

Lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvien tutkimuksellisten kokeellisten töiden kehittäminen lukion kemianopetukseen

Anna-Kaarina Palomäki

Pro gradu -tutkielma

Ohjaajat: Maija Aksela

Vânia Moreira

Jari Yli-Kauhaluoma

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

3.4.2014

Alkusanat

Pro gradu -työni on vihdoinkin valmis. Mielenkiintoinen ja itseäni motivoiva aihe on kantanut tällä matkalla pitkälle, mutta ilman monia tärkeitä henkilöitä olisi jäänyt paljon saavuttamatta.

Ensin haluan kiittää professori Maija Akselaa, joka antoi minulle tämän aiheen. On ollut hienoa päästä työskentelemään lääkeaineisiin liittyvän kemian parissa, joka on aina kiehtonut minua. Kun siihen yhdistettiin vielä kokeellisuus, oli täydellisyyttä hipova graduaihe valmis. Maija, kiitos kaikesta tuesta ja kannustuksesta. Kiitos myös siitä, että kanssasi on voinut puhua niin gradusta kuin kaikesta muustakin.

Professori Jari Yli-Kauhaluomalle kuuluu myös suuri kiitos työn valmistumisesta. Olen voinut luottaa siihen, että Jarilta on aina saanut avun, kun jokin asia on käynyt yli oman ymmärryksen. Kiitos Jari kaikesta, erityisesti mielenkiintoisesta kirjasuosituksesta projektin viime metreillä. Paljon kiitoksia myös siitä, että olen saanut käydä farmaseuttisen kemian laboratoriossa testaamassa kokeellisia töitä.

Kokeellisten töiden kehittämisestä saan kiittää myös kahta muuta henkilöä. Firstly, Vânia Moreira. Where to begin? This thesis wouldn't exist without you. Vânia, muito obrigada por tudo. Você ajudou muito, eu não conseguiria sem você. Desejo-lhe tudo do melhor.

Kiitos myös Päivi Tammelalle neuvoista ja välineiden valmistelusta. Tästä työstä puuttuisi mielestäni merkittävä osa ilman sinun apuasi. Ja ehkä hippunen onneakin on ollut matkassa.

Viimeisenä ja tärkeimpänä haluan kiittää aviomiestäni Jaskaa. Olen suuresti kiitollinen, sillä olen saanut nauttia rajattomasta ymmärryksestä ja tuesta tämän projektin aikana. Parempi? Parempi. Kiitos Jaska.

Anna



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution – Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos	
Tekijä/Författare – Author			
Anna-Kaarina Palomäki			
Työn nimi / Arbetets titel – Title			
Lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvien tutkimuksellisten kokeellisten töiden kehittäminen lukion kemianopetukseen			
Oppiaine / Läroämne – Subject			
kemia (aineenopettajan suuntautumisvaihtoehto)			
Työn laji/Arbetets art – Level	Aika/Datum – Month and year	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages	
pro gradu -tutkielma	3.4.2014	73+5+CD	
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Nykyaikainen lääkeaineiden kehitys ja valmistus eivät olisi mahdollisia ilman kehittyneitä kemian tietämystä ja osaamista. Lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten konteksti on selkeä esimerkki oppilaille, siitä missä kemian osaamista tarvitaan. Lisäksi kemianopettajan yhtenä tehtävänä on luonnontieteellisesti sivistyneiden oppilaiden kasvattaminen, joten lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten kemiaan liittyvien asioiden tunteminen on yksi tärkeä konteksti lukion kemianopetuksessa.</p> <p>Viime aikoina tutkimustulokset ovat osoittaneet suomalaisten nuorten kiinnostuksen kemiaa ja luonnontieteitä kohtaan hiipuvan. Tilanne on samankaltainen myös kansainvälisesti. Tutkijat ovat ehdottaneet ratkaisuksi kiinnostuksen herättämiseen esimerkiksi kontekstuaalista kemian opetusta sekä tutkimuksellista kokeellista työskentelyä.</p> <p>Tässä kehittämistutkimuksessa haluttiin tutkia sitä, miten lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten kemiaa tällä hetkellä opetetaan lukioiden. Teoreettisena ongelmana analyysinä tässä tutkimuksessa on tutustuttu aiempiin tutkimuksiin kokeellisesta kemian opetuksesta, kiinnostuksen muodostumisesta, tutkimuksellisuudesta sekä kontekstuaalisuudesta. Empiirinen ongelma-analyysi eli tarveanalyysi toteutettiin oppikirja-analyysinä lukion kemian oppikirjoille.</p> <p>Ongelma-analyysit tuottivat muutamia selkeitä tuloksia. Oppilaiden kiinnostus voidaan herättää ja ylläpitää, mutta se vaatii ulkopuolista tukea sekä oppilaiden osallisuutta ja aktivointia. Kontekstuaalisuudella voidaan tukea oppilaan kiinnostuksen heräämistä. Tutkimuksellinen lähestymistapa kemian opetuksessa saa oppilaat osallistumaan enemmän opetukseen ja täten mahdollisesti kiinnostumaan kemiasta ja sen opiskelusta. Kokeellisessa kemianopetuksessa on myös haasteita hyötyjen lisäksi.</p> <p>Oppikirja-analyysin perusteella voidaan todeta, että lääkkeet ja lääkeaineet ovat yksi kirjoissa huomioitu konteksti. Rohdosten kemiaa oppikirjat eivät sisältäneet lähes ollenkaan. Oppikirjojen lääkkeisiin ja lääkeaineisiin liittyvät maininnat ovat luonteeltaan lyhyitä, eikä kontekstia juuri syvennetä. Lääkkeitä ja lääkeaineita on tasaisesti eri kemian käsitteiden yhteydessä, painottuen kuitenkin orgaanisiin yhdisteisiin ja niiden reaktioihin. Kokeellisia töitä lääkeaineisiin liittyen oppikirjoissa oli vain vähän ja ne liittyivät kaikki asetyylisalisyyliahappoon. Lisäksi oppikirjoissa nimeltä mainituista lääkeaineista asetyylisalisyyliahappo oli kaikkein yleisin.</p> <p>Aiemman tutkimuksen ja tarveanalyysin tuottamien tulosten pohjalta kehitettiin neljä tutkimuksellista kokeellista työtä ja niihin työohjeet. Kahdessa työohjeessa tutkitaan lääkeaineita ja kahdessa muussa tutustutaan suomalaisittain hyvin tuttuun rohdostuotteeseen, pihkaan. Kontekstin ja tutkimuksellisuuden taso vaihtelevat hieman töiden välillä. Tämä kehittämistutkimus ei sisällä tuotoksen eli kokeellisten töiden arviointia. Tutkimuksen jatkon kannalta olisi tärkeä, että kehitettyjä kokeellisia töitä testattaisiin oppilasryhmien kanssa. Näin voitaisiin arvioida kehittämistuotoksen onnistuneisuutta ja asetettujen tavoitteiden täyttymistä. Kuitenkin jo tällaisenaan tämä kehittämistutkimus esittelee tärkeää tietoa lääkeaineiden, lääkkeiden ja rohdosten opetuksen tilasta oppikirjojen perusteella sekä tarjoaa neljä kokonaan uutta kokeellista työtä.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
kemia, kemian opetus, lääkeainekemia, rohdokset, kokeelliset työt, tutkimuksellisuus, kiinnostus, kontekstuaalisuus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Kemian laitos			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			
Ohjaajat: Maija Aksela Vânia Moreira Jari Yli-Kauhaluoma			

Sisällys

1. Johdanto	7
2. Lääkeaineiden kemiaa	8
2.1 Lääke, lääkeaine ja rohdos	8
2.2 Esimerkkejä lääkeaineista ja rohdustuotteista	9
2.2.1 Kiniini	9
2.2.2 Pihka	10
2.2.3 Sulfatiatsoli	12
3. Kokeellisen kemian menetelmiä	14
3.1 Uutto	14
3.1.1 Neste-nesteuutto	14
3.1.1.1 Neste-nesteuuton jakautumistasapaino	15
3.1.2 Kiinteä-nesteuutto	16
3.1.2.1 Kiinteä-nesteuutto Soxhlet-laitteistolla	16
3.2 Ohutkerroskromatografia	17
3.2.1 Yleistä kromatografisista menetelmistä	17
3.2.2 Ohutkerroskromatografian periaate ja tulosten tulkinta	19
3.2.3 Kuvaus ohutkerroskromatografiasta käytännössä	19
3.3 Syntetiikka	20
3.3.1 Synteesin suunnittelu	21
3.3.1.1 Reaktiomekanismit	22
3.3.2 Synteesin toteutus	24
3.3.2.1 Tuotteen eristäminen ja puhdistaminen	26
4. Kokeellisuus kemian opetuksessa	27
4.1 Kokeellisuus kemian opetussuunnitelman perusteissa	27
4.2 Kokeellisen kemianopetuksen hyödyt ja haasteet	28
4.3 Kokeellisuus ja kiinnostus kemiaa kohtaan	30
4.3.1 Kiinnostuksen herättäminen ja ylläpito	30
4.3.2 Oppilaiden kiinnostus kemiaa kohtaan	32
4.3.3 Oppilaiden kiinnostus ja kokeellinen kemia	33
4.4 Tutkimuksellisuus kemianopetuksessa	33
4.5 Kontekstuaalisuus kemianopetuksessa	35
5. Kehittämistutkimus	37

5.1 Tutkimuskysymykset	37
5.2 Kehittämistutkimuksen toteutus.....	37
5.3 Tarveanalyysi	38
5.3.1 Yleisesti sisällönanalyysistä.....	38
5.3.2 Tarveanalyysin suorittaminen	39
5.4 Kokeellisten töiden ja työohjeiden kehittäminen	40
6. Tulokset.....	41
6.1 Tarveanalyysi	41
6.1.1 Alkuperäisilmaisujen paikka oppikirjoissa	42
6.1.2 Alkuperäisilmaisujen kontekstin luonne oppikirjoissa.....	44
6.1.3 Alkuperäisilmaisut ja kemian aiheet oppikirjoissa.....	46
6.1.4 Tietyt lääkkeet ja lääkeaineet oppikirjoissa sekä yleisesti aiheesta	48
6.1.5 Lääkeaineisiin liittyvät kokeelliset työt oppikirjoissa	50
6.2 Kokeelliset työt ja niiden tutkimuksellinen opettaminen	51
6.2.1 Kokeellisten työohjeiden pääpiirteet ja tavoitteet	52
6.2.2 Kokeellisten töiden tutkimuksellinen opettaminen	55
7. Johtopäätökset ja pohdinta	56
7.1 Alkuperäisilmaisujen paikka oppikirjoissa	56
7.2 Alkuperäisilmaisujen kontekstin luonne oppikirjoissa	57
7.3 Alkuperäisilmaisut ja kemian aiheet oppikirjoissa.....	58
7.4 Tietyt lääkkeet ja lääkeaineet oppikirjoissa sekä yleisesti aiheesta	59
7.5 Lääkeaineisiin liittyvät kokeelliset työt oppikirjoissa	60
7.6 Kehitetyt tutkimukselliset kokeelliset työt.....	60
7.7 Yhteenveto	64
Lähteet.....	68
Liitteet	73

Lyhenneluettelo

KE1	Valtakunnallinen kemian pakollinen kurssi lukiossa
KE2	Valtakunnallinen kemian syventävä kurssi lukiossa
KE3	Valtakunnallinen kemian syventävä kurssi lukiossa
KE4	Valtakunnallinen kemian syventävä kurssi lukiossa
KE5	Valtakunnallinen kemian syventävä kurssi lukiossa
PABA	<i>p</i> -aminobentsoehappo (<i>p</i> -aminobenzoic acid)
TLC	ohutkerroskromatografia, (<i>thin layer chromatography</i>)

Kuvat

- Kuva 7. Braithwaitea ja Smithiä (1996, s. 10) mukaillen. Kromatografian eri menetelmät.
- Kuva 10. Anna-Kaarina Palomäki. Synteesilaitteisto.
- Kuva 11. Abrahamsia ja Millaria (2008) mukaillen. Kokeellisen työskentelyn suunnittelun ja tehokkuuden arvioinnin malli.

1. Johdanto

Ihminen on osannut käyttää luonnosta saatavia aineita lääkinnässä jo hyvin pitkään. Poppamiesten ja muiden parantajien käsissä luonnon aineista on löydetty apua mitä erilaisimpiin ongelmiin. Kun kemian analyysi- ja erotusmenetelmät alkoivat kehittyä, onnistuttiin kasveista ja muista rohdoksista eristämään vaikuttavia aineita ja tutkimaan niiden rakennetta. Kemistien suuri haaste on ollut kehittää synteesejä, joiden avulla luonnosta löytyviä aineita on pystytty tuottamaan laboratoriossa. (Hiltunen & von Schantz, 2012)

Luonnosta löydettyjen aineiden tutkimus on vauhdittanut kemian menetelmien kehitystä. Kemian kehittymisen ansiosta voidaan suunnitella ja syntetisoida aiempaa tehokkaampia ja turvallisempia lääkeaineita. Ilman kemian osaamista ei uusia lääkkeitä pystyttäisi kehittämään. Lääkkeet, niiden keksiminen, kehittäminen ja valmistaminen ovat vahva osoitus yhdestä aihealueesta, johon kemia olennaisesti liittyy.

Tutkimuksissa on havaittu, että luonnontieteet ja kemia kiinnostavat yhä vähemmän nuoria Suomessa (Lavonen, Juuti, Meisalo, Uitto & Byman, 2005). Lääkeaineet voisivat toimia sellaisena kontekstina kemian opetukselle, joka herättäisi kiinnostuksen oppilaissa. Erittäin merkittävä konteksti lääkeaineet on siinä suhteessa, että tutkimusten mukaan se voisi olla erityisesti tyttöjä kiinnostava aihe (Lavonen, Juuti, Meisalo, Uitto & Byman, 2005).

Lääkkeet ja lääkeaineet ovat oppilaille arkipäivästä tuttu esimerkki. Nyky-yhteiskunnassa on yhä tärkeämpää tuntea tieteellisten faktojen lisäksi tieteen toimintatapoja. Koulujen kemian opetuksen tulisi antaa valmiuksia oppilaille käsitellä tieteeseen ja sen luonteeseen liittyviä aiheita. Lääkeaineiden kemiaan liittyen voidaan opettaa tärkeitä ja opetussuunnitelman perusteissakin (Opetushallitus, 2003) vaadittuja tutkimuksellisia taitoja.

Koska lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten kemia on tärkeää, tässä tutkimuksessa on haluttu tutustua siihen, miten niiden kemiaa tällä hetkellä opetetaan ja millaista tukea olisi nykyiseen malliin kehitettävä kokeellisten töiden avulla. Lääkeaineiden konteksti on hyvin laaja, joten yksittäisen kemianopettajan voi olla vaikea tarttua siihen. Tässä kehittämistutkimuksessa on haluttu tuottaa kokeellisia töitä, jotka helpottavat mielenkiintoisen ja tärkeän kontekstin mukaan ottamista lukio-opetukseen.

Tässä pro gradu -tutkielmassa on seitsemän lukua, joista ensimmäinen on aiheen esittelevä johdanto. Toisessa luvussa tutustutaan lääkeaineiden ja rohdosten kemiaan yleisesti sekä kolmen esimerkin avulla hieman tarkemmin kyseisiin aineisiin. Kolmannessa luvussa on esitetty kehitettävien kokeellisten töiden kannalta olennaisten kokeellisen kemian menetelmät. Neljännessä luvussa tutustutaan kokeelliseen kemiaan osana kemian opetusta. Viidennessä luvussa esitellään toteutettava kehittämistutkimus. Kuudennessa luvussa esitetään tarveanalyysin tulokset sekä kehittämistuotos. Seitsemännessä luvussa esitetään tutkimuksen johtopäätökset ja pohditaan tulosten merkitystä sekä arvioidaan kehittämistuotoksen onnistuneisuutta. Tutkielman lopussa on liitteitä, jotka sisältävät kehittämistutkimuksen tarveanalyysin tuloksia. Lisäksi tutkielman mukana on CD-levy, joka sisältää kehitetyt kokeelliset työt.

2. Lääkeaineiden kemiaa

2.1 Lääke, lääkeaine ja rohdos

Lääke on valmiste, joka sisältää yhtä tai useampaa vaikuttavaa ainetta eli lääkeainetta sekä muita niin kutsuttuja apuaineita. Lääke voidaan antaa potilaalle eri muodoissa, esimerkiksi tablettina, jauheena, mikstuurana tai peräpuikkona. Lääkeaine puolestaan on kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan tunnettu yhdiste. (Tuomisto & Koulu, 2013)

Läkelain (L 4.11.2005/853) perusteella lääkkeiksi voidaan lukea hyvin monimuotoinen joukko valmisteita ja aineita. Lääkkeitä ovat sisäisesti ja ulkoisesti käytetyt valmisteet ja niiden ensisijaisena tehtävänä on ”parantaa, lievittää tai ehkäistä sairautta tai sen oireita ihmisessä tai eläimessä.” Aineet, jotka vaikuttavat korjaavasti elimistössä tai muuttavat ihmisen elintoimintoja, ovat lääkkeitä. Lain mukaan lääkkeiksi luetaan myös sairauden syyn selvittämiseen tarkoitettut aineet, esimerkiksi röntgenvarjoaineet.

Lääkkeissä olevia lääkeaineita voidaan tuottaa eri tavoin. Synteettisiä lääkeaineita valmistetaan laboratoriossa ja teollisuudessa sopivista lähtöaineista. Joskus edullisen ja tehokkaan synteetisireitin löytäminen voi olla hankalaa. Suoraan luonnosta voidaan muutamissa tapauksissa eristää puhtasaineita, joita voidaan sellaisenaan käyttää lääkkeissä. Puhtasaineita voidaan myös muokata kemian tai mikrobiologian keinoin edelleen tehokkaammiksi aineiksi, ja tällöin puhutaan puolisynteettisistä lääkeaineista. Luonnosta eristetyt aineet voivat toimia myös malleina, joiden pohjalta kehitetään

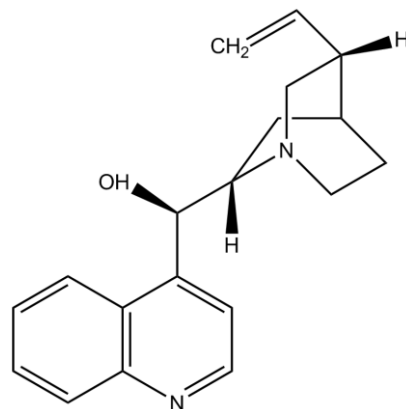
rakenteeltaan samankaltaisia molekyylejä. Näille uusille molekyyleille on pyritty saamaan aikaan paremmat ominaisuudet lääkeaineena kuin alkuperäisellä yhdisteellä luonnostaan on. (Hiltunen & von Schantz, 2012)

Rohdokset ovat valmisteita, joita käytetään lääkinällisiin tarkoituksiin. Kuivatut kasvit tai kasvinosat, samoin kuin eläin tai eläimen osat ovat rohdoksia. Rohdoskasveja ja -eläimiä voidaan myös käsitellä yksinkertaisin fysikaalisin menetelmin, ja nämä rohdostuotteet kuuluvat edelleen rohdoksiin. Esimerkiksi rohdoskasvista voidaan puristamalla saada öljyä, jota voidaan itse rohdoskasvia helpommin ja tehokkaammin käyttää hoitotarkoituksessa. (Hiltunen & von Schantz, 2012)

2.2 Esimerkkejä lääkeaineista ja rohdostuotteista

2.2.1 Kiniini

Kiniini ($C_{20}H_{24}N_2O_2$, moolimassa 324,42 g/mol) (Kuva 1.) (O’Neil, Heckelman, Koch & Roman, 2006, monografia 08061) on kiinapuiden eli *Cinchona*-lajien kuoresta saatava kinoliini-alkaloidi. Kiinapuut ovat lähtöisin Etelä-Amerikasta, mutta nykyisin niitä viljellään Kauko-Idässä. (Hiltunen & Holm, 2012a) Kiniiniä on käytetty malarialääkkeenä ja pitkään se oli ainut hoitokeino kyseiseen alkueläintautiin.



Kuva 1. Kiniinin rakennekaava

Kiinapuun kuoren kuumetta alentavat ja särkyä poistavat vaikutukset olivat todennäköisesti tiedossa jo Etelä-Amerikan alkuperäisasukkailla, ja eurooppalaiset toivat löytöretkien tuliaisina kiinapuun kuorta Uudelta mantereelta. Jo vuonna 1681 kiinankuori hyväksyttiin yleisesti malarialääkkeeksi. Pitkiin aikoihin ja monista yrityksistä huolimatta ei kuitenkaan saatu selville, mikä kiinapuun kuoressa on vaikuttavana aineena. Vasta vuonna 1820 ranskalaiset apteekkarit Pelletier ja Caventou onnistuivat eristämään

kiinankuoresta alkaloidin, jonka he nimesivät kiniiniksi. Kiniini osoittautui lääkäreiden kokeissa tehokkaaksi malarialääkkeeksi, ja pian puhdas kiniini korvasi kiinankuorijauheen malarian hoidossa. (Kaufman & Rúveda, 2005)

Painostus kiniinin totaalisynteesin kehittämiseksi on ollut ajoittain kova. Kiniinistä oli pulaa 1800-luvulla, kun Iso-Britanniassa, Ranskassa ja monilla muilla mailla oli siirtokuntia malaria-alueilla. Kiniinin ollessa ainut malarialääke ratkaisuna pulaan olivat kiinapuun viljeleminen muuallakin kuin Etelä-Amerikassa tai sopivan synteeseireitin löytäminen kiniinin valmistamiseksi. Tuon ajan kemisteille ei ollut kuitenkaan helppoa kehittää totaalisynteesiä aineelle, jolla on useita stereoisomeerejä. Vuonna 1944 Woodward ja Doering väittivät löytäneensä synteeseireitin, mutta vasta vuosikymmenien jälkeen synteeseireitin toimivuus on voitu vahvistaa. 2000-luvulla on esitetty parikin uutta totaalisynteesiä. (Kaufman & Rúveda, 2005)

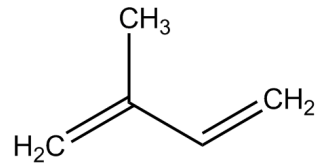
Kiniini on edelleen yksi kuuluisimpia malarialääkkeitä, vaikka se ei enää juuri ole käytössä. Kiniini on kuitenkin tärkeä yhdiste, koska sen rakenne on toiminut modernin lääkeainetutkimuksen lähtökohtana syntetisoitaessa uusia malarialääkkeitä. Kiniinin pohjalta kehitettyjä synteettisiä lääkeaineita malarian hoidossa ovat esimerkiksi klorokiini ja primakiini. (Kumar, Mahajan, & Chibale, 2009)

Kiniinin historia on merkittävä nykyaikanakin. Kiniinin totaalisynteesin puuttuessa ja tarpeen ollessa suurta, Etelä-Amerikan luonnonvaraiset kiinapuualueet hakattiin kokonaan. Pari sataa vuotta sitten luonnonsuojelu ei ollut samalla tavalla keskiössä kuin nykyään, jolloin pyritään lähes välittömästi lupaavien molekyylin löytymisen jälkeen etsimään sopivaa synteeseireittiä tai analogeja luonnosta eristämisen sijaan. (Kaufman & Rúveda, 2005)

2.2.2 Pihka

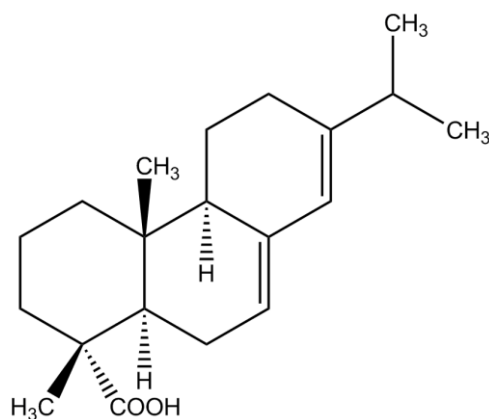
Kansanlääkinnässä havupuiden pihkaa on käytetty vuosisatojen ajan Lapissa. Pihkasta ja eläinperäisistä rasvoista on sekoitettu voidetta, jota on käytetty esimerkiksi haavojen hoitoon. Myös nykyisin on käytössä erilaisia pihkavoiteita ja salvoja, joilla on havaittu olevan antibakteerisia ominaisuuksia. (Rautio, Sipponen, Peltola, Lohi, Jokinen, Papp, ... Sipponen, 2007) Vielä pihkavoidetta ei ole rekisteröity lääkkeeksi, mutta rohdostuotteena sitä on kuitenkin saatavilla apteekeista.

Havupuiden pihka on seos erilaisia terpeenejä. (Langenheim, 2003) Terpeenit ovat isopreeni-yksiköistä (Kuva 2.) muodostuneita sekä kasvi- että eläinkunnassa tavattavia yhdisteitä. Isopreeniyksiköiden lukumäärä vaikuttaa yhdisteiden ryhmittelyyn. Esimerkiksi kahdesta isopreenistä muodostuneet terpeenit ovat monoterpeenejä, kolmesta muodostuneet seskviterpeenejä ja neljästä isopreeniyksiköstä muodostuneet yhdisteet diterpeenejä. (Hiltunen & Holm 2012b)



Kuva 2. Isopreeniyksikkö eli 2-metyyli-1,3-butadieeni

Noin 20–50 % pihkasta on helposti haihtuvia monoterpeenejä, jotka ovat myös erittäin tuoksuvia yhdisteitä. Havupuista saatavia terpeeniyhdisteitä on laajasti käytössä erilaisiin tarkoituksiin. Osaa käytetään liuottimina ja hyväntuoksuisia yhdisteitä puolestaan hajusteteollisuudessa. Pihkan haihtumattomia yhdisteitä ovat ensisijassa diterpeenit. Mäntykasvien pihkassa esiintyy eniten abietiini- ja pimaraanityypin diterpeenejä, kuten esimerkiksi abietiinihappoa (Kuva 3.). (Langenheim, 2003)

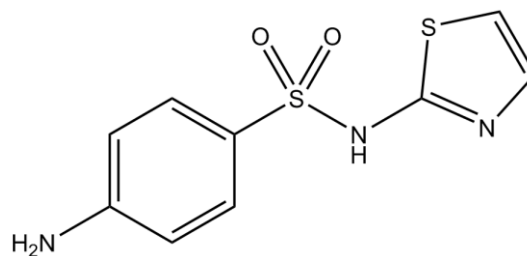


Kuva 3. Abietiinihapon rakennekaava

Pihkan antibakteeristen ominaisuuksien mekanismia ei vielä tunneta kovin hyvin. Tutkimuksissa on havaittu, että suomalainen pihkavoide hidastaa Gram-positiivisten bakteerien kasvua, mutta ei kuitenkaan kaikkien bakteerien kasvua. On mahdollista, että pihkan sisältämät hartsihapot, esimerkiksi abietiinihappo, voisi olla syynä pihkan antibakteerisiin ominaisuuksiin. Tutkimukset ovat kuitenkin vielä kesken, eikä varmaa käsitystä vielä ole muodostunut. (Rautio et al., 2007)

2.2.3 Sulfatiatsoli

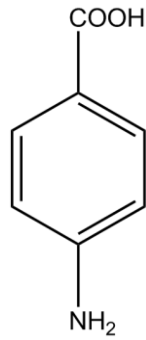
Sulfatiatsoli, ($C_9H_9N_3O_2S_2$, moolimassa 255,32 g/mol) (Kuva 4.) on lääkeaine, jota käytetään antibioottina. Sulfatiatsoli on valkoista tai hieman kellertävää jauhetta, ja sen sulamispiste on 202–202,5 ° C. Sulfatiatsoli liukenee vain heikosti veteen, mutta se liukenee helposti esimerkiksi natrium- tai kaliumhydroksidiin. (O’Neil et al., 2006, monografia 08943)



Kuva 4. Sulfatiatsolin rakennekaava

Sulfatiatsoli kuuluu sulfonamidien ryhmään. Sulfonamidit ovat synteettisiä lääkeaineita, joiden kantayhdiste, sulfaniiliamidi, syntetisoitiin vuonna 1908. Sulfaniiliamidin johdoksia on syntetisoitu useita tuhansia ja lääkeaineina on käytetty joitain kymmeniä. (Tuominen & Männistö, 2013) Sulfonamidit olivat ensimmäisiä syntetisoituja antibiootteja, joita käytettiin laajasti bakteeritulehdusten hoidossa (McMurry 2008).

Kaikki sulfonamidien ryhmään kuuluvat molekyylit ovat *p*-aminobentsoehapon (Kuva 5.) rakenneanalogeja. (Tuominen & Männistö, 2013)



Kuva 5. *p*-aminobentsoehapon rakennekaava

Koska sulfonamidit ovat *p*-aminobentsoehapon eli PABA:n rakenneanalogeja, ne estävät bakteerien foolihapon synteesiä. Nisäkkäät eivät syntetisoi foolihappoa itse, mutta bakteerit muodostavat PABA:n avulla foolihappoa. Foolihappoa tarvitaan esimerkiksi DNA:n rakenneosien, puriinien ja pyrimidiinien, synteesiin. Tällöin erilaiset sulfonamidit kilpaillessaan PABA:n kanssa hidastavat bakteerien kasvua. Sulfonamideja voidaan käyttää sekä Gram-positiivisten että Gram-negatiivisten bakteerien yhteydessä. (Tuominen & Männistö, 2013)

Sulfonamidien käytön ovat korvanneet myöhemmin kehitetyt tehokkaammat antibiootit. Suomessa sulfonamideista on käytössä lähinnä sulfadiatsiini ja sulfametoksatsoli, ja lääkkeessä ne ovat yhdessä jonkin toisen lääkeaineen, esimerkiksi trimetopriimin kanssa. Sulfadiatsiinin ja trimetopriimin yhdistelmällä voidaan hoitaa esimerkiksi virtsatieulehdusta. (Tuominen & Männistö, 2013)

Sulfonamidien yhdeksi merkittävimäksi ansioksi luetaan se, että ne olivat ensimmäisiä valmistettuja ja käytössä olleita antibiootteja pelastaen tuhansia haavoittuneita toisessa maailmansodassa. (McMurry, 2008)

3. Kokeellisen kemian menetelmiä

3.1 Uutto

Orgaanisissa reaktioissa syntyy usein tuotteen lisäksi joukko erilaisia sivutuotteita. Mikäli tuotteen ja sivutuotteiden liukoisuudet tunnetaan, on mahdollista käyttää uuttoa eli ekstraktiota aineiden erotteluun. Uuton avulla voidaan liuoksesta eristää haluttu tuote. Uuttoa voidaan hyödyntää myös silloin, kun kiinteästä aineesta halutaan eristää yhdisteitä jatkokäyttöä varten. (Vogel, 1989)

3.1.1 Neste-nesteuutto

Neste-nesteuutossa on kaksi nestemäistä faasia, jotka eivät sekoitu toisiinsa. Yleistä on, että toisena liuottimena käytetään vettä ja toisena orgaanista liuotinta. Orgaanisena liuottimena voi toimia esimerkiksi dietyylieetteri, bentseeni tai dikloorimetaani. (Saarinen & Lajunen, 2004) Liuottimet on valittava huolella, ja ennen varsinaista uuttoa voidaankin tehdä pienessä mittakaavassa koeuuttoja sopivan liuottimen löytämiseksi. Erotettavan aineen tulee liueta liuottimeen, mutta uuton jälkeen uutettu aine tulee kyetä erottamaan liuottimesta. Orgaaniset yhdisteet liukenevat usein paremmin orgaanisiin liuottimiin kuin veteen, joten uuttosuunta on yleensä vesifaasista orgaaniseen faasiin. (Vogel, 1989)

Tyypillisesti uuttaminen tehdään erotussuppilossa. Erotussuppiloon lisätään molemmat liuottimet ja erotussuppilo suljetaan korkilla. Erityisesti uuttamisen alussa on tarkkailtava paineen muodostumista. Erotussuppiloa ravistellaan varoen ja hana avataan aina välillä, jotta ylimääräinen paine pääsee poistumaan. Tämän jälkeen voidaan erotussuppiloa ravistella voimakkaammin muutaman minuutin ajan. Erotussuppilo asetetaan statiiviin ja annetaan liuottimien erottua omiksi faaseikseen. Käsiteltäessä vettä vähemmän tiheitä liuottimia, voidaan vesikerros laskea hanan kautta ulos, mutta orgaaninen faasi kaadetaan erotussuppilon suun kautta ulos kontaminaatioiden välttämiseksi. Uutto voidaan suorittaa myös jatkuvana uuttona erilaisten laitteistojen avulla. (Vogel, 1989)

Uutto voidaan toistaa useamman kerran, jotta varmistetaan halutun aineen suurempi uuttuminen orgaaniseen liuottimeen. Vesifaasi kaadetaan takaisin erotussuppiloon ja sinne lisätään uusi erä orgaanista liuotinta ja toistetaan uutto edellä kuvatulla tavalla. (Vogel, 1989) Laskennallisesti voidaan osoittaa, että pienten liuotinerien ja useamman uuttokerran käyttäminen tuottaa paremman tuloksen kuin yksi uuttokerta suurella liuotinmäärällä (Saarinen & Lajunen, 2004).

