

HYÖNTEISTEN KEMIAA LUKION KEMIAN OPETUKSESSA

Johannes Pernaa
Pro gradu -tutkielma
22.1.2008
Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto
Kemian laitos
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Helsingin yliopisto
Ohjaajat: Maija Aksela ja Ilkka Kilpeläinen

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos Institution – Department
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos
Tekijä Författare – Author		
Johannes Pernaa		
Työn nimi Arbetets titel – Title		
Hyönteisten kemiaa lukion kemian opetuksessa		
Oppiaine Läroämne – Subject		
Orgaaninen kemia ja kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto		
Työn laji Arbetets art – Level	Aika Datum – Month and year	Sivumäärä Sidoantal – Number of pages
Pro gradu –tutkielma	22.1.2008	94 + 19 + CD-ROM
Tiivistelmä Referat – Abstract		
Kemiaa on kaikkialla elinympäristössämme. Käsittelemällä hyönteisten kemiaa opetuksessa voidaan mielekkäästi tuoda esille kemian yhteys arkielämään ja luontoon. Sen avulla voidaan laajentaa oppilaiden kuvaa kemian merkityksestä luonnossa ja innostaa oppilaita kemian opiskeluun. Oppilaiden kemian kiinnostuksen tukeminen on yksi kemian opetuksen tärkeitä tavoitteita valtakunnallisten kemian opetussuunnitelmien perusteiden mukaisesti. Aikaisemman tutkimustiedon mukaan suomalaiset oppilaat eivät ole hyvin kiinnostuneita kemiasta oppiaineena. Tarvitaan uusia lähestymistapoja mielekkääseen kemian opetukseen ja sen tutkimusta. Tässä tutkimuksessa kehitettiin kehittämistutkimuksen kautta uusi tutkimuspohjainen verkkomateriaali lukion kemian mielekkään opetuksen tueksi. Tutkimus sisälsi neljä vaihetta: 1) tarveanalyysi, 2) oppimateriaalin tekeminen, 3) oppimateriaalin arviointi ja 4) oppimateriaalin kehittäminen. Tutkimusta ohjasi kaksi päätutkimuskysymystä: 1) Miten hyönteisten kemiaa opetetaan lukiossa? ja 2) Minkälainen on mielekäs verkko-opetusmateriaali aiheesta? Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen etsittiin vastausta suorittamalla käytössä olevien lukion oppikirjojen sisällönanalyysi (nk. tarveanalyysi, 1. tutkimusvaihe). Tutkimuksen toisessa vaiheessa rakennettiin uudenlainen verkkomateriaali lukion kemian opettajien käyttöön tarveanalyysin tulosten ja mielekkään kemian oppimisen teorian pohjalta. Se sisältää hyönteisten kemian teoriaa, useita tehtäviä (esimerkiksi kokeellisia ja molekyyylimallinnustehtäviä) ja kuvia. Siihen kehitettiin navigointijärjestelmä käsitekarttatekniikkaa apuna käyttäen mielekkään oppimisen tukemiseksi, aiheen kokonaisuuden hahmottamiseksi ja tiedon etsimisen helpottamiseksi. Käsitekartta on graafinen tiedonesitys työkalu, joka on kehitetty mielekkään oppimisen teorian sovelluksena. Käsitekarttojen hyödyntämisestä verkkomateriaalien elementtinä on olemassa vähän aiempaa tutkimustietoa. Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa kehitetty verkkomateriaali arvioitiin kyselytutkimusta apuna käyttäen. Arviointiin osallistui yhteensä 17 kemian opettajaa. Tutkimus suoritettiin syksyllä 2007 MAOL ry:n syyspäivien molekyyylimallinnuspajan sekä LUMA -keskuksen molekyyylimallinnuspajan yhteydessä. Tapaustudkimus osoitti kehitetyn verkkomateriaalin saavuttaneen sille asetetut tavoitteet. Vastaajat kokivat materiaalin olevan kemian tasoltaan kiitettävä ja sisällöltään riittävän laaja. Käsitekarttoja pidettiin verkkomateriaalin vahvuutena. Käsitekarttojen koettiin antavan laajalle sisällölle selkeyttä ja tehostavan oppimista. Kehitetty verkko-opetusmateriaali on yksi esimerkki mielekkään kemian opetuksen tutkimuspohjaisesta tukemisesta. Tutkimus toi esille myös lisätutkimusaiheita. Materiaalin käyttöä kouluopetuksessa ja sen vaikutusta oppilaiden mielekkääseen kemian oppimiseen olisi tärkeää tutkia jatkossa.		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
Kemian opetus, hyönteisten kemia, mielekäs oppiminen, käsitekartat, verkkomateriaalit		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Helsingin yliopisto, kemian laitos		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		
Ohjaajat: Maija Aksela ja Ilkka Kilpeläinen		

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. HYÖNTEISTEN KEMIAA.....	4
2.1 Semiokemikaalit	4
2.1.1 Semiokemikaalien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet	5
2.1.2 Semiokemikaalien jaottelu vaikutuksen perusteella	7
2.1.2.1 Feromonit	7
2.1.2.2 Allelokemikaalit	8
2.1.3 Semiokemikaalien jaottelu rakenteen perusteella.....	9
2.1.3.1 Esterit	11
2.1.3.2 Hiilivedyt.....	11
2.1.4 Semiokemikaalien käyttökohteet.....	12
2.2 Pigmentit	13
2.2.1 Karotenoidit	14
2.2.1.1 Karotenoidien kemialliset, fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet.....	15
2.2.1.2 Karotenoidien biosynteesi	16
2.3 Mehiläiset	18
2.3.1 Mehiläisten semiokemikaalit.....	19
2.3.2 Isopentyyliasetaatti	21
2.3.2.1 Isopentyyliasetaatin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet.....	21
2.3.2.2 Isopentyyliasetaatin kemiallinen synteesi	22
2.3.2.3 Isopentyyliasetaatin esiintyminen luonnossa ja käyttökohteet.....	22
2.3.3 Mehiläisten myrkky	21
2.3.3.1 Mehiläisten myrkyn ominaisuudet ja koostumus	23
2.3.3.2 Mehiläisten myrkyn farmakologiset vaikutukset ja käyttö	24
2.3.4 Hunaja	26
2.3.4.1 Hunajan ominaisuudet ja koostumus	27
2.3.4.2 Hunajan farmakologiset vaikutukset	29
2.3.5 Mehiläisvaha	30
2.3.5.1 Mehiläisvahan ominaisuudet ja koostumus.....	31
2.3.5.2 Mehiläisvahan käyttökohteet.....	32
2.3.6 Propolis	33
2.3.6.1 Propoliksien ominaisuudet ja koostumus.....	33
2.3.6.2 Propoliksien farmakologiset vaikutukset	34
3. HYÖNTEISTEN KEMIA OSANA LUKION KEMIAN OPETUSTA.....	38
3.1 Tavoitteet ja sisällöt	38
3.2 Kemian opetuksen tärkeys	41

4. KEMIAN OPETUKSESTA JA OPPIMISESTA.....	44
4.1 Kemian tiedon luonne	44
4.2 Mielekäs oppiminen.....	46
4.3 Käsitekartat.....	48
4.3.1 Novakilainen käsitekarttatekniikka	48
4.3.2 Suomalainen parannettu käsitekarttatekniikka.....	50
4.3.3 Käsitekartat kemian opetuksessa	52
4.4 Verkko-opetus	53
4.4.1 Kemian opetus verkossa.....	54
4.4.2 Käsitekartat verkkomateriaalien elementtinä	55
5. KEHITTÄMISTUTKIMUS	56
5.1 Tutkimuskysymykset	56
5.2.1 Tarveanalyysi	58
5.2.2 Oppimateriaalin tekeminen	58
5.2.3 Oppimateriaalin arviointi	59
5.2.3.1 Kyselytutkimus.....	59
5.2.3.2 Lomakkeen laatiminen.....	59
5.2.3.3 Kyselyn toteuttaminen	60
5.2.3.4 Kohderyhmä	60
5.2.3.5 Kyselytutkimuksen luotettavuus ja pätevyys	63
5.2.4 Oppimateriaalin kehittäminen	64
6. TULOKSET	65
6.1 Hyönteisten kemian esiintyminen kemian oppikirjoissa	65
6.1.1 Yhteenvedo tarveanalyysistä.....	67
6.2 Verkkomateriaali	68
6.2.1 Verkkomateriaalin toteutus	69
6.2.2 Kokeellinen osio	72
6.2.2.1 Isopentyyliasetaatti, $C_7H_{14}O_2$	73
6.2.2.2 Karotenoidien mallinnus ja eristäminen	74
6.3 Kyselytutkimus.....	77
6.3.1 Materiaalin arvioinnin tulokset.....	77
7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	81

LÄHTEET

LIITTEET

1. JOHDANTO

Kemiaa on kaikkialla elinympäristössämme. Tässä tutkielmassa elinympäristöön liittyvää kemiaa esitellään hyönteisiin liittyvän kemian muodossa. Hyönteisten kemian avulla pystytään tuomaan esiin kemian yhteys arkielämään ja luontoon, laajentaa oppilaiden kemian ajattelua sekä innostaa oppilaita kemian opintojen pariin. Oppilaiden kiinnostuksen herättäminen kemiaa kohtaan mainitaan opetussuunnitelmien perusteissa yhdeksi keskeisistä kemian opetuksen tavoitteista (Opetushallitus, 2003, 135).

Aikaisempien tutkimusten mukaan oppilaat kokevat kemian opiskelun usein abstraktisuutensa vuoksi vaikeaksi (Gabel, 1999), eikä kemiaa myöskään koeta oppiaineena kiinnostavaksi (Aksela & Juvonen, 1999, 46). Kemian opetukseen tarvitaan lisää uusia mielekkäitä lähetysmistapoja. Yksi tapa tukea mielekästä kemian opetusta, on käyttää opetuksessa oppilasta motivoivia mielekkäitä oppimateriaaleja ja opetusmenetelmiä. Kokeellisuus on yksi mielekästä oppimista tukeva lähestymistapa. Kokeellisuus on kuitenkin tärkeää kytkeä jonkinlaiseen mielekkääseen kontekstiin (Millar, 2004). Hyönteisten kemian kytkemistä kemian opetukseen voidaan pitää kontekstuaalisena lähestymistapana. Tutkimusten mukaan kontekstuaalisen lähestymistavan on todettu kasvattavan oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan (Gilbert, 2006).

Tutkimusten mukaan mielekästä kemian oppimista voidaan tukea myös käsitekarttojen avulla (mm. Francisco et al., 2002; Markow & Lonning, 1998; Nicoll et al., 2001; Novak, 1998, 86-87). Käsitekartat ovat graafisia opetuksen, oppimisen, arvioinnin ja tiedonesityksen työkaluja, jotka on kehitetty Ausubelin mielekkään oppimisen teorian sovelluksena (Novak & Gowin, 1984, 19-24). Kemian oppimisessa käsitekartat helpottavat oppilasta hahmottamaan kokonaisuuksia ja käsitteiden välisiä suhteita. Laboratoriotyöskentelyssä käsitekartat toimivat myös apuna käsitteistön hahmottamisessa, joka usein jää kokeellisen työn varjoon.

Tieto- ja viestintäteknikka antaa kemian opetukseen uusia mahdollisuuksia (Linn, 2003). Verkon käyttö mahdollistaa kemiassa esimerkiksi mittavat tiedonhaku ja ongelmanratkaisu resurssit (Aksela, 2005, 60-62) sekä monipuoliset visualisointi keinot (molekyyylimallinnus), jotka tukevat kemian ymmärtämistä (Russel et al., 1997). Suomessa tieto- ja viestintäteknikan käyttöä tulee edistää panostamalla opettajien koulutukseen. Opettajien tieto- ja viestintäteknisten taitojen koulutus helpottaisi tieto- ja viestintäteknikan siirtymistä osaksi opetusta (Valtioneuvoston kanslia, 2007). Suomalaiset kemian opettajat käyttävät tieto- ja viestintäteknikkaa vähän opetuksessa (Meisalo, Lavonen, Juuti & Aksela, 2007). Tutkimusten mukaan etenkin suomenkieliselle molekyyylimallinnusta käsittelevälle tehtävämateriaalille on tarvetta (Aksela & Lundell, 2007). Tarvitaan lisää uutta materiaalia ja lähestymistapoja tieto- ja viestintäteknikan käyttöön kemian kouluopetuksessa.

Tässä tutkielmassa suoritetaan nelivaiheinen kehittämistutkimus (Edelson, 2002), jonka tavoitteena oli kehittää Ausubelin (1968) mielekkään oppimisen teorian pohjalta lukion opettajille suunnattu hyönteisten kemiaa käsittelevä verkkomateriaali. Materiaalin tavoitteena on toimia opettajille sisällöltään monipuolisena ja käytettävyydeltään mielekkäänä hyönteisten kemian materiaalipankkina. Verkkomateriaalista pyritään tekemään Jonassenin (1999) kriteerien mukaisesti mielekäs, kuitenkin huomioiden materiaalin tavoitteet ja kohdeyleisö. Verkkomateriaalin mielekkyyttä tuetaan rakentamalla materiaalin navigointijärjestelmä käsitekarttojen muotoon. Tutkimusten mukaan käsitekartat edistävät oppimista verkkoympäristössä (Carnot et al., 2001).

Luvut 2-4 muodostavat tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen. Luvussa 2 käsitellään tarveanalyysin pohjalta esiin nousseita hyönteisten kemian asioita. Luvussa 3 tarkastellaan, miten hyönteisten kemia yhdistyy lukion opetussuunnitelmien perusteiden mainitsemiin kemian opetuksen tavoitteisiin sekä, miten kemian opetuksen tärkeyttä perustellaan luonnontieteiden kolmen dimension ja opetuksen neljän argumentin avulla. Luku 4 käsittelee kemian opetusta ja oppimista. Luvussa 4 tarkastellaan kemian tiedon luonnetta, mielekästä oppimista ja miten sitä voidaan tukea kemian opetuksessa. Luvussa 4 käsitellään käsitekarttoja, verkko-opetusta ja miten niitä tutkimusten mukaan käytetään kemian opetuksessa.

Luvussa 5 esitellään kehittämistutkimuksen tutkimuskysymykset, selostetaan tutkimuksen eteneminen, tarkastellaan tutkimuksen kohderyhmää sekä tutkimuksen luotettavuutta ja pätevyyttä. Luvussa 6 käsitellään tutkimustulokset. Luvussa 7 esitellään tulosten pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä ja pohdintoja teoreettinen viitekehys huomioiden sekä kerrotaan mahdollisista jatkotutkimuksista.

2. HYÖNTEISTEN KEMIAA

Hyönteisiin liittyy paljon mielenkiintoista kemiaa. Työssä keskitytään yleisesti hyönteisten semiokemikaaleihin (ks. luku 2.1) ja pigmentteihin (ks. luku 2.2). Lähempään tarkasteluun on valittu mehiläisten kemia (ks. luku 2.3). Hunajamehiläinen (*Apis mellifera*) (ks. kuva 2.10) on valittu esimerkiksi kemiallisen monimuotoisuutensa vuoksi.

2.1 Semiokemikaalit

Semiokemikaalit ovat pienikokoisia orgaanisia yhdisteitä, jotka välittävät kemiallisia viestejä. Niiden avulla hyönteiset pystyvät viestimään lajinsisäisesti tai lajirajojen ulkopuolelle. Hyönteiset aistivat semiokemikaalit hajureseptorien avulla suoraan ilmasta. Hajureseptorit sijaitsevat useimmilla hyönteisillä tuntosarvien värekarvoissa (mm. Leal, 2005). Termiä "semiokemikaali" on käytetty vuodesta 1971 asti. Merkityksensä se saa kreikan kielen sanasta "semeon", merkki tai signaali (Nordlund et al., 1981, 15).

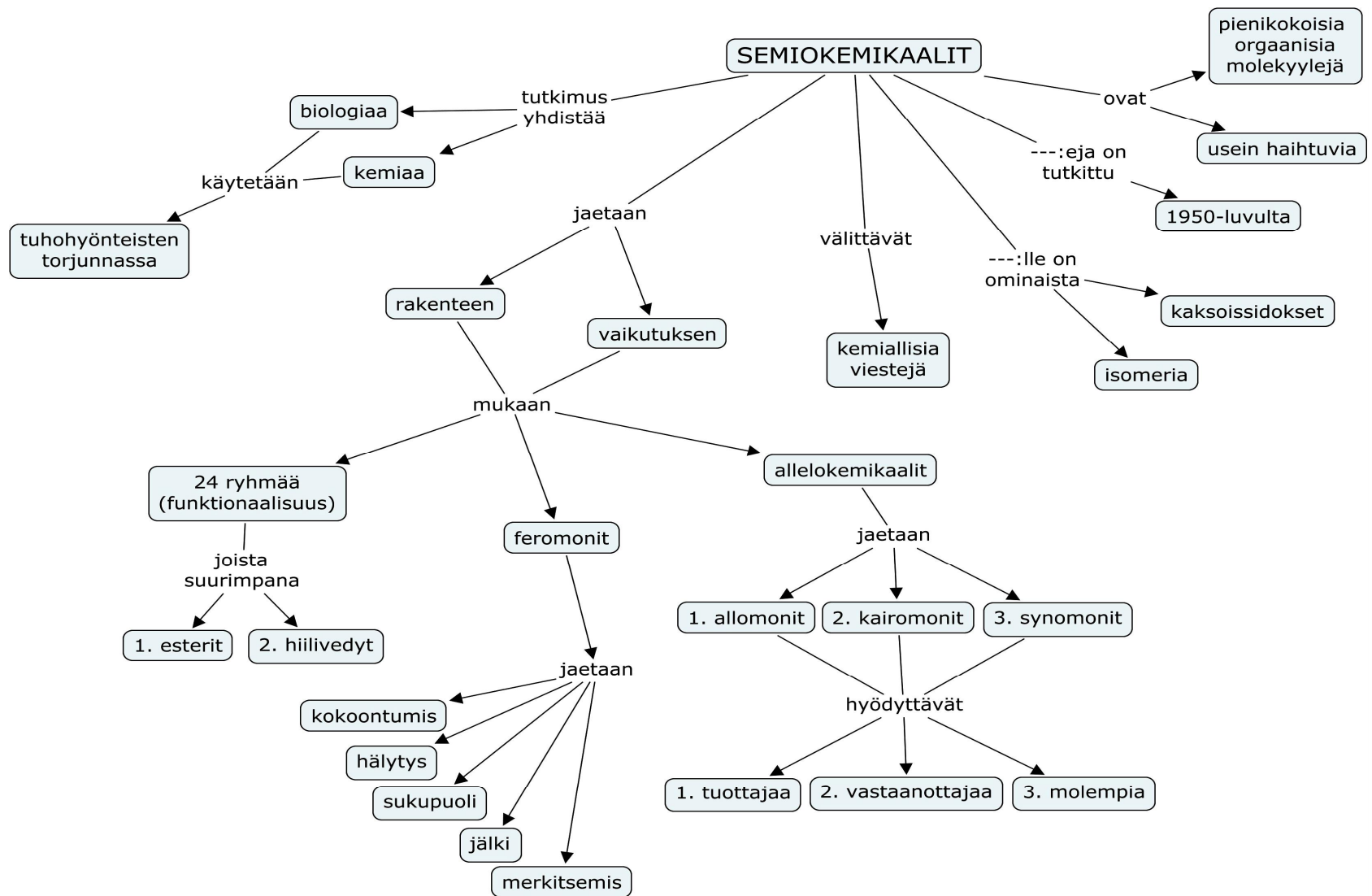
Semiokemikaaleja on tutkittu jo 1880-luvulta lähtien. 1880-luvulla niiden kemiaa ei kuitenkaan vielä ymmärretty, mutta jo silloin osattiin houkutella naarashyönteisten avulla koiraita pyyntiansoihin (Schneider, 1992). Nykyisessä muodossa tunnettua semiokemikaalitutkimusta on tehty 1950-luvulta lähtien, jolloin eristettiin ja tunnistettiin ensimmäiset feromonit. 1950-luvulta lähtien tähän päivään saakka on tunnistettu yli 3000 hyönteisten kemialliseen viestintään liittyvää semiokemikaalia (mm. El-Sayed, 2007). Nykyään semiokemikaalitutkimuksessa jatketaan molekyylien kartoittamista, syntetisoimista ja biosynteesien tutkimista. Ajan kuluessa tärkeäksi tutkimus osa-alueeksi on myös noussut hyönteisten neurofysiologisen aistimisen ymmärtäminen sekä ymmärrys hyönteisten hormonaalisen säätelyn vaikutuksista feromonien biosynteseihin ja vapautumiseen. Semiokemikaalitutkimuksen käytännön tavoitteena on kehittää tuhohyönteisten torjuntaan ja valvomiseen soveltuvia metodeja ja sovelluksia (Nation, 1998). Stokesin nelikentässä semiokemikaalitutkimus sijoittuu Pasteurin neljännekseen. Tutkimus pohjautuu puhtaan kemian perustutkimukseen, mutta lopullisena tavoitteena on kuitenkin kehittää ratkaisuja käytännön tutkimusongelmiin (Kovac, 2002, 18-22).

Suomessa semiokemikaaleihin liittyvä tutkimus keskittyy kasvien ja metsien suojeluun. Tutkimuksissa kehitetään sovelluksia tuhohyönteisten torjuntaan ja valvontaan. Metsien ja kasvien suojeluun liittyvää tutkimusta tehdään muun muassa Joensuun ja Helsingin yliopistoissa. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa tehdään myös semiokemikaalitutkimusta. Siellä painopiste on kasvinsuojelussa.

Kemiallisesti semiokemikaaleja on syytä tarkastella sekä vaikutuksen (ks. luku 2.1.2) että rakenteen (ks. luku 2.1.3) pohjalta (ks. kuva 2.1). Vaikutuksen perusteella semiokemikaalit voidaan lajitella feromoneihin ja allelokemikaaleihin kemikaalien käyttötarkoituksen ja hyötyjän perusteella. Rakenteen perusteella semiokemikaalit voidaan jakaa 24 ryhmään funktionaalisten ryhmien mukaisesti. Semiokemikaalien kemian yhteydessä on olennaista myös tutustua käytännön sovelluksiin (ks. luku 2.1.4).

2.1.1 Semiokemikaalien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet

Semiokemikaalien tietokanta *Pherobase* käsittää tähän mennessä noin 3000 semiokemikaalia. Suurin osa molekyyleistä on pienikokoisia ja yksinkertaisia, mutta osan rakenteet voivat olla hyvinkin monimutkaisia. Semiokemikaalien molekyylipainot vaihtelevat välillä 17-880 g/mol, mutta yleensä ne ovat helposti haihtuvia. Painavimmilla molekyyleillä on pisimmät hiiliketjut, mutta yli 550 g/mol massan omaavia semiokemikaaleja on tietokannassa alle 10 kappaletta. Semiokemikaalien hiiliketjujen pituus vaihtelee nollasta hiilestä 45 hiilen mittaisiin ketjuihin. Semiokemikaalien rakenteissa kaksoissidosten määrä vaihtelee nollasta kolmeentoista. Kaksoissidosten myötä cis-trans-isomeria on semiokemikaaleille tyypillinen ominaisuus, mutta yhdisteillä esiintyy myös paikkaisomeriaa ja optista isomeriaa. (mm. EL-Sayed, 2007)



Kuva 2.1. Käsitekarta semiokeemikaalien jaottelusta ja ominaisuuksista

2.1.2 Semiokemikaalien jaottelu vaikutuksen perusteella

Semiokemikaalit jaetaan vaikutuksen puolesta kahteen pääryhmään: feromoneihin ja allelokemikaaleihin. Semiokemikaaleja tarkasteltaessa täytyy kiinnittää huomiota niiden toimintaan, koska sama molekyyli voi vaikuttaa yhdellä hyönteislajilla feromonina ja samanaikaisesti jollain toisella hyönteislajilla kairomonina tai allomonina. Luonnossa lajikohtainen kemiallinen viesti voi syntyä esimerkiksi tarkkojen moolisuhteiden perusteella, tietyn isomerian muodon kautta tai isomeeristen seoksien myötä. (mm. EL-Sayed, 2007)

2.1.2.1 Feromonit

Feromonit ovat yhdisteitä joita hyönteiset käyttävät saman lajikohtaiseen viestimiseen. Termi "feromoni" on saanut merkityksensä kreikan kielen sanoista "pherein", kantaa ja "horman", kiihottaa/stimuloida. Termi esiteltiin vuonna 1959 samanaikaisesti sekä Karlssonin ja Butenandtin että Karlssonin ja Lüscherin toimesta. Feromonit eroavat hormoneista niin, että hyönteiset tuottavat hormoneita endokriinisten rauhasten avulla. Ne vaikuttavat niiden tuottajaan, kun taas feromonit eivät vaikuta tuottajaan vaan toisiin yksilöihin. Feromonit voidaan jaotella vaikutuksen perusteella ainakin seuraaviin ryhmiin (mm. Mori et al., 2007; Regnier & Law, 1968):

- Kokoonumisferomonit (aggregaatioferomonit): yhdisteitä, jotka lisäävät hyönteisten esiintymistiheyttä feromonin alkulähteellä.
- Hälytysferomonit: yhdisteitä, jotka stimuloivat hyönteisten pakenemiskäyttäytymistä tai puolustautumista.
- Sukupuoliferomonit (ks. kuva 2.2): yhdisteitä, joiden avulla eri sukupuolet löytävät toisensa.
- Jälkiferomonit: yhdisteitä, joiden avulla sosiaalisten hyönteisten työläiset merkitsevät esimerkiksi tien ravintolähteelle.
- Merkitsemisferomonit: yhdisteitä, joilla hyönteiset merkitsee territorion rajat.



Kuva 2.2. Korennot (Miettinen, A., 2006).

Semiokemikaalien vaikutukseen vaikuttaa yhdisteen molekyylipaino. Esimerkiksi hälytysferomonien molekyylipainoista suurin osa on alle 200 g/mol. Ne haihtuvat vaaran poistuessa. Jälkiferomonien molekyylipainot ovat taas isompia. Niiden tarkoitus ei ole haihtua heti ilmaan. (mm. EL-Sayed, 2007; Keeling et al., 2004; Regnier & Law, 1968)

2.1.2.2 Allelokemikaalit

Allelokemikaalit jaetaan allomoneihin, kairomoneihin ja synomoneihin. Allomonit ovat yhdisteluokka, jotka hyödyttävät niiden tuottajaa, mutta eivät vastaanottajaa. Luonnossa allomonit toimivat usein osana kemiallista puolustusta, esimerkiksi hyönteisten erittämät myrkyt. Saalistajat käyttävät allomoneja myös saaliin houkuttelemiseen. (mm. EL-Sayed, 2007; Nordlund et al., 1981, 13-28) Tämän työn esimerkki allomoneista on hunajamehiläisen myrkky, johon syvennyttään tarkemmin luvussa 2.3.3.

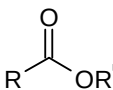
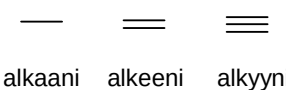
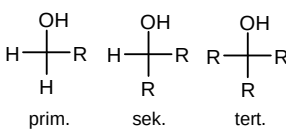
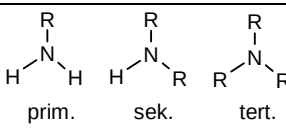
Kairomonit ovat yhdisteluokka, jotka tuovat etua niiden vastaanottajalle. Termi "kairomoni" tulee kreikan kielen sanasta "kairos", opportunistinen (Nordlund et al., 1981, 18). Kairomoneista hyötyvät esimerkiksi monet pedot ja luteet, jotka löytävät saalinsa tai mahdollisen isäntähyönteisen kairomonien opastamana (mm. EL-Sayed, 2007; Zumdahl & Zumdahl, 2000, 402).

Synomonit (kreikaksi "syn", kanssa tai yhdessä) ovat yhdisteitä jotka hyödyttävät sekä niiden vastaanottajaa että niiden lähettäjää. (mm. Nordlund et al., 1981, 18-19)

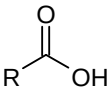
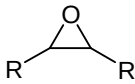
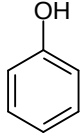
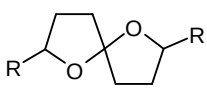
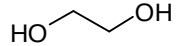
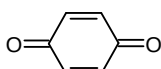
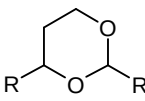
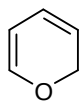
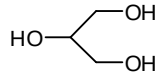
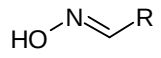
2.1.3 Semiokemikaalien jaottelu rakenteen perusteella

Semiokemikaalit ovat kemiallisen rakenteen perusteella monimuotoinen ryhmä, Pherobase tietokannassa semiokemikaalit on jaettu funktionaalisten ryhmien perusteella 24 alaryhmään (ks. taulukko 2.1).

Taulukko 2.1. Semiokemikaalien jaottelu kemiallisen rakenteen mukaan suurimmasta ryhmästä pienimpään (EL-Sayed, 2007; Francke & Kitching, 2001).

Ryhmä	Lukumäärä	Funktionaalinen ryhmä	- Perusrakenne - Substituentit - Ominaispiirteet
<u>Esterit</u> 1. Karboksyyliesterit 2. Asetaattiesterit 3. Sykliset esterit (ks. luku 2.1.3.1)	430 340 75		- hiiliketju (C ₂ -C ₄₁) - kaksoissidoksia - isomeriaa - rengasrakenteita (sykliset esterit) - metyyli- ja propyyli-ryhmiä
4. Hiilivedyt (ks. luku 2.1.3.2)	580	 alkaani alkeeni alkyyni	- hiiliketju (C ₂ -C ₄₅) - tyydyttyneisyysaste - isomeriaa - rengasrakenteita ja aromaattisia yhdisteitä - metyyli- ja propyyli-ryhmiä
5. Ketonit	400		- hiiliketju (C ₃ -C ₃₁) - kaksoissidoksia - isomeriaa - rengasrakenteita ja aromaattisia yhdisteitä - metyyli- ja propyyli-ryhmiä - osassa molekyyleistä typpi-atomeja rakenteessa - usein toimivat osana kemiallista puolustusta
<u>Alkoholit</u> 6. Prim. alkoholit 7. Sek. alkoholit 8. Tert. alkoholit	210 150 30	 prim. sek. tert.	- hiiliketju (C ₃ -C ₃₀) - kaksoissidoksia - isomeriaa - rengasrakenteita - metyyli- ja propyyli-ryhmiä
9. Amiinit	300	 prim. sek. tert.	- hiiliketju (C ₀ -C ₃₂) - kaksoissidoksia - isomeriaa - rengasrakenteita - metyyli-ryhmiä
10. Aldehydit	260		- hiiliketju (C ₁ -C ₂₈) - kaksoissidoksia - isomeriaa - metyyli-ryhmiä

Taulukko 2.1. jatkuu

11.Karboksyylihapot	210		- hiiliketju (C ₀ -C ₄₀) - kaksoissidoksia - isomeriaa - metyyliryhmiä - monet toimivat puolustuskemikaaleina
12.Epoksidit	100		- hiiliketju (C ₈ -C ₂₃) - kaksoissidoksia - isomeriaa - rengasrakenteita - metyyliryhmiä
13.Fenolit	55		- hiiliketju (C ₆ -C ₁₃) - kloori-, nitro- ja metoksiryhmiä - metyyliryhmiä
14.Spiroasetaalit	50	esim. 	- hiiliketju (C ₈ -C ₁₃) - haihtuvia - isomeriaa (Francke & Kitching, 2001)
15.Diolit	40		- hiiliketju (C ₂ -C ₁₉) - isomeriaa - metyyliryhmiä
16.Kinonit	40	esim. 	- hiiliketju (C ₆ -C ₁₅) - metyyli-, etyyli-, propyyli-, vinyyli- ja metoksiryhmiä
17.Dioksit	30	esim. 	- hiiliketju (C ₆ -C ₁₀) - isomeriaa
18.Rikkiyhdisteet	30	- rakenteessa -S- sidos	-
19.Eetterit	20	- rakenteessa happisilta -O-	-
20.Furaanit	20		-
21.Polyhydroksidit	20	- rakenteessa useita -OH ryhmiä	- ryhmässä mm. sokerit
22.Pyraanit	15	esim. 	-
23.Triolit	5	esim. 	-
24.Oksimit	5	esim. 	-
Yhteensä	>3200		

Taulukon 2.1 mukaan määrällisesti suurimmat rakenteelliset semiokemikaalien alaryhmät ovat esterit, hiilivedyt, ketonit, alkoholit, amiinit, aldehydit ja karboksyylihapot. Semiokemikaaleja ei voida rakenteen perusteella rajata mihinkään tiettyyn semiokemikaalien vaikutuskategoriaan, koska niitä löytyy kaikista vaikutusryhmistä. (mm. EL-Sayed, 2007)

2.1.3.1 Esterit

Esterit ovat karboksyylihappojen johdoksia, joiden funktionaalinen ryhmä on $-\text{COOR}$ (ks. taulukko 2.1). Ne ovat tietokannan suurin semiokemikaaliryhmä (EL-Sayed, 2007) ja luonnossa laajalle levinneitä. Esterit ovat hyväntuoksuisia ja $-\text{makuisia}$. Estereille on ominaista korkea kiehumispiste verrattuna molekyylin kokoon, mikä johtuu rakenteiden sisältämistä happiatomeista.

