

**Tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvat
oppimisympäristöt ja koulutus
kemian oppimisen ja opetuksen tukena**

Johannes Pernaa
Lisensiaattitutkielma
24.2.2010
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Kemian laitos
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Helsingin yliopisto

Ohjaaja: Professori Maija Aksela, Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto

Tarkastajat: Professori Erkki Sutinen, Tietojenkäsittelytieteen laitos, Itä-Suomen yliopisto
Yliassistentti Jouni Välisaari, Aineenopettajakoulutus, Kemian laitos, Jyväskylän yliopisto

Tiivistelmä

HELSINGIN YLIOPISTO) HELSINGFORS UNIVERSITET) UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto) Fakultet/Sektion) Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos) Institution) Department Kemian laitos
Tekijä) Författare) Author Johannes Pernaa		
Työn nimi) Arbetets titel) Title Tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvat oppimisympäristöt ja koulutus kemian oppimisen ja opetuksen tukena		
Oppiaine) Läroämne) Subject Kemia (kemian opetus)		
Työn laji) Arbetets art) Level Lisensiaattitutkielma	Aika) Datum) Month and year 24.2.2010	Sivumäärä) Sidoantal) Number of pages 68
Tiivistelmä) Referat) Abstract Tutkielman päätavoitteena oli tutkia tieto- ja viestintätekniikkaan (TVT) pohjautuvien oppimisympäristöjen mahdollisuuksia ja TVT:n hyödyntämistä tukevaa koulutusta kemian opetuksessa. Tutkielman teoreettisena viitekehyksenä ovat TVT:an pohjautuvat kemian oppimisympäristöt, mielekäs kemian oppiminen, opetussuunnitelmien perusteet ja innovaatioiden diffuusioteoria. Tutkielma sisältää neljä tutkimusta, joista kaksi ovat kehittämistutkimuksia ja kaksi tapaustutkimuksia. Tutkimuksia ohjasivat päätutkimuskysymykset: 1) <i>Millaisia uusia mahdollisuuksia tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvat oppimisympäristöt tuovat kemian opetukselle?</i> ja 2) <i>Millainen koulutus tukee tieto- ja viestintätekniikan hyödyntämistä kemian opetuksessa?</i> Tutkimuskysymyksiin etsittiin vastauksia kartoittamalla yhteensä 100 kemian aineenopettajan ja opiskelijan käsityksiä sekä kokemuksia TVT-pohjaisista kemian oppimisympäristöistä ja koulutuksesta. Tutkielma antaa kokonaiskuvan TVT:n käytön ja koulutuksen nykytilasta, haasteista ja mahdollisuuksista kemian opetuksessa. Kehittämistutkimuksien päätuloksena saatiin viisi uutta opettajien käyttöön soveltuvaa TVT-pohjaista kemian oppimisympäristöä. Tutkimuksien mukaan TVT:a voidaan hyödyntää kaikkien oppimisympäristöjä määrittelevien osatekijöiden (didaktiset, fyysiset, tekniset ja sosiaaliset) tukena. Esille nousivat erityisesti TVT:n merkitys opiskelijoiden motivoijana ja sen mahdollistamat monipuoliset visualisointiresurssit. Tapaustutkimuksista saatiin lisätietoa TVT:n hyödyntämiseen tarvittavan koulutuksen sisältöjen ja tavoitteiden suunnitteluun ja toteutukseen kemian opetuksessa. Tulosten mukaan aikaisempaan tutkimustietoon pohjautuva lähi- ja etäopetusta sisältävä tavoitteellinen koulutus tukee innovaation taidollista omaksumista yksilötasolla. Tutkimustuloksia voidaan käyttää tulevaisuudessa yhtenä mallina alueellisen koulutustoiminnan kehittämisessä. Tämä tutkielma osoittaa TVT:n hyödyntämiseen liittyvän tutkimuksen olevan ajankohtainen kemian opetuksen tutkimusala nopeasti modernisoituvassa yhteiskunnassa.		
Avainsanat) Nyckelord) Keywords animaatio, diffuusio, innovaatio, kehittämistutkimus, kemian opetus, kemian opetuksen tutkimus, kokeellisuus, koulutus, käsitekartta, malli, mallinnus, mielekäs oppiminen, molekyylimallinnus, opetussuunnitelmien perusteet, oppimisympäristö, tapaustutkimus, tieto- ja viestintätekniikka, verkkomateriaali, verkko-opetus, video, visualisointi		
Säilytyspaikka) Förvaringsställe) Where deposited: Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto; Kumpulan tiedekirjasto		

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Lista alkuperäisistä julkaisuista.....	7
Lyhenteet.....	8
1 Johdanto.....	9
1.1 Päättökysymykset.....	10
1.2 Tutkielman rakenne.....	10
2 Tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvat kemian oppimisympäristöt.....	12
2.1 Tieto- ja viestintätekniikka oppimisympäristöissä.....	12
2.2 Mielekäs kemian oppiminen ja opetus.....	13
2.3 Mallit ja visualisointi kemian opetuksessa.....	16
2.4 Tieto- ja viestintätekniikka opetussuunnitelmien perusteissa.....	19
2.5 Verkon hyödyntäminen kemian oppimisympäristöissä.....	20
2.6 Käsitekartat kemian oppimisympäristöissä.....	21
2.7 Molekyylimallinnus kemian oppimisympäristöissä.....	22
2.8 Animaatiot ja videot kemian oppimisympäristöissä.....	22
3 Tieto- ja viestintätekniikan hyödyntämiseen liittyvä koulutus kemian opetuksessa.....	24
3.1 Koulutukseen liittyvät innovaatiot ja niiden diffuusio.....	24
3.2 Tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen resurssit ja diffuusio suomalaiseen kemian opetukseen.....	26
4 Tutkimukset.....	28
4.1 Käytetyt tutkimusmenetelmät.....	28
4.1.1 Kehittämistutkimus.....	28
4.1.2 Tapaustutkimus.....	31
4.2 Tutkimus 1: Mielekäs kemian verkko-oppimateriaali.....	32
4.2.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus.....	32
4.2.2 Tulokset.....	33
4.2.2.1 Kehitetty verkkomateriaali.....	33
4.2.2.2 Kehitetyn verkkomateriaalin arviointi.....	36
4.2.3 Johtopäätökset ja pohdinta	37

4.3 Tutkimus 2: Kemian opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä kokeellisuuden ja tieto- ja viestintätekniikan mielekkäästä yhdistämisestä.....	38
4.3.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus.....	39
4.3.2 Tulokset.....	40
4.3.2.1 Tieto- ja viestintätekniikkaa ja kokeellisuutta mielekkäästi yhdistävien oppimisympäristöjen kehittämisen tarve.....	40
4.3.2.2 Tieto- ja viestintätekniikkaa ja kokeellisuutta mielekkäästi yhdistävän oppimisympäristön piirteitä.....	41
4.3.2.3 Kemian opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä tieto- ja viestintätekniikkaa mielekkäästi yhdistävien oppimisympäristöjen vaikutuksesta oppimiseen.....	43
4.3.3 Johtopäätökset ja pohdinta	44
4.4 Tutkimus 3: Molekyylimallinnuksen mentorikoulutus.....	45
4.4.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus.....	45
4.4.2 Tulokset.....	46
4.4.2.1 Molekyylimallinnuksen käyttö kouluissa.....	46
4.4.2.2 Molekyylimallinnuksen hyödyllisyys kemian opetuksessa.....	47
4.4.2.3 Molekyylimallinnuksen resurssit ja niiden tarve.....	48
4.4.3 Johtopäätökset ja pohdinta.....	49
4.5 Tutkimus 4: Kemian opettajien käsityksiä molekyylimallinnuksen käytöstä opetuksessa.....	50
4.5.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus.....	50
4.5.2 Tulokset.....	52
4.5.2.1 Molekyylimallinnus ja opetussuunnitelmien perusteiden tavoitteet.....	52
4.5.2.2 Molekyylimallinnus ja opetussuunnitelmien perusteiden sisällöt.....	53
4.5.3 Johtopäätökset ja pohdinta	54
5 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	56
5.1 Tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvien oppimisympäristöjen mahdollisuudet kemian opetuksessa.....	56
5.2 Tieto- ja viestintätekniikan hyödyntämistä kemian opetuksessa tukeva koulutus.....	59
Lähteet.....	63

Lista alkuperäisistä julkaisuista

Tutkielma pohjautuu seuraaviin julkaisuihin:

- I Pernaa, J., & Aksela, M. (2008). Verkko kemian oppimisympäristönä: esimerkkinä hyönteisten kemia. Kirjassa J. Välisaari, & J. Lundell (Toim.), *Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä opetusta* (s. 35-44). Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.

- II Pernaa, J., & Aksela, M. (2008). Concept maps as meaningful learning tools in a web-based chemistry material. Kirjassa A. J. Canas, J. D. Novak, P. Reiska, & M. K. Åhlberg (Toim.), *Concept Mapping : Connecting Educators : Proseeding of the 3rd International Conference on Concept Mapping : vol. 1 Full papers, part one* (s. 282-289). Viro: IHMC, Tallinnan yliopisto, Helsingin yliopisto, OU Vali Press.

- III Aksela, M., Lundell, J., & Pernaa, J. (2008). Molekyylihallinnuksen mentoreita kemian opetuksen ja oppimisen tueksi. Kirjassa J. Välisaari, & J. Lundell (Toim.), *Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä opetusta* (s. 59-68). Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.

- IV Pernaa, J., Aksela, M., & Lundell, J. (2009). Kemian opettajien käsityksiä molekyylihallinnuksen käytöstä opetuksessa. Kirjassa M. Aksela, & J. Pernaa (Toim.), *Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa perusopetuksesta korkeakouluhin - IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät* (s. 195-204). Helsinki: Yliopistopaino.

- V Pernaa, J., & Aksela, M. (2009). Chemistry teachers' and students' perceptions of practical work through different ICT learning environments. *Problems of Education in the 21st Century*, 16, 80-88.

Kirjoittaja on toiminut pääkirjoittajana artikkeleissa I, II, IV ja V. Artikkelissa III kirjoittaja vastasi tutkimuksen käytännön toteutuksesta, aineiston käsittelystä sekä tulosten raportoinnista.

Lyhenteet

f	frekvenssi
ka	keskiarvo
KOKE	kokeellisuus kemian opetuksessa
MMK	mielekästä molekyylimallinnusta kouluopetukseen
POE	predict-observe-explain
TVT	tieto- ja viestintäteknikka
V	vastaaja
WWW	Wold Wide Web

1 Johdanto

Tieto- ja viestintekniikalla (TVT) on keskeinen merkitys kemian opetuksen tukemisessa ja kehittämisessä kaikilla opetusasteilla (esim. Aksela & Lundell, 2008). Sen tärkeää roolia korostetaan opetussuunnitelmien perusteissa (ks. luku 2.4; Opetushallitus, 2003; Opetushallitus, 2004), kansallisessa opetusstrategiassa (Opetusministeriö, 2009) ja myös tutkimuskirjallisuudessa (esim. Gilbert, de Jong, Justi, Treagust, & Van Driel, 2002).

Valtioneuvoston kanslia (2007) esittää tietoyhteiskuntakehityksen yhteisiä menettelytapoja kartoittavan selvityksen loppuraportissa TVT:n hyödyntämisen pää tavoitteeksi tieto- ja viestintätekniikan tasa-arvoisuuden. Jokaisella opetuslalla toimivalla henkilöllä, opiskelijalla ja sidosryhmällä tulisi omalla tahollaan olla samanarvoiset TVT-mahdollisuudet laadukkaan opetuksen ja opiskelun turvaamiseksi. Raportissa esille nostettuja tärkeitä kehitysalueita ovat muun muassa yhteisöllinen oppiminen, verkostoituminen, joustavat opiskelumahdollisuudet, yksilöllisten koulutustarpeiden tukeminen, elinikäinen oppiminen ja työelämän haasteisiin vastaaminen. (Valtioneuvoston kanslia, 2007)

Luonnontieteillä on yhteiskunnan näkökulmasta keskeinen merkitys kasvatuksessa. Luonnontieteelliset perustiedot omaava ihminen on tietoinen elinympäristön mahdollisuuksista ja rajoituksista ja pystyy ottamaan kantaa ihmiskuntaa ja luontoa koskeviin kysymyksiin. (Sjøberg, 2000) Opetussuunnitelmien perusteet painottavat samantyyppisiä asioita. Yleissivistävässä koulutuksessa nuoret kasvavat modernin yhteiskunnan ja elinympäristön vastuullisiksi kansalaisiksi, jossa TVT:lla on keskeinen rooli (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197).

Opetusministeriön strategia 2020 nostaa suomalaisen koulutuksen keskeisimmäksi haasteeksi yhteiskunnan eriytymisen ja monimutkaistumisen, joiden myötä yksilöiden ja organisaatioiden tieto- ja taitovaatimukset nousevat. Tulevaisuudessa tullaan yhä enemmän keskittymään muun muassa ympäristövastuun korostamiseen, eettisten ja sosiaalisten tietojen ja taitojen kehittämiseen sekä tietoyhteiskunnan myötä lisääntyvän teknologiaosaamisen hallitsemiseen. Myös Opetusministeriön kilpailukykyohjelmassa TVT:n innovatiivisella hyödyntämisellä on keskeinen asema. Ohjelmassa painotetaan erityisesti uusien rajapintojen luomista muiden alojen kanssa ja niiden kehittämistä kotimaisiksi osaamisalueiksi, joilla voisi olla myös kaupallista arvoa. (Opetusministeriö, 2009)

Gilbertin et al. (2002) mukaan TVT:n hyödyntämisen mukanaan tuomat haasteet, mahdollisuudet ja vaikutukset ovat kemian opetuksen tutkimuksessa laiminlyötyjä aihealueita, jotka vaatisivat paljon huomiota. Tämä lisensiaattitutkielma tutkii yllä mainittuja asioita kansallisella tasolla. Tutkielman tavoitteena on selvittää kemian aineenopettajien TVT:n hyödyntämiseen liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia sekä kehittää ratkaisuja ja malleja, jotka tukevat TVT:n tehokasta hyödyntämistä kemian kouluopetuksessa. Tutkielmassa kehitetään vahvaan teoreettiseen viitekehykseen pohjautuvia kemian oppimisympäristöjä, jotka yhdistävät mielekästä kemian oppimista ja opetusta tukevia TVT-työkaluja ja kokeellisuutta sekä selvitetään, millaista koulutusta kemian opettajat tarvitsevat TVT:n hyödyntämiseen.

1.1 Päättökysymykset

Tutkielmassa tutkitaan seuraavia pääteemoja: I) tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvia kemian oppimisympäristöjä ja II) niiden hyödyntämiseen tarvittavaa koulututusta. Tutkimuksen kaksi päättökysymystä ovat:

- 1. Millaisia uusia mahdollisuuksia tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvat oppimisympäristöt tuovat kemian opetukselle?*
- 2. Millainen koulutus tukee tieto- ja viestintätekniikan hyödyntämistä kemian opetuksessa?*

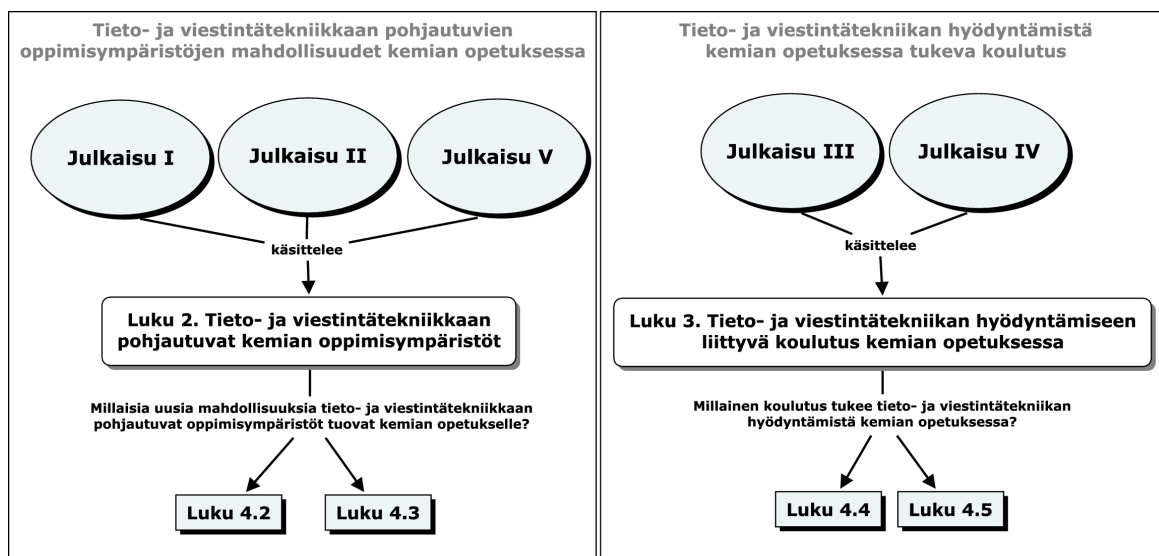
1.2 Tutkielman rakenne

Tutkielman teoreettinen viitekehys rakentuu TVT:an pohjautuvien kemian oppimisympäristöjen (ks. luku 2) ja koulutuksen (ks. luku 3) ympärille. Luvussa 2 kemian oppimisympäristöjä tarkastellaan mielekkään kemian oppimisen ja opetuksen (ks. luku 2.2), mallien ja visualisointien (ks. luku 2.3) ja opetussuunnitelmien perusteiden teoreettisen mallin (ks. luku 2.4) näkökulmat huomioiden. Lisäksi luvussa 2 selvitetään aikaisempaa tutkimustietoa TVT:n hyödyntämisestä kemian oppimisympäristöjen tukena. Käsiteltäviä TVT-työkaluja ovat verkon hyödyntäminen (ks. luku 2.5), tietokoneavusteiset käsitekartat (ks. luku 2.6), tietokoneavusteinen molekyylihallinnus (ks. luku 2.7), animaatiot ja videot (ks. luku 2.8).

Luvussa 3 TVT:n hyödyntämistä kouluissa ja siihen liittyvää koulutusta tarkastellaan Rogersin (1962) innovaatioiden diffuusioteorian pohjalta. Luku 3 esittelee myös aikaisemman tutkimuksen pohjalta TVT:n koulutukseen liittyvät asenteet, resurssit, haasteet ja mahdollisuudet.

Luvussa 4 esitellään tarkemmin tutkimuksissa käytettävät tutkimusmenetelmät, joita ovat kehittämistutkimus (Edelson, 2002) ja tapaustutkimus (Cohen, Manion, & Morrison, 2007, 253-263). Suoritetuissa tutkimuksissa näitä tutkimusmenetelmiä hyödynnetään samanaikaisesti. Lukujen 4.2 ja 4.3 tutkimukset ovat vaiheittaisia kehittämistutkimuksia, joiden vaiheet muodostuvat yksittäisistä tapaustutkimuksista kun taas lukujen 4.4 ja 4.5 tutkimukset ovat tapaustutkimuksia, jotka ovat osa suurempaa kehittämistutkimusta. Lukujen 4.2 ja 4.3 tutkimukset käsittelevät kemian oppimisympäristöjä ja lukujen 4.4 ja 4.5 tutkimukset TVT:n hyödyntämiseen liittyvää koulutusta. Luvussa 5 esitetään yhteenveto tutkimuksista tutkielman kahden pääteeman pohjalta, pohditaan tutkimuksen merkittävyyttä kemian opetukselle ja esitetään erilaisia jatkotutkimusmahdollisuuksia.

Tutkielma pohjautuu viiteen julkaisuun, joista kolme käsittelee kemian oppimisympäristöjä ja kaksi TVT:an liittyvää koulutusta. Kuvassa 1 on mallinnettu tutkielman rakennetta julkaisujen, teoreettisen viitekehysten, päättökysymysten ja tulosten esittelyn näkökulmasta.