Orgaanisten yhdisteiden siirtymistä vesifaasista orgaaniseen faasiin voidaan helpottaa niin kutsutun ulossuolauksen avulla. Vesifaasiin lisätään epäorgaanista suolaa, jolloin orgaanisten yhdisteiden liukoisuus veteen heikkenee merkittävästi. Samalla estetään orgaanisen liuottimen osittainen liukeneminen vesifaasiin. (Vogel, 1989)

3.1.1.1 Neste-nesteuuton jakautumistasapaino

Uutettava aine A liukenee molempiin faaseihin saavuttaen tasapainotilan.



Mikäli uutto tapahtuu vakioämpötilassa ja -paineessa, tulee aineen A kemialliset potentiaalit kummassakin faasissa olla yhtä suuret:

$$\mu_{A(org)}^{\circ} + RT \ln a_{A(org)} = \mu_{A(aq)}^{\circ} + RT \ln a_{A(aq)},$$

missä μ_A° on systeemin koostumuksesta riippumaton, aineelle A ominainen vakio. Yllä oleva yhtälö pätee vain, mikäli aineen A aktiivisuuksien suhde vakio. Jos oletetaan, että liuokset käyttäytyvät ideaalisesti, voidaan kirjoittaa:

$$\frac{[A]_{org}}{[A]_{aq}} = k_D \quad [A]_i = \text{aineen A konsentraatio liuottimessa } i$$

Yllä olevaa yhtälöä kutsutaan Nernstin jakautumislaki ja vakiota k_D jakautumisvakioksi. Mikäli liuenneita aineita on useita, voidaan jokainen niistä käsitellä ideaalisuuden vuoksi kuin ne esiintyisivät yksinään.

Nernstin jakautumislaki voidaan saattaa muotoon

$$\frac{n_{org}}{n_{aq}} = k_D \cdot \frac{V_{org}}{V_{aq}} \quad n_i = \text{aineen A ainemäärä faasissa } i$$

$$V_i = \text{faasin } i \text{ tilavuus}$$

Jos halutaan selvittää uuttoprosessissa veteen jääneen aineen osuus q , voidaan kirjoittaa

$$q = \frac{n_{aq}}{n_{tot}} = \frac{n_{aq}}{n_{org} + n_{aq}} = \left(1 + k_D \cdot \frac{V_{org}}{V_{aq}}\right)^{-1}$$

Tehtäessä useampi uutto samalla liuotinmäärällä voidaan vesifaasiin liuenneen aineen A ainemäärä laskea seuraavasti n uuttokerran jälkeen:

$$(n_{aq})_n = n_{tot} \cdot q^n$$

Täysin vastaavasti voidaan laskea orgaaniseen faasiin siirtyneen aineen A ainemäärä n uuttokerran jälkeen:

$$(n_{org})_n = n_{tot} \cdot (1 - q^n) \quad (\text{Saarinen \& Lajunen, 2004})$$

3.1.2 Kiinteä-nesteutto

Kiinteä-nesteuttoa käytetään yleensä, kun halutaan uuttaa luonnonaineita. Kiinteä aine voi olla esimerkiksi kuivattu kasvin osa. Jos halutaan erottaa helposti haihtuvia yhdisteitä, parempi erotusmenetelmä on vesihöyrytisläus. Luonnonaineet, jotka eivät ole helposti haihtuvia, voidaan uuttaa. Esimerkiksi terpeenit ovat luonnonaineita, jotka voidaan eristää uuttamalla. Uutossa voidaan käyttää erityyppisiä liuottimia riippuen siitä, mitä aineita halutaan uuttaa. Uutto voidaan esimerkiksi aloittaa hyvin poolittomilla liuottimilla ja edetä poolisempia liuottimia kohti. (Vogel, 1989)

Kiinteä-nesteutto voidaan suorittaa hyvin yksinkertaisesti ja vähin tarvikkein. Materiaali, josta uutto halutaan tehdä, tulee hienontaa mahdollisimman pieneksi ja sekoittaa liuotimen kanssa. Sen jälkeen systeemi voidaan jättää uuttumaan, kunnes liuotin suodatetaan erilleen. Kiinteä aines voidaan tämän jälkeen siirtää uuteen liuotinerään ja näin uuttaa useamman kerran paremman tuloksen saavuttamiseksi. Kun uutto on valmis, käytetty liuotin voidaan haihduttaa pois, jolloin jäljelle jäävät eristetyt luonnonaineet.

Yhdisteiden uutaminen onnistuu myös esimerkiksi refluksointilaitteistolla. Kolviin laitetaan sekä liuotin että hienonnettu materiaali, josta uutto halutaan tehdä. Kolviin yhdistetään jäähdyttäjä ja se lasketaan lämmitettävään vesi- tai öljyhauteeseen. Mikäli refluksointilaitteisto on kokonaan avoin, on sitä käytettäessä otettava huomioon liuotinaineen tulenarkuus ja haitallisuus.

3.1.2.1 Kiinteä-nesteutto Soxhlet-laitteistolla

Tehokkaampi uutto voidaan toteuttaa jatkuvana uuttona Soxhlet-laitteistolla (Kuva 6.). Kiinteä aine sijoitetaan hienonnettuna Soxhlet-laitteen (B) uuttohylsyyn (A). Soxhlet-laite yhdistetään pyörökolviin (C) ja jäähdyttäjään (D). Pyörökolviin mitataan liuotin ja kiehumakivet. Kolvi lasketaan lämpöhauteeseen. Kun kolvia lämmitetään varovasti, liuotin höyrystyy ja kulkeutuu Soxhlet-laitteen sivuputken (E) kautta jäähdyttimeen. Jäähdyttimessä liuotin tiivistyy takaisin nesteeksi ja putoaa uuttohylsyyn. Kun liuotinta on riittävästi uuttohylsyssä, sitä alkaa siirtyä takaisin kolviin lapon periaatteella (F). Samalla liuotin tuo uuttamiaan aineita kolviin. Uutto jatkuu niin kauan kuin systeemi on kytkettynä lämpöhauteeseen. Tuote tai tuotteet voidaan eristää liuottimesta esimerkiksi haihduttamalla liuotin.

Kuva 6. Kiinteä-nesteeuutto Soxhlet-laitteistolla (Huom. Kuvaa ei ole lupa julkaista tutkielman sähköisessä versiossa)

Soxhlet-uuton heikkoutena tällä tavalla toteutettuna on se, että itse uutto tapahtuu suhteellisen matalassa lämpötilassa. Sen vuoksi uuttoprosessi saattaa kestää pitkän aikaa, jos uutettava aine on niukkaliukoisempi liuottimeen matalammassa lämpötilassa. Soxhlet-laitteita on kuitenkin erimuotoisia ja joissain laitteistoissa liuotinhöyry ympäröi uuttohylsyä, jolloin saavutetaan korkeampi lämpötila uuttovaiheessa ja nopeampi uutto. (Vogel, 1989) Liian korkeasta lämpötilasta voi joissain tapauksissa olla kuitenkin haittaa, sillä uutteen aineet saattavat reagoida lämpötilan vaikutuksesta.

3.2 Ohutkerroskromatografia

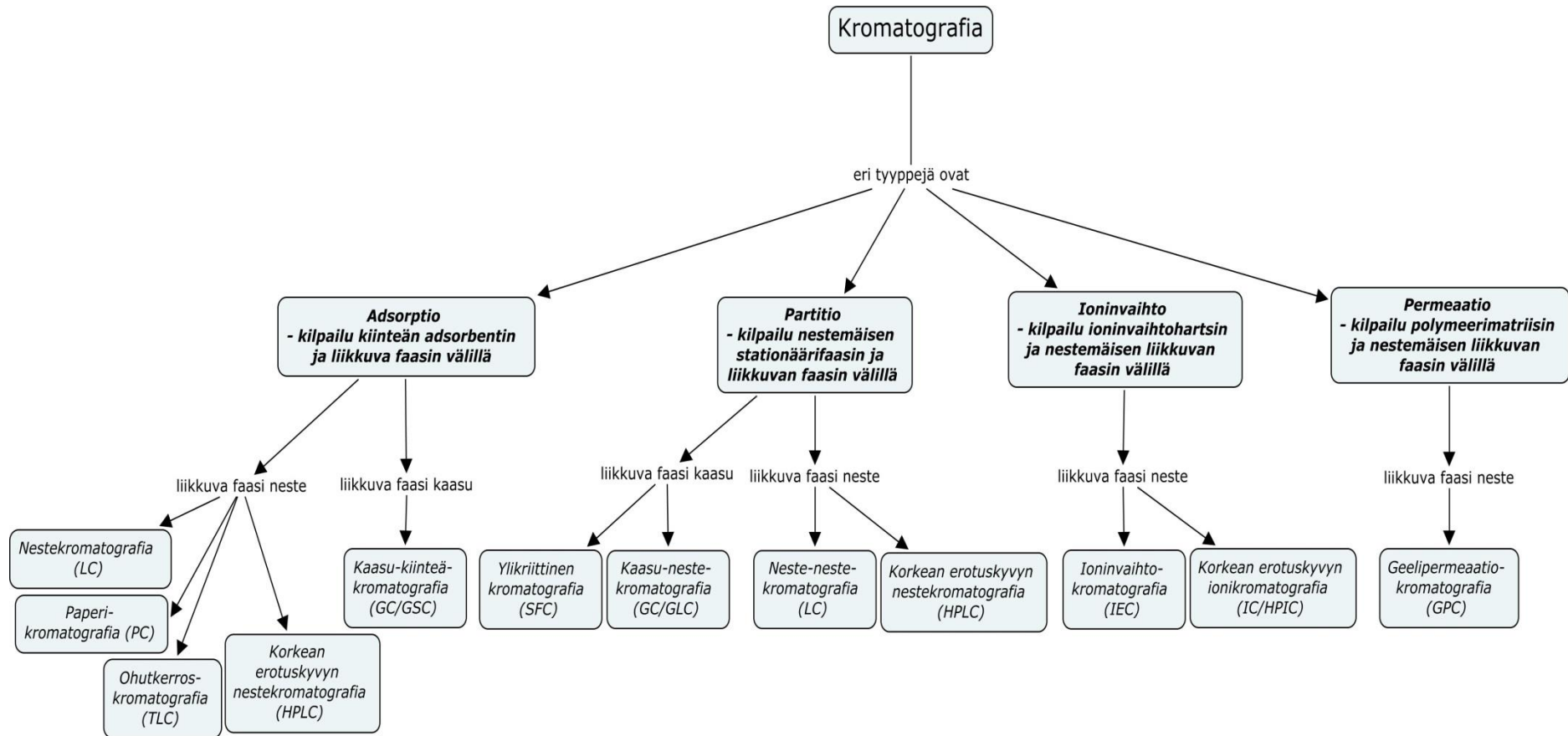
Ohutkerroskromatografia (engl. *thin layer chromatography*, TLC) on yksi kromatografisista menetelmistä. Eri kromatografisilla menetelmillä pyritään aineiden erottamiseen ja tunnistamiseen. (Braithwaite & Smith, 1996)

3.2.1 Yleistä kromatografisista menetelmistä

Kromatografiaa on kemiassa hyödynnetty jo 1800-luvulta lähtien. Ensimmäinen käytetty kromatografian muoto oli paperikromatografia, ja sitä käytettiin 1800-luvun puolivälissä väriaineiden erottamiseen. Kromatografia-sanaa on ensi kerran käyttänyt venäläinen kemisti Mikhail Tsvett vuonna 1906 erottaessaan kasvien väriaineita. Kromatografia tulee kreikan kielen sanoista *chroma* (väri) ja *graphien* (kirjoittaa). (Braithwaite & Smith, 1996)

IUPAC:n määritelmän (1997) mukaan kromatografia on erotusmenetelmä, jossa erotettavat komponentit jakautuvat kahden faasin välille. Toinen näistä faaseista on paikallaan pysyvä stationäärifaasi ja toinen liikkuva faasi eli mobiilifaasi.

Kromatografian menetelmät voidaan luokitella sen mukaan, mihin ne perustuvat ja missä muodossa käytössä olevat faasit ovat. Eri kromatografiset menetelmät on koottu käsitekarttaan Braithwaitea ja Smithiä (1996, s.10) mukailen (Kuva 7).



Kuva 7. Kromatografian eri menetelmät Braithwaitea ja Smithiä (1996, s. 10) mukailleen.

3.2.2 Ohutkerroskromatografian periaate ja tulosten tulkinta

Ohutkerroskromatografiassa liikkuvana faasina toimii neste ja stationäärifaasina kiinteä geeli lasisen tai metallisen levyn päällä. Erotettavat aineet liikkuvat nestemäisen liuottimen tai liuottimien mukana pitkin geelin pintaa. Erotus perustuu adsorptioon. Toiset aineet ovat enemmän vuorovaikutuksessa stationäärifaasin kanssa ja toiset liikkuvan faasin kanssa. Näin tutkittavat aineet erottuvat ja jäävät eri kohtiin kiinteää stationäärifaasia. (Braithwaite & Smith, 1996)

Ohutkerroskromatografian tulokset voidaan tulkita helposti visuaalisesti. Monet orgaaniset yhdisteet ovat värittömiä, mutta UV-valon avulla nekin voidaan nähdä tummempina kohtina levyn pinnassa.

Kromatogrammia voidaan tulkita esimerkiksi R_f -arvoilla. R_f viittaa siihen matkaan, jonka erotettava aine on kulkenut stationäärifaasin pinnalla liuotinrintamaan verrattuna.

$$R_f = \frac{\text{tutkittavan aineen kulkema matka}}{\text{liuotinrintaman kulkema matka}}$$

R_f -arvo tietylle aineelle pätee vain täsmälleen samoissa olosuhteissa, kuin alunperin on mitattu. Tällöin pelkästään R_f -arvon perusteella ei voida saada varmuutta tuntemattomista aineista.

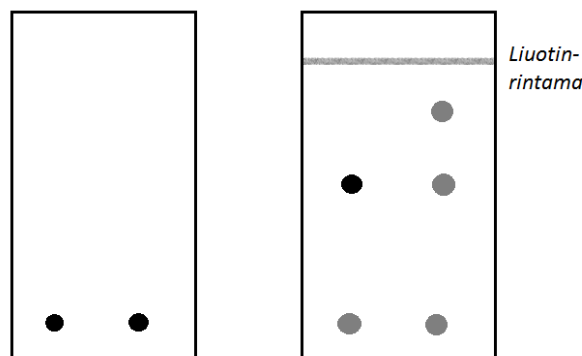
Eräs tapa tunnistaa kromatogrammissa olevat tuntemattomat aineet on verrata tutkittavaa ainetta standardiin. Samalla levyllä voidaan ajaa sekä tutkittava aine että standardi, ja verrata näiden kulkemia matkoja keskenään. Ohutkerroskromatografian tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa antavia ja lopulliseen tunnistamiseen käytetään jotain muutakin menetelmää, esimerkiksi NMR- ja massaspektrometriaa.

3.2.3 Kuvaus ohutkerroskromatografiasta käytännössä

TLC:n tekeminen on yksinkertaista ja sen tulokset on helppo analysoida visuaalisesti. Ohutkerroskromatografian etuna on myös se, että tutkittavia aineita tarvitaan vain pieni määrä. Tässä kromatografian muodossa on lisäksi paljon erilaisia muuttujia, joita muuttamalla on mahdollista räätälöidä juuri sopivat olosuhteet erotukseen. (Braithwaite & Smith, 1996)

Useimmiten ohutkerroskromatografiassa stationäärifaasina toimii alumiinilevyn pinnalla oleva silika-geeli. Ajolevy voidaan leikata sen kokoiseksi, kuin kulloisessakin määrityksessä tarvitaan. Näytteet asetetaan lasikapillaariputkella ajolevyn alaosaan noin 1-2 cm päähän reunoista. Jos näytetäpliä on useita, niiden väliin on myös jätävä tilaa. Kiinteät näytteet on ennen levyllä laittoa liuotettava haihtuvaan liuottimeen.

Näytteiden ajo suoritetaan ajokammiossa. Kammion pohjalle laitetaan noin 1 cm kerros liuotinta tai useampia liuottimia, jotka muodostavat liikkuvan faasin. Kun näytetäplät ovat kuivuneet, ajolevy voidaan asettaa kammioon siten, että levyn alareuna on kosketuksessa liuottimeen. Liuotinrintama nousee levyä pitkin kapillaari-ilmiön vaikutuksesta samalla erottaen tutkittavat aineet erillisiksi täpliksi (Kuva 8).



Kuva 8. Vasemmalla on levy ennen ajoa ja oikealla ajon jälkeen. Levyissä vasemmanpuoleinen täplä on standardi ja oikeanpuoleinen tutkittava näyte.

Liuotinrintaman annetaan nousta lähes ajolevyn yläreunaan saakka. Tämän jälkeen levy otetaan pois ajokammioista ja annetaan liuottimien haihtua levyn pinnasta. Ohutkerroskromatografian tulokset ovat valmiina tulkittavaksi.

3.3 Syntetiikka

Tieteessä oli pitkään vallalla käsitys, ettei luonnon aineita voitaisi valmistaa laboratoriossa. Kun 1800-luvulla onnistuttiin syntetisoimaan luonnosta löytyviä yhdisteitä, lähti orgaanisen kemian kehitys vauhtiin. (Hiltunen & von Schantz, 2012) Orgaanisen kemian tiedoilla suunnitellut ja toteutetut synteetit toimivat edelleen tukena monelle muullekin tieteenalalle, esimerkiksi lääkeainekemialle.

3.3.1 Synteesin suunnittelu

Orgaaniskemiallisen synteesin tarkoituksena on saada valmistettua tietty molekyyli. Syitä synteesin kehittämiseksi voi olla useita. Synteesin avulla saatu tuote on usein hyödyllinen, se voi olla esimerkiksi potentiaalinen lääkeaine. Toisaalta synteesijä ei suunnitella pelkästään tuotteen aikaansaamiseksi, sillä joskus voidaan tunnettua synteesireittiä muuttaa tai parannella. Näin voidaan kehittää edullisempi tai turvallisempi valmistusmenetelmä halutulle yhdisteelle. (McMurry, 2008)

Synteesien suunnittelua motivoi myös keksimisen ilo. Orgaaniset molekyylit, erityisesti luonnonaineet, ovat usein hyvin monimutkaisia rakenteeltaan. Vaatii paljon taitoa, jotta sellaisia voidaan valmistaa laboratoriossa. Vaikka luonnonaineiden valmistaminen tulisi kalliimmaksi kuin niiden eristäminen suoraan luonnosta, on niiden synteesien suunnittelusta silti hyötyä. Samalla kehitetään orgaanisen kemian menetelmiä ja tietämystä, joista voi olla hyötyä muiden molekyylien syntetisoinnissa.

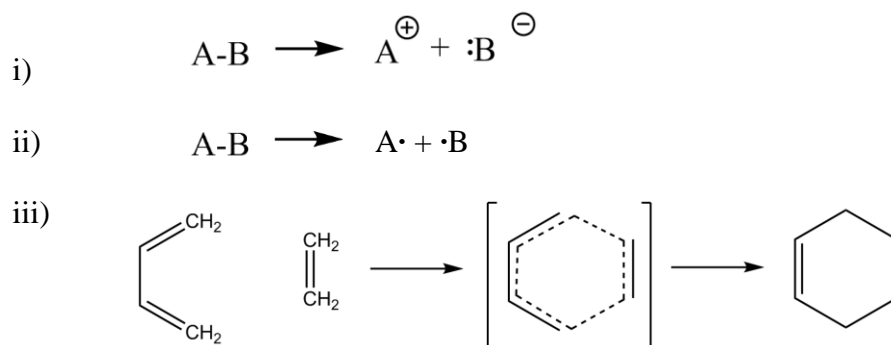
Syntetisoitava molekyyli tulee tuntea hyvin tarkasti, jotta voidaan suunnitella mahdollisia synteesireittejä. Kohdemolekyylin funktionaalisten ryhmien lisäksi on tärkeää tietää sen kolmiulotteinen rakenne. (Vogel, 1989) Synteesireitin suunnittelu voidaan aloittaa joko hyvistä lähtöaineista tai sitten retrosynteettisesti. Retrosynteettisessä analyysissä edetään tuotteesta kohti lähtöaineita pohtimalla, mikä olisi edeltävä molekyyli, josta tuote on saatu aikaan. Näin toimien voidaan edetä kohti lähtöaineita. (McMurry, 2008) Nykyisin synteesireittejä voidaan suunnitella myös tietokoneavusteisesti.

Synteesiä suunnitellessa voi on tarpeen tietää myös mahdolliset sivureaktiot ja niissä syntyvät tuotteet. Mikäli reaktiossa voi syntyä useita eri tuotteita, täytyy ottaa huomioon reaktion kontrolli ja selektiivisyys. Reaktion kineettinen kontrolli tarkoittaa sitä, että tuotteenmuodostuksessa reaktionopeudet ovat määräävänä tekijänä. Termodynaamisessa kontrollissa puolestaan entalpia on määräävänä tekijänä.

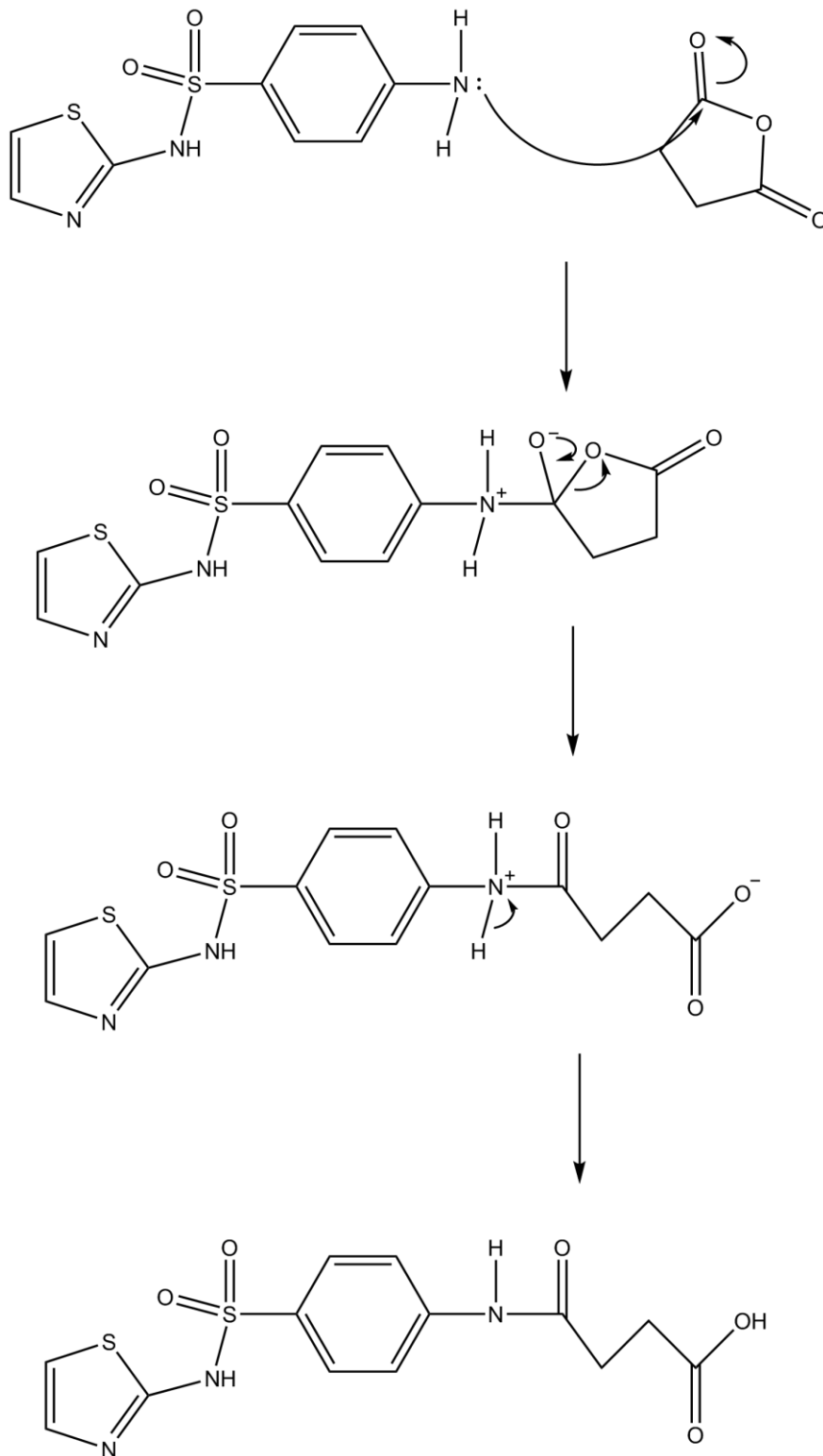
Reaktioiden selektiivisyys voidaan jakaa kemoselektiivisyyteen, regioselektiivisyyteen, suojaukseen ja stereoselektiivisyyteen. Reaktio on kemoselektiivinen, jos lähtöaineessa on useita funktionaalisia ryhmiä ja ainoastaan yksi niistä reagoi tietyissä olosuhteissa. Regioselektiivisessä reaktiossa reaktio tapahtuu tietyssä kohtaa molekyyliä, vaikka siinä olisi samanlaisia muitakin funktionaalisuuksia. Stereoselektiivisessä reaktiossa muodostuu suurimmaksi osaksi vain yhtä isomeeriä mahdollisista stereoisomeereista. Lähtöaineessa voidaan myös kokonaan suojata jokin funktionaalinen ryhmä antamalla sen reagoida ennen varsinaista synteesiä. Suojaus täytyy myös voida poistaa molekyylistä helposti.

3.3.1.1 Reaktiomekanismit

Jotta synteesireittiä on mahdollista vaihe vaiheelta suunnitella, tulee tuntea orgaanisten yhdisteiden reaktiomekanismeja. Orgaaniset reaktiomekanismit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään sen mukaan, miten kovalenttiset sidokset katkeavat: i) polaarinen, ii) radikaali- ja iii) perisyklinen mekanismi. (Vogel, 1989) Sidoksen katketessa heterolyttisesti (i) siirtyy sidoksen muodostanut elektronipari kokonaan toiselle atomille. Jos sidos katkeaa homolyttisesti, sidoselektronit jakautuvat tasan atomien välille muodostaen radikaaleja (ii). Perisyklisessä mekanismissa sidokset katkeavat ja järjestäytyvät uudelleen konjugoituneen siirtymätilan kautta (iii) (IUPAC, 1997).



Kovalenttisten sidosten katkeamisen myötä orgaaniset yhdisteet voivat reagoida uusiksi yhdisteiksi. Orgaanisten yhdisteiden reaktiotyyppejä ovat substituutio, additio, eliminaatio, hapettuminen ja pelkistyminen sekä toisiintuminen. (Vogel, 1989) Esimerkkinä käsitellään nukleofiilinen substituutioreaktio asyylihiileen (Kuva 9.). Kyseinen reaktio etenee additio-eliminaatiomekanismilla. Lähtöaineina on sulfatiatsoli ja dihydro-2,5-furaanidioni eli meripihkahappoanhydridi. Sulfatiatsolissa oleva aminoryhmän tyyppi on nukleofiili, joten se liittyy meripihkahappoanhydridin elektrofiiliseen karbonyylihiileen. Tuotteena syntyy sukkinyylisulfatiatsoli.



Kuva 9. Nukleofilinen substituutioreaktio asylylkarbonyyliin.

3.3.2 Synteesin toteutus

Synteesi voi olla mahdollista toteuttaa hyvin yksinkertaisin välinein. Pyörökolviin mitataan tai punnitaan lähtöaineet, liuottimet, katalyytti ja muut reaktiossa tarvittavat aineet. Kolviin liitetään jäähdyttävä, johon voidaan tarvittaessa laittaa vesikierto (Kuva 10.). Jos lähtöaineet ja tuotteet ovat nestemäisiä, kolviin laitetaan kiehumakivet. Jos jokin lähtöaineista tai tuotteista on kiinteä, sekoitus voidaan hoitaa joko magneettisekoituksella tai moottorisekoituksella. (Vogel, 1989)



Kuva 10. Synteesilaitteisto, johon kuuluu jäähdyttävä vesikierrolla.

Kemialliset reaktiot tarvitsevat tapahtuakseen energiaa, joten synteasilaitteistoon kuuluu useimmiten lämmönlähde. Kolvi voidaan laittaa esimerkiksi lämmitettävään vesi- tai öljyhauteeseen. Reaktion nopeudesta riippuen reaktioseoksen annetaan refluksoitua sopivan ajan. Reaktion kulkua voi seurata esimerkiksi ohutkerroskromatografisesti vertaamalla reaktioseosta standardina toimivaan lähtöaineeseen.

Erimuotoisia reaktiokolveja ja adapteriosia käyttämällä voidaan synteasilaitteisto muuntaa vaativampaan käyttöön. Kolviin voidaan yhdistää esimerkiksi tiputussuppilo vaiheittaista nesteen lisäämistä varten. Mikäli reaktioseoksen ei haluta olevan vuorovaikutuksessa ilmankosteuden kanssa, voidaan jäähdyttäjän päähän asentaa kalsiumkloridia sisältävä putki. Systemi pysyy avoimena, mutta ilmankosteus ei pääse häiritsemään reaktiota. Synteesi voidaan toteuttaa myös kokonaan inertissä atmosfäärissä, esimerkiksi työssä tai argonissa.

Synteeseille voidaan laskea teoreettinen saanto, johon todellista saantoa vertaamalla saadaan synteessin saantoprosentti. Teoreettinen saanto voidaan laskea reaktioyhtälön perusteella, kun tiedetään lähtöaineiden massat. Todellinen saanto saadaan synteessin loputtua, kun tuote on eristetty ja punnittu. Saantoprosentti voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\text{Saanto-\%} = \frac{\text{Todellinen saanto (g)}}{\text{Teoreettinen saanto (g)}} * 100 \%$$

Saadusta tuotteesta määritetään myös sen puhtaus. Tunnetun kiinteän aineen kohdalla tämä voidaan tehdä sulamispisteen mittauksella ja vertaamalla kirjallisuusarvoon. Tunnetun nestemäisen tuotteen kohdalla mitataan taitekerroin, jota verrataan kirjallisuuden ilmoittamaan arvoon. Puhtauden määrittämisessä käytetään lisäksi kaasua- ja nestekromatografisia menetelmiä, erityisesti uuden yhdisteen synteessin ollessa kyseessä. Lisäksi erilaisin spektrometrisin menetelmin ja tekniikoin saadaan tuotteen rakenne selville.

3.3.2.1 Tuotteen eristäminen ja puhdistaminen

Synteesin lopuksi on tuote eristettävä reaktioseoksesta, ennen kuin sitä pystytään tutkimaan tarkemmin. Tuotteen lisäksi seoksessa voi olla reagoimattomia lähtöaineita ja sivureaktioissa syntyneitä tuotteita.

Jos tuote on nestemäinen, voidaan se eristää tislauksella tai uutolla. Tislaus perustuu aineiden erilaisiin kiehumispisteisiin. Nestemäisestä seoksesta voidaan eri aineet kerätä talteen tarkkailemalla höyryn lämpötilaa. Tislausta ei kuitenkaan voida käyttää, mikäli seoksessa olevien aineiden kiehumispisteet ovat liian lähellä toisiaan. Tällöin tuote voidaan eristää uutolla, josta on tarkempi kuvaus aiemmin tässä tutkielmassa. Ennen uuttoa on kuitenkin hyvä haihduttaa mahdolliset liuottimet tislaamalla. (Vogel, 1989)

Mikäli tuote kiteytyy reaktioseoksen jäädyttämisen jälkeen, se voidaan suodattaa erilleen liuottimesta. Kiteiden pesemiseen käytetään sellaista liuotinta, johon kiteet liukenevat mahdollisimman vähän. Tuotetta voidaan puhdistaa erilaisista epäpuhtauksista sopivan pesuliuottimen valinnalla. Esimerkiksi veteen niukkaliukoinen orgaaninen yhdiste voidaan huuhdella vedellä, jolloin epäorgaaniset suolat liukenevat ja niistä päästään eroon.

Tuotteen eristämisen jälkeen se usein vielä puhdistetaan. Nestemäiset tuotteet voidaan puhdistaa erilaisilla tislausmenetelmillä. Kiinteät tuotteet voidaan esimerkiksi uudelleenkiteyttää tai sublimoida. Uudelleenkiteytyksessä tuote liuotetaan liuottimeen, johon se juuri ja juuri liukenee esimerkiksi kuumennettaessa. Jos jotkin epäpuhtaudet eivät liukene liuottimeen, ne voidaan suodattaa pois. Seoksen annetaan jäähtyä, jolloin tuote kiteytyy ja se voidaan erottaa liuottimesta. Sublimoinnissa kiinteä aine höyrystetään, jotta se voi kiteytyä puhtaana kylmälle pinnalle. Jotta sublimointia voidaan käyttää, tulee aineella olla riittävän suuri höyrynpaine lämpötilassa, joka on alhaisempi kuin sen sulamispiste.

4. Kokeellisuus kemian opetuksessa

Kokeellisuus on luonnollinen osa kemiaa, ja siten sen on koettu kuuluvan myös kemianopetukseen. Kokeellisuus esiintyy Opetushallituksen julkaisemissa opetussuunnitelman perusteissa (2003, 2004). Kemianopetuksen tutkimuksessa kokeellisuutta on tutkittu paljon, sillä sen luonne, tavoitteet ja tehokkuus ovat kiinnostaneet tutkijoita pitkään.

