

Erilaisia näkökulmia orgaanisen kemian opettamiseen käyttäen esimerkkinä esteröitymisreaktiota

Tanja Kaappola, Amanda Olander, Eeva Kaisa Rajakylä ja Annika Taina

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian osasto, Helsingin yliopisto

Tiivistelmä: Orgaaninen kemia on laaja osa-alue, joka sisältää paljon pieniä yksityiskohtia. Tästä syystä se koetaan helposti vaikeaksi tai etäiseksi. Tässä tekstissä esitetään erilaisia opetusmetodeja ja näkökulmia orgaanisen kemian opettamiseen, jotta opiskelijat voisivat saavuttaa opetussuunnitelmassa mainitut tavoitteet ja innostua kemian opiskelusta. Esimerkkinä käytetään esteröitymisreaktiota. Opetusmetodeissa on vahvasti mukana tietotekniikan hyödyntäminen sekä yhtenä esimerkkinä animaatioiden käyttäminen opetuksessa.

Avainsanat: orgaaniset yhdisteet, esteröityminen, reaktiomekanismi, animaatio

1 Johdanto

Tutkimuskirjallisuuden valossa orgaanisten yhdisteiden oppimiseen sisältyy paljon vaihtoehtoisia käsityksiä, jotka johtuvat pitkälti kemiallisten rakenteiden ja mekanismien vaillinaisesta esitystavasta. Tämän artikkelin tavoitteena on luoda lukion kemiaan soveltuva opetuskokonaisuus orgaanisista yhdisteistä, jolla pyritään vähentämään ja korjaamaan opiskelijoiden vaihtoehtoisia käsityksiä orgaanisista yhdisteistä. Artikkelin kokonaisuus käsittelee esteröitymisreaktiota, mutta artikkelissa esitetyt opetusmenetelmät ovat sovellettavissa myös muihin orgaanisen kemian funktionaalisiin ryhmiin.

Luvussa 5 esitellään opetuskokonaisuus, joka koostuu ennakkotehtävästä, noin 30 minuuttia kestävästä kokeellisesta työstä sekä työn kemiallisen taustan purkamisesta teknisin apuvälinein. Opetuskokonaisuutta perustellaan opetussuunnitelmien, oppikirjojen, tutkimuskirjallisuuden sekä opettajien kokemusten kautta (Luku 2) ja lisäksi tuodaan esille kokonaisuuden kemiallinen (Luku 3) ja pedagoginen (Luku 4) näkökulma.



2 Kirjallisuuskatsaus ja opettajan näkökulma

2.1 Opetussuunnitelma sekä oppikirjat








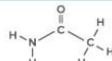
Sekä peruskoulussa että lukiossa käsitellään orgaanista kemiaa ja yhdisteitä melko laajasti. Lukion oppikirjoissa tutustutaan orgaanisten yhdisteiden rakenteisiin ja ominaisuuksiin jo toisella kurssilla KE2, kun taas peruskoulussa orgaaninen kemia ei esiinny yhtä aikaisin kirjoissa. Tämä johtuukin pitkälti sekä peruskoulun (POPS), että lukion opetussuunnitelmista (LOPS).

Peruskoulussa tutustutaan orgaaniseen kemiaan hiilen ja sen ominaisuuksien avulla. Funktionaalisista ryhmistä peruskoulussa tutustutaan alkeeneihin, alkyyneihin, karboksyylihappoihin, estereihin sekä aminohappoihin erityisesti niiden arkielämän yhteyden kautta. Opetussuunnitelman mukaan yksi kemian opetuksen tavoitteista on ”ohjata oppilasta ymmärtämään kemian osaamisen merkitystä omassa elämässä, elinympäristössä ja yhteiskunnassa” (Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet, 2014, s. 394). Lisäksi opetussuunnitelmassa rohkaistaan oppilaita käyttämään visualisointimenetelmiä aineiden rakenteiden ja ilmiöiden ymmärtämiseen (Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet, 2014, s. 394). Opetuskirjassa Vihreä kemia 7-9 käytetäänkin paljon kuvia ja malleja orgaanisten yhdisteiden hahmottamiseen ja lisäksi rohkaistaan oppilaita pohtimaan, miten hiili kiertää luonnossa (Lampiselkä, Pernaa & Roininen, 2017).

Lukiossa käsitellään orgaanista kemiaa funktionaalisten ryhmien, niiden ominaisuuksien ja avaruusrakenteiden avulla kemian 2. kurssilla ”Ihmisen ja elinympäristön kemiaa”. Opetussuunnitelmassa mainitaan keskeisenä sisältönä ”orgaanisten yhdisteiden, kuten hiilivetyjen, happi- ja typpiyhdisteiden, rakenteiden mallintaminen ja kuvaaminen erilaisilla malleilla” (Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015, s. 159). Lisäksi tutustutaan eri funktionaalisten ryhmien reaktioihin kemian 3. kurssilla ”Reaktiot ja energia”. Opetussuunnitelman mukaan opiskelijan tulee tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen orgaanisia yhdisteitä ja ymmärtää miten orgaaninen kemia esiintyy mm. arkielämässä ja teknologian ilmiöissä (Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015, s. 159).

Lukion kemian 2. kurssin Mooli 2 -oppikirjassa (Turpeenoja & Lehtiniemi, 2016) käsitellään orgaanisten yhdisteiden rakenteet mallien avulla ja erityisesti avaruusrakenteet tutkitaan kuvien ja mallien avulla. Joka kappaleessa on monta eri

“tiedätkö?”-osiota, joiden avulla annetaan opiskelijan miettiä ja liittää eri funktionaalisia ryhmiä arkielämään kuvien, hauskojen faktojen ja jopa videoiden avulla. Kirjassa on taulukko funktionaalisista ryhmistä (Kuva 1) ja kuva teollisuusbensiniin, eli hiilivetyjen seoksen eri tuotteista (Kuva 2). Orbitaali 2 -oppikirjassa (Lampiselkä, Mutanen, Myllyviita & Pernaa, 2016) on enemmän teoriaa tekstin muodossa. Kuvia ja malleja löytyy myös, ja kuvatekstit vastaavat Mooli 2-oppikirjan “tiedätkö?”-osiota, eli arkielämään liittyvät asiat kuten erilaiset aromit ja polymeerit otetaan esille kuvateksteissä.