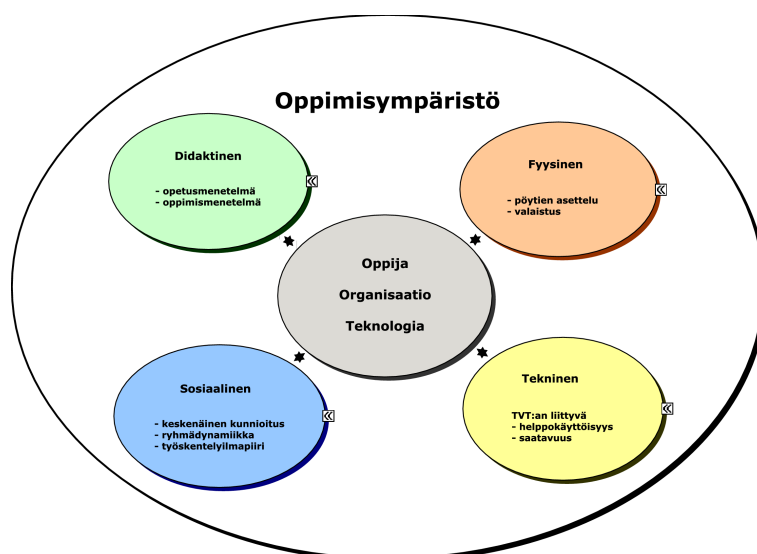
Kuva 1 Tutkielman rakenne julkaisujen, teoreettisen viitekehyksen, tutkimuskysymysten ja tulosten esittelyn näkökulmasta.

2 Tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvat kemian oppimisympäristöt

TVT antaa paljon uusia mahdollisuuksia oppimisen ja opetuksen tueksi. Moderni teknologia mahdollistaa esimerkiksi laajat visualisointiresurssit, monipuoliset tutkimustyökalut sekä monipuolisen verkon hyödyntämisen. (Kozma & Russell, 2005) Tässä luvussa käsiteltäviä TVT-työkaluja ovat animaatiot, tietokoneavusteiset käsitekartat, tietokoneavusteinen molekyyli mallinnus sekä videot (ks. luvut 2.6-2.8). Näiden työkalujen merkityksen ymmärtämiseksi on ensin syytä tarkastella yleisesti TVT:a oppimisympäristöissä (ks. luku 2.1) ja mielekästä kemian oppimista (ks. luku 2.2), perehtyä mallien ja visualisoinnin merkitykseen kemian opetuksessa (ks. luku 2.3), tutustua opetussuunnitelmien perusteisiin TVT:n osalta (ks. luku 2.4) sekä tarkastella verkon hyödyntämistä kemian oppimisympäristöissä (ks. luku 2.5). Tarkastelun ulkopuolelle on TVT-työkaluista rajattu muun muassa mittausautomaatiovälineistöt (esim. Aksela, 2005) ja simulaatiot (esim. Särkkä, 2009; Vihma, 2006).

2.1 Tieto- ja viestintätekniikka oppimisympäristöissä

Oppimisympäristöksi voidaan kutsua paikkaa, tilaa, yhteisöä, käytäntöä tai materiaalia, joka edistää oppimista. Oppimisympäristöjä voidaan tarkastella oppijan, organisaation ja teknologian näkökulmista. Tarkastelussa on tärkeää huomioida oppimisympäristön didaktiset, fyysiset, sosiaaliset ja tekniset osatekijät. Didaktisilla osatekijöillä tarkoitetaan esimerkiksi käytettäviä opetus- ja oppimismenetelmiä. Fyysisiä osatekijöitä taas ovat esimerkiksi valaistus ja pöytien asettelu, teknisiä osatekijöitä TVT:n käytettävyyteen liittyvät seikat kuten helppokäyttöisyys ja saatavuus. Sosiaalisia osatekijöitä ovat muun muassa keskinäinen kunnioitus, työskentelyilmapiiri ja ryhmädynamiikka (ks. kuva 2). (Manninen & Pesonen, 1997)



Kuva 2 Oppimisympäristön muodostavat osatekijät.

Oppimisympäristö voi myös olla avoin tai suljettu. Tässä tutkielmassa keskitytään tarkastelemaan avoimia oppimisympäristöjä. Avoimet oppimisympäristöt ovat konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen pohjautuvia oppimisympäristöjä, joissa opiskelijalla on vapaus valita opiskeluunsa liittyviä seikkoja. Valinnan vapaus voi kohdistua muun muassa materiaaleihin, tavoitteisiin tai välineisiin. Esimerkiksi, avoin oppimisympäristö mahdollistaa samanaikaisesti yksilö- tai ryhmätyöskentelyn, opiskelija voi valita sopivat työskentelytavat ja vaikuttaa oppimistavoitteisiin mielekkääksi kokemiansa kontekstien kautta. Avoimet oppimisympäristöt vaativat opiskelijalta itseohjautuvuutta, jolloin keskeinen oppimiseen vaikuttava tekijä on opiskelijan sisäinen motivaatio. (Meisalo, Sutinen, & Tarhio, 2000).

Meisalo et al. (2000) nostavat TVT:n tärkeäksi työkaluksi sisäisen motivaation tukemisessa. TVT:a voidaan hyödyntää avoimissa oppimisympäristöissä oppimisen ja opetuksen tukena monipuolisesti: esimerkiksi verkon hyödyntäminen ja digitaaliset oppimateriaalit (ks. luku 2.5), oppimista ja työskentelyä helpottavat ohjelmistot (mm. toimisto-ohjelmistot, kognitiiviset työkalut, opetusohjelmistot jne...) sekä reaali- ja virtuaalimaailmat. TVT:n avulla opiskelija tai opettaja voi tähdätä tiettyyn tavoitteeseen, mutta myös lisätä opiskelun tai opetuksen avoimuutta. Erilaisten ohjelmistojen avulla opiskelija pystyy seuramaan edistymistään ja saa onnistumisestaan palautetta, mikä kehittää opiskelijan metakognitiivisia taitoja. (Meisalo et al., 2000)

2.2 Mielekäs kemian oppiminen ja opetus

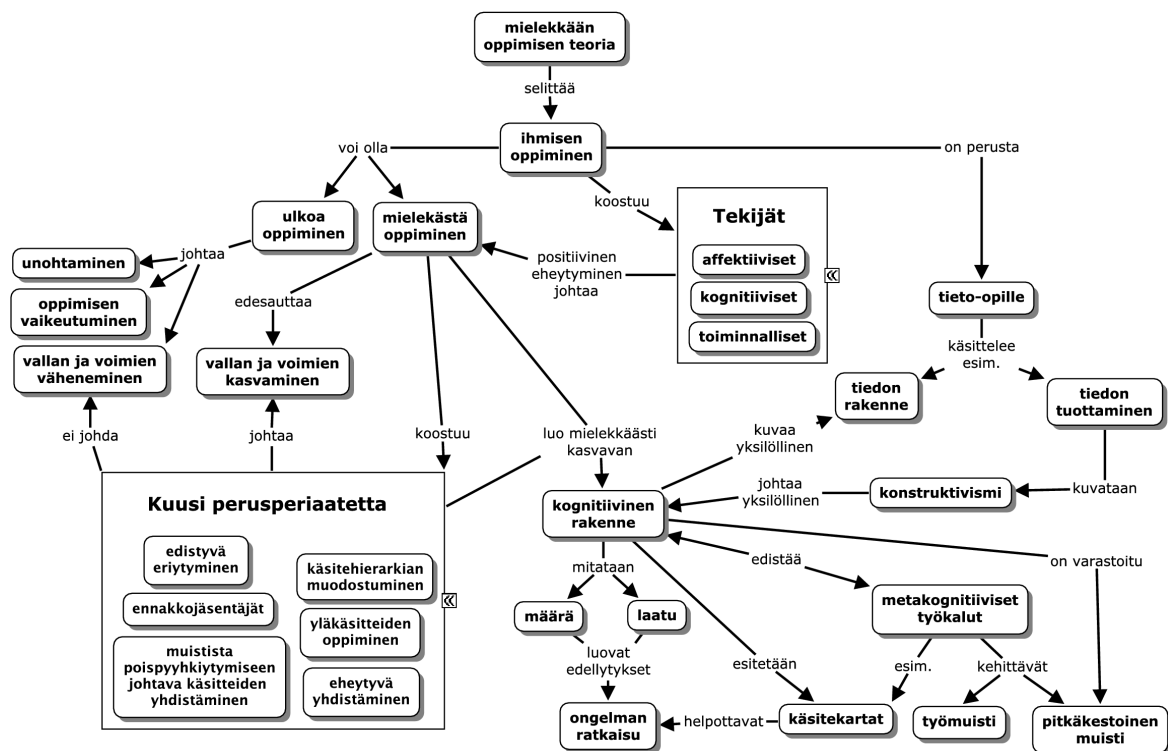
Mielekkään oppimisen teorian (engl. *theory of meaningful learning*) esitteli Ausubel 1960-luvulla (Ausubel, 1968). Ausubel julkaisi 1960-luvulla useaan otteeseen kirjallisuutta mielekkään oppimisen teoriasta, mutta laajin katsaus hänen ajatuksistaan julkaistiin vuonna 1968. Tässä luvussa mielekkään oppimisen teoriaa käsitellään Novakin (1998) teoksen pohjalta, missä hän yhdistää mielekkään oppimisen teorian ja tieto-opin ydinkohdat (ks. kuva 3). (Novak, 1998, 64-97)

Selitettäessä mielekkään oppimisen teorian avulla ihmisen oppimista, oppiminen jaetaan karkeasti mielekkääseen oppimiseen ja ulkoa oppimiseen. Itse oppiminen koostuu affektiivisista, kognitiivisista ja toiminnallisista tekijöistä, joiden positiivisen eheytyksen myötä tapahtuu mielekästä oppimista. Ihmisen oppiminen on myös tieto-opin perusta, joka käsittelee esimerkiksi tiedon rakenteeseen ja tuottamiseen liittyviä asioita. Tieto-opissa tiedon tuottaminen voidaan kuvata konstruktivistiseksi tapahtumaksi, joka johtaa yksilölliseen kognitiiviseen rakenteeseen. Yksilön kognitiivinen rakenne taas esittää yksilöllistä tiedon rakennetta. (Novak, 1998, 67)

Mielekäs oppiminen koostuu kuudesta peruserästä, joita ovat i) käsittehierarkian muodostuminen, ii) yläkäsitteiden oppiminen, iii) edistynyt eriytyminen, iv) eheytyvä yhdistäminen, v) muistista poispyyhkiytymiseen johtava käsitteiden yhdistyminen ja vi) ennakkojäsentäjät. Näiden peruserästen kautta mielekäs oppiminen johtaa pitkäkestoiseen muistiin varastoidun kognitiivisen rakenteen mielekkääseen kasvuun. Kognitiivisen rakenteen mitattavia parametreja ovat esimerkiksi määrä ja laatu, jotka luovat edellytykset luovalle ongelman ratkaisulle. Kognitiivinen rakenne edistää

metakognitiivisten työkalujen käyttämistä sekä vastavuoroisesti metakognitiivisten työkalujen käyttö edistää yksilön kognitiivista rakennetta. Metakognitiiviset työkalut ovat pitkäkestoista muistia ja työmuistia kehittäviä ajattelutyökaluja, kuten esimerkiksi käsitekartat (ks. luku 2.6). Käsitekartoilla voidaan esimerkiksi mallintaa kognitiivista rakennetta. (Novak, 1998, 67)

Ulkoaoppiminen koetaan mielekkään oppimisen teoriassa unohtamiselle alttiiksi tapahtumaksi, joka siten vaikeuttaa oppimista ja johtaa vallan ja voimien vähenemiseen. Mielekäs oppiminen taas päinvastoin johtaa vallan ja voimien lisääntymiseen. (Novak, 1998, 67)



Kuva 3 Mielekkään oppimisen teoria. (mukailtu kuvioista 5.1, Novak, 1998, 67)

Mielekkään oppimisen teoriassa keskeistä on opiskelijan, opettajan ja oppimateriaalin välinen vuorovaikutus. Mielekkään oppimisen kannalta olennaista opiskelijan näkökulmasta on opiskelijan oma motivaatio. Opiskelija valitsee tietoisesti mielekäästä oppimista tukevia opiskelutekniikoita ja haluaa oppia. Opettajalla taas on tärkeä rooli opiskelijan mielekkään oppimisen tukemisessa. Opettajalla on kokemus ja asiantuntemus ohjata opiskelija käyttämään mielekkäitä opiskelutekniikoita. Opettajan tehtävänä on rohkaista ja ylläpitää opiskelijan motivaatiota mielekäästä oppimista kohtaan sekä tarjota mielekkäitä korkeamman tason ajattelutaitoja stimuloivia oppimateriaaleja. Opettaja voi esimerkiksi helposti tuhota opiskelijan mielekkään oppimisen motivaation käyttämällä

arviointia, joka ei tue luovaa mielekästä oppimista vaan asioiden nopeaa ulkolukua ja sanatarkkaa toistamista tenttitilaisuuksissa. (Novak, 1998, 68-73)

Mielekkään oppimisen tukemiseksi kemian opetuksessa on tärkeää tarkastella kemiaa tieteenalana monipuolisesti. Kemian opetuksessa keskeistä on tieto kemiallisen tiedon kompleksisesta rakentumisesta (ks. tarkemmin luku 2.3) ja kehittämisestä, minkä vuoksi opetuksessa täytyy huomioida myös kemian historiallisia ja filosofisia näkökulmia (Erduran, 2001; Erduran & Scerri, 2002). Opetuksessa on tärkeää huomioida myös tieteen sosiaalinen puoli. Nykyaikana tiedettä ei niinkään tehdä yksin vaan ryhmässä. Esimerkiksi laboratoriossa työskentelevät kemistit ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa ja ryhmän tuottaman tiedon prosessoimiseen osallistuvat useat ryhmän jäsenet. Ryhmän jäsenten vuorovaikutuksella on tärkeä vaikutus ryhmän luovuuteen ja tuottavuuteen. Ryhmä taas on sidoksissa poikkitieteellisesti muiden alojen asiantuntijaryhmien kanssa, kuten esimerkiksi informaatioteknologian, tekniikan tai muiden luonnontieteiden. (esim. Vesterinen & Aksela, 2009)

Kokeellinen työskentely on yksi tärkeä kemian opetuksen keino tieteen sosiaalisuuden esille tuomisessa (Millar, 2004). Kokeellisuutta kemian opetuksessa on tutkittu paljon (esim. Hofstein & Lunetta, 2004; Nakhleh, Polles, & Malina, 2002). Tutkimusten mukaan kokeellinen työskentely kehittää opiskelijoiden laboratoriotaitoja ja antaa näkemyksen kemiasta tieteenalana. Kokeellisuuden myötä opiskelijat tutustuvat tieteellisen ongelman ratkaisun sosiaaliseen puoleen ja ryhmätyöskentelyyn. Opetuksessa on tärkeää huomioida, että opiskelijat eivät tee laboratoriossa uusia kemian alan keksintöjä, vaan toistavat jo olemassa olevaa tietoa. (Millar, 2004) Kokeellisuuden on todettu myös tukevan opiskelijoiden kiinnostusta ja motivaatiota kemian opintoja kohtaan (esim. Arajärvi & Aksela, 2009; Hofstein & Lunetta, 2004).

Nykyään kokeellisuus on olennainen osa modernia kemian opetusta, mutta tarkastellessa kokeellisuuden historiaa huomataan, ettei asia aina ole ollut näin. Kokeellisuus on tullut osaksi kemian opintoja vasta 1800-luvun alkupuolelta lähtien. Silloin kokeellinen työskentely suoritettiin havainnoimalla professoria, joka suoritti käytännön kokeellisuuden. 1800-luvulta nykypäivään mennessä kokeellisuuden merkitys kemian opinnoissa on yleisesti tunnustettu opetusalan asiantuntijoiden ja tutkijoiden toimesta ja sillä on keskeinen rooli myös opetussuunnitelmissa. (Elliott, Stewart, & Lagowski, 2008)

Tutkimustiedon mukaan kokeellinen työskentely on oppimisen kannalta tehokkainta ollessaan avointa (Millar, 2004) ja kontekstisidonnaista (Nakhleh et al., 2002). Työlle asetettujen tavoitteiden tulisi olla selkeitä eikä esimerkiksi laboratoriokurssin jokaisessa työssä tule esitellä uutta kokeellista työtapaa. Kognitiivisen ylikuormittumisen välttämiseksi ja mielekkään oppimisen lisäämiseksi, kokeellisuus on syytä toteuttaa kolmessa vaiheessa (virittäytyminen, työskentely ja koonti) (Millar, 2004). Myös tietokoneavusteista työskentelyä suositellaan kokeellisuuden tueksi (Lazarowitz & Tamir, 1994).

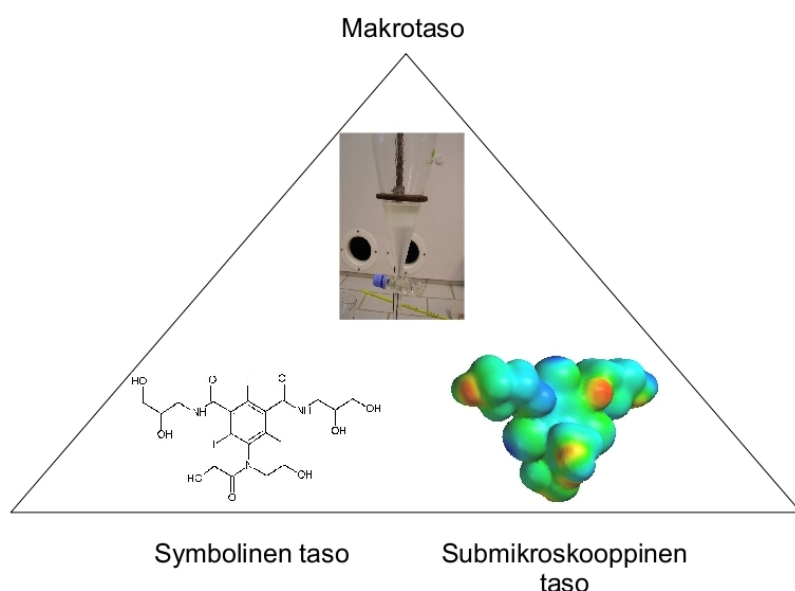
Kokeellisuudesta tarvitaan lisää tutkimusta. Tärkeää olisi tutkia esimerkiksi kokeellisen työskentelyn tavoitteita ja vaikutusta oppimiseen, opiskelijoiden käsityksiä ja vuorovaikutusta oppimisympäristöjen kanssa sekä kartoittaa uusia työkaluja, joilla oppimista ja opetusta laboratorioympäristössä on mahdollista tukea. (Nakhleh et al., 2002)

Tutkimuskirjallisuus esittää myös kritiikkiä kokeellisuutta kohtaan. Esimerkiksi Hodsonin (1996) mukaan, kokeellinen työskentely on tehoton ja yliarvostettu työskentelytapa. Hodson väittää kokeellisuuden suurta roolia tiedekasvatuksessa perusteltavan usein virheellisesti väittämällä, että opiskelijat oppivat kokeellisen työskentelyn yhteydessä luonnontieteellisiä tutkimusmenetelmiä vaikka todellisuudessa asia ei näin ole. (Hodson, 1996) Kokeellisuuden tehottomuutta perustellaan myös kritisoimalla oppimateriaalien reseptimäisyyttä, jotka eivät tuo mielekästä oppimista (Monteyne & Cracolice, 2004).