4.1 Kokeellisuus kemian opetussuunnitelman perusteissa

Opetushallituksen julkaisemien opetussuunnitelmien perusteiden (2003, 2004) mukaan kokeellisuus tukee kemian opetusta. Toisaalta kokeellisuus on selkeästi osa kemiaa ja yksi opetuksen tavoitteista, sillä kokeellisuuden arviointi tulee ottaa huomioon tarkasteltaessa oppilaan kemian osaamista.

Molemmissa opetussuunnitelmissa korostuu erityisesti se, että kokeellisuuden tulisi tukea muuta kemian opetusta. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (2004) tämä on ilmaistu heti kemian osuuden alussa, kun taas Lukion opetussuunnitelman perusteissa (2003) jokaisen kurssin tavoitteissa todetaan, että oppilaan tulisi osata tutkia kurssin asioita myös kokeellisesti. Kokeellisuuden tulisi olla sellaista, että oppilas kykenee oppimaan kemian eri käsitteitä sen avulla. Lisäksi kokeellisuudessa koetaan luonnontieteiden luonteen tulevan hyvin esille ja siten oppilaan on helpompi sisäistää luonnontieteiden luonteeseen liittyviä asioita. (Opetushallitus, 2004)

Kokeellisella lähestymistavalla oppilaita voidaan innostaa kemian opiskelun pariin. Kokeellisuus monipuolistaa opetusta ja on kuitenkin olennainen osa kemiaa, joten kokeellisuus tuo kemian luonteen luontevasti esille. Tällöin oppilaiden mielikuva kemiasta tieteenä selkiytyy ja vahvistuu, ja he saattavat innostua sen kautta kemian opiskelusta. On tärkeää kuitenkin huomioida opiskelijoiden valmiudet ja lähtötaso, ja sen pohjalta syventää kiinnostusta kemiaa kohtaan (Opetushallitus, 2003).

Erityisesti Lukion opetussuunnitelman perusteissa (2003) korostuu tutkimuksellinen näkökulma. Oppilaan tulee oppia itse suunnittelemaan tutkimuksia, tekemään havaintoja ja raportoimaan saadut tulokset. Kokeellisuus on yksi luonnontieteiden tiedonhankintatavoista, joten lukiolaisten tulee harjaantua tiedon etsimisessä ja käsittelyssä. Oppilaan tulee myös oppia tulkitsemaan ja arvioimaan hankkimaansa tietoa.

Kokeellisuuteen kannustetaan Opetussuunnitelman perusteissa (2004) myös sen vuoksi, että sen kautta oppilas voi oppia monia tärkeitä taitoja. Kokeellisuuden avulla erityisesti nuoremmat oppilaat oppivat käden taitoja. Kokeellisuuteen liittyy usein myös yhdessä tekeminen, joten sen kautta oppilaat oppivat yhteistyö- ja ryhmätyöskentelytaitoja. Monipuoliset työtavat ja kokeellisuus yhtenä niiden joukossa auttavat oppilaita omaksumaan kemian tietojen lisäksi monia muita hyödyllisiä taitoja ja heidän persoonansa saa kehittyä opetussuunnitelmien yleisten tavoitteiden mukaisesti.

Molemmassa opetussuunnitelman perusteissa (2003, 2004) arvioinnin kohdalla kokeellisuus tulee myös esiin. Oppilaan tulee kemiassa oppia tutkimaan aineita ja niiden ominaisuuksia kokeellisuuden avulla. Tärkeää on myös turvallisten työtapojen oppiminen. Kokeellisuutta ei tehdä pelkästään kokeellisuuden vuoksi, vaan oppilaan on opittava toimimaan niin itsenäisesti kuin ryhmässä ohjeiden mukaan, sekä oppia tulkitsemaan ja selittämään kokeidensa tuloksia.

4.2 Kokeellisen kemianopetuksen hyödyt ja haasteet

Kokeellisuus on yleinen ja vaalittu kemian opetuksen sisältö ja opetuksen menetelmä. Kokeellinen opetus koetaan tärkeänä kemian opetuksen kannalta, ja sitä on tutkittu paljon eri näkökulmista. Kokeellisuudella koetaan olevan selkeitä hyötyjä, joilla se ehdottomasti puolustaa paikkaansa kemian opetuksessa. Näiden hyötyjen saavuttamisessa on kuitenkin myös eräitä haasteita.

Kokeellisella kemianopetuksella pystytään kehittämään monenlaisia taitoja oppilaassa. Varsinkin nuorempien oppilaiden motoriset taidot kehittyvät erilaisia kemian välineitä käytettäessä (Opetushallitus, 2004). Koululuokassa kokeelliset työt toteutetaan usein pareittain tai pienissä ryhmissä. Tällöin oppilaiden sosiaaliset vuorovaikutuksen taidot pääsevät kehittymään ja kokeellisuuden tavoitteena voi olla myös oppilaan persoonallisuuden monipuolinen kehittäminen (Lavonen & Meisalo, 2001). Haasteena voidaan kuitenkin pitää sitä, että perinteisissä reseptimäisissä työohjeissa vaaditaan yleensä oppilaan omaa ajattelua hyvin vähän. Toisaalta esimerkiksi tutkimuksellisella lähestymistavalla (Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013) voidaan aktivoida oppilaan omaa ajattelua, ja oppilas käyttää työskennellessään korkeamman ajattelutason taitoja (Anderson & Krathwohl, 2001).

Kokeellisuudesta tehtyjen tutkimusten perusteella on mahdollista väittää, että hyvin suunniteltu ja järjestetty kokeellisuuteen pohjautuva kemian opetus edistää oppilaiden mielekästä oppimista, käsitteiden oppimista sekä ymmärrystä luonnontieteiden luonteesta (Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013). Monipuolisella kokeellisella työskentelyllä ja oppilaiden asenteella luonnontieteitä kohtaan on havaittu olevan yhteys. Oppilaat myös pitävät kokeellisesta työskentelystä, sillä se koetaan mukavana vaihteluna perinteisemmille opetusmenetelmille. Toisaalta voidaan esittää kritiikkiä siitä, että oppilaat haluaisivat päästä helpolla eli pitävät mieluisampana vaihtoehtona kokeellisuutta kuin esimerkiksi muistiinpanojen kirjoittamista. Lisäksi tutkimuksissa ei ole pystytty esittämään selkeää tulosta siitä, että kokeellisuus todella auttaisi oppimaan paremmin kemiaa.

Kokeellisuudella voi olla siis monenlaisia hyötyjä ja tavoitteita. Kokeellisuuden hyödyt saattavat olla merkittävämpiä, mikäli opettaja pyrkii kokeellisella työllä vain muutamiin selkeisiin tavoitteisiin. Kokeellisen työn tarkoituksena voi olla esimerkiksi vain tutustuttaa oppilaat tiettyyn menetelmään tai laitteistoon. Kun laitteiston käyttö on oppilaille jo tuttu, voidaan kokeellisen työskentelyn toteutus jättää avoimemmaksi, jolloin tavoitteena on oppilaiden ajatteluntaitojen kehittäminen tai tietyn kemian käsitteen opettaminen. (Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013)

Opettajan on tärkeä myös suunnitella kokeellinen työ hyvin, oli sitten kyseessä opettajan itsensä tekemä demonstraatio tai oppilaiden toteuttama tutkimus. Kokeellisessa opetuksessa on vaarana, että se jää irralliseksi osaksi opetusta, vaikka sen avulla opettaja pyrkisikin opettamaan kemian käsitteitä tai teoriaa. Oppilasta on kokeellisen työskentelyn jokaisessa vaiheessa ohjattava aktiiviseen tiedon käsittelyyn. Lisäksi kokeellisia töitä suunniteltaessa on otettava huomioon se, että havainnot on helppo tehdä. Kokeessa ei saisi olla kovin montaa eri ilmiötä päällekkäin, jotta oppilaan huomio saadaan kiinnittymään tärkeisiin asioihin. (Lavonen & Meisalo, 2001)

Kokeellisuutta kohtaan esitetty kritiikki liittyy usein siihen, oppivatko oppilaat kokeellisesta työskentelystä sitä, mitä opettaja on tarkoittanut heidän oppivan. Tutkimusten mukaan on selvää, että oppilaalle on haasteellista siirtyä havainnoista teoriaan tai hyödyntää aiemmin oppimaansa havaintojen selittämisessä. Opettaja saattaa helposti kuvitella, että kokeellisessa työssä tehdyistä havainnoista oppilaat itsekseen keksivät selitykset ja muotoilevat kemian teorioita tai käsitteitä. (Abrahams & Millar, 2008)

Kokeellisessa opetuksessa pitäisikin ilmiön havainnoimisen lisäksi keskittyä ilmiöiden selittämiseen. Kokeellisen työskentelyn ei pitäisi loppua siihen, kun haluttu ilmiö on havaittu. Kemian teoria pitäisi olla lähtökohtaisesti mukana koko työskentelyn ajan. Usein teoria tai käsite esitellään vasta sitten, kun se on testattu ja havaittu kokeellisesti. Oppilaan oppimista kuitenkin helpottaisi, jos hän tietäisi etukäteen, mitä hänen pitäisi havainnoida. Tällä tavoin oppilasta voidaan tukea muodostamaan linkkejä havaintojen ja ideoiden välille. (Abrahams & Millar, 2008) Näin saavutettaisiin opettajan asettamat tavoitteet ja estettäisiin kokeellisen opetuksen irrallisuus muusta opetuksesta (Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013).

Myös kouluelämän todellisuus, jossa opettajat opettavat, asettaa haasteita kokeellisuudelle. Akselan ja Juvosen (1999) suomalaisille opettajille teettämän kyselyn perusteella on monia syitä, joiden vuoksi kokeellisuutta ei voida aina toteuttaa. Opetusryhmät ovat suuria, jolloin opettajan on vaikea valvoa koko ryhmän työskentelyä, joten ahtaissa tiloissa turvallinen työskentely on uhattuna. Suurille ryhmille ei välttämättä riitä välineitä eikä kemikaaleja. Kokeellisuus vie yleensä pidemmän ajan kuin perinteinen opetus, joten monet opettajat kokevat, ettei kokeellisuudelle vain ole aikaa kemiankursseilla. Osa opettajista mainitsi myös, ettei sopivia töitä ole tai oppilaat eivät oikeasti opi niistä.

Lavonen ja Meisalo (2001) nostavat yhdeksi kokeellisuuden haasteeksi myös sen arvioimisen. Opetussuunnitelmissa (2003, 2004) kokeellisuuden arviointi on yksi osa-alue oppilaan arvioinnissa. Yleensä opetuksessa keskitytään summatiiviseen arviointiin, jolloin oppilaan taitojen kehittymistä ei välttämättä huomioida. Lisäksi, jos kokeelliset työohjeet ovat reseptimäisiä, eikä niissä vaadita oppilaan omaa ajattelua, niin miten tässä tilanteessa tulisi arvioida oppilaan taitoja esimerkiksi käsitellä saamiaan tuloksia?

4.3 Kokeellisuus ja kiinnostus kemiaa kohtaan

Tutkimuksissa on löydetty yhteys kiinnostuksen ja oppilaan oppimisen välillä. Oppilaan kiinnostuksella on yhteys esimerkiksi oppilaan tavoitteisiin sekä oppimisen tasoon. Opettaja saattaa kuitenkin kokea kiinnostuksen herättämisen vaikeaksi tai jopa mahdottomaksi: oppilas joko on tai ei ole kiinnostunut aiheesta. (Hidi & Renninger, 2006)

4.3.1 Kiinnostuksen herättäminen ja ylläpito

Kiinnostus määritellään psykologiseksi tilaksi, jossa ihmisellä on alttius sitoutua tai ajan kuluessa sitoutua uudelleen tiettyyn asiaan tai aihepiiriin (Hidi & Renninger, 2006). Kiinnostus syntyy ihmisen ja tietyn sisällön vuorovaikutuksesta, ja siinä on mukana sekä

positiivisia tunteita että myös tiedollinen puoli. Ympäristöllä, esimerkiksi muilla ihmisillä ja asiasisällöllä, on vaikutusta ihmisen kiinnostuksen kohdentamiseen ja herättämiseen. Ihmisen omat pyrkimykset ja itsesäätelyn taidot tukevat myös kiinnostuksen kehittymistä. Kiinnostus jaetaan usein tilannekohtaiseen ja henkilökohtaiseen kiinnostukseen.

Hidi ja Renninger (2006) ovat muodostaneet tutkimustiedon pohjalta kiinnostuksen heräämisen ja kehittymisen nelivaiheisen mallin: laukaistu tilannekohtainen kiinnostus, ylläpidetty tilannekohtainen kiinnostus, kehittyvä henkilökohtainen kiinnostus ja hyvin kehittynyt henkilökohtainen kiinnostus.

Kun kiinnostus herää, on kyse laukaistusta tilannekohtaisesta kiinnostuksesta ja se on ympäristöstä johtuvaa. Jokin opiskeltavassa asiassa herättää mielenkiinnon. Joko opiskeltava asia on yllätyksellistä tai tiedolla on henkilökohtaista merkittävyyttä oppilaalle. Tilannekohtaista kiinnostusta tuottavat esimerkiksi ryhmä- tai tietokonetyöskentely, eli siis jokin perinteisestä opetuksesta poikkeava menetelmä. Tällainen kiinnostus on usein ohimenevää, ellei ympäristö tue ja ylläpidä sitä. Laukaistu tilannekohtainen kiinnostus voi kuitenkin toimia syvempien kiinnostuksen muotojen esiasteena. (Hidi & Renninger, 2006)

Hidin ja Renningerin (2006) mukaan tilannekohtainen kiinnostus voi syventyä, mikäli oppilaat kokevat tekemänsä tehtävät mielekkäiksi tai aiheella on jotain tekemistä oppilaan oman elämän kanssa. Oppimisympäristöllä on tässäkin kiinnostuksen vaiheessa merkittävä rooli, sillä se vaikuttaa suurimmalta osin oppilaan kiinnostuksen säilymiseen. Ylläpidettyä tilannekohtaista kiinnostusta voidaan tukea sellaisilla opetusmenetelmillä, jotka ovat mielekkäitä ja vaativat oppilaiden syvempää osallistuvuutta, kuten esimerkiksi projektimaisella työskentelyllä tai yhteistoiminnallisella oppimisella. Ylläpidetty tilannekohtainen kiinnostus voi johtaa henkilökohtaiseen kiinnostukseen tai loppua kokonaan, kun esimerkiksi kouluprojekti on ohitse.

Kehittyvä henkilökohtainen kiinnostus syntyy, kun henkilö kokee positiivisia tunteita aihetta kohtaan, hänellä on tietoa aiheesta ja hän näkee aiheen arvon itselleen riittävän merkittävänä. Oppilas saattaa haluta itse tutkia aihetta tai hän on utelias sen suhteen. Oppilas saattaa myös kokea, ettei joudu näkemään juuri ollenkaan vaivaa vaativan tehtävän suorittamiseen, jos hän on henkilökohtaisella tasolla kiinnostunut siitä. Kehittyvä henkilökohtainen kiinnostus voi lopulta johtaa hyvin kehittyneeseen henkilökohtaiseen kiinnostukseen. (Hidi & Renninger, 2006)

Hyvin kehittyneessä henkilökohtaisessa kiinnostuksessa oppilas kokee voimakkaampia positiivisia tunteita aiheesta, tuntee aiheen paremmin ja arvostaa aihetta vielä enemmän kuin kehittyvässä henkilökohtaisen kiinnostuksen vaiheessa. Oppilas haluaa syventää tietoa aiheesta ja paneutua siihen yhä uudestaan. Hän voi myös nähdä paljon vaivaa aiheen eteen, mutta ei koe tehtävää vaivalloiseksi. Vaikka henkilökohtaisen kiinnostuksen ylläpito on usein sisäsyntyistä, se voi silti hyötyä ulkoisesta tuesta. Erilaiset mallit tai ajattelutavat saattavat auttaa oppilasta ymmärtämään vielä enemmän aiheesta.

Edellä kuvattuja kiinnostuksen kehittymisen vaiheita voi ajatella peräkkäisinä. Hidi ja Renninger (2006) kuitenkin muistuttavat, että oppilaan kiinnostus ei automaattisesti kehity kuvatulla tavalla. Kiinnostusta ylläpitävät menetelmät eli mielekkäät tehtävät ja henkilökohtainen osallistuminen vaikuttavat pidemmälle kuin kiinnostusta herättävät, yllätykselliset lyhytaikaiset tapahtumat oppitunneilla.

4.3.2 Oppilaiden kiinnostus kemiaa kohtaan

OECD-maiden oppilaat ovat kiinnostuneita luonnontieteiden opiskelusta ja osaavat arvostaa luonnontieteitä, mutta eivät koe tarvitsevansa niitä tulevaisuudessa (OECD, 2007). Suomessa oppilaat myös arvostavat luonnontieteitä ja ymmärtävät, että niitä tarvitaan, mutta harvat ilmoittavat haluavansa jatkaa luonnontieteiden opiskelua tulevaisuudessa (Lavonen & Laaksonen, 2009).

Edellä mainituissa tutkimuksissa ei ole tutkittu, onko kyseessä tilannekohtainen ja henkilökohtainen kiinnostus, mutta vaikuttaisi siltä, että oppilaiden kiinnostus esimerkiksi kemiaa kohtaan on tilannekohtainen. Luonnontieteitä on tärkeä opiskella, mutta koulun ulkopuolella oppilaat eivät tee siihen liittyviä aktiviteettejä (Lavonen & Laaksonen, 2009).

Kasvavana ilmiönä Suomessakin on se, että oppilaat eivät valitse luonnontieteiden opiskelua pakollisten kurssien jälkeen, koska he eivät ole kiinnostuneita alasta (Lavonen, Juuti, Meisalo, Uitto & Byman, 2005). Erilaisista luonnontieteeseen liittyvistä aihealueista heitä kiinnostaa eniten lääketieteen ja tähtitieteen ilmiöt. Vuoden 2006 PISA-tutkimuksessa ilmeni samankaltainen tulos: oppilaat ovat kiinnostuneita ihmisen biologiasta, mutta eivät niin kiinnostuneita esimerkiksi kemiasta (Lavonen & Laaksonen, 2009).

Tutkimuksissa on havaittu jonkin verran eroja kiinnostuksen kohteissa sukupuolten välillä. Terveystieto, lääketiede ja ihmisen biologia ovat niitä aihealueita, joista tytöt ovat kiinnostuneita, mutta pojat eivät. Poikia jonkin verran kiinnostavia kohteita ovat fysiikka ja teknologia, kun taas tytöt eivät niistä ole kiinnostuneita. Molempia sukupuolia samalla tavalla kiinnostavia aihealueita ovat tiede ja sen luonne, ympäristötieto ja tähtitiede. (Lavonen, Juuti, Meisalo, Uitto & Byman, 2005)

4.3.3 Oppilaiden kiinnostus ja kokeellinen kemia

Hofsteinin (2004) mukaan kemianluokka on uniikki oppimisympäristö, jossa hyvin suunnitellut kokeelliset työt voivat suuresti vaikuttaa oppilaiden positiivisten asenteiden lisääntymiseen. Tutkimuksissa on osoitettu, että mikäli oppilaat ovat henkilökohtaisesti osallisina (tutkimuksellisuus, yhteistoiminallisuus) kokeellisessa työskentelyssä, vaikuttaa se eniten heidän asenteisiinsa kemiaa kohtaan. Vertailuopetusmenetelminä tutkimuksessa olivat esimerkiksi opettajan demonstraatiot, videot, luokkahuonekeskustelut sekä opettajan luennointi. Tämä tutkimustulos on yhteneväinen Hidin ja Renningerin (2006) kiinnostuksen kehittymisen mallin kanssa: mitä enemmän oppilas saa itse tehdä ja olla osallisena, hänen kiinnostuksensa on mahdollista kehittyä.

Suomalaiset peruskoululaiset kokevat, että kokeellisuutta on kemian ja fysiikan oppitunneilla riittävästi, he haluaisivat sitä vain hieman lisää nykytilanteeseen verrattuna. (Lavonen, Juuti, Meisalo, Uitto & Byman, 2005). On muistettava, että monipuoliset ja vaihtelevat työtavat yleensä kiinnostavat oppilaita eniten. Pelkällä kokeellisuuden käytöllä ei saada oppilaita kiinnostumaan kemiasta enempää.

4.4 Tutkimuksellisuus kemianopetuksessa

Tutkimuksellinen lähestymistapa kemian kokeellisessa opetuksessa antaa oppilaille mahdollisuuden kehittää ymmärrystä tieteellisestä tiedosta ja sen hankkimisesta. Tutkimuksellisella kemian opetuksella tarkoitetaan sellaisia opetus- ja oppimistilanteita, joissa oppilaat saavat muodostaa ongelmia ja kysymyksiä, määritellä muuttujia ja suunnitella niiden kontrollointia, muodostaa hypoteeseja, suunnitella koejärjestelyitä, kerätä tietoa mittaamalla ja havainnoimalla ja lopulta tehdä johtopäätöksiä hankkimansa tiedon pohjalta. (Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013)

Tutkimuksellinen kokeellinen työ poikkeaa perinteisestä kokeellisuudesta siinä, että työohje voi olla hyvinkin avoin. Oppilaille voidaan antaa vain jokin ongelma tai ilmiö, johon heidän tulee tutustua. Opettajan rooli on myös erilainen. Sen sijaan, että oppilaat

yrittäisivät reseptimäisen työohjeen perusteella toistaa ja vahvistaa sen, mitä opettaja on opettanut, opettaja toimii enemmän ohjaajan ja tukijan roolissa. Opettajan tulee ohjata oppilaita kyselemään kysymyksiä, herättää oppilaita ajattelemaan ja joskus myös ohjata oikeaan suuntaan, mikäli esimerkiksi tutkimus uhkaa muuttua vaaralliseksi. Tutkimukselliseen työskentelyyn kuuluu myös yleensä enemmän aikaa kuin perinteiseen kokeellisuuteen.

Tutkimuksellisella kokeellisuudella on mahdollista saavuttaa joitain hyötyjä perinteiseen kokeellisuuteen verrattuna. Oppilaat ovat aktiivisina toimijoina tutkimuksellisessa työskentelyssä ja he käyttävät korkeamman ajattelutason (Anderson & Krathwohl, 2001) taitoja. Myös heidän kiinnostuksensa arvioidaan heräävän ja pysyvän yllä, sillä he ovat henkilökohtaisesti mukana koko prosessissa. Tutkimuksellisen työskentelyn koetaan opettavan paremmin luonnontieteiden luonteesta kuin reseptimäisen kokeellisen työn suorittamisen. Oppilaat pääsevät tutkimuksellisessa työskentelyssä keskustelemaan toistensa kanssa tieteen kielellä, jolloin heidän sosiaaliset taitonsa kehittyvät kemian taitojen ohella.

Tutkimuksellinen lähestymistapa kokeellisessa kemian opetuksessa vastaa hyvin tämänhetkiseen Opetushallituksen lukion opetussuunnitelman perusteiden (2003) tavoitteisiin. Opetussuunnitelman perusteissa todetaan esimerkiksi, että kemian opetuksen kautta oppilaan tulisi oppia etsimään tietoa kokeellisen työskentelyn avulla, oppia suunnittelemaan kokeita sekä oppia tulkitsemaan ja arvioimaan hankkimaansa tietoa. Perinteinen reseptimäinen työskentely ei välttämättä johda oppilasta oppimaan edellä mainittuja taitoja. Oppilaan tulee olla aktiivisena toimijana, jotta hän todella oppii tutkimuksellisia periaatteita. Tähän tutkimuksellisesta kokeellisuudesta voi olla paljon apua.

Wolf ja Fraser (2008) toteuttivat tutkimuksen, jossa he vertailivat tutkimuksellisia kokeellisia töitä tekeviä ryhmiä ryhmiin, joissa ei tehty tutkimuksellisia töitä. Tutkimuksessa havaittiin, että tutkimuksellista lähestymistapaa noudattavien oppilaiden oli alussa hankala muodostaa tutkimusasetelma, jossa he olisivat kontrolloineet riittävän hyvin eri muuttujia. Ajan kuluessa oppilaat kuitenkin harjaantuivat tutkimuksellisuudessa ja tarvitsivat vähemmän kannustusta opettajiltaan. Tutkimuksellisessa ryhmässä oppilaiden keskustelut olivat syvällisempiä tieteelliseltä kannalta kuin ryhmässä, jossa tutkimuksellisuutta ei toteutettu.

Wolf ja Fraser (2008) havaitsivat myös mielenkiintoisen eron sukupuolten välillä. Pojat vaikuttivat tutkimuksen perusteella hyötyvän enemmän tutkimuksellisuudesta kuin tytöt. Tytöt saattoivat kokea epävarmuutta tutkimuksellisia töitä tehdessään. He olisivat halunneet varmistua siitä, että tekevät koetta oikein. Tämä vaikutti negatiivisesti tyttöjen asenteisiin tutkimuksellisessa ryhmässä. Poikien asenteet taas olivat positiivisempia tutkimuksellisessa ryhmässä verrattuna perinteisiä kokeellisia töitä tekevien ryhmien poikiin. Kyseinen tutkimus on tehty kuitenkin suhteellisen pienellä otoskoollla (165 oppilasta). Aiheesta tarvittaisiin jatkotutkimuksia, jotta voitaisiin tarkemmin kuvailla mahdollisia sukupuolten välisiä eroja. (Wolf ja Fraser, 2008)

Tutkimuksellisuutta, samoin kuin muita konstruktivismin pohjalle rakentavia opetusmenetelmiä on kuitenkin myös kritisoitu. Kirschnerin, Swellerin ja Clarkin (2006) käsityksen mukaan ihminen ei opi sillä vähäisellä ohjauksella, jota esiintyy esimerkiksi tutkivassa oppimisessa ja ongelmalähtöisessä oppimisessa. Vaikka tutkiva oppiminen eroaakin hieman tutkimuksellisesta oppimisesta, on opettajan kenties hyvä muistaa, että hänen tulee silti olla mukana oppilaiden tutkimuksellisessa työskentelyssä. Hänen tulee herätellä oppilaiden ajattelua sekä aiempia kokemuksia ja tietoja esimerkiksi sopivilla kysymyksillä.

4.5 Kontekstuaalisuus kemianopetuksessa

Kontekstuaalinen lähestymistapa luonnontieteiden opetuksessa on ollut yksi tutkijoiden mielenkiinnon kohteista viime vuosikymmeninä. Huoli siitä, ettei kemia tai kemian opiskelu kiinnosta riittävästi oppilaita, on kiinnittänyt huomion kontekstuaalisen lähestymistavan käyttöön opetuksessa. (Gilbert, 2006; Bennett, Lubben & Hogarth, 2007)

Kontekstuaalisuudelle ei ole pelkästään yhtä määritelmää. Kontekstuaalisina lähestymistapoina voidaan pitää esimerkiksi sellaisia menetelmiä, joissa konteksti ja sovellukset toimivat lähtökohtana tieteellisten ajatusten ja pohdintojen muodostamiselle (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007). Gilbert (2006) on muodostanut artikkelissaan kontekstuaalisuudelle neljä erilaista mallia, joissa kontekstin käyttötarkoitus ja laajuus vaihtelevat:

- i) konteksti opeteltavan käsitteen suorana sovelluksena (hapot ja emäkset - Mitä kotikemikaalia voisit käyttää ampiaisen piston hoitoon, kun myrky on happo?)

- ii) konteksti, joka kuvaa käsitteiden ja sovellusten vuorovaikutussuhdetta (tieteen ja yhteiskunnan välinen vuorovaikutus)
- iii) konteksti henkilötason tarinoina (Mendelejev ja alkuaineiden ominaisuuksien jaksollisuuden havaitseminen)
- iv) konteksti, joka ottaa sosiaaliset olosuhteet huomioon (geenimuuntelu - tieteellisten faktojen lisäksi keskustelua geenimuuntelun hyödyistä ja haitoista arjessa, yhteiskunnassa jne.)

Kontekstuaalista lähestymistapaa käytetään opetuksessa, koska sen tiedetään motivoivan oppilaita (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007). Kun kemian käsitteet ja teoriat opetetaan oppilaille merkityksellisestä kontekstista käsin, niin oppilas alkaa suhtautua positiivisemmin oppiainetta kohtaan. Samalla oppilas havaitsee kemian opiskelun tärkeyden. Oppilaiden motivoitumisen ja kemiasta kiinnostumisen toivotaan olevan pysyvä muutos, jotta oppilas jatkaisi kemian opiskelua pakollisten kurssien jälkeenkin.

Mikäli oppilaat kiinnostuvat kemiasta ja ovat motivoituneita sen opiskelua kohtaan, pidetään todennäköisenä, että sen opiskelukin helpottuu. Oppilaiden kiinnostus ylläpitää aktiivisuutta tunneilla, jolloin kemian käsitteiden ja teorioiden oppiminen sujuu helpommin. Toisaalta käsitteiden oppiminen on yksi kontekstuaalisuuden haasteista. Monipuolisen kontekstin puitteissa tarvittavia kemian tietoja ei välttämättä käydä kunnollisesti läpi. Kemian sisältötieto voikin jäädä epäolennaisen lisätiedon asemaan sen sijaan, että se olisi yksi tärkeimmistä oppimistavoitteista. (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007)

5. Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on tutkimusmenetelmä, joka lähtee liikkeelle tarpeesta tai mahdollisuudesta, ja jonka lopputuloksena syntyy testattu ja arvioitu kehittämistuotos (Edelson, 2002). Opetuksen tutkimuksessa kehittämistutkimus on hyödyllinen menetelmä, sillä siinä yhdistyvät tutkimus ja konkreettinen teoria tai tuotos, joka on sovellettavissa suoraan opetukseen. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kehittää lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyviä kokeellisia töitä lukion kemian opetukseen.

5.1 Tutkimuskysymykset

Tämä kehittämistutkimus pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten lääkeaineiden ja rohdosten kemiaa opetetaan lukiossa?

1.1 Millaisissa yhteyksissä lääkeaineet ja rohdokset esiintyvät oppikirjoissa?

1.2 Millaisia kokeellisia töitä lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvät oppikirjoissa?

2. Millaisilla kokeellisilla töillä voidaan tukea mielekästä lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvää kemian opetusta?

5.2 Kehittämistutkimuksen toteutus

Kaikille kehittämistutkimuksille on yhteistä syklisyys ja iteratiivisuus. Tutkimus lähtee liikkeelle ongelmasta, tarpeesta tai mahdollisuudesta, johon teoreettisen viitekehyksen avulla pyritään tuottamaan toimivaa ratkaisua eli kehittämistuotosta. Tuotosta yleensä testataan ja arvioidaan kehittämisprosessin aikana, jolloin pyritään tuottamaan mahdollisimman toimivaa ja yleistettävissä olevaa ratkaisua. (Edelson, 2002)

Kehittämistutkimuksen erottaa muista luovista kehittämisprosesseista se, että sitä ohjaa vahvasti tutkimuksellisuus, tutkimus raportoidaan kokonaisuudessaan, kehittämistuotosta arvioidaan ja tulos on yleistettävissä. Edelson (2002) kuvailee kehittämistutkimuksen eri vaiheiden vaihtelevan hieman tutkimuksen luonteesta ja vallitsevasta perinteestä riippuen. Kuitenkin tärkeiksi kehittämistutkimuksen piirteiksi on mahdollista esittää seuraavat kohdat:

- 1) Teoreettinen ongelma-analyysi
- 2) Ensimmäinen (empiirinen) ongelma-analyysi (nk. tarveanalyysi)
- 3) Ensimmäinen kehittämistuotos
- 4) Toinen (empiirinen) ongelma-analyysi

5) Toinen (paranneltu) kehittämistuotos

Edellä olevat kohdat ovat kuitenkin vain tiivistetty esitys kehittämistutkimuksesta. Syklejä voi olla useampikin resurssien niin salliessa.

Tässä tutkimuksessa toteutetaan osittainen yksisyklinen kehittämistutkimus.

- 1) Teoreettinen ongelma-analyysi
- 2) Empiirinen ongelma-analyysi
- 3) Kehittämisvaihe
- 4) Raportointi

Tässä tutkimuksessa teoreettinen ongelma-analyysi on kemian kokeellisuuteen liittyvään aiempaan tutkimustietoon perehtyminen. Empiirinen ongelma-analyysi eli tarveanalyysi toteutetaan lukion kemian oppikirjojen aineistolähtöisenä sisällönanalyysinä. Kehittämisvaiheessa kehitetään kokeellisia töitä ja niihin työohjeet. Tämä pro gradu - tutkielma toimii koko tutkimuksen raportointina.

Tutkimuksen luotettavuuden kannalta on olennaista tiedostaa, että tässä kehittämistutkimuksessa ei ole tuotoksen arviointia lainkaan. Lisäksi tarveanalyysinä toteutettu oppikirja-analyysissä luokittelut on tehty yhteen kertaan. Tutkimuksen luotettavuus paranisi, mikäli luokittelu toistettaisiin ja verrattaisiin alkuperäiseen luokitteluun erojen ja samankaltaisuuksien havaitsemiseksi.