Semiokemikaaleissa esiintyy kolmenlaisia estereitä: karboksyyliestereitä, asetaattiestereitä (työn esimerkkiferomoni: ks. luku 2.3.2) ja syklisiä estereitä. Ryhmässä on myös tyyppiä sisältäviä yhdisteitä, muun muassa ammoniumasetaatti ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$). Esterisemiokemikaaleissa esiintyy stereoisomeriaa. Ryhmän yleisimpiä substituentteja ovat metyyli- ja propyyli-ryhmät. (mm. EL-Sayed, 2007)

2.1.3.2 Hiilivedyt

Hiilivetysemiokaalit ovat toiseksi suurin semiokemikaaliryhmä: niitä on noin 580 kappaletta (ks. taulukko 2.1). Ryhmän lyhytketjuisista hiilivedyistä ($\text{C}_2\text{-C}_{13}$) valtaosa on alkeeneja. Hiiliketjun pidentyessä ($\text{C}_{14}\text{-C}_{45}$) alkaa alkaanien esiintyminen ryhmässä kasvaa. Ryhmään kuuluu myös rengasrakenteisia syklisiä hiilivetyjä ja aromaattisia yhdisteitä, mutta vain yksi alkyyni. Ryhmässä esiintyy paljon isomeriaa, alkaaneilla useimmiten paikkaisomeriaa ja alkeeneilla optista sekä cis-trans-isomeriaa. (mm. EL-Sayed, 2007)

Ryhmän perusrakenne on yksinkertainen suora hiiliketju ($\text{C}_2\text{-C}_{45}$). Ryhmän kemiallinen monimuotoisuus syntyy tyydyttyneisyysasteiden, isomerian, syklisyyden ja aromaattisuuden myötä. Yleisimmät ryhmässä esiintyvät sivuketjut ovat metyyli- ja propyyli-ryhmiä. (mm. EL-Sayed, 2007)

2.1.4 Semiokemikaalien käyttökohteet

Semiokemikaalitutkimus on merkittävä tutkimusalue, jossa yhdistyy kemian ja biologian osaaminen (Cox, 2004; Jutsum & Gordon, 1985, 5; Phillips, 1997). Semiokemikaalien tärkeä käyttökohde on tuhohyönteisten torjuminen viljelyksiltä ja varastoiduista tuotteista. Tuhohyönteisiä torjutaan semiokemikaaleilla esimerkiksi suoraan ansojen avulla. Semiokemikaaleja voidaan käyttää tuhohyönteisten populaatiokokojen kartoittamiseen laskenta-ansoissa (Cox, 2004) tai houkutella niitä isoihin ansoihin, joissa ne tuhotaan (Phillips, 1997). Semiokemikaaleilla voidaan myös estää hyönteisten kommunikointia keskenään nostamalla pitoisuuksia ympäristössä, jolla yritetään muun muassa vähentää hyönteisten lisääntymistä (Cox, 2004; Jutsum & Gordon, 1985, 5-9).

2.2 Pigmentit

Hyönteisten värien monimuotoisuus (ks. kuva 2.3) on aina kiehtonut luonnontieteilijöitä. Vasta 1900-luvun alussa alettiin ymmärtää pigmenttien kemiaa. Pigmentit esiintyvät luonnon materiaaleissa niin pieninä ainemäärinä, että niiden eristäminen aikaisemmin oli vaikeaa. Vaikka eristäminen olisi onnistunut, puhtaita näytteitä ei kuitenkaan olisi pystytty analysoimaan käytössä olevilla menetelmillä riittävän tarkasti. Tarkkoihin määrittäisiin olisi tarvittu suuri määrä hyönteisiä. (mm. Cromartie, 1959)

Pigmenttien kemian tutkiminen lisääntyi merkittävästi kromatografian kehittymisen rinnalla. Kromatografiset menetelmät antoivat mahdollisuuden aineiden puhdistamiseen, tunnistamiseen ja monimutkaisten samankaltaisista yhdisteistä koostuvien seosten komponenttien erottamiseen toisistaan. (mm. Cromartie, 1959)



Kuva 2.3. Korento lehdellä (Miettinen, A., 2006).

Hyönteisissä on sekä vesi- että rasvaliukoisia pigmenttejä. Hyönteisten vesiliukoisia pigmenttejä ovat esimerkiksi pterinit, joita on muun muassa perhosten siivissä. Tärkeitä rasvaliukoisia pigmenttejä ovat esimerkiksi karotenoidit. (mm. Cromartie, 1959: Streitwieser et al., 1998, 1226-1227)

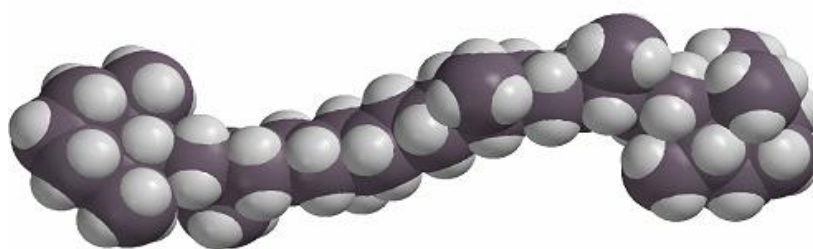
Pigmentit kappaleessa keskitytään karotenoideihin (ks. luku 2.2.1). Karotenoidien kemiallisia, fysikaalisia ja biologisia ominaisuuksia käsitellään luvussa 2.2.1.1 ja luvussa 2.2.1.2 karotenoidien biosynteesiä.

2.2.1 Karotenoidit

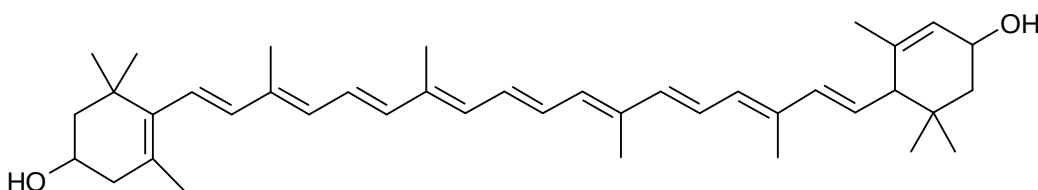
Karotenoideja on hyönteisissä sekä vapaassa muodossa että vesiliukoisina pigmentti-proteiinikomplekseina. Hyönteiset eivät pysty itse syntetisoimaan karotenoideja, vaan saavat ne elimistöönsä ravinnon kautta (Cromartie, 1959). Hyönteisissä karotenoidit vaikuttavat tärkeisiin fysiologisiin toimintoihin, esimerkiksi näkökykyyn. Karotenoidit vaikuttavat myös hyönteisten väreihin, jotka toimivat muun muassa suojaväreinä ja parittelukumppanin houkuttimena (Olson & Owens, 1998).

Karotenoideja on tutkittu noin 150 vuotta. Tähän päivään mennessä luonnosta on eristetty yli 600 erilaista karotenoidia. Eristämisen lisäksi karotenoiditutkimuksessa selvitetään niiden metaboliareittejä, joiden kautta päästään kiinni karotenoideissa tapahtuviin kemiallisiin muutoksiin. Kiinnostus karotenoiditutkimukseen on lähtenyt niiden terveyttä edistävästä vaikutuksesta (ks. luku 2.2.1.1). (Olson & Owens, 1998)

Karotenoidit voidaan jakaa karoteeneihin ja ksantofylleihin. Karoteenien ryhmän muodostavat karoteenihiilivedyt. Karoteenihiilivetyjä ovat esimerkiksi α -, β -karoteeni (ks. kuva 2.4) ja lykopeeni. Ksantofyllit ovat hapettuneita karotenoideja. Ksantofyllejä ovat esimerkiksi luteiini (ks. kuva 2.5), violaksantiini, neoksantaani ja tseaksantaani (Britton, 1995; Davies, 1976, 38-58).



Kuva 2.4. β -karoteenin molekyylimalli.

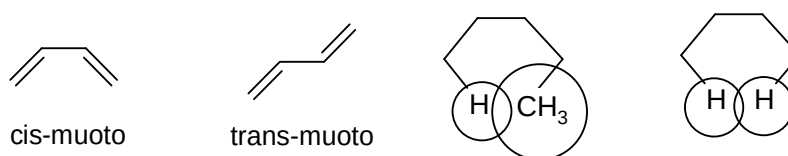


Kuva 2.5. Luteiinin rakennekaava.

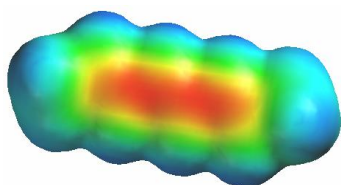
2.2.1.1 Karotenoidien kemialliset, fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet

Karotenoidit ovat C_{40} -isoprenoideja ja kuuluvat tetraterpeeneihin. Karotenoidit ovat suurimmaksi osaksi väriltään keltaisia, mutta niistä löytyy myös oransseja, vihreitä ja punaisia yhdisteitä. Karotenoidien suuren tyydyttymättömyysasteen (yli 10 kaksoissidosta) vuoksi ne ovat värikkäitä, kiteytyviä ja helposti hapettuvia. Herkän hapettuvuuden vuoksi karotenoideja käsiteltäessä, täytyy ne suojata valolta, lämmöltä, hapelta ja hapoilta, etteivät näytteet tuhoudu. (Britton, 1995; Davies, 1976, 38-58)

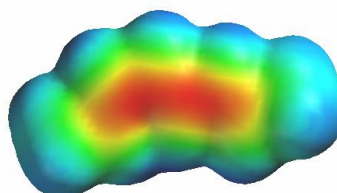
Kaksoissidosten suuren lukumäärän myötä karotenoideille on ominaista monimuotoisen isomerian esiintyminen, useimmiten cis-trans-isomeriaa. Kuitenkin luonnossa esiintyvistä isomeereistä suurin osa on trans-muodossa ja vain vähäinen määrä cis-muodossa, koska cis-isomeeri aiheuttaa suuremman steerisen esteen vetyatomien tai / ja metyyliryhmien välille (ks. kuva 2.6). Cis-muoto on yleensä termodynaamisesti epästabiilimpi ja energeettisesti korkeampi, kuin trans-muoto. Se johtuu cis-muodon elektronien epäedullisemmasta sijoittumisesta molekyylissä (ks. kuvat 2.7 ja 2.8). (Britton, 1995)



Kuva 2.6. Cis-trans-isomeria (Britton, 1995).



Kuva 2.7. Trans-muodon malli



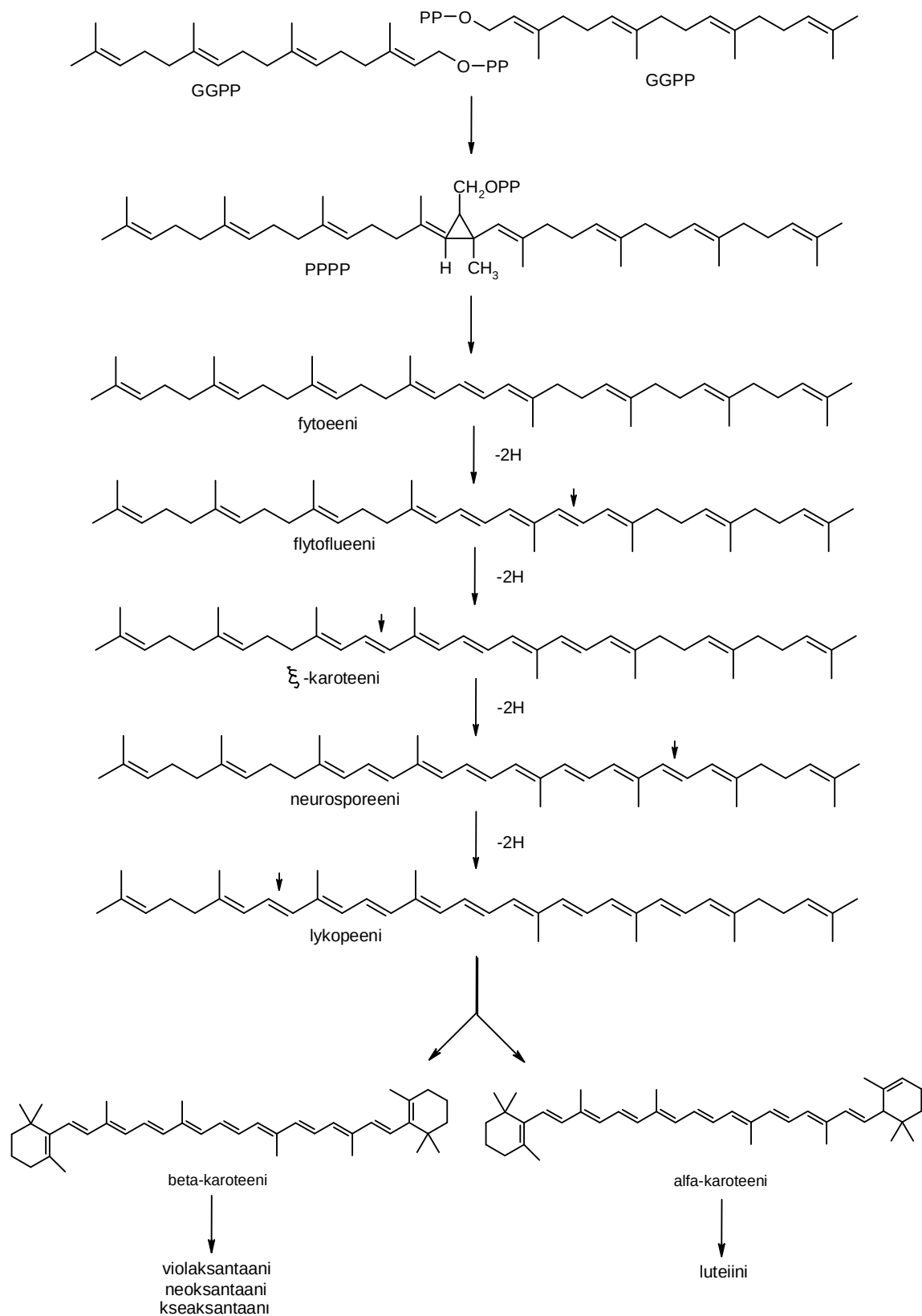
Kuva 2.8. Cis-muodon malli

Karotenoidien väri johtuu kyvystä absorboida valoa. Karotenoidi molekyylin konjugoitunut pitkä hiiliketju absorboi valokvantin ja virittyy korkeammalle energiatilalle. Viritystila on hyvin lyhyt, $t=200$ fs. (mm. Krinsky, 1994; Streitwieser et al., 1998, 1226)

Tutkimusten (mm. Nishino et al., 1999; Rao & Rao, 2007) mukaan karotenoideilla on todettu olevan antikarsinogeenisia vaikutuksia. Eläinkokeissa saatiin syöpää ehkäiseviä tuloksia sekä kasveista että eläimistä eristetyillä karotenoideilla. Tutkimuksessa saatiin α -karoteenilla, lykopeenilla ja luteiinilla parempia tuloksia kuin β -karoteenilla. Ongelmana tutkimuksessa oli eristettyjen karotenoidien epästabiilisuus. Karotenoidien syöpää ehkäisevä vaikutus perustuu RB-geenin ekspression stimuloimiseen, joka on antionkogeeni (Nishino et al., 1999).

2.2.1.2 Karotenoidien biosynteesi

Karotenoidien biosynteesireitti on kuvattu kuvassa 2.9. Biosynteesissä muodostuu ensin karotenoideja kahden geranyyligeranylipyrofosfaattiyksikön (GGPP, C_{20} -yksikkö) kondensoituessa häntä-häntä-kytkennällä toisiinsa. Välivaiheena kondensoitumisessa muodostuu syklopropanirengas, prefytoeenipyrofosfaatti (PPPP). Prefytoeenifosfaatista muodostuu fytoeeni 15-15'-kaksoissidoksen muodostumisen ja protonin lohkeamisen myötä. Fytoeenin pelkistyessä muodostuu flytoflueeni, jonka pelkistyessä muodostuu ξ -karoteeni. Seuraavaksi ξ -karoteeni pelkistyy neurosporeeniksi, joka taas pelkistyy lykopeeniksi. Lykopeeni on asyklinen karoteeni ilman ketjun päässä olevaa rengasta. Lykopeenin hiiliketjun toiseen tai molempiin päihin voi syklisoitua viiden tai kuuden atomin kokoinen hiilirengas. Esimerkiksi β -karoteenissa on lykopeenin molempiin päihin syklisoitunut kuusirengas. (mm. Cunningham et al., 1996; Hiltunen & Holm, 2000, 240-241; Park et al., 2002)



Kuva 2.9. Karotenoidien muodostuminen fytoteenin kautta kahdesta GGPP:sta (mm. Cunningham et al., 1996; Hiltunen & Holm, 2000, 240-241; Park et al., 2002).

2.3 Mehiläiset

Mehiläiset luvussa käsitellään hunajamehiläisen (ks. kuva 2.10) semiokemikaaleja (ks. luku 2.3.1): syvennyttään tarkemmin hälytysferomonina toimivaan isopentyyliasetaattiin (ks. luku 2.3.2) ja tarkastellaan tärkeimpien mehiläistuotteiden kemiaa. Isopentyyliasetaatti valittiin mehiläisten feromoneista esimerkiksi, sillä ainoastaan se nousi esille mehiläisten feromoneista oppikirjojen tarveanalyysissä (ks. luvut 5.2.1, 6.1 ja liite 2).

Mehiläistuotteita käsitellään kemiallisen koostumuksen, ominaisuuksien, mahdollisten farmakologisten vaikutusten ja sovellusten näkökulmasta. Mehiläistuotteista tarkempaan tarkasteluun on otettu hunajamehiläistyöläisen myrkky (ks. luku 2.3.3), joka toimii myös työn esimerkkinä allomoneista, hunaja (ks. luku 2.3.4), mehiläisvaha (ks. luku 2.3.5) ja propolis (ks. luku 2.3.6). Tuotteet ovat monimutkaisia seoksia, jonka vuoksi niiden farmakologisten vaikutusten tarkastelu on rajattu kunkin mehiläistuotteen kohdalla vain tärkeimpiin yhdisteisiin/yhdisteryhmiin. Kokonaan tarkastelusta pois on jätetty kaupallisesti tärkeänä pidetty, mutta farmakologisilta ominaisuuksiltaan suppeampi kuningatarhillo. Mehiläisiin ja mehiläistuotteisiin liittyvä kirjallisuus on referoitu kattavasti seuraavissa teoksissa: Crane, 1975; Crane, 1990 ja Krell, 1996.

Mehiläistutkimusta tehdään runsaasti ympäri maailmaa, erityisen paljon Yhdysvalloissa. Mehiläisiä tutkitaan sekä niiden ekologisen tärkeyden vuoksi että niiden taloudellisen hyödyntämismahdollisuuksien vuoksi. Suomessa mehiläistutkimus keskittyy pölytykseen sekä kasvin- ja mehiläisten suojeluun. Suomessa mehiläistutkimusta tehdään muun muassa Helsingin yliopistossa sekä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa.

Mehiläiset luvussa ei tarkastella mehiläisissä esiintyviä pigmenttejä, koska mehiläisten pigmenttien tutkimus keskittyy enimmäkseen mehiläisten värinään kehittymiseen sekä värinään ravinnon etsintä vaikutuksiin. Mehiläisten pigmenttitutkimusta tehdään pääosin biologisesta näkökulmasta. (mm. Chittka, 1999)



Kuva 2.10. Mehiläinen punahatun kukassa (Suomen Mehiläishoitajien Liitto).

2.3.1 Mehiläisten semiokemikaalit

Mehiläiset ovat sosiaalisia hyönteisiä, joten on luonnollista, että niiden elämää säätelee iso ja kemiallisesti monimuotoinen ryhmä semiokemikaaleja. Niihin kuuluu esimerkiksi estereitä, karboksyylihappoja, terpeenejä, ketoneja ja alkoholeja. Mehiläisten semiokemikaaleihin liittyvää kirjallisuutta on julkaistu 1950-luvulta lähtien (mm. EL-Sayed, 2007; Keeling et al., 2004). Muutaman viimeisen vuoden aikana on kuitenkin huomattu mehiläisten kemiallisen viestinnän olevan paljon oletettua monimutkaisempaa. Mehiläisten kemiallisen viestinnän monimutkaisuus johtuu useiden feromonien synergiavaikutuksista sekä yhden feromonin useasta samanaikaisesta käyttötarkoituksesta. Mehiläisten kemiallisesta viestinnästä tarvitaan lisätutkimusta (Slessor et al., 2005).

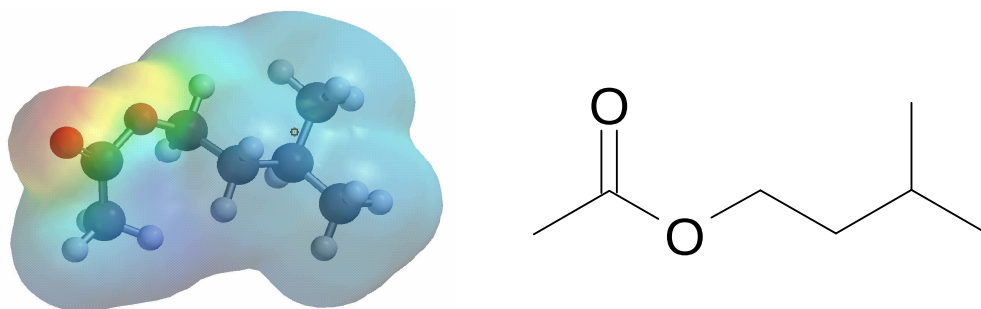
Taulukkoon 2.2 on kerätty osa hunajamehiläisen semiokemikaaleista ja niiden vaikutuksia käyttäytymiseen. Monet hunajamehiläisen hälytysferomoneina toimivat semiokemikaalit ovat estereitä ja alkoholeja. Mehiläisten kemiallinen viestintä on vahvasti kuningatarpainotteista (EL-Sayed, 2007; Keeling et al., 2004).

Taulukko 2.2. Osa hunajamehiläisen semiokemikaaleista ja niiden vaikutus (EL-Sayed, 2007; Keeling et al., 2004).

Numero	Kemiallinen nimi	Vaikutus
1 2 3 4 5	(E)-9-okso-2-dekenoidihappo (E)-9-hydroksi-2-dekenoidihappo Metyyli-4-hydroksibentsoaatti 4-hydroksi-3-metoksifenyylietanoli queen mandibular pheromone (QMP)	Hidastaa työläisen muodonmuutosta toukasta aikuiseksi ja vähentää kasvuhormonin määrää hemolymfassa
5 6	QMP Linoleenihappo	Vähentää hedelmöittyneen kuningattaren vetovoimaa työläisiin
1	(E)-9-okso-2-dekenoidihappo	Inhiboi kasvuhormonin biosynteesiä työläisissä
5	QMP	Lisää työläisten pesärakennuskäyttäytymistä
5	QMP	Vetää puoleensa kuhnureita parittelulenkoilla
5 7 8 9 10	QMP (Z,E)-3,7-dimetyyli-2,6-oktadienaali (E)-3,7-dimetyyli-2,6-oktadien-1-oli Neroli-happo Geraanihappo	Vetää puoleensa parvea lyhyellä ja pitkällä kantamalla
11 12 13 14	Metyyli-(Z,Z)-9,12-oktadekadienoaatti (Z,Z)-9,12-oktadekadienoaatti (Z)-9-oktadekenoaatti n-heksadekanoaatti	Saa työläiset suojaamaan toukkien kennot
15 16	Etyyli-(Z)-9-oktadekenoaatti Metyyliheksadekanoaatti	Stimuloi työläisten alanielun rauhasen kehittymistä
16	Metyyliheksadekanoaatti	Kasvattaa kuningatartoukkien painoa
17 18 19 20 21 22 23	Isopentyliasettaatti 2-nonanoli Heksyyliasettaatti Butyyliasettaatti Bentsyyliasettaatti Oktyyliasettaatti 1-butanoli	Hälytysferomoneja, jotka 1) muuttavat lentoaktiivisuutta 2) lisäävät värväystä 3) auttavat paikallistamaan kohteen

2.3.2 Isopentyyliasetaatti

Isopentyyliasetaatti ($C_7H_{14}O_2$) (ks. kuva 2.11) on yksi feromoniesimerkki. Se kuuluu asetaattiesteriferomoneihin (ks. luku 2.1.3.1) ja on yksi hunajamehiläisen kymmenistä feromoneista (ks. taulukko 2.2). Isopentyyliasetaatin on tiedetty toimivan hunajamehiläisen hälytysferomonina 1960-luvulta saakka (Hunt et al., 2003).



Kuva 2.11. Isopentyyliasetaatin molekyyli- ja rakennekaava.

Seuraavissa alaluvuissa 2.3.2.1-2.3.2.3 käydään läpi isopentyyliasetaatin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet, kemiallinen synteesi, esiintyminen luonnossa sekä käyttökohteet. Yhdisteen IR-spektriä ei käsitellä tässä luvussa, mutta se käydään tarkemmin läpi verkkomateriaalissa (CD-ROM).

2.3.2.1 Isopentyyliasetaatin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet

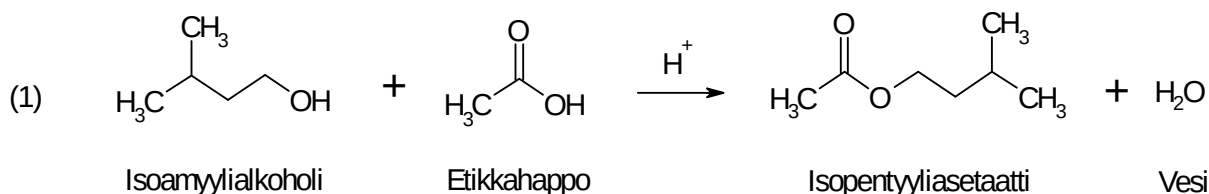
Isopentyyliasetaatti on kirkas hyväntuoksuinen esteri. Sille on ominaista voimakas banaaninomainen tuoksu, minkä vuoksi sitä kutsutaan myös banaaniöljyksi (mm. FAO, 1997; IPCS, 2005). Isopentyyliasetaatin molekyylipaino on 130,2 g/mol ja se on herkästi haihtuvaa yhdiste. Haihtuvuus oli tyypillistä hälytysferomoneille (ks. luku 2.1.2.1). Isopentyyliasetaatin kiehumispiste on 142 °C. Yhdisteen muut fysikaaliset ominaisuudet on kerätty taulukkoon 2.3. Yhdisteen muita nimityksiä ovat isoamyyliasetaatti ja 3-metyyliibutyliasetaatti (mm. FAO, 1997; IPCS, 2005).

Taulukko 2.3. Isopentyyliasetaatin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet (mm. FAO, 1997; IPCS, 2005).

M / g/mol	Kiehumis- piste / °C	Sulamis- piste/ °C	Tiheys / g/cm ³	Taite- kerroin	Liukoisuus veteen / g/100 ml
130,2	142	-79	0,876	1.4020	0,2

2.3.2.2 Isopentyyliasetaatin kemiallinen synteesi

Isopentyyliasetaattia voidaan syntetisoida usealla eri tavalla. Yleisin valmistustapa on syntetisoida sitä isoamyylialkoholista ja etikkahaposta esimerkiksi Fischerin happokatalysoidun esteröintireaktion avulla, joka on tärkeä orgaaninen reaktio (Trost & Fleming, 1991, 325-326; Streitwieser et al., 1998, 499-507). Kuvassa 2.12 on synteessin reaktioyhtälö (1). Synteessin reaktiomekanismi käydään läpi yksityiskohtaisesti verkkomateriaalissa (CD-ROM).



Kuva 2.12. Isopentyyliasetaatin synteessin reaktioyhtälö (mm. Trost & Fleming, 1991, 325-326; Streitwieser et al., 1998, 499-500).

2.3.2.3 Isopentyyliasetaatin esiintyminen luonnossa ja käyttökohteet

Hunajamehiläisen hälytysoferomonina vaikuttamisen lisäksi isopentyyliasetaatti toimii luonnossa esimerkiksi myös joillakin kärpäsillä feromonina ja kairomonina sekä joillakin kovakuoriaisilla feromonina, kairomonina ja allomonina. Kuten jo mainittiin luvussa 2.1.2, voi samalla semiokemikaalilla olla useampiakin toimintoja (mm. EL-Sayed, 2007).

Isopentyyliasetaattia käytetään myös muun muassa ravintoaineiden ja oluen keinotekoisena makeutusaineena sekä keinotekoisena hajusteena peittämään pahoja hajuja, esimerkiksi kenkälankin hajusteena. (Short, 2001)

2.3.3 Mehiläisten myrkky

Hunajamehiläisten myrkky on kiinnostanut ihmisiä pitkään. Mehiläisen pistokset ovat kivuliaita ja aiheuttavat allergisia reaktioita, jotka saattavat olla yliherkille ihmisille jopa hengenvaarallisia. Elimistön reagoiminen mehiläisten myrkkyyn herätti kiinnostuksen myrkyn mahdollisista lääketieteellisistä sovellusmahdollisuuksista. Mehiläisten myrkyn tutkiminen aloitettiin vuonna 1897. Ensimmäisen tutkimuksen mukaan myrkky erittyi happorauhasesta ja koostui pääosin metaanihaposta. Väärä tieto aiheutti laajan virhekäsityksen myrkyn koostumuksesta, koska se esiintyi pitkään kemian oppikirjoissa. (O'Connor & Peck, 1980) Mehiläisten myrkky luvussa esitellään hunajamehiläistyöläisen myrkyn kemialliset ominaisuudet ja koostumus sekä tarkastellaan myrkyn farmakologisia vaikutusmekanismeja ihmiseen.

2.3.3.1 Mehiläisten myrkyn ominaisuudet ja koostumus

Hunajamehiläisen myrkky on hajutonta, kirkasta ja vesiliukoista. Kuivattu myrkky on väriltään vaaleankeltaista, mutta jotkut kaupalliset valmisteet ruskeita, mikä johtuu myrkyn joidenkin proteiinien hapettumisesta. (Krell, 1996, 217)

Mehiläinen valmistaa myrkyn dufour-rauhasen ja myrkkyrauhasen avulla ja varastoi sen myrkkysäkkiin. Myrkky koostuu 88 % vedestä. Loput 12 % sisältää entsyymejä, proteiineja, peptidejä, fysiologisesti aktiivisia amiineja, aminohappoja, hiilihydraatteja, fosfolipidejä ja haihtuvia ainesosia (ks. taulukko 2.4). Myrkyn sisältämien proteiinien takia myrkkyä kutsutaan ns. proteiinimyrkyksi. Yhdestä mehiläisestä saadaan kerralla 0,15-0,30 mg myrkkyä. (O'Connor & Peck, 1980; Krell, 1996, 217-218)

Taulukko 2.4. Hunajamehiläistyöläisen myrkyn kiinteän osan koostumus prosenteissa ja nmol/pisto (O'Connor & Peck, 1980; Crane, 1990, 466).

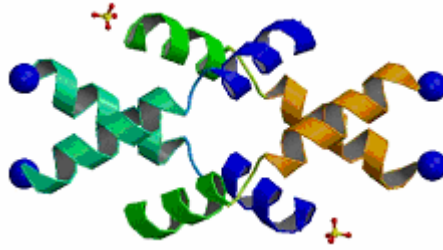
Luokka (Crane, 1990, 466)	Yhdiste (O'Connor & Peck, 1980; Crane, 1990, 466)	% (O'Connor & Peck, 1980; Crane, 1990, 466)	nmol/pisto (Crane, 1990, 466)
Entsyymit	Fosfolipaasi A	<u>15-17</u> 10-12	0,23
	Hyaluronidaasi	1-3	0,03
	Hapan fosfomonoesteraasi	1,0	
	Lysofosfolipaasi	1,0	0,03
	α -glukosidaasi	0,6	
Proteiinit ja peptidit	Melittiini (26-aminohappo peptidi)	<u>48-58</u> 40-50	10-12
	Apamiini	1-3	0,75
	MCD (Mastosyytteja degranuloivat peptidit)	2	0,6
	Secapiini	0,5-2	0,13
	Procamiini	1-2	2
	Adolapiini	1,0	0,06
	Proteaasin estäjät	0,1 ; 0,8	0,07
	Tertiapiini	0,1 ; 13-15	0,003
Amiinit	Histamiini	<u>3</u> 0,5-2,0	5-10
	Dopamiini	0,13-1,0	2,7-5,5
	Norepinefriini	0,1-0,7	0,9-4,5
Hiilihydraatit	Glukoosi ja fruktoosi	2	
Aminohapot	t-aminobutyryihappo	<u>0,8-1,0</u> 0,4; 0,5	
	α -aminohapot	1	
Fosfolipidit		<u>5</u>	
Haihtuvat ainesosat		<u>4-8</u>	

2.3.3.2 Mehiläisten myrkyn farmakologiset vaikutukset ja käyttö

Hunajamehiläisen myrkyn farmakologisia vaikutuksia ihmiseen on kartoitettu tarkastelemalla sekä koko myrkkyä että eristettyjen komponenttien yksittäis- ja yhteisvaikutuksia. Yhden jaottelun mukaan myrkyn vaikutukset ihmiseen voidaan jakaa neljään tasoon (ks. taulukko 2.5) (O'Connor & Peck, 1980):

Taulukko 2.5. Myrkyn neljä vaikutustasoa ihmiseen (Fitzgerald & Flood, 2006; O'Connor & Peck, 1980; Koulu & Tuomisto, 2001, 277-278).

