ioni MnO_4^-, on vahva hapetin ja väriltään tumman violetti. Kemiallisessa hapetus-pelkistysreaktiossa permanganaatti-ioni toimii hapettimena pelkistyen samalla itse.

Reaktiossa manganaatti(VII)-ioni voi pelkistyä:

- Vihreäksi manganaatti(VI)-ioniksi, MnO_4^{2-}
- Ruskeaksi manganaani(IV)dioksidiksi MnO_2
- Värittömäksi mangaani(II)-ioniksi Mn^{2+}

TYÖOHJE

Saat viisi eri alkoholinäytettä. Suunnittele koejärjestely, jonka avulla voit tutkia, mitkä annetuista näytteistä hapettuvat. Laadi myös hypoteesit. Hyväksytä tutkimussuunnitelmasi opettajalla ja suorita tutkimus. Muista huomioida työturvallisuus! Merkitse mahdollisesti käyttämäsi internet- tai kirjallisuuslähteet tutkimussuunnitelmaan.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

1. Päättele tekemäsi kokeen avulla, mitkä tutkituista alkoholeista hapettuivat.

2. Piirrä näytteiden sisältämien alkoholien rakennekaavat.

3. Laadi yhteenveto, jossa yleistät tuloksesi pätemään kaikkia alkoholeja (Vinkki: kannattaa tarkastella alkoholien rakennekaavoja!).

(Opettajan ohje)

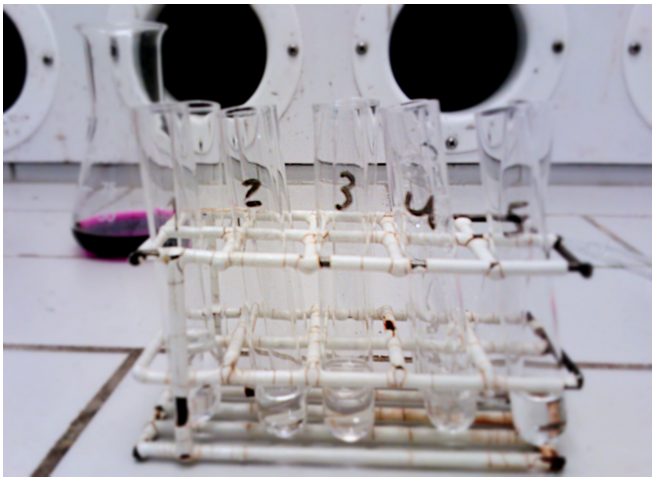
ALKOHOLIEN HAPETTUMINEN

Kesto: Kokeellinen osuus kestää noin 15 min.

OPS: Työ soveltuu lukion kemian ensimmäiselle (KE1) tai kolmannelle (KE3) kurssille orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden yhteyteen. Työn voi tehdä myös KE4 kurssilla epäorgaanisten hapetus-pelkistysreaktioiden yhteydessä, jolloin permanganaatin pelkistymiselle voidaan kirjoittaa tarkat reaktioyhtälöt.

Tavoitteet: Tämän työn tavoitteena on suunnitella oma tutkimus annetun taustamateriaalin avulla. Työssä on tarkoitus hyödyntää aiempaa tietoa alkoholien rakenteista ja työturvallisuudesta. Työssä keskitytään lisäksi tulosten tulkintaan ja johtopäätösten tekemiseen.

Avainsanat: Alkoholien hapettuminen – taustatiedon hyödyntäminen – hypoteesien muodostaminen – koejärjestelyn suunnittelu – tulosten tulkinta – johtopäätösten tekeminen



Kuva 1. Kaliumpermanganaattiliuos ja alkoholinäytteet (kuva: Heli Vilén).

Tässä työssä tutkitaan alkoholien hapettumista kaliumpermanganaatin, $KMnO_4$, avulla.

ENNAKKOTEHTÄVÄT

1. Miten hapettuminen ja pelkistyminen määritellään epäorgaanisille yhdisteille? Entä orgaanisille? Voit käyttää apunasi kirjallisuutta tai internetiä. Merkitse tällöin käyttämäsi lähteet ylös.

Epäorgaanisille yhdisteille hapettuminen määritellään elektronien luovuttamisena, ja vastaavasti pelkistyminen elektronien vastaanottamisena (yleinen määritelmä). Orgaanisille yhdisteille hapettuminen tarkoittaa tyypillisesti hapen määrän lisääntymistä tai vedyn määrän vähenemistä. Pelkistyminen päinvastoin. Molemmissa tapauksissa on kuitenkin kyse täysin samasta asiasta, eli elektronien liikkeestä.

2. Ota selvää kirjallisuuden tai internetin avulla, mitä ominaisuuksia kaliumpermanganaatilla on, ja mihin sitä yleensä käytetään. Merkitse ylös käyttämäsi lähteet.