5.3 Tarveanalyysi

5.3.1 Yleisesti sisällönanalyysistä

Sisällönanalyysi on yksi perustutkimusmenetelmistä, joita voidaan käyttää laadullisessa tutkimuksessa. Sisällönanalyysille ei ole yhtä yksiselitteistä määritelmää, koska sillä voidaan tarkoittaa sekä laadullisen tutkimuksen yhtä metodologiaa että laajempaa teoreettista viitekehystä. (Tuomi & Sarajärvi, 2009) Tässä kehittämistutkimuksessa sisällönanalyysia on käytetty tarveanalyysin metodina, joten tässä keskitytään kuvaamaan sen käyttöä analyysin apuvälineenä.

Tuomen ja Sarajärven (2009) mukaan sisällönanalyysi on keino, jolla erilaisia dokumentteja voidaan tarkastella systemaattisesti ja objektiivisesti. Analyysimenetelmää voidaan soveltaa hyvin erilaisiin kirjallisiin dokumentteihin esimerkiksi kirjoihin, artikkeleihin ja haastatteluihin. Sisällönanalyysin etuna voidaan pitää sitä, että sen avulla saadaan tutkittavasta ilmiöstä tiivistetty kuvaus.

Sisällönanalyysi ei suoraan anna johtopäätöksiä, vaan järjestetty aineisto on vielä tulkittava. Ensin siis hajanainen aineisto saatetaan tiiviiseen ja informatiivisempaan muotoon, jonka jälkeen siitä on helpompi tehdä luotettavia johtopäätöksiä. Tätä voidaan pitää myös sisällönanalyysin yhtenä heikkoutena, sillä vaarana on, että keskitytään liiaksi aineiston järjestelyyn ja saatu aineisto esitetään ikään kuin tuloksina. (Tuomi & Sarajärvi, 2009)

5.3.2 Tarveanalyysin suorittaminen

Tässä kehittämistutkimuksessa empiirinen ongelma-analyysi eli tarveanalyysi suoritettiin lukion kemian oppikirjojen aineistolähtöisenä sisällönanalyysina. Aineistolähtöistä sisällönanalyysiä voidaan summittaisesti kuvata kolmivaiheisena prosessina, johon kuuluu aineiston redusointi, klusterointi ja abstrahointi (Tuomi & Sarajärvi, 2009).

Aineiston redusoinnissa eli pelkistämässä aineistoa tiivistetään siten, että vain tutkimuksen kannalta olennainen aines säilyy. Tässä tutkimuksessa aineiston pelkistäminen tehtiin siten, että kemian oppikirjoista poimittiin kaikki ne tekstiosiot, joissa mainitaan yleisesti lääkkeitä tai jokin tietty lääkeaine tai rohdos. Mukaan on otettu myös ne kuvat ilman kuvatekstiä, joissa on selkeästi esillä jokin edellä mainituista. Analyysissä ei ole huomioitu ilmaisuja, joissa mainitaan jokin lääkinnällisesti käytetty aine, mutta ei ole todettu, että kyseessä on lääke, lääkeaine tai rohdos. Ylipäätään, mikäli yhteys maininnan ja lääkkeiden välillä ei ole mahdollisimman selvä, on maininta jätetty tutkimuksen ulkopuolelle. Pelkistetty aineisto koodattiin taulukkoon (Liite 1, CD:llä).

Aineiston klusteroinnissa eli ryhmittelyssä edellä saatu aineisto käytiin uudelleen läpi yhtäläisyyksien ja eroavaisuuksien löytämiseksi. Samankaltaiset alkuperäisilmaukset luokiteltiin erilaisiin ala- ja pääluokkiin. Tässä tutkimuksessa pelkistettyä aineistoa eli alkuperäisilmaukset on luokiteltu seuraaviin eri pääluokkiin (Liitteet 2-5):

- i) Paikka oppikirjoissa (esim. leipäteksti, lisätieto, tehtävä jne.) (ks. 6.1.1) (Liite 2.)
- ii) Kontekstin luonne (ks. 6.1.2) (Liite 3.)

- iii) Kemian aihe, jonka yhteydessä ilmaus on (ks. 6.1.3) (Liite 4.)
- iv) Tietyt lääkkeet ja lääkeaineet oppikirjoissa sekä yleisesti aiheesta (ks. 6.1.4) (Liite 5.)
- v) Kokeelliset työt (ks. 6.1.5)

Aineiston abstrahointi voidaan tässä tutkimuksessa lukea klusteroinnin yhdeksi osaksi. Yleisesti abstrahoinnissa aineistosta saatuja luokitteluja voidaan yhdistää tai aineistosta voidaan muodostaa teoreettisia käsitteitä. Abstrahointi tuottaa yleiskuvauksen tutkittavasta ilmiöstä (Tuomi & Sarajärvi, 2009).

Sisällönanalyysillä tuotettu aineisto voidaan vielä kvantifioida, jolloin kvalitatiivista aineistoa voidaan käsitellä kvantitatiivisesti. Kvantifioinnissa luokitellusta aineistosta lasketaan esimerkiksi miten monta kertaa jokin tietty käsite siinä esiintyy. Joskus sisällönanalyysin aineisto on pieni, jolloin kvantifiointi ei anna lisäinformaatiota käsiteltävästä ilmiöstä. (Tuomi & Sarajärvi, 2009) Tämän tarveanalyysin aineisto on kuitenkin osittain kvantifioitu (Liitteet 2-5), koska sen koettiin antavan lisätietoa lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten opetuksesta.

5.4 Kokeellisten töiden ja työohjeiden kehittäminen

Tämän kehittämistutkimuksen tarkoituksena on suunnitella tutkimuksellisia kokeellisia töitä tukemaan mielekästä lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvää kemianopetusta lukiotasolle. Työohjeet on kehitetty yhteistyössä Helsingin yliopiston farmaseuttisen kemian osaston kanssa.

Kokeellisten töiden lähtökohtana on pidetty kehittämistutkimuksen tekijän kandidaatintyötä, jossa esiteltiin tarkemmin paria lääkeainetta sekä pihkaa rohdoskäytössä. Yhtenä tavoitteena on myös ollut kehittää kokeellinen työ, jossa tehtäisiin orgaanisen kemian synteysi. Muuten kokeellisten töiden kehittelyä on ohjannut se, mitkä resurssit tavallisessa lukiossa ovat käytössä ja että työt ovat riittävän turvallisia toteuttaa.

Työohjeiden kehittämisen taustalla on pidetty tässä pro gradu -työssä aiemmin esiteltyjä kokeelliseen kemian opetukseen liittyviä näkökulmia. Työohjeista on haluttu tehdä tutkimuksellisuuden periaatteiden mukaisia. Kontekstuaalisuus on työohjeissa luonnostaan vahvasti läsnä, sillä ne liittyvät lääkeaineisiin tai rohdoksiin. Kontekstin luonnetta ei ole etukäteen erikseen määritelty tai työohjetta kehitetty tietyn kontekstuaalisuuden mallin mukaan. Työohjeiden halutaan herättävän oppilaiden kiinnostuksen kemiaa ja kemian opiskelua kohtaan. Työohjeet ja niissä esiintyvät kemian aiheet ovat Lukion opetussuunnitelman perusteiden (2003) mukaisia.

6. Tulokset

6.1 Tarveanalyysi

Neljän eri kustantajan lukion kemian oppikirjasarjat (A-D, 5 kurssia, yhteensä 20 kirjaa, Liite 1.) luettiin ja analysoitiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä. Alkuperäisilmauksia ovat ne kirjojen virkkeet, kappaleet, tehtävät ja kuvat, joissa on maininta yleisesti lääkkeistä, tietystä lääkeaineesta tai rohdoksesta. Tässä esitellään ensin yleisiä tuloksia oppikirja-analyysistä ja sen jälkeen tarkemmin sisällönanalyysistä saatuja tuloksia.

Kaikissa kirjasarjoissa ja kaikissa lukion kursseissa oli mainintoja lääkkeistä, lääkeaineista ja rohdoksista (Taulukko 1.). Yhteensä mainintoja oli 145 ja keskimäärin yhdessä lukion kemian oppikirjassa on noin 7 mainintaa lääkkeisiin liittyen.

Taulukko 1. Alkuperäisilmaisut kirjasarjoittain ja kursseittain.

Kurssi	A-kirjasarja	B-kirjasarja	C-kirjasarja	D-kirjasarja	Yht./kurssi
KE1	11	18	19	10	58
KE2	3	12	8	11	34
KE3	5	4	3	15	27
KE4	4	4	1	4	13
KE5	4	1	1	7	13
Yht./sarja	27	39	32	47	

Jokaisen kirjasarjan KE1-kurssin kirjassa on runsaasti mainintoja verrattuna muihin kursseihin ja jopa eniten mainintoja (sarjat A-C). Painottuminen ensimmäiseen kirjaan ja kurssiin voi selittyä sillä, että KE1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia on ainut pakollinen kurssi lukion oppimäärässä. Ensimmäisen kurssin kirjaan verrattuna mainintojen lukumäärä laskee selvästi muissa kirjoissa. Poikkeuksen tekee D-kirjasarja, jossa mainintojen määrä saavuttaa huippunsa vasta KE3-kurssin kirjassa.

On kuitenkin huomioitava, että pelkkä alkuperäisilmaisujen lukumäärä ei anna riittävästi informaatiota lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten käsittelystä kyseisessä kirjasarjassa, sillä mukaan on laskettu niin yksittäiset virkkeet kuin pidemmät kappaleetkin. Esimerkiksi A-kirjasarjassa on vähiten mainintoja lukumääräisesti, mutta A-kirjasarja oli ainoa, jossa oli monisivuinen kappale, joka käsitteli lääkeaineita.

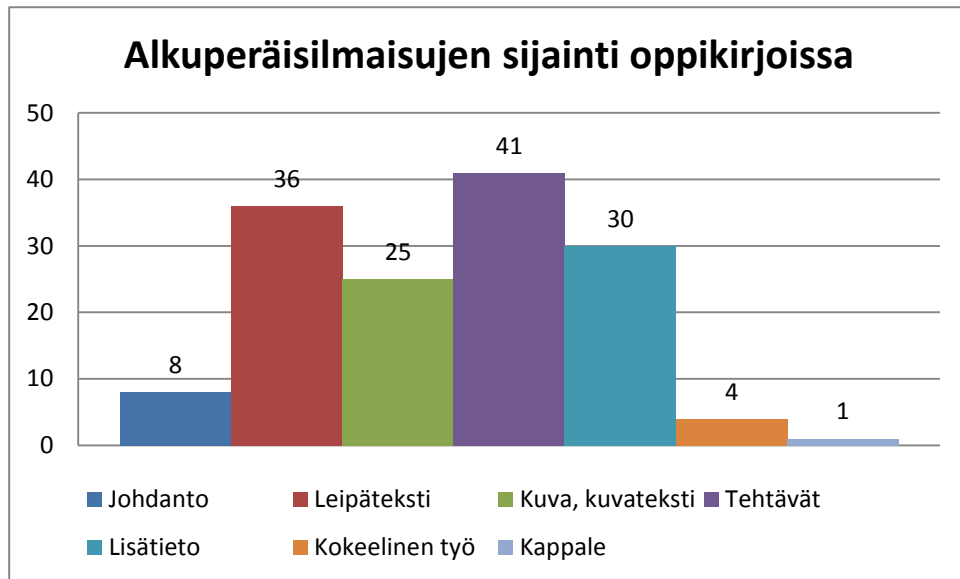
6.1.1 Alkuperäisilmaisujen paikka oppikirjoissa

Jotta saatiin tarkempaa tietoa siitä, miten lääkkeet, lääkeaineet ja rohdokset esiintyvät oppikirjoissa, tehtiin luokittelu sen mukaan, missä tekstin osassa maininta on. Alkuperäisilmaukset pystyttiin tekstissä olevan paikan mukaan jakamaan seitsemään eri alaluokkaan, joita ovat johdantoteksti, leipäteksti, kuva ja kuvateksti, lisätieto-teksti, tehtävä, kokeellinen työ sekä kokonainen kappale (Taulukko 2.) (Liite 2.).

Johdantoteksteiksi tässä tutkimuksessa on katsottu kappaleiden alussa olevat lyhyet johdannot, jotka ovat selkeästi erillisiä leipätekstistä. Oppikirjan alussa olleet kurssin aiheisiin johdattelevat kappaleet on katsottu kuuluvan leipätekstiin, mikäli ne ovat olleet ulkoasultaan samanlaisia kuin kirjan muutkin kappaleet. Mikäli ulkoasu on poikennut kirjan muiden kappaleiden tyylistä, on johdantotekstejä pidemmät johdantokappaleet merkitty lisätiedoksi. Lisätietoihin on huomioitu kaikki tavallisen oppikirjan kappaleen asettelusta poikkeavat tekstit sekä erilliset lisätietolaatikat.

Eniten mainintoja lääkkeistä, lääkeaineista ja rohdoksista löytyi tehtävistä (41 mainintaa) ja lähes yhtä paljon leipätekstistä (36 mainintaa). Kuvissa ja kuvateksteissä mainintoja oli 30 kappaletta. Kuvat olivat useimmiten leipätekstin tai tehtävien yhteydessä ja harvoin täysin itsenäisinä tekstistä. Erilaisissa lisätietoteksteissä lääkeaineisiin liittyviä mainintoja oli 30 kappaletta.

Taulukko 2. Alkuperäisilmaisujen sijainti oppikirjoissa.



Vähiten kirjoissa oli kokonaisia kappaleita lääkkeistä (1 maininta). Kappaleiden johdantoteksteissä oli vain 8 mainintaa ja kokeellisia töitä lääkeaineisiin liittyen löytyi vain 4 kappaletta. Johdantoteksteistä löytyvien mainintojen määrä voi selittyä kuitenkin sillä, että johdantotekstit ovat yleensä hyvin lyhyitä ja niitä esiintyy kirjoissa vähemmän verrattuna esimerkiksi tehtävien kokonaislukumäärään. Samoin kokeellisia töitä yhdessä oppikirjassa ei välttämättä ole muutamaa työtä enempää.

Mainintoja löytyy siis suhteellisen tasaisesti eri kohdista tekstiä. Tärkeä huomio on kuitenkin tehtävä siitä, millaisia maininnat ovat laajuudeltaan. Varsin monet leipätekstistä löytyvät maininnat ovat hyvin lyhyitä ja esimerkinomaisia:

”He (kemistit 1800-luvulla) koettivat eristää luonnosta lääke- ja väriaineita sekä muita käyttökelpoisia tuotteita.” (B1, s.14)

”Kuumetta ja kipua lievittävän tunnetun lääkeaineen asetyylilisäylihapon (tunnetaan valmistajan mukaan muun muassa kauppanimillä Aspirin, Disperin, Primaspan) rakenteessa on sekä happo- että esteriryhmä.” (C1, s.106)

Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta kuvien yhteydessä olevat kuvatekstit ovat myös lyhyitä ja yksinkertaisia:

”Porettabletit vaikuttavat nopeasti, koska lääkeaine nautitaan valmiiksi liuenneena.” (A1, s. 65)

Tehtäviin on luokiteltu sekä kappaleen lopussa oleva tehtävät että leipätekstin yhteydessä olevat esimerkkitehtävät ja -laskut. Tehtävissä on kerrottu vaihtelevasti lääkeaineista. Monesti lääkeaine on vain mainittu nimeltä ja kerrottu lyhyesti sen käyttötarkoituksesta:

”Masennusta potevaa potilasta hoidettiin litiumkarbonaatilla, Li_2CO_3 . Veren litiumpitoisuus ei saa koskaan kohota suuremmaksi kuin 1,5 mmol/l. Kun potilaan verta tutkittiin, oli siinä 1,4 milligrammaa litiumioneja 100 millilitrassa. Jouduttiinko lääkitys keskeyttämään?” (A1, s. 118)

Edellä oleva esimerkki osoittaa myös sen, että tehtävän luonne harvoin muuttuu, vaikka lääkeaineen paikalle vaihdettaisiin jokin muu yhdiste.

Erilaisissa lisätietolaatikoissa ja muissa vastaavissa lääkkeitä ja lääkeaineita kuvataan monipuolisimmin. Lisätiedossa annettu tieto liittyy jotenkin edellä olevan kappaleen sisältöön. Esimerkiksi stereoisomeriaa ja raseemisia seoksia käsittelevän kappaleen jälkeen lisätietolaatikossa kerrotaan talidomidista ja sen onnettomista seurauksista vuosikymmeniä sitten (B2 ja C2). Parit lisätietolaatikat ovat tavallaan irrallisia käsiteltävästä kemian kontekstista: ne käsittelevät lääkeaineiden parissa työskentelevien ihmisten työtä. Toisaalta ne on sijoitettu mahdollisimman luonnolliseen yhteyteen, esimerkiksi orgaanisten yhdisteiden käsittelyn yhteyteen (D1) tai stereoisomerian yhteyteen, jossa lääkeaineet ovat muutenkin jo tulleet esiin (C2).

Kokeelliset työt, joihin liittyy lääkkeet ja lääkeaineet käsitellään omassa alaluvussaan. Eräässä kirjassa ollut kokonainen kappale käsittelee lääkeaineiden ja lääkkeiden löytö- ja kehityshistoriaa. Esimerkkeinä käytettiin aspiriinia, penisilliiniä ja Parkinsonin taudin hoidossa käytettävää entakaponia, joka on kehitetty Suomessa. Kappaleessa kuvattiin myös hieman lääkeaineiden vaikutusmekanismeja.

6.1.2 Alkuperäisilmaisujen kontekstin luonne oppikirjoissa

Aineistossa olevat alkuperäisilmaukset luokiteltiin kontekstin luonteen perusteella Gilbertin (2006) jaottelun mukaan (Liite 3). Kontekstin neljä eri mallia Gilbertin mukaan ovat: kemian käsitteen suora sovellus, kemian käsitteen ja sovelluksen vuorovaikutus, konteksti henkilötason tarinoina ja konteksti, jossa otetaan huomioon sosiaaliset olosuhteet. Tällä menettelyllä pyrittiin saamaan tarkempi kuvaus siitä, kuinka lääkkeitä, lääkeaineita ja rohdoksia käytetään kemian oppikirjoissa.

Erilaisista konteksteista kemian käsitteen suora sovellus oli dominoiva kontekstin luonne oppikirjojen lääkkeitä, lääkeaineita ja rohdoksia käsittelevissä kohdissa. Tämän tutkimuksen yhteydessä lähes 90 % konteksteista luokiteltiin kemian käsitteen suoraksi sovellukseksi. Esimerkiksi ioni-dipolisidoksen käsittelyn yhteydessä maininta:

”Monet suurimolekyyliset lääkeaineet neutraloidaan suoloiksi, jotta ne liukenisivat paremmin veteen.” (D2, s. 96)

Kontekstin luonteen määrittelyssä huomiota herättävää oli se, että tieteen, teknologian ja yhteiskunnan välistä vuorovaikutusta tai sosiaalisia olosuhteita kyllä monesti sivuttiin, mutta niille ei kuitenkaan annettu riittävästi tilaa näkökulman laajentamisessa. Seuraavassa esimerkissä on esillä useiden eri kontekstien luonnetta.

”Nykytekniikalla seoksen optiset isomeerit pystytään erottamaan toisistaan. Tällä on merkitystä esimerkiksi lääketeollisuudessa, sillä usein toinen isomeeri on toista huomattavasti tehokkaampi - tai jopa myrkyllinen. Rauhoittavana lääkkeenä käytetty talidomidi aiheutti lääketieteellisen katastrofin 1960- ja 70-lukujen aikana. Lääkkeen käyttö ehti aiheuttaa runsaasti vastasyntyneiden raajaepämuodostumia ennen kuin sen vaikutusmekanismi tunnettiin. Katastrofin syy oli siinä, että talidomidimolekyylejä valmistaessa muodostui raseeminen seos ja vain toinen avaruusmuodoista toimi elimistölle vaarattomana rauhoittavana aineena.” (A2, s. 108)

Henkilötason tarinoitakin oli vähän. Kemistejä ja muita tutkijoita kyllä mainittiin monessa kohtaa nimeltä, mutta selvää oli, että useimmiten kyseessä ei ollut tarinamainen konteksti vaan lähinnä nippelitietoutta kemian ja lääkeaineiden historiasta.

Koska kemian käsitteen suora sovellus -luokasta tuli valtavan suuri, kontekstin luonteen määrittelyssä olisi voinut käyttää apuna myös Bennettin, Lubbenin ja Hogarthin (2007) määritelmää, jonka mukaan konteksti toimii lähtökohtana tieteellisten ajatusten muodostamiselle. Vaikkakaan heidän määritelmänsä mukaisia konteksteja ei alkuperäisilmausten joukossa erityisen paljoa ollut, olisi sillä voitu kenties saada hieman eroja ja syvyyttä kontekstien luonteen pohdintaan.

6.1.3 Alkuperäisilmaisut ja kemian aiheet oppikirjoissa

Lääkeaineet toimivat oppikirjoissa usein esimerkkeinä tai kontekstina opiskeltavalle asialle. Edellä on jo luokiteltu, millaisia konteksteja lääkkeet, lääkeaineet ja rohdokset muodostavat. Tässä sen sijaan halutaan tuoda esiin, millaisten kemian aiheiden yhteydessä oppikirjoissa lääkkeet, lääkeaineet ja rohdokset tulevat esiin. Alkuperäisilmaukset on luokiteltu kemian aiheiden perusteella ja luokkia on jonkin verran yhdistelty (Taulukko 3.) (Liite 4).

Taulukko 3. Kemian aiheet, joiden yhteydessä alkuperäisilmaisut ovat oppikirjoissa.

Kemian aihe	A-sarja	B-sarja	C-sarja	D-sarja	Yhteensä
Arjen kemia, historia, lääkekemian sovelluksia	6	13	7	4	30
Kemiallinen reaktio	8	4	2	15	29
Orgaaniset yhdisteet, typpiyhdisteet	3	5	11	6	25
Molekyylien kolmiulotteinen rakenne, isomeria	3	8	6	4	21
Hapot, emäkset, neutraloituminen, puskuriliuokset	2	2	2	8	14
Ainemäärä, konsentraatio	2	1	2	4	9
Kemialliset sidokset	0	2	0	4	6
Aineen rakenne, mikromaailma	0	1	1	1	3
Polymeerit	2	1	0	0	3
Metallit	0	1	1	0	2

Taulukko 3 jatkuu.

Kemian aihe	A-sarja	B-sarja	C-sarja	D-sarja	Yhteensä
Puu	2	0	0	0	2
Halogeenit	0	1	0	0	1
Liukoisuus	0	0	0	1	1

Suurin luokka ”Arjen kemia, historia, lääkekemian sovelluksia” olisi helposti luokiteltavissa vielä tarkemmin, mutta tässä on haluttu lähinnä keskittyä kemian käsitteisiin ja teoriaan, ei yleisesti lääkkeisiin tai lääkeaineisiin. A-kirjasarjassa oli yksi kokonainen kappale, jonka olisi voinut luokitella kuuluvaksi moneen eri luokkaan, mutta kirjassa kappale oli yhteydessä ”Kemialliset reaktiot elinympäristössä”, niin se on luokiteltu pelkästään ”Kemialliset reaktiot”-luokkaan.

Ilmaisujen yhteismäärä tässä kohden ei vastaa alkuperäisilmaisuja, sillä joitain ilmaisuja on luokiteltu useampaan kohtaan. Alkuperäisilmaukset on pyritty luokittelemaan ensisijaisen kemian aiheen mukaan. Esimerkiksi erilaisissa orgaanisten yhdisteiden reaktiotyypeissä käsitellään halogenoitujen yhdisteiden reaktioita, on ne luokiteltu kuuluvan reaktiotyyppeihin eli ”Kemiallinen reaktio”-luokkaan, ei orgaanisiin yhdisteisiin tai halogeeneihin. Joissain kohdissa luokittelu oli kuitenkin haasteellista, sillä ilmaisu saattoi olla selkeän aihekokonaisuuden yhteydessä, mutta siinä saatettiin sivuta muitakin kemian aihealueita.

Kemian aiheet, joiden yhteydessä kaikissa oppikirjasarjoissa oli mainintoja lääkkeistä, lääkeaineista ja rohdoksista, olivat seuraavat:

- i) Arjen kemia, historia, lääkekemian sovelluksia (30 mainintaa)
- ii) Kemiallinen reaktio (27 mainintaa)
- iii) Orgaaniset yhdisteet, tyyppiyhdisteet (25 mainintaa)
- iv) Molekyylisen kolmiulotteinen rakenne, isomeria (21 mainintaa)
- v) Hapot, emäkset, neutraloituminen, puskuriliuokset (14 mainintaa)
- vi) Ainemäärä, konsentraatio (9 mainintaa)

Näiden aiheiden lisäksi oppikirjoissa on vähäisiä mainintoja lääkkeistä, lääkeaineista ja rohdoksista muiden kemian aiheiden yhteydessä. Tärkeää on myös huomata, että maininnat eivät jakaudu tasaisesti eri oppikirjasarjojen välille, esimerkiksi luokassa ”Kemiallinen reaktio” D-kirjasarjassa on yhteensä 15 mainintaa, kun taas C-kirjasarjassa vain 2 mainintaa.

Yleisesti näistä maininnoista voidaan sanoa, että useimmiten lääkeaineet toimivat kontekstina, jonka kautta voidaan harjoitella esimerkiksi tunnistamaan orgaanisten yhdisteiden funktionaalisia ryhmiä. Toinen yleinen tapa on tiettyä aihetta käsittelevän kappaleen yhteydessä oleva lisätietolaatikko, jossa selitetään esimerkiksi, miksi stereoisomerian tunteminen on tärkeää lääkeainemolekyylejä valmistettaessa.

Suurin luokka ”Arjen kemia, historia, lääkekemian sovellukset” jätetään tässä erittelemättä, koska halutaan keskittyä tarkastelemaan kemian käsitteitä, joiden yhteydessä alkuperäisilmaukset ovat.

Toiseksi suurin luokka ”Kemiallinen reaktio” on sisällöltään varsin laaja. Siihen on luokiteltu kuuluvaksi maininnat, jotka ovat yleisesti kemiallisen reaktion, tiettyjen reaktiotyyppien, reaktionopeuden, reaktiotasapainon, kokeellisten töiden (synteesien) ja reaktioyhtälön tarkastelun yhteydessä. Luokista olisi tullut merkityksettömän pieniä, mikäli niitä ei olisi yhdistetty. Lähes puolet (14) alkuperäisilmauksista on kuitenkin erilaisten reaktiotyyppien käsittelyn yhteydessä.

Orgaanisten yhdisteiden yhteydessä lääkkeet ja lääkeaineet esiintyivät myös tiheään. Monissa ilmaisuissa kerrottiin, mihin kyseistä orgaanista yhdistettä käytetään. Tyypillinen alkuperäisilmaus tässä luokassa on seuraava:

”Monilla tyypeä sisältävillä yhdisteillä on voimakkaita fysiologisia vaikutuksia, ja ne toimivat hermojen välittäjäaineina tai niitä käytetään lääke- ja nautintoaineina.” (C1, s. 122)

6.1.4 Tietyt lääkkeet ja lääkeaineet oppikirjoissa sekä yleisesti aiheesta

Lääkkeisiin ja lääkeaineisiin liittyvät alkuperäisilmaukset oppikirjoissa luokiteltiin myös sen perusteella, mainitaanko jokin tietty lääke tai lääkeaine nimeltä vai puhutaanko alkuperäisilmauksessa yleisesti lääkkeitä ja lääkeaineista (Liite 5).

Nimeltä mainittujen lääkkeiden ja lääkeaineiden kirjo on laaja ja niitä on luokiteltu samankaltaisuuksien mukaan taulukkoon (Taulukko 4.). Kipulääkkeet ovat selvästi yleisimpiä oppikirjoissa esiintyvistä lääkkeistä, ja kipulääkkeiden maininnoista yli puolessa on kyse asetyylisalisyylihaposta eli aspiriinista (26 mainintaa 40 maininnasta). Aspiriini on selvästi eniten edustettuna oleva lääke kemian oppikirjoissa.

”Muut”-ryhmästä useimmin esiintyvänä lääkeaineina tai -ryhminä olivat talidomidi (5 mainintaa), yskänlääkkeet (3 mainintaa), allergialääkkeet (2 mainintaa), malarialääke kiniini (2 mainintaa) sekä Parkinsonin taudin hoidossa käytetty entakaponi (2 mainintaa). Loput maininnat olivat yksittäisiä. Rohdokset puuttuivat kirjoista lähes kokonaan, sillä ainoa selvästi rohdokseksi nimetty aine oli kuusenkerkkä (1 maininta).

Taulukko 4. Eri lääkeryhmien esiintyminen kirjasarjoissa.

Lääkeryhmä	A-sarja	B-sarja	C-sarja	D-sarja	Yhteensä
Kipulääkkeet	5	13	5	17	40
Muut	5	7	8	9	29
Antibiootit	1	1	4	3	9
Sydän-, kolesteroli- ja verenpaine-lääkkeet	1	2	1	3	7
Mieliala- ja masennuslääkkeet	1	1	1	2	5
Närästyslääkkeet	0	1	2	2	5

Nimeltä mainittujen lääkkeiden ja lääkeaineiden lisäksi oppikirjoissa oli mainintoja yleisesti lääkeaineista. Näistä maininnoista suurin osa liittyi lääkeaineiden kehittämiseen, valmistamiseen, käyttöön tai vaikutusmekanismiin. Jonkin verran on myös alkuperäisilmaisuja, joissa kerrotaan, että jokin tietty aine on lääkeaineteollisuuden raaka-aine.

”Synteettisesti valmistetaan muun muassa lääkeaineita, maaleja sekä polymeerejä, joita ilman meidän on vaikea tulla toimeen.” (B1, s. 14)

”Esimerkiksi uusien lääkkeiden kehityksessä voidaan tietokoneen avulla ensin etsiä lupaavimmat lääkeainemolekyylit ja vasta sitten yrittää valmistaa niitä laboratorioissa.” (A1, s. 10)

”Lääkkeiden tuoteselosteissa sanat ”hydrochlorid” tai ”hydrokloridi” ja ”nitrasi” tai ”nitraatti” ilmaisevat, että lääkkeessä vaikuttavana aineena oleva suurimolekyylinen amiini on neutraloitu vetykloridihapolla tai typpihapolla vastaavaksi suolaksi.(--)” (D1, s. 133)

Oppikirjoissa yleisesti lääkeaineista puhuttaessa maininnat liittyvät myös jonkin verran lääketeollisuuteen ja lääkkeiden historiaan. Lääkkeiden historiaa tulee kuitenkin paljon esille nimeltä mainitun lääkeaineen yhteydessä, esimerkiksi aspiriinin yhteydessä kerrotaan salisyylihapon löytämisestä ja lopulta asetyylisalisyylihapon syntetisoinnista.

Lisäksi oli 5 mainintaa, jotka eivät sovi mihinkään edellä luokitelluista. Yksi tällaisista alkuperäisilmauksista on esimerkiksi oppikirjan tehtävässä, jossa täytyy pohtia jätteiden oikeaa lajittelua ja yhtenä jätteenä ovat vanhat lääkkeet.

6.1.5 Lääkeaineisiin liittyvät kokeelliset työt oppikirjoissa

Oppikirjoissa oli yhteensä vain neljä kokeellista työtä, jotka liittyivät lääkeaineisiin. Lisäksi nämä kaikki neljä työtä liittyivät asetyylisalisyylihappoon eli aspiriiniin. Kolmessa työssä valmistettiin asetyylisalisyylihappoa ja tutkittiin sen puhtautta sulamispisteen määrittämisellä. Työ, joka ei ollut aspiriinisynteesiä, oli kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa määritettiin kaupallisen aspiriinitabletin sisältämän asetyylisalisyylihapon määrä titraamalla. Toisessa osassa uutettiin pajusta salisyylihappoa ja varmistettiin uutun onnistuminen vertaamalla ohutkerroskromatografisesti puhtaaseen salisyylihappoon. Yksikään kokeellisista töistä ei ollut tutkimuksellisen lähestymistavan mukainen.

Missään kokeellisessa työssä työn taustoitusta tai kontekstiä ei ollut erityisen vahva, ellei oteta huomioon sitä, että kyseessä on lääkkeisiin ja lääkeaineisiin liittyvä kokeellinen työ. Kolmessa työssä vain todettiin, mitä aiotaan valmistaa tai tehdä. Yhdessä työssä kerrottiin lyhyesti asetyylisalisyylihapon historiasta. Toisaalta se, että päästään syntetisoimaan tai tekemään kokeita oikealla lääkeaineella, voi toimia riittävänä motivaationa oppilaalle.

Yhdestäkään työstä ei käynyt välittömästi ilmi, missä Lukion opetussuunnitelman perusteiden (2003) mukaisessa kemian yhteydessä kyseinen työ voitaisiin toteuttaa. Kaksi aspiriinisynteesiä oli KE3 Reaktiot ja energia -kurssin oppikirjassa ja yksi KE1 Ihmisen ja elinympäristön kemia -kurssin oppikirjassa. Tästä voi päätellä, että asetyylisalisyylihapon synteesi toimii esimerkkinä orgaanisesta reaktiotyypistä (KE3) tai orgaanisen yhdisteen sovelluksesta (KE1). Asetyyliisalisyylihapon määrän määrittäminen aspiriinitabletista ja salisyylisalisyylihapon uutto pajusta olivat KE1 Ihmisen ja elinympäristön kemia -kurssin oppikirjassa. Sijainti ensimmäisessä kemian kurssissa viittaa siihen, että on tarkoitus oppia protoninsiirtoreaktiosta titrauksen avulla ja lisäksi orgaanisista yhdisteistä.