Kokeellisuuden lisäksi yksi merkittävä mielekkään kemian opetuksen keino on kontekstuaalisuuden tukeminen. Kontekstuaalisuudella eli tilannesidonnaisuudella tarkoitetaan jotain tuttua yhteyttä, johon opetus sidotaan. 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)

2.3 Mallit ja visualisointi kemian opetuksessa

Kemiaan liittyvät ilmiöt ovat opiskelijoista usein vaikeita ymmärtää. Kemia koetaan usein haastavaksi oppiaineeksi, mikä on seurausta kemiallisen tiedon kompleksisesta luonteesta (esim. Gabel, 1999). Luonnontieteissä tietoa esitetään kolmella eri tasolla: makrotasolla, symbolisella tasolla ja submikrotasolla (ks. kuva 4). Makrotasolla tarkoitetaan näkyvää maailmaa, symbolisella tasolla esimerkiksi kemiaan liittyviä symboleita ja submikrotasolla asioita, joita ei voi mikroskooppilla havaita, esimerkiksi elektronien jakautuminen molekyylissä. (Johnstone, 1993)



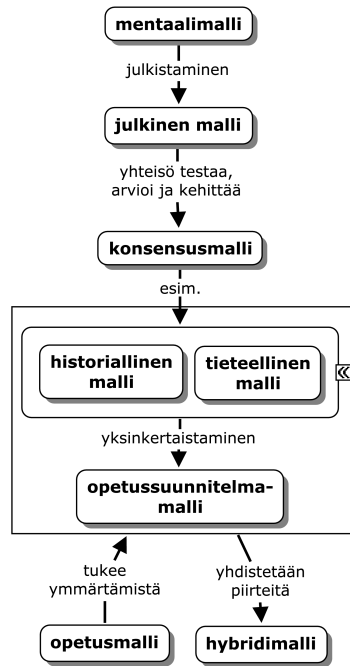
Kuva 4 *Kemiallisen tiedon kolme tasoa.*

Kemian asiantuntijat (opettajat) käyttävät ajattelussaan ja puheessaan intuitiivisesti kolmea tasoa. Näköhavaintojen ajattelu submikrotasolla ja ongelmien ratkomisen symbolien välityksellä on automaattista. Novisille (opiskelija) taas vastaavanlainen ongelmanratkaisu ja ilmiöiden monipuolinen käsittely on haastavaa, minkä vuoksi korkealaatuisten visualisointien kehittäminen on välttämätöntä. (Johnstone, 1993)

Visualisaatiot, esimerkiksi eleet, kuvat, kuviot, kartat, animaatiot, simulaatiot tai symbolit, ovat olennainen tekijä opetuksessa, opiskelussa ja opitun ymmärtämisessä. Ne ovat kognitiivisia työkaluja, joiden avulla yhteisöt ja kulttuurit viestivät ja esittävät tietoa. (Tversky, 2005) Kemiassa tietoa visualisoidaan muun muassa eleillä, kynällä ja paperilla, ajattelemalla ja tietokoneilla. Visualisoinnit konkretisoidaan malleilla. (Justi & Gilbert, 2002)

Mallit ja mallintaminen ovat kemian parissa olennaisia työkaluja ja välttämätön työskentelytapa. Mallien ja mallintamisen tärkeys huomioidaan kemian opetuksen tutkimuksessa (Justi & Gilbert, 2002), opetussuunnitelmissa (ks. tarkemmin luku 2.4) sekä myös kemian opettajat pitävät mallintamista olennaisena kemian opetuksen työkaluna (ks. luku 4.5; Pernaa, Aksela & Lundell, 2009). Kemiassa malleja hyödynnetään jokaisessa tutkimukseen liittyvässä työvaiheessa: muodostetaan hypoteeseja, havainnoidaan ilmiön tai olion toimintaa, selitetään tutkimustuloksia tai laaditaan uusia malleihin perustuvia ennusteita. Mallit yhdistävät teoreettisen ja kokeellisen kemian visualisoimalla yhteyksiä kemiallisen tiedon kolmen tason välillä. (Justi & Gilbert, 2002)

Mallin ontologista statusta on mahdollista mallintaa tutkimalla mallikäsitettä kokonaisvaltaisesti (ks. kuva 5). Mallin ollessa henkilökohtainen ja yksityinen esitys jostain ilmiöstä, on kyse mentaalimallista (engl. *mental model*). Mentaalimalli muuntuu julkiseksi malliksi (engl. *expressed model*), kun se julkistetaan ryhmässä tai esimerkiksi verkossa. Erilaisten sosiaalisten yhteisöjen työstäessä julkista mallia, syntyy konsensusmalli (engl. *consensus model*). Konsensusmalli on tietyn yhteisön yksimielinen esitys mallista, jonka aikaansaamiseksi ryhmä on testannut, arvioinut ja kehittänyt julkista mallia. Konsensusmalli voi konsensuksen muodostavasta yhteisöstä ja mallin tavoitteesta riippuen olla esimerkiksi tieteellinen tai historiallinen malli. Konsensusmallista saadaan aikaiseksi opetussuunnitelmamalli (engl. *curriculum model*) yksinkertaistamalla sitä ja sisällyttämällä se opetussuunnitelmaan. Konsensusmallit ja opetussuunnitelmamallit ovat usein haastavia ymmärtää. Niiden ymmärtämisen tueksi opettajat ja opiskelijat rakentavat opetusmalleja, esimerkiksi tietokoneavusteinen molekyyli malli, jolla on opetustavoite. Malli, joka yhdistelee tieteellisen, historiallisen ja opetussuunnitelmamallin piirteitä on hybridimalli. Lisäksi on olemassa vielä pedagoginen malli, joka on esimerkiksi kuvaus opetusmenetelmästä. (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000)

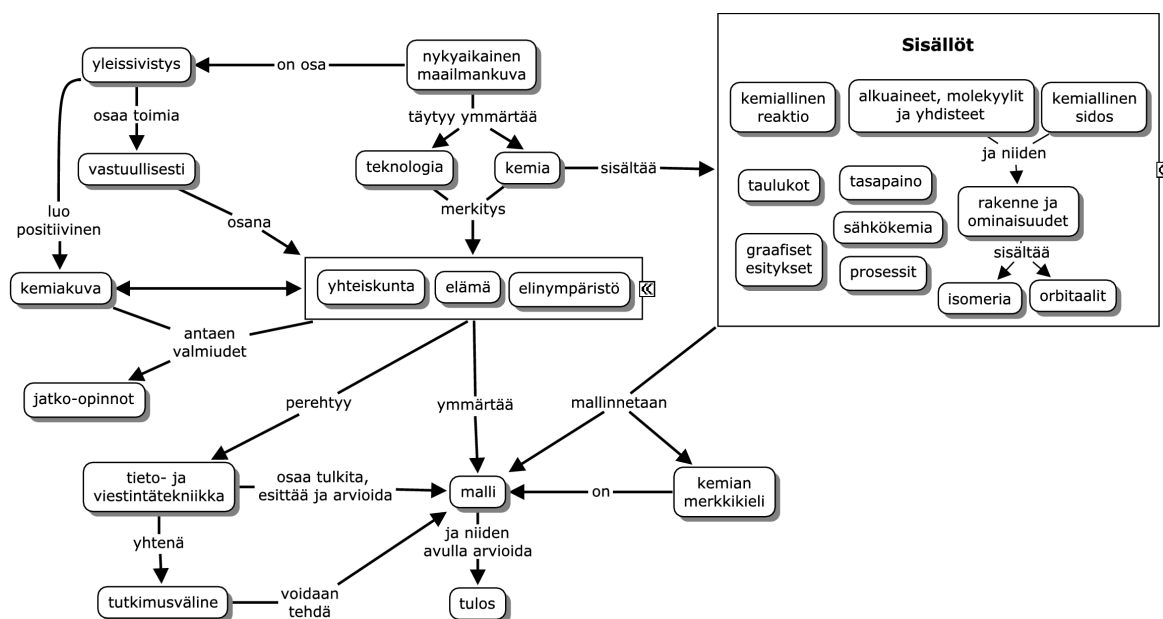


Kuva 5 Mallin ontologinen status.

Opiskelijat voidaan jakaa kolmelle tasolle sen perusteella, miten he ymmärtävät mallit ja pystyvät työskentelemään niillä. Ensimmäisen tason opiskelijat ajattelevat mallien edustavan todellisuuden täydellisiä kopioita tai olevan leluja. Toisen tason opiskelijat alkavat ajatella mallien olevan luotu jostain tiettyä tarkoitusta varten, mutta uskovat niiden kuitenkin vielä esittävän jossain määrin todellisuutta. Kolmannen tason opiskelijat ymmärtävät, että mallit ovat luotu tieteellisiksi työkaluiksi. Niitä luodaan hypoteesien testaamista varten ja ne kehittyvät koko siihen muotoon mihin mallintaja niitä muokkaa (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991). Justi ja Gilbert (2002) ehdottavat pedagogista mallia, jossa opettajien tulisi vähintään esitellä opiskelijoille malli käsitteenä, erilaisten mallien mahdollisuudet ja rajoitteet sekä tarjota heille mahdollisuus luoda ja testata omia malleja. (Justi & Gilbert, 2002)

2.4 Tieto- ja viestintätekniikka opetussuunnitelmien perusteissa

Viimeisten perus- ja lukio-opetusten opetussuunnitelmauudistusten jälkeen TVT:n hyödyntäminen on noussut entistä keskeisimpään rooliin kemian opetuksessa. Vuosiluokilla 7-9 ja lukiossa painotetaan yhä enemmän nykyaikaisen maailmankuvan muodostumista osana yleissivistystä, sekä vastuun kantamista osana yhteiskuntaa ja elinympäristöä. Kemiaa ja siihen liittyvää teknologiaa opiskellaan kokeellisen kemian näkökulmasta, jolla luodaan positiivista kemiakuvaa ja varmistetaan oppilaiden valmiudet kemian jatko-opintoihin. Opetussuunnitelmat lähestyvät TVT:a mallien avulla. Lukiossa opiskelijat perehtyvät moderniin TVT:an yhtenä tutkimus- ja mallinnustyökaluna. Mallien avulla tulkitaan, esitetään ja arvioidaan tietoa, tuloksia ja niiden luotettavuutta. Mallinnusta tehdään TVT:n lisäksi visualisoimalla verbaalisesti, graafisesti ja kirjallisesti. Kemian sisällöistä opetussuunnitelmien perusteet nostavat erityisesti esille kemialliset reaktiot, kemiallisen sidoksen, isomerian, orbitaalit, alkuaineisiin, molekyyliin ja yhdisteisiin liittyvät rakenteet ja niiden ominaisuudet. Kuvassa 6 on mallinnettu opetussuunnitelmien perusteissa esiintyvien TVT:an liittyvien käsitteiden suhteita (ks. kuva 6). (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197)



Kuva 6 *TVT:an liittyvät käsitteet ja niiden välinen vuorovaikutus opetussuunnitelmien mukaan 7-9 luokilla ja lukiossa. (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197)*

2.5 Verkon hyödyntäminen kemian oppimisympäristöissä

Verkko-opetuksella tarkoitetaan Internetin graafisen käyttöliittymän, World Wide Webin (WWW), avulla toteutettua opetusta tai opiskelua. WWW:n käyttöönotto 90-luvun alkupuolella yleistä Internetin hyödyntämisen yksityishenkilö- ja organisaatiotasolla, mikä nosti sen käyttöastetta räjähdysmäisesti. Samalla myös Internetin hyödyntäminen verkko-opetuksen välineenä kasvoi nopeasti. Verkon hyödyntäminen tarjosi yhteiskunnalle uuden monipuolisen työympäristön, jonka ympärille rakennettiin kansallisia ja kansainvälisiä yhteiskuntastrategioita. Uusi teknologia tarjosi taloudellisia ratkaisuja muun muassa opetuksen toteuttamiseen. Verkko mahdollistaa esimerkiksi ajan ja paikan suhteen joustavan oppimisympäristön, jossa materiaalien päivitys on vaivatonta. Verkko-opetuksen avulla säästetään myös tila- ja materiaalikustannuksissa. Joustavuutensa myötä verkko-opetus tukee elinikäistä oppimista. (Kalliala, 2002, 18-33) Elinikäisen oppimisen tukeminen on yksi kaiken koulutustyön keskeisimmistä tavoitteista (Euroopan komissio, 2007; Valtioneuvoston kanslia, 2007).

Verkko-opetus pohjautuu konstruktivistiseen oppimisnäkemykseen, jossa opiskelija on itse aktiivinen tiedon prosessoija ja konstruoi tietoa tarpeidensa mukaan. (Kalliala, 2002, 31) Verkkoympäristössä toteutetun opetuksen on todettu aktivoivan korkeampia ajattelutaitoja (Coleman, King, Ruth, & Stry, 2001). Kemian opetuksessa verkkoa voidaan käyttää apuna muun muassa tiedonjaossa, tiedonhaussa ja ongelmanratkaisussa. Verkon käytön on todettu myös lisäävän opiskelijoiden keskustelua kemiasta (Aksela, 2005) sekä tukevan kemian opetusta ja oppimista monipuolisten visualisointiresurssien myötä. Laajojen visualisointiresurssien on todettu auttavan oppilaita hahmottamaan yhteyksiä kemiallisen tiedon kolmen tason välillä (Kozma & Russell, 2005; Russell, Kozma, Jones, Wykoff, Marx, & Davis, 1997; Russell & Kozma, 2005). Käytännössä verkkoympäristön visualisoinneilla tarkoitetaan erilaisen multimedioiden käyttöä. Verkkoympäristössä mielekkäät visualisointia tukevat multimediat tukevat navigointia ja ovat käytettävyydeltään korkealaatuisia (luotettavuus, nopeus ja selkeys) (Meisalo et al., 2000, 119). Korkeampia ajattelutaitoja opiskelijat käyttävät myös etenkin raportoidessaan ja esittäessään tuloksia muille. Silloin heidän on täytynyt analysoida ja arvioida tuottamansa tiedon tärkeyttä ja luotettavuutta (Maor, 2000).

Jonassenin (1999) mukaan mielekästä oppimista tukeva verkko-oppimisympäristö on aktivoivaa, konstruktivistista, yhteistoiminnallista, tavoitteellista, kontekstuaalista, reflektiivistä ja vuorovaikutteista (Jonassen, 1999). Verkkomateriaalissa oppilaan omaa aktiivisuutta, yhteistoiminnallisuutta ja vuorovaikutteisuutta voidaan aktivoida esimerkiksi 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 samanaikaisesti käyttää erilaisiin tarkoituksiin, esimerkiksi asioiden nopeaan kertaamiseen tai uuden asian syvällisempään opiskeluun. (Multisilta, 1997)

Yksi keino tukea mielekästä verkko-oppimista on rakentaa verkkosivut käsitelkartoista. Verkkosivuista rakennetaan usein hierarkkisia ja ne noudattavat tiettyä sisällysluetteloä. Sivut ovat perinteisesti yhdistetty toisiinsa sanoista tai lauseista lähtevillä hyperlinkeillä, jolloin suurista sivustoista tulee usein monimutkaisia ja tiedon etsimisestä

haastavaa. Tutkimustiedon mukaan tiedon löytämistä ja omaksumista verkkoympäristössä pystytään parantamaan siirryttäessä perinteisestä selaustyylistä käsitekarttoihin perustuvaan navigointi- ja tiedonesitysjärjestelmään. (Carnot, Dunn, Cañas, Graham, & Muldoon, 2001)

Käsitekarttoista rakennettujen oppimisympäristöjen tehokkuutta tiedonetsimisen ja oppimisen työkaluina on tutkittu vähän. Carnotin et al. (2001) tutkimuksessa vertailtiin käsitekarttoista rakennetun oppimisympäristön tiedonetsintä tehokkuutta ja tarkkuutta perinteiseen tekstisivuista koostuvaan oppimisympäristöön. Tutkimus otti myös huomioon erot mielekkäiden oppijoiden ja ulkoa oppijoiden välillä. Tutkimuksen mukaan molemmat oppijaryhmät saavuttivat paremmat tulokset käsitekarttojen avulla, mutta mielekkäät oppijat hyötyivät käsitekarttoista hieman enemmän. (Carnot et al., 2001) Käsitekarttojen sopivuutta verkko-oppimateriaaleihin on tutkittu myös tämän lisensiaattitutkielman ensimmäisessä kehittämistutkimuksessa (ks. luku 4.2; Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b).

2.6 Käsitekartat kemian oppimisympäristöissä

Käsitekartoitus (engl. *concept mapping*) on käsitteiden mallinnustekniikka, missä käsitteitä yhdistetään linkkisanoina tarkoituksena muodostaa väitteitä. Näin muodostetaan käsitekarttoja (engl. *concept maps*), jotka ovat graafisia opetuksen, oppimisen, arvioinnin ja tiedonesityksen työkaluja (ks. esim. kuvat 2, 5, 6, 7, 8, 11, 13 tai 14). Ne kehitettiin 1970-luvun alkupuolella Ausubelin mielekkään oppimisen teorian sovelluksena. (Novak, 1998).

Käsitekarttojen käytöstä kemian ja yleisesti luonnontieteiden opetuksessa on tehty jonkin verran tutkimusta. Useiden tutkimusten mukaan käsitekarttojen käytöstä on hyötyä kemian opetuksessa sekä luokkahuoneessa että laboratoriossa (mm. Gahr, 2003; Cardellini, 2004; Francisco, Nakhleh, Nurrenbern, & Miller, 2002; Kaya, 2008; Kiliç, Kaya, & Doğan, 2004; Markow & Lonning, 1998; Nicoll, Francisco, & Nakhleh, 2001; Pendley, Bretz, & Novak, 1994; Regis, Albertazzi, & Roletto, 1996; Stensvold & Wilson, 1992; Özmen, Demircioğlu, & Coll, 2009). Esimerkiksi Nicollin et al. (2001) ja Franciscon et al. (2002) mukaan käsitekarttojen käyttö kemian opetuksessa on tehokasta. Heidän tutkimuksessaan käsitekarttoja käyttäneet opiskelijat kykenivät yhdistämään käsitteitä laajemmin jo hallitsemaansa tietorakenteeseen ja pystyivät näin omaksumaan vaativimpia kokonaisuuksia tehokkaammin kuin kontrolliryhmä.

Kokeellisuuden yhteydessä pre- ja post-käsitekarttojen käytön on todettu helpottavan opiskelijoita omaksumaan kokeellisuuteen liittyviä käsitteitä, jotka usein muuten jäävät itse työn suorittamisen varjoon (Kaya, 2008; Markow & Lonning, 1998; Özmen et al., 2009). Käsitekarttojen käytön on todettu myös vaikuttavan suotuisasti opiskelijoiden keskittymiskykyyn laboratorio-olosuhteissa (Stensvold & Wilson, 1992) sekä parantavan motivaatioita kemian opintoja kohtaan (Kiliç et al., 2004).

2.7 Molekyylimallinnus kemian oppimisympäristöissä

Perinteisesti molekyylimallinnuksessa keskitytään työskentelemään yksittäisten molekyylien tai pienten staattisten systeemien parissa. Tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen on yleisesti todettu tukevan kemian opetusta kaikilla opetusasteilla (Aksela & Lundell, 2008). Tietokoneet mahdollistavat submikroskooppisen, symbolisen ja makrotason samanaikaisen visualisoimisen, joka auttaa opiskelijoita muodostamaan yhteyksiä eri tasojen välille ja siten kehittämään mentaalimallejaan. Tutkimusten mukaan molekyylimallinnus tukee useiden kemian käsitteiden opettamista ja oppimista. (esim. Kozma & Russell, 2005; Russell & Kozma, 2005) Lukio-opetuksessa molekyylimallinnusta käytetään eniten molekyylien rakenteiden ja ominaisuuksien tutkimiseen. Pääsyitä molekyylimallinnuksen käytölle ovat uudet tavat havainnollistaa kemiallisia ilmiöitä ja mahdollisuus tarjota opiskelijoille motivoiva ja kiinnostava työväline (Aksela & Lundell, 2008).

Molekyylimallinnuksen on todettu myös tukevan kemian kokeellisuutta. Kozma (2003) raportoi molekyylimallinnusohjelmistojen käytön laboratorioskurssin yhteydessä muun muassa lisäävän keskustelua kokeellisiin töihin liittyen. Kokeellisuuden ja tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen yhdistäminen on kuitenkin vielä harvinaista ja opettajat toivovat siitä enemmän koulutusta (Aksela & Lundell, 2008).