Funktionaalisen ryhmän rakenne	Funktionaalisen ryhmän nimi	Esimerkkiyhdiste
$>C=C<$	alkenyyliryhmä (kaksosidosis)	$CH_2=CH_2$
$-C\equiv C-$	alkynyyliryhmä (kolmoisidosis)	$CH\equiv C-CH_3$
	bentseenirengas	
$-OH$	hydroksyyli	CH_3CH_2OH
	hydroksyyliyhymä kiinni bentseenirenkaassa (fenolinen hydroksyyliyhymä)	
$-C(=O)H$	aldehydi (karbonyyli)	$CH_3-CH_2-C(=O)H$
	keto (karbonyyli)	$CH_3-C(=O)-CH_3$
$-C(=O)OH$	karboksyyli	$CH_3-C(=O)OH$
	esteri	$CH_3-C(=O)-O-CH_3$
$-O-$	eetteri	CH_3-O-CH_3
$-NH_2$	amino	CH_3-NH_2
$-NH_2$ $-COOH$	amino karboksyyli	H_2N-CH_2-COOH
	amidi	

Kuva 1. Mooli-sarja on koostanut taulukkoon yhteenvedon funktionaalisista ryhmistä (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2016, kappale 2.3).



Kuva 2. Mooli-sarjan kuva havainnollistaa, että teollisuusbensiniinillä voidaan valmistaa eri petrokemian tuotteita (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2016, kappale 2.3).

Kemian 3. kurssin Mooli 3 -oppikirjassa (Turpeenoja, 2016) tutustutaan orgaanisten yhdisteiden kemiallisiin reaktioihin. Kuvien, rakenteiden ja reaktioyhtälöiden avulla rohkaistaan opiskelijoita itse tutkimaan kokeellisesti eri reaktioita. Opetussuunnitelman mukaan opiskelijan tulee kokeellisen tutkimisen lisäksi käyttää ja soveltaa käsitteitä mm. jokapäiväisen elämän ilmiöissä ja malleja käyttäen tutkia reaktioihin liittyviä käsitteitä ja ilmiöitä (Lukion opetussuunnitelman perusteet, 2015).

2.2 Tutkimuskirjallisuus

Useat tutkimukset osoittavat, että erilaisten visualisointien, interaktiivisten mallien ja animaatioiden on havaittu kehittävän kemian mallintamistaitoja kaikkien oppijoiden kesken. Lisäksi on todettu, että orgaanisen kemian haastavien käsitteiden hallitseminen tuo itsevarmuutta kemian opiskeluun, mikä edesauttaa luonnontieteellisille aloille suuntautumista.

Ealyn (2018) mukaan monilla opiskelijoilla on paljon vaihtoehtoisia käsityksiä muun muassa siinä, kuinka monta sidosta hiiliatomilla voi olla ja kuinka monta vapaata elektroniparia alkuaineella on. Artikkelin mukaan monet opiskelijat eivät myöskään ymmärrä ionisidoksen ja kovalenttisen sidoksen eroa ja merkitystä. Tämä aiheuttaa ongelmia varsinkin reaktiomekanismien ymmärtämisessä. Muita orgaanisessa kemiassa vaikeuksia tuottavia asioita on siirtyminen täydellisen rakennekaavan käyttämisestä viivakaavan käyttämiseen, hybridisaatio ja sen merkitys molekyylin kolmiulotteiseen rakenteeseen sekä se, että kemiallisessa reaktiossa tuotteita voi olla vain yksi (Ealy, 2018, s. 4-6).

Näitä vaihtoehtoisia käsityksiä voisi vähentää ja muokata esimerkiksi esittämällä molekyyleistä täydelliset rakennekaavat, joissa näkyvät kaikki vedyt. Kolmiulotteisen rakenteen hahmottamisessa auttaa molekyylien rakentelu pallomalleilla tai tietokoneella tapahtuva molekyyli-mallinnus. Jotta ymmärretään hybridisaation merkitys molekyylin kolmiulotteiseen rakenteeseen, niin se tulee ottaa esille, kun tutkitaan kolmiulotteisia malleja. Tällöin sidoskulmat tulisi perustella hybridisaation avulla. Sidosten ymmärtäminen helpottuu, kun elektronegatiivisuusero on sisäistetty hyvin (Ealy, 2018, s. 4-6).

Monia vaihtoehtoisia käsityksiä pystyy vähentämään tehokkaasti käyttämällä molekyyli-mallinnusta sekä animaatioita. Seuraavaksi esitellään joitakin positiivisiin oppimistuloksiin johtaneita tutkimuksia interaktiivisten mallien ja animaatioiden hyödyntämisestä orgaanisen kemian käsitteiden oppimisessa.

Al-Balushi & Al-Hajri (2014) testasivat tutkimuksessaan animaatioiden hyötyjä orgaanisen kemian oppimisessa. Testiryhmä käytti konkreettisia malleja (pallo-tikkumalli), sekä submikroskooppisia animaatioita molekyylien rakenteen ja kemiallisten reaktioiden oppimisessa. Testiryhmän käyttämät animaatio-ohjelmat mahdollistivat saman molekyylin esittämisen sekä 2D että 3D-muodoissa, joillakin molekyyleillä myös Fischerin projektiona. Animaatioiden avulla opiskelijat pystyivät mm. pyörittämään molekyyliä ja näin havainnoimaan niitä eri kulmista. Kontrolliryhmä

käytti vain konkreettisia malleja sekä kynää ja paperia samojen asioiden oppimiseen. Kontrolliryhmän opiskelijoiden tuli käyttää omaa mielikuvitustaan ja kykyä muuttaa itse molekyylimalli toiseksi (Al-Balushi & Al-Hajri, 2014, s.51).

Tutkimus osoitti, että testiryhmän oppimistulokset olivat merkittävästi parempia kuin kontrolliryhmän. Animaatiot auttoivat opiskelijoita oivaltamaan paremmin orgaanisten molekyylien ominaisuuksia, kuten kiraalisuutta, sidoskulmia, stereokemiaa sekä atomien järjestäytymistä molekyyliessä. Opiskelijat olivat myös innostuneita, koska pystyivät helposti navigoimaan erilaisten esitysten välillä, sekä testaamaan ennustuksiaan molekyylien konfiguraatioista. Animaatioiden hyötynä oli myös se, että niiden avulla voitiin havainnoida paljon monimutkaisempia molekyyliä kuin pelkkien konkreettisten pallo-tikku-mallien avulla (Al-Balushi & Al-Hajri, 2014, s.54).