Työohjeet olivat kaikki reseptimäisiä. Ennen töiden suorittamista oli lyhyt selvitys siitä, mitä tehdään. Yhdestäkään työohjeessa ei ollut esimerkiksi kysymyksiä tai tiedonhankintaa ennen työtä. Työn jälkeen tulokset käsiteltiin mekaanisesti jokaisessa kirjassa. B-kirjasarjan kirjassa oli aspiriinisynteesin tuotteen tutkimisen yhteydessä ”Mitä havaitset?” -kysymyksiä, jotka sinänsä ovat hyviä. Kuitenkin työn tulosten käsittelyssä kysymyksistä pystyi osin päättämään, mitä edellä olisi pitänyt havaita.

Mielenkiintoinen lisä oli B-kirjasarjassa, jossa kunkin kirjan mukana oli CD-levy, jolla oli lyhyillä videoilla esitetty kirjan kaikkien kokeellisten töiden työvaiheet. Vaikka jotain kokeellista työtä ei koulussa tehtäisikään, voi oppilas silti tutustua videoon ja sen kautta saada käsityksen esimerkiksi kemian eri kokeellisista menetelmistä.

6.2 Kokeelliset työt ja niiden tutkimuksellinen opettaminen

Tässä kehittämistutkimuksessa tuotettiin neljä kokeellista työtä ja niihin työohjeet. Jokaisesta kokeellisesta työstä on sekä oppilaan että opettajan versio (Liitteet 2-9 CD:llä). Työohjeet tullaan julkaisemaan Kemianluokka Gadolinin työohjepankissa (www.kemianluokka.fi/tyoohjeet). Kahden eri työohjeversion tuottaminen koettiin tarpeelliseksi, sillä tutkimuksellisuudesta johtuen pelkästään oppilaan työohjeen esittäminen ei olisi antanut välttämättä opettajalle riittäviä valmiuksia työn ohjaamiseen. Tässä esitellään kehitetyt kokeelliset työt pääpiirteissään sekä kerrotaan niiden tutkimuksellisesta opettamisesta.

6.2.1 Kokeellisten työohjeiden pääpiirteet ja tavoitteet

Ensimmäinen kehitetty kokeellinen työ on ”Pihkan eristäminen kävyistä”. Työn pohjustuksena on teksti, jossa oppilas on kesätöissä tutkimuslaitoksella ja hänen tulisi kehittää siellä menetelmä pihkan eristämiseksi kävyistä. Eristämisen onnistuminen voidaan todeta ohutkerroskromatografisen tunnistuksen avulla.

Tämän kokeellisten työn tarkoituksena on harjaannuttaa oppilas suunnittelemaan sopiva koejärjestely, jolla pihka voitaisiin parhaiten eristää kävyistä. Työohjeessa on taustatekstiä ja etukäteistehtäviä, joiden on tarkoitus olla helpottamassa suunnittelua. Oppilas saa toteuttaa suunnitelmansa, tulkita eristämisen tulokset ja pohtia, miten hyvin eristäminen onnistui ja olisiko eristämisen voinut tehdä jotenkin muuten. Tämän kokeellisen työn yhteydessä voidaan opettaa orgaanisten yhdisteiden erotus- ja tunnistusmenetelmistä sekä liukoisuuksista.

Toinen kehitetty työ ”Pihkan antibakteeriset ominaisuudet” kytkeytyy ensimmäiseen, sillä toisessa työssä hyödynnetään kävyistä eristettyä pihkaa. Tutkimusongelmana on, että onko pihkalla todella antibakteerisia ominaisuuksia, kuten tutkijat väittävät. Työtä taustoitetaan bakteeriviljelmiä sekä antibioottien ja muiden antibakteeristen aineiden testausta käsittelevällä tekstillä. Oppilaan on tarkoitus pohtia, miten hän voisi agar-maljoille tehtävien bakteeriviljelmien avulla osoittaa pihkan antibakteerisuuden. Työssä joudutaan tislamaan liuottimet pois, jotta saadaan konsentroidumpi pihkanäyte.

Tämän työn tavoitteena on suunnitelmallinen eteneminen ja erilaisten muuttujien havaitseminen sekä kontrollointi. Etukäteistehtävä pyrkii johdattamaan hieman siihen, mitkä eri tekijät voivat vaikuttaa bakteeriviljelyn tulokseen. Tässä työssä korostuu myös tulosten tulkinta ja mahdollisten virhelähteiden etsintä, sillä saadut tulokset voivat olla ristiriidassa keskenään. Työn yhteydessä oppilailla on mahdollisuus keskustella keskenään työn suorittamisesta ja tulosten luotettavuudesta. Tämä kokeellinen työ ei opeta suoranaisesti mitään kemian sisältöä, mutta sen luonne sopii silti yhteen Lukion opetussuunnitelman perusteiden (2003) kanssa. Työssä opitaan kriittisesti tarkastelemaan erilaisia tuloksia ja pohtimaan niiden merkitystä.

Kolmas työ on ”Sulfatiatsoli-synteesi”. Työssä syntetisoidaan antibioottina käytettävästä sulfatiatsolista niin kutsuttu aihiolääke, sukkinyyliisulfatiatsoli. Saadun tuotteen puhtaus voidaan opettajan niin halutessa määrittää ohutkerroskromatografisesti vertaamalla puhtaaseen sulfatiatsoliin. Synteesi toteutetaan yksinkertaisella refluksointilaitteistolla. Tuotteen kiteyttämiseen saatetaan tarvita liuottimien haihduttamista eli käytännössä tislamista.

Sulfatiatsoli-synteesi oli kehitellyistä työohjeista haastavin muokata tutkimuksellisuuden periaatteita noudattavaksi. Esimerkiksi synteesin kesto ja teorian haastavuus estivät avoimemman työohjeen kehittämisen. Työn tavoitteena on kuitenkin keskittyä erityisesti taustatiedon hankintaan ennen synteesin aloittamista. Työohjeessa on lisäksi kysymyksiä, joiden tarkoituksena on aktivoida oppilaan ajattelua pelkän synteesin reseptimäisten työvaiheiden seuraamisen lisäksi. Työn jälkeen pohditaan oppilaiden taustatiedon hankintaan käyttämien lähteiden luotettavuutta. Lisäksi työn jälkeen pohditaan synteesin saantoa ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

Neljäs ja viimeinen kehitelty kokeellinen työ on ”Intiaanien parantava juoma”. Etukäteistehtävän ja opettajan kertoman tarinan avulla herätetään oppilaan mielenkiinto tutkimaan tuntematonta kirkasta nestettä. Opettaja tietää, että kirkas neste on tonic water -virvoitusjuomaa, joka sisältää aromiaineena malarialääkkeenä tunnettua kiniiniä. Oppilaan tulee muodostaa kysymyksiä etukäteistehtävän ja kertomuksen pohjalta, ja etsiä näihin kysymyksiin vastauksia internetin tai mahdollisen kirjallisuuden avulla. Oppilas muodostaa tämän jälkeen hypoteesin siitä, mitä tuntematon kirkas neste voisi olla. Hypoteesin lisäksi oppilas suunnittelee, miten hän voisi yksinkertaisin laboratoriokokein osoittaa hypoteesinsa todeksi.

Työn tavoitteena on tukea oppilasta kysymään erilaisia kysymyksiä ja muotoilemaan niitä. Oppilas harjaantuu tiedonetsinnässä ja oppii soveltamaan hankkimaansa tietoa käytäntöön. Työn yhteydessä voidaan puhua orgaanisista yhdisteistä tai sen avulla voidaan harjoitella pienen tutkimuksen tekoa sekä kerrata yksinkertaisia laboratoriotaitoja. On myös mahdollista, että työn yhteydessä voidaan puhua elektronien virittymisestä ja viritystilan purkautumisesta, sillä kiniini fluoresoi voimakkaasti UV-valossa.

Taulukossa 5 esitetään vielä tiivistetyssä muodossa kokeellisten töiden keskeinen sisältö

Taulukko 5. Kehitetyt kokeelliset työt.

Kokeellinen työ	Kokeellisen osuuden kesto (min)	Kurssi	Kemian sisältö	Erityisesti painottuva tutkimuksellisuuden näkökulma
Pihkan eristäminen kävyistä	90	KE1 KE2 työkurssi	uutto, TLC, liukoisuus	Aiemman tiedon hyödyntäminen, koejärjestelyn suunnittelu, tulosten tulkinta ja luotettavuus, johtopäätösten teko
Pihkan anti-bakteeriset ominaisuudet	60 (tulokset seuraavana päivänä)	KE1 KE2 työkurssi	(tislauks)	Koejärjestelyn suunnittelu, hypoteesin muodostaminen, muuttujien kontrollointi, hypoteesin testaus, tulosten tulkinta ja luotettavuus, johtopäätösten teko
Sulfatiatsoli-synteesi	90 (120 tislauksen kanssa)	KE3 työkurssi	orgaanisten yhdisteiden reaktiot (tislauks, TLC)	Taustatiedon hankinta, lähdekritiikki, tulosten virhelähteiden pohdinta
Intiaanien parantava juoma	20	KE1 KE2 työkurssi	orgaaniset yhdisteet, elektronien virittyminen	Kysymysten muodostaminen, tiedonhankinta, hypoteesin muodostaminen, koejärjestelyn suunnittelu, hypoteesin testaus

6.2.2 Kokeellisten töiden tutkimuksellinen opettaminen

Kehitettyjen kokeellisten töiden opettajan työohjeissa on annettu kemianopettajalle riittävä taustatieto työn ohjaamiseen. Taustatiedon ja huomioiden määrä vaihtelee työohjeissa, mutta kunkin työn kannalta oleellinen tieto on pyritty antamaan.

Tutkimuksellinen työskentely ei oppilailta suju välttämättä itsestään, vaan sitä tulee harjoitella (Wolf & Fraser 2008). Opettajan työohjeet on kirjoitettu siten, että opettajan on helppo oppilaiden tason mukaan muokata tutkimuksellisuuden astetta työohjeessa. Mikäli esimerkiksi koejärjestelyn suunnitteleminen tuottaa oppilaille hankaluuksia, voi opettaja esitellä käytettävissä olevan välineistön tai muilla tavoin johdatella oppilaita eteenpäin.

Opettajan työohjeissa on usein esitetty vain yksi tapa, jolla kyseisen tutkimuksen voi toteuttaa. Esitetyt menetelmät ovat testattuja ja toimiviksi todettuja. Opettajan ei tule kuitenkaan suoralta kädeltä hylätä esimerkiksi oppilaiden ehdotuksia koejärjestelyiksi. Pikemminkin yhdessä tulee pohtia, onko koejärjestely mahdollista toteuttaa koululuokassa ja tuottaako se toivotut lopputulokset. Mikäli oppilaiden ehdotus vaikuttaa pätevältä ja turvalliselta, voivat he toteuttaa sen.

Kehitettyjen työohjeiden avulla voidaan harjoitella tutkimuksen eri vaiheisiin liittyviä asioita oppilaiden kanssa. Tutkimuksellisuuden periaatteiden lisäämiseksi ja vahvistamiseksi oppilaiden kannattaa esimerkiksi pihkaan liittyvissä töissä tehdä useita kokeiluja samanaikaisesti. Tällä tavoin eri muuttujien kontrollointi helpottuu ja oppilaat ymmärtävät paremmin, mitkä eri asiat voivat vaikuttaa lopputulokseen.

Kehitetty kokeelliset työt soveltuvat hyvin pareittain tai pienryhmissä tehtäviksi. Aiemmin tässä tutkielmassa esitetyn teorian (Luku 4) nojalla se on jopa suotavaa. Yhdessä tekemällä oppilaat pääsevät keskustelemaan toistensa kanssa kemiaan ja lääkeaineisiin liittyvistä käsitteistä ja asioista. Oppilaiden sosiaaliset taidot kehittyvät yhdessä toimimalla. Lisäksi tutkimuksellisuuteen kuuluu tulosten esittelyä ja vertailua. Esimerkiksi, jos kaksi ryhmää saa hyvin ristiriitaiset tulokset jostain työstä, voi olla hedelmällistä laittaa nämä ryhmät keskustelemaan keskenään ja vertailemaan tuloksiaan.

Kehitettyjen kokeellisten töiden kestot ovat suhteellisen pitkiä. Siksi niiden toteuttaminen työkurssilla olisi ihanteellista, jotta töitä ei tarvitse turhaan keskeyttää seuraavaa tuntia varten. Joissain töissä tällaisia luonnollisia taukokohtia on, mutta töitä ei ole testattu niin paljoa, että voitaisiin varmuudella ehdottaa sopivaa tauotusta. Etukäteistehtävien ja loppupohdintojen kohdalla on kuitenkin tärkeää huomata, että ne voidaan toteuttaa esimerkiksi kotitehtävinä. Oppilaat voivat palauttaa ne opettajalle vaikka sähköisesti ja tuloksista voidaan vielä keskustella yhteisesti tai pienissä ryhmissä seuraavalla oppitunnilla.

Olisi hyvä, jos kokeellisiin töihin liitettäisiin aina työselostuksen tekeminen. Työselostuksen ei tarvitse jokaisella kerralla olla pitkä, mutta siitä tulisi ilmetä ainakin käytössä olleet välineet ja reagenssit, mitä tehtiin, mitä havaittiin ja mitä tästä voidaan päätellä. Työselostus voidaan arvioida erikseen tai osana kokeellisen työn suorittamista. Arvioinnissa tulee ylipäättään kiinnittää erityishuomio siihen, miten oppilaiden tutkimukselliset taidot ovat kehittyneet. Vaikka he eivät olisikaan saaneet hyviä tuloksia, voivat he silti osata hyvin argumentoida, miksi eivät onnistuneet saamaan hyviä tuloksia.

7. Johtopäätökset ja pohdinta

Tässä kehittämistutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten lääkeaineiden kemiaa opetetaan lukiossa sekä millaisilla kokeellisilla töillä voitaisiin tukea mielekästä lääkeaineisiin liittyvää kemian opetusta. Tässä luvussa pohditaan tarveanalyysin tulosten merkitystä sekä arvioidaan kehitettyjä kokeellisia töitä. Luvun lopussa on yhteenveto koko tutkimuksesta.

7.1 Alkuperäisilmaisujen paikka oppikirjoissa

Lääkkeisiin, lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyviä alkuperäisilmaisuja oli lukion kemian oppikirjoissa yllättävän paljon. Lääkkeet ja lääkeaineet olivat huomattavasti vahvemmin edustettuina kuin rohdokset. Mainintoja oli myös eri puolilla kemian oppikirjoja. Lääkkeitä ja lääkeaineita mainittiin niin leipätekstissä, kuvateksteissä, tehtävissä, lisätietoteksteissä ja johdannoissa. Yhdessä oppikirjassa oli kokonainen kappale, joka kertoi lääkeaineista.

Lääkeaineisiin liittyvät maininnat toimivat useimmiten kontekstina tai lisätietona käsiteltävälle asialle. Tehtävissä oli lääkeainemolekyylejä, joista täytyi esimerkiksi tunnistaa funktionaalisia ryhmiä. Leipätekstissä voitiin kemian käsitteen yhteydessä antaa esimerkki, joka liittyi lääkeaineisiin. Kappaleiden yhteydessä oli lisätietolaatikoita, joissa kerrottiin lääkeaineista tai niiden kehityksestä. Kuvat ja kuvatestit luonnollisesti tukevat leipätekstissä esitettyjä asioita. Kokeellisia töitä lääkeaineisiin liittyen oli varsin vähän.

Mielenkiintoinen huomio on se, että monet maininnat ovat hyvin lyhyitä. Lääkeaineista ei esimerkinomaisessa maininnassa pysty ilmaisemaan paljoakaan. Monien tehtävien kohdalla lääkeainemolekyylit olisi voinut käytännössä vaihtaa mihin tahansa muuhun molekyyliin ja tehtävän luonne olisi pysynyt samana. Lääkkeet ja lääkeaineet on koettu kuitenkin sen verran tärkeäksi kemian sovellukseksi, että niitä esiintyy tasaisesti eri kustantajien kirjoissa. Tämän tutkimuksen perusteella on vaikea arvioida, pitäisikö lääkeaineisiin liittyviä mainintoja olla lisää tai niiden laajuutta lisätä. Lääkkeisiin ja lääkeaineisiin liittyviä mainintoja kuitenkin oli jokaisessa kirjassa vähintään yksi.

7.2 Alkuperäisilmaisujen kontekstin luonne oppikirjoissa

Lääkkeet, lääkeaineet ja rohdokset esiintyivät hyvin yksipuolisena kontekstina lukion kemian oppikirjoissa. Lähes kaikki olivat käsiteltävän kemian aiheen suoria sovelluksia. Tieteen, teknologian ja yhteiskunnan välisiä vuorovaikutuksia ei kovin montaa kertaa tullut selvästi esille. Henkilötason tarinoita oli myös vähän ja niiden syvyys vaihteli huomattavasti, monesti esimerkiksi lääkeaineen kehittänyt henkilö mainittiin vain nimeltä. Lääkkeisiin ja lääkeaineisiin mahdollisesti liittyvää sosiaalieettistä näkökulmaa ei tuotu lähes ollenkaan esiin.

Toisaalta voidaan kysyä, mikä on oppikirjojen rooli kontekstien luomisessa. Oppikirja pitäisi olla vain yksi väline monipuolisessa ja modernissa kemian opetuksessa. Opettajalla itsellään on tärkeä rooli siinä, että hän nostaa merkittäviä kemian konteksteja ja niihin liittyvää yhteiskunnallista keskustelua esiin. Lukion opetussuunnitelman perusteissa (2003) asetetaan kemian opetukselle tavoitteeksi, että oppilas voisi osallistua yhteiskunnalliseen keskusteluun ja päätöksentekoon. Oppikirjoja pitäisi päivittää huomattavasti tiheämmällä syklillä, jotta nykyhetken polttavat puheenaiheet voisivat olla niissä esillä.

Pelkkä yhden kontekstin käyttäminen ei ole toivottavaa kemian oppikirjoissa tai opetuksessa. Tutkimustiedon nojalla oppilaat kuitenkin ovat kiinnostuneet hyvin erilaisista asioista (Lavonen, Juuti, Meisalo, Uitto & Byman, 2005). Tämän vuoksi kemian

opetuksessa tulisikin käyttää monipuolisten opetusmenetelmien lisäksi vaihtelevia konteksteja, jotta mahdollisimman moni oppilas voisi kiinnostua kemiasta ja sen opiskelusta.

7.3 Alkuperäisilmaisut ja kemian aiheet oppikirjoissa

Lääkkeisiin, lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvät maininnat oppikirjoissa olivat harvoin irrallisia opeteltavista kemian käsitteistä. Kun otetaan huomioon pelkästään kemian käsitteiden yhteydessä olevat maininnat, kolmeksi suurimmaksi luokaksi nousivat ”Kemiallinen reaktio”, ”Orgaaniset yhdisteet, typpi yhdisteet” sekä ”Molekyylin kolmiulotteinen rakenne, isomeria”. Näiden lisäksi lääkkeisiin, lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyviä kemian aiheita oli useita muitakin.

Kaksi suurinta luokkaa eivät ole mikään yllätys. Suurin osa lääkeaineista on orgaanisia yhdisteitä, joten esiintyminen kirjojen orgaanisia yhdisteitä käsittelevissä kappaleissa ei ole erikoista. Samoin Opetussuunnitelman perusteiden (2003) mukaisesti KE3-kurssin kirjoissa oli orgaanisten reaktiotyyppien yhteydessä lääkeaineita esimerkkeinä.

Sen sijaan oli yllättävää, että kolmanneksi suurin luokka oli ”Molekyylin kolmiulotteinen rakenne, isomeria”. Toisaalta lääkeaineiden kehitykseen ja vaikutuksiin elimistössä hyvin olennaisesti liittyy molekyylin stereoisomeria. Isomerian yhteydessä olleet esimerkit olivat pääsääntöisesti ibuprofeeni ja talidomidi. Samassa kirjassa saattoi olla useammassa kohdassa maininta kyseisistä lääkeaineista. Ibuprofeeni on ansainnut paikkansa yleisesti tunnettuna särkylääkkeen vaikuttavana aineena, kun taas talidomidin surullisen kuuluisa historia osoittaa hyvin selkeästi, miksi stereoisomerialla on merkitystä.

Kaiken kaikkiaan lääkkeisiin, lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvät alkuperäisilmaukset olivat hyvin monien erilaisten kemian käsitteiden yhteydessä oppikirjoissa. Vaikka tässä tutkimuksessa ei ole arvioitu yhdenkään kustantajan kirjasarjaa kokonaisuutena, voisi arvella, että kirjojen kautta tulee kuitenkin monipuolisesti lääkeaineisiin liittyviä kemian käsitteitä esiin. Maininnat painottuvat erityisesti orgaanisiin yhdisteisiin ja niiden reaktioihin, mutta ovat läsnä myös muualla.

7.4 Tietyt lääkkeet ja lääkeaineet oppikirjoissa sekä yleisesti aiheesta

Nimeltä mainittuja lääkeryhmiä tai lääkeaineita oli oppikirjoissa useita. Ne painottuivat kuitenkin hyvin vahvasti kipulääkkeisiin (40 mainintaa 95 maininnasta) ja erityisesti asetyylisalisyylihappoon eli aspiriiniin (26 mainintaa). Kipulääkkeiden runsaassa esiintymisessä ei sinänsä ole mitään huonoa. Kipulääkkeet ovat yksi suurimmista itsehoitolääkkeiden ryhmistä, joita suomalaiset apteekeista ostavat (Lääketeollisuus ry, 2013a).

Asetyylisalisyylihapon dominoiva asema johtuu todennäköisesti siitä, että sen synteesi on hyvin yleinen kokeellinen työ peruskoulun yläluokilla tai lukiossa. Asetyylisalisyylihapon kemia on myös suhteellisen helppoa. Kyseessä on esteri, joka voidaan valmistaa kondensaatioreaktiolla. Asetyylisalisyylihapossa on myös karboksyyli-ryhmä, joten sitä voi käyttää esimerkkinä myös happojen kemiasta. Aspiriini ei ole kuitenkaan ostetuina kipulääke Suomessa (Lääketeollisuus ry, 2013b). Toisaalta, jos pelkkien myyntitilastojen valossa täytyisi sopivat lääkeaine-esimerkit valita, tuotaisiin esille monelle oppilaalle täysin tuntemattomia aineita, kuten esimerkiksi reuma- ja syöpälääkkeitä.

Kun tarkastellaan muita nimeltä mainittuja lääkkeitä ja lääkeaineita kuin kipulääkkeitä, on jakauma ilahduttavan tasainen. Lukion oppikirjat tuovat esille hyvin monenlaisia lääkkeitä ja lääkeaineita. Rohdoksia esiintyy hyvin vähän. Rohdos käsitteenä saattaa olla epäselvempi ja oudompi oppilaille kuin lääkkeen ja lääkeaineen käsitteet. Tällöin oppikirjoissa ei välttämättä mainita tietyn rohdoksen kohdalla sanaa rohdos lainkaan.

Lääkkeiden ja lääkeaineiden kemiassa on tärkeää muukin kuin vaikuttavana aineena toimiva molekyyli. Oppikirjoissa on myös kerrottu yleisesti lääkkeitä ja lääkeaineista. Lääkeaineiden kehityksestä ja valmistuksesta on useita lyhyehköjä mainintoja. Kokonaisvaltaisempia kuvauksia esimerkiksi lääkkeen kehityskaaresta on vain harvoja lisätietoteksteissä.

Lääkkeiden käyttöön ja vaikutukseen liittyviä mainintoja on myös suhteellisen paljon. Kuitenkaan lääkeaineiden vaikutusmekanismeista elimistössä kerrotaan hyvin vähän. Enemmänkin tämä luokka koostuu alkuperäisilmauksista, joissa mainitaan ylipäättään annostelu, vaikutusmekanismi tai puskuroidut lääkeaineet lääkkeissä.

Lääkkeiden historia jää tässä tutkimuksessa vähäiselle huomiolle, sillä sitä käsitellään niin tiettyjen lääkeaineiden yhteydessä kuin yleisten lääkkeiden ja lääkeaineiden kuvausten yhteydessä. Tästä johtuen historiaan liittyvät maininnat ovat jakautuneet kahden eri

luokittelun välille, eikä niistä voida esittää koko luokkaa kuvailevia piirteitä. Lääkkeiden historiaa tulee kuitenkin esiin esimerkiksi lääkeaineita löytäneiden tai kehittäneiden henkilöiden yhteydessä tai johdantomaisissa teksteissä, joissa kuvataan lääkinnän pitkää historiaa.

7.5 Lääkeaineisiin liittyvät kokeelliset työt oppikirjoissa

Lääkeaineisiin tai lääkkeisiin liittyviä kokeellisia töitä oppikirjoissa on vain vähän. 20 kirjasta vain neljässä oli kokeellinen työ lääkeaineisiin liittyen. Kokeelliset työt eivät olleet luonteeltaan tutkimuksellisia. Lisäksi jokainen kokeellinen työ liittyi aspiriiniin tai asetyylisalisyylihapon syntetisointiin. Edellä on jo pohdittu aspiriinin yliedustusta teksteissä ja tehtävissä. Samat seikat pätevät osittain kokeellistenkin töiden kohdalla. Asetyylisalisyylihapon synteesi on yksinkertainen, turvallinen ja helppo synteesiksi. Tapahtuva reaktio ei ole liian monimutkainen oppilaille. Lisäksi kyseessä on arkielämästä tuttu lääkeaine.

Samalla kuitenkin herää kysymys, miksei muihin lääkeaineisiin liittyviä töitä ole. Koetaanko lääkeaineet jotenkin hankalaksi kontekstiksi kokeellisiin töihin? Totta on, että monet lääkeaineet ovat monimutkaisia rakenteeltaan. Lisäksi monet lääkeaineet ovat haitallisia tai jopa myrkyllisiä. Lisäksi reagenssien hankkiminen tai hävittäminen voi tuottaa ongelmia. Orgaanisen kemian kokeellisissa menetelmissä tarvittavia välineitä, esimerkiksi tislaukset-, refluksointi- ja imusuodatuslaitteistoja, voi olla vain muutamia kappaleita koulun laboratoriotiloissa. Sen vuoksi kokonaisen luokallisen kanssa voi olla hankala toteuttaa esimerkiksi synteisiä.

7.6 Kehitetyt tutkimukselliset kokeelliset työt

Tämän kehittämistutkimuksen tuotoksena syntyi neljä tutkimuksellista lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvää kokeellista työtä. Tarveanalyysin sekä aiemman tutkimuksen perusteella näille töille oli muutamia vaatimuksia ja tavoitteita. Kokeellisten töiden kehittämisen kannalta tarveanalyysi osoitti seuraavat tärkeät asiat:

- i) Lääkeaineisiin liittyviä kokeellisia töitä on vähän, eivätkä ne ole tutkimuksellisia
- ii) Rohdoksista ei oppikirjoissa puhuta lähes lainkaan, eikä niihin liittyviä kokeellisia töitä ole

iii) Lääkkeitä ja lääkeaineita on esillä kirjoissa monipuolisesti, mutta konteksti jää usein pinnalliseksi, tietoa ei syvennetä

iv) Asetyyliisalisyylihapo on kirjoissa ylliedustettuna

Aiemman kemian opetusta ja kokeellisuutta koskevan tutkimuksen perusteella voidaan esittää seuraavat huomiot:

i) Kemia ja sen opiskelu kiinnostaa yhä vähemmän oppilaita Suomessa

ii) Kokeellisella työskentelyllä on sekä hyötyjä että haasteita kouluopetuksessa

iii) Kiinnostuksen syntymistä ja ylläpitoa voidaan tukea sitouttavilla opetusmenetelmillä, kuten esimerkiksi tutkimuksellisuudella

v) Hyvin valitut ja muotoillut kontekstit voivat herättää oppilaan kiinnostuksen

Seuraavaksi arvioidaan, miten kehitetyt kokeelliset työt työohjeineen suhtautuvat edellä esitettyihin kohtiin.

Kehittämistuotoksena syntyneet työohjeet tulevat selvästi tarpeeseen. Lääkkeisiin ja lääkeaineisiin liittyviä kokeellisia töitä on vähän ja rohdoksiin liittyviä ei ollenkaan. Lisäksi työt liittyvät muihin aineisiin kuin asetyyliisalisyylihapoon, joten ne tuovat vaihtelua ja mahdollisuuksia kokeellisiin töihin, jotka liittyvät lääkeaineisiin. Kehitettyjen kokeellisten töiden konteksti on myös hieman laajempi kuin oppikirjojen kokeellisten töiden. Konteksti toimii lähtökohtana koko kokeelliselle työskentelylle kehitetyissä töissä. Konteksti ja työn taustoitus pyrkii toimimaan motivaationa oppilaalle, että hän innostuisi kyseisen työn tekemisestä.

Tässä tutkimuksessa kehitetyt kokeelliset työt konteksteineen pyrkivät herättämään oppilaiden kiinnostuksen. Kiinnostuksen on haluttu pysyvän myös työskentelyn ajan yllä valitsemalla tutkimuksellinen lähestymistapa niiden toteutukseen (Hidi & Renninger, 2006). Kiinnostuksen ylläpidossa ja tutkimuksellisuudessa on tietysti omat haasteensa. Oppilaan kiinnostus saattaa jäädä tilannekohtaisen kiinnostuksen tasolle. Lisäksi tutkimuksellisuus saattaa tuntua oppilaista haastavalta ja työläältä, ja sen vuoksi kiinnostus ei pysy yllä (Wolf & Fraser, 2008).

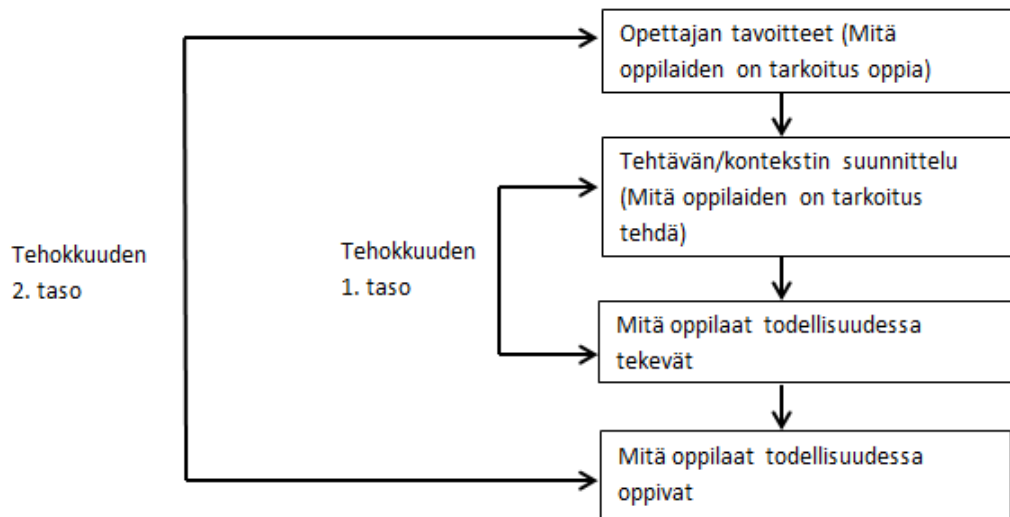
Kehittämistutkimuksissa on yleensä useampi sykli, eli kehittämistuotosta testataan käytännössä ja muokataan saadun palautteen perusteella. Tässä tutkimuksessa tuotoksen testausta ja arviointia ei kuitenkaan ole. Kehitettyjen kokeellisten töiden suurin puute tällä hetkellä on siis se, että niitä ei ole testattu oppilaiden kanssa. Kokeelliset työt on kehitetty ja testattu laboratoriotiloissa hyvillä välineillä. Työohjeet on kehitetty teorian ja tarveanalyysin tietojen pohjalta. Oppilaiden kanssa testaaminen paljastaisi kokeellisista töistä heti, mikäli töissä on liian haastavia tai helppoja kohtia tai jos ne vievät valtavan paljon aikaa oppilailta toteuttaa. Lisäksi välineiden suhteen täytyisi todennäköisesti jonkin verran joustaa, sillä tavallisesta koululuokasta ei löydy samoja tarvikkeita kuin hyvin varustellusta yliopistolaboratoriosta.

Tutkimuksellisuuden toimivuutta on myös hankala arvioida. Töihin on tehty tutkimuksellisuuden periaatteiden mukaisia kysymyksiä ja tehtäviä oppilaille, mutta niiden käytännön toimivuutta ei ole testattu oppilaiden kanssa. Tutkimuksellisuuden taso myös vaihtelee hieman kokeellisesta työstä toiseen. Sulfatiatsoli-synteesin kehittäminen tutkimukselliseksi kokeelliseksi työksi oli esimerkiksi yksi haasteista. Töissä painottuvat eri tutkimuksellisuuden näkökulmat, toisessa keskitytään koejärjestelyyn, toisessa enemmän tulosten tulkintaan ja merkitykseen. Oppilaille saattaa jäädä epäselvä kuva tieteellisen tutkimuksen etenemisestä, mikäli kaikkia vaiheita ei toteuteta samassa työssä. Toisaalta täysmittaisten tutkimuksien tekeminen vie paljon aikaa, vaikka tietenkään jokainen kokeellinen työ kemian kurssilla ei voi olla luonteeltaan tutkimuksellinen.