Taso	Vaikuttavat aineet	Mitä tapahtuu?
1	MCD-peptidi (mastosyyttejä degranuloivat peptidit) Proteaasin estäjät Pienet peptidit Hyaluronidaasi	Proteaasin estäjät suojaavat hyaluronidaasia entsyymaattiselta tuhoutumiselta. Hyaluronidaasi pilkkoo hyaluronihappoa polymeereiksi, jotka toimivat solunsisäisenä lujitteena. Lujitteen ansiosta myrkky leviää paremmin kudoksiin. MCD-peptidit degranulovat ihon mastosyyttejä, joiden sisältä vapautuu histamiinia. (Fitzgerald & Flood, 2006 ja O'Connor & Peck, 1980) Histamiini puolestaan vaikuttaa lamauttavasti sileisiin lihassoluihin ja lisää useiden rauhasen eritystoimintaa (Koulu & Tuomisto, 2001, 277-278).
2	Fosfolipaasi A Melittiini (ks. kuva 2.13), tärkein myrkyssä vaikuttava aine	Myrkyn tunkeutuessa verisuonten sisälle verenkiertojärjestelmään fosfolipaasi A ja melittiini aiheuttavat punasolujen hajoamisen. Melittiini rikkoo punasolun sitoutumalla sen solumembraaniin. Yleensä hemolyysin paikka elimistössä huomataan, pois-lukien tilanteet joissa ihminen on altistunut useille pistoksille. Fosfolipaasi A ja melittiini voivat aiheuttaa myös allergisen reaktion. (Fitzgerald & Flood, 2006; O'Connor & Peck, 1980)
3	Apamiini MCD-peptidi Fosfolipaasi A Melittiini	Jos pistoksia on useita, kasvaa myrkyn määrä verenkiertoelimistössä, jolloin myrkytys on vakavampi. Apamiini toimii keskushermoston myrkkynä, fosfolipaasi A ja melittiini tuhoavat enemmän punasoluja ja MCD-peptidin vaikutuksesta histamiinia vapautuu enemmän. (Fitzgerald & Flood, 2006; O'Connor & Peck, 1980)
4	Fosfolipaasi A Melittiini Hyaluronidaasi	Yliherkälle ihmiselle mikä tahansa myrkyn näistä komponenteista voi aiheuttaa allergisen reaktion, joka saattaa johtaa anafylaktiseen shokkiin. (Fitzgerald & Flood, 2006; O'Connor & Peck, 1980)



Kuva 2.13. Melittiinin kolmiulotteinen rakenne (Protein Data Bank, PF01372, <http://www.rcsb.org/pdb/explore.do?structureId=2MLT>).

Ihmiselle kuolemaan johtava annos (LD_{50}) on 2,8 mg myrkkyä/painokilo. Kuolettavuuteen vaikuttavat myös pistosten paikat vartalossa ja allergisuus. Yleisin kuolin syy on allerginen reaktio, sydämen pysähtyminen tai tukehtuminen. Vaarallisimpia ovat pistokset suussa ja niskassa (Krell, 1996, 217).

Mehiläisten myrkystä valmistetaan voiteita, salvoja, linimenttejä ja injektiovalmisteita. Mehiläisten myrkyllä on päästy hyviin hoitotuloksiin hoidettaessa muun muassa kroonisia kipuja, kuulohäiriöitä, traumoja, arpia, multippeliskleroosia, psoriaasia ja erilaisia reumasairauksia. (Simics, 1996, 107-109)

2.3.4 Hunaja

Hunaja on ensimmäinen käyttöön otettu mehiläistuote. Aluksi hunajaa käytettiin pelkästään ravintoaineena, mutta myöhemmin hunajan ympärille on kehittynyt paljon taloudellisia intressejä. Ravinnon lisäksi hunajalla on myös lääkinnällisiä sovelluksia. (Krell, 1996, 16)

Hunajaa syntyy mehiläisten mesimahassa kuivuneesta medestä ruoansulatusentsyymien, rauhaseritteiden ja syljen vaikutuksesta. Mesimahassa medestä haihtuu vettä ja intervaasientsyymi muuttaa meden sakkaroosin fruktoosiksi ja glukoosiksi. (Crane, 1975, 77-105)

2.3.4.1 Hunajan ominaisuudet ja koostumus

Hunaja on viskoosinen neste. Viskositeetti on riippuvainen lämpötilasta ja vesipitoisuudesta (ks. taulukko 2.6). Hunajan väriskaala vaihtelee vaalean ja tumman meripihkan välillä (ks. kuva 2.14). (Krell, 1996, 19-20) Kaikkia hunajan värin määääviä yhdisteitä ei tunneta, mutta ne voidaan jakaa vesi- ja rasvaliukoisiin yhdisteisiin Vaaleassa hunajassa on vähemmän vesiliukoisia yhdisteitä kuin rasvaliukoisia ja tummassa hunajassa taas rasvaliukoisia yhdisteitä on vähemmän, lisäksi yhdisteiden hapettuminen tummentaa hunajaa. Ilmalle altistuessa esimerkiksi hunajassa olevat tanniinit reagoivat proteiinien kanssa saostaen ja sitoen niitä, mikä muuttaa hunajana väriä. Myös varastoinnin aikana väri muuttuu pelkistävien sokereiden reagoidessa tyypeä sisältävien yhdisteiden kanssa tai fruktoosin hajotessa happamassa liuoksessa (Crane, 1975, 77-105).



Kuva 2.14. Hunajan värejä (Suomen Mehiläishoitajien Liitto).

Taulukko 2.6. Hunajan viskositeetin riippuvuus vesipitoisuudesta ja lämpötilasta.
(Krell, 1996, 18)

Vesipitoisuus, %	Lämpötila, °C	Viskositeetti, 1 P (1 poisi = 0,1 Ns/m ²)
13,7	-	420
15,5	-	138
18,2	-	48
20,2	-	20
-	13,7	600
-	20,6	189,6
-	29,0	68,4
-	39,4	21,4
-	48,1	10,7
-	71,1	2,6

Tiheys on myös tärkeä fysikaalinen suure hunajaa tarkasteltaessa, koska sillä on suuri merkitys esim. kuljetuksessa. Hunajan tiheyteen vaikuttaa sen vesipitoisuus (ks. taulukko 2.7). Hunaja on myös voimakkaasti hygroskooppinen aine, mikä johtuu sen suuresta sokeripitoisuudesta (Krell, 1996, 18).

Taulukko 2.7. Vesipitoisuuden vaikutus hunajan tiheyteen (t = 20 °C) (Krell, 1996, 18).

Vesipitoisuus, %	Tiheys, kg/m³
13,0	1,4457
17,0	1,4237
21,00	1,3950

Hunaja koostuu pääosin sokereista, vedestä, orgaanisista hapoista, mineraaleista, typpiyhdisteistä, tuhkasta ja entsyymeistä (ks. taulukko 2.8). Hunajan kuivapainosta sokerit käsittävät 90-95 %. Eniten hunajassa on fruktoosia ja glukoosia, jotka määräävät hunajan käyttöä ravintoaineena. Vesipitoisuudella on suuri merkitys varastoisissa, sillä vesipitoisuuden ollessa alle 18 % hunaja voidaan varastoida ilman käymisen vaaraa. Mesimahassa tapahtuvan entsyymaattisen ruoansulatuksen sivutuotteena syntyneet orgaaniset hapot antavat hunajalle sille ominaisen maun ja happaman pH:n. Hunajan pH vaihtelee välillä 3,42-6,10. Hivenaineita hunajassa on vähän, runsaimpina esiintyy kalium. Typpiyhdisteillä ja entsyymeillä (glukoosioksidaasi) on tärkeä rooli hunajan muodostumisessa. Lisäksi hunajassa on siitepöly kontaminaation vuoksi jälkiä proteiineista, aminohapoista ja vesiliukoisista vitamiineista (Krell, 1996, 22-23).

Hunajan sisältämien entsyymien aktiivisuus on tärkeä kriteeri hunajan laadun määrittämisessä. Hunajan tuoreutta kuvataan diastaasi arvolla. Diastaasi arvo kertoo, kuinka monta grammaa tärkkelystä hunajan sisältämät diastaasi entsyymit hydrolysoivat yhden tunnin aikana 40 °C. Hunajalle asetetut laatustandardit edellyttävät, että diastaasi arvon on oltava yli kahdeksan (Tosi et al., 2008).

Taulukko 2.8. Hunajan keskiarvoinen koostumus prosenteissa (Krell, 1996, 22-23).

Yhdiste	Keskiarvo	Keskihajonta	Skaala
Fruktoosi	38,2	2,1	27,2 - 44,3
Glukoosi	31,3	3,0	22,0 – 40,7
Sakkaroosi	2,3	0,9	0,2 – 7,6
Maltoosi	7,3	2,1	2,7 – 16,0
Korkeamman-asteiset sokerit	1,5	1,0	0,1 – 8,5
Vesi	17,0	1,5	13,4 – 26,6
Vapaat hapot (glukonihappo)	0,43	0,16	0,13 – 0,92
Laktonit	0,14	0,07	0,0 – 0,37
Kaikki hapot	0,57	0,20	0,17 – 1,17
Tuhka	0,169	0,15	0,020 – 1,028
Typpi	0,041	0,026	0,000 – 0,133

2.3.4.2 Hunajan farmakologiset vaikutukset

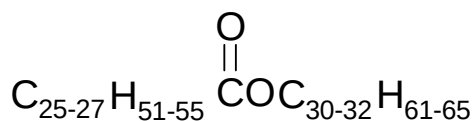
Tutkimusten mukaan hunajalla on bakteerien kasvua inhiboiva vaikutus. Hunajan antibakteerinen vaikutus perustuu glukoosioksidaasi-entsyymiin, happamaan pH:n ja vetyperoksidiin, jota syntyy sivutuotteena glukonihapon muodostuessa glukoosista (2) (ks. kuva 2.15), vaikutuksiin. Glukoosioksidaasi tuhoaa bakteereja, hapan pH hidastaa bakteerien kasvua ja vetyperoksidilla on antiseptisiä ominaisuuksia. (Crane 1975, 194-195) Vetyperoksidi hapettaa mikro-organismeja hajoten itse vedeksi ja hapeksi. Vetyperoksidi tehoaa itiöitä, sieniä, viruksia ja bakteereita vastaan. Vetyperoksidin germisidinen vaikutus on lyhytaikainen (Koulu & Tuomisto, 2001, 920-921). Hunajassa on vetyperoksidia noin 1 mmol/l (Crane, 1975, 260-262).



Kuva 2.15. Glukonihapon ja vetyperoksidin muodostuminen glukoosista (Crane, 1975, 194-195).

2.3.5 Mehiläisvaha

Vahat ovat pitkäketjuisten karboksyylihappojen ja pitkäketjuisten alkoholien muodostamia estereitä. Mehiläisvahan (ks. kuva 2.16) hydrolyysissa muodostuu C_{26} ja C_{28} mittaisia suoraketjuisia karboksyylihappoja sekä C_{30} ja C_{32} mittaisia suoraketjuisia alkoholeja. (mm. Streitwieser et al., 1998, 543-544)



Kuva 2.16. Mehiläisvahan rakennekaava (Streitwieser et al., 1998, 544).

Mehiläisvahaa on sekä keltaisena (Cera flava) että valkoisena (Cera alba). Keltainen mehiläisvaha valmistetaan sulattamalla mehiläiskennoja (ks. kuva 2.17) kuumalla vedellä ja suodattamalla sulasta pois epäpuhtaudet. Valkoista mehiläisvahaa valmistetaan valkaisemalla keltaista mehiläisvahaa kaliumpermangaatilla, aktiivihiilellä tai auringossa. (PH.Eur, 2006, 3901-3902)



Kuva 2.17. Halki leikattua vahakennostoa, jossa on muna pohjalla (Suomen Mehiläishoitajien Liitto).

2.3.5.1 Mehiläisvahan ominaisuudet ja koostumus

Cera flava on keltaisen tai ruskean väristä ja Cera alba on väriltään valkoista tai vaalenkeltaista. Fysikaalisilta ominaisuuksiltaan molemmat vahat ovat samankaltaisia (ks. taulukko 2.9). Mehiläisvaha palat/levyt ovat hienojakoisia, mattapintaisia, eivät muodosta kiteitä ja lämmitettäessä ovat helposti muokattavissa. Vahat eivät liukene veteen, liukenevat hyvin (90 % V/V) kuumaan etanoliin ja liukenevat täysin rasvoin ja haihtuviin öljyihin. Molempien vahojen tiheys on noin 0,960 g / cm³. Mehiläisvahat ovat mauttomia, eivät tartu hampaisiin, ovat pilaantumattomia ja molemmilla vahoilla on sama ominaisuus. Vahojen sulamispiste on 61-66 °C, happoluku 17-24, esteriluku 70-80 ja saippuoitumisluku 87-104. (PH.Eur., 2006, 3901-3902)

Taulukko 2.9. Valkoisen ja keltaisen mehiläisvahan ominaisuudet (PH.Eur., 2006, 3901-3902).

Yhdiste	Cera alba	Cera flava
Väri	Valkoinen, vaalean keltainen	Keltainen, ruskea
Liukoisuus	Liukenee täysin rasvoin ja haihtuviin öljyihin	Liukenee täysin rasvoin ja haihtuviin öljyihin
Tiheys, g / cm ³	0,960	0,960
Sulamispiste, °C	61-66	61-66
Happoluku	17-24	17-22
Esteriluku	70-80	70-80
Saippuoitumisluku	87-104	87-102

Mehiläisvaha on seos, joka koostuu vähintään 284 yhdisteestä joista yli 111 on haihtuvia, kaikkia yhdisteitä ei ole vielä tunnistettu. Mehiläisvaha koostuu pääosin estereistä, alkoholeista ja hapoista (ks. taulukko 2.10). (Krell, 1996, 124-125)

Taulukko 2.10. Mehiläisvahan koostumus, Suuri-sarakkeessa on fraktiosta yli 1 % muodostavien yhdisteiden lukumäärä ja Pieni-sarakkeessa on fraktiosta alle 1 % muodostavien yhdisteiden lukumäärä (Krell, 1996, 125).

Yhdisteet	% / fraktio	Komponenttien lukumäärä fraktiossa	
		Suuri	Pieni (alle 1 %)
Hiilivedyt	14	10	66
Monoesterit	35	10	10
Diesterit	14	6	24
Triesterit	3	5	20
Hydroksi monoesterit	4	6	20
Hydroksi polyesterit	8	5	20
Happo esterit	1	7	20
Happo polyesterit	2	5	20
Vapaat hapot	12	8	10
Vapaat alkoholit	1	5	?
Tunnistamattomat	6	7	?
Yhteensä	100	73	>210

2.3.5.2 Mehiläisvahan käyttökohteet

Mehiläisvahalla ei ole suoria fysiologia vaikutuksia ihmisiin. Sen vuoksi vahaa käytetään apuaineena lääkevalmisteissa ja kosmetiikkatuotteissa. Farmaseuttisissa valmisteissa lääkeaine sekoitetaan mehiläisvahaan, jonka avulla taataan lääkeaineen kontrolloitu liukenemisnopeus, säilyvyys ja turvallisuus. Kosmetiikkateollisuudessa mehiläisvahan avulla valmistetaan stabiileja ja tasaisia emulsioita. Mehiläisvahan muita käyttökohteita ovat esimerkiksi tekstiiliteollisuus ja informaatioteknologia. (Krell, 1996, 126)

2.3.6 Propolis

Propolis toimii mehiläispesässä kemiallisena suojana patogeenisiä mikro-organismeja vastaan (ks. kuva 2.18). Lääketeollisuutta propoliksien kemia kiinnostaa biologisen aktiivisuutensa vuoksi. Sen farmakologisia ominaisuuksia on tutkittu noin 30 vuotta. Lääkkeenä propolista on käytetty hoidettaessa esimerkiksi haavoja, palovammoja ja kipeää kurkkua (Bankova, 2005, 29). Propolis on useasta yhdisteestä koostuva seos, joten alaluvussa 2.3.6.2 keskitytään pelkästään flavonoidien farmakologiaan vaikutuksiin, koska ne ovat propoliksien merkittävien biologisesti aktiivisten yhdisteryhmä.



Kuva 2.18. Propolista pesässä (Suomen Mehiläishoitajien Liitto).

2.3.6.1 Propoliksien ominaisuudet ja koostumus

Propolis on olomuodoltaan vahamaista hartsia. Propoliksien sulamispiste yleensä välillä 60-70 °C, joskus jopa 100 °C. Propolis koostuu pääosin hartseista (40-45 %), vahoista ja rasvahapoista (25-35 %), eteerisistä öljyistä (10 %), siitepölystä (5 %) ja orgaanisista yhdisteistä sekä mineraaleista (5%) (ks. taulukko 2.11) (Krell, 1996, 155-156). Propoliksien koostumus vaihtelee maantieteellisen sijainnin ja ilmaston mukaan, koska kasvisto vaihtelee olosuhteiden mukaan. Suurin mielenkiinto kohdistuu brasilialaiseen propolikseen sen suuren biologisen aktiivisuuden vuoksi (Bankova, 2005, 30).

Taulukko 2.11. Propoliksien muodostavat yhdisteryhmät prosenteissa (Krell, 1996, 155-156).

Yhdisteluokka	% / yhdisteryhmä
Hartsit	<u>45-55 %</u> - Flavonoidit - Fenoliset hapot ja esterit
Vahat ja rasvahapot	<u>25-35 %</u> - Peräisin mehiläisvahasta tai kasveista
Haihtuvat öljyt	<u>10 %</u>
Siitepöly	<u>5 %</u>
Orgaaniset yhdisteet ja mineraalit	<u>5 %</u> - 14 hivenainetta, joista Fe ja Zn runsaimmat - Ketonit - Laktonit - Kinonit - Steroidit - Bentsoehappo ja esterit - B ₃ -vitamiini - Sokerit

2.3.6.2 Propoliksien farmakologiset vaikutukset

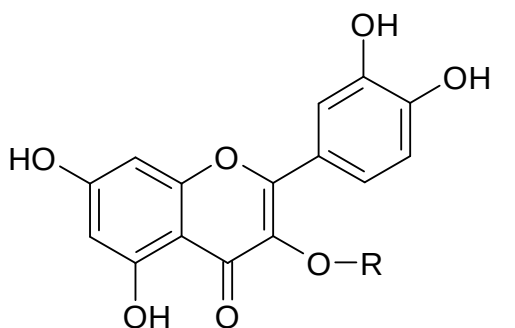
Tutkimusten mukaan propoliksien sisältämällä yhdisteillä on antibakteerisia, anti-inflammatorisia, antikarsinogeenisia, maksaa suojaavia, antioksidanttisia ja allergioita ehkäiseviä vaikutuksia (ks. taulukko 2.12). Propoliksien sisältämällä flavonoideilla on merkittävä vaikutus propoliksien farmakologisiin vaikutuksiin (Bankova, 2005, 30-31).

Taulukko 2.12. Propoliksen sisältämien yhdisteiden farmakologiset vaikutukset (Bankova, 2005, 30-31).

Vaikutus	Yhdisteet
Antibakteerinen	Flavanonit, flavonit, fenoliset hapot ja esterit, prenyloituneet p-kumariinihapot, diterpeenit ja prenyloituneet bentsofenonit
Anti-inflammatorinen	Flavanonit, flavonit, fenoliset hapot ja esterit
Antikarsinogeeninen	Prenyloituneet flavanonit, kahvihappo, prenyloituneet p-kumariinihapot, diterpeenit, prenyloituneet bentsofenonit, bentsofuraanit ja fenyylityyliesteri
Maksaa suojaavia	Flavonoidit, fenyylityyliesteri, kahvihappo, prenyloituneet p-kumariinihapot, kaffeyyli kiniinihapot ja ferulahapot
Antioksidanttinen	Flavonoidit, prenyloituneet bentsofenonit, fenoliset hapot ja esterit, prenyloituneet p-kumariinihapot ja prenyloituneet flavanonit
Allergioita ehkäisevä	3,3-dimetyyliallyylikaffeaatti

* Prenyloitunut tarkoittaa, että molekyyliin on sitoutunut solukalvoon kiinnittymistä helpottava prenyyliryhmä.

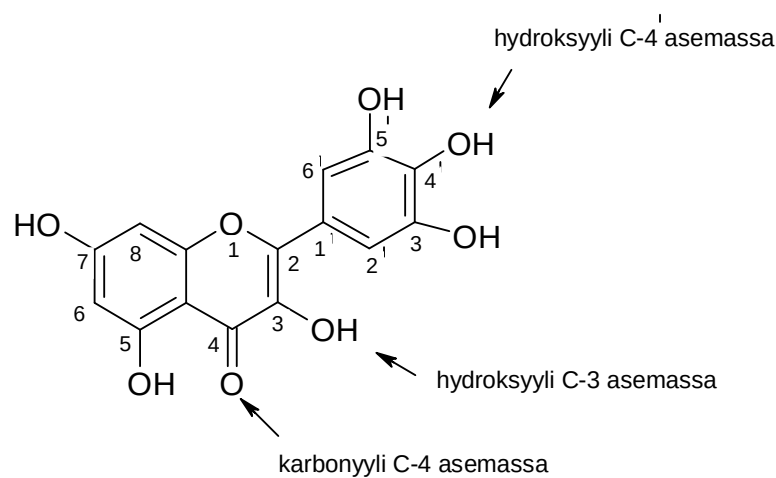
Erilaisia flavonoidiyhdisteitä tunnetaan yli 8000 kpl. Flavonoidit ovat luonnon sekundäärimetaboliitteja ja toimivat kasveissa vesiliukoisina pigmenttejä. Kasveissa flavonoidit ovat pääosin solunesteeseen liukenevassa glykosidimuodossa eli flavonoidiglykosideina (ks. kuva 2.19), mutta voivat olla myös vapaina sulfaatteina tai fenoleina. Flavonoidiglykosideissa sokerinosan ja flavonoidiosan välissä on glykosidinen –O– sidos. (mm. Hiltunen & Holm, 2000, 257-261)



R = sokeriosa

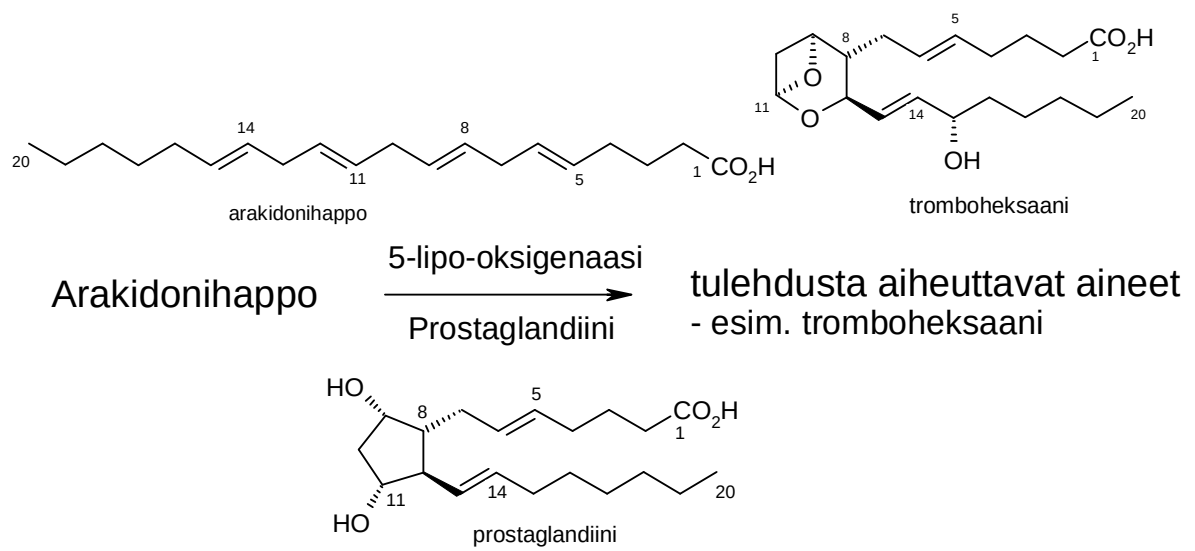
Kuva 2.19. Flavonoidiglykosidin perusrakenne (Hiltunen & Holm, 2000, 260).

Flavonoideilla on laajat farmakologiset vaikutukset. Flavonoidien antioksidanttinen vaikutus perustuu soluja hapettavien vetyperoksidin ja orgaanisten peroksidien syntymisen estämiseen. Flavonoidien lipidiperoksidaatiota inhiboivaa vaikutusta lisäävät C-3' ja C-4' -asemassa olevat hydroksyyliit (ks. kuva 2.20). Lipo-oksygenaatiota estävä vaikutus taas edellyttää, että flavonoidien rakenteessa on karbonyyli C-4 asemassa, hydroksyyliit C-3 ja C-4' -asemassa sekä aryyliiryhmän täytyy voida pyöriä vapaasti. Lähes 80 %:ssa flavonoideista aryyliiryhmän substituenttina on metoksi- tai hydroksyyliiryhmä asemassa C-4' ja noin 50 %:lla asemassa C-3'. (mm. Hiltunen & Holm, 2000, 257-260)



Kuva 2.20. Myrisetiini.

Flavonoidien antioksidanttisuus vaikuttaa myös niiden anti-inflammatorisen ja maksaa suojaavan vaikutuksen tehoon. Tulehdusreaktiota flavonoidit estävät myös inhiboimalla prostaglandiinisynteesiä. Prostaglandiinisynteesissä (ks. kuva 2.21) arakidonihaposta muodostuu 5-lipo-oksigenaasien ja prostaglandiinien vaikutuksesta tuotteita, jotka osallistuvat tulehdusreaktion syntymiseen. (mm. Hiltunen & Holm, 2000, 260-261)



Kuva 2.21. Yksinkertaistettu malli prostaglandiinisynteesistä.

3. HYÖNTEISTEN KEMIA OSANA LUKION KEMIAN OPETUSTA

Tässä luvussa tarkastellaan, miten hyönteisten kemian voi yhdistää osaksi lukion kemian opetusta. Luvussa 3.1 tarkastellaan hyönteisten kemian yhdistämistä lukion opetussuunnitelmien perusteiden asettamiin kemian opetuksen tavoitteisiin sekä yleisellä että kurssikohtaisella tasolla. Luku 3.2 tarkastelee kemian opetuksen tärkeyttä luonnontieteiden kolmen dimension ja opetuksen neljän argumentin näkökulmasta. Luvun 3.2 lopussa tarkastellaan vielä yhteenvedon omaisesti opetussuunnitelmien tavoitteiden ja hyönteisten kemian yhdistymistä kolmeen dimensioon sekä neljään argumenttiin.

3.1 Tavoitteet ja sisällöt

Lukion opetussuunnitelman perusteet (LOPS) määrittelee yhdeksi lukiokoulutuksen keskeisistä tehtävistä antaa opiskelijalle laaja-alainen yleissivistys, riittävät tiedot ja taidot mahdollisiin jatko-opintoihin sekä itsensä kehittämiseen osaksi toimivaa yhteiskuntaa (Opetushallitus, 2003, 3).

Suomalaisessa koulutuksessa kemian lukio-opetuksella on tärkeä tehtävä. Lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaan (Opetushallitus, 2003, 135) mukaan kemian opetuksen tärkeänä tavoitteena on välittää tietoa *”kemian asemasta yhtenä keskeisenä perusluonnontieteenä, joka tutkii ja kehittää materiaaleja, tuotteita, menetelmiä ja prosesseja kestävän kehityksen edistämiseksi.”*

Kemiaa opiskelevat lukiossa kaikki yhden pakollisen kurssin. Sen lisäksi lukiot tarjoavat neljä valinnaista kurssia (Opetushallitus, 2003, 207). Useat lukiot järjestävät opiskelijoille myös mahdollisuuden kertaus- ja työkurssin valitsemiseen.

Hyönteisten kemiaa ei opetussuunnitelman perusteissa suoraan mainita, mutta luvun 2 esittelemä hyönteisiin liittyvä kemia pystytään yhdistämään useisiin sen asettamiin yleisiin kemian opetuksen tavoitteisiin (ks. taulukko 3.1). Hyönteisten kemian avulla voidaan käsitellä muun muassa seuraavia kemiaan liittyviä asioita (Opetushallitus, 2003, 135):

- Kemian yhteys arkielämään ja luontoon
- Hyönteisten kemiaan liittyvä kokeellisuus
- Tiedonhaun merkitys
- Tieto- ja viestintätekniikan käyttö
- Ympäristötekniikka ja kestävä kehitys
- Kemiaan liittyvä yleissivistys
- Yleisen kiinnostuksen herättäminen kemian opiskelua kohtaan.

Kurssikohtaisesti vertailtaessa opetussuunnitelman perusteiden sisältöjä luvun 2 sisältöihin nähdään, että hyönteisten kemian voi kytkeä pakollisen *Ihmisen ja elinympäristön kemian* sekä syventävistä Kemian mikromaailman -kurssien tavoitteisiin ja keskeisiin sisältöihin esimerkiksi seuraavasti: Ihmisen ja elinympäristön kemian kurssissa hyönteisten kemian viitekehyksessä voidaan laajentaa opiskelijan kemian yleissivistystä, tiedonhaku- ja keskustelutaitoja, kytkeä kurssin kokeellisuutta hyönteisten kemia –kontekstiin sekä opettaa orgaanisia yhdisteryhmiä ja reaktiotyyppejä. (Opetushallitus, 2003, 136-137)

Kemian mikromaailman -kurssin puitteissa on mahdollista käsitellä mallintamiseen, orgaanisiin yhdisteryhmiin ja isomeriaan liittyviä tavoitteita ja sisältöjä hyönteisiin liittyvien molekyylien kautta. (Opetushallitus, 2003, 137-138)

Taulukko 3.1. Luvun 2 esittelemän hyönteisten kemian kytkeminen lukion opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus, 2003, 135) asettamiin kemian opetuksen tavoitteisiin.

LOPS:in asettama tavoite	Hyönteisiin liittyvä kemia lukion kemian opetuksessa
<i>”tietää kemian yhteyksiä jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin”</i>	- Semiokemikaalien kemia, sovellukset ja niiden hyöty ihmisille - Pigmenttien kemia, sovellukset ja niiden hyöty ihmisille - Mehiläisten kemia, sovellukset ja niiden hyöty ihmisille
<i>”osaa kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä ja käsitellä tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeitä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista sekä arvioida tiedon luotettavuutta ja merkitystä”</i>	- Hyönteisten kemiaan liittyvä kokeellisuus ja työskentelyyn liittyvä mahdollinen tiedon arviointi ja prosessointi. - Hyönteisiin liittyvässä kemiassa tiedonhaku ja lähteisiin liittyvä kritiikki on tärkeää.
<i>”osaa tulkita ja arvioida kokeellisesti tai muutoin hankkimaansa tietoa ja keskustella siitä sekä esittää sitä muille”</i>	- Hyönteisten kemiaan liittyvä mahdollinen kokeellisuus ja työskentelyyn liittyvä mahdollinen tiedon arviointi, prosessointi ja esittäminen.
<i>”perehtyy tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksiin tiedonhankinnan ja mallintamisen välineinä”</i>	- Kaikki rakennekaavat ja molekyyli mallit voidaan tehdä kemian opetuksessa tieto- ja viestintätekniikkaa apuna käyttäen. - Suurin osa tekstin kirjallisuuslähteistä voidaan hakea internetistä.
<i>”perehtyy nykyaikaiseen teknologiaan teollisuudessa ja ympäristötekniikassa”</i>	- Tieto- ja viestintätekniikan käyttö kemian työvälineenä (molekyyli mallinnus) - Semiokemikaalien sovellusten mahdollisuuksien ymmärtäminen
<i>”osaa käyttää kemiallista tietoa kuluttajana terveyden ja kestävän kehityksen edistämisessä sekä osallistuttaessa luontoa, ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon”</i>	- Ymmärtää, mitä mahdollisuuksia semiokemikaalien sovelluksilla on kestäväälle kehitykselle?
<i>”saa kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan”</i>	- Hyönteisten kemia kontekstiin asetettu kemian opiskelu on hyönteisistä kiinnostuneille mielekästä kemian opiskelua.