Fried, Tinio, Gubi ja Gaffneyn tutkimuksessa testattiin, pystyykö lapsi oppimaan jopa yliopistotason orgaanista kemiaa, jos opetus on riittävän lapsiystävällistä. Tutkimukseen osallistui 8-11 vuotiaita lapsia, joilla ei ollut etukäteen juurikaan tietämystä orgaanisesta kemiasta tai atomien rakenteesta. Aiheesta annettiin yhteensä 3,5 tuntia opetusta. Apuvälineiksi oppilaille annettiin erilaisia visuaalisia malleja, kuten konkreettisia pallo-tikku-malleja sekä havainnollistavia interaktiivisia malleja, joissa oppilaat pystyivät vapaasti tarkastelemaan, kiertämään ja suurentamaan eri molekyylien rakenteita. Samalla oppilaat saivat jonkinlaisen ymmärryksen sidoksista ja muista orgaanisista ominaisuuksista. Lisäksi oppilaat saivat keskenään piirtää rakenteita ja keskustella oppimistaan asioista (Fried, Tinio, Gubi & Gaffney, 2019).

Tutkimus osoitti, että peruskoulun oppilaat voivat oppia jopa korkeamman tason kemiaa hämmästyttävän nopeasti. Tutkimuksen oppilaat näyttivät innostusta ja motivaatiota juurikin siksi, koska he tiesivät oppivansa vaikeita asioita. 3D-visualisointi ja muut mallintamisohjelmat auttoivat oppilaita saamaan kokonaiskuvan orgaanisen kemian eri alueista. Tutkimuksessa onnistuttiin siis yhdistämään korkeakoulutason materiaalia lapsiystävälliseen opetukseen (Fried ym., 2019).

Shariman ja Talib (2017) testasivat tutkimuksessaan interaktiivisen mobiilisovellusprototyypin vaikutusta orgaanisen kemian reaktioiden oppimiseen. Tutkimukseen osallistui kemian johdatuskurssia käyviä yliopisto-opiskelijoita. Kontrolliryhmä opetteli orgaanisen kemian käsitteet perinteisesti ilman sovelluksia ja

testiryhmälle annettiin orgaanisten reaktioiden oppimisen tueksi OCRA-mobiilisovellus (Organic Chemistry Reaction Application), joka mahdollisti reaktioiden interaktiivisen tutkimisen opiskelijakeskeisesti. OCRA-sovelluksen avulla opiskelijat pystyivät muodostamaan ja rikkomaan kemiallisia sidoksia atomeiden välillä ja ennustaa siten loogisesti mekaanisia askeleita reaktion sisällä (Shariman & Talib, 2017).

Tutkimuksessa huomattiin, että käytetty mobiilisovellus auttoi ymmärtämään reaktioiden luonnetta ja antoi itsevarmuutta orgaanisten reaktioiden oppimiseen. Erityisesti applikaation huomattiin parantavan reaktiomekanismien hallintaa. Teknologiasukupolven opiskelijat myös kokivat miellyttävänä ja mielenkiintoisena mobiililaitteiden käytön oppimisen ja ymmärtämisen tukena. Tutkimus demonstroi, miten interaktiivisen sovelluksen käyttö mahdollistaa reflektoinnin ja kemiallisen ymmärryksen rakentamisen mielekkäällä tavalla (Shariman & Talib, 2017).

2.3 Opettajan näkökulma

Opettajan näkökulmaa varten haastattelimme kahta Oulunkylän yhteiskoulun kemian opettajaa, Mikko Rajakylää ja Iida Forsellia. Opettajat ovat havainneet, että orgaanisten yhdisteiden oppimisessa ilmenee vähiten haasteita muihin kemian aiheisiin verrattuna, koska se on loogista. Peruskoulussa tavoitteena on tunnistaa ja luokitella yhdisteitä rakenteen perusteella. Tavoite on siis suhteellisen helposti saavutettavissa.

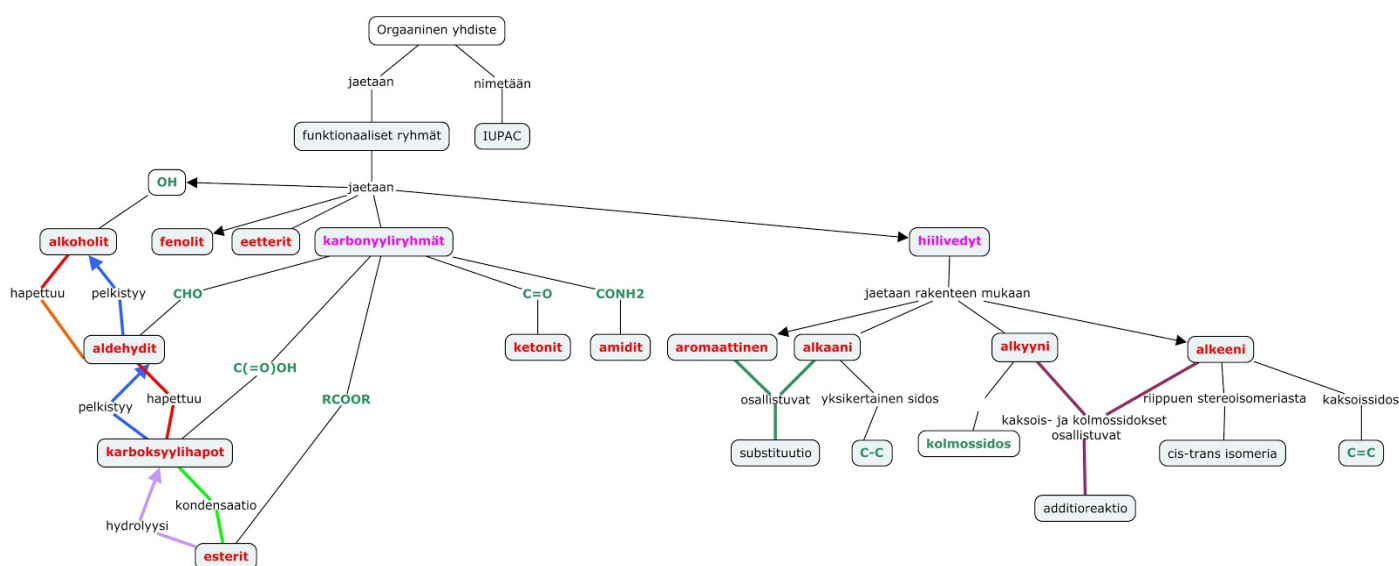
Arkielämästä tutut yhdisteet motivoivat. Opettajat eivät ole havainneet, että ohjelmistot auttavat käsitteiden oppimista sinänsä. Ohjelmien käyttö motivoi ja monipuoliset opetusmenetelmät lisäävät mielenkiintoa. Koululla on käytössä MarvinSketch, koska se on Abitissa. Periaatteessa on pakko käyttää juuri MarvinSketchiä tästä syystä. Sitä käytetään myös peruskoulussa jonkin verran lähinnä tutustumistasolla.