Vahva kontekstuaalisuus on mahdollisesti kehitettyjen töiden yksi heikkous. Työt on kehitetty enemmän kontekstin varaan, kuin jonkin opeteltavan kemian käsitteen varaan. Kontekstuaalisen kemian opetuksen yhtenä heikkoutena on tutkimuksien perusteella pidetty juuri sitä, että kemian käsitteiden oppiminen saattaa jäädä mielenkiintoisen kontekstin varjoon (Bennet, Lubben & Hogarth, 2007). Kemian tiedoista tulee vain ylimääräistä lisätietoa kontekstin rinnalla.

Tutkimustiedon pohjalta on myös selvää, että itse kokeellisessa opetuksessa on hyötyjen lisäksi haasteita. Kokeellisuus saattaa jäädä irralliseksi muusta opetuksesta, jolloin oppilaat eivät opi haluttuja käsitteitä sen kautta. Oppilaiden on myös hankala yhdistää havaintojaan kemian teoriaan (Abrahams & Millar, 2008). Abrahamsin ja Millarin (2008) mukaan kysymys ei ole siitä, onko kokeellisuus itsessään hyvä opetusmenetelmä vai ei, vaan onko jokin tietty kokeellinen työ tehokas keino oppia opettajan asettamia tavoitteita. Artikkelissaan he ovat esittäneet mallin, jolla voidaan suunnitella ja arvioida tietyn kokeellisen työn tehokkuutta (Kuva 11.).

Mallin mukainen kokeellisuuden arviointityökalu voisi olla arvokas tämän kehittämistutkimuksen kokeellisten töiden arviointiin, kun niitä testattaisiin oppilailla. Tehokkuuden ensimmäinen taso kuvaa sitä, että oppilaat tekevät opetustilanteessa sitä, mitä opettaja on toivonut heidän tekevän. He osaavat siinä tilanteessa yhdistää havaintonsa kemian teoriaan. Tehokkuuden toinen taso kuvaa sitä, että oppilaat ovat sisäistäneet kokeellisessa työssä tapahtuvan ilmiön selityksineen ja osaavat kuvailla sen kokeellisen työn tekemisen jälkeenkin.



Kuva 11. Kokeellisen työskentelyn suunnittelun ja tehokkuuden arvioinnin malli Abrahamsin ja Millarin (2008) mukaan.

7.7 Yhteenveto

Tällä kehittämistutkimuksella on pyritty tuottamaan vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten lääkeaineiden ja rohdosten kemiaa opetetaan lukiossa?

1.1 Millaisissa yhteyksissä lääkeaineet ja rohdokset esiintyvät oppikirjoissa?

1.2 Millaisia kokeellisia töitä lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyy oppikirjoissa?

2. Millaisilla kokeellisilla töillä voidaan tukea mielekästä lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvää kemian opetusta?

Ensimmäiseen kysymykseen on vastattu empiirisellä ongelma-analyysillä eli tarveanalyysillä, joka toteutettiin tutkimalla aineistolähtöisen sisällönanalyysin menetelmällä lukion kemian oppikirjoja. Toiseen kysymykseen on vastattu teoreettisen ongelma-analyysin sekä tarveanalyysin avulla, ja näiden pohjalta tehty kehittämistuotoksena kokeellisia töitä ja työohjeita. Teoreettisessa ongelma-analyysissä tutustuttiin aiempaan tutkimukseen, jota kokeellisesta kemian opetuksesta, kiinnostuksesta sekä kontekstuaalisuudesta on tehty.

Tarveanalyysin pohjalta nousi muutama selkeä tulos siitä, millaisissa yhteyksissä lääkeaineet ja rohdokset esiintyvät lukion kemian oppikirjoissa. Lääkkeet ja lääkeaineet ovat yksi tärkeä konteksti kemian oppikirjoissa. Niihin liittyviä mainintoja on sekä leipätekstissä, kuvateksteissä, tehtävissä että erillisissä lisätietoteksteissä. Maininnat esiintyvät myös monien eri kemian käsitteiden yhteydessä, vaikka painottuvatkin selkeästi orgaanisiin yhdisteisiin sekä reaktiotyyppeihin.

Toisaalta lääkkeisiin ja lääkeaineisiin liittyvät maininnat ovat usein hyvin lyhyitä, eikä niihin liittyvää tietoa juuri syvennetä. Lisäksi lukion kemian oppikirjoista löytyi yksi ainut selvästi rohdoksiin liittyvä alkuperäisilmaisu. Vaikka lääkeaineita käytettiin runsaasti esimerkkeinä leipätekstin ja tehtävien yhteydessä, jäi konteksti usein ohueksi. Monissa tehtävissä tehtävän luonne pysyisi samana, vaikka lääkeaineen tilalle vaihtaisi jonkin toisen yhdisteen. Toisaalta oppikirjojen tehtävänä ei välttämättä edes ole luoda vahvaa tai syvällistä kontekstia. Opettajalla itsellään on myös vastuu tässä.

Kokonaisvaltaisia kuvauksia lääkkeistä ja lääkeaineista oli vähän, rohdoksista ei ollenkaan. Lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten historiaan liittyvistä asioista on tämän tutkimuksen puitteissa luokittelusta johtuen vaikea esittää kattavaa kuvausta. Kun oppikirjoissa

puhuttiin tietyistä lääkkeistä tai lääkeaineista, olivat useimmiten kyseessä kipulääkkeet ja asetyylisalisyylihappo. Nämä ovat kuitenkin oppilaille kaikkien tutuimpia aineita ja siksi niin useasti käytettyjä esimerkkejä lukion kemian oppikirjoissa.

Lääkeaineisiin liittyviä kokeellisia töitä oli vähän ja rohdoksiin liittyviä ei lainkaan. Kaikki kokeelliset työt liittyivät asetyylisalisyylihappoon tavalla tai toisella. Kokeellisten töiden työohjeet olivat perinteisiä ja reseptimäisiä, tutkimuksellisuutta ei esiintynyt. Kokeellisten töiden kontekstit eivät lääkeaineteemaa lukuun ottamatta olleet syvällisiä tai monipuolisia. Kokeellisten töiden yhteydessä ei välttämättä suoraan sanottu, mihin kemian sisältöön ne liittyvät. Kokeellisten töiden vähyyttä voi selittää se, että lääkeaineiden kemia voidaan kokea haastavana niin teorian kuin käytännönkin tasolla. Rohdokset ovat taas hieman tuntemattomampi käsite, minkä vuoksi niitä ei kenties kirjoissa mainita eikä niihin liittyviä kokeellisia töitä ole.

Edellä mainitut tulokset osoittavat sen, miten lääkeaineiden tai rohdosten kemiaa opetetaan kemian oppikirjoissa. Se, vastaako tämä kokonaan todellisuutta on kuitenkin asetettava kyseenalaiseksi. Lukioiden kemian opetuksessa oppikirjalla on varmasti iso rooli, mutta vielä tärkeämmässä on kenties se, mitä luokahuoneessa todella tapahtuu kemian oppitunneilla. Lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten opettamisesta täytyisi vielä tehdä jatkotutkimuksia esimerkiksi kyselemällä opettajilta tai oppilailta käytännön toteutuksesta. Tällä tavoin saataisiin täydentävää tietoa oppikirja-analyysin rinnalle siitä, miten lääkeaineiden ja rohdosten kemiaa opetetaan lukiossa.

Teoreettisen ongelma-analyysin tuloksina selvisi kehittämistuotoksen kehittämisen kannalta oleellisia asioita. Luonnontieteiden ja kemian kiinnostus on laskussa niin Suomessa kuin kansainvälisestikin (Lavonen & Laaksonen, 2009; OECD, 2007). Oppilaat arvostavat kemiaa, mutta eivät koe tarvitsevansa sitä tulevaisuudessa eivätkä näin ollen jatka sen opiskelua. Tutkimustulokset kuitenkin osoittavat, että kiinnostusta voidaan herättää ja tukea ulkopuolisesti oppilaissa erilaisin keinoin (Hidi & Renninger, 2006). Se, muuttuuko tämä niin kutsuttu tilannekohtainen kiinnostus henkilökohtaiseksi kiinnostukseksi, on epävarmaa. Kemian opettajan on kuitenkin tärkeä tiedostaa tämä asia, kun hän suunnittelee kemian opetustaan.

Kokeellisuus koetaan tärkeäksi opetusmenetelmäksi kemianopetuksessa. Kokeellisuuteen liittyy kuitenkin haasteita, jotka useimmat voidaan välttää etukäteissuunnittelulla. Kokeellisuus ei saa jäädä irralliseksi osaksi opetusta. Jos oppilaat eivät itse osaa kytkeä

havaintoja ja teoriaa yhteen, opettajan on autettava heitä siinä. Oppilaan rooli tulisi kokeellisessa työskentelyssä olla aina aktiivinen, joko siten, että oppilas saa itse suunnitella ja toteuttaa tutkimuksen tai opettaja esittää ajattelua aktivoivia kysymyksiä. (Lavonen & Meisalo, 2001; Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013)

Tutkimuksellinen lähestymistapa on yksi tehokas kokeellisuuden muoto, sillä siinä oppilaat pääsevät osallistumaan tutkimuksen tekoon alusta loppuun saakka (Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013). Tutkimuksellisuus voi tuntua oppilaista haastavalta, mutta ehkä hyvällä kontekstin valinnalla oppilaiden kiinnostus ja innostus aihetta kohtaan voisi kasvaa. Kontekstuaalisuus koetaan muutenkin tärkeäksi osaksi kemian opetuksessa (Gilbert, 2006; Bennett, Lubben & Hogarth, 2007), sillä sen avulla voidaan nimenomaan herättää oppilaiden kiinnostusta ainakin tilannekohtaisesti. Kontekstuaalisuuden heikkoutena voidaan kuitenkin pitää kemian käsitteiden jäämistä taka-alalle opetuksessa (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007).

Kehittämistuotoksen suunnittelussa on pyritty huomioimaan kaikki edellä esitetyt tulokset. Tässä tutkimuksessa kehitettiin neljä kokeellista lääkeaineisiin tai rohdoksiin liittyvää työtä ja työohjetta. Ohjeet tullaan julkaisemaan Kemianluokka Gadolinin työohjepankissa (www.kemianluokka.fi/tyoohjeet). Työohjeet on muotoiltu tutkimuksellisuuden periaatteita noudattavaksi ja niihin on tehty myös lääkeaineisiin tai rohdoksiin liittyvä konteksti. Kontekstilla pyritään herättämään oppilaan mielenkiinto ja tutkimuksellisella lähestymistavalla pitämään herännyt kiinnostus yllä. Töiden avulla voi oppilaiden kanssa myös harjoitella tutkimuksen tekoon liittyviä taitoja. Kokeelliset työt tulevat selvästi tarpeeseen, sillä ne tuovat huomattavasti vaihtelua pääasiassa asetyylisalisylihappoon liittyviin töihin. Kehitetystä työstä riippuen ne sopivat toteutettavaksi KE1-, KE2-, KE3- ja työkurssille.

Kehitettyihin kokeellisiin töihin liittyy edelleen muutamia puutteita. Koska kaikki työt ovat kontekstuaalisia, niissä ei painotu kemian käsitteiden oppiminen. Tutkimuksellisuuden taso vaihtelee myös työstä toiseen. Suurin puute ja mahdollisen jatkotutkimuksen aihe on kuitenkin se, että töitä ei ole testattu oppilaiden kanssa. Jos töitä testattaisiin autenttisissa oloissa tavallisten oppilaiden kanssa, saataisiin arvokasta tietoa siitä, saavuttavatko kokeelliset työt niille asetetut tavoitteet. Tämän jälkeen töitä voitaisiin vielä muokata saadun palautteen ja arvioinnin perusteella.

Vaikka kehittämistuotoksen arviointia ei tässä tutkimuksessa olekaan tehty, on silti tuotettu tärkeää tietoa lääkkeiden, lääkeaineiden ja rohdosten opetuksesta. Kemianopettajilla on lisäksi mahdollisuus valita kokeellisiksi töiksi muitakin lääkeaineisiin liittyviä töitä kuin aspiriinisynteesi. Kehitetyt työohjeet on pyritty tekemään mahdollisimman kattaviksi, jotta opettajan olisi mahdollisimman helppo toteuttaa kyseinen työ omien oppilaidensa kanssa. Tämän tutkimuksen myötä on myös mahdollista sisällyttää rohdoksiin ja niiden kemiaan liittyviä aiheita lukion kemian opetukseen. Lisää merkittävyyttä tälle tutkimukselle tuo vielä se, että lääkeaineisiin ja rohdoksiin liittyvät teemat ovat tärkeitä nyky-yhteiskunnassa toimimisen kannalta. Kemianopettajien tehtävänä on kuitenkin kasvattaa nuoria siten, että he ymmärtävät tieteellisten faktojen lisäksi tieteellisen tiedon luonteesta ja 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. Haettu osoitteesta <http://www.tandfonline.com/>.
- Aksela, M. & Juvonen, R. (1999). Kemian opetus tänään. Haettu osoitteesta http://www.oph.fi/download/49150_kemianopetus_tanaan.pdf.
- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York: Longman.
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91(3), 347-370. Haettu osoitteesta <http://onlinelibrary.wiley.com/>.
- Braithwaite, A. & Smith, F. J. (1996). *Chromatographic methods* (5.p.). London: Chapman and Hall.
- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105–121. Haettu osoitteesta <http://www.tandfonline.com/>.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976. Haettu osoitteesta <http://www.tandfonline.com/>.

- Hidi, S. & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127. Haettu osoitteesta <http://www.tandfonline.com/>.
- Hiltunen, R. & Holm, Y. (2012a). Alkaloidit. Teoksessa R. Hiltunen & Y. Holm (toim.), *Farmakognosia* (ss. 279–308). Helsinki: Gaudeamus.
- Hiltunen, R. & Holm, Y. (2012b). Isoprenoidit. Teoksessa R. Hiltunen & Y. Holm (toim.), *Farmakognosia* (ss. 185–242). Helsinki: Gaudeamus.
- Hiltunen, R. & von Schantz, M. (2012). Farmakognosian kuvaus. Teoksessa R. Hiltunen & Y. Holm (toim.), *Farmakognosia* (ss. 3–8). Helsinki: Gaudeamus.
- 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. Haettu osoitteesta <http://pubs.rsc.org/>.
- Hofstein, A., Kipnis, M. & Abrahams, I. (2013). How to learn in and from the chemistry laboratory. Teoksessa I. Eilks & A. Hofstein (toim.), *Teaching Chemistry - A Studybook* (s. 153-177). Rotterdam: Sense Publishers.
- IUPAC. (1997). *Compendium of Chemical Terminology (the "Gold Book")* (2. p.). Haettu osoitteesta <http://goldbook.iupac.org/index.html>.
- Kaufman, T. S. & Rúveda, E. A. (2005). The quest for quinine: Those who won the battles and those who won the war. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(6), 854–885. Haettu osoitteesta <http://onlinelibrary.wiley.com>.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86. Haettu osoitteesta <http://www.tandfonline.com/>.

- Kumar, V., Mahajan, A. & Chibale, K. (2009). Synthetic medicinal chemistry of selected antimalarial natural products. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17(6), 2236–2275. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com>
- L 4.11.2005/853. Lääkelaki. (1987). Sivustossa Finlex® - Ajantasainen lainsäädäntö. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870395> Viitattu 16.1.2014
- Langenheim, J. H. (2003). *Plant resins: Chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany*. Portland, OR: Timber Press.
- Lavonen, J., Juuti, K., Meisalo, V., Uitto, A. & Byman, R. (2005) Luonnontieteiden opetuksen kiinnostavuus peruskoulussa. *Teknoliigateollisuus 2005*, s.5-30. Haettu osoitteesta <http://www.teknoliigateollisuus.fi/fi/materiaalipankki/?categoryHeader=11>.
- Lavonen, J. & Laaksonen, S. (2009). Context of teaching and learning school science in Finland: Reflections on PISA 2006 results. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 922-944. Haettu osoitteesta <http://onlinelibrary.wiley.com>.
- Lavonen, J. & Meisalo, V. (2001). Kokeellisuuden työtavat. Haettu osoitteesta <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/index.htm>.
- Lääketeollisuus ry. (2013a). Merkittävimpien avohoidon itsehoitolääkkeiden tukkumyynti apteekkeille ja vähittäiskaupoille 2013. Haettu osoitteesta http://www.laaketeollisuus.fi/etusivu/tilastot_ja_raportit/suomen_laakemarkkinat. Viitattu 20.3.2014.
- Lääketeollisuus ry. (2013b). 10 myydyintä valmistetta Suomessa 2013. Haettu osoitteesta http://www.laaketeollisuus.fi/etusivu/tilastot_ja_raportit/suomen_laakemarkkinat. Viitattu 20.3.2014.
- McMurry, J. (2008). *Organic chemistry* (7.p.). Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole, cop.

- OECD. (2007). PISA 2006 science competencies of tomorrow's world: Volume I: Analysis. A profile of student engagement in science. Haettu osoitteesta http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2006_9789264040014-en.
- O'Neil M. J., Heckelman P. E., Koch C. B. & Roman K. J. (toim.). (2006). *The Merck index: An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals* (14.p.). Whitehouse Station, NJ: Merck.
- Opetushallitus. (2003). Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003: Nuorille tarkoitettun lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- Opetushallitus. (2004). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004: Oppivelvollisille tarkoitettun opetussuunnitelman perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- Rautio, M., Sipponen, A., Peltola, R., Lohi, J., Jokinen, J. J., Papp, A., Carlson, P. & Sipponen, P. (2007). Antibacterial effects of home-made resin salve from Norway spruce (*Picea abies*). *APMIS*, 115(4), 335–340. Haettu osoitteesta <http://onlinelibrary.wiley.com>.
- Saarinen, H. & Lajunen, L. H. J. (2004). *Analyttisen kemian perusteet* (4. muuttamaton p.). Oulu: Oulun yliopistopaino.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi* (6. uudistettu p.). Helsinki: Tammi.
- Tuominen, R. K. & Männistö, P. T. (2013). Nukleinihappoihin vaikuttavat mikrobilääkkeet. Teoksessa M. Koulu & E. Mervaala (toim.), *Farmakologia ja toksikologia* (ss. 919–930). Kuopio: Kustannusosakeyhtiö Medicina.

- Tuomisto, J. & Koulu, M. (2013). Johdanto farmakologiaan. Teoksessa M. Koulu & E. Mervaala (toim.), *Farmakologia ja toksikologia* (ss. 19–26). Kuopio: Kustannusosakeyhtiö Medicina.
- Vogel, A. I. (kirj.), Furniss, B. S., Hannaford, A. J., Smith, P. W. G. & Tatchell, A. R. (tark.) (1989). *Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry*. Harlow: Longman.
- Wolf, S. J. & Fraser, B. J. (2008). Learning environment, attitudes and achievement among middle-school science students using inquiry-based laboratory activities. *Research in Science Education*, 38, 321-341. Haettu osoitteesta <http://link.springer.com/>.

Liitteet

Liite 1.

Tarveanalyysissä on tutkittu seuraavat oppikirjat:

- A1 Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M, Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. & Mäkelä, R. (2004). *Kemisti 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia* (1.p). Porvoo: WSOY
- A2 Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M, Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. & Mäkelä, R. (2005). *Kemisti 2 - Kemian mikromaailma* (1.p). Porvoo, WSOY.
- A3 Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K-M. *Kemisti 3 - Reaktiot ja energia* (1.p). Helsinki: WSOY.
- A4 Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M. (2006). *Kemisti 4 - Metallit ja materiaalit* (1.p). Helsinki: WSOY.
- A5 Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M. (2007). *Kemisti 5 - Reaktiot ja tasapaino* (1.p). Helsinki: WSOY.
- B1 Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2005). *Mooli 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia* (1.p). Helsinki: Otava.
- B2 Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2005). *Mooli 2 - Kemian mikromaailma* (1.p). Helsinki: Otava.
- B3 Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2005). *Mooli 3 - Reaktiot ja energia* (1.p). Helsinki: Otava.
- B4 Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2006). *Mooli 4 - Metallit ja materiaalit* (1.p). Helsinki: Otava.
- B5 Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2007). *Mooli 5 - Reaktiot ja tasapaino* (1.p). Helsinki: Otava.

- C1 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2004). *Neon 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Edita.
- C2 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2005). *Neon 2 - Kemian mikromaailma*. Helsinki: Edita.
- C3 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2006). *Neon 3 - Reaktiot ja energia*. Helsinki: Edita.
- C4 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2006). *Neon 4 - Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Edita.
- C5 Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2007). *Neon 5 - Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Edita.
- D1 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2007). *Reaktio 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia* (1.-4.p). Helsinki: Tammi.
- D2 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2005). *Reaktio 2 - Kemian mikromaailma*. Helsinki: Tammi.
- D3 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2006). *Reaktio 3 - Reaktiot ja energia* (1.-2.p). Helsinki: Tammi.
- D4 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2006). *Reaktio 4 - Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Tammi.
- D5 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2007). *Reaktio 5 - Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Tammi.

Liite 2.

Tässä taulukossa on kirjoista poimitut alkuperäisilmaukset luokiteltuna sen mukaan, mikä niiden paikka tekstissä on.

Kirja	Johdanto	Leipäteksti	Kuvateksti	Tehtävät	Lisätieto	Kokeellinen työ	Kappale	Yht./Kirja
A1	0	3	2	1	5	0	0	11
A2	1	2	0	0	0	0	0	3
A3	1	0	0	3	0	0	1	5
A4	0	3	1	0	0	0	0	4
A5	0	0	2	1	1	0	0	4
B1	0	7	4	3	3	1	0	18
B2	0	5	2	2	3	0	0	12
B3	0	0	2	1	0	1	0	4
B4	0	1	0	2	1	0	0	4
B5	0	0	1	0	0	0	0	1
C1	3	4	2	5	3	1	0	18
C2	1	2	1	2	3	0	0	9
C3	1	1	1	0	0	0	0	3
C4	1	0	0	0	0	0	0	1
C5	0	0	0	1	0	0	0	1
D1	0	2	2	5	1	0	0	10
D2	0	3	2	5	1	0	0	11
D3	0	1	2	5	6	1	0	15
D4	0	2	1	0	1	0	0	4
D5	0	0	0	5	2	0	0	7
Yht.	8	36	25	41	30	4	1	

Liite 3.

Tässä taulukossa esitetään alkuperäisilmaukset luokiteltuna kontekstien luonteen mukaan.

	Konteksti kemian käsitteen suorana sovelluksena	Käsitteen ja sovelluksen välinen vuorovaikutus	Henkilötason tarinat	Konteksti, joka huomioi sosiaaliset olosuhteet	Monen eri kontekstin luonnetta
Alkuperäis-ilmausten lukumäärä	128	3	1	0	13

Liite 4.

Tässä taulukossa alkuperäisilmaisut luokiteltu sen mukaan, minkä kemian sisällön yhteydessä ne ovat.

Kirja	Ainemäärä, konsentraatio	Arjen kemia, historia, kemian ja lääkekemian sovelluksia	Hapot, emäkset, neutraloituminen, puskuriliuokset	Kemiallinen reaktio	Kemialliset sidokset	Molekyylien kolmiulotteinen rakenne, isomeria	Muut	Orgaaniset yhdisteet, typpiyhdisteet
A1	2	5	0	2	0	0	0	2
A2	0	0	0	0	0	3	0	0
A3	0	1	0	4	0	0	0	1
A4	0	0	0	0	0	0	4	0
A5	0	0	2	0	0	0	2	0
B1	1	12	1	0	0	0	0	4
B2	0	1	0	0	2	8	1	0
B3	0	0	0	4	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0	3	1
B5	0	0	1	0	0	0	0	0
C1	1	7	0	0	0	0	0	11
C2	1	0	0	0	0	6	1	0
C3	0	0	1	2	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	1	0
C5	0	0	1	0	0	0	0	0
D1	2	2	1	0	0	0	2	2
D2	1	0	0	0	4	4	0	2
D3	0	0	0	15	0	0	0	0
D4	0	2	0	0	0	0	0	2
D5	0	0	7	0	0	0	0	0
Yht.	8	30	14	27	6	21	14	25

Liite 5.

Ensimmäisessä taulukossa ovat ne alkuperäismaininnat luokiteltuina, joissa yleisesti lääkkeistä ja lääkeaineista. Toisessa taulukossa ovat luokiteltuna ne alkuperäismaininnat, joissa mainittu nimeltä jokin lääke, lääkeaine tai rohdos.

Kirja	Historia	Käyttö ja vaikutus	Valmistus ja kehittäminen	Muut	Teollisuus
A1	1	3	3	0	2
A2	0	0	1	0	0
A3	2	2	2	0	0
A4	0	2	1	0	0
A5	0	1	1	0	0
B1	1	2	3	0	3
B2	0	0	5	1	0
B3	0	0	1	0	0
B4	0	0	1	0	0
B5	0	0	0	0	0
C1	2	2	2	1	2
C2	0	4	1	0	1
C3	0	1	0	0	0
C4	0	1	0	0	0
C5	0	0	0	0	0
D1	0	3	2	1	0
D2	0	2	1	1	1
D3	0	1	1	0	1
D4	0	0	0	1	1
D5	0	1	1	0	0
Yhteensä	6	25	26	5	11

Kirja-sarja	Antibiootit	Kipu-lääkkeet	Mieliala- ja masennus-lääkkeet	Muut	Närästys-lääkkeet	Sydän, kolesteroli, verenpaine
A-sarja	1	5	1	5	0	1
B-sarja	1	13	1	7	1	2
C-sarja	4	5	1	8	2	1
D-sarja	3	17	2	9	2	3
Yht.	9	40	5	29	5	7

Liite 6.

Tässä liitteessä on esitetty tutkielman CD:llä olevat kehitetyt työohjeet.

Pihkan eristäminen kävyistä (oppilas)

Olet kesätyöntekijänä tutkimuslaitoksessa, joka on juuri alkanut tutkia havupuiden pihkaa lääkinnällisissä tarkoituksissa. Ohjaajasi haluaa kehittää jonkin kätevän tavan, jolla kävyistä voitaisiin eristää pihkaa tutkimustarkoituksiin. Pääset avustamaan häntä tässä projektissa. Ohjaajallasi on jo tiedossa menetelmä, jolla voidaan tarkistaa, onnistuiko pihkan eristäminen kävyistä. Sinun tehtäväsi on nyt keksiä sopiva kokeellinen menetelmä, jolla pihka saataisiin kävyistä talteen!

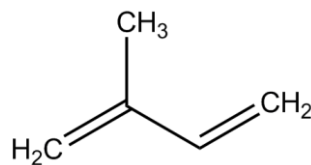
TAUSTAA

Oletko koskaan miettinyt, mitä pihka on? Pihkalla on tärkeä merkitys puulle. Jos esimerkiksi puun kuori rikkoutuu eli puuhun tulee haava, alkaa siitä erittyä pihkaa. Haavasta erittynyt pihka suojaa puuta erilaisilta taudinaiheuttajilta.



Kuva: Evelina Ander,
<https://www.flickr.com/photos/evelinaa/5646933040/sizes/l/>

Havupuiden pihka sisältää terpeenejä. Terpeenit ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat muodostuneet isopreeniyksiköistä. Isopreeniyksiköiden lukumäärä vaihtelee eri terpeeneissä ja ne jaetaan ryhmiin sen perusteella. Esimerkiksi monoterpeenit ovat muodostuneet kahdesta isopreeniyksiköstä. Terpeenejä on sekä kasvi- että eläinkunnassa.

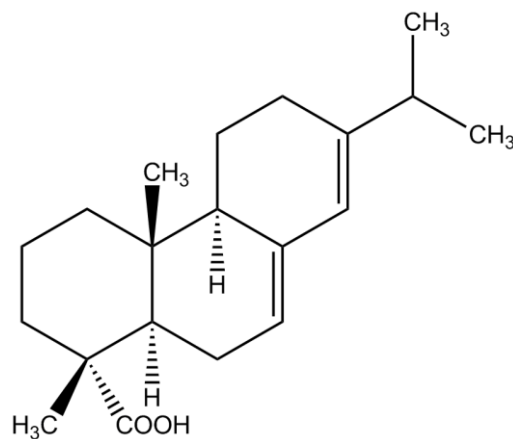


Isopreeniyksikkö eli 2-metyyli-1,3-butadieeni

Pihkasta noin 20–50 % on helposti haihtuvia monoterpeenejä. Jos kävelet havumetsässä lämpimänä päivänä, saatat tuntea havupuiden tuoksun. Jouluna taas aidosta joulukuusesta leviää taloon ominainen tuoksu. Tuoksu johtuu lämmön vaikutuksesta haihtuneista monoterpeeneistä.

Helposti haihtuvat monoterpeenit ovat myös luonnon omaa ”saastetta”, sillä ilmakehässä ne voivat saavuttaa suuria pitoisuuksia. Ne kuuluvat niin kutsuttuihin VOC-yhdisteisiin (*volatile organic compound*, helposti haihtuvat orgaaniset yhdisteet), joiden päästöjä ihmisen aiheuttamista lähteistä pyritään hillitsemään.

Pihkassa on myös yhdisteitä, jotka eivät haihdu helposti. Näitä ovat pääasiassa diterpeenit, jotka ovat muodostuneet neljästä isopreeniyksiköstä. Eräs yleinen diterpeni mäntykasveissa on abietiinihappo.



Abietiinihappo

Havupuiden pihkalla on monenlaisia käyttökohteita. Tuoksuvia yhdisteitä voidaan käyttää esimerkiksi hajusteteollisuudessa. Jousisoittimien jousiin hangataan paremman soinnin aikaansaamiseksi hartsia, joka on kovetettua pihkaa. Pihkaa on käytetty myös kansanparantajien keskuudessa Suomen Lapissa. Puista kerättyä pihkaa keitettiin voin tai sianihran kanssa, jolloin

saatiin pihkasalvaa. Pihkasalvaa käytettiin ihosairauksien ja haavojen hoidossa.

Pihkavoidetta (esim. Abilar® 10 % pihkaa) löytyy nykyään apteekeista ja se on tarkoitettu haavojen hoitoon. Saatavilla on myös pihkalakkaa (esim. Abicin® 30 % pihkaa), jota käytetään kynsisienen hoidossa. Vaikuttavana aineena tutkijat pitävät pihkassa olevia antibakteerisia hartsihappoja, joihin kuuluu esimerkiksi abietiinihappo.

ETUKÄTEISTEHTÄVÄ

Mitä havupuiden pihka on?

Mitä funktionaalisia ryhmiä on abietiinihapossa? Mitä voit päätellä sen liukoisuudesta esimerkiksi veteen?

Pihkavoide on rohdostuote. Ota selvää, mitä eroa on lääkkeellä, lääkeaineella ja rohdoksella.

Missä pihka sijaitsee puussa? Entä missä pihka voisi sijaita kävyssä?

Mitä eri kemian erotusmenetelmiä tiedät?

TYÖOHJE

Suunnittele koejärjestely, jolla voisit saada eristettyä kävystä pihkaa. Huomioi työturvallisuus suunnitelmaa tehdessäsi.

Eristämisen onnistuminen tarkistetaan ohutkerroskromatografisesti vertaamalla puhtaaseen abietiinihappoon.

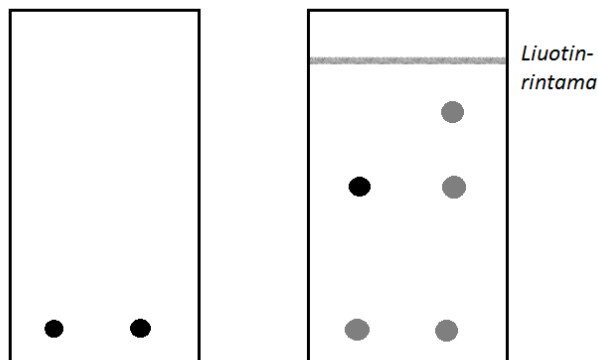
Ohutkerroskromatografinen tunnistus:

Eluenttiin eli ajoliuokseen tarvitaan *n*-heksaania ja etyyliasettaattia 4:1 (esim. 40 ml *n*-heksaania ja 10 ml etyyliasettaattia). Kaada dekantterilasin pohjalle ajoliuosta 0,5 cm kerros.

Leikkaa TLC-levystä noin 2 cm x 5 cm kokoinen suorakaiteenmuotoinen pala. Käsittele levyä varoen! Älä koske paljain käsin siihen, ettei levyn pintaan siirry esimerkiksi rasvaa iholta.

Valmista abietiinihapposta standardi, johon voit verrata eristettyjä pihka-aineita. Ota pieni spaattelin kärjellinen abietiinihappoa ja lisää siihen pisaroittain etyyliasettaattia niin, että se juuri ja juuri liukenee.

Siirrä tutkittavat näytteet levyille. Kasta kapillaariputki abietiinihappostandardiin ja paina sitä muutaman kerran levyn alaosaan, vähintään 0,5 cm päähän reunoista. Kasta toinen kapillaariputki pihkaliuokseen ja paina sitä noin 10 kertaa levyn toiseen laitaan. Anna täplien kuivahtaa hieman, ennekuin painat kapillaariputken uudelleen täsmälleen samaan kohtaan levyä. Näin näytetäplät eivät kasva liian isoiksi.