3.2 Kemian opetuksen tärkeys

Tieteenfilosofi Svein Sjøbergin (2000, 155-157) mukaan luonnontieteiden ja myös kemian opetuksessa pitäisi ottaa huomioon luonnontieteiden kaikki kolme dimensiota (ks. taulukko 3.2).

- Luonnontieteelliset tuotteet: tietoa luonnontieteistä johdetun tiedon pohjalta syntyneistä ideoista, teorioista ja tuotteista.
- Luonnontieteelliset prosessit: tietoa luonnontieteellisistä metodeista, tutkimuksesta, työtavoista sekä ongelmien lähestymistavoista.
- Luonnontieteet sosiaalisena instituutiona: tietoa luonnontieteiden asemasta yhteiskunnassa, luonnontieteiden osallisuudesta ihmiskunnan kehitykseen sekä alalla työskentelevien ihmisten järjestöistä, ammatillisesta identiteetistä ja eettisestä normistosta.

Ihmisille, jotka aikovat työllistyä luonnontieteiden alalle, on täysin selvää, että kemia kuuluu osaksi heidän lukio-opintojaan. Kaikki ihmiset eivät kuitenkaan työllisty luonnontieteiden pariin ja osa oppilaista ei koe tarvetta opiskella yhtään kurssia luonnontieteitä. (Sjøberg, 2000, 153-154)

Kansainvälisesti luonnontieteet ovat yksi opetuksen valta-aine matematiikan ja äidinkielen rinnalla. Luonnontieteiden opetuksen tärkeyttä, kuten myös kemian opetuksen tärkeyttä, perustellaan seuraavien neljän argumentin (ks. taulukko 3.2) perusteella. (Sjøberg, 2000, 162-177)

1. Taloudellinen argumentti: Luonnontieteellisen koulutuksen saanut ihminen tuottaa taloudellista hyötyä sekä yhteiskunnallisessa mittakaavassa että yksilötasolla tarkasteltuna.
2. Käytännöllinen argumentti: Jokapäiväisessä elämässä on käytössä joka hetki luonnontieteiden pohjalta valmistettuja sovelluksia, joiden ymmärtämiseen tarvitaan luonnontieteellistä koulutusta.
3. Demokratia-argumentti: Luonnontieteellinen tieto on välttämätöntä ihmiskuntaa ja luontoa koskevien päätösten teossa.
4. Kulttuuriargumentti: Luonnontieteet ovat olleet tärkeänä tekijänä ihmiskunnan kulttuuriperinnössä sekä maailman- ja ihmiskuvan muokkautumisessa.

Seuraavassa taulukossa (ks. taulukko 3.2) on koottu vielä yhteenvedon omaisesti, miten lukion opetussuunnitelman perusteiden asettamien kemian opetuksen yleisiin tavoitteisiin kytkeytyvä hyönteisiin liittyvä kemia ilmenee luonnontieteiden kolmessa ulottuvuudessa sekä luonnontieteiden opetuksen perusteluna käytetyissä neljässä argumentissa.

Taulukko 3.2. Lukion opetussuunnitelman perusteissa mainittuihin kemian opetuksen yleisiin tavoitteisiin kytkeytyvän hyönteisten kemian ilmeneminen luonnontieteiden kolmessa ulottuvuudessa sekä luonnontieteiden opetuksen neljässä argumentissa (Opetushallitus, 2003, 135-137; Sjøberg, 2000, 178-179).

Dimensiot →	Luonnontieteelliset tuotteet		Luonnontieteelliset prosessit		Luonnontieteet instituutiona	
Argumentit ↓	<u>Hyönteisten kemia</u>	<u>LOPS</u>	<u>Hyönteisten kemia</u>	<u>LOPS</u>	<u>Hyönteisten kemia</u>	<u>LOPS</u>
Taloudellinen	Hyönteisten torjuntaan liittyvien sovellusten kaupallinen hyödyntäminen	<i>”saa kuvan kemiasta, sen mahdollisuuksista ja merkityksestä”</i>	Tietoa miten hyönteisten kemiaan liittyviä ongelmia ja menetelmiä lähestytään, ratkaistaan, arvioidaan ja tutkitaan neljän argumentin asettamien viitekehysten mukaisesti.	- Ei löydy opetussuunnitelmien tavoitteista tai sisällöistä.	Tietoa hyönteisten kemian parissa työskentelevien ihmisten sosiaalisesta asemasta yhteiskunnassa sekä ammattikunnan eettisistä, taloudellisista arvoista ja normeista.	- Ei löydy opetussuunnitelmien tavoitteista tai sisällöistä.
Käytännön	Teoriat ja tekniikka sekä hyöty ja hyödykkeet joilla saavutetaan tuhohyönteisten torjuminen/torjumisella	<i>”perehtyy tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksiin tiedonhankinnan ja mallintamisen välineinä”</i>		<i>”tutkii ja kehittää materiaaleja, tuotteita, menetelmiä ja prosesseja”</i>		
Demokratia	Tietoa jolla on yhteiskunnallinen vaikutus esim. tuhohyönteisten torjuntaan liittyvät globaalit ja paikalliset maatalouspoliittiset kysymykset	<i>”osaa käyttää kemiallista tietoa kuluttajana terveyden ja kestävän kehityksen edistämisessä sekä osallistuttaessa luontoa, ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon”</i>		- Ei löydy opetussuunnitelmien tavoitteista tai sisällöistä.		
Kulttuuri	Ymmärrys Semiokemikaalien vaikutuksesta luonnon toimintaan	Kehittää luonnontieteellistä maailmankuvaa ja luo myönteistä kuvaa kemiasta		tukee <i>”opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä osana monipuolista yleissivistystä”</i>		

4. KEMIAN OPETUKSESTA JA OPPIMISESTA

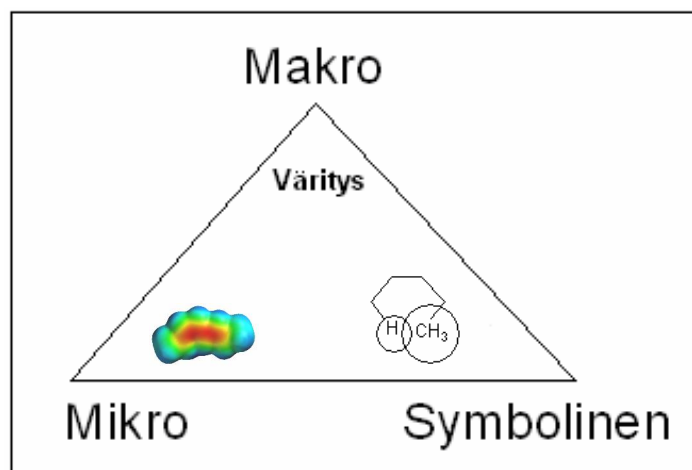
Tässä luvussa tarkastellaan kemian opetusta ja oppimista tämän tutkimuksen viitekehyksessä. Luvussa 4.1 tarkastellaan kemian tiedon luonnetta ja mallien tärkeyttä kemiallisen tiedon rakentajana. Luku 4.2 käsittelee mielekkään oppimisen teoriaa. Luvussa 4.3 käsitellään käsitekarttojen teoriaa, kehittymistä ja käyttöä kemian opetuksessa. Luku 4.4 käsittelee verkko-opetusta.

4.1 Kemian tiedon luonne

Kemiallinen tieto on monipuolista, mikä tekee kemian opetuksesta haasteellista. Kemian oppimista haittaavat etenkin kemian peruskäsitteisiin liittyvät väärinymmärrykset, jotka vaikeuttavat uuden tiedon liittämistä vanhaan tietorakenteeseen. (Gabel, 1999)

Kemian opetuksessa keskeistä on tieto kemiallisen tiedon rakentumisesta ja kehittymisestä, jonka vuoksi opetuksessa on tärkeää tarkastella kemiaa myös historiallisesta ja filosofisesta näkökulmasta (Erduran, 2001; Erduran & Scerri, 2002). Historiallisen ja filosofisen näkökulman tärkeyttä kemian opetuksen elementtinä perusteltiin myös neljän argumentin myötä luvussa 3.2.

Kemiassa ilmiöitä voidaan tarkastella kolmella toisiinsa kytkeytyvällä tasolla: mikro-, makro- ja symbolisella tasolla (Gabel, 1999). Hyönteisten kemiassa kolmen tason kytkeytymistä toisiinsa voidaan hahmottaa esimerkiksi β -karoteenilla (ks. kuva, 4.1): makrotasoa edustaa β -karoteenin vaikutus hyönteisten väreihin, mikrotasoa edustaa β -karoteenin luonnossa esiintyvien isomerioiden esiintyvyyden kemia ja symbolitasoa isomerian kuvaaminen rakennekaavojen avulla (ks. luku 2.2.1.1).



Kuva. 4.1. Kemian kolme tasoa, esimerkkinä β -karoteeni.

Kemiallisen tiedon omaksumiseen tarvitaan kaikkien kolmen tason ymmärtämistä, sillä vain muutamia kemian ilmiöitä pystytään selittämään pelkästään makrotasoa kuvailemalla (Oversby, 2000). Kemian oppimisesta haasteellista tekee juuri kolmen eri tason yhteyksien yhdistäminen omassa ajattelussa (Gabel, 1999). Usein oppilaat pystyvät selittämään makrotason havaintojaan symboleiden avulla, vaikka eivät ymmärtäisikään havaintojaan mikrotasolla (Aksela, 2005, 22). Isona kemian opetuksen ongelmana Gabel (1999) pitää opetuksen yksipuolista lähestymistapaa kemian ilmiöihin. Opetuksessa kemiallisia ilmiöitä lähestytään usein kaikista abstrakteimmasta suunnasta, symbolisen tason kautta.

Kemia on kokeellinen luonnontiede. Kokeellisuus on aina kuulunut kemiallisen tiedon hankinta menetelmiin, tosin kokeellisuuden suosio on vaihdellut riippuen voimassa olevasta filosofisesta suuntauksesta. (Lavonen, Meisalo et al., 2007) Kokeellisuudella on olennainen osa myös kemian opetuksessa. Uusissa opetussuunnitelmien perusteissa korostuukin kokeellisuuden merkitys (opetushallitus, 2003; Opetushallitus, 2004). Millar (2004) kirjoittaa artikkelissaan, että kokeellisuudella pyritään opettamaan oppilaille sekä kemian tietoa että tietoa kemiasta tieteenä. Lavonen, Meisalo et al. (2007) pitävät kokeellisuuden keskeisinä tavoitteina oppilaan oppimisen tukemista sekä persoonallisuuden monipuolista kehittämistä.

Kemian tiedon eri tasojen välisiä yhteyksiä visualisoidaan mallien avulla. Kehittyneiden visualisointitapojen ja mallien luomiseen sekä ymmärtämiseen kemiassa tarvitaan Andersonin ja Krathwohlin taksonomian (2001) korkeampia ajattelutaitoja: soveltamista, analysointia, arvioimista ja uuden tiedon luomista. (Aksela, 2005, 23)

Mallinnuksella on keskeinen rooli kemian opetuksessa. Mallien ja mallintamisen avulla tuetaan oppilaiden mentaalimallien kehittymistä, sen lisäksi mallit ja mallinnus ovat tärkeä osa kokeellista kemiaa ja historialliset mallit ovat olennainen osa kemian kehittymistä (Gilbert et al., 2000). Mallintamisen apuvälineiksi on kehitetty useita molekyylimallinnukseen tarkoitettuja tietokoneohjelmia. Tutkimusten mukaan tietokoneavusteista molekyylimallinnuksesta on opettajien kokemusten perusteella hyötyä kemian ymmärtämisen tukemisessa ja mielenkiinnon lisäämisessä kemian opiskelua kohtaan (Aksela & Lundell, 2007).

Kemian opetuksessa on tärkeää huomioida myös tieteen sosiaalinen puoli. Nykyaikana tiedettä ei tehdä enää niinkään yksilönä vaan ryhmässä. Laboratoriossa työskentelevät ihmiset ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa ja ryhmän tuottaman tiedon prosessoimiseen osallistuvat useat ryhmän jäsenet, joista jokainen tuo kenties omaa erikoisosaamistaan mukaan ajatteluun. Ryhmän jäsenten vuorovaikutuksella on tärkeä vaikutus ryhmän luovuuteen. (Aksela, 2005, 20)

4.2 Mielekäs oppiminen

Mielekkään oppimisen teorian (meaningful learning) esitteli Ausubel 1960-luvulla. Ausubel julkaisi 1960-luvulla useaan otteeseen kirjallisuutta mielekkään oppimisen teoriastaan, mutta laajin katsaus hänen ajatuksistaan julkaistiin vuonna 1968. (Novak, 1998, 64)

Ausubelin (1968) mukaan mielekästä oppimista voidaan pitää ulkoa oppimisen vastakohtana. Mielekkäästä oppimisesta voidaan nostaa esiin kolme tärkeää elementtiä (Novak, 1998, 29):

- Mielekkäässä oppimisessa oppilaan jo olemassa olevan tietorakenteen pitää sisältää jotain merkityksellistä tietoa joka liittyy uuteen opittavaan tietoon. Silloin uusi tieto yhdistyy luonnolliseksi osaksi oppilaan jo olemassa olevaa tietorakennetta.
- Mielekkäässä oppimisessa oppilaan omaa motivaatio on tärkeää. Oppilaan pitää tietoisesti haluta oppia ja tehdä töitä oman ajattelunsa kanssa.
- Tärkeä mielekkään oppimisen elementti on mielekäs oppimateriaali.

Mielekkäässä oppimisessa opettajan ja oppilaan välisellä vuorovaikutuksella on tärkeä rooli korkean motivaation saavuttamisessa. Opettaja ohjaa oppilasta mielekkäiden opiskelumetodien valitsemisessa. Opettaja voi joko rohkaista oppilasta opettelemaan ulkoa tai kokeilemaan mielekkäitä oppimismenetelmiä. Opettaja vaikuttaa myös opiskeltavan oppimateriaalin laatuun. (Novak, 1998, 68)

Kemiassa mielekästä oppimista tuetaan esimerkiksi kokeellisuudella. Kokeellisuus ei yksistään kuitenkaan riitä, vaan oppimista täytyy tehostaa kytkemällä kokeellisuus johonkin mielekkääseen kontekstiin. (Millar, 2004) Kontekstuaalisuudella eli tilannesidonnaisuudella tarkoitetaan jotain arkielämästä tuttua yhteyttä, johon opetus sidotaan. Kontekstuaalisuuden myötä opitut asiat jäävät helpommin muistiin ja ovat myös helpompia palauttaa mieleen, sillä alkuperäinen oppimiskonteksti toimii vihjeenä (Lavonen, Meisalo et al., 2007). Tämän tutkielman teoriakehyksessä esimerkiksi orgaanisen kemian funktionaalisten ryhmien opettaminen semiokemikaalien (ks. luku 2.1) avulla olisi kontekstuaalista opettamista.

Kontekstuaalisten oppimateriaalien ja lähestymistapojen on tutkimusten mukaan todettu kasvattavan oppilaiden kiinnostusta ja motivaatiota kemian opiskelua kohtaan. Kontekstuaalisuuden myötä oppilas pystyy muodostamaan yhteyksiä luonnontieteiden ja omien kiinnostuksen kohteidensa välille. (Gilbert, 2006)

4.3 Käsitekartat

Käsitekartat (concept maps) ovat graafisia opetuksen, oppimisen, arvioinnin ja tiedonesityksen työkaluja, jotka on kehitetty Ausubelin mielekkään oppimisen teorian sovelluksena (Novak & Gowin, 1984, 19-24).

4.3.1 Novakilainen käsitekarttatekniikka

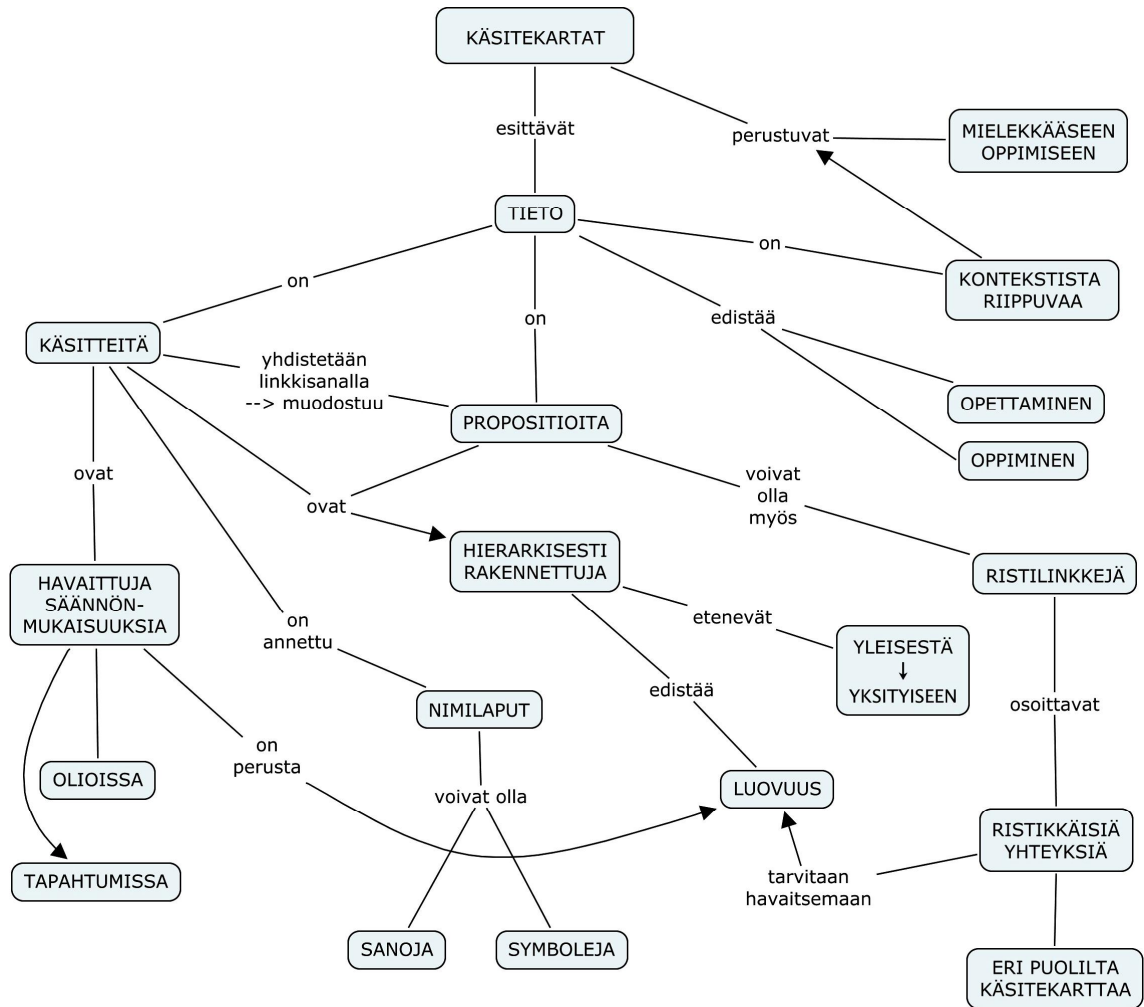
Käsitekarttojen kehittäjänä pidetään Joseph D. Novakia minkä vuoksi puhutaankin novakilaisesta käsitekarttatekniikasta (Lavonen & Meisalo et al., 2007). Novakilaisessa käsitekartassa (ks. kuva 4.2) lokeroitujen käsitteiden välille muodostetaan väittämiä linkkisanojen avulla, linkkisanana on usein esim. verbi. Väittämien avulla pyritään tuomaan esille käsitteiden välisiä mielekkäitä yhteyksiä (Novak & Gowin, 1984, 19). Käsitteen Novak (1998, 32) määrittelee havaituksi säännönmukaisuudeksi tapahtumissa, olioissa tai muistiinpanoissa joita on tehty tapahtumista tai olioista, joihin on liitetty nimilappu.

Tiivistettynä voidaan sanoa, että käsitekarttojen avulla tuodaan esille seuraavia tiedon elementtejä (Väisänen, 1999, 16).

- Käsitteet
- Käsitteiden väliset riippuvuudet
- Käsitteiden ja niiden välisien suhteiden muodostamat rakenteet

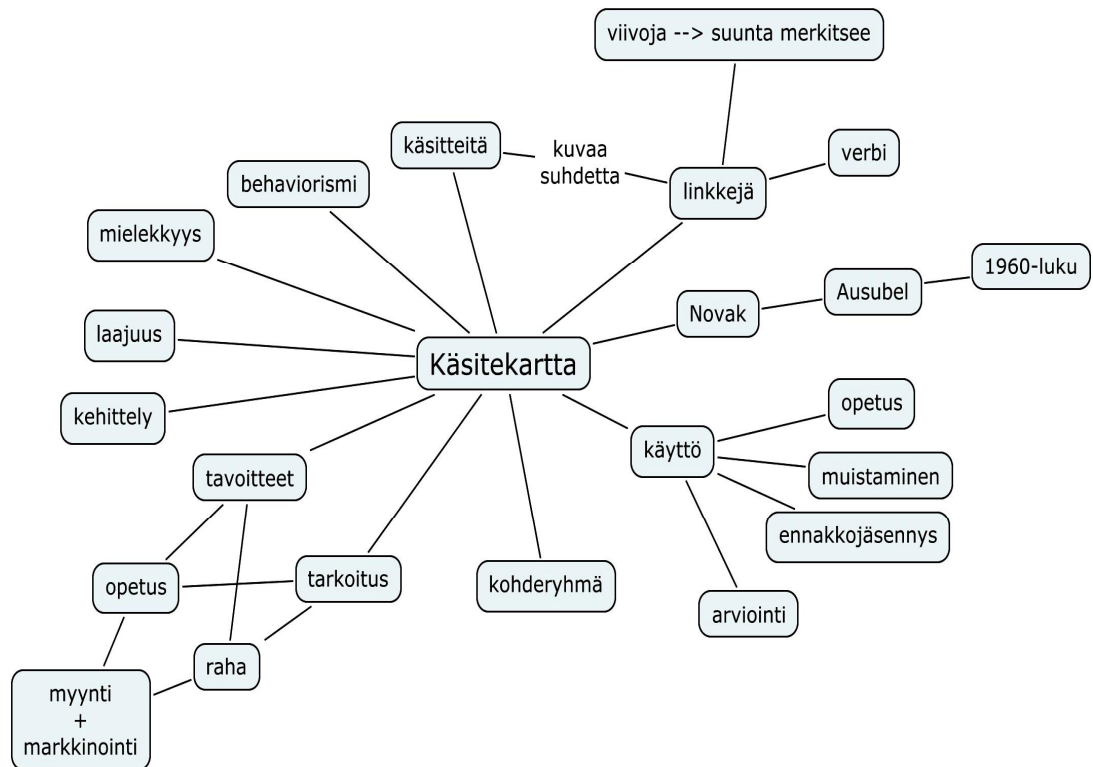
Canasin et al., (2005) mukaan käsitekartat eivät ole koskaan samanlaisia vaan jokainen käsitekartan tekijä luo käsitekartan, joka vastaa tekijän omaa tietorakennetta. Samasta aiheesta on siis olemassa useita oikeita käsitekarttoja. Käsitekarttojen rakenne riippuu myös kartoitettavan tiedon laadusta. He listaavat kuitenkin artikkelissaan kolme hyvän käsitekartan rakenteeseen liittyvää sääntöä:

- Jokaisen käsitekartan käsiteparin ja niitä yhdistävän linkkisanan välinen yhteys on luettavissa ymmärrettävänä lauseena.
- Käsitteet ja linkkisanat ovat mahdollisimman lyhyitä.
- Kartan rakenne on hierarkkinen.



Kuva 4.2. Käsitemappa novakilaisesta käsitemapasta. (Novak & Gowin, 1984, 18; Novak, 1998, 43)

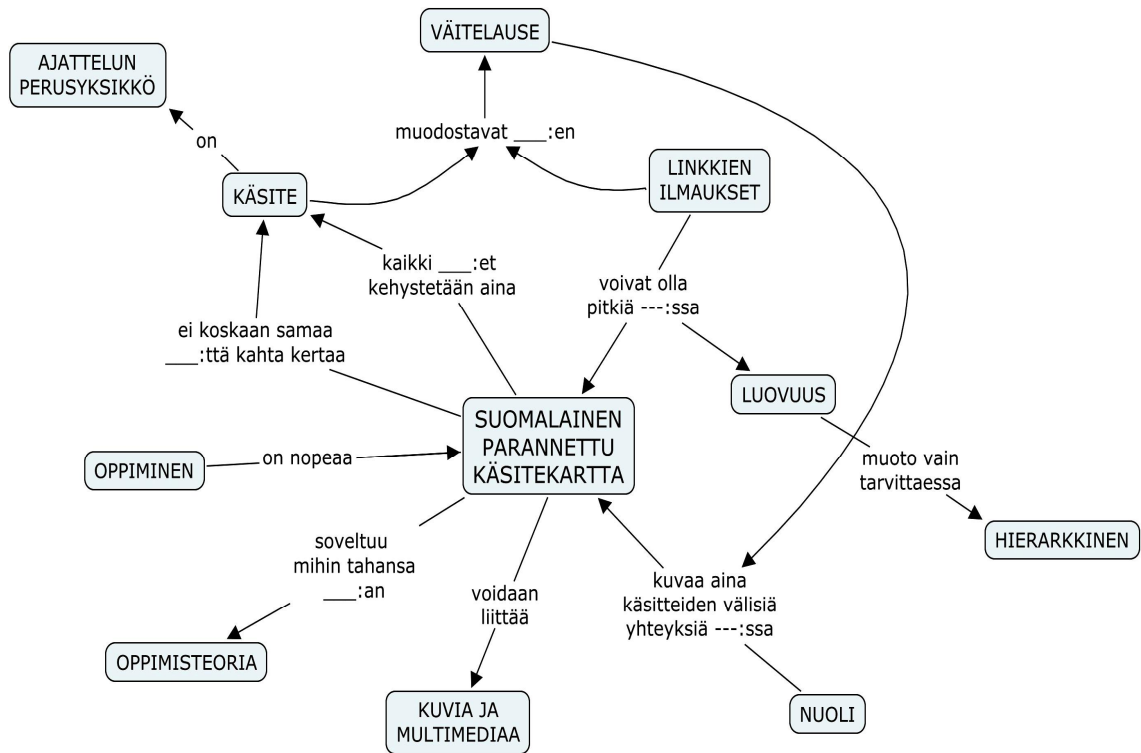
Suomessa käsitemapast sekoitetaan usein miellekarttoihin (mind maps) (ks. kuva 4.3). Käsitemapast eroavat kuitenkin miellekarttoista siten, että niitä pystyvät lukemaan muutkin kuin kartan luoja. Miellekartta on yksistään luojaansa mielivaltainen näkemys aiheesta, kun taas käsitemapastojen rakentaminen perustuu sääntöjen mukaisesti käsitteiden hierarkkiseen järjestämiseen mielekkäästi luettavaksi kokonaisuudeksi. (Åhlberg, 2002)



Kuva 4.3. Miellekartta käsitekartasta.

4.3.2 Suomalainen parannettu käsitekarttatekniikka

Mauri Åhlberg on jo 1980-luvun lopulla julkaissut kirjallisuutta kehittämästään suomalaisesta parannetusta käsitekarttatekniikasta (ks. kuva 4.4). Parannetun käsitekarttatekniikan muuttuneita piirteitä vertailuna novakilaiseen käsitekarttatekniikkaan tarkastellaan taulukossa 4.1.



Kuva 4.4. Suomalainen parannettu käsitekartta.

Taulukko 4.1. Parannetun käsitekarttatekniikan muuttuneet piirteet verrattuna novakilaiseen käsitekarttatekniikkaan, vertaa kuvia 4.2 ja 4.4 (Åhlberg, 2002).

Piirre	Parannettu suomalainen	Novakilainen
1	Kaikki käsitteet kehystetään aina.	Käsitteet eivät ole aina kehyksissä.
2	Nuolten avulla osoitetaan käsitteiden välisiä yhteyksiä ja lukusuuntaa.	Käsitekartat pyritään aina tekemään hierarkkiseksi, jolloin nuolenkärkiä ei merkitä alaspäin mennessä.
3	Linkeissä olevat ilmaukset voivat olla hyvinkin pitkiä.	Linkit ovat mahdollisimman lyhyitä, mieluummin yksi sanaisia.
4	Karttoihin voidaan liittää kuvia ja multimediaa.	-
5	Kartat sopivat mihin tahansa oppimisteoriaan.	Painotus Ausubelin oppimisteoriassa.
6	Hierarkkisuus on tavoiteltavaa silloin, kun käsitteet ovat hierarkkisia. Usein kuitenkin verkostollinen käsitekartta on paras mahdollinen.	Pyritään aina hierarkkisuuteen.
7	Hyvässä käsitekartassa ei ole samaa käsitettä kahta kertaa.	Novakilaisissa kartoissa saattaa olla sama käsite useaan otteeseen.
8	Käsitekarttoja käytetään luovemmin. (esim. monipuoliset linkkisanat ja resurssit)	-
9	Käsitekarttojen oppiminen nopeaa.	Käsitekarttojen oppiminen hidasta.

Åhlberg (2002) korostaa, että vaikka käsitekartan tekemisen pystyy nopeasti opettamaan oppilaille, on kuitenkin selvää, että älyä vaativissa tehtävissä taito karttuu kokemuksen myötä. Käsitekarttoille onkin ominaista, että ne eivät ole koskaan täysin valmiita, vaan niissä on loputon muokkaamisen ja parantamisen mahdollisuus. Käsitekarttojen muokkaaminen paperilla on työlästä. Muokkaustyön helpottamiseksi onkin kehitetty erilaisia käsitekarttaohjelmia, esimerkiksi *Cmap Tools* tai *Smart Draw*, joiden avulla käsitekarttojen työstäminen helpottuu.

4.3.3 Käsitekartat kemian opetuksessa

Åhlberg (1991) on tutkimuksissaan havainnut, että käsitekarttojen vahvuutena on niiden monipuolisuus oppimisen ja opetuksen työkaluna. Käsitekartat ovat ainoa tiedon esitystapa, joka on tieteellisesti perusteltu ja soveltuu sekä vanhemmille että nuorimmille oppijoille. Myös Lavosen, Meisalon et al. (2007) mukaan käsitekarttatekniikka on helposti omaksuttavissa kaikenikäisille oppilaille, mutta heidän mukaansa käsitekartta on ennen kaikkea oppimisen, ei tiedon esittämisen väline. He pitävät käsitekarttaa käyttökelpoisena ennakkokäsitysten kartoittajana, tietorakenteen esittäjänä ja osaamisen arvioinnin välineenä. Käsitekartta kertoo laatijan ajattelun rakenteista ja on yksi tapa kuvata eri aihepiirien tietorakenteita. Novak (1998, 41) on kuitenkin havainnut tutkiessaan käsitekarttojen käyttöä opetuksen työkaluna, että nuoremmat oppilaat kykenevät saamaan enemmän irti käsitekartoista, kun taas lukioikäiset ja yliopisto-opiskelijat kokevat käsitekarttojen kanssa työskentelyn vaikeaksi.

Käsitekarttojen käytöstä kemian ja yleisesti luonnontieteiden opetuksessa on tehty paljon tutkimusta. Useiden tutkimusten mukaan käsitekarttojen käytöstä on hyötyä kemian opetuksessa sekä luokkahuoneessa (mm. Francisco et al., 2002; Nicoll et al., 2001; Novak, 1998, 86-87) että laboratoriossa (mm. Markow & Lonning, 1998). Esimerkiksi Nicollin et al. (2001) mukaan käsitekarttojen käyttö ja liittäminen kemian opetukseen on hyödyllistä. Heidän tutkimuksessaan käsitekarttoja käyttäneet opiskelijat kykenivät yhdistelemään käsitteitä laajemmin jo hallitsemaansa tietorakenteeseen ja pystyivät näin omaksumaan vaativimpia kokonaisuuksia tehokkaammin kuin tutkimuksen kontrolliryhmä. Hieman myöhemmin Francisco et al. (2002) ovat myös tulleet tutkimustuloksiin, joissa käsitekarttojen käyttö auttaa oppilaita omaksumaan käsitteistöä ja kokonaisuuksia paremmin.