Opettajien mielestä pallomallit ovat hyviä rakenteiden hahmottelussa (varsinkin peruskoulussa toimii jopa paremmin kuin mallinnus, koska ne ovat konkreettisia). Kokeellisuus on tärkeää: hiilivedyistä ei ole oikein hyviä kokeellisia töitä. Hapoista, alkoholeista, hiilihydraateista ja proteiineista on kivoja töitä. Mooli-nimisen kirjasarjan järjestys on opettajien mielestä toimiva. Kirjasarjassa käydään ensin läpi kuinka orgaaniset yhdisteet luokitellaan ja nimetään niiden funktionaalisten ryhmien perusteella. Sen jälkeen keskitytään rakennekaavoihin ja molekyylimalleihin.

3 Kemiallinen näkökulma

3.1 Orgaaniset yhdisteet

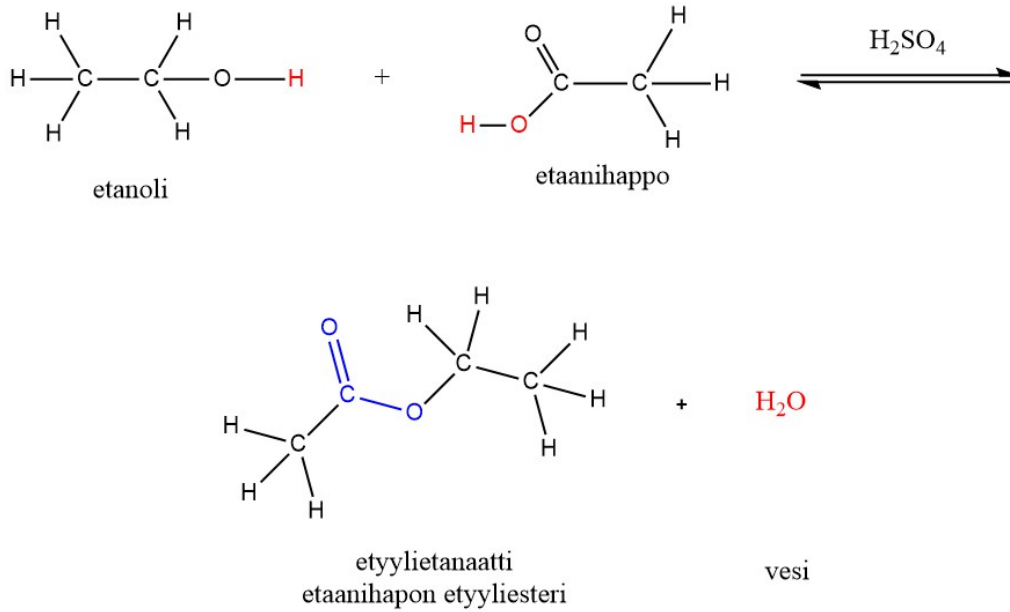
Orgaaniset yhdisteet ovat joukko erilaisia hiilen yhdisteitä. Niitä esiintyy luonnossa, mutta niitä voidaan valmistaa myös synteettisesti. Orgaaniset yhdisteet voidaan jakaa erilaisiin yhdisteryhmiin niiden sisältämien toiminnallisten eli funktionaalisten ryhmien perusteella (Kuva 3).



Kuva 3. Käsittekartassa orgaaniset yhdisteet on jaettu ryhmiin niiden sisältämien toiminnallisten ryhmien perusteella.

3.2 Esterit

Esterit kuuluvat orgaanisiin yhdisteisiin ja niiden funktionaalinen ryhmä on $-\text{CO}-\text{O}-$. Esterit muodostuvat alkoholin ja karboksyylihapon kondensaatioreaktiossa. Reaktiossa lohkeaa vesimolekyyli, jonka OH-osa irtoaa karboksyyliyhdistelmästä ($-\text{COOH}$) ja vetyatomi (H) hydroksyyliyhdistelmästä ($-\text{OH}$) (Kuva 4). Kondensaatioreaktiota voidaan nopeuttaa kuumentamalla, sekä käyttämällä katalyyttinä väkevää rikkihappoa, joka sitoo itseensä vettä. Kondensaatioreaktiolle on ominaista, että siinä muodostuneet yhdisteet voivat hajota takaisin lähtöaineikseen. Tätä käänteistä reaktiota kutsutaan hydrolyysiksi. Esimerkiksi saippuaa valmistetaan hydrolysoimalla rasvoja, jotka ovat glyserolin ja rasvahappojen estereitä.



Kuva 4. Etanolin ja etaanihapon kondensaatioreaktiossa muodostuu etaanihapon etyyliesteri (etyylietanaatti) sekä vettä.

Esterit ovat usein hyväntuoksuisia, pienimolekyyllisiä yhdisteitä. Luonnossa esiintyvät esterit antavat useille hedelmille ja marjoille niille tyypillisen makean tuoksun (Kuva 5). Teollisesti valmistettuja estereitä käytetään hyödyksi mm. hajuvesissä ja elintarvikkeissa (aromit). Tuttu esimerkki esteristä on myös särkylääke aspiriini, joka on salisyylihapon ja etikkahapon esteri (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2016; Lampiselkä, Mutanen, Myllyviita & Pernaa, 2016).

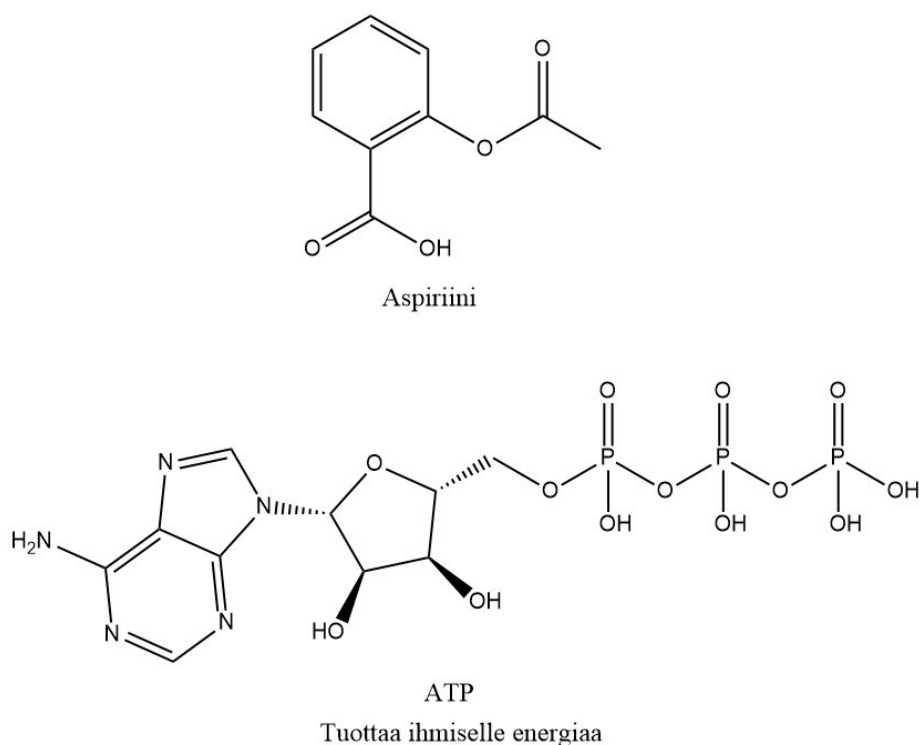


Kuva 5. Useiden hedelmien tuoksu on peräisin estereistä. Niitä on myös helppo valmistaa laboratoriossa. Päärynälle tuoksuva esteri syntyy etanolin ja butaanihapon kondensaatioreaktiossa.