Kaliumpermanganaatti, $KMnO_4$, on voimakas epäorgaaninen hapetin, jota käytetään laajalti analyyttisessä ja orgaanisessa kemiassa hapettavana reagenssina. Hapettavien ominaisuuksiensa vuoksi kaliumpermanganaattia käytetään myös desinfiointiin ja veden puhdistukseen.

3. Mitä tarkoitetaan primäärisellä, sekundäärisellä ja tertiäärisellä alkoholilla?

Primäärisessä alkoholissa hydroksyyliryhmä -OH on kiinnittynyt hiiliatomiin, josta lähtee sidos korkeintaan yhteen hiiliatomiin. Sekundäärisessä alkoholissa hyrdoksyyliryhmä -OH on kiinnittynyt hiiliatomiin, josta lähtee sidos kahteen hiiliatomiin. Tertiäärisessä alkoholissa hydroksyyliryhmä -OH on kiinnittynyt hiiliatomiin, josta lähtee sidos kolmeen hiiliatomiin.

VÄLINEET

- Pieniä koeputkia (myös mikrokennolevy käy)
- Koeputkiteline
- Pasteurpipetti ja tutti
- Tussi

REAGENSSIT

- Kaliumpermanganaattiliuos $KMnO_4$
- Primääristä alkoholia tippapullossa, esimerkiksi
    - Pentanoli
    - 1-propanoli (n-propanoli)
    - 1-butanoli (n-butanoli)
- Sekundääristä alkoholia tippapullossa, esimerkiksi
    - 2-propanoli (isopropyylialkoholi, isopropanoli)
    - 2-butanoli (sek-butanoli)
- Tertiääristä alkoholia tippapullossa, esimerkiksi
    - 2-metyyli-2-propanoli (tert-butanoli)

Työturvallisuus

Työ tehdään vetokaapissa ja työn aikana käytetään suojatakkia sekä suojalaseja.

Kaliumpermaganaatti on myrkyllistä vesieliöille ja sen pääsy ympäristöön on estettävä. Vältettävä pölyn hengittämistä.

Työssä käytettävät alkoholit ovat herkästi syttyviä ja ne ärsyttävät hengityselimiä sekä ihoa.

Mahdolliset roiskeet huuhdellaan runsaalla vedellä. Tarvittaessa lääkäriin.

Syntyvä jäte kerätään erilliseen astiaan.

JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Syntyvä jäte kerätään ja säilötään orgaanisten hiilivetyjen jäteliuoksena. Jos kaliumpermanganaattiliuosta jää yli, se voidaan varastoida seuraavaa kertaa varten. Säilytyksessä on huomioitava kemikaali- ja paloturvallisuuslainsäädäntö. Jos liuos halutaan hävittää, se kerätään asianmukaiseen säiliöön (hapettava epäorgaaninen jäte).

VALMISTELUT ENNEN TYÖTÄ

Valmista kaliumpermanganaattiliuos sekoittamalla pari kaliumpermanganaattikidettä 10 ml ionivaihdettua vettä 50 ml:n erlenmeyerissä. Varo laittamasta kiteitä liikaa, jottei liuoksesta tule tarpeettoman tumma.

TAUSTAA

Kaliumpermanganaatin, $KMnO_4$, permanganaatti-ionin eli manganaatti(VII)-ioni MnO_4^-, on vahva hapetin ja väriltään tumman violetti. Kemiallisessa hapetus-pelkistysreaktiossa permanganaatti-ioni toimii hapettimena pelkistyen samalla itse.

Reaktiossa manganaatti(VII)-ioni voi pelkistyä:

- Vihreäksi manganaatti(VI)-ioniksi, MnO_4^{2-}
- Ruskeaksi manganaani(IV)dioksidiksi MnO_2
- Värittömäksi mangaani(II)-ioniksi Mn^{2+}

TYÖOHJE

Saat viisi eri alkoholinäytettä. Suunnittele koejärjestely, jonka avulla voit tutkia, mitkä annetuista näytteistä hapettuvat. Laadi myös hypoteesit. Hyväksytä tutkimussuunnitelmasi opettajalla ja suorita tutkimus. Muista huomioida työturvallisuus! Merkitse mahdollisesti käyttämäsi internet- tai kirjallisuuslähteet tutkimussuunnitelmaan.

TYÖN SUORITUS

Oppilaat kannattaa jakaa 2-3 hengen ryhmiin, joille voi antaa eri alkoholit tutkittavaksi. Jokaisen ryhmän tulisi kuitenkin saada ainakin yksi primäärinen, sekundäärinen ja tertiäärinen alkoholi tutkittavakseen. Eri alkoholinäytteitä voi antaa tutkittavaksi myös vähemmän tai enemmän kuin viisi. Tippapulloissa on hyvä lukea alkoholien nimet, jotta opiskelijat tietävät, mitä alkoholeja he tutkivat. Työ tehdään vetokaapissa. Jos luokassa ei ole tarpeeksi vetokaappeja, työn suoritusta voi porrastaa, koska työn kokeellinen osuus ei vie 15 minuuttia kauempaa.