2.8 Animaatiot ja videot kemian oppimisympäristöissä

Animaatiot eroavat molekyylimallinnuksesta visualisoimalla dynaamisia prosesseja. Ne eivät myöskään ole interaktiivisia tai perustu laskennalliseen dataan, vaan edustavat pelkästään mallintajan näkemystä kyseisestä tapahtumasta. Animaatiot ovat siten erittäin herkkiä mallintajan animointitaidoille, mikä tekee pedagogisesti mielekkäiden animaatioiden tekemisestä erittäin haastavaa. Mielekästä oppimista tukevissa animaatioissa i) yhtä tapahtumaa kuvataan alle 60 sekuntia, ii) ymmärtämistä tuetaan tekstillä tai kerronnalla, iii) käyttöliittymä on selkeä ja monipuolinen, mutta silti helppokäyttöinen, iv) sisältö perustuu tutkimuskirjallisuuteen ja v) kokonaisuus on testattu opiskelijoilla ja asiantuntijoilla. Internet tarjoaa paljon animaatioita ilmaiseksi, mutta usein opettajat eivät pysty käyttämään niitä vieraan kielen, sisältövirheiden tai heikon laadun vuoksi. (Burke, Greenbow, & Windschitl, 1998)

Animaatiot ovat tehokkaita työkaluja submikroskooppisen tason muutoksien kuvaamisessa ja niiden on todettu tukevan esimerkiksi kokeellista työskentelyä antamalla opiskelijoille mahdollisuuden keskustella kokeellisesta työstä molekyylitasolla. Animaatioiden vaikutusta oppimiseen on tutkittu muun muassa kemiallisen tasapainon, sähkökemian ja liuoskemian yhteydessä. (Kozma & Russell, 2005) Videoita taas käytetään esitettäessä makrotason muutoksia. Videot ovat aikaasäästävä turvallinen kemian demonstrointiväline (Laroche, Wulfsberg, & Young, 2003).

Velázquez-Marcano, Williamson, Ashkenazi, Tasker, ja Williamson (2004) raportoivat animaatioiden tarkastelun kehittävän opiskelijoiden kemiallisen tiedon kolmeen tasoon liittyviä ajattelutaitoja sekä kehittävän heidän mentaalimalleista dynaamisempia. Tasker ja

Dalton (2006) painottavat korkean laadun ja tarkan suunnittelun merkitystä animaatioista saatavan hyödyn maksimoimiseksi. Velázquez-Marcano et al. (2004) väittävät animaatioiden tukevan oppimista parhaiten näytettäessä yhdessä makrotason videoiden kanssa, kun taas Vermaatin, Kramers-Palsin, ja Schankin (2003) mukaan omien animaatioiden tekeminen tukee oppimista enemmän, kun pelkästään niiden havainnoiminen.

3 Tieto- ja viestintätekniikan hyödyntämiseen liittyvä koulutus kemian opetuksessa

Tässä luvussa luodaan yleiskatsaus koulutukseen liittyviin innovaatioihin ja niiden diffuusioon (ks. luku 3.1) sekä syvennytään tarkemmin TVT:n liittyvään koulutukseen kemian opetuksessa tarkastelemalla tietokoneavusteisen molekyyylimallinnuksen resursseja ja diffuusiota suomalaiseen kemian opetukseen (ks. luku 3.2).

3.1 Koulutukseen liittyvät innovaatiot ja niiden diffuusio

TVT:n hyödyntäminen kemian opetuksessa on innovaatio. Käsitteellä innovaatio kuvataan ilmiötä, johon tietyssä tapauksessa sisältyy esimerkiksi uudenlaisia toiminta- tai ajattelutapoja. (Rogers, 1962, 13) Innovaatioihin liittyy yleisesti tiettyjä mielikuvia. Esimerkiksi yleisesti ajatellaan, että termiä innovaatio käytetään vain todella laajalle levinneistä merkittävistä uudistuksista, vaikka todellisuudessa innovaatio on aina tilannesidonnainen (Denning, 2004) ja voi pienimmillään olla vain uusi idea, jonka yksilö omaksuu käyttöönsä (Rogers, 1962, 13). Innovaatioiden kanssa työskennellessä on tärkeää selvittää: a) mitä ne ovat, b) miten niitä tehdään ja c) miten niitä opetetaan? Denningin (2004) mukaan innovointi on ensisijaisesti koulutuskysymys ja hänen mukaan innovointia voidaan opettaa. Tiivistettynä innovoinnissa on kyse tarpeisiin kehitetyistä ajattelu- ja toimintatavoista. (Denning, 2004)

Koulutukseen liittyvät innovaatiot ovat maailmanlaajuisesti yksi eniten tutkituista innovaatioaloista. Innovaatioiden diffuusio kouluihin on erittäin hidasta, esimerkiksi keskimääräinen yhdysvaltalainen koulu on noin 25 vuotta jäljessä parhaista tarjolla olevista toimintatavoista. Koulutukseen liittyvien innovaatioiden hitaaseen diffuusioon on useita syitä, muun muassa innovaatioiden heikko tieteellinen pohja, diffuusioita edistävien henkilöiden (muutosagentti) puute ja innovaatioiden pieni kaupallinen potentiaali. (Rogers, 1962, 39-43)

Koulutukseen liittyvien innovaatioiden hidas diffuusionopeus näkyy selkeästi myös tarkastellessa esimerkiksi TVT:n diffuusiota suomalaiseen kemian opetukseen viimeisen kymmenen vuoden ajalta. Vuonna 1999 suoritetun ”Kemian opetus tänään” -tutkimuksen mukaan tietotekniikan hyödyntäminen kemian opetuksen tukena oli kemian opettajille uutta. Opettajista vain 7 % käytti TVT:a opetuksessaan ja TVT:n hyödyntäminen kemian opetuksen tukena oli eniten toivottu täydennyskoulutusaihe (38 %). Vuoden 1999 tutkimuksessa painotettiin TVT:n osalta kokeellisuutta ja mittausautomaatiota (Aksela & Juvonen, 1999, 20, 55). Vuonna 2008 sama tutkimus toistettiin päivitettyillä painopistealueilla. TVT:n hyödyntämisaste ja täydennyskoulutukseen liittyvät toiveet olivat pysyneet lähes täysin samoina. Toistetun ”Kemian opetus tänään: Nykytila ja haasteet Suomessa” -tutkimuksen mukaan vain 8 % tutkimukseen vastanneista opettajista hyödynsi TVT:a opetuksessaan, mutta samalla vain 7 % mainitsi sen tärkeäksi kemian kurssien kehittämisalueeksi. Tutkimukseen vastanneista opettajista kuitenkin yli kolmasosa toivoi kuitenkin koulutusta TVT:an liittyen (yleinen teknologia 44 %,

mittausautomaatio 43 % ja Internetissä toimivat opetusohjelmat 37 %) (Aksela & Karjalainen, 2008, 73, 83 ja 93)

Tässä tutkimuksessa innovaatioiden diffuusiota koulumaailmaan tarkastellaan opettajien näkökulmasta sekä (I) yksilö että (II) ryhmätasolla. Denningin (2004) mukaan yksilötasolla innovaatiot vaativat omien vahvuuksien ja heikkouksien tiedostamista ja työstämistä, pitkäjänteisyyttä, päättäväisyyttä, verkostoja, yhteistyökykyä, laajanäköisyyttä ja avoimuutta uusille ideoille, kykyä toimia ja saada oma asia kiinnostavasti esille sekä joskus myös uhrautumista. (Denning, 2004)

I. Yksilötasolla innovaatioiden diffuusio etenee taidollisen hierarkian mukaan seitsemässä vaiheessa:

0. **Ei käyttöä:** Ei tietoa, ei diffuusiota.
1. **Orientoituminen:** Innovaatiosta etsitään tietoa.
2. **Valmistautuminen:** Valmistaudutaan ottamaan innovaatio käyttöön.
3. **Mekaaninen käyttö:** Innovaatiota käytetään mekaanisesti tehtävän suoritukseen.
4. **Rutinoituminen:** Käyttäminen on rutiininomaista eikä suuria muutoksia käytäntöihin ole suunnitteilla.
5. **Kehittäminen:** Innovaatiota kehitetään paremman tuloksen aikaansaamiseksi.
6. **Yhteistyö:** Innovaatiota kehitetään verkostoitumisen kautta.
7. **Uudistaminen:** Innovaation voimakas kehittäminen ja soveltaminen. (Hall & Hord, 1987)

II. Ryhmätasolla opettajat taas voidaan jakaa viiteen kategoriaan sen mukaan, miten he suhtautuvat innovaatioihin:

1. **Innovaattorit** (engl. *innovators*): 2,5 % opettajista ovat innovaattoreita, jotka tarttuvat rohkeasti uusiin ideoihin ja edistävät niiden diffuusiota sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla kestäen myös mahdolliset epäonnistumiset.
2. **Varhaiset omaksujat** (engl. *early adopters*): 13,5 % opettajista kuuluu varhaisten omaksujien ryhmään, jotka toimivat paikallisina mentoreina ja ovat usein arvostetussa ja neuvoa-antavassa asemassa omassa työyhteisössä.
3. **Aikainen enemmistö** (engl. *early majority*): Aikainen enemmistö kattaa 34 % opettajista. He omaksuvat uudet ideat hieman keskimääräistä aikaisemmin ja ovat tärkeässä roolissa innovaation suuremman mittakaavan yleistymisessä.
4. **Myöhäinen enemmistö** (engl. *late majority*): Myöhäinen enemmistö (skeptikot) (34 %) omaksuu uudet ideat hieman keskimääräistä myöhemmin. Heidän omaksumisen takana on usein taloudellinen tai sosiaalinen paine ja he tarvitsevat usein vertaistukea innovaation käyttöönotossa.
5. **Viivyttelijät** (engl. *laggards*): Viivyttelijät (16 %) pitävät vahvasti kiinni perinteistä ja suhtautuvat epäluuloisesti innovaatioihin ja innovaattoreihin. Viivyttelijät toimivat kaikista ryhmistä eniten paikallisella tasolla ja yrittävät pysytellä erossa modernistuvasta maailmasta. (Rogers, 1962, 148-192)

3.2 Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen resurssit ja diffuusio suomalaiseen kemian opetukseen

Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen tutkimus on alkanut maailmanlaajuisesti 1980-luvun loppupuolella (ERIC, 2009), kun taas Suomessa vastaavanlainen tutkimus, opettajille suunnatut julkaisut ja molekyylihallinnuskoulutus on alkanut 2000-luvun alkupuolella (Aksela & Lahtela-Kakkonen, 2001; Lundell & Aksela, 2003; Aksela & Lundell, 2007; Aksela & Lundell, 2008).

Mallinnukseen liittyvää kirjallisuutta on runsaasti saatavilla, esimerkiksi kemian opetuksen alan julkaisuissa mallit ovat paljon keskusteltu aihe. *Pikahaku Journal of Chemical Education* lehdestä hakusanalla ”model” tuo 836 malleja käsittelevää artikkelia aina vuodesta 1929 alkaen. Kaikki näistä julkaisuista eivät suinkaan ole tutkimusjulkaisuja, vaan joukosta löytyy tutkimuskirjallisuuden lisäksi myös malleihin liittyviä kilpailuja, ilmoituksia, arvosteluja ja paljon ilmiökohtaisia pedagogisten mallien kuvauksia (JCE, 2009).

Molekyylihallinnuksen käyttö kemian opetuksessa on vähäistä sen mahdollisuuksiin verrattuna. Ongelmana eivät ole opettajien asenteet, vaan tiedot, taidot ja resurssiongelmat. Opettajat suhtautuvat mallinnukseen erittäin positiivisesti ja tiedostavat mallinnuksen mahdollisuudet. Yleisesti voidaan todeta, että tietokoneavusteinen molekyylihallinnus tuo uusia mahdollisuuksia kemian opetukseen jokaisella opetusasteella. (Aksela & Lundell, 2007)

Haasteita molekyylihallinnuksen käyttöön otossa ovat muun muassa mallinnusohjelmien hinta, tietokoneiden määrät ja usein vähäiset tietotekniset taidot, jolloin mallinnuksen liittäminen osaksi opetusta on haastavaa. Myös suomenkielisen opetusmateriaalin puuttuminen ja vähäinen koulutustarjonta vaikeuttavat mallinnuksen siirtymistä opetukseen. (Aksela & Lundell, 2007) Koulupetukseen suunnattua molekyylihallinnuskoulutusta on mahdollisista saada nykyisin täydennyskoulutuksissa sekä kemian aineenopettajan syventävissä opinnoissa Helsingin ja Jyväskylän yliopistoissa.

Tutkimusten mukaan opettajat kaipaavat lisää (vertais)tukea mallinnusohjelmien käyttöön sekä suomenkielistä materiaalia, joka soveltuu peruskoulun opetukseen ja lukion kursseille. Suomenkieliselle molekyylihallinnusta käsittelevälle kirjalle, joka sisältäisi teoriaa ja harjoitustehtäviä esimerkiksi kemialliseen reaktioon, sidoksiin, orbitaaleihin ja isomeriaan liittyen, olisi tarvetta. (Aksela & Lundell, 2007; Aksela, Lundell, & Pernaa, 2008) Tällä hetkellä suomenkielistä, helposti opettajien saatavilla olevaa opetusmateriaalia löytyy vain vähän: Dimensiossa on julkaistu molekyylihallinnusta koulukontekstissa käsittelevä kahdeksanosainen artikkelisarja (Lundell & Aksela, 2003; Lundell & Aksela, 2004a; Lundell & Aksela, 2004b; Lundell & Aksela, 2004c; Lundell & Aksela, 2004d; Lundell & Aksela, 2004e; Lundell & Aksela, 2005; Konschin, 2005). Aiheesta on tehty muutamia opinnäytetöitä Helsingin yliopistossa (esim. Jääskeläinen, 2008; Muurinen & Skarp, 2004; Saloma, 2005; Uusikartano, 2006; Vainio, 2006; Västinsalo, 2009) ja molekyylihallinnuksen tutkimuskirjallisuutta on referoitu suomeksi Kemian opetuksen päivien kokoomateoksessa 2007 (Jalonen et al., 2007). Koulutuksen ja kirjallisuuden lisäksi opettajille on tarjolla Helsingin yliopiston Kemian laitoksen Kemianluokka

Gadolin -oppimisympäristö, jossa yhtenä työskentelyvaihtoehtona on mahdollisuus tutustua opiskelijoiden kanssa molekyylihallinnukseen (Aksela & Pernaa, 2009).

4 Tutkimukset

Tutkimuksissa käytettyjä tutkimusmenetelmiä ovat kehittämistutkimus (engl. *design research*) (ks. luku 4.1.1) ja tapaustutkimus (engl. *case study*) (ks. luku 4.1.2). Tässä luvussa tarkastellaan ensin molempia tutkimusmenetelmiä yleisesti, jonka jälkeen esitellään tutkimuskohtaisesti tutkimusmenetelmät, tutkimustulokset ja johtopäätökset.

Luvussa 4.2 esitellään mielekkäitä kemian verkko-oppimateriaaleja käsittelevä kehittämistutkimus (Pernaa & Aksela, 2008a & Pernaa & Aksela, 2008b) ja luvussa 4.3 monivaiheisen kehittämistutkimuksen ensimmäinen vaihe, jossa tutkitaan kemian opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä TVT:n ja kokeellisuuden mielekkästä yhdistämisestä. Tutkimuksen toinen osa suoritetaan keväällä 2010 (Pernaa & Aksela, 2009). Luvut 4.4 ja 4.5 ovat tapaustutkimuksia, joista luvun 4.4 tutkimuksessa tutkitaan molekyyli mallinnuksen kentälle viemistä mentorikoulutuksen avulla (Aksela et al., 2008) ja luvun 4.5 tutkimuksessa kemian opettajien käsityksiä molekyyli mallinnuksen käytöstä opetuksessa (Pernaa, Aksela, & Lundell, 2009).

Lukujen 4.4 ja 4.5 tapaustutkimukset ovat osa suurempaa kehittämistutkimusta, joka suoritetaan kolmivuotisen *Mielekkästä molekyyli mallinnusta kouluopetukseen* (MMK) -hankkeen yhteydessä. Hanketta käsittelevä kehittämistutkimus tullaan raportoimaan kokonaisuutena hankkeen päätyttyä. Tutkimuksiin 4.2-4.5 liittyvät liitteet 1-13 löytyvät tutkielman mukana olevalta CD-ROMilta.

4.1 Käytetyt tutkimusmenetelmät

4.1.1 Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on tutkimusmenetelmä, joka yhdistää kehittämisen ja tutkimisen sekä teoreettiset ja kokeelliset vaiheet syklisessä prosessissa. Kehittämistutkimus on monimutkainen tutkimusmenetelmä. Sen selittäminen käsitteenä sekä toteuttamisen ja mahdollisuuksien kuvaileminen yksinkertaisesti ja eksplisiittisesti on vaikeaa. Edelson (2002) kuvailee kehittämistutkimuksen toteuttamista ja ominaispiirteitä seuraavasti: Kehittämistutkimus toteutetaan kolmen kysymyksen avulla: i) Miten kehittämisessä edetään?, ii) Mitä tarpeita ja mahdollisuuksia kehittämisellä on? ja iii) Millaiseen tuotokseen kehittäminen johtaa? Näihin kolmeen kysymykseen vastaaminen jakaa kehittämistutkimuksen toteuttamisen kolmeen vaiheeseen: I) kehittämisprosessi (engl. *design procedure*), II) teoreettinen ongelma-analyysi (engl. *problem analysis*) ja III) tuotos/kehittämistulos (engl. *design solution*) (ks. kuva 7). (Edelson, 2002)

- I. Kehittämisprosessivaiheessa suunnitellaan ihmiset ja kehittämisprosessit, joita tarvitaan koko kehittämistutkimuksen suunnittelussa, valmisteluissa, toteuttamisessa, tutkimusprosessin kehittämisessä, tuotoksen testaamisessa, jalostamisessa ja arvioinnissa.

- II. Ongelma-analyysivaiheessa selvitetään kehittämistutkimuksen haasteet, määritetään tavoitteet ja kartoitetaan tarpeet. Tätä vaihetta voidaan kutsua myös tarveanalyysiksi.
- III. Tuotos/kehittämistulos -vaihe on kehittäjien ratkaisu ongelma-analyysissä esiin nousseisiin haasteisiin ja kehittämisprosessin mahdollisuuksien tutkimisesta. Tuotos kehittyy koko ajan tutkimusprosessin edetessä ja kehittäjien tietojen syventyessä. (Edelson, 2002)

Kehittämistutkimus etenee syklisesti kokeellisten ja teoreettisten vaiheiden kautta, minkä vuoksi yllä kuvatut vaiheet ovat keskenään vahvassa vuorovaikutuksessa. Tutkimuksen edetessä suoritetaan koko ajan formatiivista prosessiarviointia, ongelma-analyysia syvennetään ja tuotetta testataan sekä jatkojalostetaan vastaamaan paremmin kehittämistutkimukselle asetettuja tavoitteita (esim. Edelson, 2002). Kehittämistutkimuksen syklit saattavat esimerkiksi koostua pienemmistä tapaustutkimuksista kuten tutkimuksessa Pernaa & Aksela (2009).