4 Pedagoginen toteutus

Kehitetystä opetusmateriaaleissa pyrittiin huomioimaan opiskelijoiden vaihtoehtoiset käsitykset sekä pyrittiin lisäämään heidän motivaatiota sekä innostusta orgaanisen kemian opiskelua kohtaan. Opetusmetodiksi päätettiin ottaa tietotekniikan hyödyntäminen, joka näkyy muun muassa animaatioiden sekä molekyyli mallinnuksen käyttämisessä. Molekyyli mallinnus ja animaatiot lisäävät opiskelijoiden motivaatiota sekä auttavat positiivisten oppimiskokemusten saavuttamisessa (Fried ym., 2019 & Al-Balushi & Al-Hajri, 2014, s.54). Molekyyli mallinnus oli mainittu myös usean vaihtoehtoisen käsityksen korjaamisen ratkaisuksi (Ealy, 2018).

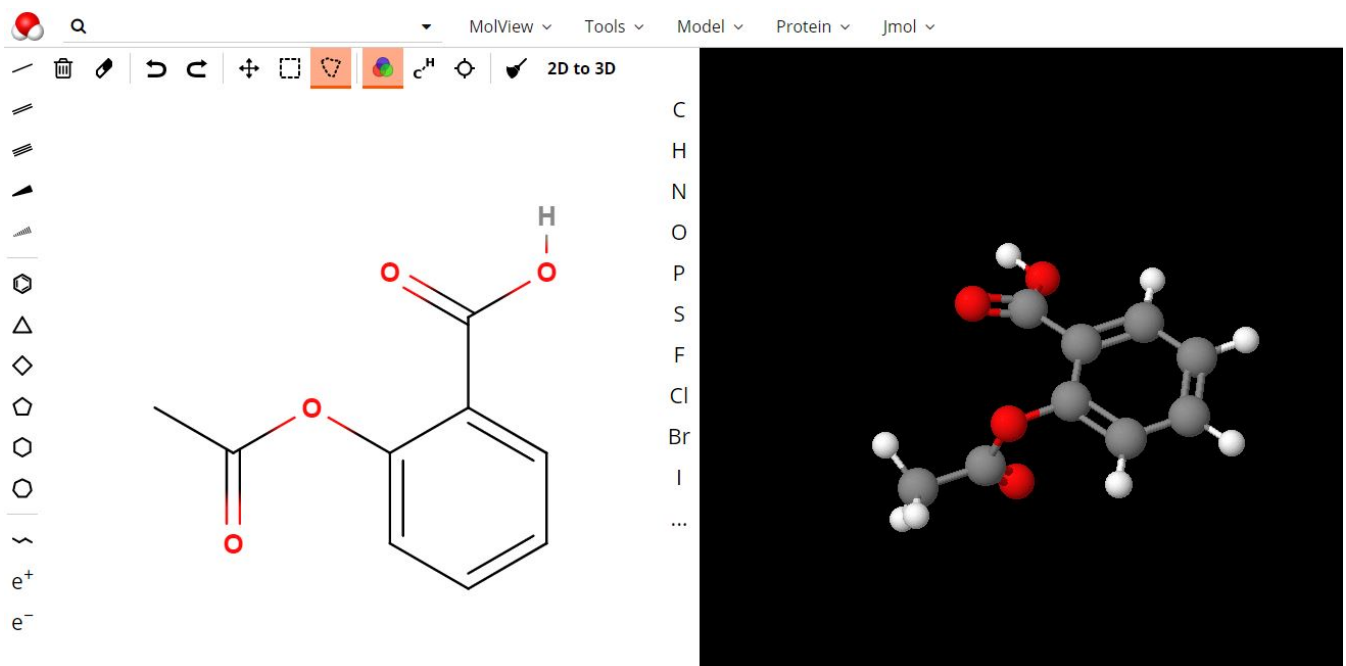
Oppikokonaisuudessa käsitellään esteröitymisreaktiota ja reaktiomekanismia. Aluksi on hyvä kerrata orgaaniset yhdisteryhmät ja tästä syystä opetuskokonaisuuden ennakkotehtäväksi sopii hyvin tehtävä, jossa valituista yhdisteistä täytyy tunnistaa funktionaalit ryhmät. Tehtävässä annetaan yhdisteiden rakennekaavat, nimet ja mahdollisesti jokin yhdisteiden käyttökohde. Esimerkiksi lääkeaineena käytetty aspiriini sekä ihmiselle energiaa tuottava ATP toimivat hyvin ennakkotehtävässä, sillä niistä löytyy kummastakin useampia funktionaalisia ryhmiä (Kuva 6).



Kuva 6. Aspiriini sisältää karboksyyli ryhmän, esteriryhmän sekä aromaattisen renkaan, ATP sisältää hydroksyyli ryhmän, eetteriryhmän sekä aminoryhmän.

Tarkoituksena on valita ennakkotehtävään yhdisteitä, jotka ovat yhdistettävissä arkielämän esimerkkeihin. Arkielämästä tuttujen aineiden käyttäminen motivoi opiskelijoita ja auttaa positiivisten oppimiskokemusten saavuttamisessa (Gabel, 1999 & Perez-Rivero, Valdivia, Giamatteo, Montaña-Osorio & Vargas-Rodríguez, 2019). Yhdisteiden valitseminen esimerkiksi seuraavista kategorioista: lääkkeet, ruuanvalmistuksessa käytettävät aineet ja hajusteet, lisää oppilaiden mielenkiintoa ja motivaatiota (Perez-Rivero ym., 2019).