Opiskelijat laativat ennen työn suoritusta tutkimussuunnitelman. Siitä tulisi käydä ilmi tutkimuksen tarkoitus, työhön/ilmiöön liittyvä teoria lyhyesti, tarvittavat välineet ja reagenssit sekä hypoteesit. Ryhmät voivat käyttää apunaan kirjallisuutta tai internetiä, tällöin käytetyt lähteet on merkittävä muistiin. Kirjallinen tutkimussuunnitelma voidaan tehdä tunnilla, mutta ajan säästämiseksi sen voi myös antaa kotitehtäväksi, tai se voidaan tehdä esimerkiksi edellisellä tunnilla.

Työn voi suorittaa pipetoimalla/tiputtamalla tippapullosta noin 10 pisaraa tutkittavaa alkoholia kennolevylle tai koeputkeen. Tämän tehdään kaikille näytteille. Tämän jälkeen reaktioastioihin lisätään pari tippaa valmista kaliumpermanganaattiliuosta. Kannattaa ohjata opiskelijoita kiinnittämään huomiota putkien tai kennojen nimeämiseen sekä tulosten kirjanpitoon, jotta alkoholit ja havainnot eivät mene sekaisin. Kennot/putket kannattaa numeroida, ja niiden selitykset on hyvä kirjoittaa vihkoon. Tulokset näkyvät välittömästi.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

1. Päättele tekemäsi kokeen avulla, mitkä tutkituista alkoholeista hapettuivat.

   Primääriset ja sekundääriset alkoholit reagoivat kaliumpermanganaatin kanssa joko vihreän tai ruskean välivaiheen, tai näiden yhdistelmän kautta värittömäksi liuokseksi. Tertiäärisen alkoholin liuoksen väri ei muutu. Täten primääriset ja sekundääriset alkoholit hapettuvat. Tertiääriset alkoholit eivät hapetu (ei reaktiota).

2. Piirrä näytteiden sisältämien alkoholien rakennekaavat.

3. Laadi yhteenveto, jossa yleistät tuloksesi pätemään kaikkia alkoholeja (Vinkki: kannattaa tarkastella alkoholien rakennekaavoja!).

   Primääriset ja sekundääriset alkoholit hapettuvat, tertiääriset alkoholit eivät hapetu.

Liite 4.

(Opiskelijan ohje)

BENTSALDEHYDIN HAPETUS BENTSOEHAPOKSI

Tässä työssä hapetetaan aromaattinen aldehydi vastaavaksi karboksyylihapoksi käyttäen reagenssina oxonea. Oxone on kauppanimi kolmen kaliumin suolan seokselle. Se sisältää kaliumperoksimonosufaattia ($KHSO_5$), kaliumvetysulfaattia ($KHSO_4$) ja kaliumsulfaattia (K_2SO_4) suhteessa 2:1:1. Suoloista $KHSO_5$ on vahva hapetin. Oxone on niin sanotusti ”vihreä” hapetin, koska se on suhteellisen ei-myrkyllinen verrattuna esimerkiksi yleisesti käytettyihin kromipohjaisiin hapettimiin. Reaktion sivutuotteet ovat myös ei-saastuttavia ja vaarattomia.

ENNAKKOTEHTÄVÄT

1. Laadi reaktioyhtälö bentsaldehydin hapettamisesta bentsoehapoksi.

2. Mitä tarkoitetaan ”vihreällä” kemialla? Merkitse käyttämäsi lähteet ylös.

3. Ota selvää, mitä tarkoitetaan uudelleenkiteyttämisellä ja mihin se perustuu. Merkitse käyttämäsi lähteet ylös.

VÄLINEET

- Punnituspaperia
- Kolvinpidike
- Pasteurpipetti ja tutti
- Spaatteli
- 50 ml mittalasi
- Pallojäähdytin vesikierrolla
- Vesihaude
- 50 ml hioksellinen makrokolvi
- Magneettisekoittaja ja kuumennuslevy
- Lämpömittari
- Staviivi ja 3 Kouraa
- Imupullo ja tiiviste
- Büchner –suppilo ja suodatinpaperi
- 50 ml erlenmeyer
- 50 ml dekantterilasi
- 10 ml mittalasi
- Jäitä

Työturvallisuus

Työ tehdään vetokaapissa ja työn aikana käytetään suojatakkia sekä suojalaseja.

Bentsaldehydi on herkästi syttyvää sekä haitallista nieltynä ja hengitettynä.

Oxone on voimakas hapetin, joka syövyttää voimakkaasti ihoa ja ärsyttää silmiä. Pölyn hengittämistä on vältettävä.

Reaktion lopputuotteena saadaan bentsoehappoa, joka on yleisesti käytetty säilöntäaine. Bentsoehappo ärsyttää voimakkaasti silmiä.