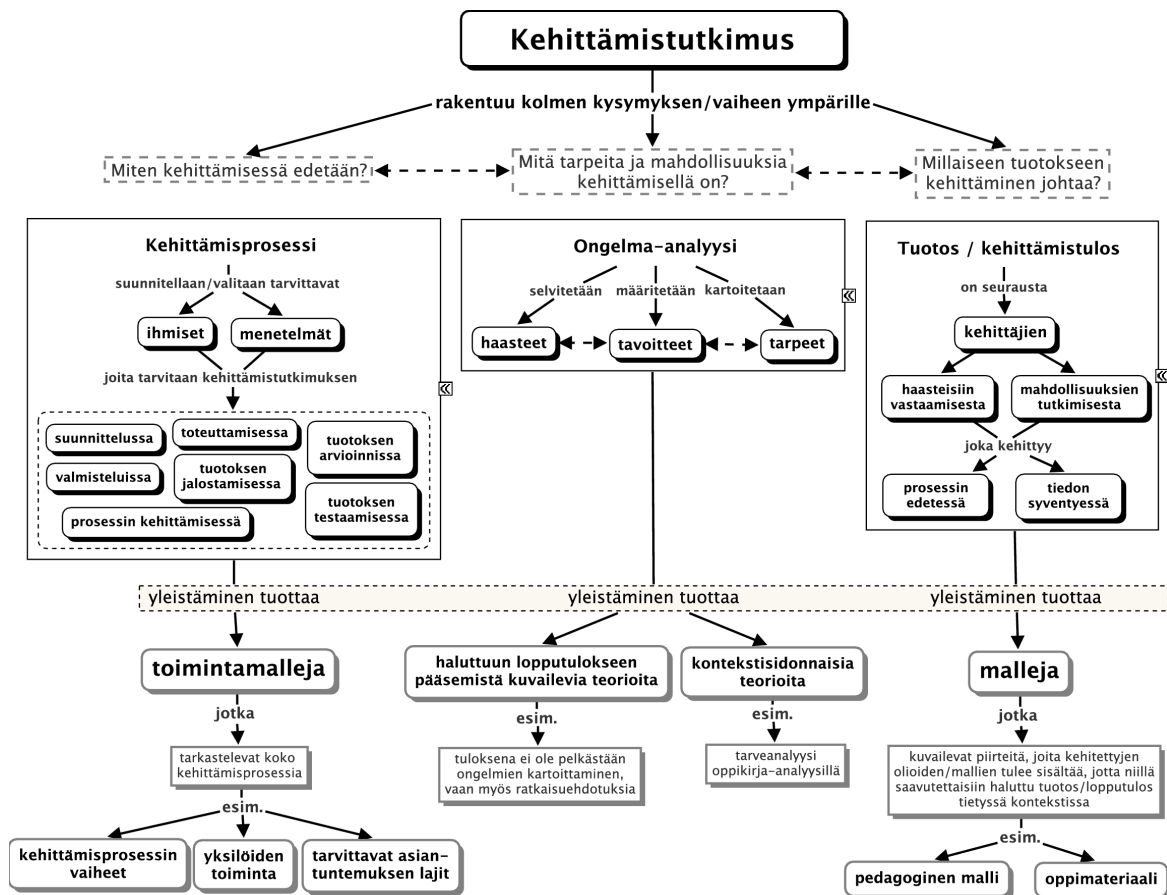
Kehittämistutkimuksesta saadaan kolmenlaista tietoa:

- I. Kehittämisprosessivaihe tuottaa koko kehittämistutkimusta käsitteleviä toimintamalleja, esimerkiksi mitä vaiheita kehittämistutkimus sisältää, miten yksilöt toimivat osana suurempaa kokonaisuutta tai millaisia asiantuntemuksen lajeja tietyssä kehittämiskontekstissa tarvitaan.
- II. Ongelma-analyysivaihe tuottaa ensinnäkin kontekstisidonnaisia teorioita, esimerkiksi tutkimuksessa Pernaa & Aksela (2008a; 2008b) oppikirja-analyysi antoi tietoa, miten hyönteisiin liittyvää kemiaa opetetaan lukiossa, sekä toiseksi teorioita, jotka kuvailevat, miten haluttuun lopputulokseen voidaan päästä. Yllä mainittuun esimerkkiin peilaten, tutkimuksessa Pernaa & Aksela (2008a; 2008b) ongelma-analyysin perusteella tarkennettiin tutkimuskysymyksiä ja varmistettiin tuotoksen kehittämissuunnan vastaavan tutkimukselle asetettuja tarpeita.
- III. Tuotos/kehittämistulosvaihe tuottaa malleja, joiden avulla kehitettyihin oloihin tai malleihin saadaan sisällytettyä ominaisuuksia, joiden avulla saavutetaan haluttu lopputulos tai tuotos tietyssä kontekstissa. Tämä malli voi olla esimerkiksi konkreettinen opetusmateriaali tai pedagoginen malli. (Edelson, 2002)

Kasvatustieteellisen tutkimuksen alalla kehittämistutkimus on suhteellisen nuori tutkimusmenetelmä. Kehittämistutkimuksia on tehty vasta 90-luvun alkupuolelta lähtien. Luonnontieteiden opetuksen tutkimuksen puolella tehtyjä kehittämistutkimuksia ovat esim. Aksela (2005) ja Juuti (2005). Kehittämistutkimus on laajasti arvosteltu tutkimusmenetelmä. Arvostelijoiden mukaan kehittämistutkimuksen heikkoutena on, että se toteutetaan usein kvalitatiivisena pienellä otoskoolla. Se ei siten kuvaa perusjoukkoa niin hyvin kuin kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät perinteisesti korkeatasoiselta tieteelliseltä tutkimukselta odottavat. Kehittämistutkimuksen puolustajat taas argumentoivat kehittämistutkimuksen vahvuuden olevan juuri tutkimustulosten yleistettävyydessä sekä selitysvoimassa, vaikka sen luotettavuutta ei pystytä todistamaan tilastollisesti merkittäväksi. (Edelson, 2002)

Kehittämistutkimuksen yleistettävyyttä ja selitysvoimaa ovat sen käytännöllisyydessä. Se tuottaa käytännönläheistä tietoa jokaisessa vaiheessa. Kehittäjät, eli tutkijat, syvenyvät kehittämisprosessin aikana tutkimuksen prosesseihin, tarpeisiin ja kontekstiin kehittäen samalla omaa osaamistaan kokonaisvaltaisesti. Tuotokset ovat käytännönläheisiä ja toimivia, sillä ne kehitetään todellisissa tilanteissa. Niiden kehittämissykli katkeaa, jos ne eivät toimi. Myös ongelma-analyysi antaa konkreettista kontekstisidonnaista tietoa sekä käytännön ratkaisuja. Vaikka kehittämistutkimuksessa otoskoot ovat usein pieniä, on se aikaavievä ja haasteellinen tutkimusmenetelmä. Korkean luotettavuuden saavuttamiseksi kehittämistutkimuksen toteuttaminen täytyy dokumentoida tarkasti ja arviointia täytyy ylläpitää koko tutkimuksen ajan jokaisessa vaiheessa (Edelson, 2002).

Kuvassa 7 on mallinnettu kehittämistutkimuksen rakennetta eri vaiheiden näkökulmasta huomioiden myös, millaista tietoa kehittämistutkimuksesta saadaan. Kuvan 7 mallissa kehittämistutkimuksen syklinen eteneminen on mallinnettu katkoviivana kuvan yläosan kysymyslaatikoiden välillä.



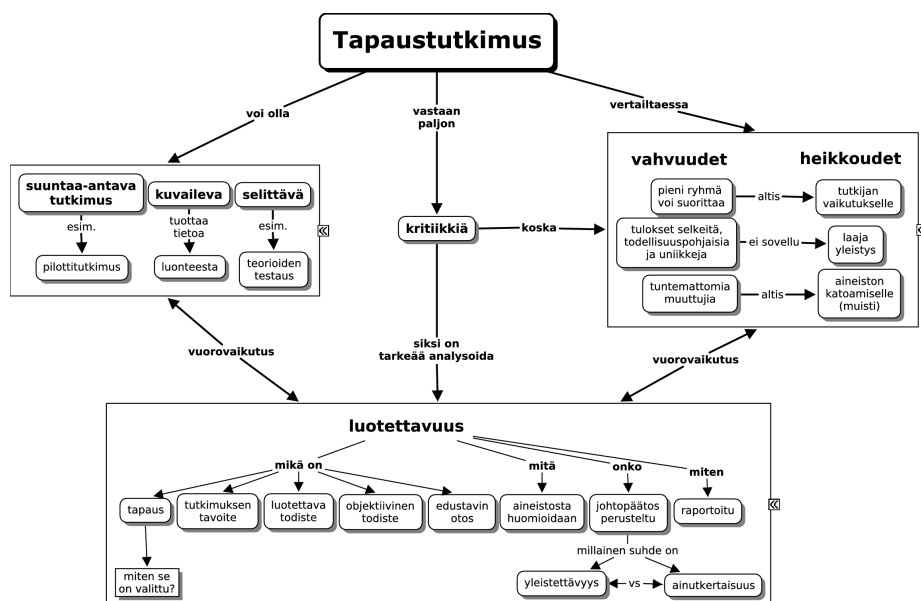
Kuva 7 Kehittämistutkimuksen rakenne ja eteneminen.

4.1.2 Tapaustutkimus

Tapaustutkimuksessa tutkitaan tiettyä tapausta rajatulla otoksella käytännössä. Tapaustutkimus voi olla suuntaa-antava (alustava), kuvaileva tai selittävä tutkimus. Suuntaa-antavassa tapaustutkimuksessa saatetaan esimerkiksi suorittaa pilottivaihe, jonka avulla muodostetaan hypoteeseja ja viimeistellään tutkimuskysymyksiä varsinaista tutkimusta silmällä pitäen. Kuvailevassa tapaustutkimuksessa taas saadaan tietoa tapahtuman luonteesta. Tapaustutkimukselle on ominaista vahva kosketus todellisuuteen, sillä tapaustutkimuksessa tutkittava tapaus on usein aito tilanne. Siksi kuvailevassa tapaustutkimuksessa saatetaan esimerkiksi havaita seikkoja, jotka jäävät suuremmilla otoksilla suoritettavissa surveyssä huomaamatta. Toisaalta, koska tilanne on ainutlaatuinen, ei tuloksia voida sellaisenaan yleistää, muuten kuin toisten alaa tutkivien tutkijoiden käytäntöihin. (Cohen et al., 2007, 253-263)

Tapaustutkimuksen vahvuutena on sen toteutettavuus pienellä ryhmällä (myös yksi tutkija), mutta toisaalta se on juuri siksi altis tutkijan vaikutukselle. Raportoitaessa tapaustutkimusta on erittäin tärkeää kuvailla tutkimusolosuhteet hyvin tarkasti ja välttää liioittelua tai vähättelyä. Tapaustutkimuksen tulokset ovat usein sellaisenaan kansantajuisesti ymmärrettäviä, miksi niitä käytetään tieteen popularisoinnissa ja tiedon levittämisessä laajalle, mutta tutkimusraporttia kirjoitettaessa on syytä välttää kerronnallista otetta. (Cohen et al., 2007, 253-263)

Tapaustutkimuksia ja niiden tieteellistä tasoa kohtaan on osoitettu paljon kritiikkiä, minkä vuoksi tapaustutkimuksessa on tärkeää ylläpitää korkeaa luotettavuustasoa. Tapaustutkimuksen luotettavuustarkastelussa kiinnitetään huomiota itse tapaukseen, miten se on valittu, tutkimuksen tavoitteeseen, aineistoon, data-analyysiin, johtopäätöksiin ja raportointiin. Tapaustutkimus on myös altis aineiston katoamiselle. Tapaustutkimusta analysoidaan usein vasta tutkimustilanteen jälkeen, jolloin osa aineistosta on muistin varassa ja saattaa tämän vuoksi unohtua (ks. kuva 8). (Cohen et al., 2007, 253-263)



Kuva 8 Käsitekartta tapaustutkimuksesta, erityisesti luotettavuutta tarkastellen.

4.2 Tutkimus 1: Mielekäs kemian verkko-oppimateriaali

Tämän kehittämistutkimuksen (Edelson, 2002) tavoitteena oli kehittää opettajille suunnattu hyönteisten kemiaa käsittelevä mielekäs verkkomateriaali.

Tutkimusta ohjasivat kaksi päätutkimuskysymystä:

1. Miten hyönteisten kemiaa opetetaan lukiossa?
2. Minkälainen on mielekäs verkko-opetusmateriaali aiheesta?

Kehittämistutkimus aloitettiin kehittämisprosessivaiheella, jossa suunniteltiin kehittämistutkimuksen käytännön toteuttaminen. Kehittämisprosessivaiheessa laadittiin alustavat suunnitelmat käytännön toteutuksesta, kartoitettiin tutkimuksessa tarvittavia asiantuntijatahoja, tehtiin alustavia resurssivaroja (mm. maksetut postikuoret, serveritila ja atk-tilat). Alustavaa suunnitelmaa päivitettiin ja uudelleenjärjestettiin tutkimuksen aikana. Itse käytännön toteutus koostui neljästä vaiheesta: I) tarveanalyysi (ongelma-analyysi), II) oppimateriaalin tekeminen (tuotos), III) sen arviointi (ongelma-analyysi) ja IV) oppimateriaalin jatkokehittäminen (tuotos).

4.2.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Tutkimuksen tarveanalyysissä analysoitiin 23 lukion kemian oppikirjaa sekä kolme yliopiston kemian peruskurssien oppikirjaa aineistolähtöisen sisällönanalyysin metodein (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 108-113). Tarveanalyysistä etsittiin vastausta ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, jonka avulla kehitettävä materiaali pystyttiin rajaamaan.

Materiaalin arviointi suoritettiin syksyllä 2007 MAOL ry:n syyspäivien ja Luma-Keskuksen molekyylihallinnuspajojen yhteydessä. Arviointiin osallistui yhteensä 17 kemian opettajaa ja opiskelijaa. Vastaajille jaettiin täytettäväksi kyselylomakkeet, jonka jälkeen he saivat aikaa tutustua verkkomateriaaliin ja täyttää lomakkeet tai viedä lomakkeen mukanaan ja postittaa valmiiksi maksetulla postikuorella jälkikäteen. Vastaajilla oli kyselyn täytön aikana mahdollisuus esittää tutkijalle kysymyksiä materiaaliin ja materiaalin kehittämisprosessiin liittyen.

Kyselylomake (ks. CD-ROM, Liite 1) koostui 25 osiosta ja kuudesta mittarista: (I) Taustatiedot ja ennakkokäsitykset, II) Verkkomateriaalin ulkoasu, III) Verkkomateriaalin sisältö, IV) Käsitekartat, V) Käyttömukavuus ja VI) Vapaa palaute tutkijalle. Kaikki mittarit sisälsivät sekä suljettuja että avoimia osioita, pl. mittari VI, jossa oli pelkästään avoin vastausalue. Taustatietomittarin suljetut osiot olivat luokitteluasteikollisia, joissa oli jätetty myös tilaa perusteluille, pl. järjestysasteikollinen opetuskokemosio (ks. CD-ROM, Liite 1, osio 3). Muiden mittareiden suljetut osiot olivat viisiportaisia mitta-asteikkoja, joissa oli niin ikään jätetty tilaa avoimille perusteluille. Aineistosta laskettiin frekvenssit (f) ja keskiarvot (ka) sekä niiden lisäksi tulokset osiossa esitetään vastaajien avoimia vastauksia positiivisista ja kehitettävistä asioista. Avoimet vastaukset löytyvät CD-ROMin liitteestä 13.

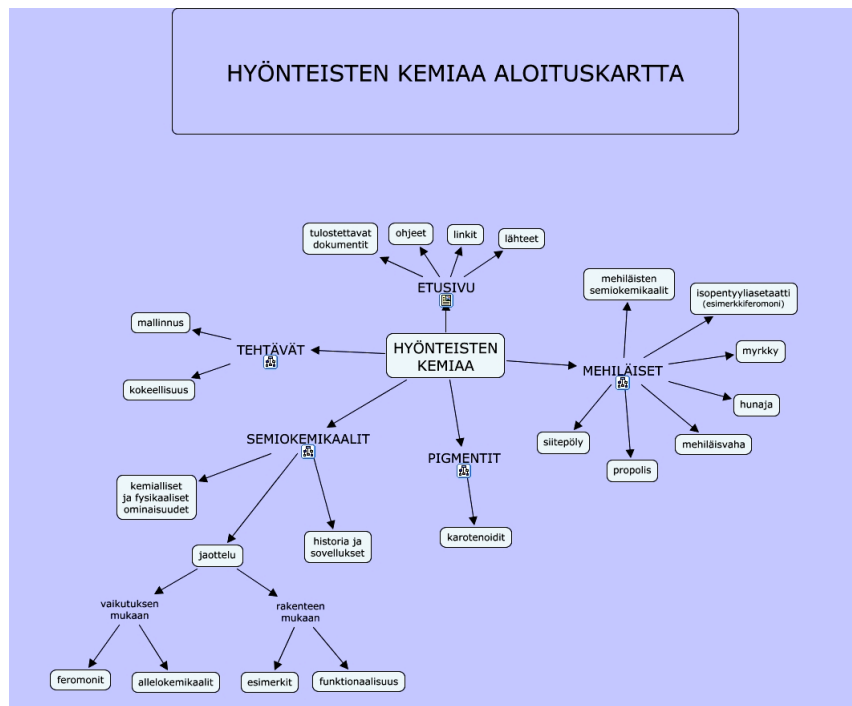
Kyselyyn vastaajat olivat pääosin kokeneita opettajia. 76 % vastaajista oli yli 15 vuotta opetuskokemusta. Vastaajat suhtautuivat ennakkoon suhteellisen positiivisesti verkkotyöskentelyyn. Heistä 59 % koki työskentelyn verkkoympäristössä mielekkääksi. Suurin osa opettajista ajatteli myös oppilaiden pitävän tietokoneperustaisesta opiskelusta. Opettajien suhtautuminen käsitekarttoja kohtaan jakoi vahvasti mielipiteitä. Vain 18 % vastanneista käytti käsitekarttoja opetuksessaan usein, 41 % käytti käsitekarttoja hyödyksi omassa opiskelussaan ja 65 % uskoi käsitekarttojen tehostavan oppimista.

4.2.2 Tulokset

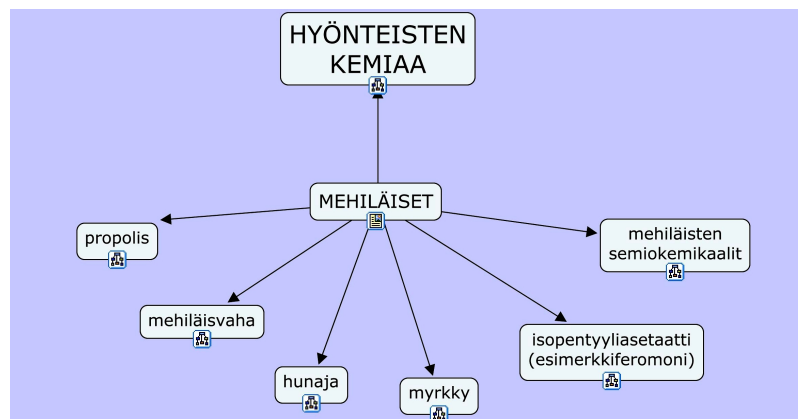
4.2.2.1 Kehitetty verkkomateriaali

Verkkomateriaalin rakentamisessa kiinnitettiin huomiota erityisesti sivuston sisältöön, ulkoasuun, rakenteeseen ja navigoimiseen. Tarveanalyysissä tutkituista 26 oppikirjasta 14 esiintyi hyönteisten kemiaa. Hyönteisten kemiasta näkyvimmin oli esillä semiokemikaalit ja yksittäisistä hyönteisistä mehiläisiin liittyvä kemia. Hyönteisten kemiassa kolme eniten esiintyvää kemian aihealuetta olivat orgaanisten yhdisteiden luokittelu, luonnonaineet ja sidoksiin liittyvä kemia. Tarveanalyysin pohjalta materiaalin sisältö rajattiin eniten esiintyviin semiokemikaaleihin ja mehiläisten kemiaan. Kemian aihealueista yleisimmäksi noussut orgaanisten yhdisteiden luokittelu sisällytettiin materiaalissa semiokemikaalien alle ja luonnonaineista valittiin esimerkiksi hyönteisissä esiintyvät pigmentit. Tarveanalyysiin liittyvää sisällönanalyysiä ei käsitellä tässä tutkielmassa tarkemmin. Sisällönanalyysin tulokset ja litterointi ovat nähtävissä Hyönteisten kemiaa lukion kemianopetuksessa Pro gradu -tutkielmasta (ks. Pernaa, 2008).