Kemiassa käsitekarttoja voidaan myös käyttää väärinkäsitysten esilletuojana. Käsitekartan tekijä huomaa väärrien väittämien avulla virheen omassa ajattelussaan, jolloin käsitekartan avulla oppilas pystyy korjaamaan ja kehittämään omaa ajatteluaan (Novak & Gowin, 1984, 23-24). Laboratoriotöiden yhteydessä käsitekartoilla on saatu hyviä tuloksia teetättämällä oppilailla kokeelliseen työhön liittyvistä käsitteistä käsitekarttoja ennen ja jälkeen työn suorittamista. Oppilaat kokivat käsitekarttojen helpottavan kokeellisuuteen liittyvän käsitteistön omaksumista, joka usein muuten jää itse työn suorittamisen varjoon (Markow & Lonning, 2002).

Oppilaiden suhtautumista ja asenteita käsitekarttatekniikkaa kohtaan on tehty vähemmän tutkimusta kuin niiden käytöstä. Erään tutkimuksen mukaan (Syrjäläinen & Turunen, 2007) oppilaiden sekä tutkimusta vetäneen opetusharjoittelijan kokemukset käsitekarttojen käytöstä oppitunneilla olivat pääosin hyviä. Oppilaat kokivat käsitekarttojen käytön tehokkaaksi, mutta samalla melko raskaaksi.

4.4 Verkko-opetus

Verkko-opetuksella tarkoitetaan internetin graafisen käyttöliittymän, World Wide Webin (WWW), avulla toteutettua lähiopetusta, monimuoto-opetusta tai itseopiskelua (Kalliala, 2002, 18). WWW on maailmanlaajuinen hyperteksteistä, erilaisista multimedioista ja tietoverkoista koottu hypermediadokumenttien verkosto (Multisilta, 1997).

Verkko-opetuksen suosio räjähti kasvuun 1990-luvulla internetin yleistymisen myötä ja kasvaa voimakkaasti edelleen. Verkko-opetuksen suosiolle on useita syitä. Ensinnäkin verkko-opetuksen kehittymistä tukevat taloudellisesti sekä kansalliset että kansainväliset yhteiskuntastrategiat. Lisäksi verkko-opetus mahdollistaa ajan ja paikan suhteen joustavan opiskelun, verkkomateriaalien päivitys on vaivatonta ja verkko-opiskelun avulla säästetään tilaresursseja sekä materiaalikustannuksia. Joustavuutensa myötä verkko-opiskelu tukee myös opiskelijan elinikäistä oppimista. (Kalliala, 2002, 30-33) Elinikäisen oppimisen tukeminen on yksi kaiken koulutustyön keskeisimmistä tavoitteista (Euroopan komissio, 2007; Opetusministeriö, 2005).

Verkko-opetuksen oppimisfilosofia pohjautuu konstruktiiiviseen oppimisnäkemykseen, jossa opiskelija itse on aktiivinen tiedon prosessoija, joka konstruoi oppimaansa tietoa omien tarpeidensa ja näkemystensä mukaisesti. Oppilaan oma aktiivisuus korostuu varsinkin itseopiskelumateriaalien kanssa työskenneltäessä, jolloin kaikki vastuu oppimisesta ja ongelmien ratkaisemisesta on opiskelijalla itsellään. Lähi- ja monimuoto-opetuksessa opiskelija pystyy vuorovaikuttamaan ongelmatilanteissa verkon välityksellä. (Kalliala, 2002, 31)

4.4.1 Kemian opetus verkossa

Verkkoympäristössä toteutetun opetuksen on todettu aktivoivan korkeampia ajattelutaitoja (Coleman et al., 2001). Kemian opetuksessa verkkoa voidaan käyttää apuna muun muassa tiedonhaussa ja ongelmien ratkaisussa. Verkon käytön on todettu myös lisäävän opiskelijoiden keskustelua kemiasta (Aksela, 2005, 60-62) sekä syventävän kemian oppimista monipuolisten visualisointi keinojen myötä. Laajojen visualisointi resurssien on todettu auttavan oppilaita hahmottamaan yhteyksiä kemian tiedon kolmen eri tason välillä (Russell et al., 1997). Korkeampia ajattelu taitoja oppilaat käyttävät etenkin raportoidessaan ja esittäessään tuloksia muulle luokalle. Silloin heidän on täytynyt analysoida ja arvioida tuottamansa tiedon tärkeyttä ja luotettavuutta (Aksela, 2005, 60-62).

Jonassenin (1999) mukaan mielekästä oppimista tukeva verkkomateriaali on aktivoivaa, konstruktiiivista, yhteistoiminnallista, tavoitteellista, kontekstuaalista, reflektiivistä ja vuorovaikutteista. Verkkomateriaalissa oppilaan omaa aktiivisuutta, yhteistoiminnallisuutta ja vuorovaikutteisuutta voidaan korostaa mahdollisilla keskustelupalstoilla, joissa on myös mahdollisuus julkaista omia tuotoksia ja joista muut käyttäjät pääsevät antamaan palautetta. Tavoitteellisuutta voidaan ylläpitää verkkomateriaaliin sisällytettävien oppimistehtävien avulla. Oppimispäiväkirjaa pitämällä oppilas voi analysoida omaa oppimistaan. Mielekästä oppimateriaalia voidaan myös käyttää samanaikaisesti erilaisiin tarkoituksiin. Se soveltuu samaan aikaan joko asioiden nopeaan kertaamiseen tai uuden asian syvällisempään opiskeluun (Multisilta, 1997).

Kemian opetuksen tukemiseen tarkoitettuja verkkomateriaaleja on verkossa paljon. Hyviä suomenkielisiä verkkomateriaaleja löytyy esimerkiksi Kemian Opetuksen Keskuksen (<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/palvelut/opetusaineistot/>) tai Opetushallituksen (<http://www.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/>) sivuilta. Kaikissa Kemian Opetuksen Keskuksen verkkomateriaaleissa on käytetty kontekstuaalista lähestymistapaa.

4.4.2 Käsitekartat verkkomateriaalien elementtinä

Verkkosivuista rakennetaan usein hierarkkisia ja ne noudattavat tiettyä sisällysluetteloa. Sivut ovat perinteisesti yhdistetty toisiinsa sanoista tai lauseista lähtevillä hyperlinkeillä. Suuria sivustoja ja tekstisivuja navigoidessa saattaa tiedonetsijä joutua selaamaan sivuja useaan kertaan eteen- ja taaksepäin ennen halutun tiedon löytymistä. Tutkimustiedon mukaan tiedon löytämistä ja omaksumista verkkoympäristössä pystytään parantamaan siirryttäessä käyttämään perinteisestä selaustyylistä käsitekarttoihin perustuvaan navigointi- ja tiedonesitysjärjestelmään. (Carnot ym., 2001)

Käsitekartoista rakennettujen oppimisympäristöjen tehokkuudesta tiedonetsimisen ja oppimisen työkaluina on tehty vähän tutkimusta. Carnotin et al. (2001) suorittamassa tutkimuksessa vertailtiin käsitekartoista rakennetun oppimisympäristön tehokkuutta verrattuna perinteiseen tekstisivuista koostuvaan oppimisympäristöön. Tutkimuksessa tutkittavat jaettiin Pearsalin et al., (1997) jaottelun mukaisesti mielekkäisiin ja ei-mielekkäisiin oppijoihin. Tutkimuksessa tutkittiin molemmissa oppimisympäristöissä miten tehokkaasti ryhmät löytävät tietoa ja miten onnistuneesti ryhmät vastaavat aiheita käsitteleviin kysymyksiin. Tutkimuksessa todettiin molempien ryhmien saavan hieman parempia tuloksia käsitekarttojen muotoon rakennetussa oppimisympäristössä. Tutkimuksessa todettiin myös, että aikaisemmalla kokemuksella käsitekarttojen käytöstä ei ole tai on vain vähän merkitystä tuloksiin, mikä taas on vastoin yleistä uskomusta jonka mukaan käsitekartoista saadaan enemmän irti kokemuksen karttuessa (Carnot et al., 2001).

5. KEHITTÄMISTUTKIMUS

Tämän kehittämistutkimuksen (Edelson, 2002) tavoitteena on kehittää opettajille hyönteisten kemiaa käsittelevä mielekäs verkkomateriaali. Luvussa 5 esitetään suoritettua kehittämistutkimuksen vaiheet ja toteuttaminen. Tulokset käsitellään luvussa 6.

5.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymykset ohjaavat tutkimusta. Niiden avulla tutkimus pystytään rajaamaan sekä saadaan etenemään loogisesti. Tämä kehittämistutkimus pyrkii vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

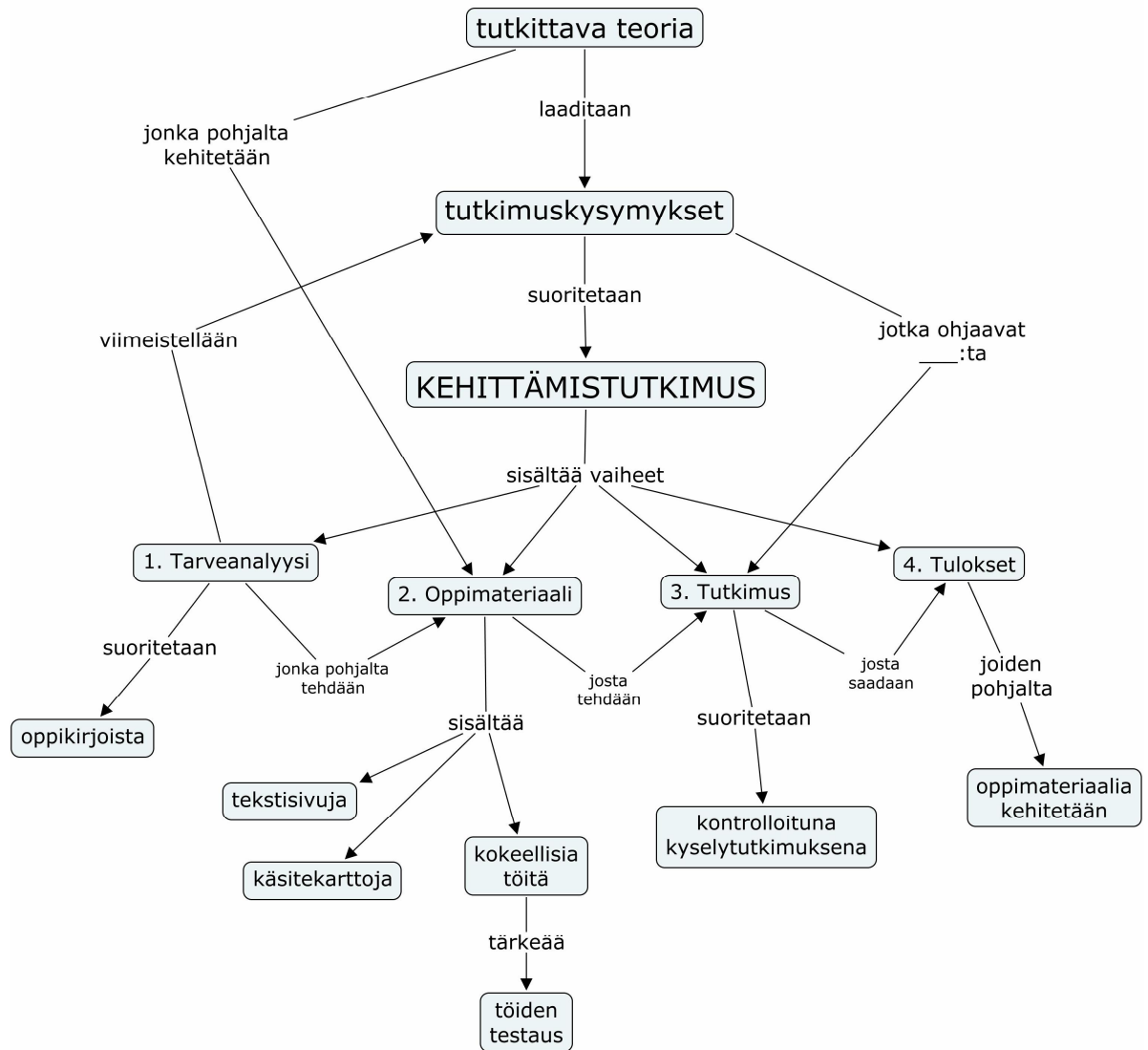
1. Miten hyönteisten kemiaa opetetaan lukiossa?
 - 1.1 Missä yhteyksissä hyönteisten kemia esiintyy oppikirjoissa?
2. Minkälainen on mielekäs verkko-opetusmateriaali aiheesta?
 - 2.1 Mikä on sopiva laajuus?
 - 2.2 Minkälainen olisi hyvä kemian sisältö mielekkäässä verkkomateriaalissa?
 - 2.3 Miten käsitekartat soveltuvat verkkomateriaalin käyttöön?

5.2 Kehittämistutkimuksen toteutus

Kehittämistutkimus koostuu neljästä vaiheesta (ks. kuva 5.1):

1. Tarveanalyysi (ks luku 5.2.1),
2. Oppimateriaalin kehittäminen (ks. luku 5.2.2.),
3. Tutkimuksen suoritus (ks. luku 5.2.3) ja
4. Tulosten tulkinta, arviointi ja oppimateriaalin jatkokehittely (ks. luku 6).

Tarveanalyysi suoritettiin keväällä 2007, verkkomateriaalia suunniteltiin keväällä 2007 ja arvioitiin sekä kehitettiin syksyllä 2007.



Kuva 5.1. Kehittämistutkimus.

5.2.1 Tarveanalyysi

Taustatyövaiheen tarveanalyysi suoritettiin toukokuussa 2005 oppikirjojen aineistolähtöisenä sisällönanalyysinä. (Tuomi & Sarajärvi, 2002, 110-115) Tarveanalyysin tavoitteena oli selvittää, miten ja missä yhteydessä hyönteisiin liittyvä kemia on esillä kemian oppikirjoissa ja vastata siten tutkimuskysymykseen 1. Tarveanalyysissä analysoitiin kaikki yleisimmät käytössä olevat lukion kirjasarjat, ryhmät A-E (23 kappaletta), sekä yksittäisiä korkeakoulujen kemian oppikirjoja, ryhmä G (kolme kappaletta). Tarveanalyysin tuloksissa tarkastellaan erityisesti lukion oppikirjojen tuloksia, koska verkkomateriaali on suunnattu lukion opettajien materiaaliksi. Yksittäiset korkeakoulujen oppikirjat otettiin tutkimukseen mukaan vertailun vuoksi. Analysoidut oppikirjat ovat luetteloitu liitteeseen 1. Kirjasarjoista analysoitiin kaikki hyönteisten kemiaan liittyvät asiat ja tehtävät. Tarveanalyysin perusteella muotoiltiin tutkimuskysymykset ja kehitettävän oppimateriaalin laajuus lopulliseen muotoon.

5.2.2 Oppimateriaalin tekeminen

Tavoitteena oli suunnitella tarveanalyysin ja mielekkään oppimisen teorian (ks luku 4.2) pohjalta lukion opettajille suunnattu hyönteisten kemiaa käsittelevä verkkomateriaali. Verkkomateriaalin sisällön ei ole tarkoitus olla sellaisenaan opetuksen aiheena. Tavoitteena oli luoda laaja hyönteisten kemiaa käsittelevä materiaalipankki, josta opettajat voisivat ottaa opetukseensa oppilaita motivoivia elementtejä. Verkkomateriaalissa pyrittiin ensisijaisesti kiinnittämään huomiota käyttömukavuuteen ja materiaalin monipuolisuuteen.

Verkkomateriaalin kokeellisen osuuden tavoitteena on tukea mielekästä kemian opiskelua, oppimista ja opettamista. Laboratorio-osuuksissa pyrittiin kiinnittämään huomiota töiden edullisuuteen ja yksinkertaisuuteen, jotta mahdollisimman monet lukiot pystyisivät niitä tekemään. Molekyyylimallinnus tehtävät tehtiin *Spartan* -molekyyylimallinnusohjelmalla. Niihin pyrittiin tekemään mahdollisimman valmiit ja yksityiskohtaiset työohjeet.

5.2.3 Oppimateriaalin arviointi

5.2.3.1 Kyselytutkimus

Oppimateriaalin arviointi suoritettiin informoituna kontrolloituna kyselynä. Informoidussa kyselyssä tutkija jakaa henkilökohtaisesti kyselylomakkeet vastaajille, vastaajat vastaavat lomakkeeseen omalla ajallaan ja palauttavat lomakkeet omatoimisesti ennalta sovittuun paikkaan tai postitse (Hirsjärvi et al., 2000, 183-184).

5.2.3.2 Lomakkeen laatiminen

Kyselylomakkeella voidaan kerätä monipuolisesti tietoa. Johdonmukainen kyselylomake sisältää selvityksen tutkimuksen tarkoituksesta, taustakysymyksiä, joilla pyritään selvittämään vastaajan tausta ja ennakkokäsitykset tutkittavasta aiheesta. Kyselyn tietoa keräävät kysymykset voivat olla joko avoimia, monivalintakysymyksiä tai asteikkoihin perustuvia kysymyksiä. Tarkkoja sääntöjä kysymysten laatimiseen ei ole, mutta kysymysten täytyisi kuitenkin olla selviä ja lyhyitä, sekä niiden määrä täytyy harkita osaksi myös kohdeyleisön mukaan. Yli 15 minuuttia täytettäviin postikyselyihin vastataan harvoin motivoituneesti. (Hirsjärvi et al., 2007, 185-191)

Tässä tutkimuksen kyselylomake (liite 3) sisältää sekä avoimia että suljettuja kysymyksiä. Lomake koostui kuudesta osasta: ensimmäisessä osassa (I) kartoitetaan vastaajien taustat ja ennakkokäsitykset verkko-opetusta sekä käsitekarttoja kohtaan. Toisessa, kolmannessa, neljännessä ja viidennessä osassa suoritetaan verkkomateriaalin arviointi: ulkoasun arviointi (II), sisällön arviointi (III), käsitekarttojen arviointi (IV) ja käyttömukavuuden arviointi (V). Kuudennessa osassa (VI) vastaajat voivat antaa vapaata palautta tutkijalle.

Avoimien kysymysten vastaukset analysoitiin sisällönanalyysillä (Tuomi & Sarajärvi, 2002, 110-115). Suljetut kysymykset arvioitiin asteikolla 1-5, jossa 1=välttävä, 2=tyydyttävä, 3=hyvä, 4=kiitettävä ja 5=erinomainen. Suljettujen kysymysten analysoinnissa laskettiin kysymyskohtaisesti numeeriset keskiarvot sekä arviointiasteikon vastauskohtaiset prosentuaaliset osuudet.

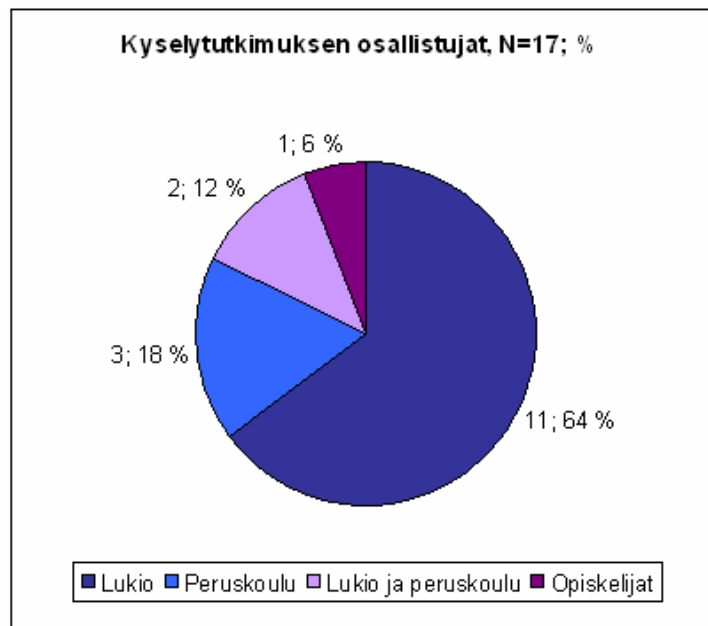
5.2.3.3 Kyselyn toteuttaminen

Kysely toteutettiin syksyllä 2007. Tutkimuspäiviä oli kaksi. Ensimmäinen tutkimuspäivä oli MAOL ry:n syyspäivä lokakuussa. Ensimmäisenä tutkimuspäivänä verkkomateriaalia esiteltiin ensin molekyylihallinnasta käsittelevässä työpajassa, jonka jälkeen pajaan osallistuneille jaettiin kyselylomakkeet. Ensimmäisenä tutkimuspäivänä kyselylomakkeen palautti 14 vastaajaa.

Toinen tutkimuspäivä oli marraskuussa LUMA -keskuksen molekyylihallinnuspajassa. Pajaan osallistuneille (N=6) jaettiin pajan loputtua kyselylomakkeet ja valmiiksi maksetut postituskuoret. Kyselylomakkeelle annettiin palautusaikaa vuoden 2007 loppuun asti. Toisen tutkimuspäivän kuudesta osallistujasta kolme palautti kyselylomakkeen, joten tutkimuksen kokonaisotannaksi muodostui yhteensä 17 vastaajaa.

5.2.3.4 Kohderyhmä

Kyselytutkimuksen kokonaisotannaksi muodostui 17 vastaajaa. Taustaltaan vastaajat voidaan jakaa neljään ryhmään (ks. kuva 5.2): lukion opettajat (N=11; 64 %), peruskoulun opettajat (N=3; 18 %), lukion ja peruskoulun opettajat (N=2; 12 %) ja opiskelijat (N=1; 6 %). Tutkimukseen osallistuneet opettajat edustivat työkokemuksensa puolesta kokenutta opettajakaarta, vastaajista 76 %:lla (N=13) oli työkokemusta yli 15 vuotta. Vastaajien opetusasteen ja työkokemuksen homogeenisyyden vuoksi vastauksia ei ole ryhdytty analysoimaan ristiin vastaajien taustan perusteella tai etsimään korrelaatioita taustan ja vastausten välillä. Otannan pieni koko (N=17) oli myös syynä tilastollisten tarkastelumenetelmien poisjättämisessä.



Kuva. 5.2. Kyselytutkimukseen osallistuneet ryhmät, %, N=17.

Vastaajien asenteet tietokoneavusteiseen opetukseen olivat positiivisia, sillä vastaajista 16 (94 %) koki tietokoneet opetuksen tukena hyödyllisiksi. Kukaan vastanneista ei pitänyt verkko-opiskelua epämiellyttävänä opetusmuotona (ks. taulukko 5.1) ja opettajat arvioivat myös oppilaiden pitävän verkko-opiskelua mielekkäänä (76 %). Vastanneista 59 % piti opiskelua verkko-ympäristössä mielekkään, tosin 41 % ei osannut sanoa mielipidettä omasta verkko-opiskelustaan.

Taulukko 5.1. Vastaajien mielipiteitä verkko-opiskelusta, % (N=17).

Väite	Mielekästä	Epämiellyttävää	En osaa sanoa
5. Verkko-ympäristössä opiskelu on minulle mielekästä	59	0	41
7. Mielestäni oppilaat kokevat tietokoneperustaisen opiskelun	76	0	24

Vastaajien perusteluja väitteeseen 7 liittyen:

- ”En osaa sanoa, kovin vähän olen opettanut kyseisessä ympäristössä.”
- ”En osaa sanoa, vaihtelu on hyväksi, mutta outo ympäristö hämmentää.”
- ”Mielekkääksi, usein he pyytävät sitä.”
- ”Mielekkääksi, innostaa, mutta opetus tulee suunnata oleellisiin asioihin.”

Vastaajista 35 % opiskelee ja käyttää verkkomateriaaleja tai tietokoneita opetuksessaan usein, 47–59 % harvoin ja 2–3 vastaajaa ei opeta tai opiskele koskaan verkon avulla. Vastausta ”harvoin” perusteltiin eniten resurssien ja omien taitojen puutteen sekä verkkomateriaalien käytöstä syntyvällä suurella työmäärällä (taulukko 5.2).

Taulukko 5.2. Vastaajien verkon käyttötapoja, % (N=17).

Väite	Usein	Harvoin	En koskaan
4. Opiskelen verkkoympäristössä	35	47	18
6. Käytän verkkomateriaaleja opetuksessani tai opetan tietokone-perustaisessa ympäristössä.	35	59	6

Vastaajien perusteluja väitteeseen 6 liittyen:

- ”Harvoin, luokassa ei ole tykkiä, oma puutteellinen tieto-taito.”
- ”Usein, havainnollistaa enemmän kuin pelkkä liitu ja leuka.”
- ”Harvoin, vaatii paljon vaivannäköä. Työmäärä/hyöty ei yleensä sopusoinnussa.”
- ”Harvoin, mielummin keskustelen ja käytän kokeellista lähestymistapaa.”
- ”Usein, hyödyllistä.”

Vastaajat uskoivat vahvasti, että käsitekartat edistävät oppimista (65 %) (ks. taulukko 5.3), mutta kuitenkin vain 18 % vastaajista käyttää niitä usein opetuksensa tukena ja 41 % oman opiskelunsa tukena. 58 % vastaajista totesi käyttävänsä käsitekarttoja opetuksessaan harvoin ja 24 % ei käytä koskaan. Huomioitavaa on myös käsitekarttoja koskevien väitteiden en osaa sanoa vastausprosentit (väite 10, 35 % ja väite 11, 18 %). Vastaajat käyttävät käsitekarttoja eniten kokonaisuuksien hahmottamiseen ja opetuksen havainnollistamiseen.

Taulukko 5.3. Vastaajien mielipiteitä ja kokemus käsitekarttojen käytöstä, % (N=17).

Väite	Vastaus		
	Usein	Harvoin	En koskaan
9. Käytän käsitekarttoja osana opetustani	18	58	24
10. Käsitekartat edistävät oppimista	Kyllä	Ei	En osaa sanoa
	65	0	35
11. Käytän käsitekarttoja opiskeluni tukena	Kyllä	En	En osaa sanoa
	41	41	18

Vastaajien perusteluja väitteisiin 9, 10 ja 11 liittyen:

- ”En koskaan, ovat löytäneet minut vasta nyt.”
- ”Harvoin, työläitä itse rakentaa.”
- ”Usein, sopii tapaani hahmottaa kokonaisuuksia.”
- ”Kyllä, oikeassa kohdassa käytettynä antavat hyvän kokonaiskuvan.”
- ”Kyllä, havainnollistavat opetusta.”
- ”En, en ole omaksunut niitä omaan käyttööni hyvin.”

5.2.3.5 Kyselytutkimuksen luotettavuus ja pätevyys

Tutkimuksen teossa pyritään aina arvioimaan tutkimuksen luotettavuutta (reliaabeliutta) ja pätevyyttä (validiutta). Tutkimuksen luotettavuutta nostaa toistettavuus, saman tuloksen saaminen erilaisilla mittareilla ja tutkimuksen toteuttamisen tarkka selostus tutkimusraportissa (Hirsjärvi et al., 2000, 213-214). Tässä kyselytutkimuksessa luotettavuuteen vaikutti alentavasti ensimmäisenä tutkimuspäivänä vastaajien lyhyt vastausaika. Luotettavuutta taas nosti kyselyn toistaminen sekä molempien tutkimuspäivien samankaltaiset vastaukset.

Tutkimuksen pätevyyden arvioimisen tarkoitus on selvittää, mittasiko tutkimus juuri sitä, mitä oli tarkoituskin mitata (Hirsjärvi et al., 2000, 213). Tämän tutkimuksen tarkoitus oli tuottaa lukion opettajille materiaalia, jota he voisivat käyttää opetuksen tukena. Kyselyn vapaan palautteen mukaan osa ensimmäisen tutkimuspäivän vastaajista arvioi verkkomateriaalia sen mukaan, miten se sopisi lukiolaisille. Ilmeisesti ensimmäisen päivän lyhyt vastausaika sai osan vastaajista kiirehtimään etusivun yli, jossa selvitettiin verkkomateriaalin tavoitteet, soveltuvuus ja käyttötarkoitus.

Tutkimuksen luotettavuutta ja pätevyyttä kuitenkin nostaa kyselyn vapaa palaute tutkijalle sekä opettajilta tullut kyselyn ulkopuolinen sähköpostipalaute. Kokonaisuutena tutkimusta voidaan pitää luotettavuudeltaan ja pätevyydeltään hyvänä.

Kommentteja palautteeseen liittyen:

- *”Hieno opetuspaketti. Valtakunnallisiin kemian kursseihinhan se ei sellaisenaan sovi, mutta johonkin ke-bi-integraatiokurssiin. Ja paloja voi varmaankin käyttää kemian opetuksessa.*
- *”Kokonaisuutena en työtäsi voi käyttää, mutta osia kylläkin, esim. opettaessani erilaisia funktionaalisia ryhmiä heti ensimmäisellä kurssilla. Kokeeseen voisin laatia vaikkapa tehtävän yhdisteryhmistä.”*

5.2.4 Oppimateriaalin kehittäminen

Opettajilta saadun palautteen perusteella oppimateriaalin tasoa ja toimivuutta kehitettiin. Lopulliset versiot materiaaleista löytyvät CD-ROM levykkeeltä tutkielman takakannesta sekä verkko-osoitteesta

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/hyonteistenkemiaa/index.htm>.

6. TULOKSET

Tässä luvussa esitellään tutkimustulokset tutkimuskysymysten mukaisesti. Luvussa 6.1 esitellään tarveanalyysin tulokset ja vastataan tutkimuskysymykseen 1, luvussa 6.2 käydään läpi kehitetty verkkomateriaali ja luvussa 6.3 selostetaan verkkomateriaalin arvioinnin tulokset, jotka vastaavat tutkimuskysymykseen 2.

6.1 Hyönteisten kemian esiintyminen kemian oppikirjoissa

Tarveanalyysissä analysoitiin yhteensä 26 oppikirjaa (23 lukion ja 3 korkeakoulujen oppikirjaa). Näistä 14 kirjassa esiintyi hyönteisiin liittyvää kemiaa. Tarveanalyysin keskeisimmät tulokset esitellään taulukoissa 6.1-6.4. Tarveanalyysin aineisto on kokonaisuudessaan luettavissa liitteestä 2 ja tutkitut oppikirjat liitteestä 1.

Viiden kirjasarjan välillä oli hyönteisten kemian esiintymisen osalta vaihtelua. Kaikkien kirjasarjojen ensimmäisistä kirjoista (kurssi Ihmisen ja elinympäristön kemia) löytyi mainintoja hyönteisten kemiasta. Kirjasarjojen B, C ja E muista kirjoista ei löytynyt mitään hyönteisten kemiaan liittyvää. Kirjasarjasta A löytyi hyönteisiin liittyvää kemiaa kaikkien muiden kirjojen sisällöistä poisluettuna A5:sta. Kirjasarjasta D hyönteisiin kytkettyä kemiaa löytyi kaikista viidestä oppikirjasta. Hyönteisten kemiaan liittyviä kuvia löytyi melkein kaikista löytyneistä asioista. Kuvat käsittelivät hyönteisten kemiaa pelkästään makro- ja symbolitasolla (ks. liite 2).

Yleisesti ottaen hyönteisiin liittyvää kemiaa ei löytynyt tutkituista oppikirjoista paljon. Eniten hyönteisiin liittyvää kemiaa esiintyi orgaanisten aineiden luokittelun (ks. taulukko 6.1), luonnonaineiden (ks. taulukko 6.2) ja kemiallisten sidosten yhteydessä (ks. taulukko 6.3).

Orgaanisista yhdisteryhmistä löytyi lukumäärältään eniten mainintoja karboksyylihapojen yhteydessä muurahaishaposta (kolme kappaletta, kirjat C1, D1 ja E1). Yleisesti koko aihepiiriä tarkastellessa eniten mainintoja löytyi semiokemikaaleista, erityisesti feromoneista (kirjat C1, E1 ja G3). Huomioitavaa on, että kaikki löydetty maininnat ovat lukion kirjojen ensimmäisestä kurssista.

Taulukko 6.1. Orgaanisten aineiden luokitteluun liittyvä hyönteisten kemia.

Lähde	Hyönteisiin liittyvä kemia	Orgaaninen yhdisteryhmä	Kuva
B1	hyönteisten pigmentit, flavonoidit	alkoholit ja fenolit	on
B1	semiokemikaalit, ampiaisen myrkky	amiinit	on
C1	semiokemikaalit, feromonit	esterit	ei
C1	semiokemikaalit, mehiläisten hälytysferomoni	esterit	on
C1	muurahaishappo	karboksyylihapot	on
D1	muurahaishappo	karboksyylihapot	on
E1	muurahaishappo	karboksyylihapot	on
E1	semiokemikaalit, tuoksut	aldehydit ja ketonit	on
G3	semiokemikaalit, feromonit	alkaanien esiintyminen	ei

Luonnonaineiden yhteydessä esiintyvät asiat keskittyivät lukion kurssien 1 (Ihmissen ja elinympäristön kemia) ja 4 (Metallit ja materiaalit) oppikirjoihin. Luonnonaineista mainittiin proteiinit, polymeerit, polysakkaridit ja hiilihydraatit (taulukko 6.2).