Mahdolliset roiskeet huuhdellaan runsaalla vedellä. Tarvittaessa lääkäriin.

Syntyvä jäte kerätään erilliseen astiaan.

REAGENSSIT

- 1,0 g Bentsaldehydiä
- 7,25 g Oxonea
- 25 ml tislattua vettä

TYÖOHJE

Synteesi

1. Punnitse 1,0 g bentsaldehydiä 50 ml:n hiokselliseen makrokolviin. Kolvi kannattaa asettaa vaa´alle kolvinpidikkeen päälle. Punnitse 7,25 g oxonea punnituspaperilla ja siirrä reagenssi reaktioastiaan. Lisää kolviin 25 ml tislattua vettä sekä magneettisekoittaja.

   Miksi reaktioseosta sekoitetaan?

2. Kiinnitä kolviin pallojäähdyttäjä vesikierrolla ja laske kolvi 65-75 ° C vesihauteeseen (kuva 1). Anna sekoittua noin 75 minuuttia.

   Miksi synteesissä käytetään jäähdytintä?

3. Aseta kolvi jäähauteeseen 15-20 minuutiksi (älä pura pallojäähdyttäjää).

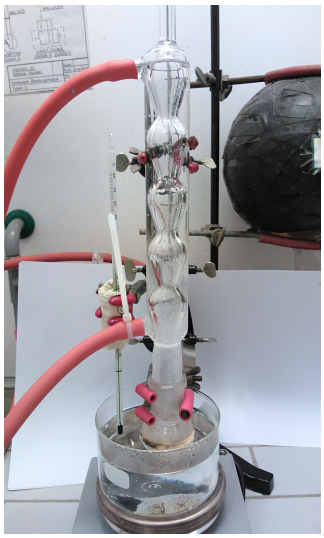
   Miksi kolvi asetetaan jäähauteeseen?

4. Rakenna imusuodatuslaitteisto (kuva 1). Kaada kolvin sisältö Büchner -suppiloon ja huuhdo kolvin reunat tislatulla vedellä, jotta saat kaiken tuotteen talteen. Pese tuote 20 ml:lla jääkylmää tislattua vettä (Pesu: Imu pois, kaada puolet jääkylmästä vedestä, sekoita spaattelilla ja suodata vesi pois. Toista).

   Miksi pesuliuoksen täytyy olla kylmää?

5. Anna tuotteen kuivua imussa noin 10 minuuttia.

   Onko tuote täysin kuiva tämän jälkeen?
   Miten voisit tehostaa tuotteen kuivumista?



Kuva 1. Vasemmalla synteesilaitteisto pallojäähdyttäjällä vesihauteessa, oikealla imusuodatuslaitteisto Büchner -suppilolla.

Uudelleenkiteytys

1. Lämmitä 10 ml tislattua vettä melkein kiehuvaksi (noin 80 °C).

   Miksi uudelleenkiteytysliuottimen tulee olla kuumaa?

2. Kaada raakatuote 50 ml:n erlenmeyeriin sekä lisää magneettisekoittaja. Lisää raakatuotteeseen osa kuumasta vedestä (noin 4ml), ja siirrä erlenmeyer kuumennuslevylle.

3. Lisää kuumaa liuotinta pienissä erissä uudelleenkiteytettävään seokseen samalla lämmittäen. Kun kaikki raakatuote on liuennut kuumaan liuottimeen, nosta liuos levyltä, ja anna jäähtyä huoneenlämpöön. Kun seos on jäähtynyt huoneenlämpöiseksi, aseta se jäähauteeseen 10-15 minuutiksi. Suodata tuote liuottimesta imusuodatuslaitteistolla (kuva 1), ja anna tuotteen kuivua imussa noin 5 minuuttia.

   Miksi uudelleenkiteytysliuotin lisätään pienissä erissä?
   Miksi tuote kiteytyy seoksen jäähtyessä?
   Mitä tapahtuisi, jos erlenmeyer asetettaisiin jäähauteeseen ennen kuin se on jäähtynyt huoneenlämpöön?

4. Punnitse uudelleenkiteytetty tuote ja laske todellinen saanto. Vertaa saantoa teoreettiseen saantoon.

Miksi teoreettinen saanto on vähemmän kuin todellinen saanto? Mitkä asiat vaikuttavat todelliseen saantoon?

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

1. Hapettuminen ja pelkistyminen ovat käänteisiä reaktioita. Aina kun jokin aine hapettuu, jonkin toisen aineen täytyy pelkistyä. Reaktiossa bentsaldehydi hapettuu bentsoehapoksi, mutta mikä pelkistyy? Mikä on pelkistysreaktion seurauksena syntynyt tuote?