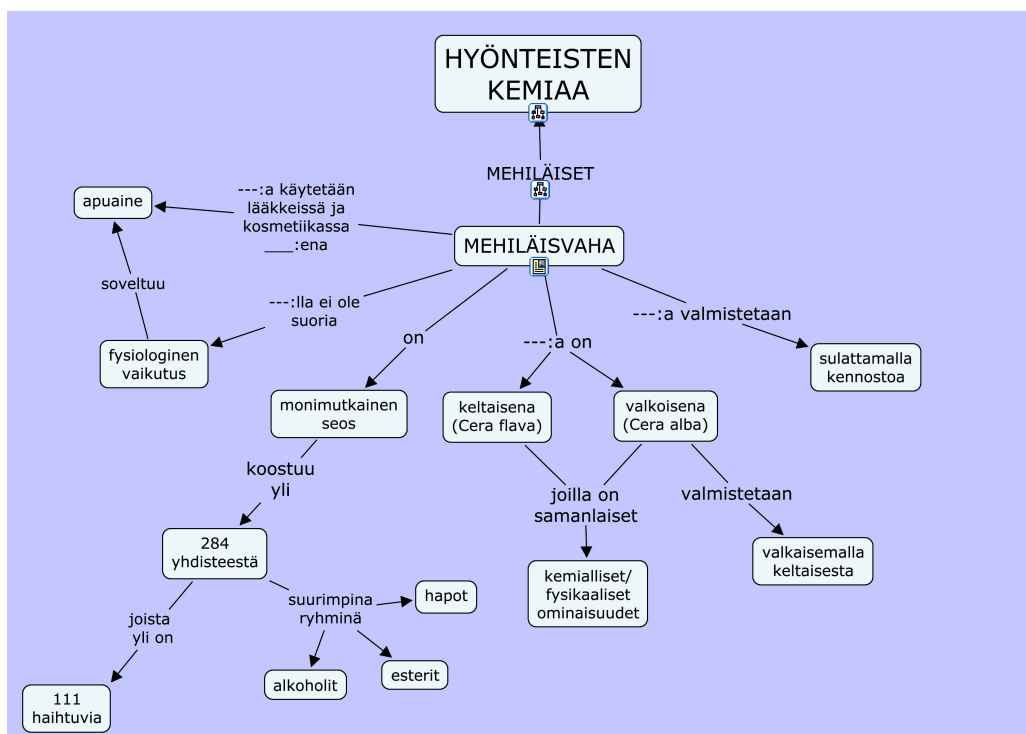
Materiaalin rakenne koostuu karttasivuista (ks. kuvat 9 ja 10), käsitekartoista (ks. kuva 11) ja tekstisivuista (ks. kuva 12). Kehitetyn materiaalin tavoitteena on toimia sekä esijärjestimenä ja kertaustyökaluna (käsitekartat) että aiheen syvemmissä opiskelussa (tekstisivut). Mielekkään oppimisen teorian mukaisesti materiaalin käsitekartoista rakennettu navigointijärjestelmä ei kannusta lukijaa opiskelemaan ulkoa vaan rakentamaan omaa tietorakennettaan mielekkäästi käyttäen kokonaisuuksien hahmottamiseen ja kertaamiseen käsitekarttoja sekä tiedon syventämiseen tekstisivuja (Novak, 1998). Kuvat 9-12 esittävät materiaalin navigointireitin tiedon syvenemisen mukaan. Käsitekartat ovat tehty *Cmap tools* -ohjelmalla (ks. <http://cmap.ihmc.us/>).



Kuva 9 Verkkomateriaalin karttasivu: sisällysluettelo.



Kuva 10 Verkkomateriaalin karttasivu: mehiläiset.



Kuva 11 Verkkomateriaalin käsitekartta: mehiläisvaha.

Takaisin käsitekarttaan

MEHILÄISVAHA

OMINAISUUDET JA KOOSTUMUS

SOVELLUKSET

Vahat ovat pitkäketjuisten karboksyylihappojen ja pitkäketjuisten alkoholin 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.

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

Kuva 12 Verkkomateriaalin tekstisivu: mehiläisvaha.

Mielekkään oppimisen teoria huomioitiin materiaalin kehittämisessä myös kytkemällä sisältö mielenkiintoiseen hyönteisten kemian kontekstiin, mikä Gilbertin (2006) mukaan nostaa materiaalin mielekkyyttä ja opiskelijan motivaatiota. Lisäksi tekstisivut sisältävät opiskelijan ymmärtämistä tukevia animaatioita. Kuvien avulla materiaalista pyrittiin tekemään visuaalisesti korkeatasoinen. Materiaalin aktiivisuutta ja käytettävyyden monipuolisuutta lisäävät interaktiiviset molekyyli mallit ja tehtäväosion harjoitustyöt.

Verkkomateriaalia kehitettiin edelleen opettajien vastauksien myötä. Kehitetyn versio löytyy vain englanninkielisenä. Viimeisimmän palautteen myötä, suurimmat muutokset tehtiin navigointijärjestelmän selkeyttämiseen ja käyttäjän vapauden lisäämiseksi. Verkkomateriaali on vapaasti opettajien käytettävissä osoitteessa:

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/hyonteistenkemiala/>.

4.2.2.2 Kehitetyn verkkomateriaalin arviointi

Materiaali arvioitiin kyselylomakkeella käyttämällä viisiasteista mitta-asteikkoa, jossa 1=välttävä, 2=tyydyttävä, 3=hyvä, 4=kiitettävä ja 5=erinomainen. Kyselyssä arvioitiin materiaalin ulkoasu, sisällön laajuus ja taso, käsitekarttojen selkeys ja hyödyllisyys oppimisen suhteen sekä sivuston käyttömukavuus.

Opettajat ottivat materiaalin hyvin vastaan. Kaikkien arvioitavien osa-alueiden keskiarvot olivat melko korkeat (ks. taulukko 1). Materiaalin ulkoasua ja kuvia pidettiin onnistuneina. Sisällön laajuus koettiin kiitettäväksi (ka. 4,0) ja kemian taso arvioitiin myös kiitettäväksi (ka. 4,3), tosin avoimessa palautteessa osa koki sen liian haasteelliseksi lukiolaisille. Yli 70 % (f=12, vähintään kiitettävä (=4) mitta-asteikossa) vastaajista piti käsitekarttoja tärkeänä verkkomateriaalin rakenteen kannalta (ka. 3,8). 18 % opettajista koki materiaalin olevan liian laaja ja käsitekarttoja olevan liikaa (1 tai 2 mitta-asteikossa). Vastanneista 88 % koki käsitekartat oppimisen kannalta hyödylliseksi (4 tai 5 mitta-asteikossa).

Käyttömukavuus jakoi mielipiteitä. Käyttömukavuus sai keskiarvon 3,6 ja pääosin positiivista palautetta, mutta 18 % (f=3, 1 tai 2 mitta-asteikossa) vastaajista piti sivustoa rakenteeltaan hajanaisena ja navigointiominaisuuksiltaan hankalana. Osa vastaajista koki *Cmap Tools* -karttojen linkkien avaamisen käyttömukavuuden kannalta negatiiviseksi piirteeksi, koska linkkien avaamiseen tarvitaan kaksi hiiren klikkausta.

Taulukko 1. Opettajien vastaukset, (N=17).

Arvioitava alue	f					ka.
	1	2	3	4	5	
Sisällön laajuus	0	1	3	8	5	4,0
Kemian taso	0	0	3	6	8	4,3
Rakenne	1	2	2	6	6	3,8
Käsitekarttojen hyödyllisyys oppimisen suhteen	0	0	2	10	5	4,2
Käyttömukavuus	1	2	3	7	4	3,6

Vastaajien avoimia kommentteja:

Positiivisia:

- (V3) *“Monipuolinen, selkeä ja helppo navigoida.”*
- (V3) *“Tuntuisi, että oppiminen tehostuu.”*
- (V5) *”Käytännön läheinen, monipuolinen, kromatografiaa ja spektrometriaa.”*
- (V17) *“Mielenkiintoinen tapa jäsentää asiaa, käsitekarttana, ei huku tekstiin.”*
- (V10) *”Käsitekartat selventävät rakennetta”*

Kehittämistoiveita:

- (V11) *“Kokonaiskuva jäi muodostumatta, paljon sirpaletietoa, käsitekarttoja on liikaa.”*
- (V9) *“Navigoinnissa Cmap-kartta on ongelmallinen.”*
- (V11) *”Taso liian vaikea lukiolaiselle, mutta kemiallisesti tietysti erinomainen.”*
- (V3) *“Ehkä tieto on välillä melko yksinkertaista, mutta oppilaat ovat yksinkertaisia.”*
- (V5) *“Vaikeahko soveltaa pelkkään kemiaa. Onko materiaali liian laaja?”*

4.2.3 Johtopäätökset ja pohdinta

Kehittämistutkimuksen päätuloksena saatiin mielekäs verkko-opetusmateriaali lukion kemian opetukseen. Tarveanalyysin pohjalta verkkomateriaalin painopistealueiksi valittiin semiokemikaalit ja pigmentit. Esimerkkihyönteisiksi valittiin mehiläiset, niiden kemiallisen monimuotoisuuden vuoksi. Materiaali rakennettiin Jonassenin (1999) määrittelemien mielekkään verkko-oppimisen kriteerien mukaisesti kehittämistutkimuksen käytännöllisyysnäkökulma huomioiden. Verkkomateriaalin tavoitteena oli sellaisenaan toimia myös opettajien laajana hyönteisten kemian materiaalipankkina. Jonassenin (1999) esittämien mielekkään verkko-oppimisen kriteereistä, kehittämisessä korostettiin voimakkaimmin konstruktivisuutta, kontekstuaalisuutta ja aktiivisuutta.

Tutkimukseen osallistuneet opettajat ottivat verkkomateriaalin hyvin vastaan. He pitivät verkkomateriaalin kemian tasoa kiitettävänä ja riittävän laajana, osa jopa hieman liian laajana. Tarkastellessa materiaalin tavoitetta toimia laajana materiaalipankkina, ei materiaalin määrä ole kuitenkaan ongelma. Kemian tason soveltuvuus lukiolaisille jakoi vahvasti mielipiteitä. Osan mielestä taso oli liian vaativa ja toisen ääripään mielestä kemia on osalle lukiolaisista liian yksinkertaista.

Vastausprosessin aikana kemian opettajien asenteet käsitekarttoja kohtaan muuttuivat positiivisemmiksi. Ennakkokäsitysten mukaan 65 % opettajista piti käsitekarttoja oppimisen suhteen hyödyllisinä, mutta verkkomateriaaliin tutustumisen jälkeen 88 % opettajista arvioi käsitekarttojen hyödyllisyyden oppimisen suhteen kiitettäväksi ($f=15$, vähintään 4 tai 5 mitta-asteikossa). Käsitekartat sopivat vastaajien mielestä verkkomateriaalin navigointityökaluksi. Yli 70 % piti käsitekarttoja selkeinä sekä tärkeinä verkkomateriaalin rakenteen hahmottavana tekijänä. Myös aikaisimpien tutkimusten mukaan käsitekartat on todettu hyödyllisiksi sekä verkkoympäristössä (vrt. Carnot et al., 2001) että kemian oppimisessa (vrt. Gahr, 2003; Cardellini, 2004; Francisco et al., 2002;

Kaya, 2008; Kiliç et al., 2004; Markow & Lonning, 1998; Nicoll et al., 2001; Pendley et al., 1994; Regis et al., 1996; Stensvold & Wilson, 1992; Özmen et al., 2009).

Opettajat antoivat käsitekarttojen käyttöön kehittämisideoita. 18 % (f=3) vastaajista koki, etteivät käsitekartat sovellu verkkoympäristöön. Osa opettajista koki *Cmap Tools* –ohjelmalla tehdyt käsitekartat hankaliksi navigoida linkistä etenemiseen tarvittavan kahden klikkauksen vuoksi, mutta kahdella klikkauksella ei ole tekemistä arvioidessa käsitekarttojen sopivuutta verkkomateriaalien navigointi- tai oppimistyökaluna. *Cmap Tools* –ohjelmassa tarvitaan kaksi klikkausta linkistä etenemiseen sen vuoksi, että saman linkki-ikonin alle voidaan sisällyttää halutessa useampia linkkiresursseja. Tämä toiminto on juuri valitun ohjelman vahvuuksia ja se vaikutti vahvasti ohjelman valintaan.

Tutkimuksen heikkoutena on vastaajien joukon pieni koko (N=17), vaikka laadullisen tutkimuksen otoksen ei kovin suuri tarvitsekaan olla. Huomioitavaa on myös, että osa vastaajista koki materiaalin olevan niin laaja, että hyvää arviointia ei pystynyt suorittamaan niin lyhyessä ajassa. Tutkimuksen luotettavuutta parantaa arvioinnin suorittaminen useampana tutkimuspäivänä sekä kentältä tullut avoin positiivinen ja käyttäjäystävällinen sähköpostipalaute.

Tutkimus tuo esille useita lisätutkimusaiheita. Tärkeää olisi tutkia materiaalia opettajien käytössä koulussa: Mitä opettajat käyttävät materiaalista? Ja miten he käyttävät materiaalia? Myös verkkomateriaalin vaikutusta kemian mielekkääseen oppimiseen opiskelijoiden näkökulmasta olisi tärkeää tutkia. Tutkimustulokset osoittavat kehitetyn verkkomateriaalin mallin täyttävän mielekkään kemian oppimisen asettamat kriteerit, mikä kannustaa jatkotutkimuksiin tässä aihepiirissä. Tämä kehittämistutkimus on raportoitu julkaisuissa I (Pernaa & Aksela, 2008a) ja II (Pernaa & Aksela, 2008b)

4.3 Tutkimus 2: Kemian opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä kokeellisuuden ja tieto- ja viestintätekniikan mielekkästä yhdistämisestä

Tässä luvussa raportoidaan ensimmäinen osa kehittämistutkimuksesta, jossa tutkitaan TVT:n ja kokeellisuuden mielekästä yhdistämistä sekä kehitetään pedagogisia malleja, joiden avulla kehitettyjä oppimisympäristöjä pystytään viemään osaksi koulujen kemian opetusta. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää kemian mielekästä oppimista tukevia TVT:a ja kokeellisuutta yhdistäviä oppimisympäristöjä ja tutkia opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä, miten ne vaikuttaisivat kemian oppimiseen.

Kehittämistutkimus eteni suuntaa-antavina tapaustutkimuksina (Cohen et al., 2007, 253-263), joissa etsittiin vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Millainen tarve mielekkäiden tieto- ja viestintätekniikkaa ja kokeellisuutta yhdistävien oppimisympäristöjen kehittämislle on?
2. Millainen oppimisympäristö mahdollistaa tieto- ja viestintätekniikan ja kokeellisuuden mielekkään yhdistämisen?
3. Millainen vaikutus tieto- ja viestintätekniikan ja kokeellisuuden mielekkäällä yhdistämisellä on kemian oppimiseen?

4.3.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Oppimisympäristöjen kehittäminen toteutettiin Helsingin yliopiston Kemian laitoksen kemian aineenopettajaopintojen syventävän Kokeellisuus kemian opetuksessa (KOKE) II -kurssin yhteydessä kevään 2009 aikana. Kehittäjinä toimivat kurssille osallistuneet kemiaa pääaineenaan ja toisen aineenaan opiskelevat opettajaopiskelijat (N=21). Opiskelijat jakautuivat kurssilla viiteen TVT-ryhmään omien kiinnostustensa mukaisesti. Valittavat TVT-ryhmät olivat 1) animaatiot ja simulaatiot, 2) tietokoneavusteiset käsitekartat, 3) tietokoneavusteinen molekyyli mallinnus, 4) videot ja 5) mittausautomaatio (rajattu pois tästä tutkimuksesta). Opiskelijoilla oli tehtävänantona kehittää TVT-ryhmissä kokeellinen työ, jossa oppimista ja opetusta tuetaan TVT:n avulla. Kehittämistyölle annettiin tehtävänannossa kolme huomioitavaa haastetta: i) kehittämisen täytyi pohjautua tutkimuskirjallisuuteen, ii) työn kontekstin ja käsiteltävän ilmiön täytyi pohjautua opetussuunnitelmien perusteisiin ja iii) kehittämisessä täytyi huomioida töiden siirrettävyys koulun arkeen. Tutkijat toimivat kurssin opettajina ja kehittämistutkimuksen koordinaattoreina. He koordinoivat koko kehittämisprosessin päälinjat (tavoitteet, sisällöt ja aikataulut) ja antoivat tukea TVT:n teknisen toteutukseen, työn pedagogiseen toteutukseen ja teoriapohjan rakentamiseen.

Kehittämisprosessi koostui kolmesta vaiheesta:

- Vaihe 1:* Ryhmät tutustuivat tutkimuskirjallisuuteen ja opetussuunnitelmien perusteisiin, kehittivät työstä ensimmäisen version ja testasivat sitä käytännössä.
- Vaihe 2:* Ryhmät esittivät ensimmäisen version muille kurssilaisille seminaarissa, testasivat kahden muun ryhmän työtä ja kirjoittivat niistä vertaisarvioinnit. Lopuksi he jatko kehittivät omaa työtä muiden antamien vertaispalautteiden perusteella.
- Vaihe 3:* Ryhmät vetivät kaksi työpajaa omiin töihinsä liittyen Kemian opetuksen päivillä 2009. Työpajoissa ryhmillä oli 10-15 minuuttia aikaa esitellä työtään työpajaan osallistuneille opettajille ja opiskelijoille, jonka jälkeen keskustelulle oli varattu aikaa 5-10 minuuttia.

Materiaalien arviointi suoritettiin analysoimalla tuotokset (ks. CD-ROM, Liitteet 2-5), havainnoimalla työpajojen keskustelua sekä suorittamalla työpajojen yhteydessä kyselytutkimus. Kyselylomake (ks. CD-ROM, Liite 6) koostui viidestä mittarista ja 19 osiosta. Lomake sisälsi sekä avoimia että suljettuja kysymyksiä. Suljetuista kysymyksistä laskettiin frekvenssit ja keskiarvot. Niiden mittaustaso vaihteli järjestämisen ja mittaamisen välillä. Avoimista kysymyksistä (ks. CD-ROM, Liite 7) ja havainnoista (ks. CD-ROM, Liite 8) etsittiin pääteemoja aineistolähtöisen sisällönanalyysin metodein (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 108-113). Ryhmien tuotoksia analysoitiin myös kirjoittamalla sisällöstä tiivistelmät, joista nostettiin esiin keskeisiä mielekkäiden oppimisympäristöjen piirteitä (ks. taulukko 2).

Kyselyyn vastasi 27 opettajaa ja opiskelijaa ($N_{\text{mies}}=13$ ja $N_{\text{nainen}}=14$), joista 19 toimi opettajina ja kahdeksan vielä opiskeli. Heistä 69 % oli opiskellut kemiaa pääaineenaan.

Matematiikka oli suosituin toinen aine ($f=14$), fysiikka toiseksi ($f=12$) ja tietotekniikka kolmanneksi suosituin ($f=5$). Opettajien opetuskokemus vaihteli yhden ja 20 vuoden väliltä ($f_{0-5}=6$, $f_{6-10}=3$, $f_{11-15}=5$, $f_{16-20}=1$ and $f_{yli\ 20}=4$). Opettajat opettivat peruskoulussa ($f=3$), lukiossa ($f=6$), sekä lukiossa että peruskoulussa ($f=5$), ammattikorkeakoulussa ($f=2$) ja kolme heistä toimi satunnaisesti sijaisena.

Kyselyyn vastanneet opettajat ja opiskelijat totesivat kokeellisen työskentelyn olevan yleinen työtapa omassa opetuksessaan. Resursseista riippuen, heistä 23 % ($f=6$, $N=26$) käytti kokeellista työskentelyä joskus ja 46 % ($f=12$, $N=26$) usein. He kokivat kokeellisuuden olevan olennainen tekijä kemian opetuksessa ja heidän mukaansa kokeellisuudella on myös opiskelijoita motivoiva vaikutus, mikä nostaa kiinnostusta kemiaa kohtaan.

- (V2) *“Kokeellisuus on tärkeää, sillä se kehittää havainnointia, luonnontieteellistä ajattelua ja motivoi oppilaita.”*
- (V3) *“Kemiaa ei voi oppia ilman kokeellista työskentelyä.”*
- (V5) *“Aina ei ole käytettävissä laboratorioluokkaa.”*
- (V7) *“Kokeellisuus on tärkeää sekä oppimisen, että motivoinnin kannalta.”*

4.3.2 Tulokset

4.3.2.1 Tieto- ja viestintätekniikkaa ja kokeellisuutta mielekkäästi yhdistävien oppimisympäristöjen kehittämisen tarve

TVT oli vastaajille tuttu työväline. Heistä 48 % ($f=13$, $N=27$) hyödynsi TVT:a opetuksessaan päivittäin. TVT:a ei kuitenkaan hyödynnetty kokeellisen työskentelyn tukena. Vain 8 % ($f=2$, $N=26$) heistä yhdisti TVT:n ja kokeellisuuden usein ja 46 % ($f=12$, $N=26$) vähän. Vastaajista 23 % ($f=6$, $N=26$) ei ollut koskaan käyttänyt TVT:a kokeellisuuden tukena.