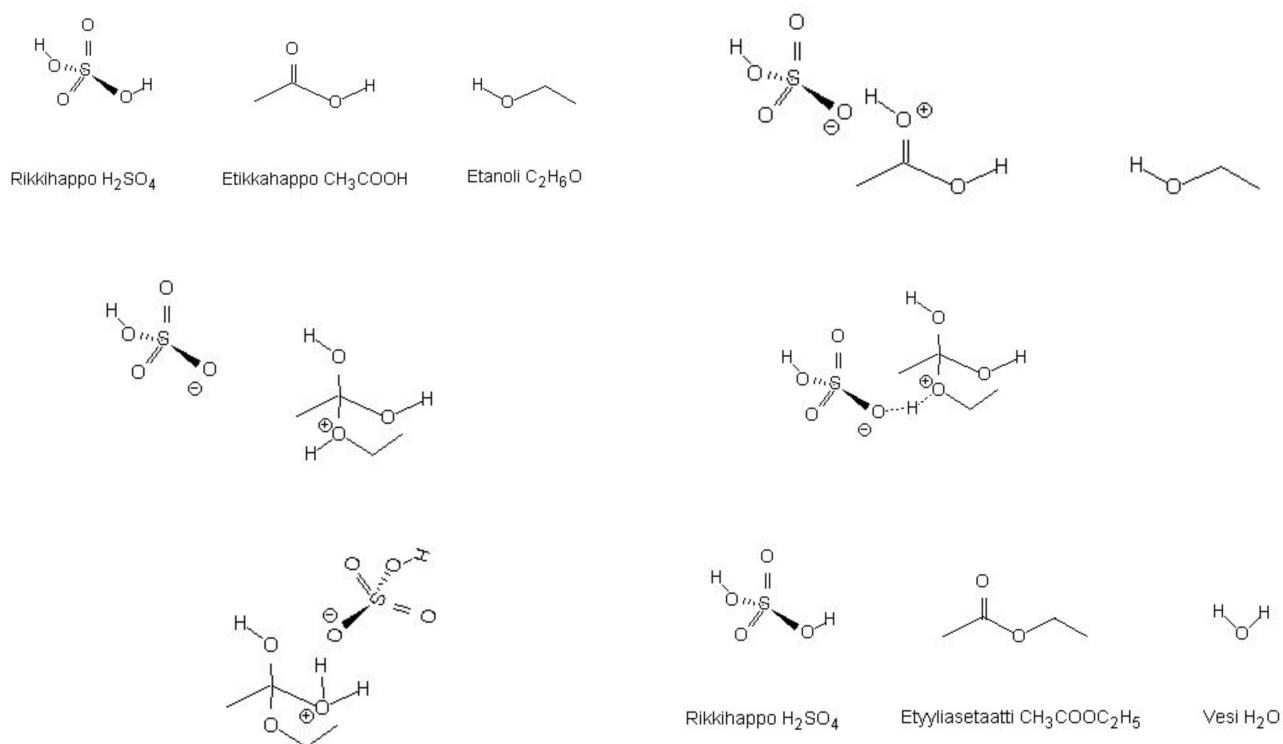
Ennakkotehtävän jälkeen on hyvä kerrata esteröitymisreaktion reaktioyhtälö. Reaktioyhtälössä yhdisteistä kannattaa piirtää täydelliset rakennekaavat, jotta opiskelijat hahmottavat paremmin jokaisen yhdisteen atomin (Ealy, 2018). Molekyylejä voi myös tutkia jollakin molekyylimallinnusohjelmalla hahmottamisen helpottamiseksi. Esimerkiksi ilmainen netistä löytyvä MolView-ohjelma näyttää annetun molekyylin 2D- ja 3D-näkymät, joista jälkimmäisessä molekyyliä voi pyörittellä interaktiivisesti (Kuva 7). Oppiminen tehostuu, kun opiskelijat pääsevät pyörittelemään molekyylejä itse, sillä tällöin he voivat käsitellä myös monimutkaisia molekyylejä (Al-Balushi & Al-Hajri, 2014). Ohjelmassa voi joko piirtää molekyylin itse tai hakea valmiista malleista esimerkiksi aspiriinin rakennekaavaa. Samalla kannattaa pohtia opiskelijoiden kanssa sitä, miten hybridisaatio vaikuttaa yhdisteen sidoskulmiin. Tällöin opiskelijat joutuvat soveltamaan hybridisaatiota ja oppivat tehokkaammin (Ealy, 2018).



Kuva 7. Kuvakaappaus MolView-ohjelmasta. Kuvassa aspiriinin rakennekaava sekä 2D- että 3D-mallina.

Tämän jälkeen oppikokonaisuudessa siirrytään kokeellisen työn toteuttamiseen, jonka työvaiheet löytyvät liitteenä artikkelin lopusta. Valitussa kokeellisessa työssä opiskelijat pääsevät valmistamaan estereitä alkoholeista sekä karboksyylihapoista. Kokeellisen työn yhteydessä tai sen jälkeen on hyvä pohtia, mikä oli katalyytin tehtävä reaktiossa ja näkyikö reaktiossa toisen reaktiotuotteen, veden, muodostuminen. Kokeellisen työn tarkoitus on oppia laboratoriotyöskentelyä, yhdistää esteröitymisreaktion makro- ja mikrotaso sekä innostaa opiskelijoita arkielämän esteriyhdisteiden avulla.

Reaktiomekanismit ovat usein opiskelijoille hankalia ymmärtää (Shariman & Talib, 2017). Paperille piirretyt kaaviot jäävät usein hieman epäselviksi eivätkä opiskelijat sisäistä, mitä piirretyillä nuolilla tarkoitetaan. Tästä syystä opetuskokonaisuuteen tehtiin animaatio esteröitymisreaktion mekaniismista (Kuva 8). Valmiita animaatioita reaktiomekanismeista löytyy parhaiten videoina YouTubesta, mutta niitä voi tehdä myös itse esimerkiksi ilmaiseksi ladattavalla ChemSense-ohjelmalla. Tekemällä itse saa reaktioon tietyt lähtöaineet ja reaktiotuotteet, ja reaktiosta saa esiin juuri ne puolet, joita mekaniismeissa haluaa korostaa. Miinuspuolena animaatioiden tekeminen itse vie runsaasti enemmän aikaa kuin valmiin animaation etsiminen.



Kuva 8. Kuvankaappauksia esteröitymisreaktion mekaniismin animaatiosta. Animaatio toteutettiin ChemSense-ohjelmalla.