2. Millaisilla menetelmillä voisit selvittää, että syntetisoitu tuote todella on happo?

3. Millaisilla menetelmillä voisit selvittää tuotteen puhtauden?

4. Olivatko ennakkotehtävissä 2 ja 3 käyttämäsi lähteet luotettavia? Miksi olivat? Miksi eivät?

(Opettajan ohje)

BENTSALDEHYDIN HAPETUS BENTSOEHAPOKSI

Kesto: Kokeellinen osuus kestä noin 3 tuntia. Työ on mahdollista jakaa eri laboratoriokerroille, joista ensimmäinen osio kestää noin 2 tuntia ja jälkimmäinen noin tunnin.
OPS: Työ soveltuu parhaiten lukion työkurssille. Ajan salliessa työn voi toteuttaa myös KE3 kurssissa orgaanisten yhdisteiden hapetus-pelkistysreaktioiden yhteydessä.
Tavoitteet: Työn tavoitteena on orgaanisen synteesin suorittaminen sekä tuotteen eristäminen imusuodatuksella ja puhdistaminen uudelleenkiteyttämällä. Työohjeessa on kysymyksiä, jotka ohjaavat opiskelijaa ajattelemaan synteesiin liittyvää kemiaa työn mekaanisen suorituksen sijaan. Synteesin jälkeen tavoitteena on pohtia tuotteen puhtauden määritystä sekä tuotteen tunnistamisen keinoja.
Avainsanat: Aldehydin hapettuminen – orgaaninen synteesi – imusuodatus – uudelleenkiteytys – vihreä kemia – tuotteen tunnistus – tuotteen puhtauden määrittäminen – tulosten tulkinta – virhelähteiden pohdinta – lähdekritiikki

Tässä työssä hapetetaan aromaattinen aldehydi vastaavaksi karboksyylihapoksi käyttäen reagenssina oxonea. Oxone on kauppanimi kolmen kaliumin suolan seokselle. Se sisältää kaliumperoksimonosufaattia ($KHSO_5$), kaliumvetysulfaattia ($KHSO_4$) ja kaliumsulfaattia (K_2SO_4) suhteessa 2:1:1. Suoloista $KHSO_5$ on vahva hapetin. Oxone on niin sanotusti ”vihreä” hapetin, koska se on suhteellisen ei-myrkyllinen verrattuna esimerkiksi yleisesti käytettyihin kromipohjaisiin hapettimiin. Reaktion sivutuotteet ovat myös ei-saastuttavia ja vaarattomia.

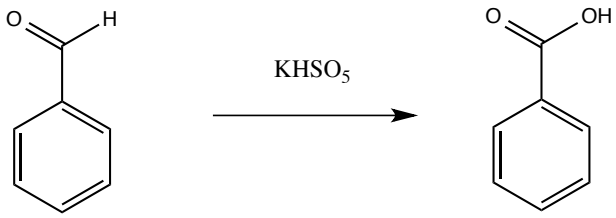
TYÖN SUORITUS

Opiskelijat kannattaa jakaa työtä varten 2-3 oppilaan ryhmiin. Työohjeen sisältämät kursivoidut kysymykset on hyvä käydä yhdessä läpi synteesin suorituksen jälkeen tai esimerkiksi heti synteesin alussa tulevan 75 minuutin sekoitusjakson aikana.

Työn jälkeisissä pohdinnoissa opiskelijat selvittävät tuotteen tunnistamisen ja puhtauden määrittämisen keinoja. Ajan ja resurssien salliessa nämä kannattaa toteuttaa. Hapon puhtauden määritykseen käytettävä neutralointititraus voidaan esimerkiksi toteuttaa KE3 kurssilla neutraloinnin yhteydessä. Tämän jälkeen tulokset voi antaa takaisin pohdittavaksi synteesin tekijöille.

ENNAKKOTEHTÄVÄT

1. Laadi reaktioyhtälö bentsaldehydin hapettamisesta bentsoehapoksi.



2. Mitä tarkoitetaan ”vihreällä” kemialla? Merkitse käyttämäsi lähteet ylös.

Vihreä kemia pyrkii kemian ympäristöystävällisyyteen sekä jätteen synnyn minimointiin. Käytettävistä prosesseita tulee tehdä taloudellisesti tehokkaampia, turvallisempia, ja niissä tulee käyttää ihmiselle sekä luonnolle vaarattomampia kemikaaleja.

On hyvä miettiä, mitkä vihreän kemian periaatteet toteutuvat tässä synteesissä, ja mitkä eivät. Vihreää kemiaa puoltavia tekijöitä ovat esimerkiksi synteesin liuottimena käytettävä vesi sekä oxonen vaarattomuus ympäristölle. Toisaalta jätteen synty ja energian käyttö (lämmitys) eivät ole vihreän kemian periaatteiden mukaisia.