Pääsyyt kokeellisuuden ja TVT:n vähäiseen yhdistämiseen olivat i) taidon puute, ii) ohjelmistojen puute tai iii) ajan puute. Vastaajat kertoivat olevansa halukkaita yhdistämään niitä enemmän tulevaisuudessa. Vastaajat olivat samaa mieltä (26 %, $f=7$, $N=27$) ja täysin samaa mieltä (67 %, $f=18$, $N=27$), että TVT:a ja kokeellisuutta mielekkäästi yhdistävien oppimisympäristöjen tarve on suuri.

- (V5) *“Ne monipuolistaisivat opetusta.”*
- (V7) *“Mitä enemmän on hyödyllisiä ympäristöjä, sitä paremmat perusteet on parantaa resursseja.”*
- (V7) *“Monen koulun resurssit ovat liian vähäiset (aika, tieto ja taito), haluaisin käyttää enemmän”.*
- (V25) *“Riippuu kokeellisesta työstä ja ajankäytöstä.”*

4.3.2.2 Tieto- ja viestintätekniikkaa ja kokeellisuutta mielekkäästi yhdistävän oppimisympäristön piirteitä

Tässä luvussa esitellään TVT-ryhmien kehittämät oppimisympäristöt pääpiirteittäin, vastaajien arviointi sekä niistä esille nostettuja mielekkään oppimista tukevia tekijöitä (ks. taulukko 2).

Taulukko 2. Kehitettyjen oppimisympäristöjen arviointi.

Ryhmä	Oppimisympäristön kuvaus / arviointi	Mielekkään oppimisen ja opetuksen piirteet
	Käsitekartat ja happo-emäs kemia (ks. CD-ROM, Liite 2)	
1	Oppimisympäristön tavoitteena on opettaa oppilaille käsikartoitusta sekä syventää heidän tietojaan happojen ja emästen kemiasta. Ryhmä käytti työssään kontekstuaalista lähestymistapaa, jossa he sitoivat hapot ja emäkset elinympäristön kemiaan. Työssä on tarkoitus on työskennellä ryhmissä: Oppilaat jaetaan ensin ryhmiin, jossa he työstävät ensimmäisen käsitekarttaversioiden annettujen käsitteiden avulla. Käsitekartoituksen jälkeen, ryhmät suorittavat työn kokeellisen osion ja kehittävät kartojaan kotiryhmissä. Lopuksi, kaikkien ryhmien kartoja työstetään yhteisesti opettajan johdolla. Tämä oppimisympäristö on suunnattu yläkoululaisille. Käsitekarttojen tekoon käytettiin Cmap tools 5.03 -ohjelmistoa. Vastaajat kokivat käsitekartat hyödyllisiksi mallinnettaessa käsiterakenteita ja muodostaessa kokonaiskuva. He myös mainitsivat työpajan koontikeskusteluissa, että olisi mielenkiintoista rakentaa työohjeita käsitekartan muotoon. (V4) <i>“Käsitekartta auttaa kokonaisuuden ymmärtämiseen.”</i> Liukoisuuden mallintaminen (ks. CD-ROM, Liite 3) Ryhmä 2 yhdisti molekyylihallinnuksen ja kokeellisuuden tavoitteena tukea liukoisuuden oppimista. Aktiviteetti on suunnattu yläkoululaisille. Työssä opetetaan analysoimaan mallinnuksen avulla makrotason havaintoja molekyylitasolla. Harjoitus koostuu kolmesta vaiheesta: 1) oppilaat testaavat laboratoriossa, miten erilaiset aineet liukenevat, 2) havainnointi ja keskustelu 3) ilmiön mallintamista tietokoneilla ja keskustelua. Ryhmä 2 käytti mallinnukseen Spartan student 03 -ohjelmistoa.	• kontekstuaalisuus • metakognitiivisuuden tukeminen • yhteistoiminnallisuus • ryhmätyö • visualisointi • analysointi • keskustelu • selitys • arviointi • havainnointi • visualisointi
2	Vastaajien mielestä tietokoneavusteinen molekyylihallinnus on erittäin tärkeä elementti kokeellisen työskentelyn tueksi, mutta osan mielestä suuret luokkakoot tekevät vastaavanlaisten harjoitusten toteuttamisen mahdottomaksi todellisessa koululuokassa. Tutkimuksessa nousi esille myös vähäiset resurssit, esimerkiksi kaupallisia ohjelmistoja ole mahdollista hankkia. Jotkut opettajat totesivat, että eivät edes tiedä, mistä ohjelmistoja voisi ostaa. (V10) <i>“Toistaiseksi, monia hyviä oppimisympäristöjä ole tiedossa, mutta nämä auttavat opetuksessa”</i> (V23) <i>“Tarvitaan lisätietoa ohjelmistojen käytöstä.”</i> (V27) <i>“Kouluissa ei ole mallinnusohjelmia, sillä ne ovat kalliita.”</i> (V27) <i>“Näistä oppimisympäristöistä on todellisuus kaukana. Ison ryhmän kanssa mahdotonta toteuttaa.”</i>	

Animaatiot ja kokeellisuus: Natriumkloridin liukeneminen veteen (ks. CD-ROM, Liite 4)

Animaatioryhmä teki lyhyen ruokasuolan (NaCl) veteen liukenemista kuvaavan animaation. He lähestyivät tehtävää tutustumalla tarkasti aiheen tutkimuskirjallisuuteen ja tekivät pienen oppikirja-analyysin yläkoulun kemian oppikirjoista. Animaation he tekivät Chemsense animator -ohjelmistolla. He olisivat voineet tyytyä myös valmiisiin verkosta löytyviin animaatioihin, mutta he halusivat osoittaa, miten helppoa Chemsensellä on tehdä omia animaatioita ja siten kannustaa opettajia kokeilemaan sitä oppilaiden kanssa. He esittivät opettajille myös linkkipankin verkosta löytyvistä animaatioista.

- 3 Vastaajat kokivat animaatiot erittäin hyödyllisiksi kokeellisen työn rinnalle, sillä ne • helppo käyttää
visualisoivat molekulaarista tasoa. He arvostivat Chemsense -ohjelmistoa ilmaisen • ilmainen
hinnan ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Opettajat keskustelivat työpajassa • motivoiva
esimerkiksi, miten oppilaat voisivat helposti ladata ohjelmiston kotikoneelle ja • visualisointi
innostua tutkimaan kemiaa myös vapaa-aikanaan. Opettajat kokivat oppilaiden
todennäköisesti motivoituvan animaatioiden avulla. Opettajat arvostivat valmista
linkkipankkia, sillä se säästää heiltä työaikaa.

(V4) *“Animaatiot pystyy helposti liittämään kokeellisuuteen, saa mikrotason kuvan.”*

(V26) *“Havainnollistaa, silmillä näkee paremmin kuin, jos pitäisi kuvitella”*

(V6) *“Chemsense -ohjelma (ilmainen) vaikuttaa ainakin hyvin mielenkiintoiselta vaihtoehdolta kemian makroskooppisen tason opetuksen, jos vertaa oppikirjojen liikkumattomiin kuviin...”*

Videodemonstraatio: Mohrin titraus (ks. CD-ROM, Liite 5)

- 4 Oppimisympäristössä esitellään videoiden avulla Mohrin titrauksessa tapahtuvia makroskooppisia muutoksia. Harjoitus on suunniteltu lukiotasolle. Harjoituksessa hyödynnetään ennusta-havainnoi-selitä -metodia (engl. *predict-observe-explain* (POE)) konstruktivismin korostamiseksi. Ryhmä 4 koki videot erinomaisena makroskooppisen tason demonstraatiotyökaluna. He esittivät videoiden olevan aikaa säästäviä ja sopivan esimerkiksi laitteiden esittelyyn tai mahdollisten • POE
ongelmakohtien esittämiseen pitkissä kokeellisissa töissä. He painottivat videoiden • aikaa säästävä
olevan myös turvallinen tapa toteuttaa kokeellisuutta esimerkiksi puutteellisilla • turvallinen
välineillä (esim. ilman vetokaappia). Ryhmä 4 korosti verkosta löytyvien videoiden • monipuolinen
tason olevan erityisen vaihteleva ja arvelivat opettajilta kuluva paljon aikaakäyttö
omien videoiden tekemiseen, mutta kun videon kerran tekee, on se pitkäikäinen. • helppo jakaa
• motivoiva
- Vastaajien mukaan videodemonstraatiot motivoivat opiskelijoita ja toimivat hyvin • konstruktivismi
kokeellisen työn johdantona. He painottivat voimakkaasti videoiden käyttöä vain
johdantona tai kokeellisen työn tukena, mutta ei kokonaan perinteisen
kokeellisuuden korvaamiseen. Opettajat innostuivat videoiden jakamisesta
Internetin välityksellä yhdessä oppilaiden kanssa.

(V14) *“Videot toimivat kokeelliseen työhön motivointina ja johdantona – ei korvaa kokeellisuutta”*

4.3.2.3 Kemian opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä tieto- ja viestintätekniikkaa mielekkäästi yhdistävien oppimisympäristöjen vaikutuksesta oppimiseen

Kehitettyjen materiaalien mahdollisia vaikutuksia oppimiseen arvioitiin viisiportaisella Likert-asteikolla (1=täysin eri mieltä, 2=eri mieltä, 3=ei samaa eikä eri mieltä, 4=samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä). Opettajat opiskelijat olivat samaa tai täysin samaa mieltä, kokeellisuuden tukeminen TVT:n avulla auttaa tukee kemian käsitteiden ja ilmiöiden havainnollistamista (ka.=4,4), opettamista (ka.=4,4) ja oppimista (ka.=4,4). He myös korostivat opettajan roolia TVT:n mielekkäässä opetuskäytössä (ks. taulukko 3).

Vastaajien mukaan, TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen nostaisi oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan (ka.=4,1) ja kannustaisi heitä kemian jatko-opintoihin (ka.=3,8). Opettajat painottivat opettajan ja teorian vahvaa merkitystä tekniikan mielekkäässä hyödyntämisessä, pelkkä tietokoneiden käyttö ei oppilaita kiinnosta. Vastaajien mielestä TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen kehittää oppilaiden tutkimustaitoja (ka.=3,7), mutta osio sai myös neutraaleja vastauksia (f=6). Osan mielestä tutkimustaitojen kehittyminen riippuu vahvasti oppilaiden omasta motivaatiosta. Väite ”TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen tukee oppilaiden luovuutta” jakoi vastaajien mielipiteitä eniten (ka. 3,6). Vastaajista 14 oli samaa tai täysin samaa mieltä, mutta neljä oli myös eri mieltä aiheesta. Yhden vastaajan mielestä esimerkiksi ohjelmien rajoitteet voivat vähentää luovuuden käyttöä.

Taulukko 3. Opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä TVT:n ja kokeellisuuden yhdistämisen vaikutuksista kemian opetukseen ja oppimiseen.

Väitteet: TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen	f					ka.	N
	Täysin eri mieltä	Eri mieltä	Ei samaa eikä eri mieltä	Samaa mieltä	Täysin samaa mieltä		
havainnollistaa vaikeita käsitteitä ja ilmiöitä.	0	0	1	12	12	4,4	25
tukee kemian käsitteiden ja ilmiöiden opettamista.	0	0	0	14	11	4,4	25
tukee kemian käsitteiden ja ilmiöiden oppimista.	0	0	1	12	12	4,4	25
herättää oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan.	0	0	4	11	7	4,1	22
innostaa oppilaita jatko- opintoihin.	0	3	4	9	6	3,8	22
kehittää oppilaiden tutkimustaitoja.	0	2	6	15	2	3,7	25
tukee oppilaiden luovuutta.	0	4	6	10	4	3,6	24

(V6) *“Varsinkin molekyyli mallinnus ja animaatiot tuovat kemian mikroskooppisen tason esille, jota ei välttämättä muuten käytetä tarpeeksi kemian opetuksessa. Käsitekartat selkeyttävät oppilaille tietorakenteita ja helpottavat siten oppimista”*

- (V8) *“TVT -työt ovat oppimisen, opetuksen ja tutkimuksen nykypäivää ja hyvä apuväline. Toisaalta ohjelmissa on usein rajoitteita, mikä voi vähentää luovuuden käyttöä.”*
- (V24) *“Tieto- ja viestintätekniikka parantaa kemian opetusta ja oppimista, mutta oppilaiden tutkimustaidot riippuvat oppilaasta itsestään. Pelkkä tietotekniikka ei riitä innostamaan jatko-opintoihin, vaan tarvitaan myös kokeellisuutta sekä selkeää teoriaa opettajalta.”*

4.3.3 Johtopäätökset ja pohdinta

Kehittämistutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa kehitettiin neljä TVT:a ja kokeellisuutta yhdistävää mielekäästä oppimisympäristöä. Käytettyjä TVT-työkaluja olivat tietokoneavusteiset käsitekartat, tietokoneavusteinen molekyyli mallinnus, animaatiot ja videot. Tutkimus osoitti kokeellisuutta ja TVT:a yhdistävien oppimisympäristöjen tarpeen olevan suuri. Kokeellinen työskentely oli opettajille yleinen työskentely tapa, mutta kokeellisuuden tukeminen TVT:n avulla taas oli harvinaista. Pääsyyt tähän olivat taitojen, tietojen ja resurssien puute. Yleisesti opettajat toivoivat voivansa yhdistää niitä tulevaisuudessa enemmän, mutta tarvitsisivat siihen tukea valmiin materiaalin ja koulutuksen muodossa. Tulokset korreloivat tutkimusten Aksela ja Karjalainen (2008) ja Aksela ja Lundell (2008) kanssa, joissa tutkittiin kemian opetuksen tilaa Suomessa sekä yleisestä että ja molekyyli mallinnuksen näkökulmasta.

Kehittäjien, opettajien ja opiskelijoiden mukaan mielekäs TVT:a ja kokeellisuutta yhdistävä oppimisympäristö on aikaa säästävää, turvallinen ja motivoi oppilaita sekä korostaa yhteistoiminnallisuutta ja konstruktivismia. Oppimisympäristön avulla voidaan visualisoida kemiallisia ilmiöitä ja prosesseja sekä makro- että submikrotasolla. Samankaltaisia tuloksia on raportoitu myös muissa useissa tutkimuksissa (vrt. Aksela & Lundell, 2008; Jonassen, 1999; Kiliç et al., 2004; Laroche et al., 2003; Özmen et al., 2009). Huomattavaa on, etteivät kehittäjät käyttäneet oppimisympäristöissä kovinkaan paljon tutkimuksellista tai kontekstuaalista lähestymistapaa, jotka ovat olennaisia mielekkään kokeellisuuden tekijöitä (esim. Millar, 2004; Nakhleh et al., 2002).

Kemian opettajien ja opiskelijoiden käsitysten mukaan TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen tukee vahvasti kemian opetusta ja oppimista (vrt. Aksela & Lundell, 2008; Kozma & Russell, 2005; Tasker & Dalton, 2006; Velázquez-Marcano, et al., 2004; Vermaat et al., 2003). Se myös herättää kiinnostusta kemian opintoja kohtaan (vrt. Aksela & Lundell; Kiliç et al., 2004) ja kehittää tutkimustaitoja (vrt. Hofstein & Lunetta, 2004).

Tämä kehittämistutkimuksen toinen vaihe suoritetaan kevään 2010 aikana, jolloin uudet KOKE II -kurssin opiskelijat jatkavat työskentelyä kehitettyjen oppimisympäristömallien parissa. Oppimisympäristöjen kehittämisessä tullaan huomioimaan vahvemmin kontekstuaalisuus ja tutkimuksellisuus. Toisen vaiheen aikana oppimisympäristöjen vaikutusta kemian oppimiseen testataan myös oppilailla. Tämä tutkimus osoitti tämäntyyppisillä oppimisympäristöillä olevan erittäin paljon potentiaalia ja asiaa on syytä tutkia lisää. Tämä tutkimus on raportoitu julkaisussa V (Pernaa & Aksela, 2009).

4.4 Tutkimus 3: Molekyylimallinnuksen mentorikoulutus

Tämä tapaustutkimus (Cohen et al., 253-263) on kolmivuotisesta MMK-hankkeesta tehtävän kehittämistutkimuksen ensimmäinen ongelma-analyysivaihe. Tutkimus on osa kehittämistutkimuksen tarveanalyysiä. Tutkimuksessa kartoitettiin koulutukseen hakeutuneiden opettajien molekyylimallinnustiedot ja -taidot, -resurssit ja yleiset hankkeen koulutukseen liittyvät toiveet. Hankkeen koulutustarpeita ja mahdollisuuksia kartoitettiin etsimällä vastauksia tutkimuskysymykseen: Minkälaista koulutusta mentorikoulutuksessa tarvitaan?

4.4.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Tutkimus toteutettiin suuntaa-antavana tapaustutkimuksena (Cohen et al., 253-263). Aineisto kerättiin kyselylomakkeella. Pyyntö vastata verkkopohjaiseen kysymyslomakkeeseen lähetettiin sähköpostitse koulutukseen valituille opettajille. Alkuperäinen kyselylomake on toistaiseksi nähtävissä verkko-osoitteessa: <https://elomake.helsinki.fi/lomakkeet/10761/lomake.html> sekä tekstieditorilla kopioituna versiona myös liitteenä 9 (ks. CD-ROM, Liite 9).

Kyselylomake koostui kolmesta mittarista (Tausta, Molekyylimallinnuksen käyttö koulussa ja Molekyylimallinnuksen koulutus- ja materiaaliatarve). Kaikkiaan lomakkeessa oli 6 taustakysymystä ja 14 sisältökysymystä. Kymmenen sisältökysymystä olivat avoimia kysymyksiä ja loput suljettuja monivalintakysymyksiä. Kysymyslomakkeen kysymykset laadittiin aikaisemman tutkimustiedon (Aksela & Lundell, 2007) pohjalta.

Kysymyslomakkeen avoimien vastausten luokittelussa käytettiin aineistolähtöistä sisällönanalyysia (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 108-113), jossa raportoitavat luokat nostettiin aineistosta. Kysymyksistä osa kvantifioitiin laskemalla luokkien esiintymisfrekvenssit (ks. CD-ROM, Liite 10. Suljetuista kysymyksistä laskettiin frekvenssien lisäksi myös keskiarvot.

Hankkeessa on mukana kokonaisuudessaan 21 opettajaa, joista 18 vastasi kyselyyn. Tutkimuksen vastausprosentiksi muodostui noin 86 %. Kyselyyn vastanneiden joukko koostui neljästä miehestä ja 14 naisesta. Hankkeen opettajat ovat pääosin pitkän opetuskokemuksen omaavia (yli 10 vuotta, $f=15$) lukiossa ($f=15$) työskenteleviä opettajia joilla on kemian opintoja suoritettuna laudaturin oppimäärä ($f=15$). Kemian lisäksi vastaajat opettavat toisena ja kolmantena aineenaan matematiikkaa, fysiikkaa ja tietotekniikkaa.

Opettajilla oli jonkin verran aikaisempaa molekyylimallinnuskoulutusta taustalla ennen hankkeen alkamista. 67 % vastaajista oli osallistunut jonkinlaiseen molekyylimallinnuskoulutukseen. Vastanneista opettajista kymmenen oli osallistunut LUMA-keskuksen ja MAOL ry:n yhteistyönä järjestetyille kolmen päivän alkeiskursseille vuosina 2004-2006. Alkeiskurssin suorittaneista kolme osallistui myös LUMA-keskuksen työpajaan syksyllä 2007. Vastaajista kolme oli suorittanut molekyylimallinnuskurssin yliopistossa ja yksi on saanut molekyylimallinnuskoulutusta myös Opekon järjestämällä kurssilla. Vastaajista kuusi ei ollut osallistunut aikaisemmin molekyylimallinnuskoulutukseen.