Animaatioiden hyödyntäminen reaktiomekanismien opettamisessa on tutkimuksissa tehostanut oppimista. Opiskelijat ovat sisäistäneet reaktiomekanismin tehokkaammin, kun he ovat nähneet sen animaationa eikä pelkkinä kuvina (Shariman & Talib, 2017). Opiskelijat voivat myös tehdä animaatioita itse, mikä motivoi heitä ja lisää kiinnostusta kemiaa kohtaan (Al-Balushi & Al-Hajri, 2014).

5 Kokeellinen työ

5.1 Työn tarkoitus

Kokeellisena työnä on estereiden valmistaminen. Kokeeseen voi lisätä tutkimuksellisuutta ryhmästä riippuen. Ryhmälle voi antaa vaihtoehtoiksi erilaisia alkoholeja ja karboksyylihappoja ja pyytää valmistamaan esteri. Jos opetusryhmässä kokeellisen työskentelyn taidot ovat heikkomat, niin työohjeesta voi vähentää tutkimuksellisuutta kuten liitteessä olevassa työohjeessa on tehty.

Kokeellisen työn tarkoitusta voi siis vaihdella ja se voi olla esimerkiksi tutkimuksellisuuden harjoittaminen, synteesin tekemisen harjoittelu tai kemian opiskeluun innostaminen. Työohjetta on helppo muokata sen mukaan, mikä päätarkoitus kokeelliselle työlle on valittu. Jos valitaan esimerkiksi tutkimuksellisuus työn päätavoitteeksi, niin tällöin opiskelijoille voi esimerkiksi valmistaa mysteeriesterin, joka opiskelijoiden täytyy annettujen alkoholien ja karboksyylihappojen avulla tunnistaa. Tällöin opiskelijat valmistavat useamman esterin ja päättelevät tuoksujen avulla, mikä niistä tuoksuu samalta kuin mysteeriesteri.

5.2 Työturvallisuus

Työssä käytetään syövyttäviä aineita, joten suojatakki, -lasit sekä -hanskat tulee olla päällä. Työssä käytetään voimakkaasti haisevia orgaanisia yhdisteitä sekä kuumennetaan näytettä joko bunsenlampulla tai keittolevyllä, minkä takia työ tulisi tehdä vetokaapissa. Työssä käytetään katalyyttina vahvaa rikkihappoa, jonka opettaja lisää opiskelijoiden reaktioseoksiin turvallisuuden parantamiseksi.

5.3 Työn toteutus

Työssä toteutetaan yksinkertainen orgaanisen kemian synteesi. Lähtöaineet reagoivat hitaasti ja sen takia reaktiota nopeutetaan lämmittämällä sekä katalyytillä. Lopuksi syntynyttä tuotetta saa haistaa varovasti.

6 Yhteenveto

Orgaaninen kemia on pääosin loogista ja selkeää, mutta se sisältää paljon pieniä yksityiskohtia, jotka saattavat tuntua opiskelijoista turhauttavilta tai vaikeilta muistaa. Pienten yksityiskohtien ja orgaanisen kemian laajuuden takia opiskelijoilla on paljon vaihtoehtoisia käsityksiä. Monet niistä johtuvat esimerkiksi siitä, ettei opiskelija osaa tulkita kemian symbolista tasoa tai yhdistää sitä kemian muihin tasoihin. Opiskelijoilla on myös hankaluuksia hahmottaa molekyylien kolmiulotteista rakennetta ja sitä ei helpota se, etteivät he tunne monia esimerkeissä olevia aineita.

Tästä syystä opetuskokonaisuudessa halusimme tuoda esille ennakkotehtävässä opiskelijoille tuttuja aineita. Kokeellisessa työssä käytetyt etanoli sekä etikka ovat myös opiskelijoille tuttuja. Näin opiskelijat pystyvät keskittyä käsittelyssä olevaan asiaan eivätkä he käytä energiaansa aineiden tunnistamiseen.

Opetuskokonaisuudessa hyödynnettiin tietotekniikkaa, koska sen käyttö lisää motivaatiota ja opetuksesta tulee monipuolisempaa. Animaatioiden sekä molekyylihallinnuksen käyttö on tehokas tapa oppia. Niiden käyttäminen vie hieman enemmän aikaa, mutta oppimisen kannalta esimerkiksi animaatioiden tekeminen itse hauska ja erilainen tapa oppia.

Opetussuunnitelmassa painotetaan orgaanisten yhdisteiden ja niiden reaktioiden liittämistä opiskelijoiden arkielämään. Oppikirjoissa orgaaniset yhdisteet ja niiden reaktiot opetetaan usein hyvin teoriapohjaisesti. Opetettava aihe on myös hyvin laaja, joten ei ole ihme, että opiskelijoilla on paljon vaihtoehtoisia käsityksiä tai jos orgaaninen kemia tuntuu vaikealta ja kaukaiselta. Tästä syystä motivoiminen arkielämän aineiden ja tietotekniikan soveltamisen avulla, teorian havainnollistaminen molekyylihallinnuksen tai animaatioiden avulla sekä kokeellisuuden harjoittaminen innostavuuden lisäämiseksi ovat tärkeitä orgaanisen kemian opettamisessa. Näiden avulla myös opetussuunnitelman tavoitteet on helpompi saavuttaa.

Lähteet

- Al-Balushi, S. M., & Al-Hajrib S. H. (2014). Associating animations with concrete models to Al-Balushi, S. M., & Al-Hajrib S. H. (2014). Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract*, 15(1), 47-58. <https://doi.org/10.1039/C3RP00074E>
- Ealy, J. (2018). Analysis of Students' Missed Organic Chemistry Quiz Questions that Stress the Importance of Prior General Chemistry Knowledge. *Education Sciences*, 8(2). Haettu osoitteesta: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1199235.pdf>
- Fried, D. B., Tinio, P. P. L., Gubi, A., & Gaffney, J. P. (2019). Enhancing elementary science learning through organic chemistry modeling and visualization. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 7(2), 73-82.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Lampiselkä, J., Mutanen, J., Myllyviita, A & Pernaa, J. (2016). Orbitaali 2, KE2, Ihmisen ja elinympäristön kemiaa. Jokioinen: e-Oppi Oy.
- Lampiselkä, J., Pernaa, J. & Roininen, I. (2017). Vihreä kemia 7-9: Yläkoulun kemia. Jokioinen: e-Oppi Oy.
- Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2016). Mooli 2, KE2, Ihmisen ja elinympäristön kemiaa. Helsinki: Otava.
- Perez-Rivero, M., Valdivia, A., Giamatteo, L., Montaña-Osorio, C. & Vargas-Rodríguez, Y. (2019). Didactic Strategy for Learning and Teaching of Functional Groups in High School Chemistry. *Science Education International*, 30(2), 85-91.
- Peda.net (2019). Esterin valmistus. Haettu osoitteesta: <https://peda.net/kotka/perusopetus/langinkosken-koulu/oppiaineet2/kemia/kemia-9/6-hiiliyhdisteet/alkoholit/esterit2/oev/esterin-valmistus>
- Shariman, T.P., & Talib, O. (2017). OCRA, a Mobile Learning Prototype for Understanding Chemistry Concepts. Haettu osoitteesta: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED579460.pdf>
- Turpeenoja, L. (2016). Mooli 3, KE3, Reaktiot ja energia. Helsinki: Otava.