3. Ota selvää, mitä tarkoitetaan uudelleenkiteyttämisellä ja mihin se perustuu. Merkitse käyttämäsi lähteet ylös.

Uudelleenkiteytys on kiteisten tuotteiden puhdistusmenetelmä, joka perustuu kiteytettävän tuotteen ja sen sisältämien epäpuhtauksien liukenevaisuuksien eroon. Menetelmässä raakatuote liuotetaan mahdollisimman pieneen määrään kiehuvaa liuotinta, jonka jälkeen liuoksen annetaan jäähtyä huoneenlämpöön. Tarvittaessa seos voidaan vielä jäähdyttää jäähauteessa. Uudelleenkiteytysliuotin valitaan niin, että tuote liukenee siihen hyvin korkeassa lämpötilassa, mutta huonosti matalassa lämpötilassa. Tuotteen sisältämien epäpuhtauksien tulee olla liukoisia käytettyyn liuottimeen kaikissa lämpötiloissa.

VÄLINEET

- Punnituspaperia
- Kolvinpidike
- Pasteurpipetti ja tutti
- Spaatteli
- 50 ml mittalasi
- Pallojäähdytin vesikierrolla
- Vesihaude
- 50 ml hioksellinen makrokolvi
- Magneettisekoittaja ja kuumennuslevy
- Lämpömittari
- Staviivi ja 3 Kouraa
- Imupullo ja tiiviste
- Büchner –suppilo ja suodatinpaperi
- 50 ml erlenmeyer
- 50 ml dekantterilasi
- 10 ml mittalasi
- Jäitä

Työturvallisuus

Työ tehdään vetokaapissa ja työn aikana käytetään suojatakkia sekä suojalaseja.

Bentsaldehydi on herkästi syttyvää sekä haitallista nieltynä ja hengitettynä.

Oxone on voimakas hapetin, joka syövyttää voimakkaasti ihoa ja ärsyttää silmiä. Pölyn hengittämistä on vältettävä.

Reaktion lopputuotteena saadaan bentsoehappoa, joka on yleisesti käytetty säilöntäaine. Bentsoehappo ärsyttää voimakkaasti silmiä.

Mahdolliset roiskeet huuhdellaan runsaalla vedellä. Tarvittaessa lääkäriin.

Syntyvä jäte kerätään erilliseen astiaan.

REAGENSSIT

- 1,0 g Bentsaldehydiä
- 7,25 g Oxonea
- 25 ml tislattua vettä

HUOM! Oxone tulee säilyttää viileässä, ilmastoidussa tilassa. Kemikaali on stabiili mainituissa varasto-olosuhteissa, mutta pitkäaikaissäilytyksessä on huomioitava, että oxonen sisältämä kaliumperoksimonosulfaatti hajoaa hyvin hitaasti hapeksi ja rikin oksideiksi.

JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Reaktion sivutuotteena syntyy kaliumvetysulfaattia, $KHSO_4$, joka on syövyttävää. Lisäksi oxone sisältää kaliumsulfaattia, joka on vaaratonta eikä osallistu reaktioon. Syntynyt jäte (myös pesuliuokset) kerätään ja varastoidaan asianmukaisesti (epäorgaaninen jäte).

TYÖOHJE

Synteesi

1. Punnitse 1,0 grammaa bentsaldehydiä 50 ml:n hiokselliseen makrokolviin. Kolvi kannattaa asettaa vaa´alle kolvinpidikkeen päälle. Punnitse 7,25 grammaa oxonea punnituspaperilla (tai suoraan kolviin), ja siirrä reagenssi reaktioastiaan. Lisää kolviin 25 ml tislattua vettä ja magneettisekoittaja.

   Miksi reaktioseosta sekoitetaan?

- *Lämpö pääsee jakautumaan reaktioseokseen tasaisesti. Jos lämpötila on seoksen eri kohdissa epätasainen, reaktio tapahtuu eri nopeuksilla eri kohdissa reaktioseosta. Liian korkea lämpötila saattaa johtaa lähtöaineiden tai tuotteiden hajoamiseen.*
- *Seoksen aineet pääsevät näin tehokkaammin kosketuksiin toistensa kanssa.*

2. Kiinnitä kolviin pallojäähdyttäjä vesikierrolla ja laske kolvi 65-75 ° C vesihauteeseen. Anna sekoittua noin 75 minuuttia (kuva 1). Reaktioseos on aluksi väritöntä ja läpinäkyvää. Noin 15 minuutin kuluttua seos muuttuu vaaleankeltaiseksi ja lopulta rusehtavaksi. Värin muuttuminen johtuu todennäköisesti oxonen sisältämistä kaliumin suoloista.

   Miksi synteesissä käytetään jäähdytintä?

   - Näin liuotinta ei pääse haihtumaan ja reaktioseos ei kuivu.

3. Aseta kolvi jäähauteeseen 15-20 minuutiksi (älä pura pallojäähdyttäjää) (kuva 1).

   Miksi kolvi asetetaan jäähauteeseen?
   - Reaktiotuote on kuumaan liuottimeen liukoinen. Raakatuote saadaan kiteytymään reaktioseoksesta lämpötilaa alentamalla.