Taulukko 6.2. Luonnonaineisiin liittyvä hyönteisten kemia.

Lähde	Hyönteisiin liittyvä kemia	Luonnonaine	Kuva
A1	mehiläisvaha	vahat	on
A4	kitiini	luonnon komposiitit	on
D1	kitiini	polysakkaridit	on
D4	silkkiperhosen silkkikotelo	polymeerit	on
E1	hunaja	hiilihydraatit	on
E1	eläinten orgaaniset yhdisteet	luonnon yhdisteet: hiilihydraatit, polymeerit ja rasvat	on
G3	mehiläisvaha	vahat	on

Sidosten yhteydessä hyönteisiin liittyvä kemia kytkettiin molekyylien välisiin sidoksiin, sidoksen avaruusrakenteeseen ja sidosenergiaan (taulukko 6.3).

Taulukko 6.3. Sidoksiin liittyvä hyönteisten kemia.

Lähde	Hyönteisiin liittyvä kemia	Sidokset	Kuva
A1	hyttynen aistii lämpöä	kovalenttinen sidos, kaasu	on
D2	hämähäkin seitti	sidosten avaruusrakenteet, proteiinit	on
D3	tulikärpäsien hohtaminen	sidosenergia	on
E1	hämähäkin seitti	molekyylin väliset sidokset	on

Muut asiat joihin oppikirjoissa on kytketty hyönteisten kemiaa ovat: isomeria, hapot ja emäkset, pH, kemiallinen reaktio sekä pigmentit (taulukko 6.4).

Taulukko 6.4. Muihin asioihin liittyvä hyönteisten kemia.

Lähde	Hyönteisiin liittyvä kemia	Asiayhteys	Kuva
A2	semiokemikaalit, feromonit	isomeria, tuoksujen kemia	on
A3	hyttyskarkote	kemiallinen reaktio	on
C1	mehiläisen myrkky	emäkset	on
D5	ampiaisen ja mehiläisen myrkky	happo-emästasapaino, pH	on
G1	semiokemikaalit, kaikki	katso tänään	on
G1	semiokemikaalit, mehiläisten feromonit	tarkista	on
G3	hyönteisten pigmentit	värilliset orgaaniset materiaalit	on

6.1.1 Yhteenveto tarveanalyysistä

Tarveanalyysin taulukkojen 6.1-6.4 perusteella eniten oppikirjoissa esiintyvät hyönteisten kemian elementit ovat semiokemikaalit (10 mainintaa) ja mehiläisiin liittyvä kemia (yhdeksän mainintaa). Tarveanalyysin kolme eniten esiintyvää kemian aihealuetta olivat orgaanisten yhdisteiden luokittelu (taulukko 6.1), luonnonaineet 6.2 ja sidoksiin liittyvä kemia (taulukko 6.3). Näitä asioita käsiteltiin eniten lukion kurssien KE1 ja KE4 oppikirjoissa. Hyönteisten kemian esiintymisessä esiintyi vaihtelua eri oppikirjasarjojen välillä. Eniten mainintoja oli kirjasarjoissa A ja D.

6.2 Verkkomateriaali

Verkkomateriaalin laajuus rajattiin tarveanalyysin perusteella. Alustavan suunnitelman mukaan verkkomateriaalin piti sisältää teoriaa semiokemikaaleista, mehiläisistä, muurahaisista, perhosista ja pigmenteistä. Tarveanalyysin perusteella teoriaosio (luku 2) rajattiin yhteen esimerkkiin –mehiläisiin ja siihen syvällisesti.

Koska lukion opetussuunnitelmien perusteissa ei suoraan mainittu hyönteisten kemiaa (ks. luku 3), suunnattiin oppimateriaali ensisijaisesti lukion opettajille. Verkkomateriaalista pyrittiin tekemään laaja, jotta opettajat voisivat käyttää sitä monipuolisesti hyväksi kytkiessään opetustaan tarveanalyysin (ks. luku 6.1) esilletuomiin kemian aihealueisiin.

Verkkomateriaalista pyrittiin tekemään Jonassenin (1999) määrittelemien kriteerien (ks. luku 4.4.1) mukaisesti mahdollisimman mielekäs opiskeltavaksi verkkomateriaalin tavoitteet huomioon ottaen. Huomiota verkkomateriaalissa on erityisesti kiinnitetty sivuston sisältöön, ulkoasuun, rakenteeseen ja navigoimiseen. Käsitekarttojen, tekstisivujen ja kokeellisen osion myötä pyrittiin tekemään materiaalista mahdollisimman monikäyttöinen. Materiaali, joka sopisi sekä nopeaan kertaamiseen (käsitekartat), että aiheen syvempään opiskeluun (tekstisivut). Verkkomateriaalista pyrittiin tekemään visuaalisesti korkeatasoinen hyvien kuvien avulla.

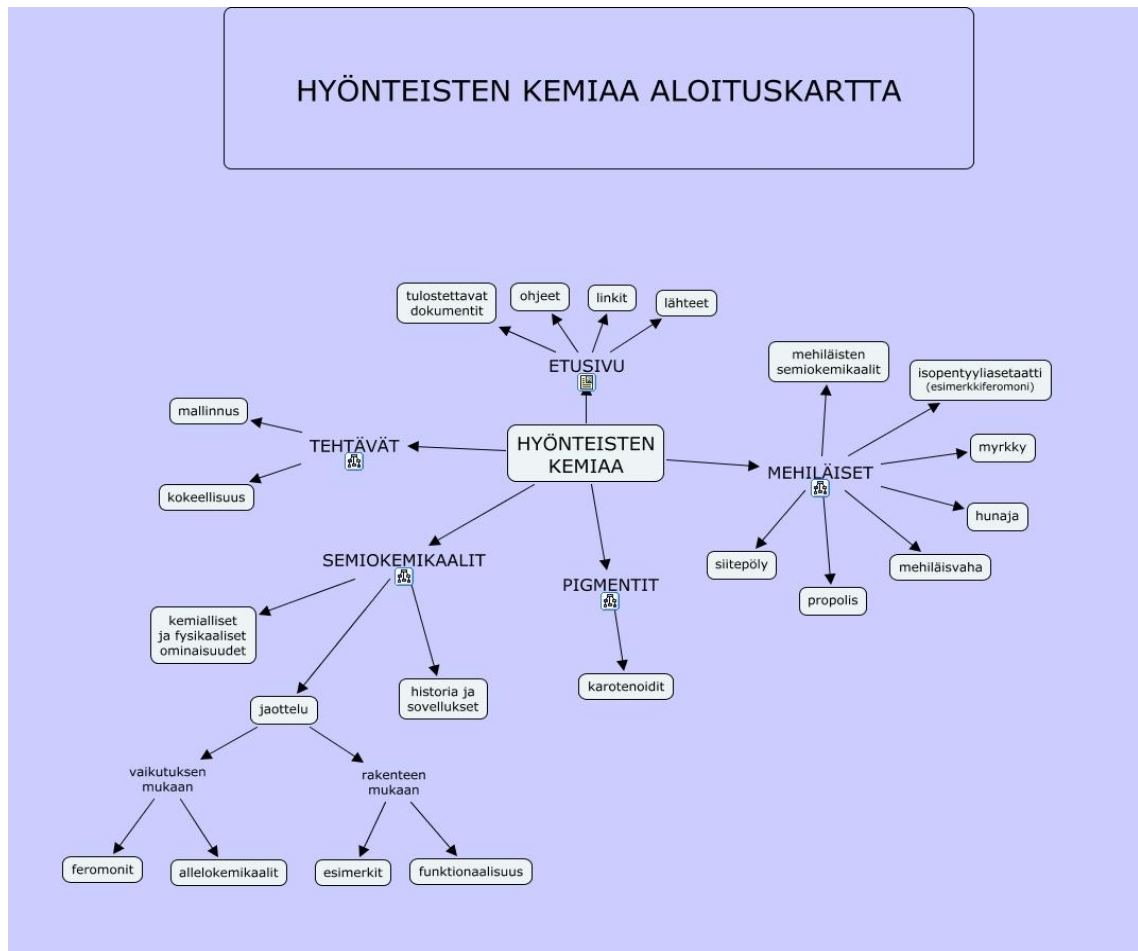
Ausubelin (1968) mielekkään oppimisen teorian mukaisesti materiaali pyrittiin rakentamaan niin, ettei se kannusta oppilasta opiskelemaan ulkoa vaan rakentamaan omaa tietorakennettaan mielekkäästi käyttäen kokonaisuuksien hahmottamisessa käsitekarttoja ja tiedon syventämisessä tekstisivuja. Mielekkään oppimisen teoria huomioitiin myös siten, että materiaali kytkettiin mielekkääseen kontekstiin. Gilbertin (2006) mukaan kontekstuaalisuus nostaa materiaalin mielekkyyttä.

6.2.1 Verkkomateriaalin toteutus

Verkkomateriaalin perusrakenne koostuu karttasivuista (ks. kuvat 6.1 ja 6.2), käsitekarttoista (ks. kuva 6.3) ja tekstisivuista (ks. kuva 6.4). Karttasivut ja käsitekartat tehtiin *Cmap Tools* -käsitekartta ohjelmalla, jolla voi tallentaa dokumentin suoraan .html -muotoon. Tekstisivut tehtiin *Dreamweaver* -ohjelmalla, joka on verkkosivujen tekoon tarkoitettu verkkotyökalu.

Kuvassa 6.1. esitetään materiaalin sisällysluettelo. Materiaali koostuu viidestä eri osiosta:

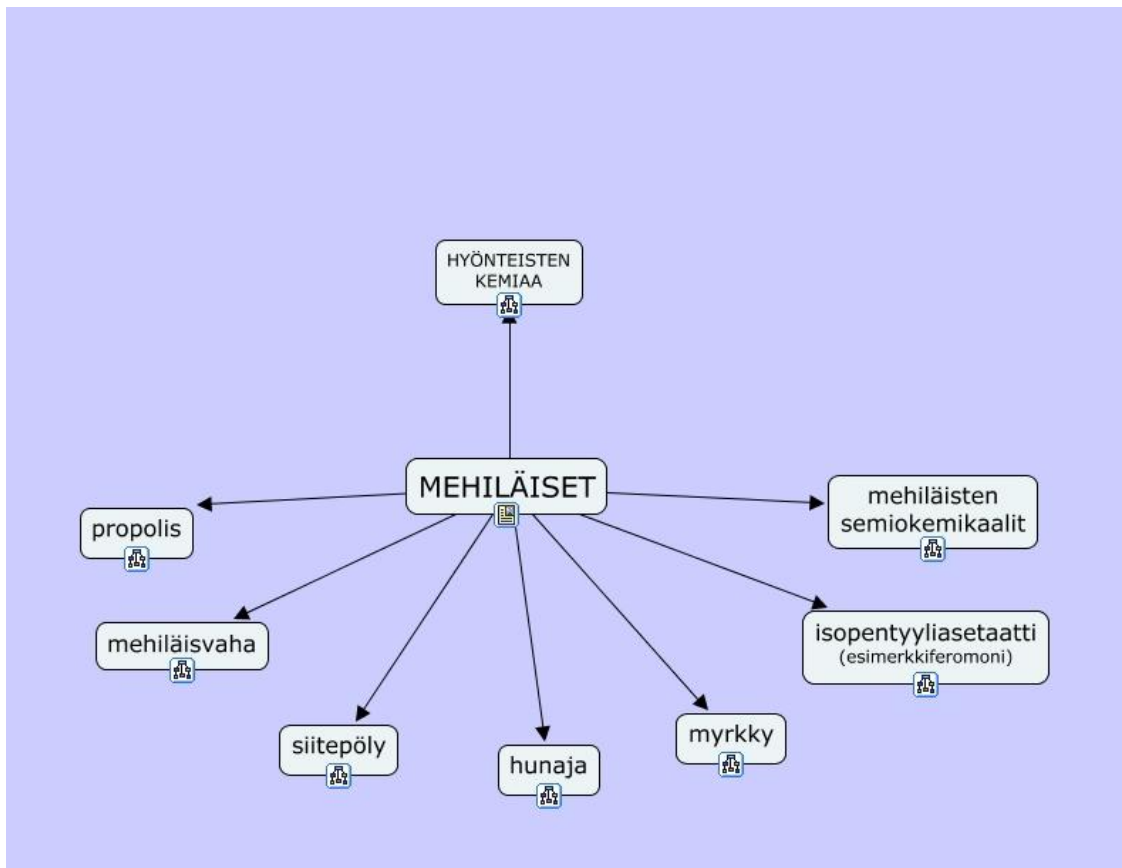
- a. Etusivu, jossa on sivuston käyttöohjeet, tervetulotoivotus, tavoitteet, lähteet, linkit ja koko materiaali tulostettavina pdf-dokumentteina.
- b. Tehtävät, joka on verkkomateriaalin kokeellinen tehtäväosio. Tämä osio käydään tarkemmin läpi luvussa 6.2.2.
- c. Semiokemikaalit (ks. luku 2.1), joka sisältää semiokemikaalien historiaa ja sovelluskohteita sekä koko ryhmän tarkastelua rakenteellisten erojen perusteella.
- d. Pigmentit (ks. luku 2.2), joka keskittyy teorian puolesta pelkästään karotenoideihin. Pigmentit osiossa on karotenoidien isomeriaan liittyvä animaatio.
- e. Mehiläiset, jotka valittiin materiaalin esimerkki hyönteisiksi kemiallisen monimuotoisuutensa vuoksi. Mehiläiset osion teoria koostuu yleisempien mehiläistuotteiden ja mehiläisten semiokemikaalien kemiasta luvun 2.3 mukaisesti.



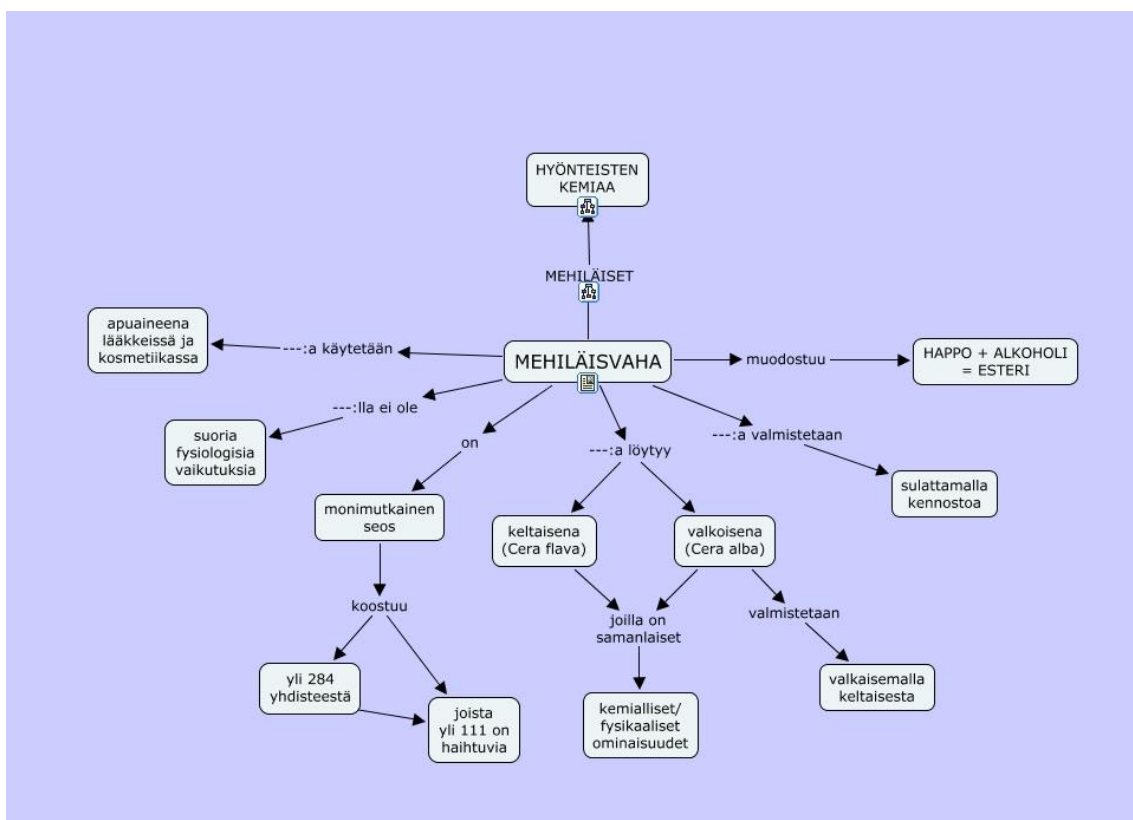
Kuva 6.1. Verkkomateriaalin karttasivu: sisällysluettelo.

Verkkomateriaalin yksi lähtökohta oli mielekäs käytettävyys (ks. luku 5.2.2). Tässä yhteydessä sillä tarkoitettiin selkeää rakennetta, tiedon tehokasta löytymistä ja navigoinnin mukavuutta. Asia pyrittiin ratkaisemaan käytännössä rakentamalla sivuston navigointijärjestelmä käsitekarttojen muotoon. Tutkimusten mukaan käsitekarttojen muotoon rakennetut verkkomateriaalit tehostavat oppimista ja helpottavat tiedon etsimistä (ks. luku 4.4.2) (Carnot ym., 2001).

Materiaalin navigointimahdollisuuksia rajoitettiin tietoisesti. Lukija ei pysty eksymään osioiden välillä, koska osiosta toiseen vaihtaminen tapahtuu aloituskartan (ks. kuva 6.1) kautta, jolloin lukija pysyy koko ajan kartalla. Kuvissa 6.1-6.4 on kuvattu navigointireitti sivuston aloituskartasta mehiläisvaha käsittelevälle tekstisivulle. Tiedon taso syvenee siirryttäessä lähemmäksi tekstisivua, jolloin lukija pystyy opiskelemaan sivustoa haluamallaan vaativuustasolla.



Kuva 6.2. Verkkomateriaalin karttasivu: mehiläiset.



Kuva 6.3. Verkkomateriaalin käsitekartta: mehiläisvaha.

[Takaisin käsitekarttaan](#)

MEHILÄISVAHA

[OMINAISUUDET JA KOOSTUMUS](#)

[SOVELLUKSET](#)

Vahat ovat pitkäketjuisten karboksyylihappojen ja pitkäketjuisten alkoholien muodostamia estereitä. Mehiläisvahan (kuva 1) hydrolyysissa muodostuu C 26 ja C 28 mittaisia suoraketjuisia karboksyylihappoja sekä C 30 ja C 32 mittaisia suoraketjuisia alkoholeja.

$$\text{C}_{25-27}\text{H}_{51-55}\text{COOC}_{30-32}\text{H}_{61-65}$$

Kuva 1. Mehiläisvahan rakennekaava.

Mehiläisvahaa on sekä keltaisena (Cera flava) että valkoisena (Cera alba). Keltainen mehiläisvaha valmistetaan sulattamalla mehiläiskennoja (kuva 2) kuumalla vedellä ja poistamalla sulasta vieraat materiaalit. Valkoista mehiläisvahaa valmistetaan valkaisemalla keltaista mehiläisvahaa kaliumpermangaatilla, aktiivihiilellä tai auringossa.



Kuva 6.4 Verkkomateriaalin tekstisivu: mehiläisvaha.

6.2.2 Kokeellinen osio

Kokeellisten tehtävien tavoitteena oli tuoda monipuolisuutta mielekkääseen kemian opetukseen. Kokeellisen osion tehtävissä yhdistyvät laboratoriotyöskentely ja molekyylihallinnointi, kuten kemistien työssä (mm. ks. Aksela, 2005).

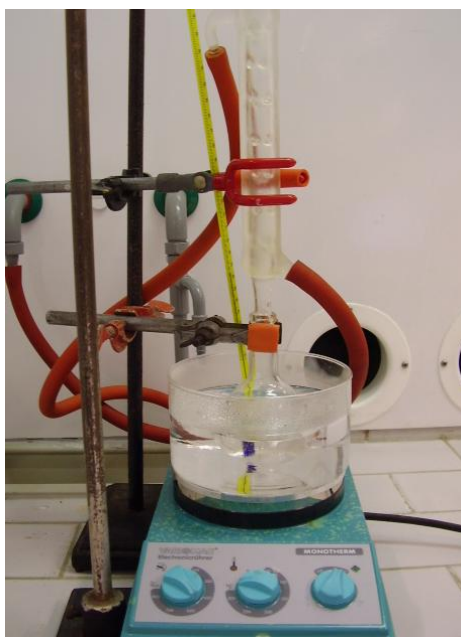
Kokeellisia tehtäviä on kaksi. Tehtävien kemiallista puolta ei käsitellä tässä kappaleessa, koska niiden kemia on käsitelty luvussa 2. Tehtävien aiheet valittiin luvun 2. teorian sisällöstä.

Ensimmäisen tehtävän (ks. luku 6.2.2.1) aiheeksi tuli hunajamehiläisen hälytysferomonin isopentyyliasetaatin (ks. luku 2.3.2) syntetisointi ja mallintaminen. Toinen tehtävä (ks. luku 6.2.2.2) käsittelee karotenoidien (ks. luku 2.2.1) eristämistä ja mallintamista. Molempien tehtävien mallinnusosat on tehty *Spartan 04 student* -versiolla.

6.2.2.1 Isopentyyliasetaatti, $C_7H_{14}O_2$

Isopentyyliasetaattitehtävässä yhdistyvät isopentyyliasetaatin kokeellinen valmistaminen sekä yhdisteen molekyylikrakenteen ja synteesireaktion tietokoneavusteiseen mallintaminen. Tehtävän tavoitteena on tehostaa laboratoriotyönkentelyn mieleenpainumista tarkastelemalla mallinnuksen avulla synteesireaktion luonnetta sekä antamalla oppilaalle syntetisoidusta molekyylistä mielikuva. Tehtävän kehittämisessä käytetyt lähteet ovat liitteenä 4.

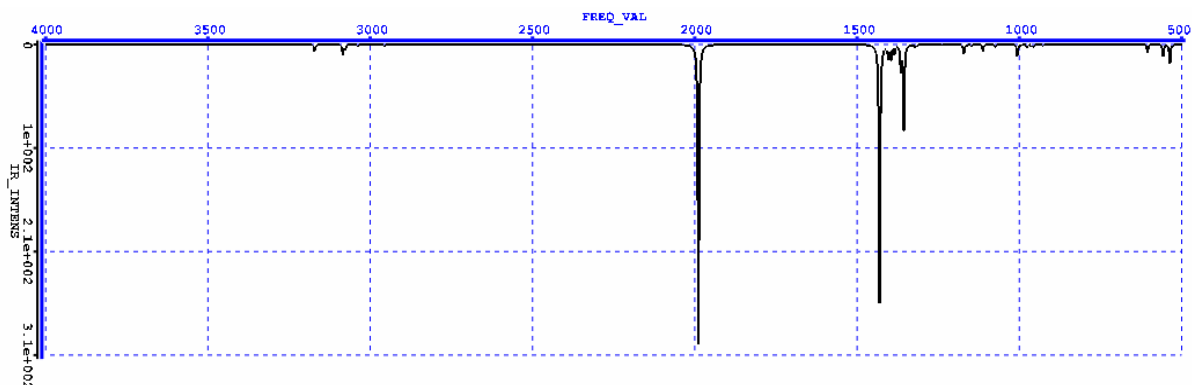
Tehtävä alkaa yhdisteen esittelyllä, sovelluksilla ja mahdollisilla valmistuskustannuksilla. Työn laboratorio-osuus jaetaan neljään eri vaiheeseen: a) refluksointi, b) uutto, c) tislauk ja d) punnitus sekä IR. Työ alkaa noin tunnin mittaisella refluksoinnilla (ks. kuva 6.5). Kyseessä on happokatalysoitu esteröintireaktio (ks. luku 2.3.2.2). Reaktio vaatii tapahtuakseen katalyytin (H_2SO_4) ja korkean lämpötilan, joka saadaan aikaan refluksoinnilla. Refluksoinnin jälkeen uutetaan orgaaninen aines reaktioseoksesta, josta eristetään tislaamalla haluttu lopputuote. Isopentyyliasetaatin kiehumispiste on $142\text{ }^{\circ}C$, jolloin tislaaminen voidaan suorittaa normaalipaineessa öljyhauteessa. Lukioista yleensä ei löydy IR-spektrometriä, minkä johdosta tehtävämonisteeseen on liitetty yhdisteen IR-spektri. Koulut voivat myös vierailla korkeakoulujen tai yritysten laboratoriossa ajamassa IR-spektrin.



Kuva 6.5. Refluksointi.

Työn mallinnusosiossa on kaksi harjoitusta. Ensimmäisessä harjoituksessa harjoitellaan *Spartanin* peruskäyttöä, molekyylin rakentamista ja yksinkertaisten laskujen ajoa. Harjoituksessa tulevat tutuksi laskujen osalta seuraavat asiat: miten molekyylin geometria optimoidaan, miten lasketaan elektronitiheydet ja miten IR-spektriä visualisoidaan? Laskennallista IR-spektriä (ks. kuva 6.6) on tärkeää verrata työohjeessa mukana olevaan kokeelliseen spektriin (ks. CD-ROM) ja tuoda ilmi erilaiset mittausolosuhteet. *Spartanin* laskuissa lämpötila on $-273,15\text{ K}$, katalyyttia ei ole ja aineet ovat kaasufaasissa.

Mallinnusosion toisessa harjoituksessa tarkastellaan kemiallisen reaktion luonnetta valmiin laskudatan avulla. Työohjeessa (ks. CD-ROM) on kuvaaja, jonka avulla reaktion luonnetta pystytään visualisoimaan. Tärkeää on jälleen korostaa reaktio-olosuhteiden erilaisuutta.

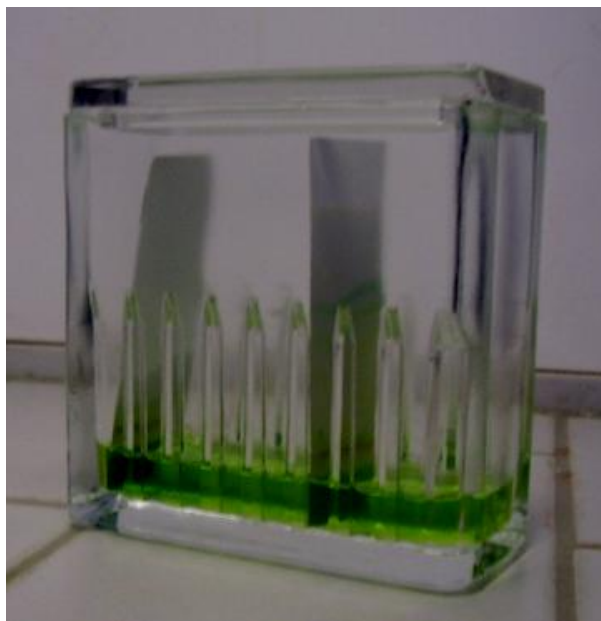


Kuva 6.6. Isopentyyliasetaatin mallinnettu IR-spektri.

6.2.2.2 Karotenoidien mallinnus ja eristäminen

Karotenoidien mallinnus- ja eristämistehtävän tavoitteena on tarkastella karotenoidi molekyylin ominaisuuksia mallinnuksen ja kokeellisuuden avulla. Tehtävä alkaa johdannolla, jossa selostetaan pigmenttien kemian historiaa ja kromatografian kehittymisen vaikutusta pigmenttien kemian ymmärtämiseen. Työn laboratoriovaiheessa ne kytketään toisiinsa eristämällä ohutkerroskromatografian (ks. kuva 6.7) avulla karotenoideja kasveista. Eristyksessä käytetään kasvinlehtiä, koska hyönteisiin karotenoidit siirtyvät niiden ravinnon mukana (mm. Cromartie, 1959).

Laboratoriovaihe tehtiin mahdollisimman pelkistetyksi. Laboratoriotyössä eristetään asetonilla rasvaliukoiset pigmentit murskatusta kasvimassasta, jonka jälkeen ne suodatetaan petrimaljalle. Petrimaljalla olevasta seoksesta eristetään karotenoideja ohutkerroskromatografialla siten, että seosta imeytetään noin viisi kertaa levyille tehtyyn merkkiin asti, jolloin saadaan tavallista näkyvämpi lopputulos. Idea on peräisin Fagerstedin et al., (2007) tekemästä kasvifysiologian harjoitustyömonisteesta (ks. tehtävän lähteet liitteestä 5). Tavallisesti ohutkerroslevylle laitetaan näytettä yksi pisara kapillaarilla.

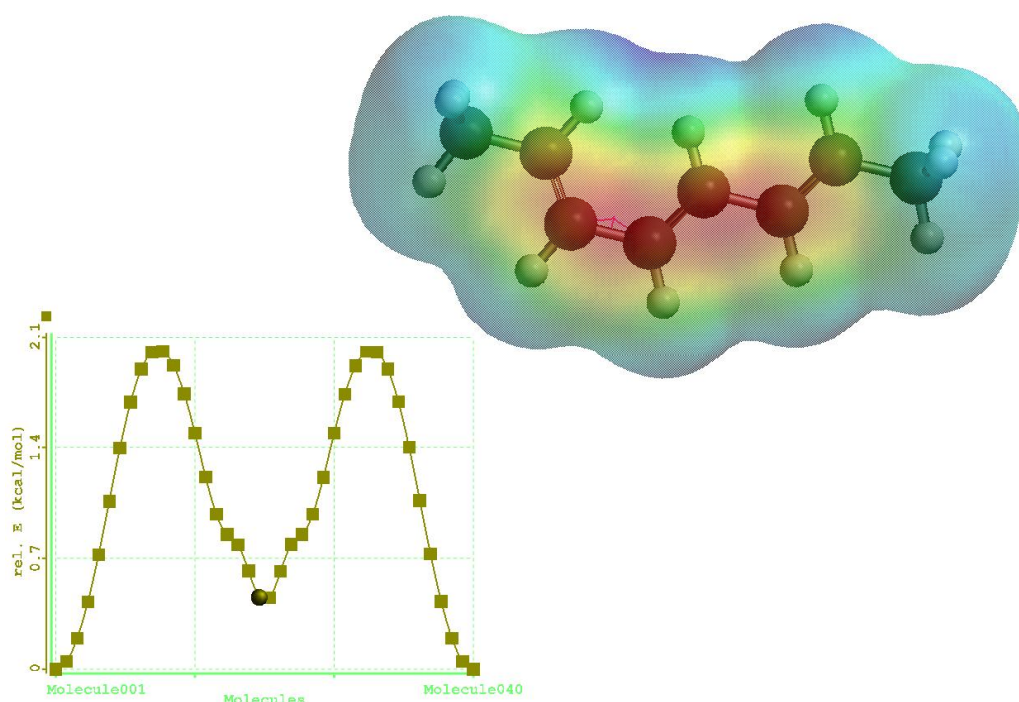


Kuva 6.7. Ohutkerroskromatografia ajo.

Tehtävän mallinnusosuus on vaativa, koska työssä käytettävä karotenoidi (betakaroteeni) on kooltaan suuri molekyyli (ks. kuva 2.4) ja siten myös teknisesti vaikea hallita. Työ on tarkoitettu suoritettavaksi siten, että opettaja rakentaa ja optimoi betakaroteenin rakenteen valmiiksi oppilaille tehtävämonisteen (ks. CD-ROM) mukaisesti, jolloin oppilaat pääsevät suoraan tutkimaan betakaroteenin rakennetta ja IR-spektriä. Kokemattomalle *Spartanin* käyttäjälle molekyyli on vaativa rakentaa.

Tehtävän kokeellisuus on tärkeää kytkeä mallinnukseen tarkastelemalla molekyylin ominaisuuksia. Vertailemalla molekyylin ominaisuuksia ohutkerroskromatografian tuloksiin ja työohjeeseen (ks. CD-ROM) pystytään päättämään ohutkerroskromatografian toiminnan perusta.

Mallinnusosiossa mallinnetaan myös betakaroteenin cis-trans isomeriaa (ks. luku 2.2.1.1) pelkistetyn mallin avulla (ks. kuvat 2.7 ja 2.8). Mallia käännetään 360° tietty sidos lukittuna ja lasketaan molekyylin potentiaalienergia pinta 40 eri pisteessä. Tapahtumasta tehdään animaatio, jossa pyöritetään mallia lukitun sidoksen kohdasta. Animaatiossa potentiaalienergiasta kuvaaja, jossa kyseessä olevan potentiaalienergian kohdalla kulkee palkki (ks. kuva 6.8).