Liite 1

Opetusmateriaalin kokeellinen työohje.

Esterin valmistus

KESTO: Työ kestää n. 30 min

TAVOITE: Tässä työssä valmistetaan esterä kuumentamalla vesihauteessa jotakin alkoholia ja jotakin karboksyylihappoa. Työssä opiskelija havaitsee kemiallisen muutoksen, hahmottaa lähtöaineiden funktionaaliset ryhmät, sekä ymmärtää katalyytin vaikutuksen. Samalla opiskelija tutustuu turvalliseen työskentelyyn laboratoriossa.

AVAINSANAT: Funktionaaliset ryhmät – Kemiallinen reaktio – Esteri – Orgaaniset yhdisteet

REAGENSIT:

- etanoli
- pentanoli
- etikkahappo
- propaanihappo
- muurahaishappo
- väkevä rikkihappo (katalyytti)

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN HÄVITYS: Suojatakki, suojalasit ja suojahanskat! Työ suoritetaan vetokaapissa. Etikkahappo, propaanihappo ja muurahaishappo ovat syövyttäviä aineita. Huuhtelee roiskeet **heti** runsaalla vedellä! Rikkihappo on voimakkaasti syövyttävä aine. Huuhtelee roiskeet **heti** runsaalla vedellä! Tarvittaessa lääkäriin.

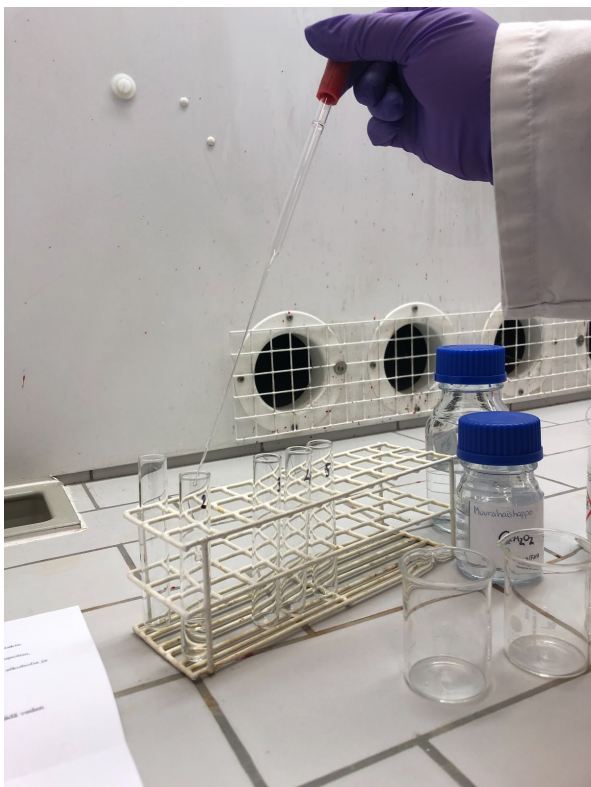
Vesiliuoksessa olevan esterin voi hävittää viemäriin runsaan veden kera.

TARVIKKEET:

- koeputkia + teline
- keitinlasi vesihaudetta varten
- keitinlasi kylmää vettä varten
- keittolevy
- lasinen pasteur pipetti rikkihappoa varten

VALMISTUS:

1. Valitse reagenssi-listasta jokin alkoholi (etanoli tai pentanoli) ja jokin karboksyylihappo (etikkahappo, propaanihappo tai muurahaishappo).
2. Mittaa sekä alkoholia että karboksyylihappoa koeputkeen n. 1 cm ja sekoita rauhallisesti.
3. Pyydä opettajaa lisäämään koeputkeen muutama pisara väkevää rikkihappoa katalyytiksi (Kuva A).



Kuva A.



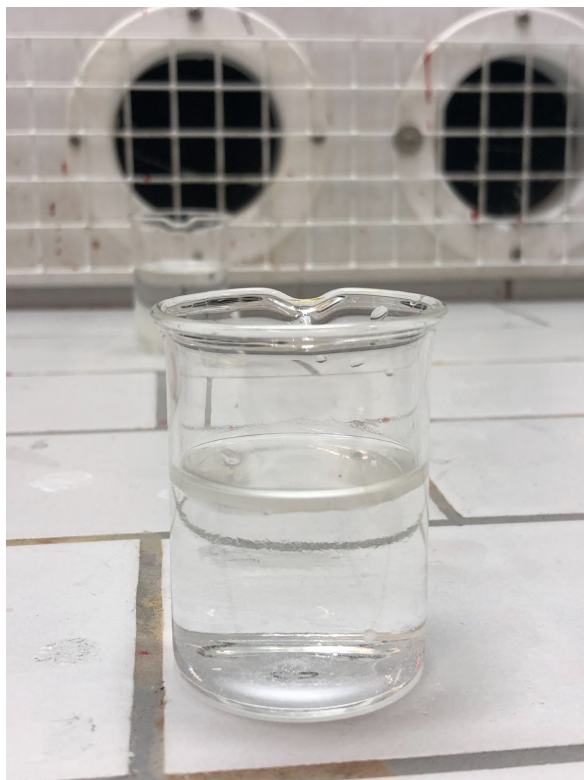
Kuva B.

4. Kuumenna seosta vesihautteessa vetokaapissa n. 10 min ajan (Kuva B).

5. Kaada syntynyt seos kylmää vettä sisältävään keitinlasiin, jolloin esterin pitäisi jäädä veden pinnalle (Kuvat C ja D).



Kuva C.



Kuva D.

6. Haista varovasti löyhyttelemällä syntynyttä esteriä

- Miltä esteri tuoksui?
- Mitä esteriä valmistit? Kirjaa ylös!
- Mitä muuta reaktiossa syntyi esterin lisäksi?

Lähtöaineet	Esterin nimi	Tuoksu
etanoli ja etikkahappo		liima
pentanoli ja etikkahappo		päärynä
etanoli ja propaanihappo		ananas
etanoli ja muurahaishappo		rommi
pentanoli ja muurahaishappo		hedelmäinen

Tämä työohje on muokattu alkuperäisestä työohjeesta: <https://peda.net/id/268d4a40908>