Vasemmallalla levy ennen ajoa ja oikealla ajon jälkeen.

Laita levy ajokammioon ja anna ajoliuottimen nousta melkein levyn yläreunaan saakka. Ota levy kammioista pois pinseteillä ja anna sen kuivua. Aseta levy UV-valoon, niin pystyt havainnoimaan tutkittavat aineet. Voit myös merkitä täplien ääriiviivat lyijykynällä.

HUOM! Pihkaa voidaan käyttää vielä työssä ”Pihkan antibakteeriset ominaisuudet”.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

Onnistuitko eristämään pihkaa kävyistä? Miten voit perustella vastauksesi?

Muuttaisitko koejärjestelyä työn testaamisen jälkeen? Miten ja miksi?

Pihkan eristäminen kävyistä (opettaja)

KOHDERYHMÄ: Työ soveltuu lukiolaisille. Työn voi toteuttaa kursseilla KE1, KE2 tai työkurssilla.

KESTO: Kokeellinen osuus kestää 90 min.

TAVOITE: Työn tavoitteena on oppia suunnittelemaan koejärjestely, jossa hyödynnetään aiempaa tietoa ja kokemusta uutosta sekä aineiden liukoisuuksista.

AVAINSANAT: uutto - pihka - abietiinihappo - TLC - liukoisuus

Olet kesätyöntekijänä tutkimuslaitoksessa, joka on juuri alkanut tutkia havupuiden pihkaa lääkinnällisissä tarkoituksissa. Ohjaajasi haluaisi kehittää jonkin kätevän tavan, jolla kävyistä voitaisiin eristää pihkaa tutkimustarkoituksiin. Pääset avustamaan häntä tässä projektissa. Ohjaajallasi on jo tiedossa menetelmä, jolla voidaan tarkistaa, onnistuiko pihkan eristäminen kävyistä. Sinun tehtäväsi on nyt keksiä sopiva kokeellinen menetelmä, jolla pihka saataisiin kävyistä talteen!

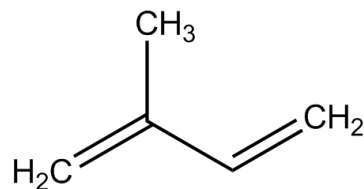


Kuva: Evelina Ander,
<https://www.flickr.com/photos/evelinaa/5646933040/sizes/l/>

TAUSTAA

Oletko koskaan miettinyt, mitä pihka on? Pihkalla on tärkeä merkitys puulle. Jos esimerkiksi puun kuori rikkoutuu eli puuhun tulee haava, alkaa siitä erittyä pihkaa. Haavasta erittynyt pihka suojaa puuta erilaisilta taudinaiheuttajilta.

Havupuiden pihka sisältää terpeenejä. Terpeenit ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat muodostuneet isopreeniyksiköistä. Isopreeniyksiköiden lukumäärä vaihtelee eri terpeeneissä ja ne jaetaan ryhmiin sen perusteella. Esimerkiksi monoterpeenit ovat muodostuneet kahdesta isopreeniyksiköstä. Terpeenejä on sekä kasvi- että eläinkunnassa.

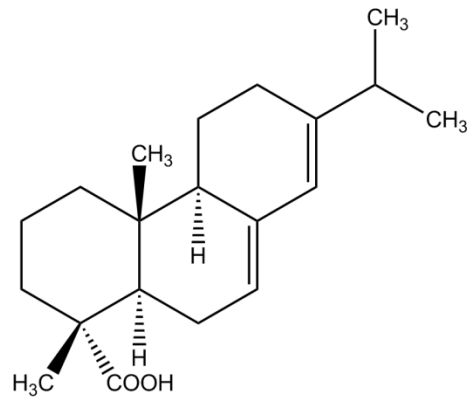


Isopreeniyksikkö eli 2-metyyli-1,3-butadieeni

Pihkasta noin 20–50 % on helposti haihtuvia monoterpeenejä. Jos kävelet havumetsässä lämpimänä päivänä, saatat tuntea havupuiden tuoksun. Jouluna taas aidosta joulukuusesta leviää taloon ominainen tuoksu. Tuoksu johtuu lämmön vaikutuksesta haihtuneista monoterpeeneistä.

Helposti haihtuvat monoterpeenit ovat myös luonnon omaa ”saastetta”, sillä ilmakehässä ne voivat saavuttaa suuria pitoisuuksia. Ne kuuluvat niin kutsuttuihin VOC-yhdisteisiin (*volatile organic compound*, helposti haihtuvat orgaaniset yhdisteet), joiden päästöjä ihmisen aiheuttamista lähteistä pyritään hillitsemään.

Pihkassa on myös yhdisteitä, jotka eivät haihdu helposti. Näitä ovat pääasiassa diterpeenit, jotka ovat muodostuneet neljästä isopreeniyksiköstä. Eräs yleinen diterpeni mäntykasveissa on abietiinihappo.



Abietiinihappo

Havupuiden pihkalla on monenlaisia käyttökohteita. Tuoksuvia yhdisteitä voidaan käyttää esimerkiksi hajusteteollisuudessa. Jousisoittimien jousiin hangataan paremman soinnin aikaansaamiseksi hartsia, joka on kovetettua pihkaa. Pihkaa on käytetty myös kansanparantajien keskuudessa Suomen Lapissa. Puista kerättyä pihkaa keitettiin voin tai sianihnan kanssa, jolloin saatiin pihkasalvaa. Pihkasalvaa käytettiin ihosairauksien ja haavojen hoidossa.

Pihkavoidetta (esim. Abilar® 10 % pihkaa) löytyy nykyään apteekeista ja se on tarkoitettu haavojen hoitoon. Saatavilla on myös pihkalakkaa (esim. Abicin® 30 % pihkaa), jota käytetään kynsisienen hoidossa. Vaikuttavana aineena tutkijat pitävät pihkassa olevia antibakteerisia hartsihappoja, joihin kuuluu esimerkiksi abietiinihappo.

ETUKÄTEISTEHTÄVÄ

Mitä havupuiden pihka on?

Havupuiden pihka on muodostunut orgaanisista yhdisteistä, joita kutsutaan terpeeneiksi.

Mitä funktionaalisia ryhmiä on abietiinihappossa? Mitä voit päätellä sen liukoisuudesta esimerkiksi veteen?

Karboksyyliryhmä, kaksoissidoksia ja rengasrakenteita.

Abietiinihappo ei liukene veteen, koska vesi on poolinen, mutta abietiinihappossa ei ole

riittävän voimakkaasti poolisia alueita. Abietiinihappo liukenee esimerkiksi asetoniin.

Pihkavoide on rohdostuote. Ota selvää, mitä eroa on lääkkeellä, lääkeaineella ja rohdoksella.

Lääkeaine on jokin tunnettu molekyyli, joka toimii lääkkeessä vaikuttavana aineena. Lääke voi sisältää vaikuttavien aineiden lisäksi esimerkiksi imeytymiseen tai makuun vaikuttavia aineita. Rohdokset ovat luonnosta saatavia aineita, esimerkiksi kuivattuja kasvin osia. Rohdoksia voidaan käyttää lääkinnällisiin tarkoituksiin. Rohdoskasvista voidaan myös esimerkiksi uuttaa erilaisia öljyjä, jotka ovat edelleen rohdoksia.

Missä pihka sijaitsee puussa? Entä missä pihka voisi sijaita kävyssä?

Pihkaa on puun rungossa kulkevissa pihkatiehyissä, joissa pihka myös erittyy. Pihkaa on käytännössä koko kävyssä, mutta siihen pääsee käsiksi rikkomalla kävyn rakenteen.

Mitä eri kemian erotusmenetelmiä tiedät?

Tislaus, uutto, ...

REAGENSIT

- (männyn) vihreitä käpyjä
- asetoni
- *n*-heksaani
- abietiinihappo
- etyyliasetaatti

TARVIKKEET

- sivuleikkurit
- huhmare ja survin
- 25 ml dekantterilasi
- pieni magneettisauva ja magneettisekoittaja
- pasteur-pipetti
- kromatografia-ajoastia (tai dekantterilasi ja kellolasi)
- TLC-levy
- kapillaariputkia
- pinsetit
- UV-valo

TYÖOHJE

Ratkaistava ongelma: Suunnittele koejärjestely, jolla voisit saada eristettyä kävystä pihkaa. Huomioi työturvallisuus suunnitelmaa tehdessäsi.

Pihkan eristäminen:

Valitse yksi noin 5 gramman painoinen, mahdollisimman vihreä käpy. Leikkaa käpy pieniin osiin. Käpyrouhetta voi halutessaan hienontaa vielä huhmareessa, johon on lisätty 10 ml asetonia.

Lisää käpyrouhe ja mahdollinen asetoni keitinlasiin. Mikäli asetonia on haihtunut tai sitä ei ole vielä käytetty, lisää *n*-heksaania ja asetonia 1:1 niin, että käpyrouhe peittyy liuottimilla. Lisää magneettisauva ja aloita sekoitus. Varmista, että magneetti pyörii tasaisesti eikä sekoitus ole liian voimakas. Astia on hyvä peittää esimerkiksi kellolasilla. Anna olla sekoituksessa n. 1 tunti.

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja – hanskat. Työ on tehtävä **vetokaapissa**.

Asetoni ja **etyyliasettaatti** ovat helposti syttyviä, silmiä ärsyttäviä ja ihoa kuivattavia aineita. Höyryjen hengittämistä tulee välttää.

***n*-heksaani** on helposti syttyvä, aiheuttaa ihoärsytystä ja saattaa vaurioittaa pitkäaikaisessa käytössä elimiä. On ehdottomasti vältettävä höyryjen hengittämistä! Heksaani on myrkyllistä vesieliöille.

Abietiinihappo voi aiheuttaa ihoärsytystä. Pölyn hengittämistä on vältettävä.

Huuhtele roiskeet heti runsaalla vedellä! Tarvittaessa lääkäriin.

Erottele kiinteä jäte nestemäisestä. Kiinteä jäte hävitetään sekajätteen mukana. Liuosjätteet kerätään orgaanisiin liuottimiin.

Erottele käpyrouhe liuottimesta esimerkiksi dekanttoimalla tai pipetillä. Liuottimessa pitäisi olla nyt liunneena kävyn pihka-aineet.

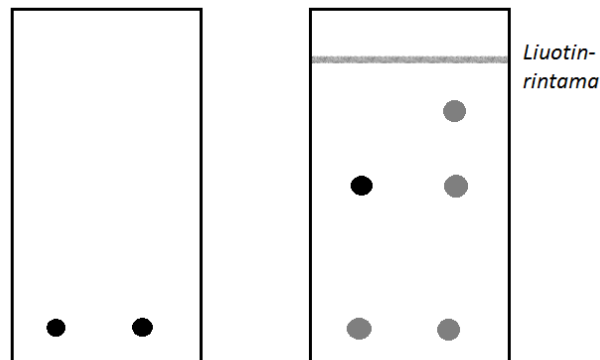
Ohutkerroskromatografinen tunnistus:

Eluenttiin eli ajoliuokseen tarvitaan *n*-heksaania ja etyyliasettaattia 4:1 (esim. 40 ml *n*-heksaania ja 10 ml etyyliasettaattia). Kaada dekantterilasin pohjalle ajoliuosta 0,5 cm kerros.

Leikkaa TLC-levystä noin 2 cm x 5 cm kokoinen suorakaiteenmuotoinen pala. Käsittele levyä varoen! Älä koske paljain käsin siihen, ettei levyn pintaan siirry esimerkiksi rasvaa iholta.

Valmista abietiinihaposta standardi, johon voit verrata eristettyjä pihka-aineita. Ota pieni spaattelin kärjellinen abietiinihappoa ja lisää siihen pisaroittain etyyliasettaattia niin, että se juuri ja juuri liukenee.

Siirrä tutkittavat näytteet levyille. Kasta kapillaariputki abietiinihappostandardiin ja paina sitä muutaman kerran levyn alaosaan, vähintään 0,5 cm päähän reunoista. Kasta toinen kapillaariputki pihkaliuokseen ja paina sitä noin 10 kertaa levyn toiseen laitaan. Anna täplien kuivahtaa hieman, ennekuin painat kapillaariputken uudelleen täsmälleen samaan kohtaan levyä. Näin näytetäplät eivät kasva liian isoiksi.



Vasemmallalla levy ennen ajoa ja oikealla ajon jälkeen.

Laita levy ajokammioon ja anna ajoliuottimen nousta melkein levyn yläreunaan saakka. Ota levy kammioista pois pinseteillä ja anna sen kuivua.

Aseta levy UV-valoon, niin pystyt havainnoimaan tutkittavat aineet. Voit myös merkitä täplien ääriiviivat lyijykynällä.

HUOM! Pihkaa voidaan käyttää vielä työssä ”Pihkan antibakteeriset ominaisuudet”.

Työn ohjaajalle: Jos käpyrouhetta on hienonnettu asetonissa, voi asetoniliuoksesta mahdollisesti jo ajaa TLC:n. On tärkeää kuitenkin painottaa, ettei kannata heittää käpyrouhetta tai uuttoliuotinta menemään, ennen kuin on nähnyt tulokset TLC:llä. Jos TLC antaa heikon tuloksen, voi käpyrouheen uuttamista jatkaa vielä sekoituksessa.

Työn voi jakaa osiin ja toteuttaa eri päivinä. On kuitenkin huomattava, että terpeenit, erityisesti abietiinihappo hajoavat ajan kanssa, joten turhaa viivytelyä on vältettävä.

Myös standardina käytettävä abietiinihappo tulee aina säilyttää jääkaapissa valolta suojattuna ilmatiiviissä astiassa.

Eluentista riittää useampaan kammioon ja kammion koosta riippuen siinä voidaan ajaa useita TLC-levyjä kerralla.

Vihreitä käpyjä on puissa kesällä. Työtä on tähän mennessä testattu ainoastaan männynkävyillä, mutta esimerkiksi apteekin pihkavoiteessa on kuusen pihkaa. Ei pitäisi olla syitä, jotka estävät myös vihreiden kuusen käpyjen käytön työssä.



Kuvassa TLC-levy, jossa näytetäplät on värjätty kastamalla levy rikkihappoon ja sen jälkeen kuumennettu lämpölevyllä varovasti.

Näytetäplät vasemmalta oikealle:

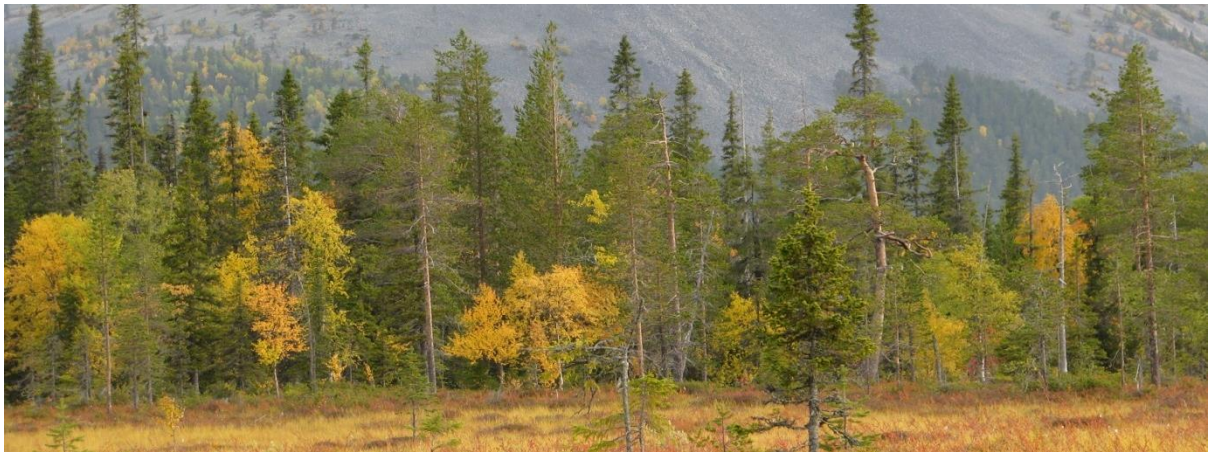
abietiinihappo, dehydroabietiinihappo, ruskeasta (vanhasta) kävystä saatu uutis ja vihreästä kävystä saatu uutis.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

Onnistuitko eristämään pihkaa kävyistä? Miten voit perustella vastauksesi?

Muuttaisitko koejärjestelyä työn testaamisen jälkeen? Miten ja miksi?

Pihkan antibakteeriset ominaisuudet (oppilas)



Maisema Lapista

<https://www.flickr.com/photos/pekkaja/9902107583/sizes/o/>

Kuva: Pekka Järveläinen,

Biologianopettaja kertoo teille, että Lapissa on jo vuosisatojen ajan käytetty kuusen pihkaa haavojen ja ihosairauksien hoidossa. Pihkaa on kerätty puista ja keitetty voin tai sianihran kanssa, ja näin saatu pihkasalvaa. Salvaa on sivelty haavan päälle ja peitetty kankaalla. ”Jokin aika sitten tutkijat ja lääkärit tutkivat pihkaa ja sen ominaisuuksia haavojen hoidossa. He ovat raportoineet hyviä tuloksia laboratoriossa valmistetusta pihkavoiteesta. Heidän mukaansa pihkavoiteella voidaan parantaa vaikeitakin haavaumia, joihin muut hoitokeinot eivät ole tepsineet,” kertoo opettaja.

Kaverisi ei kuitenkaan usko, että pihkasta voisi olla apua haavojen hoidossa. Miten voisit tutkia, onko pihkasta todella bakteerien kukistajaksi?

TAUSTAA

Mikäli epäillään tiettyjä sairauksia, kuten esimerkiksi angiinaa, otetaan usein niin kutsuttu nieluviiljely. Hieman epämukavalta tuntuvaan toimenpiteeseen kuuluu se, että hoitohenkilökunnan edustaja ottaa pitkällä puisella pumpulitikulla näytteen nielustasi. Muutaman päivän kuluttua saat yleensä

puhelinsoitolla selville, oliko sinulla kyseistä tautia vai ei, ja mitkä ovat jatkotoimenpiteet.

Pelkkä pumpulitikku ei kuitenkaan kerro, onko elimistössäsi taudin aiheuttavia bakteereja. Pumpulipuikkoon tarttuneet bakteerit levitetään sopivalle kasvualustalle ja niiden annetaan lisääntyä. Tietyn ajan kuluttua voi asiaan perehtynyt henkilö todeta, onko nielustasi löytynyt tulehduksen aiheuttanut bakteeri.

Bakteerien kasvatukseen käytetään agarია, joka veteen sekoitettuna muodostaa hyytelön. Agar levitetään tasaiseksi kerrokseksi petrimaljaan ja jähmetyttyään se on valmis bakteerien viljelyä varten.

Agar-maljoilla voidaan testata myös bakteerien vastetta antibiootteihin tai muihin antibakteerisiin aineisiin. Agar-maljalle lisätään tunnettu määrä tiettyä bakteeria. Tämän jälkeen siihen voidaan asettaa yksi tai useampia suodatinpaperikiekköjä, joihin on lisätty eri antibiootteja. Malja laitetaan inkubaattoriin päiväksi tai pariiksi. Inkubaattori on bakteeriviljelykaappi, jonka olosuhteita (lämpötila, ilmankosteus jne.) voidaan säädellä tarkasti.

Jos kiekon ympärille on muodostunut vyöhyke, jossa bakteeri ei kasva, voidaan päätellä, että antibiootilla on vaikutus bakteeriin. Tätä aluetta kutsutaan inhibioivyöhykkeeksi ja sen halkaisija voidaan mitata ja vertailla eri antibioottien vaikutusta. Esimerkiksi sairaaloissa voidaan tällä tavoin määrittää, mitä antibioottia potilaalle olisi järkevin antaa.



Eräiden antibioottien vaikutus *Staphylococcus aureus* -bakteerin kasvuun.

Kuva: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Antibiootti>

ETUKÄTEISTEHTÄVÄ

Mitä asioita tulee ottaa huomioon, kun otetaan bakteerinäytettä esimerkiksi pumpulipuikolla?

Mitä tulee ottaa huomioon bakteeriviljelyä tehdessä?

Mihin voisit kotona tai koulussa laittaa bakteerienkasvatusalustat kasvamaan?

Mistä voisit kotona tai koulussa ottaa näytteitä, jotka sisältäisivät varmasti paljon bakteereja?

REAGENSIT

- pihkautos (saadaan kokeellisella työllä ”Pihkan eristäminen kävyistä”)
- tekninen etanoli tai dietyylieetteri

TARVIKKEET

- tisluslaitteisto
- agar-maljoja eli kannellisia petrimaljoja, joissa ravintoagar-kasvualusta
- pasteur-pipetti
- pinsetit
- vanupuikkoja
- suodatinpaperikiekkkoja (Grade AA discs)
- hiustenkuivaaja
- tussi
- teippi

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja – hanskat. Tislaus on tehtävä vetokaapissa, samoin kuin eetterin käsittely.

Pihkautos on liuotettu **asetoniin** ja **heksaaniin**. Ihokosketusta ja höyryjen hengittämistä on vältettävä.

Etanoli on helposti syttyvä. Höyryjen hengittämistä on vältettävä.

Dietyylieetteri on erittäin helposti syttyvä nesteenä ja höyrynä. Höyryjen hengittämistä tulee välttää.

Huuhtelee roiskeet heti runsaalla vedellä! Tarvittaessa lääkäriin.

Liuosjätteet kerätään orgaaniseen liuosjätteeseen.

Agarmaljat voidaan hävittää sekajätteeseen kiinni teipattuina ja muovipussiin käärittynä.

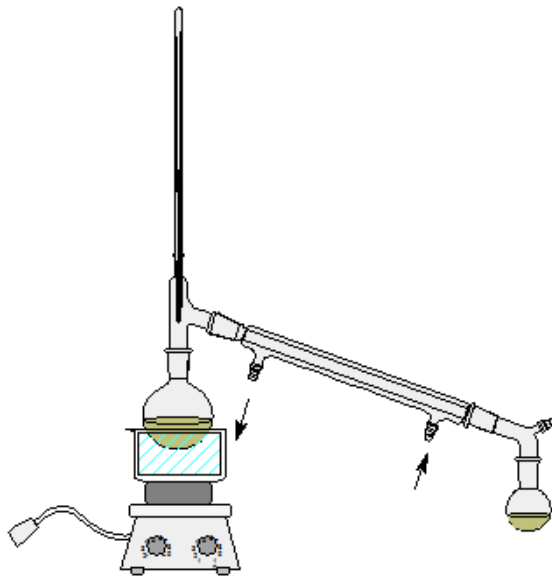
TYÖOHJE

Ratkaistava ongelma: Miten voit bakteeriviljelmien avulla osoittaa, onko pihkalla antibakteerisia ominaisuuksia? Suunnittele etukäteen jokainen kasvatusmalja: mistä bakteerinäyte, mitä ainetta ja miten siirrät aineen suodatinpaperikiekolle, mitä liuottimia käytät jne. Tee ennuste jokaisen maljan kohdalta, miten kuvittelet bakteerien käyttäytyvän kyseisissä oloissa.

Valmistele pihkanäyte seuraavin ohjein, jotta voit testata sen antibakteerisia ominaisuuksia.

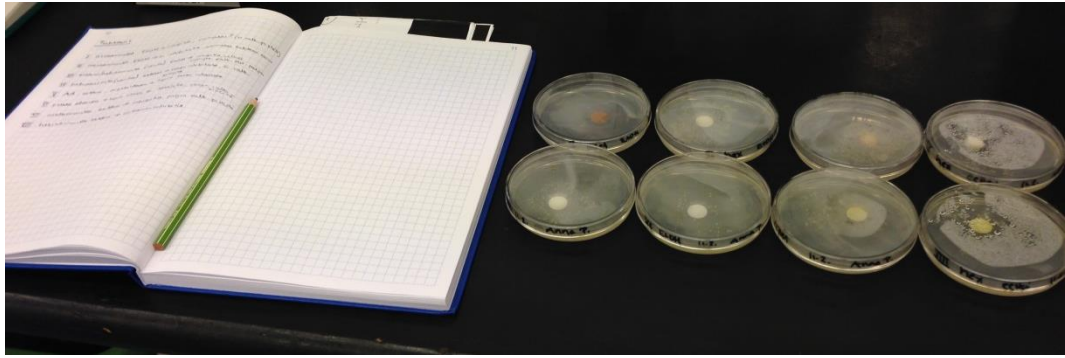
Tislaus:

Utossa saatu pihka on liuenneena asetoniin ja *n*-heksaaniin. Ylimääräiset liuottimet on haihdutettava pois esimerkiksi tislaamalla.



*Tislauslaitteiston
kaavakuva (ilman statiiveja ja
kouria)*

Mikäli tislausta ei tehdä aivan loppuun asti, ei pihka-aineiden siirtämisessä suodatinpaperikiekolle tarvita lainkaan apuliuottimia. Mikäli tislaus on kuitenkin tehty loppuun asti ja pihka-aineet ovat kolvin seinämällä ja pohjalla ohuena kerrostumana, voidaan lisätä pari pisaraa etanolia tai eetteriä. Tällöin saadaan pihka-aineet kerättyä kolvista ja siirtäminen kiekolle tapahtuu helpommin.



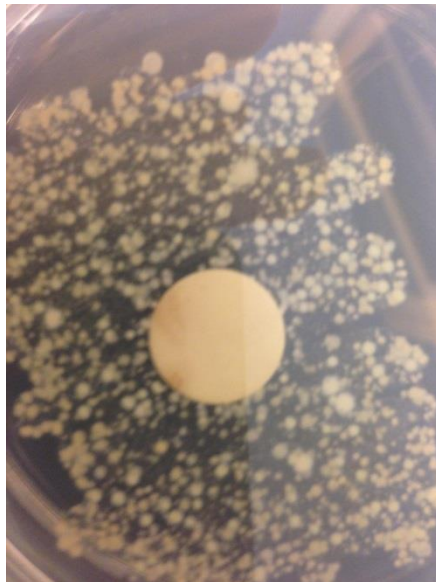
Tarkka kirjanpito helpottaa muistamaan, mitä kussakin maljassa on.

Kerää bakteerinäyte vanupuikolla. Tämän jälkeen vanupuikolla pyyhitään kevyesti ravintoagarin pintaa niin, että siihen saataisiin mahdollisimman tasainen ja tiheä bakteerikasvusto aikaan.

Suodatinpaperikiekkolle voidaan joko pipetoida pihkanäyte tai kiekkoa voidaan liikutella pihkan seassa pinsettien avulla. Tämän jälkeen kiekko painetaan kevyesti kiinni ravinto-agariin.

Agar-maljoja tulee pitää noin 24 tuntia 37 °C lämmössä.

Mikäli kiekon ympärillä on tasainen vyöhyke, jossa bakteereja ei kasva, on kyseinen näyte inhiboinut eli hidastanut bakteerien kasvua. Inhibiiovyöhykkeen halkaisija voidaan mitata ja ilmoittaa millimetreinä.



Vasemmalla puolella ei inhibitiota, oikealla puolella sen sijaan näkyvä vyöhyke.

Oikeanpuolimmaisena kiekon voimakas väri johtuu hyvin konsentroituneesta pihkanäytteestä.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

Onko kasvatusmaljoissa havaittavissa inhibitiota? Pitikö ennusteesi paikkansa?

Mitä voit päätellä pihkan antibakteerisista ominaisuuksista tutkimuksen perusteella?

Onko tutkimuksesi tulos mielestäsi luotettava? Miksi on tai miksi ei ole?

Mitkä asiat ovat voineet vaikuttaa saamaasi tulokseen? Oletko osannut ottaa ne huomioon tutkimusta tehdessäsi?

Voisitko vielä testata tai tutkia jotain, joka selventäisi mahdollisesti pihkan antibakteerisia ominaisuuksia?

Pihkan antibakteeriset ominaisuudet (opettaja)

KOHDERYHMÄ: Työ soveltuu lukiolaisille. Työn voi toteuttaa kursseilla KE1, KE2 tai työkurssilla.

KESTO: Kokeellinen osuus kestää 60 min.

TAVOITE: Työn tavoitteena on oppia pohtimaan työn tuloksia, niiden hankintaa ja luotettavuutta.

AVAINSANAT: pihka - bakteerienkasvatus - tulosten tulkinta



Maisema Lapista

<https://www.flickr.com/photos/pekkaja/9902107583/sizes/o/>

Kuva: Pekka Järveläinen,

Biologianopettaja kertoo teille, että Lapissa on jo vuosisatojen ajan käytetty kuusen pihkaa haavojen ja ihosairauksien hoidossa. Pihkaa on kerätty puista ja keitetty voin tai sianihran kanssa, ja näin saatu pihkasalvaa. Salvaa on sivelty haavan päälle ja peitetty kankaalla. ”Jokin aika sitten tutkijat ja lääkärit tutkivat pihkaa ja sen ominaisuuksia haavojen hoidossa. He ovat raportoineet hyviä tuloksia laboratoriossa valmistetusta pihkavoiteesta. Heidän mukaansa pihkavoiteella voidaan parantaa vaikeitakin haavaumia, joihin muut hoitokeinot eivät ole tepsineet,” kertoo opettaja.

Kaverisi ei kuitenkaan usko, että pihkasta voisi olla apua haavojen hoidossa. Miten voisit tutkia, onko pihkasta todella bakteerien kukistajaksi?

TAUSTAA

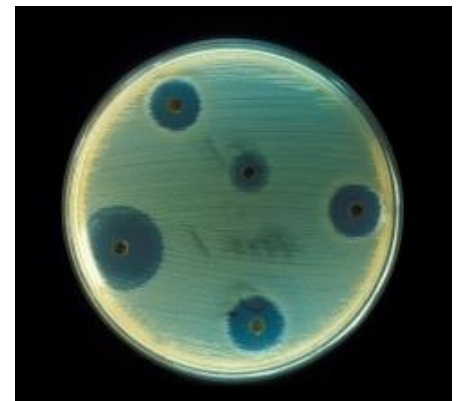
Mikäli epäillään tiettyjä sairauksia, kuten esimerkiksi angiinaa, otetaan usein niin kutsuttu nieluviljely. Hieman epämurkavalta tuntuvaan toimenpiteeseen kuuluu se, että hoitohenkilökunnan edustaja ottaa pitkällä puisella pumpulitikulla näytteen nielustasi. Muutaman päivän kuluttua saat yleensä puhelinoitolla selville, oliko sinulla kyseistä tautia vai ei, ja mitkä ovat jatkotoimenpiteet.

Pelkkä pumpulitikku ei kuitenkaan kerro, onko elimistössäsi taudin aiheuttavia bakteereja. Pumpulipuikkoon tarttuneet bakteerit levitetään sopivalle kasvualustalle ja niiden annetaan lisääntyä. Tietyn ajan kuluttua voi asiaan perehtynyt henkilö todeta, onko nielustasi löytynyt tulehduksen aiheuttanut bakteeri.

Bakteerien kasvatukseen käytetään agaria, joka veteen sekoitettuna muodostaa hyytelön. Agar levitetään tasaiseksi kerrokseksi pettrimaljaan ja jähmetyttyään se on valmis bakteerien viljelyä varten.

Agar-maljoilla voidaan testata myös bakteerien vastetta antibiootteihin tai muihin antibakteerisiin aineisiin. Agar-maljalle lisätään tunnettu määrä tiettyä bakteeria. Tämän jälkeen siihen voidaan asettaa yksi tai useampia suodatinpaperikiekkkoja, joihin on lisätty eri antibiootteja. Malja laitetaan inkubaattoriin päiväksi tai pariiksi. Inkubaattori on bakteeriviljelykaappi, jonka olosuhteita (lämpötila, ilmankosteus jne.) voidaan säädellä tarkasti.

Jos kiekon ympärille on muodostunut vyöhyke, jossa bakteeri ei kasva, voidaan päätellä, että antibiootilla on vaikutus bakteeriin. Tätä aluetta kutsutaan inhibiiovyöhykkeeksi ja sen halkaisija voidaan mitata ja vertailla eri antibioottien vaikutusta. Esimerkiksi sairaaloissa voidaan tällä tavoin määrittää, mitä antibioottia potilaalle olisi järkevin antaa.



Eräiden antibioottien vaikutus *Staphylococcus aureus* -bakteerin kasvuun.

Kuva: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Antibiootti>

ETUKÄTEISTEHTÄVÄ

Mitä asioita tulee ottaa huomioon, kun otetaan bakteerinäytettä esimerkiksi pumpulipuikolla?

Mitä tulee ottaa huomioon bakteeriviljelyä tehdessä?

Mihin voisit kotona tai koulussa laittaa bakteerienkasvatusalustat kasvamaan?

Mistä voisit kotona tai koulussa ottaa näytteitä, jotka sisältäisivät varmasti paljon bakteereja?

REAGENSIT

- pihkauutos (saadaan kokeellisella työllä ”Pihkan eristäminen kävyistä”)
- tekninen etanoli tai dietyylieetteri

TARVIKKEET

- tisluslaitteisto
- agar-maljoja eli kannellisia petrimaljoja, joissa ravintoagar-kasvualusta
- pasteur-pipetti
- pinsetit
- vanupuikkoja
- ”kiekkoja”
- hiustenkuivaaja
- tussi
- teippi

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja – hanskat. Tislaus on tehtävä vetokaapissa, samoin kuin eetterin käsittely.