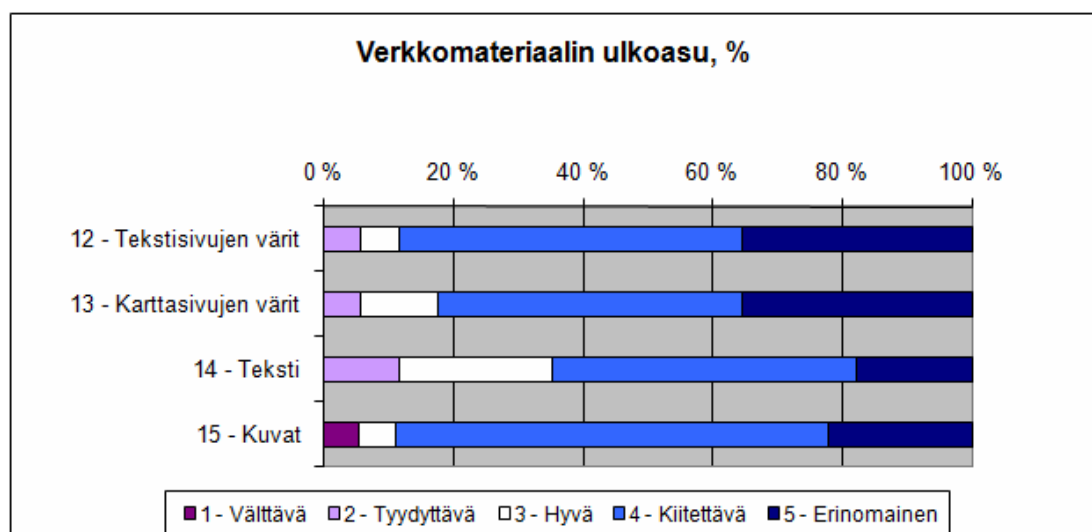
Kuva 6.8. Betakaroteenin cis-trans isomerian potentiaalienergian animointi.

6.3 Kyselytutkimus

6.3.1 Materiaalin arvioinnin tulokset

Seuraavissa kuvaajissa (ks. kuvat 6.9-6.13) esitetään verkkomateriaalin arviointi osuuden tulokset. Kuvaajissa esitetään prosentteina vastaukset suljettuihin kysymyksiin, jotka arvioitiin asteikolla 1-5, jossa 1=välttävä, 2=tyydyttävä, 3=hyvä, 4=kiitettävä ja 5=erinomainen. Tutkimuksen kyselylomake on liitteenä 3. Suljettujen kysymysten alla oli vapaata vastaustilaa, joista on poimittu joitain perusteluja esimerkeiksi kuvaajien alle. Viimeisenä kuvaajana esitellään vielä kootusti kaikkien suljettujen kysymysten keskiarvot pylväsdiagrammina.

Verkkomateriaalin ulkoasusta arvioitiin tekstisivujen ja karttasivujen värit, tekstin tyyli ja kuvien hyödyllisyys. Kokonaisuutena verkkomateriaalin ulkoasu sai kiitettävän arvioinnin (ks. kuvat 6.9 ja 6.13). Kysymyksestä riippuen 40-75 % vastaajista antoi kiitettävän ja 20 - 30 %:n mielestä ulkoasu oli erinomainen. Vapaan palautteen mukaan värit olivat pääosin hyviä, mutta toisaalta hieman liian monotonisia ja värittömiä. Tekstin koko saisi vapaan palautteen mukaan olla hieman suurempi. Kuvia pidettiin onnistuneina.

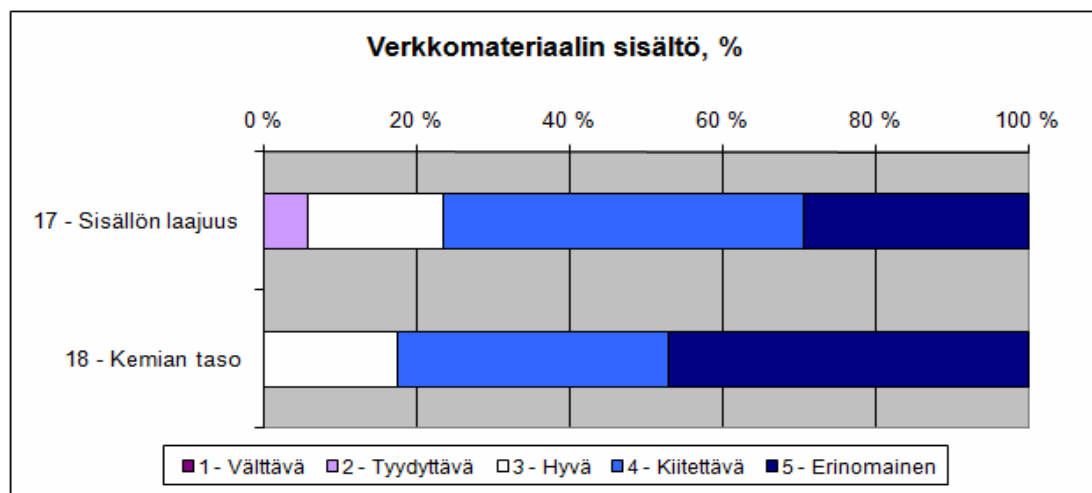


Kuva 6.9. Verkkomateriaalin ulkoasun arviointi.

Vastaajien perusteluja kysymyksiin 12, 13, 14 ja 15 liittyen:

- ”Selkeät mutta värittömät.”
- ”Tausta hyvä silmälle, näkyy kuvat hyvin.”
- ”Yksinkertaisuus ja selkeys tärkeää, jotta huomio kiinnittyy itse asiaan.”
- ”Hieman suurempi voisi olla luettavampi.”
- ”Kuvat aina selkeyttävät, tuovat kiinnostavuutta, ei huku tekstiin.”

Sisältöä pidettiin verkkomateriaalin onnistuneimpana osana (ks. kuva 6.10). Sisältöä pidettiin riittävän laajana, mutta vastaajien arviointia vaikeutti lyhyt arviointi aika, minkä vuoksi vastaajat eivät ehtineet tutustua sisällön laajuuteen haluamallaan tarkkuudella. Kemian taso sai arvioinnin korkeimman keskiarvon (ka. 4,3) (ks. kuva 6.13). Vastaajien vapaa palaute jakoi vahvasti kahtia mielipiteet kemian materiaalin soveltuvuudesta lukiolaisille: osan opettajien mielestä se sopi ja toisten mielestä ei. Verkkomateriaalin tavoitteiden kannalta lukiolaisille soveltuvuudella ei ole merkitystä, sillä materiaali suunnattiin ensisijaisesti materiaalipankiksi opettajille, josta voidaan pienellä työllä muokata lukiolaisille opetusta tukevaa materiaalia (ks. luvut 5.2.2 ja 6.2).

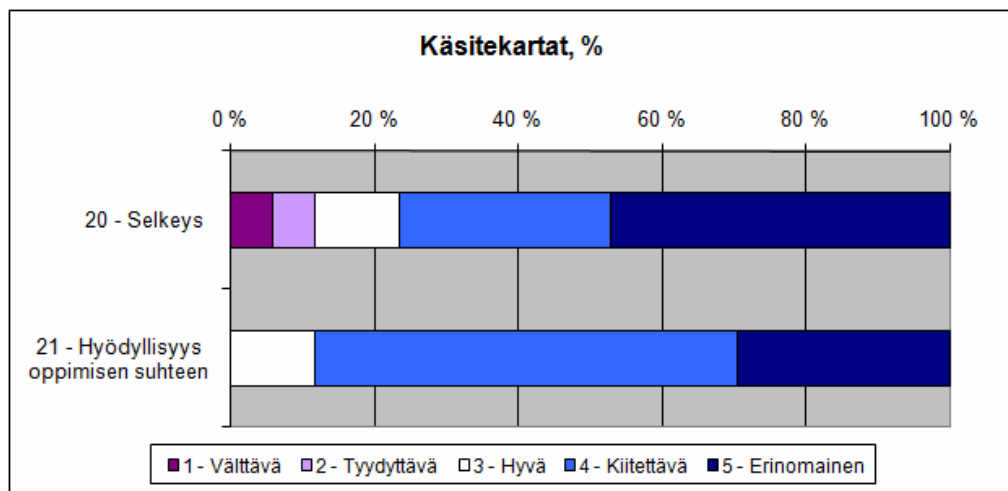


Kuva 6.10. Sisällön arviointi.

Vastaajien perusteluja kysymyksiin 17 ja 18 liittyen:

- ”Taso liian vaikea lukiolaiselle, mutta kemiallisesti tietysti erinomainen.”
- ”Aika laaja, vaikea lukea näin nopeasti.”
- ”Lukioon sopivaa.”
- ”Käytännön läheinen, monipuolinen kromatografiaa ja spektrometriaa.”

Käsitekartat otettiin vastaajien keskuudessa hyvin vastaan (ks. kuva 6.11). Käsitekarttoja pidettiin selkeinä (ka. 4,1) ja hyödyllisinä (ka. 4,2) (ks. kuva 6.13). Vastaajat olivat yksimielisiä käsitekarttojen hyödyllisyydestä opetuksen työkaluna, tosin negatiivisena nähtiin käsitekarttojen ja kaavioiden huono maine. Se ei kuitenkaan näkynyt arvioinnissa. Osa opettajista koki käsitekartat kokemattomalle vaativina lukea sekä vaikeiksi tehdä itse.

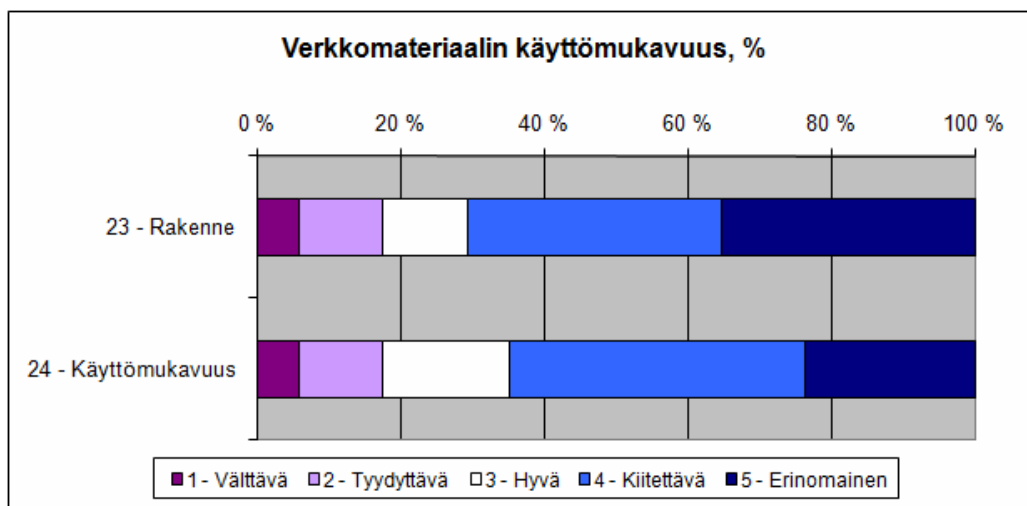


Kuva 6.11. Käsitekarttojen arviointi.

Vastaajien perusteluja kysymyksiin 20 ja 21 liittyen:

- ”Kokonaiskuva jäi muodostumatta, paljon sirpaletietoa, käsitekarttoja on liikaa.”
- ”Systeemi selkeä ja opettavainen.”
- ”Käsitekarttoja näkyy muissakin aineissa ja niillä on huono maine (”Taas niitä kaavioita”).”
- ”Tuntuisi, että oppiminen tehostuu.”

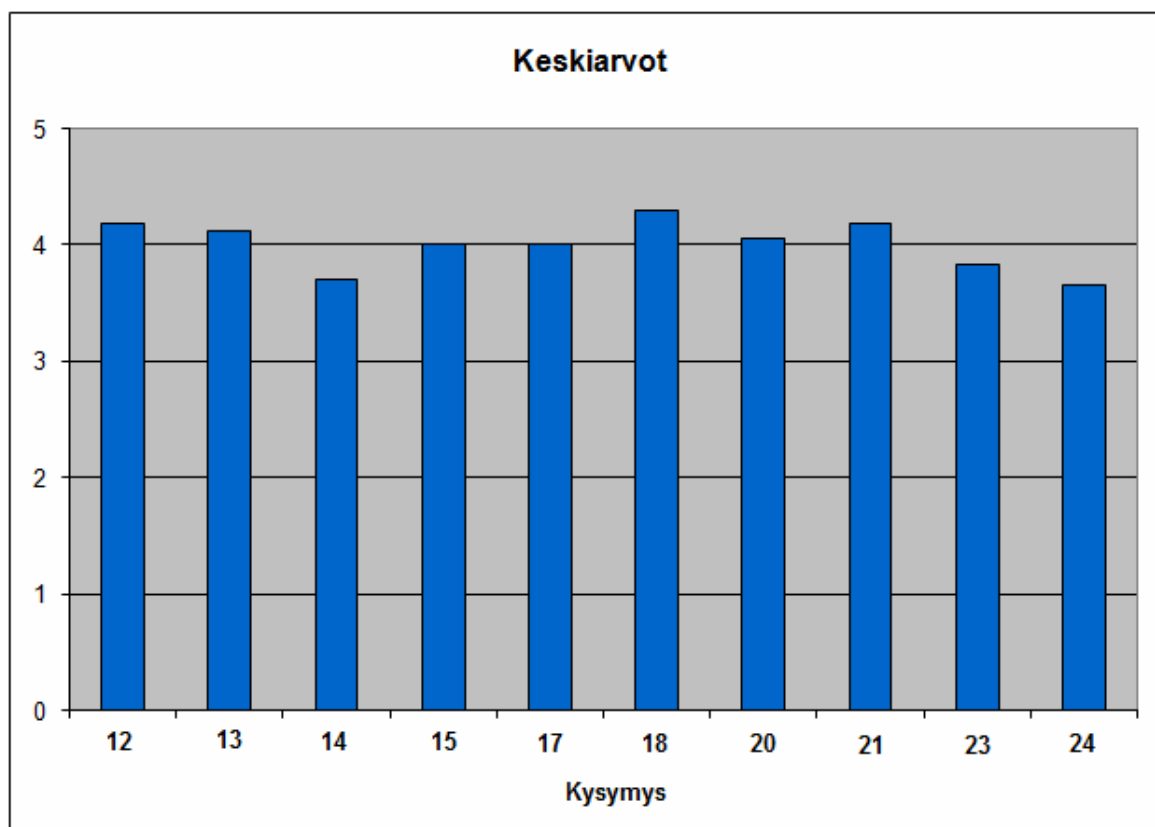
Verkkomateriaalin käyttömukavuus jakoi eniten mielipiteitä (ks. kuva 6.12). Käyttömukavuuden numeerinen keskiarvo jäi hieman alle neljän. Vastaajista yli 65 % piti verkkomateriaalia käyttömukavuudeltaan kiitettävänä tai erinomaisena, mutta melkein 20 % vastaajista piti sivustoa rakenteeltaan hajanaisena ja navigointiominaisuuksiltaan hankalana. Rakennetta pidettiin käsitekarttojen ansiosta selkeänä joka toi selkeyttä navigointiin, mutta toisaalta *Cmap Tools* – käsitekarttaohjelmalla tehtyjen karttojen navigointi ominaisuuksia pidettiin kömpelöinä. Osa vastaajista koki kömpelöksi *Cmap Tools* -karttojen linkkien avaamisen, jolloin täytyy suorittaa kaksi klikkausta hiirellä. Käsitekartat saivat myös osalta vastaajista navigointiominaisuuksiltaan kiitosta.



Kuva 6.12. Verkkomateriaalin käyttömukavuuden arviointi.

Vastaajien perusteluja kysymyksiin 23 ja 24 liittyen:

- ”Monipuolinen, selkeä ja helppo navigoida.”
- ”Navigoinnissa Cmap-kartta on ongelmallinen.”
- ”Sivuilla voisi olla alkuruutuun paluu.”
- ”Erinomaisen selkeä.”



Kuva 6.13. Yhteenveto suljettujen kysymysten keskiarvoista.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän kehittämistutkimuksen päätuloksena saatiin uusi mielekäs verkko-opetusmateriaali lukion kemian opetukseen. Tarveanalyysin pohjalta verkkomateriaalin painopistealueiksi valittiin semiokemikaalit, pigmentit. Materiaalin esimerkkihyönteisiksi valittiin mehiläiset kemiallisen monimuotoisuutensa vuoksi (ks. luku 6.1.1).

Lukion opetussuunnitelmien perusteissa ei suoraan mainita hyönteisten kemiaa, mutta tarveanalyysin tuloksien perusteella hyönteisten kemiasta voidaan ottaa elementtejä orgaanisten yhdisteryhmien, luonnonaineiden ja sidosten opettamiseen. Kemian opetuksen yleisistä tavoitteista, hyönteisten kemiaan kytkettynä, voidaan käsitellä muun muassa kemian yhteyttä arkielämään ja luontoon, kokeellisuutta, tieto- ja viestintätekniikan käyttöä, josta erityisesti mallintamista, ympäristötekniikkaa ja kestävää kehitystä sekä herättää oppilaiden kiinnostusta kemian opiskelua kohtaan. (Opetushallitus, 2003, 135)

Verkkomateriaalista pyrittiin tekemään mielekäs Jonassenin (1999) määrittelemien kriteerien mukaisesti (ks. luku 4.4.1) huomioiden kuitenkin materiaalin tavoitteet ja kohdeyleisö (ks. luku 5.2.2), jonka vuoksi materiaalista ei tehty yhteistoiminnallista eikä opiskelijan oppimisen reflektointia ole kontrolloitu, vaan painotus on materiaalin itseopiskelussa. Materiaalin mielekkyyttä tavoiteltiin kontekstuaalisuudella (Gilbert, 2006), monipuolisuudella (Multisilta, 1997), selkeällä rakenteella ja käytettävyydellä sekä tasokkaalla sisällöllä.

Verkkomateriaalin navigointijärjestelmästä pyrittiin tekemään mielekästä oppimista tukeva ja se rakennettiin käsitekarttojen muotoon. Käsitekartat ovat graafisia opetuksen, oppimisen, arvioinnin ja tiedonesityksen työkaluja, jotka on kehitetty Ausubelin mielekkään oppimisen teorian sovelluksena (Novak & Gowin, 1984, 19-24). Käsitekarttojen käytöstä verkkomateriaalien elementtinä on vähän aikaisempaa tutkimustietoa, mutta alustavien tulosten mukaan niillä on oppimista tehostava vaikutus (Carnot et al., 2001).

Tämän tutkimuksen mukaan verkkomateriaali täytti sille asetetut tavoitteet (ks. luku 5.2.2 ja luku 6.3). Yli 80 % opettajista piti verkkomateriaalin ulkoasua ja käyttömukavuutta vähintäänkin hyvänä (ks. kuvat 6.9 ja 6.12) Osa opettajista tosin koki *Cmap Tools* –ohjelmalla tehdyt käsitekartat hankaliksi navigoida linkistä etenemiseen tarvittavan kahden klikkauksen vuoksi, mutta sillä ei ole mitään tekemistä arvioidessa käsitekarttojen sopivuutta verkkomateriaalien navigointityökaluiksi. *Cmap Tools* –ohjelmassa tarvitaan kaksi klikkausta linkistä etenemiseen siksi, että saman linkki-ikonin alla voi olla enemmän kuin yksi kappale linkkiresursseja. On varmasti olemassa myös käsitekartan teko-ohjelmia, joissa linkistä etenemiseen tarvitaan vain yksi klikkaus. *Cmap Toolsin* etuna on, että saman käsitteen alle voi liittää useita resursseja ja yhdistellä esimerkiksi vaikka tekstejä sekä animaatioita. Monipuoliset linkkiresurssiominaisuudet vaikuttivat käsitekartta ohjelman valintakriteereihin.

Käsitekartat sopivat vastaajien mielestä verkkomateriaalin elementiksi. Yli 70 % piti käsitekarttoja kiitettävän tai erinomaisen selkeinä sekä tärkeänä verkkomateriaalin rakenteen hahmottavana tekijänä. Ennakkokäsitysten mukaan 65 % opettajista piti käsitekarttoja oppimisen suhteen hyödyllisinä (ks. taulukko 5.3), mutta verkkomateriaaliin tutustumisen jälkeen 100 % opettajista arvioi käsitekarttojen hyödyllisyyden oppimisen suhteen vähintäänkin hyväksi (ks. kuva 6.11). Myös aikaisimpien tutkimusten mukaan käsitekarttojen on todettu tehostavan oppimista sekä verkkoympäristössä (vrt. Carnot et al., 2001) että kemiassa (vrt. Francisco et al., 2002; Markow & Lonning, 1998; Nicoll et al., 2001; Novak, 1998, 86-87).

Tutkimukseen osallistujat opettajat pitivät verkkomateriaalin sisällön kemian tasoa kiitettävänä ja materiaalia riittävän laajana. Verkkomateriaalin laajuus sai myös osakseen negatiivista palautetta, mutta tarkastellessa materiaalin tarkoitusta toimia laajana materiaalipankkina, ei materiaalin määrä ole enää ongelma. Yhdistäessä laajaan materiaaliin tutkimuksen hyväksi havaitseman käsitekarttoihin perustuvan navigointijärjestelmän, on lukijan helppoa edetä haluamansa tiedon luokse. Kemian tason soveltuvuus lukiolaisille jakoi vahvasti mielipiteitä. Osan mielestä taso oli liian vaativa ja toisen ääripään mielestä kemia on osalle lukiolaisista liian yksinkertaista.

Tutkielma antaa näkemyksen yhdestä tavasta rakentaa uudenlainen verkkomateriaali, joka tukee opiskelijan mielekästä oppimista. Verkkomateriaalin kokeellinen osio toimii esimerkkinä siitä, miten kokeellinen työskentely ja molekyylihallinnus voidaan mielekkäästi yhdistää. Kokeellinen osio soveltuu kemian tasonsa puolesta erityisesti opettajien täydennyskoulutuksen oppimateriaaliksi ja verkkomateriaali kokeellista osiota syventäväksi materiaalityöpakettiksi.

Lukion opetuksessa verkkomateriaalia voidaan käyttää esimerkiksi projektityöiden tiedon lähteenä, jolloin oppilaat käyttäisivät tieto- ja viestintätekniikkaa tiedonhakuun. Lukiolaisille soveltuvat myös materiaalin kokeelliset työt. Niiden käyttö tosin edellyttää opettajalta molekyylihallinnukseen tutustumista. Materiaalin semiokemikaaliosiota voidaan käyttää orgaanisten yhdisteryhmien opettamiseen mielenkiintoisissa konteksteissa.

Tutkimus tuo esille useita lisätutkimusaiheita. Tärkeää olisi tutkia materiaalia opettajien käytössä koulussa: (a) mitä opettajat käyttävät siitä? ja (b) miten käyttävät materiaalia?

Verkkomateriaalin kokeellisen osion soveltuvuutta lukio-opetukseen pitäisi tutkia vielä erikseen. Tämän tutkielman tutkimusosuus piti sisällään koko verkkomateriaalin, jolloin kokeellinen osio oli vain osa materiaalin sisältöä. Pelkästään kokeelliseen osioon suunnatusta tutkimuksesta saisi tarkempaa tietoa, miten opettajat suhtautuisivat kokeellisuutta ja molekyylihallinnusta yhdistävien tehtävien hyödyllisyyteen. Akselan ja Lundelin (2007) mukaan molekyylihallinnus on vakiinnuttanut paikkansa kokeellisen työskentelyn rinnalla kemian harjoitus- ja luentokursseilla.

Myös oppilaita olisi tärkeää tutkia. Materiaalista voisi muokata suoraan lukiolaisille suunnattu verkkomateriaali, joka käsitelisi orgaanisten yhdisteryhmien opiskelua semiokemikaalien kontekstissa. Oppilaan motivoimiseksi materiaaliin kehitettäisiin hyönteisten kemiaa ja biologiaa yhdistelevä tausta. Materiaalin kemian sisältö rajattaisiin vain semiokemikaaleihin ja niiden kautta opiskeltavaan orgaaniseen kemiaan. Käyttämisen näkökulmasta käyttömukavuutta parannettaisiin ja materiaaliin lisättäisiin aihealuetta käsitteleviä tehtäviä Jonassenin (1999) mielekkään verkkomateriaalin kriteerien mukaisesti. Verkkomateriaali rakennettaisiin käsitekarttojen muotoon, jonka myötä pystyittäisiin kartoittamaan, miten oppilaat kokisivat käsitekartat verkkomateriaalin elementtinä ja miten se tukee oppilaiden mielekästä oppimista. Carnotin et al. (2001) mukaan käsitekarttojen muotoon rakennettujen verkkomateriaalien käytöstä kaivataan lisää tutkimustietoa. Tämä tutkimus osoitti käsitekarttojen sopivan verkkomateriaaleihin, mikä kannustaa jatkotutkimuksiin kyseisessä aihepiirissä.

LÄHTEET

KIRJALLISUUS

Aksela, M & Lundell, J. 2007. Kemian opettajien kokemuksia tietokoneavusteisesta molekyylihallinnuksesta. Kemian opetuksen keskus, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.

Aksela, M. 2005. *Supporting Meaningful Chemistry Learning and Higher-order Thinking Through Computer-Assisted Inquiry: A Design Research Approach*. Helsinki: Helsingin yliopiston kemian laitos.

Aksela, M. & Juvonen, R. 1999. Kemian opetus tänään. Helsinki: Opetushallitus.

Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. Toim. 2001. *A Taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.

Ausubel, D. P. 1968. *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Reinehart and Winston.

Bankova, V. 2005 Recent trends and important developments in propolis research. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* 2 (1), 29-32.

Britton, G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Faseb Journal* 9,1551-1558.

Cañas, A. J., Carff, R., Hill, G. , Carvalho, M., Arguedas, M., Eskridge, T. C., Lott, J. & Carvajal, R. 2005. Concept Maps: Integrating Knowledge and Information Visualization. *Knowledge and Information Visualization* 34, 205-219.

- Carnot, M. J., Dunn, B., Cañas, A. J., Graham, P. & Muldoon, J. 2001. Concept Maps vs. Web Pages for Information Searching and Browsing. Manuscript in preparation. <http://www.ihmc.us/users/acanas/Publications/CMapsVSWebPagesExp1/CMapsVSWebPagesExp1.htm>, luettu 24.12.2007.
- Chittka, L. 1999. Bees, White Flowers, and the Color Hexagon – A Reassessment? No, Not Yet. *Naturwissenschaften* 86, 595–597.
- Coleman, C., King, F., Ruth, M. H. & Sary, E. 2001. *Developing higher-order thinking skills through the use of technology*. ERIC Document Reproduction Service No. ED459702.
- Cox, P.D. 2004. Potential for using semiochemicals to protect stored products from insect infestation. *Journal of Stored Products Research*, 40 (1), 1-25.
- Crane, E. 1990. *Bees and Beekeeping - Science, Practise and World Resources*. Oxford: Heinemann Newnes, 453-465.
- Crane, E. 1975. *Honey – A comprehensive survey*. London: Heinemann.
- Cromartie, R.I.T, 1959. Insect pigments^{1,2}. *Annual Review of Entomology* 4, 59-76.
- Cunningham, F.X., Pogson, B.J., Sun, Z., McDonald, K., Della Penna, D., & Gantt, E. 1996. Functional analysis of the beta and epsilon lycopene cyclase enzymes of Arabidopsis reveals a mechanism for control of cyclic carotenoid formation. *Plant Cell* 8, 1613–1626.
- Davies, B.H. 1976. Teoksessa *Chemistry and Biochemistry of plant Pigments*, volume 2. Toim. T. W. Goodwin. Lontoo: Academic Press.
- Edelson, D.C. 2002. Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of Learning Sciences* 11, 105-121.

- EL-Sayed A.M., 2007. The Pherobase: Database of Insect Pheromones and Semiochemicals. <http://www.pherobase.com>, luettu, 20.9.2007
- Erduran, S., 2001. Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education, *Science & Education* 10, 581 – 593.
- Erduran, S. & Scerri, E. 2002. The nature of chemical knowledge and chemical education. Teoksessa *Chemical Education: Towards Research-Based Practice*. Toim. J.K. Gilbert, R. Justi, D. Treagust, O. De Jong, ja J. van Driel. Dordrecht: Kluwer, 7-27.
- Euroopan komissio, 2007. The life-long learning program 2007 – 2013. http://ec.europa.eu/education/programmes/newprog/index_en.html, luettu 30.12.2007.
- FAO, 1997. Isoamyl acetate. FAO: Corporate document repository. <http://www.fao.org/docrep/W6355E/w6355e0i.htm>, luettu 18.8.2007.
- Fitzgerald, K.T. & Flood, A.A. 2006, Hymenoptera Stings *Clinical Techniques in Small Animal Practice* 21 (4), 194-204.
- Francisco, J. S., Nakhleh, M. B., Nurrenbern, S. C. & Miller, M. L. 2002. Assessing Student understanding of general chemistry with concept mapping. *Journal of Chemical Education* 79 (2), 248 – 257.
- Francke, W. & Kitching, W. 2001. Spiroacetals in Insects. *Current Organic Chemistry* 5, 233-251.
- Gabel, D. 1999. Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education* 76 (4), 548-553.
- Gilbert, J. K. 2006. On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education* 28 (9), 957-976.

- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Rutherford, M. (2000). Explanations with Models in Science Education. Teoksessa *Developing models in science education*. Toim. J. K. Gilbert & C. J. Boulter. Dordrecht: Kluwer, 193 – 208
- Hiltunen, R. & Holm, Y., Toim. 2000. *Farmakognosia – farmaseuttinen biologia*. Helsinki: Yliopistopaino.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2000. *Tutki ja kirjoita*. Helsinki: Tammi.
- Hunt, G.J., Wood, K.V., Guzman-Novoa, E., Lee, H.D., Rothwell, A.P. & Bonham, C.C. 2003. A New Alarm Component in The Sting Apparatus of Africanized Honeybees. *Journal of Chemical Ecology* 29 (2), 453-463.
- IPCS, 2005. Isoamyyliasetaatin kansainvälinen kemikaalikortti. International Programme on Chemical Safety. <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0356.htm>, luettu 9.8.2007.
- Jonassen, D. H. 1999. Designing constructivist learning environments. Teoksessa *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory, volume II*. Toim. C. Reigeluth. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 215 – 239.
- Jutsum, A.R. & Gordon, R.F.S. 1985. *Insect pheromones in plant protection*. Chichester: John Wiley & Sons, 5-9.
- Kalliala, E. 2002. *Verkko-opettamisen käsikirja*. Jyväskylä: Gummerus.
- Keeling, C.I., Plettner, E. & Slessor, K.N. 2004. Hymenopteran Semiochemicals. *Topics in Current Chemistry* 240 – *The Chemistry of Pheromones and Other Semiochemicals I*, Toim. S. Schulz. Berlin: Springer, 133-177.
- Koulu, M. & Tuomisto, J. Toim. 2001. *Farmakologia ja toksikologia*. Kuopio: Kustannusosakeyhtiö Medicina.

- Kovac, J. 2004. *The Ethical Chemist: Professionalism and Ethics in Science*. Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River.
- Krell, R. Toim. 1996a. Value-added products from beekeeping. *Food and Agriculture organization of the united nations agricultural services bulletin 124*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/docrep/w0076e/w0076e00.htm>, luettu 19.10.2007.
- Krinsky, N. I. 1994. The biological properties of carotenoids. *Pure & applied Chemistry* 5 (66), 1003-1010.
- Lavonen, J. & Meisalo, V. et al. 2007. Luonnontieteiden opetuksen työtapoja: WWW pohjainen oppimateriaali, <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tyotapa/>, luettu 26.11.2007
- Leal, W.S. 2005. Pheromone reception. Teoksessa *Topics in Current Chemistry 240 – The Chemistry of Pheromones and Other Semiochemicals II*. Toim. S. Schulz. Berlin: Springer, 1- 36.
- Linn, M. 2003. Technology and science education: starting points, research programs, and trends. *International Journal of Science Education* 25(6), 727-758.
- Mc Murry, J. 1998. *Fundamentals of Organic Chemistry*, 4. p. USA: Brooks/Cole Publishing Company.
- Markow, P. G. & Lonning, R. A. 1998. Usefulness of concept maps in college Chemistry laboratories: Students' perceptions and effects on achievement. *Journal of Research in Science Teaching* 35 (9), 1015 – 1029.
- Meisalo, V., Lavonen, J., Juuti, K. & Aksela, M. 2007 Information and communication technologies in school science in Finland. Teoksessa *How finns learn mathematics and science*. Toim. E. Pehkonen, M. Ahtee & J. Lavonen. Rotterdam: Sense, 243-259.