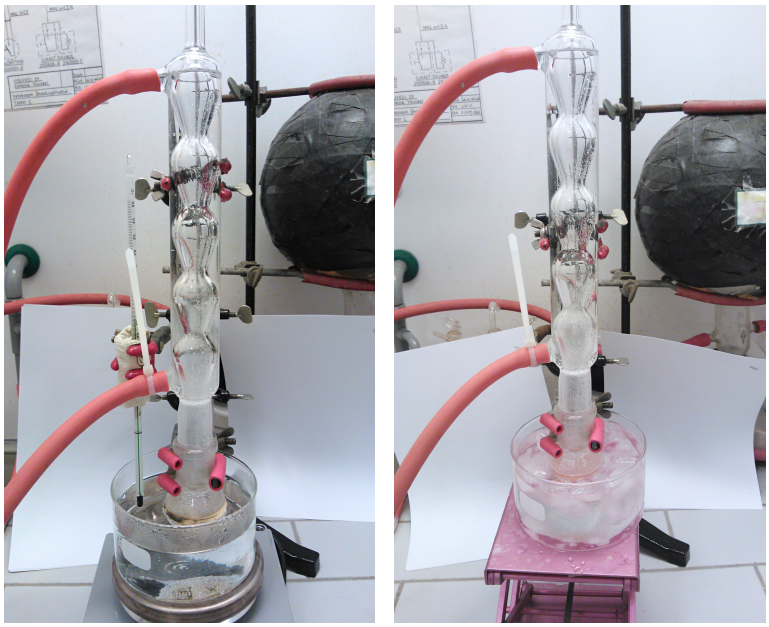
4. Rakenna imusuodatuslaitteisto (kuva 2). Kaada kolvin sisältö Büchner -suppiloon ja huuhdo kolvin reunat tislatulla vedellä, jotta saat kaiken tuotteen talteen. Pese tuote 20 ml:lla jääkylmää tislattua vettä (Pesu: Imu pois, kaada puolet jääkylmästä vedestä, sekoita spaattelilla ja suodata vesi pois. Toista).

   Miksi pesuliuoksen täytyy olla kylmää?
   - Tuote liukenee kuumaan pesuliuokseen. Jos käytettäisiin kuumaa pesuliuosta, saanto pienenisi, koska tuotetta huuhtoutuisi runsaasti pois pesuliuoksen mukana.

5. Anna tuotteen kuivua imussa noin 10 minuuttia.

   Onko tuote täysin kuiva tämän jälkeen?
   - Ei. Tätä työtä varten tuote on kuitenkin tarpeeksi kuivaa.
   Miten voisit tehostaa tuotteen kuivumista?
   - Tuotteen voisi laittaa yön yli esimerkiksi eksikaattoriin.

   Jos työn suorittamisen haluaa jakaa kahdelle laboratoriokerralle, tässä vaiheessa on hyvä lopettaa. Kuivauksen jälkeen tuotteen voi purkittaa ja laittaa sen kylkeen oikeaoppiset merkinnät. Purkin korkki kannattaa vuorata kelmulla, jotta estetään mahdollisten epäpuhtauksien/kosteuden pääsy raakatuotteeseen.



Kuva 1. Vasemmalla synteesilaitteisto kuumennuslevyllä, oikealla jäähauteessa.

Kuva 2. Vasemmalla imusuodatuslaitteisto, keskellä raakatuote ja oikealla uudelleenkiteytetty tuote.

Uudelleenkiteytys

1. Lämmitä 10 ml tislattua vettä melkein kiehuvaksi (noin 80 °C).

   Miksi uudelleenkiteytysliuottimen tulee olla kuumaa?

   - Näin kaikki puhdistettava raakatuote liukenee siihen.

2. Kaada raakatuote 50 ml:n erlenmeyeriin sekä lisää magneettisekoittaja. Lisää raakatuotteeseen osa kuumasta vedestä (noin 4ml), ja siirrä erlenmeyer kuumennuslevylle.

3. Lisää kuumaa liuotinta pienissä erissä uudelleenkiteytettävään seokseen samalla lämmittäen. Kun kaikki raakatuote on liuennut kuumaan liuottimeen, nosta liuos levyltä, ja anna jäähtyä huoneenlämpöön. Kun seos on jäähtynyt huoneenlämpöiseksi, aseta se jäähauteeseen 10-15 minuutiksi. Suodata tuote liuottimesta imusuodatuslaitteistolla (kuva 2), ja anna tuotteen kuivua imussa noin 5 minuuttia.