Pihkauutos on liuotettu **asetoniin** ja **heksaaniin**. Ihokosketusta ja höyryjen hengittämistä on vältettävä.

Etanoli on helposti syttyvä. Höyryjen hengittämistä on vältettävä.

Dietyylieetteri on erittäin helposti syttyvä nesteenä ja höyrynä. Höyryjen hengittämistä tulee välttää.

Huuhtelee roiskeet heti runsaalla vedellä! Tarvittaessa lääkäriin.

Liuosjätteet kerätään orgaaniseen liuosjätteeseen.

Agarmaljat voidaan hävittää sekajätteeseen kiinni teipattuina ja muovipussiin käärittynä.

TYÖOHJE

Tässä työssä tutustutaan pihkan antibakteerisiin ominaisuuksiin. Uutossa saatua pihkaa pipetoidaan suodatinpaperikiekolle, joka asetetaan bakteerienkasvustalustalle eli ravintoagar-maljaan. Maljaan siirretään ennen kiekon asettamista vanupuikolla bakteerinäyte, joka voi olla otettu esimerkiksi oppilaan syljestä.

Ratkaistava ongelma: Miten voit bakteeriviljelmien avulla osoittaa, onko pihkalla antibakteerisia ominaisuuksia? Suunnittele etukäteen jokainen kasvatusmalja: mistä bakteerinäyte, mitä ainetta ja miten siirrät aineen suodatinpaperikiekolle, mitä liuottimia käytät jne. Tee ennuste jokaisen maljan kohdalta, miten kuvittelet bakteerien käyttäytyvän kyseisissä oloissa.

Valmistele pihkanäyte seuraavin ohjein, jotta voit testata sen antibakteerisia ominaisuuksia.

Tislaus:

Uutossa saatu pihka on liuenneena asetoniin ja *n*-heksaaniin. Ylimääräiset liuottimet on haihdutettava pois esimerkiksi tislaamalla.



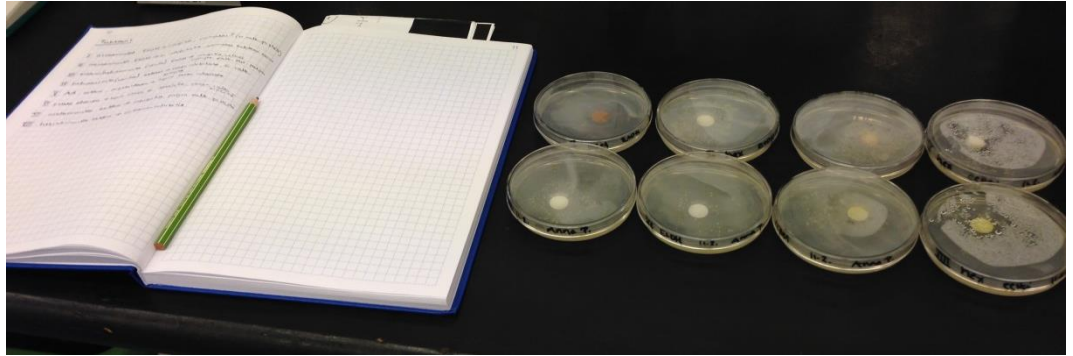
Vasemmalla on tislauslaitteiston kaavakuva (ilman statiiveja ja kouria), oikealla pihkauutos ennen liuotinten haihduttamista.

Mikäli tislausta ei tehdä aivan loppuun asti, ei pihka-aineiden siirtämisessä suodatinpaperikiekolle tarvita lainkaan apuliuottimia. Mikäli tislaus on kuitenkin tehty loppuun asti ja pihka-aineet ovat kolvin seinämällä ja pohjalla ohuena kerrostumana, voidaan lisätä pari pisaraa etanolia tai eetteriä. Tällöin saadaan pihka-aineet ”kerättyä” kolvista ja siirtäminen kiekolle tapahtuu helpommin.

Agar-maljat

Agar-maljoja tulisi pitää auki vain silloin, kun sinne laitetaan bakteerinäytettä tai pihkaa. Kun näytteet ovat maljassa, se voidaan sinetöidä vaikka parilla teipinpalalla. Vanupuikko, jolla bakteerinäyte otetaan, ei saa koskea mihinkään muuhun kuin näytteenottokohtaan ja agarmaljan pintaan.

Suodatinpaperikiekkoja tulisi käsitellä vain mahdollisimman puhtailla pinseteillä. Kiekotkin saisivat olla kosketuksissa vain pihkanäytteen tai agarin kanssa. Jokaisen agar-maljan reunaan kannattaa kirjoittaa tieto siitä, mitä maljassa on, kenen tekemä se on ja koska se on tehty.



Tarkka kirjanpito helpottaa muistamaan, mitä kussakin maljassa on. Tällöin maljoihin voi merkitä esimerkiksi vain tietyn numeron, nimikirjaimet ja päivämäärän.

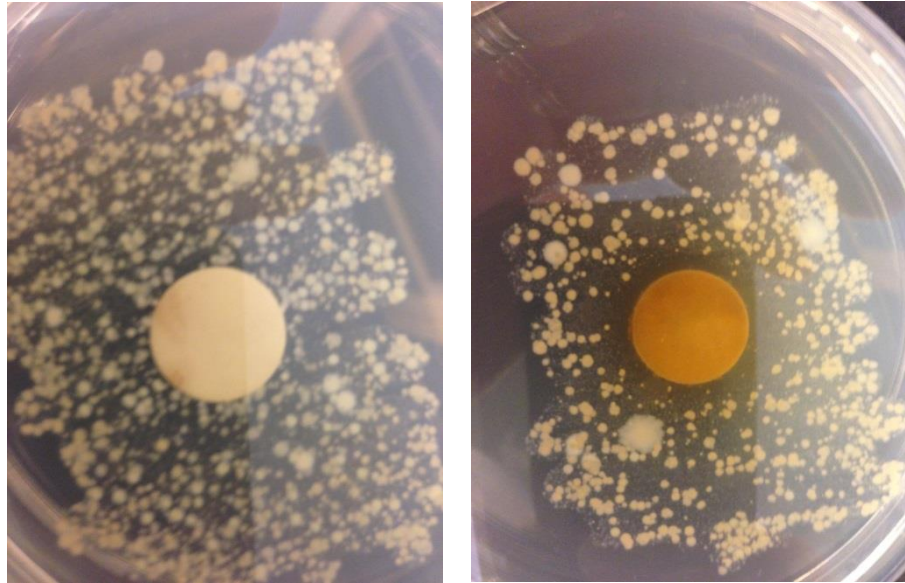
Bakteerinäyte otetaan syljestä. Vanupuikkoa pyöritellään suussa niin, että se on varmasti kokonaan syljen peitossa. Tämän jälkeen vanupuikolla pyyhitaan kevyesti ravintoagarin pintaa niin, että siihen saataisiin mahdollisimman tasainen ja tiheä bakteerikasvusto aikaan. Esimerkiksi voi tehdä ensin vaakasuoraa viivoitusta ja sen jälkeen pystysuoraa. Yritä levittää bakteereja koko pinnalle.

Suodatinpaperikiekkolle voidaan joko pipetoida pihkanäyte tai kiekkoa voidaan liikutella pihkan seassa pinsettien avulla. Tärkeintä olisi saada mahdollisimman konsentroitunut näyte, esimerkiksi pipetointia voidaan tehdä samalle kiekolle useasti, kunhan liuottimien annetaan haihtua välissä. Kun näyte on varmasti kiekossa, se voidaan kuivata vielä esimerkiksi hiustenkuivaajalla, jotteivät liuottimet häiritse pihkan antibakteeristen ominaisuuksien tutkimista. Tämän jälkeen kiekko painetaan kevyesti kiinni ravinto-agarisiin. Kiekko kannattaa sijoittaa mahdollisimman keskelle maljaa.

Agar-maljoja tulee pitää noin 24 tuntia 37 °C lämmössä. Tarkimman lämpötilan saisi uunilla, jonka voisi säätää haluttuun matalaan lämpötilaan. Kuitenkin bakteerien kasvatuksen voi tehdä vaikka lämpöpatterin

läheisyydessä valolta suojattuna. Yhden vuorokauden jälkeen (tai kunnes kasvusto on selvästi näkyvissä) maljoja voi säilöä jääkaapissa, kunnes ne on tutkittu ja tulokset tulkittu.

Mikäli kiekon ympärillä on tasainen vyöhyke, jossa bakteereja ei kasva, on kyseinen näyte inhiboinut eli hidastanut bakteerien kasvua. Inhibitiovyöhykkeen halkaisija voidaan mitata ja ilmoittaa millimetreinä.



Vasemmalla puolella ei inhibitiota, oikealla puolella sen sijaan näkyvissä vyöhyke. Oikeanpuolimmaisesta ”kiekon” voimakas väri johtuu hyvin konsentroituneesta pihkanäytteestä.

Huomioitavaa:

Työtä tehdessä kannattaa tehdä kontrollinäytteitä, eli tutkia miten esimerkiksi liuotin vaikuttaa tulokseen tai liuottimien haihduttaminen hiustenkuivaajalla vaikuttaa tulokseen. Jos epäilee etanolin vaikuttavan tulokseen, voi käyttää eetteriä. Voidaan myös valmistella yksi kiekko puhtaalla abietiinihapolla, joka on liuotettu pariin pisaraan sopivaa liuotinta (asetoni, etanoli, eetteri). Lisäksi voi testata etanolin kykyä hidastaa bakteerien kasvua. Kannattaa myös kokeilla apteekista saatavaa pihkavoidetta tai -lakkaa.

Tulosten tulkinta tässä työssä erittäin tärkeää: voivatko bakteerinäytteet olla epätasaisia, miten liuottimet vaikuttavat, millainen inhibitio on saatu aikaan, vaikuttaako pihka ollenkaan niihin bakteereihin, joita testattu jne.

Sairaala- tai tutkimuskäytössä olevat bakteerienviljelytarvikkeet steriloidaan esimerkiksi autoklavoimalla. Koulussa tätä on hankala toteuttaa. Korvaavana toimenpiteenä voisi miettiä välineiden varovaista kuumentamista esimerkiksi 120 °C uunissa. Muoviosien (petrimaljat, vanupuikkojen varret) sulamista kannattaa välttää ja tarkkailla. Autoklavoinnin tehokkuutta ei saavuteta, mutta kenties hieman paremmat tulokset.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

Onko kasvatustuloksissa havaittavissa inhibitiota? Pitikö ennusteesi paikkansa?

Mitä voit päätellä pihkan antibakteerisista ominaisuuksista tutkimuksen perusteella?

Onko tutkimuksesi tulos mielestäsi luotettava? Miksi on tai miksi ei ole?

Mitkä asiat ovat voineet vaikuttaa saamaasi tulokseen? Oletko osannut ottaa ne huomioon tutkimusta tehdessäsi?

Voisitko vielä testata tai tutkia jotain, joka selventäisi mahdollisesti pihkan antibakteerisia ominaisuuksia?

Sulfatiatsoli-synteesi (oppilas)

TAUSTAA

Sulfatiatsoli on antibiootti. Tässä työssä sulfatiatsolista valmistetaan meripihkahappoanhydridin kanssa aihiolääke, jonka nimi on sukkinyylisulfatiatsoli.

ETUKÄTEISTEHTÄVÄ

Vastaa seuraaviin kysymyksiin esimerkiksi kirjallisuuden tai internetin avulla. Merkitse käyttämäsi lähteet.

- Mihin yleisesti antibiootteja käytetään?
- Sulfatiatsoli kuuluu sulfonamideihin. Mitä tauteja sulfonamideilla voidaan hoitaa?
- Mikä on aihiolääke?
- Jotta lääkeaine voi imeytyä ihmisen elimistöön, täytyy sen mieluiten olla vesiliukoinen. Sulfatiatsoli ei liukene veteen. Miten sitä silti voidaan käyttää antibioottina?

Lue työohje ja vastaa sen ohessa *kursiivilla* esitettyihin kysymyksiin. Jos sinulle tulee mieleen muita kysymyksiä työohjeeseen liittyen, kirjoita ne ylös.

REAGENSIT

- sulfatiatsoli
- meripihkahappoanhydridi eli dihydro-2,5-furaanidioni
- etanoli (EtaxA, 99 %)

TARVIKKEET

- 50 ml kaksikaulainen pyörökolvi ja lasikorkki

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja suojahanskat.

Sulfatiatsoli- ja meripihkahappoanhydridipölyn hengittämistä on vältettävä.

Etanoli on helposti syttyvä. Höyryjen hengittämistä on vältettävä.

Huuhtelee roiskeet heti runsaalla vedellä! Tarvittaessa lääkäriin.

Kiinteä jäte laitetaan orgaaniseen jätteeseen. Liuosjätteet hävitetään orgaanisiin liuosjätteisiin.

- jäähdyttävä
- lämpömittari
- statiivi ja kouria
- parafiiniöljyhaude (tai vesihaude)
- magneettisauva ja magneettisekoitin
- jäitä
- imupullo
- lasisintteri

TYÖOHJE

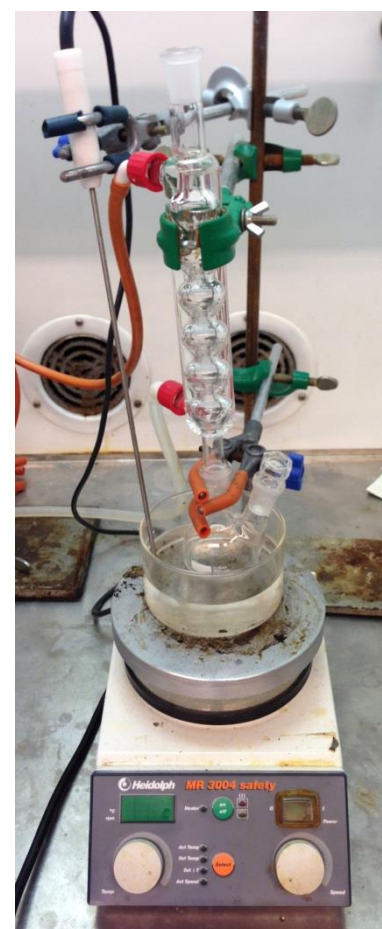
1. Laita öljyhaude lämpenemään ja laita lämpömittari kiinni statiivilla niin, että voit tarkkailla hauteen lämpötilaa. Tavoitelämpötila on noin 80 °C.

Miksi halutaan tarkkailla hauteen lämpötilaa? Mitä erityistä on huomioitava, jos käyttää vesihaudetta?

2. Punnitse 500 mg sulfatiatsolia (kirjaa tarkka massa ylös) ja laita se pyörökolviin. Mittaa kolviin myös 30 ml etanolia. Laita kolviin magneetti, yhdistä kolvi jäähdyttimeen ja laita kolvin toiseen kaulaan lasikorkki. Laske kolvi hauteeseen. Laita sekoitus ja vesikierto päälle.

Miksi on tärkeää punnita juuri 500 mg sulfatiatsolia? Voisiko määrä olla jokin muukin? Miksi tarkka määrä täytyy kirjoittaa muistiin?

3. Sekoita lämmityksessä, jotta kaikki sulfatiatsoli liukenee etanoliin. (80 °C:ssa liukeneminen kestää noin 5 minuuttia). Punnitse sillä välin 250 mg meripihkahappoanhydridiä eli dihydro-2,5-furaanidionia. Lisää



meripihkahappoanhydridi kolviin toisen kaulan kautta, kun sulfatiatsoli liuennut.

Miksi reaktioseosta sekoitetaan?

4. Anna refluksoitua tunnin ajan noin 80 - 90 °C lämpötilassa.

Miksi reaktioseosta lämmitetään? Miksi lämpötilan täytyy olla edellä mainittu?

5. Tunnin kuluttua nosta kolvi pois hauteesta ja anna reaktioseoksen jäähtyä (jäissä). Mikäli jäähtyessä muodostuu valkoinen saostuma, voit imusuodattaa sen. Jos saostumaa ei muodostu, tulee etanoli haihduttaa pois joko rotavaporilla tai tislamalla. Mikäli kesken haihdutuksen havaitsee saostuman, voi haihduttamisen päättää siihen. Liuotin haihdutetaan lähes kuiviin, jonka jälkeen voi olla tarpeen pitää kolvia vielä jäähautessa.

Mitä kaikkia aineita kolvissa on reaktion loputtua tuotteen lisäksi?

6. Punnitse kuivattu tuote. Laske teoreettinen saanto, kun meripihkahappoanhydridia on ylimäärin. Laske myös todellinen saanto ja vertaa sitä teoreettiseen saantoon.

Miten teoreettinen ja todellinen saanto eroavat toisistaan? Mistä suuret erot saannoissa voivat johtua?

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

Mistä lähteistä hankit tietoa etukäteistehtävän kysymyksiin? Ovatko lähteesi mielestäsi luotettavat? Miksi ovat tai miksi eivät ole?

Mitkä asiat vaikuttavat reaktion todelliseen saantoprosenttiin?

Millaisilla menetelmillä voitaisiin tutkia tuotteen puhtautta?

Sulfatiatsoli-synteesi (opettaja)

KOHDERYHMÄ: Työ soveltuu ensisijaisesti lukiolaisille. Lukiossa työn voi toteuttaa kursseilla KE3 tai työkurssilla.

KESTO: Työ kestää 90 min (120 min tislauksen kanssa)

TAVOITE: Työn tavoitteena on tutustua antibiootteihin ja aihiolääkkeen käsitteeseen. Tavoitteena on myös lähdekriittiseen tiedonhankintaan tutustuminen.

AVAINSANAT: sulfatiatsoli - antibiootit - syntetisointi

TAUSTAA

Sulfatiatsoli on antibiootti. Tässä työssä sulfatiatsolista valmistetaan meripihkahappoanhydridin kanssa aihiolääke, jonka nimi on sukkinyylisulfatiatsoli.

ETUKÄTEISTEHTÄVÄ

Vastaa seuraaviin kysymyksiin esimerkiksi kirjallisuuden tai internetin avulla. Merkitse käyttämäsi lähteet.

- Mihin yleisesti antibiootteja käytetään?
Bakteeri-infektioiden hoidossa.
- Sulfatiatsoli kuuluu sulfonamideihin. Mitä tauteja sulfonamideilla voidaan hoitaa?
Esimerkiksi virtsatietulehdusta.
- Mikä on aihiolääke?
Lääkeaineen muoto, joka ei itsessään ole vaikuttava aine. Se muuttuu vasta elimistössä aktiiviseksi lääkeaineeksi.
- Jotta lääkeaine voi vaikuttaa ihmisen elimistössä, täytyy sen mieluiten olla vesiliukoinen. Sulfatiatsoli ei liukene veteen. Miten sitä silti voidaan käyttää antibioottina?
Sulfatiatsolista tehdään aihiolääke sukkinyylisulfatiatsoli, joka liukenee sulfatiatsolia paremmin veteen. Elimistössä (ohutsuolen emäksisessä ympäristössä) sukkinyylisulfatiatsoli hajoaa takaisin sulfatiatsoliksi.

Lue työohje ja vastaa sen ohessa *kursiivilla* esitettyihin kysymyksiin. Jos sinulle tulee mieleen muita kysymyksiä työohjeeseen liittyen, kirjoita ne ylös.

REAGENSIT

- sulfatiatsoli
- meripihkahappoanhydridi eli dihydro-2,5-furaanidioni
- etanoli (EtaxA, 99 %)

TARVIKKEET

- 50 ml kaksikaulainen pyörökolvi ja lasikorkki
- jäädyttävä
- lämpömittari
- statiivi ja kouria
- parafiiniöljyhaude (tai vesihaude, tarkkailtava!)
- magneettisauva ja magneettisekoitin
- jäitä
- imupullo
- lasisintteri

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja suojahanskat.

Sulfatiatsoli- ja meripihkahappoanhydridipölyn hengittämistä on vältettävä.

Etanoli on helposti syttyvä. Höyryjen hengittämistä on vältettävä.

Huuhtelee roiskeet heti runsaalla vedellä! Tarvittaessa lääkäriin.

Kiinteä jäte laitetaan orgaaniseen jätteeseen. Liuosjätteet hävitetään orgaanisiin liuosjätteisiin.

TYÖOHJE

Synteesi

1. Laita öljyhaude lämpenemään ja laita lämpömittari kiinni statiivilla niin, että voit tarkkailla hauteen lämpötilaa. Tavoitelämpötila on noin 80 °C.

Miksi halutaan tarkkailla hauteen lämpötilaa? Mitä erityistä on huomioitava, jos käyttää vesihaudetta?

2. Punnitse 500 mg sulfatiatsolia (kirjaa tarkka massa ylös) ja laita se pyörökolviin. Mittaa kolviin myös 30 ml etanolia. Laita kolviin magneetti, yhdistä kolvi jäähdyttimeen ja laita kolvin toiseen kaulaan lasikorkki. Laske kolvi hauteeseen. Laita sekoitus ja vesikierto päälle.

Miksi on tärkeää punnita juuri 500 mg sulfatiatsolia? Voisiko määrä olla jokin muukin? Miksi tarkka määrä täytyy kirjoittaa muistiin?

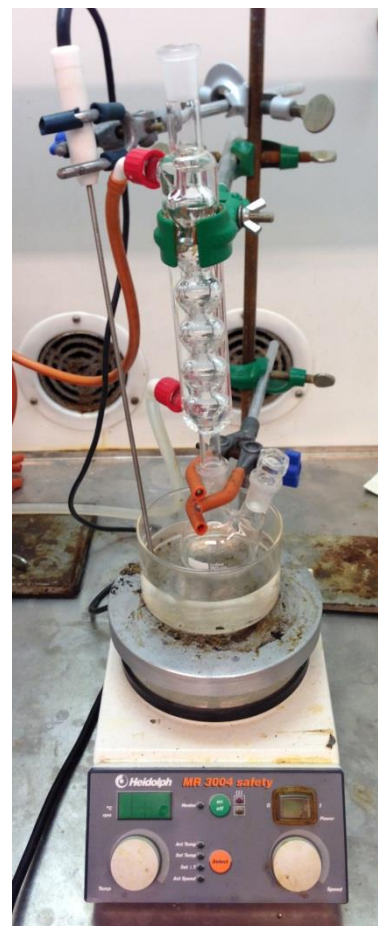
3. Sekoita lämmityksessä, jotta kaikki sulfatiatsoli liukenee etanoliin. (80° °C:ssa liukeneminen kestää noin 5 minuuttia). Punnitse sillä välin 250 mg meripihkahappoanhydridiä eli dihydro-2,5-furaanidionia. Lisää meripihkahappoanhydridi kolviin toisen kaulan kautta, kun sulfatiatsoli liuennut.

4. Anna refluksoitua tunnin ajan noin 80 - 90 °C lämpötilassa.

Miksi reaktioseosta lämmitetään? Miksi lämpötilan täytyy olla edellä mainittu?

5. Tunnin kuluttua nosta kolvi pois hauteesta ja anna reaktioseoksen jäähtyä (jäissä). Mikäli jäähtyessä muodostuu valkoinen saostuma, voit imusuodattaa sen. Jos saostumaa ei muodostu, tulee etanoli haihduttaa pois joko rotavaporilla tai tislamalla. Mikäli kesken haihdutuksen havaitsee saostuman, voi haihduttamisen päättää siihen. Liuotin haihdutetaan lähes kuiviin, jonka jälkeen voi olla tarpeen pitää kolvia vielä jäähauteessa.

Mitä kaikkia aineita kolvissa on reaktion loputtua tuotteen lisäksi?



6. Punnitse kuivattu tuote. Laske teoreettinen saanto, kun meripihkahappoanhydridia on ylimäärin. Laske myös todellinen saanto ja vertaa sitä teoreettiseen saantoon.

Miten teoreettinen ja todellinen saanto eroavat toisistaan? Mistä suuret erot saannoissa voivat johtua?

(Tuotteen puhtauden tutkiminen)

Eluettina toimii kloroformi:metanoli:muurahaishappo (75:25:0,01).

1. Ota puhdasta sulfatiatsolia spaattelin kärjellinen ja liuota se pariin pisaraan metanolia (tai eluettia). Tee sama valmistamallesi sukkinyyლისulfatiatsolille.

2. Ota noin 2 cm x 5 cm kokoinen TLC-levy. Aseta kapillaariputken avulla levyllä edellä valmistellut näytteet. Paina kapillaariputkea muutaman kerran samaan kohtaan levyä, anna liuottimien haihtua välissä. Lisää kromatografia-ajoastiaan 0,5 cm kerros eluettia. Laita levy astiaan ja odota, kunnes liuotin on noussut melkein yläreunaan saakka.

3. Ota levy pois ajoastiasta ja anna sen kuivua. UV-valossa näet levyn pinnalla kulkeutuneet aineet, voit merkitä ne lyijykynällä näkyviin. Mitä voit päätellä tuotteesi puhtaudesta?

Huomioitavaa:

Tässä työssä käytettävä eluentti on sen verran haitallisista aineista valmistettu, ettei sen käyttöä mielellään suositella.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

Mistä lähteistä hankit tietoa etukäteistehtävän kysymyksiin? Ovatko lähteesi mielestäsi luotettavat? Miksi ovat tai miksi ei?

Mitkä asiat vaikuttavat reaktion todelliseen saantoprosenttiin?

Millaisilla menetelmillä voitaisiin tutkia tuotteen puhtautta?

Intiaanien parantava juoma (oppilas)

ETUKÄTEISTEHTÄVÄ

Edessäsi pöydällä on kaksia mukia. Toisessa on hiilihapotettua vettä ja toisessa erästä toista hiilihapotettua juomaa. Molemmat ovat kirkkaita liuoksia.

Millä eri tavoilla voisit selvittää, kummassa mukissa on kumpaa?

OPETTAJAN TARINA

TYÖOHJE

Kirjoita ylös kysymyksiä, joita tarina ja etukäteistehtävä sinussa herättivät. Etsi internetin avulla vastuksia kysymyksiisi. Muodosta hypoteesi siitä, mitä intiaanien juoma voisi olla.

Suunnittele, miten voisit varmistua asiasta laboratoriokokein. Huomioi mahdolliset työturvallisuuteen liittyvät seikat.

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

Pitikö hypoteesisi paikkansa?

Pystyitkö varmistamaan kokeilla, mitä intiaanien juoma oli?

Mitä muita kokeita olisit voinut resurssien/ajan salliessa tehdä?

Ovatko tuloksesi mielestäsi luotettavat? Miksi ovat tai eivät ole?

Intiaanien parantava juoma (opettaja)

KOHDERYHMÄ: Työ soveltuu lukiolaisille. Työn voi toteuttaa kursseilla KE1, KE2 tai työkurssilla.

KESTO: Kokeellinen osuus kestää 20 min.

TAVOITE: Työn tavoitteena on oppia suunnittelemaan pieni tutkimus, tekemään hypoteesi sekä pohtimaan työn jälkeen tuloksia ja niiden luotettavuutta. Työn avulla voidaan oppia myös elektronien virittymisestä.

AVAINSANAT: kiniini - tutkimuksellisuus - elektronien virittyminen

ETUKÄTEISTEHTÄVÄ

Edessäsi pöydällä on kaksia mukia. Toisessa on hiilihapotettua vettä ja toisessa erästä toista hiilihapotettua juomaa. Molemmat ovat kirkkaita liuoksia.

Millä eri tavoilla voisit selvittää, kummassa mukissa on kumpaa?

Esimerkiksi: ulkonäön perusteella, haistamalla, maistamalla, mittaamalla pH:n, haihduttamalla kuiviin, IR-spektri...

OPETTAJAN TARINA

Pöydällä mukeissa tonic water -virvoitusjuomaa, sisältö ei kuitenkaan oppilaiden tiedossa. Oppilaat (, joilla ei ole allergioita tai astmaa,) voivat maistaa juomaa tarinan aikana. Oppilaille voi ohjeistaa jo tässä vaiheessa, että heidän tulee miettiä jälkikäteen kysymyksiä tarinasta.

Kerron teille tarinan.

On vuosi 1638. Euroopan suurvallat ovat astelleet Uudelle mantereelle. Laivat seilaavat Atlantin yli ja tuovat alkuperäisasukkaiden eksoottisia tuotteita Euroopan ylimyksille. Yksi merkittävimmistä löydöistä kuitenkin vielä odottaa ottajaansa.

JOKO

*Andien vuoristossa espanjalainen lähetyssaarnaaja kompastuu kiveen. Hän on vaeltanut jo pitkään etsien seuraavaa intiaanikylää. Hänen olonsa on heikko. Korkea kuume on vaivannut häntä jo pitkään ja vesileili on tyhjentynyt jokin aika sitten. Yhtäkkiä hän havaitsee lammen polun sivussa. Hän kumartuu äkkiä lammen ylle ja juo sen vettä. **(Maistetaan)** Vesi maistuu hyvin karvaalle, mutta mies ei välitä siitä. Hän jää lepäämään lammen äärelle hetkeksi. Kohta hän huomaa, että hänen olonsa paranee, kuume laskee. Vielä ennen kuin mies jatkaa matkaansa, hän luo katseen lampeen. Sen partaalla kasvaa matala puu ja puun pudonneita oksia kelluu vedessä.*

TAI

Espanjalaisten hallitsema Liman kaupunki Perussa kylpee iltapäivän auringossa. Kuninkaallisessa palatsissa tunnelma on kuitenkin jännittynyt. Herttuatar on jo pitkään kärsinyt kuumetaudista. Välillä voimakkaasti palellen, välillä hikoillen, kuume jatkuu. Hovin lääkärit ovat yrittäneet kaikkensa, mutta yhä vain nuori nainen makaa vuoteenomana. Silloin hoviin saapuu tieto, joka voisi kenties pelastaa herttuattaren hengen. Intiaanit ovat jo sukupolvien ajan käyttäneet kuumetta alentavaa juomaa. He kutsuvat sitä nimellä quina quina. Herttuatar uskaltautuu kokeilemaan juomaa. (Maistetaan) Hän paranee täysin kuumetaudista intiaanien juoman avulla. Herttuatar palaa myöhemmin Espanjaan ja alkaa kertoa tarinaa ihmeitä tekevästä juomasta.

TYÖOHJE

Kirjoita ylös kysymyksiä, joita tarina ja etukäteistehtävä sinussa herättivät. Etsi internetin avulla vastuksia kysymyksiisi. Muodosta hypoteesi siitä, mitä intiaanien juoma voisi olla.

Suunnittele, miten voisit varmistua asiasta laboratoriokokein.

REAGENSIT

- tonic water -virvoitusjuomaa

TARVIKKEET

- dekantterilaseja
- kertakäyttömukeja
- pH-paperia
- UV-valo
- lasisauvoja

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki.

Kiniini aiheuttaa yliannostuksena päänsärkyä, korvien soimista ja näköhäiriöitä. Kiniiniallergia on yleistä. Kiniini voi laukaista astmakohtauksen.

Huuhtelee roiskeet vedellä.

Liuosjätteet voi hävittää viemäriin.

Huomioitavaa:

Tonic water -virvoitusjuomassa on (merkistä riippuen) noin 83 mg kiniiniä litrassa. Lääketarkoituksessa kiniiniä voidaan antaa jopa 1 gramma kolme kertaa päivässä. Wikipedian tiedon mukaan kiniinin ADI-arvo olisi 0,9

mg/paino-kg/vrk. Tällöin 60 kg:n painoinen henkilö voisi nauttia 54 mg kiniiniä vuorokaudessa juoman kautta. Tiedon paikkansa pitävyyttä voi epäillä, mutta tonic water -juoman maistamisesta ei pitäisi yliannostuksen vaaraa olla. Allergia- ja astmatapaukset on varmuuden vuoksi huomioitava erikseen.

Lisätietoja:

Kiniini fluoresoi UV-valossa. Mikäli oppilaat päätyvät testaamaan juomaa UV-valossa, tulisi heidän KE2-kurssin tietojen perusteella pystyä selittämään, mistä sininen hohde johtuu.

Kiniinin löytyminen oli erittäin merkittävä tapaus, sillä malaria oli hyvin tappava sairaus ennen sopivan lääkeaineen löytymistä. Eurooppaan tuotiin siirtomaista niin paljon kiinapuun kuorta, että kiinapuiden luonnonvaraisuus oli vaakalaudalla. Vasta vuonna 1820 ranskalaiset apteekkarit selvittivät, mikä kiinankuoren jauheessa oli vaikuttava aine. Kiniinin totaalisynteesiä yritettiin keksiä sen jälkeen useasti, mutta onnistui vasta vuonna 1944. Koska tarve kiinapuun kuorelle oli niin suurta 1800-luvulla, alettiin sitä viljellä Etelä-Amerikan ulkopuolellakin.

Kiniiniä ei enää juuri käytetä malarialääkkeenä, mutta se on ollut aikanaan hyvin merkittävä lääke. Kiniinin vaikutus näkyy yhä nykypäivänä, sillä sen rakenteen pohjalta kehitetään tehokkaampia synteettisiä lääkeaineita, jotka tehoavat malariaan (esim. klorokiini)

POHDINTAA TYÖN JÄLKEEN

Pitkö hypoteesisi paikkansa?

Pystyitkö varmistamaan kokeilla, mitä intiaanien juoma oli?

Mitä muita kokeita olisit voinut resurssien tai ajan salliessa tehdä?

Ovatko tuloksesi mielestäsi luotettavat? Miksi ovat tai eivät ole?