- Millar, R. 2004. The role of practical work on the teaching and learning of science. Paper prepared for the Meeting: High School Science Laboratories: Role and Vision. Washington: National Academy of Sciences, 1-22.
- Multisilta, J. 1997. Miltä näyttää WWW-maailma oppimisympäristönä. Teoksessa *Verkkopedagogiikka*. Toim. E. Lehtinen. Helsinki: Edita, 101-111.
- Nation, J. L. 1998. Book review – teoksesta *Insect Pheromone Research: New Directions*. Toim. R.T. Carde ja A.K. Minks. New York: Chapman & Hall, 1997. *Journal of Chemical Ecology* 24 (3).
- Nicoll, G., Francisco, J., S. & Nakhleh, M., B. 2001. An Investigation of the Value of Using Concept Maps in General Chemistry. *Journal of Chemical Education* 78 (8), 1111-1117.
- Nishino, H., Tokuda, H., Satomi, Y., Masuda, M., Bu, P., Onozuka, M., Yamaguchi, S., Okuda, Y., Takayasu, J., Tsuruta, J., Okuda, M., Ichiishi, E., Murakoshi, M., Kato, T., Misawa, N., Narisawa, T., Takasuka, N. & Yano, M. 1999. Cancer prevention by carotenoids. *Pure & applied Chemistry* 12 (71), 2273-2278.
- Nordlund, D. A., Jones, R. L. & Lewis, W.J., Toim. 1981. *Semiochemicals - their role in pest control*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. 1984. *Opi oppimaan*. Tampere: Gaudeamus.
- Novak, D. J. 1998. *Tiedon oppiminen, luominen ja käyttö: Käsitekartat työvälineinä oppilaitoksissa ja yrityksissä*. Jyväskylä: PS-kustannus, 2002.
- O'Connor, R. & Peck, P. 1980. Bee sting: The Chemistry of an Insect Venom. *Journal of Chemical Education* 57 (3), 206-209.
- Olson, V.A. & Owens, I.P.F. 1998. Costly sexual signals: are carotenoids rare, risky or required? *Trends in Ecology and Evolution* 13, 510-514.

- Opetushallitus, 2004. *Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet 2004*. Helsinki: Opetushallitus.
- Opetushallitus, 2003. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Helsinki: Opetushallitus.
- Opetusministeriö, 2005. Elinikäinen oppiminen yliopistoissa -työryhmän muistio. Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2005:38. http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2005/liitteet/opm_267_tr38.pdf?lang=fi, luettu 30.21.2007.
- Oversby J. 2000. Models in explanations of chemistry: the case of acidity. Teoksessa *Developing models in science education*. Toim. J.K. Gilbert & C.J. Boulter. Dordrecht: Kluwer, 227 - 251.
- Park, H., Kreunen, S.S., Cuttriss, A.J., DellaPenna, D. & Pogson, B.J. 2002. Identification of the Carotenoid Isomerase Provides Insight into Carotenoid Biosynthesis, Prolamellar Body Formation, and Photomorphogenesis. *Plant Cell* 14 (2), 321-332.
- Pearsall, N.R., Skipper, J. & Mintzes, J. 1997. Knowledge restructuring in the life sciences: A longitudinal study of conceptual change in biology. *Science Education* 81(2), 193-215.
- PH. Eur. 2006. *European Pharmacopoeia - Fifth edition - Suppelent 5.8*. Strasbourg: Council of Europe.
- Phillips, T.W. 1997. Semiochemicals of stored-product insects: Research and applications *Journal of Stored Products Research* 33 (1), 17-30.
- Rao, A.V. & Rao, L.G. 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacological Research* 55 (3), 207-216
- Regnier, F.E. & Law, J.H. 1968. Insect pheromones. *Journal of Lipid Research* 9, 541-441.

- Russell, J.W., Kozma, R.B., Jones, T., Wykoff, J., Marx, N. & Davis, J. 1997. Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts, *Journal of Chemical Education* 74 (3), 330-334.
- Schneider, D. 1992. 100 Years of Pheromone Research - An Essay on Lepidoptera. *Naturwissenschaften* 79, 241 – 250.
- Short, B. 2001. Isoamyl acetate resource.
<http://web1.caryacademy.org/chemistry/rushin/StudentProjects/CompoundWebSites/2001/IsoamylAcetate/contents.htm>, luettu 9.8.2007
- Simics, M. 1996. Bee venom – Frequently asked questions. *American Bee Journal* 136 (2), 107-109.
- Sjøberg, 2000. *Naturvetenskap som allmänbildning - en kritisk ämnesdidaktik*. Häftad: Studentlitteratur AB.
- Slessor, K.N., Winston, M.L. & Le Conte, Y. 2005. Pheromone communication in the honeybee - (*Apis mellifera* L.). *Journal of Chemical Ecology* 31 (11), 2731-2745.
- Streitwieser, A., Heathcock, C.H & Kosower, E. 1998. *Introduction to Organic Chemistry*, 4. p. New Jersey: Prentice Hall.
- Syrjäläinen, N. & Turunen, S. 2007. Proseminaarityö - *Käsitekartat oppimisen välineenä: Tutkimus peruskoulun oppilaiden ja opettajien kokemuksista sekä asenteista*.
- Tosi, E., Martinet, R., Ortega, M., Lucero, H. & Ré, E. 2008. Honey diastase activity modified by heating. *Food chemistry* 106 (3), 883-887.
- Trost, B.M. & Fleming, I. Toim. 1991. *Comprehensive organic synthesis – Selectivity, Strategy & Efficiency in Modern Organic Chemistry, Volume 6 Heteroatom manipulation*. Oxford: Pergamon press, 325-326.

- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2002. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Helsinki: Tammi.
- Valtioneuvoston kanslia. 2007. Tietoyhteiskuntakehityksen yhteisten menettelytapojen ja koordinoinnin kehittäminen opetustoimessa. Työryhmän loppuraportti. <http://www.vnk.fi/julkaisukansio/2007/j09-opetus-time/pdf/fi.pdf>, luettu 18.1. 2008.
- Väisänen, J. 1999. Pro gradu -tutkielma *Käsitekartat fysiikan tietorakenteen esittämisen välineenä*. <http://per.physics.helsinki.fi/kirjasto/ont/jv/gradu.pdf>, luettu 26.11.2007.
- Zumdahl, S. & Zumdahl, A. 2000. *Chemistry*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Åhlberg, M. 2002. Suomentajan jälkisanat: Eheyttävän kasvatuksen teorian, käsitekarttojen ja Vee heuristiikan käytöstä sekä tutkimus- ja kehittämistyöstä Suomessa. Teoksessa Novak, J. 2002. *Tiedon oppiminen, luominen ja käyttö. Käsitekartat työvälineinä oppilaitoksissa ja yrityksissä*. Jyväskylä: PS-kustannus, 300 - 315.
- Åhlberg, M. (1991) Käsitekarttatekniikka ja muut graafiset tekniikat opettajan ja Oppilaiden työvälineenä. *Dimensio* 55 (4), 35-40.

KUVAT

Kuva 2.2. Miettinen, A. 2006. Korennot, Lammi.

Kuva 2.3. Miettinen, A. 2006. Korento lehdellä, Lammi.

Kuva 2.6. Britton, 1995. Cis-trans-isomeria.

Kuva 2.9. Cunningham et al., 1996; Hiltunen & Holm, 2000a; Park et al., 2002.

Karotenoidien muodostuminen fytoeenin kautta kahdesta GGPP:sta.

Kuva 2.10. Suomen Mehiläishoitajien Liitto. Hunajamehiläinen punahatun kukassa.

Kuva 2.12. Trost ja Fleming, 1991; Streitwieser et al., 1998. Isopentyyliasetaatin synteesin reaktioyhtälö.

Kuva 2.13. Protein Data Bank, PF01372. Melittiinin kolmiulotteinen rakenne.

<http://www.rcsb.org/pdb/explore.do?structureId=2MLT> , luettu 21.1.2008.

Kuva 2.14. Suomen Mehiläishoitajien Liitto. Hunajan värejä.

Kuva 2.15. Crane, 1975. Glukonihapon ja vetyperoksidin muodostuminen glukoosista.

Kuva 2.16. Streitwieser et al., 1998. Mehiläisvahan rakennekaava.

Kuva 2.17. Suomen Mehiläishoitajien Liitto. Halki leikattua vahakennostoa, jossa on muna pohjalla.

Kuva 2.18. Suomen Mehiläishoitajien Liitto. Propolista pesässä.

Kuva 2.19. Hiltunen & Holm, 2000. Flavonoidiglykosidin perusrakenne.

LIITTEET

Liite 1: Tutkitut oppikirjat

Kirjat, jotka sisälsivät hyönteisten kemiaa:

LUKIO

- A1 : Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., Pihko, P. ja Salo, K. 2005. *Lukion kemia – REAKTIO 1, Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Tammi.
- A2 : Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2006. *Lukion kemia – REAKTIO 2, Kemian mikromaailma*. Helsinki: Tammi.
- A3 : Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2006. *Lukion kemia – REAKTIO 3, Reaktiot ja energia*. Helsinki: Tammi.
- A4 : Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2006. *Lukion kemia – REAKTIO 4, Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Tammi.
- B1 : Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. ja Mäkelä, R. 2004. *Kemisti 1 – Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: WSOY.
- C1 : Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2004. *KIDE 1 – Ihmisen ja elinympäristön kemia, KE1*. Helsinki: Otava.
- D1 : Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2004. *Neon 1 – Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Edita.
- D2 : Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2005. *Neon 2 – Kemian mikromaailma*. Helsinki: Edita.

- D3 : Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2006. *Neon 3 – Reaktiot ja energia*. Helsinki: Edita.
- D4 : Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2006. *Neon 4 – Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Edita.
- D5 : Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. ja Rassi, M. 2006. *Neon 5 – Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Edita.
- E1 : Lehtiniemi, K ja Turpeenoja, L. 2005. *MOOLI 1 – Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Otava.

KORKEAKOULU

- G1 : Zumdahl, S. ja Zumdahl, A. 2000. *Chemistry*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- G3 : Streitwieser, A., Heathcock, C.H. ja Kosower, E. 1998. *Introduction to Organic Chemistry, 4. p.* New Jersey: Prentice Hall.

Kirjat jotka eivät sisältäneet hyönteisten kemiaa:

LUKIO

- A5 : Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2007. *Lukion kemia – REAKTIO 5, Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Tammi.
- B2 : Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. ja Mäkelä, R. 2005. *Kemisti 2 – Kemian mikromaailma*. Helsinki: WSOY.
- B3 : Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2005. *Kemisti 3 - Reaktiot ja energia*. Helsinki: WSOY.

- B4 : Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2006. *Kemisti 4 – Metallit ja metriaalit*. Helsinki: WSOY.
- B5 : Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. ja Vakkilainen, K-M. 2007. *Kemisti 5 – Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: WSOY.
- C2: Kalkku, I.; Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2004. *KIDE 2 – Kemian mikromaailma, KE2*. Helsinki: Otava.
- C3: Kalkku, I.; Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2005. *KIDE 3 – Reaktiot ja energia, KE3*. Helsinki: Otava.
- E2 : Lehtiniemi, K ja Turpeenoja, L. 2005. *MOOLI 2 – Kemian mikromaailma*. Helsinki: Otava.
- E3 : Lehtiniemi, K ja Turpeenoja, L. 2005. *MOOLI 3 – Reaktiot ja energia*. Helsinki: Otava.
- E4 : Lehtiniemi, K ja Turpeenoja, L. 2006. *MOOLI 4 – Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Otava.
- E5 : Lehtiniemi, K ja Turpeenoja, L. 2007. *MOOLI 5 – Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Otava.

KORKEAKOULU

- G2 : Nattila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. ja Pohjakallio, M. 2003. *Tekniikan kemia*. Helsinki: Edita Prima Oy.

Liite 2: Tarveanalyysin aineisto

Taulukko 1. Semiokemikaaleihin liittyvät asiat.

Lähde	Mitä sanotaan	Visualisointi	Missä asiayhteydessä
A2	Monille eliöille tuoksujen kaltaiset kemialliset signaalit ovat vieläkin tärkeämpiä: kemiallisten aistien avulla ne voivat löytää ruokaa, varoittaa lajikumppaneitaan vaarasta tai houkutella vastakkaista sukupuolta. Aineita, joidena vulla mm. useat hyönteiset viestittävät toisilleen lisääntymisaikeistaan, kutsutaan feromoneiksi. Sitä, että tällaisia feromoneja olisi myös ihmisillä, ei ole toistaiseksi todistettu. (s. 129)	Kuvia kasvista, kasvinosista ja joidenkin feromonien rakennekaavoista (M) (s. 129)	Isomerian yhteydessä tuoksujen kemiaan liittyvänä lisätietona
C1	Feromonit ovat eläinyksilöiden erittämiä kemiallisia viestintäaineita, jotka vaikuttavat toisten saman lajin yksilöiden käyttäytymiseen. Useat feromonit ovat suhteellisen yksinkertaisia orgaanisia happiyhdisteitä, kuten alkoholeja, karboksyylihappoja ja estereitä. (s. 95)	-	Esterien yhteydessä.
E1	Tuoksuaineiden eristäminen esimerkiksi kukista, kasveista ja eläinten rauhasista parfyymiteollisuuden käyttöön on erittäin hankalaa ja kallista. (s.105)	Kuva naisesta suihkuttamassa parfyymia (M) (s.105)	Johdanto aldehydeihin ja ketoneihin.
G1	A semiochemical is a molecule that delivers a message between members of a same or different species of plant or animal. There are three groups of these chemical messengers: allomone, kairomones, and pheromones. Each is of great ecological importance. (s. 402) An allomone is a chemical that somehow gives adaptive advantage to the producer. (s. 402) Antibiotics are also allomones, since the microorganisms produce them to inhibit other species from growing near them. (s. 402) Kairomones are chemical messengers that bring advantageous news to the receiver, and the floral scents are kairomones from the honeybees viewpoint. Many predators are guided by kairomones emitted by their food. (s. 402) Pheromones are chemicals that affect receptors of the same species as the donor. (s. 402) Many studies of insect pheromones are now under way in the hope that they will provide a method of controlling insects that is more efficient and safer than the current chemical pesticides. (s. 403)	Kuva mehiläisestä pistämässä (M) (s. 90) Kuva mehiläispesän kennostosta ja mehiläisistä (M) (s. 402)	Moolimassa ja molekyylien lukumäärä. Molekyylien rakenne.

G3	Hydrocarbons can effect the changes that initiate the nerve signals we sense as odors. Alkanes are among the compounds that can function as pheromones, chemicals used in nature as signals in communication among members of the same species. (s. 96)	-	Alkaanien esiintyminen.
----	---	---	-------------------------

Taulukko 2. Ampiaisiin ja mehiläisiin liittyvät asiat.

Lähde	Mitä sanotaan	Visualisointi	Missä asiayhteydessä
A1	Mehiläinen rakentaa vahakennot munien ja toukkien suojaksi. (s. 106)	Kuva pesän kennostosta (M) (s. 106)	Vahojen yhteydessä.
B1	Suuret amiinipitoisuudet voivat aiheuttaa äkillisen allergian kaltaisia oireita. Tyypillisin amiinimyrkytyksen aiheuttaja on histamiini. histamiinia voi saada mm. ampiaisen pistoksesta, hyttysen syljestä ja nokkosen poltinkarvoista. (s. 36)	Kuva ampiaisesta (M) (s. 36)	Millaisia yhdisteitä amiinit ovat?
C1	Mehiläinen ruiskuttaa pistimestään myrkyllistä nestettä, joka on hapanta. Piston aiheuttamaa kirvelyä voidaan lievittää leivinsoodalla, joka on emäksistä. Ampiaisen pisto on emäksinen. Sen neutralointiin sopii esimerkiksi ruokaetikka. Mehiläisen ja ampiaisen myrkyllisen aiheuttaman reaktion ensiapuun käytetään käytetään kyypakkauksen tabletteja. Jotkut mehiläishoitajat keräävät ampiaisten ja mehiläisten myrkkyä lääketeollisuuden raaka-aineeksi. (s. 40) Esimerkiksi mehiläisten yhtenä hälytyssignaaliaineena toimii isopentyyliasetaatti $(CH_3)_2CHCH_2CH_2OOCCH_3$. Pistäessään jotain kohdetta mehiläinen jättää siihen tätä hyvähajuista esterä, joka laukaisee mehiläisten aggressiivisuuden siten, että ne pyrkivät pistämään samaan kohtaan. (s. 95)	Kuva mehiläisistä kädellä (M) (s. 40) Kuva mehiläisestä (M) (s. 95)	Emäksien yhteydessä. Esterien yhteydessä.
D5	Kuva 2.16 a) Ampiaisen pisto on emäksinen. b) Mehiläisen pisto on hapan. (s. 69)	Kuvat hyönteisistä (M) (s. 69)	Happo-emästasapaino, pH.
E1	Hunaja sisältää runsaasti glukoosia ja fruktoosia. (s. 118)	kuva mehiläisistä vahakennostossa (M) (s. 118)	Biomolekyylien kemialla, hiilihydraatit.

G1	Alarm pheromones are highly volatile compounds released to warn of danger. Honeybees produce isoamyl acetate in their sting glands. Because of its high volatility, this compound does not linger after the state of alert is over. Social behaviour in insects is characterized by the use of trail pheromones. Which are used to indicate the food source. Social insects such as bees, ants, wasps, and termites use these substances. Since trail pheromones are less volatile compounds, the indicators persist for some time. (s. 403) Primer pheromones, which cause long behavioral changes, are harder to isolate and identify. One example, however, is the “queen substance” produced by queen honeybees. All the eggs in the colony are laid by one queen bee. If she is removed from the hive or dies, the worker bees are activated by the absence of the queen substance and begin to feed the royal jelly to bee larvae in order to raise a new queen. The queen substance also prevents the development of the workers ovaries so that only the queen herself can produce eggs. (s. 403)	Kuva mehiläisestä pistämässä (M) (s. 90) Kuva mehiläispesän kennostosta ja mehiläisistä (M) (s. 402)	Laskutehtävän kontekstina: Mehiläisen pistoksesta vapautuu 1 µl isopentyyli-asetaattia. Tehtävänä on laskea vapautuneiden molekyylien ja hiiliatomien määrä. (s. 90)
G3	Beeswax is the material from which bees build honeycomb cells and also the origin of the name “wax” which has been generalized to include materials with similar properties. It melts at 60-82 °C and is a mixture of esters. Hydrolysis yields mainly the C₂₆ and C₂₈ straight-chain carboxylic acids and the C₃₀ and C₃₂ straight-chain primary alcohols.	Mehiläisvahan rakennekaava (M) (s. 544)	Vahat.

Taulukko 3. Hyönteisten pigmentteihin liittyvät asiat.

Lähde	Mitä sanotaan	Visualisointi	Missä asiayhteydessä
B1	Flavonoidien perusrungossa on kaksi bentseenirengasta, joihin liittyy aina fenolisia hydroksyyliiryhmiä. Ne ovat kasveissa värihoukuttimina tai hyönteisten karkottajina. Usein ne ovat myös karvaan makuisia ja suojaavat kasvia kasvinsyöjiltä. Fysiologisesti flavonoidien vaikutukset ovat hyvin monenlaisia. (s. 35)	Kuva kultapiiskusta ja flavonoidien perusrakenne-kaavasta (S) (s. 35)	Organisten yhdisteiden luokittelussa: Mitä alkoholit ja fenolit ovat?
G3	Carotenoids occur in organisms over the whole evolutionary range, from bacteria and fungi to complex plants and animals. Examples are β-carotene, which is a precursor for vitamin A, and lycopene, which occurs in tomato and ripe fruit. β-carotene is manufactured on a large scale as a safe food pigment. (s. 1226) The color of these hydrocarbons clearly comes from $\pi \rightarrow \pi^*$ transitions of the long conjugated system. Note that these compounds are terpenes. Carotenoids also occur in marine biology, for example, in the skins of fish, sea stars, anemones, corals, and crustaceans, frequently in combinations with proteins. Denaturation of the protein in boiling water frees the carotenoid and unmasks its color as in the red color of boiled lobster. (s. 1226-1227) Naphthoquinones and anthraquinones occur in both animal and plants. Echinochrome is a polyhydroxynaphthoquinone that occurs as a red pigment in the sea urchin and sand dollar. (s. 1227) Cochineal is a dried female insect, <i>Coccus cacti</i> L., used for a red coloring in food products, cosmetics, and pigments. the principal constituent is carminic acid, a C-glucoside of a polyhydroxyanthraquinone, (s. 1227) Insect eyes are made of ommatidia, each containing receptor cells and pigment cells and an optical system. Granules in the pigment cells are called ommochromes from which the yellow xanthommatin can be isolated. the pigments absorb excess light and protect the rhodopsins from overexposure. Xanthopterin, a yellow pigment found in butterfly wings and in animals belongs to pterins, which include folic acid. (s. 1227)	Betakaroteenin ja lykopeenin rakennekaavat (S) (s. 1226) Echinochromen rakennekaava (S) (s. 1227) Polyhydroksi-antrakinonin rakennekaava (S) (s. 1227) Ksanthommatinin ja ksanthopterin rakennekaavat (S) (s. 1227)	Värilliset orgaaniset materiaalit.

Taulukko 4. Muut asiat.

Lähde	Mitä sanotaan	Visualisointi	Missä asiayhteydessä
A1	Sääski hakeutuu eläinten lähelle hengitysilman hiilidioksidia seuraamalla. (s. 52)	Kuva, jossa on kaksi hyttystä kasvinlehdellä (M) (s. 52)	Kovalenttinen sidos, kaasujen sidoksia.
A3	Hyttyskarkotteena käytetty amidi Deet voidaan valmista seuraavasti: (s. 72)	Kuva hyttysestä pistämässä ja reaktioyhtälö Deetin valmistamiselle (S) (s. 72)	Reaktiotyyppien ja –mekanismien yhteenvedossa.
A4	Äyriäisten kuoret ja monien hyönteisten, kuten kovakuoriaisten panssarit ovat muodostuneet kitiinistä. Kitiini on hiilihydraatti, jota luonnossa tuotetaan noin 10^{11} tonnia vuodessa. Se on siis maapallon toiseksi tuotetuin polymeeri; tuotetuin on selluloosa. (s. 127)	Kuva kovakuoriaisesta kukassa (M) (s.127)	Luonnon komposiitit.
C1	Jokainen on varmasti tuntenut nokkosen polton. Kirvelyn aiheuttaa nokkosen poltinkarvoissa oleva muurahaishappo. Samaa happoa erittävät myös muurahaiset. (s. 39)	-	Lisätietoa luonnossa esiintyvistä hapoista.
	Muurahaiset käyttävät muurahaishappoa puolustautumiseen. Kekomuurahaisten on otaksuttu olevan metsien tuhohyönteisten hävittäjä. (s. 88)	Kuva suuresta muurahais-keosta (M) (s. 88)	Karboksyylihapot
	Muurahaishappo eli metaanihappo HCOOH esiintyy luonnossa muun muassa muurahaisissa, nokkosissa ja kuusenlehdissä. Se on ihoa ärsyttävää ja pistävänhajuista nestettä. Muurahaishappoa käytetään teollisuudessa esimerkiksi AIV-rehuliuksen valmistamiseen yhdessä suolahapon kanssa. (s. 92)	-	Karboksyylihapot
D1	Taulukko 3.5 Karboksyylihappoja Nimi: Metaanihappo eli muurahaishappo Esiintyminen: Muurahaisissa ja nokkosissa (s. 101) Kitiinin keveys on ollut mahdollisesti vaikuttamassa siihen, että hyönteiset olivat ensimmäisiä lentokykyisiä eläimiä maapallolla. (s. 143)	Kuva muurahaisesta (M) (s. 101) Kuva korenosta (M) (s. 143)	Kemiasta terveyttä: karboksyylihapot. Ravinnosta ravintoaineita: polysakkaridit.

D2	Hämähäkin seitti on laskostunutta fibroiini-nimistä proteiinia. (s. 106)	Kuva hämähäkistä seitissään (M) (s. 106)	Molekyylien avaruusrakenteet, proteiinit
D3	Jotkut eliöt muuttavat kemiallista energiaa a) valoenergiaksi, kuten tulikärpänen... (s. 64)	Kuva hohtavasta tulikärpäsestä (M) (s. 65)	Sidosenergia, lisätietoa solun kemiallisten sidosten energian vapautumisesta.
D4	Silkkiperhosen toukka kutoo ympärilleen silkkikotelon, jonka suojassa ne kasvavat perhosiksi. Kehrätessään toukka erittää kahta ohutta silkkisäiettä, jotka se liimaa yhteen. Yksi kotelo syntyy noin kolmesta kilometristä silkkisäiettä. (s. 142)	Kuvat silkin teollisesta tuotannosta ja silkkiperhosen toukan kotelosta (M) (s. 142)	Polymeerit.
E1	Luonnon yhdisteistä suurin osa on orgaanisia. Kasveissa ja eläimissä on runsaasti muun muuassa hiilihydraatteja, proteiineja ja rasvoja. (s. 14) Hämähäkin seitti pysyy koossa proteiini molekyylien välisillä sidoksilla. (s. 73) Metaani- eli muurahaishappo HCOOH on väritöntä, pistävän hajuista nestettä. Metaanihapon molekyylit ovat pienikokoisia ja poolisia, joten aine liukenee hyvin veteen. (s. 114)	- Kuva seitistä (M) (s. 73) Kuva muurahais-keosta (M) (s. 114)	Luonnon yhdisteet Molekyylien väliset sidokset Tavallisimpia karboksyylihappoja.

* Visualisointi sarakeessa kuvan selityksen jälkeen merkki (S) tarkoittaa symbolitasoa ja (M) tarkoittaa makrotasoa.

Liite 3: Kyselylomake

KYSELYLOMAKE

Tämän kyselylomakkeen tarkoitus on kerätä tietoja Hyönteisten kemiaa verkko-opetusmateriaalista. Tietojen avulla pyritään kehittämään oppimateriaalia. Kysely liittyy Johannes Pernaan pro gradu –tutkielmaan. Kiitoksia vaivannäöstä.

Tutustu oppimateriaaliin ja vastaa kyselyyn. Kysely sisältää sekä avoimia että suljettuja kysymyksiä. Osa suljetuista kysymyksistä arvioidaan asteikolla 1-5.

Oppimateriaali löytyy osoitteesta

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/hyonteistenkemiaa/index.htm>

KYSELYLOMAKKEEN SISÄLTÖ

I	TAUSTATIEDOT JA ENNAKKOKÄSITYKSET	1-2
II	VERKKOMATERIAALIN ULKOASU	2-3
III	VERKKOMATERIAALIN SISÄLTÖ	4
IV	KÄSITEKARTAT	5
V	KÄYTTÖMUKAVUUS	6
VI	VAPAA PALAUTE	7

I TAUSTATIEDOT JA ENNAKKOKÄSITYKSET

1. Olen mies____ nainen____

2. Opetan lukiossa____ peruskoulussa____ muualla missä____

3. Olen opettanut 1-4 vuotta____ 5-9 vuotta____ 10-14 vuotta____ yli 15 vuotta____
en koskaan____

4. Opiskelen verkkoympäristössä usein____ harvoin____ en koskaan____

5. Verkkoympäristössä opiskelu on minulle mielekästä____ epämiellyttävää____
en osaa sanoa____

6. Käytän verkkomateriaaleja opetuksessani tai opetan tietokoneperustaisessa ympäristössä
usein____ harvoin____ en koskaan____

Miksi?_____

7. Mielestäni oppilaat kokevat tietokoneperustaisen opiskelun
mielekkääksi____ epämiellyttäväksi____ en osaa sanoa____

Perustelu_____

8. Onko tietokoneavusteinen opetus hyödyllistä? kyllä____ ei____ en osaa sanoa____
Perustelu_____

9. Käytän käsitekarttoja osana opetustani usein____ harvoin____ en koskaan____
Perustelu_____

10. Käsitekartat edistävät oppimista kyllä___ ei___ en osaa sanoa___

Perustelu_____

11. Käytän käsitekarttoja opiskeluni tukena kyllä___ en___ en osaa sanoa___

Perustelu_____

II VERKKOMATERIAALIN ULKOASU

Verkkomateriaalin ulkoasun arviointi asteikolla 1-5 (5 = erinomainen, 4 = kiitettävä, 3 = hyvä, 2 = tyydyttävä ja 1 = välttävä) ja kirjaa perustelut sekä parannusehdotukset vapaaseen tilaan kysymysten alle.

12. Arvioi tekstisivujen värejä

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu_____

13. Arvioi käsitekarttojen ja karttojen värejä

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu_____

14. Arvioi tekstisivujen kirjoituksen kokoa ja tyyliä

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu_____

15. Ovatko opetuspaketin kuvat mielestäsi järkeviä ja parantavatko ne opiskelun mielekkyyttä?

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu_____

16. Vapaa palaute ulkoasuun liittyen

Hyvät puolet

Kehitettävää

III VERKKOMATERIAALIN SISÄLTÖ

Verkkomateriaalin sisällön arviointi asteikolla 1-5 (5 = erinomainen, 4 = kiitettävä, 3 = hyvä, 2 = tyydyttävä ja 1 = välttävä) ja kirjaa perustelut sekä parannusehdotukset vapaaseen tilaan kysymysten alle.

17. Arvioi verkkomateriaalin sisällön laajuutta

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu _____

18. Arvioi verkkomateriaalin kemian tasoa

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu _____

19. Vapaa palaute sisältöön liittyen

Hyvät puolet

Kehitettävää

IV KÄSITEKARTAT

Käsitekarttojen arviointi asteikolla 1-5 (5 = erinomainen, 4 = kiitettävä, 3 = hyvä, 2 = tyydyttävä ja 1 = välttävä) ja kirjaa perustelut sekä parannusehdotukset vapaaseen tilaan kysymysten alle.

20. Arvioi käsitekarttojen selkeyttä

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu _____

21. Arvioi käsitekarttojen hyödyllisyyttä oppimisen suhteen

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu _____

22. Vapaa palaute käsitekarttoihin liittyen

Hyvät puolet

Kehitettävää

V KÄYTTÖMUKAVUUS

Verkkomateriaalin käyttömukavuuden arviointi asteikolla 1-5 (5 = erinomainen, 4 = kiitettävä, 3 = hyvä, 2 = tyydyttävä ja 1 = välttävä) ja kirjaa perustelut sekä parannusehdotukset vapaaseen tilaan kysymysten alle.

23. Arvioi verkko-opetuspaketin rakennetta

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu _____

24. Arvioi verkko-opetuspaketin käyttömukavuutta

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Perustelu _____

25. Vapaa palaute käyttömukavuuteen ja navigointiin liittyen

Hyvät puolet

Kehitettävää

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Kiitos vielä vastaamisesta ja vaivannäöstä.

Liite 4: Isopentyyliasetaatti –tehtävän kehittämisessä käytetyt lähteet

Anon, 2007. <http://www.umsl.edu/~orglab/experiments/Bananaoil.html>, luettu 12.6.2007.

FAO, 1997. Isoamyl acetate. FAO: Corporate document repository. <http://www.fao.org/docrep/W6355E/w6355e0i.htm>, luettu 18.8.2007.

Hase, T. 1992. *Tables for organic chemistry* 893. Helsinki: Otatieto Oy, Hakapaino Oy, 2001, 30.

IPCS, 2005. Isoamyliasetaatin kansainvälinen kemikaalikortti. International Programme on Chemical Safety. <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0356.htm>, luettu 9.8.2007.

Lundell, J. 2005. Laskennallinen kemia kouluopetuksessa, kevät 2005 kurssin harjoitustyömateriaali.

Opetushallitus, 2003. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Helsinki: Opetushallitus.

Osha, 2007. <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/isoamylacetate/recognition.html>, luettu 23.9.2007.

Short, B. 2001. Isoamyl acetate resource. <http://web1.caryacademy.org/chemistry/rushin/StudentProjects/CompoundWebSites/2001/IsoamylAcetate/contents.htm>, luettu 9.8.2007.

Streitwieser, A., Heathcock, C.H & Kosower, E. 1998. *Introduction to Organic Chemistry – fourth edition*. Prentice Hall, New Jersey, 499-501.

Trost, B.M. & Fleming, I. Toim. 1991. *Comprehensive organic synthesis – Selectivity, Strategy & Efficiency in Modern Organic Chemistry, Volume 6 Heteroatom manipulation*. Oxford: Pergamon press, 325-326.

Liite 5: Karotenoidien eristäminen ja mallintaminen –tehtävän kehittämisessä käytetyt lähteet

Britton, G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Faseb Journal* 9,1551-1558.

Cromartie, R.I.T. 1959. Insect pigments^{1,2}. *Annual Review of Entomology* 4, 59-76.

Fagerstedt, K., Kärkönen, A., Niini, S., Ahlfors, R., Santanen, A. & Simola, L. 2007. *Kasvifysiologian harjoitustyöt - 52071*. Helsinki: yliopistopaino, 24-27.

Goodwin, T.W. Toim. 1976. *Chemistry and Biochemistry of plant Pigments - second edition, volume 2*. London: Academic Press, 38-58.

Lundell, J. & Aksela, M. 2004. Molekyylimallinnus ja sen energia. *Dimensio* 1, 53-54.

Opetushallitus 2003. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Helsinki: Opetushallitus.

Pennington, J. & Hall, J. K., 2003. Plant and Insect Pigments – Middle and High School Activity. Department of biochemistry and Molecular Biophysics, University of Arizona. <http://insected.arizona.edu/manduca/PDFs/Chromatography.pdf>, luettu 20.04.2007.