   Miksi uudelleenkiteytysliuotin lisätään pienissä erissä?
   - Näin varmistetaan uudelleenkiteytysliuottimen mahdollisimman pieni määrä. Tällöin tuote kiteytyy puhtaampana, eikä kiteiden sisään jää loukkuun ylimääräistä liuotinta.
   Miksi tuote kiteytyy seoksen jäähtyessä?
   - Tuotteen liukoisuus veteen alenee lämpötilan laskiessa.
   Mitä tapahtuisi, jos erlenmeyer asetettaisiin jäähauteeseen ennen kuin se on jäähtynyt huoneenlämpöön?
   - Tuote kiteytyisi nopeammin ja kiteistä tulisi pienempiä. Hitaalla lämpötilan laskulla saadaan suurempia kiteitä.

4. Punnitse uudelleenkiteytetty tuote ja laske todellinen saanto. Vertaa saantoa teoreettiseen saantoon. Ruskea väri ei täysin lähde uudelleenkiteytyksen avulla, vaan lopputuote on puuterin värinen. Tuote kiteytyy kimaltelevina, neulasmaisina kiteinä.

   Miksi teoreettinen saanto on vähemmän kuin todellinen saanto? Mitkä asiat vaikuttavat todelliseen saantoon?
- *Todellisuudessa kaikkea tuotetta ei koskaan saada talteen. Tuotetta jää aina hieman reaktioastioiden sisäpinnoille, ja sitä liukenee aina hieman pesuliuoksiin. Jos esimerkiksi kolvia ei huuhdella vedellä, kun raakatuote siirretään Buchnër - suppiloon imusuodatusta varten, synteesin saanto pienenee huomattavasti.*

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

1. Hapettuminen ja pelkistyminen ovat käänteisiä reaktioita. Aina kun jokin aine hapettuu, jonkin toisen aineen täytyy pelkistyä. Reaktiossa bentsaldehydi hapettuu bentsoehapoksi, mutta mikä pelkistyy? Mikä on pelkistysreaktion seurauksena syntynyt tuote?

   Peroksimonosulfaatti-ioni HSO_5^- pelkistyy reaktiossa vetysulfaatti-ioniksi HSO_4^-.

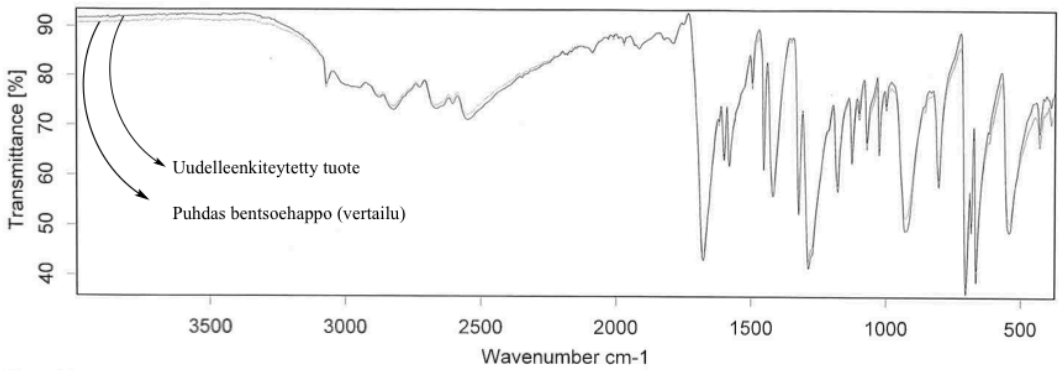
2. Millaisilla menetelmillä voisit selvittää, että syntetisoitu tuote todella on happo?

   Syntetisoitu tuote on happo, joten sillä on hapon ominaisuudet. Hapon vesiliuoksen pH voidaan todeta esimerkiksi pH paperilla. Huomioi kuitenkin, että bentsoehappo on heikko happo.

3. Millaisilla menetelmillä voisit selvittää tuotteen puhtauden?

   Syntetisoidun hapon puhtaus voidaan määrittää neutralointititrauksella. Neutralointititrauksessa bentsoehapon vesiliuos titrataan natriumhydroksidilla, ja reaktion ekvivalenttipiste luetaan fenoliftaleiinin värinmuutoksesta. Hapon puhtaus voidaan laskea emäksen kulutuksesta.

   Uudelleenkiteytystä tuotteesta voidaan ajaa mahdollisuuksien mukaan IR-spektri (kuva 3) ja mitata sulamispiste (kirjallisuusarvo 121-122 ° C). Hieman kirjallisuusarvoa alempi sulamispiste yleensä kertoo tuotteen sisältämistä epäpuhtauksista (esim. vesi, ruskea väri). Sulamispiste saa heittää parilla asteella.



Kuva 3. IR spektri syntetisoidusta ja uudelleenkiteytetystä tuotteesta. Vertailuksi on ajettu spektri puhtaasta bentsoehaposta.

4. Olivatko ennakkotehtävissä 2 ja 3 käyttämäsi lähteet luotettavia? Miksi olivat? Miksi eivät?