4.4.2 Tulokset

4.4.2.1 Molekyylimallinnuksen käyttö kouluissa

Opettajat ilmoittivat käyttäneensä molekyylimallinnusta kemian opetuksessaan suhteellisen vähän ennen hankkeen alkamista. 72 % heistä oli käyttänyt molekyylimallinnusta alle kuusi kertaa tai ei ollenkaan. Kolme opettajaa (16 %) oli hyödyntänyt molekyylimallinnusta kemian opetuksensa tukena usein (7-15 kertaa). Yksi opettaja ilmoitti käyttäneensä molekyylimallinnusta opetuksessa (yli 15 kertaa) ja yksi sanoi käyttävänsä sitä jatkuvasti. Opettajat olivat käyttäneet molekyylimallinnusta eniten lukion 1. ja 2. kursseilla. Lukion syventävien kurssien lisäksi, molekyylimallinnusta oli käytetty myös kertauskurssilla ja työkurssilla. Perusopetuksen puolella opettajat olivat käyttäneet molekyylimallinnusta jonkin verran 8. ja 9. luokilla, mutta yksikään opettaja vastaajien joukossa ei ollut käyttänyt molekyylimallinnusta seitsemännen luokan kemian opetuksessa.

Opettajat pitivät molekyylimallinnusta nykyaikaisena kemian tutkimusmenetelmänä ja opetustyökaluna, joka helpottaa kemian ilmiöiden havainnollistamista, herättää mielenkiintoa ja motivoi opiskelijoita, monipuolistaa opetusta, tuo tietotekniikan luonnollisesti mukaan kemian opetukseen sekä auttaa opettajaa luomaan toiminnallisen oppimisympäristön (ks. taulukko 4). Vähäisen tähänastisen käytön syiksi opettajat mainitsivat muun muassa tiedon puutteen ja kiireen, jonka vuoksi molekyylimallinnukseen ei ole ollut aikaa perehtyä eikä koulutuksiin osallistua. Myös ohjelmien puute koettiin käyttöä vähentäväksi tekijäksi.

Taulukko 4. Molekyylimallinnuksen käyttöä kannustavat ja vähentävät syyt, (N=16).

Käyttöä kannustavat syyt	f
Havainnollistaminen	8
Opiskelijoiden motivointi ja kiinnostuksen herättäminen	3
Opetuksen monipuolistaminen	3
Nykyaikaisuus ja tietotekniikan tuonti kemian opetukseen	1
Toiminnallisuus	1
Käyttöä vähentävät syyt	-
Tiedon puute	5
Kiire ja ajan puute	2
Ohjelmien puute	2

Hankkeen alkukyselyyn vastanneiden opettajien mielestä molekyylimallinnus soveltuu parhaiten orgaanisen kemian molekyylien opettamiseen ja mikromaailman asioiden havainnollistamiseen. Kemian aiheisiin lajiteltuna molekyylimallinnusta oli käytetty eniten molekyylien avaruudellisen rakenteen havainnollistamiseen (ks. taulukko 5). Lisäksi molekyylimallinnusta oli käytetty apuna isomerian, elektronitiheyden, orbitaalien, IR-spektroskopian ja sidosten opettamisessa. Opettajat eivät ilmoittaneet käyttäneensä sitä energian, kemiallisen reaktion ja muiden spektroskooppisten menetelmien opettamiseen.

Taulukko 5. Molekyylimallinnuksessa esiintyneet kemian aiheet.

Kemian aihe	f
Molekyylien avaruudellinen rakenne	15
Isomeria	7
Elektronitiheys	7
Atomi- ja molekyyliorbitaalit	5
IR-spektroskopia	4
Heikot sidokset	4
Vahvat sidokset	2
Energia ja sen muutokset kemiallisissa prosesseissa	0
Kemiallinen reaktio	0
Muut spektroskooppiset menetelmät	0

Molekyylimallinnuksen käyttö keskittyy opettajien opetuksessa tämän kyselyn tulosten mukaan i) molekyylien rakentamiseen, ii) esittelemiseen ja iii) ominaisuuksien tutkimiseen. Käytetyimmät työtavat olivat demonstraatio ja verkkopohjainen itsenäinen tai ohjattu työskentely. Osa kyselyyn vastanneista opettajista kertoi myös käyttäneensä molekyylimallinnusta toiminnallisuuden lisäämiseen parityöskentelyn muodossa.

i. Molekyylien rakentaminen

(V1) *"Opettajan demonstraatio, jonka jälkeen opiskelijat pääsevät itse kokeilemaan mallinnusta pareittain."*

(V9) *"perusmolekyylien rakenteluun oppilaat työskentelevät pareittain"*

ii. Molekyylien esittely

(V10) *"Orgaanisen kemian perusmolekyylien opiskelu rakennussarjan ja web sivuston avulla"*

(V3) *"Yksinkertaisten molekyylien piirtoa ja katselua eri muodoissa sekä muovimallien rakentelua..."*

iii. Molekyylien ominaisuuksien tutkiminen

(V17) *"Näytän valmiita tutorials-tiedostoja niiden avulla havainnollistan esim. vetysidoksia vesiklusterissa, sidosten pituuksia ja sidoskulmia."*

(V1) *"Parityöskentely, jossa oppilaat selvittävät molekyylien muotoja ja poolisuutta."*

(V2) *"Lähinnä olen näyttänyt itse molekyylien luomista sekä niihin liittyviä varauksia ja molekyylien välisiä vuorovaikutuksia. Joskus olen näyttänyt spektrejä ja niihin liittyviä värähtelyjä."*

4.4.2.2 Molekyylimallinnuksen hyödyllisyys kemian opetuksessa

Opettajien käsityksiä molekyylimallinnuksen hyödyistä kemian opetuksessa kartoitettiin taulukossa 6 esiteltujen väittämien avulla (ks. taulukko 6). Tutkimuksessa käytettiin viisiportaista mitta-asteikkoa, jossa vaihtoehto 5 oli "erittäin paljon" ja vaihtoehto 1 oli "tosi vähän". Opettajille annettiin myös mahdollisuus valita asteikon ulkopuolelta

vaihtoehto 0-”en osaa sanoa”. Näitä ”en osaa sanoa” vaihtoehdon valinnoita ei ole huomioitu keskiarvoja laskettaessa.

Vastausten perusteella opettajien käsitykset molekyylihallinnuksen hyödyllisyydestä kemian opetuksessa vaihtelivat. Valtaosan mielestä molekyylihallinnus tukee oppilaiden käsitteiden oppimista (ka. 3,2; f=12) ja vaikeiden käsitteiden havainnollistamista (ka. 3,7; f=14) sekä kehittää oppilaiden visualisointitaitoja (ks. 3,6; f=13) (vähintään 3 mitta-asteikolla). Opettajien mielestä molekyylihallinnus kehittää myös oppilaiden tutkimistaitoja (ka. 2,9), mutta 46 % (f=6) mielestä sen vaikutus tutkimistaitoihin kehittymiseen on pieni. Opettajista 75 % (f=9) ajattelee molekyylihallinnuksen kehittävän oppilaiden luovuutta (ka. 3,2) ja 53 % (f=8) mielestä molekyylihallinnus saa oppilaat kiinnostumaan kemiasta enemmän (ka. 3,3) (vähintään 3 mitta-asteikolla). Opettajat myös ajattelevat molekyylihallinnuksen innostavan oppilaita kemian jatko-opintoihin (ka. 3,6). Huomioitavaa opettajien vastauksissa on myös suhteellisen suuri ”en osaa sanoa”-vastausten määrä.

Taulukko 6. Opettajien käsityksiä molekyylihallinnuksen hyödyistä.

Väite	f						ka.
	0	1	2	3	4	5	
Se tukee oppilaiden kemian käsitteiden oppimista	3	1	2	6	5	1	3,2
Se havainnollistaa vaikeita käsitteitä oppilaille	3	0	1	5	6	3	3,7
Se kehittää oppilaiden visualisointitaitoja	4	1	0	5	5	3	3,6
Se kehittää oppilaiden tutkimistaitoja	5	0	6	3	3	1	2,9
Se tukee oppilaiden luovuutta	6	1	2	4	4	1	3,2
Se herättää oppilaiden kiinnostusta kemiasta	3	3	4	0	1	7	3,3
Se innostaa oppilaita kemian jatko-opiskeluun	8	1	2	0	4	3	3,6

4.4.2.3 Molekyylihallinnuksen resurssit ja niiden tarve

Opettajilla käytössä oleva molekyylihallinnuksen varustelutaso vaihteli koulukohtaisesti. Kokonaisuudessaan varustelutaso tutkimukseen osallistuvilla opettajilla oli suhteellisen hyvä, sillä lähes kaikilla heistä oli käytössään oma opettajan kone, jossa oli verkkoyhteys, mallinnusohjelma tai mahdollisuus videotykin käyttöön (f=16). Usean opettajan koulussa oli myös hyvin varustettu tietokonehuone käytettävissä, jossa oli riittävästi koneita, molekyylihallinnukseen soveltuvia ilmaisohjelmia tai mahdollisuus käyttää internetin molekyylihallinnusresursseja (f=11). Toisaalta useassa koulussa mallinnuksen opetuskäyttöä oli vaikea toteuttaa, koska käytössä ei ole maksullisia ohjelmia tai ilmaisohjelmien asentaminen on vaikeaa tai vaatii tukihenkilön apua. Osa opettajista ilmoitti, että heillä ei ole ollut riittävästi koneita käytössä tai koneet ovat todella vanhoja.

Opetuskäytössä käytetyimmät mallinnusohjelmat olivat Spartan ja ChemSketch. Opettajien mielestä hyvä mallinnusohjelma on edullinen, helppokäyttöinen, helposti oppilaille jaettava, selkeä, visuaalisesti näyttävä sekä toiminnoiltaan varma ja monipuolinen.

Opettajat kokivat pääosin aikaisemmat molekyylimallinnuskoulutukset hyödyllisiksi ja tasokkaiksi. Ongelmaksi koettiin tietojen ja taitojen unohtuminen, harjoituksen vähäisyys ja koulutuksien peruskurssiluonne. Jatkossa opettajat kaipaisivat tietojen kertaamista, päivitystä ja jatkokurssia, jossa mallinnusta sovellettaisiin suoraan opetustilanteisiin. Erittäin tärkeäksi koettiin myös ohjelmien jatkuvaan käyttöön kannustaminen sekä suomenkielinen työkirja, jossa olisi valmiita töitä sekä kuvaus teknisestä toteutuksesta. Vastauksissa opettajat mainitsivat tärkeäksi myös tukiverkoston muodostamisen kollegoiden kesken sekä molekyylimallinnuksen vaikutuksista opiskelijoiden oppimiseen kertovan tutkimustiedon esittelemisen.

Sisällöllisesti opettajat kaipaivat, että kolmivuotisessa hankkeessa käsiteltäisiin:

- asioita, jotka auttavat oppilasta ymmärtämään kemiaa ja innostumaan siitä
- lukiokurssien sisältöjä, joissa mallinnusta voidaan helposti soveltaa, esim. kemiallinen reaktio ja siihen liittyvä energia, molekyyliorbitaalit, hybridisaatio, sidokset, isomeria sekä spektroskooppiset menetelmät
- miten kokeellisuus ja molekyylimallintaminen voidaan yhdistää

Avoimessa palautteessa opettajat painottivat koulutuksessa rauhallisen tahdin tärkeyttä. Hankkeen toteutuminen yleensä otettiin innolla ja mielenkiinnolla vastaan.

4.4.3 Johtopäätökset ja pohdinta

Mallit ja mallintaminen ovat näkyvästi esillä valtakunnallisissa opetussuunnitelman perusteissa, ja uuden teknologian mahdollisuudet nostetaan vahvasti esiin myös perusopetuksen ja lukion oppikirjoissa. Tietokoneavusteisesta molekyylimallinnuksesta on muotoutunut viime vuosina oleellinen osa suomalaista kemian opettajankoulutusta ja täydennyskoulutustarjontaa, mutta laaja-alaista ja tutkimukseen perustuvaa opetus- ja koulutusmateriaalia on edelleen niukasti opettajien käytettävissä. Kolmivuotisessa MMK-hankkeessa luodaan vertaismentoreista koostuva kansallinen molekyylimallinnus tukiverkosto molekyylimallinnusta aloitteleville kemian opettajille. Koulutuksessa keskitytään antamaan mentoreille riittävät valmiudet antaa teknistä ja pedagogista tukea kollegoille.

Molekyylimallinnuksen mielekkään kouluopetuksen varmistamiseksi tarvitaan tutkimustuloksia innovaation leviämisestä, tukipalvelujen laadusta ja tehokkuudesta sekä itse molekyylimallinnuksen vaikuttavuudesta. Tähän asti, molekyylimallinnuksen vaikutuksista oppimiseen ja oppimisympäristöjen asettamista on tehty vähän tutkimusta, mutta esim. Akselan & Lundelin (2007) mukaan molekyylimallinnuksen avulla voidaan tukea oppimista ja opetusta kaikilla kouluasteilla.

Tämä tapaustutkimus on MMK-kehittämishankkeen tarveanalyysivaihe. Tutkimuksessa etsittiin vastausta tutkimuskysymyksen, minkälaista koulutusta mentorikoulutuksessa tarvitaan. Tulosten mukaan opettajat kaipaavat suomenkielistä materiaalipankkia, jossa on tietoa sekä teknisestä että pedagogisesta toteuttamisesta, tutkimustietoa vaikuttavuudesta sekä valmiita työohjeita opetussuunnitelmien mukaisista sisällöistä, esim. kemiallinen reaktio ja siihen liittyvä energia, molekyyliorbitaalit,

hybridisaatio, sidokset ja isomeria. Opettajat toivoivat myös tukiverkoston organisointia ongelmien varalle.

Tutkimustuloksia voidaan pitää luotettavina. Vastausprosentti oli erittäin korkea, mittaamisessa käytettiin kyselylomaketta, jonka laatua oli kehitetty useaan kertaan ja luotettavuus varmistettu käyttämällä sitä mittarina myös muissa tutkimuksissa. Tässä tutkimuksessa esiintyvät aihealueet ovat myös hyvin samanlaisia kuin valtakunnallisessa molekyylihallinnuksen opetuskäytössä esiin tulleet aihealueet (vrt. Aksela & Lundell, 2007), joka voidaan osittain selittää vastaajaryhmien päällekkäisyydellä.

Tutkimus osoittaa käynnistyneen hankkeen olevan tarpeellinen. Kemian opettajat tarvitsevat sekä teknistä että pedagogista tukea, jonka lisäksi tarvitaan tutkittua tietoa tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen vaikuttavuudesta kemian opetuksessa. Tutkimustiedon perusteella hankkeessa voidaan kehittää opetukseen soveltuvaa materiaalia sekä kouluttaa opettajia molekyylihallinnuksen pedagogisen soveltamisen asiantuntijoiksi. Hankkeen kolmivuotisen koulutusohjelman pääpaino tulee olla ohjelmien teknisestä osaamisesta enemmän mallinnuksen pedagogisten mahdollisuuksien soveltamisessa. Opettajien luomia tuotoksia testataan kollegoilla ja oppilailla, jolloin saadaan tuotettua opettajien toivomaa valmista suomenkielistä materiaalia kemian opetuksen tueksi. Tämä tutkimus on raportoitu julkaisussa III (Aksela et al., 2008).

4.5 Tutkimus 4: Kemian opettajien käsityksiä molekyylihallinnuksen käytöstä opetuksessa

Tässä tapaustutkimuksessa selvitettiin kemian aineenopettajien käsityksiä tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen roolista opetussuunnitelmien perusteiden tavoitteiden mukaisessa opetuksessa. Tutkimus toteutettiin MMK-mentorikoulutushankkeen yhteydessä.

4.5.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus

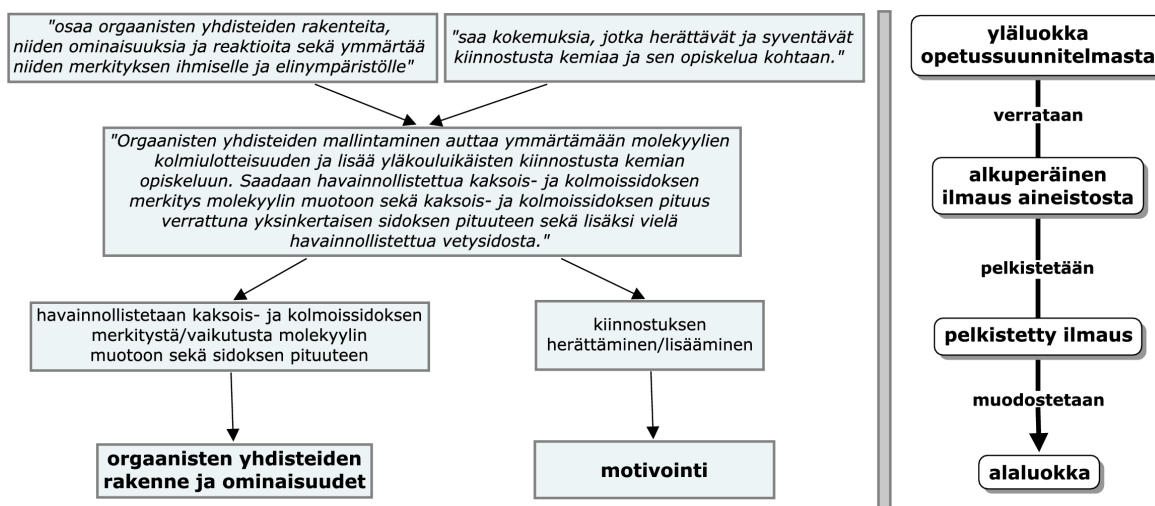
Tutkimus suoritettiin suuntaa-antavana tapaustutkimuksena (Cohen et al., 2007, 253-263). Se toteutettiin MMK-hankkeen (Aksela et al., 2008) yhteydessä keväällä 2009. Otos rajattiin MMK -hankkeen kolmannen etätehtävän palauttaneisiin (N=16) ja neljännelle lähiopetuskerralle osallistuneisiin opettajiin (N=17). Suoritetun tapaustutkimuksen tavoitteena oli saada tietoa opettajien käsityksistä molekyylihallinnuksen roolista opetussuunnitelmien mukaisessa opetuksessa.

Tutkimusta ohjasivat tutkimuskysymykset:

1. Mitä opetussuunnitelmien perusteiden mukaisia tavoitteita molekyylihallinnus tukee perusopetuksen ja lukion opetuksessa kemian aineenopettajien käsitysten mukaan?

2. Mitä opetussuunnitelmien sisältöjä molekyylihallinnus tukee eri luokka-asteilla ja lukion kursseilla kemian aineenopettajien käsitysten mukaan?

Tutkimusaineistona käytettiin opettajien opetussuunnitelmia ja molekyylihallinnusta käsittelevän etätehtävän raportteja ja purkutilaisuuden muistiinpanoja. Kyseisessä etätehtävässä opettajat selvittivät, missä opetussuunnitelmien alueissa, sekä tavoitteiden että sisältöjen näkökulmasta, molekyylihallinnuksella voisi olla lisäarvoa kemian opetuksessa. Aineistosta raportit analysoitiin teorialähtöisellä sisällönanalyysillä (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 113-117). Analyysin teoriapohjana käytettiin opetussuunnitelmien perusteita (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197), joiden pohjalta muodostettiin sisällönanalyysin yläluokat. Analyysissä muodostettiin teoriapohjaisten yläluokkien mukaisesti molekyylihallinnukseen liittyviä tiivistettyjä alaluokkia pelkistämällä ne raporteista saaduista alkuperäisistä ilmaisuista. Päättelyketju teorialähtöisessä sisällönanalyysissä on deduktiivinen (ks. kuva 13). Tiivistämisen jälkeen alaluokat kvantifioitiin laskemalla frekvenssit (f) (ks. CD-ROM, Liite 11).



Kuva 13 Teorialähtöisen sisällönanalyysin päättelyketju. (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 116)

Sisällönanalyysin lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin etätehtävän purkutilaisuudesta kirjoitettuja muistiinpanoja (ks. Liite 12). Purkutilaisuudessa opettajat pohtivat etätehtävän tuotoksia ensin pienryhmissä nostaen tarkempaan tarkasteluun 2-3 ryhmän mielestä tärkeintä asiaa. Ryhmätyöskentelyn jälkeen esiin nostettuja asioita pohdittiin yhteisesti kaikkien ryhmien kanssa.

4.5.2 Tulokset

4.5.2.1 Molekyyylimallinnus ja opetussuunnitelmien perusteiden tavoitteet

Suurin osa raporteista keskittyi käsittelemään molekyyylimallinnuksen roolia lukio-opetuksen näkökulmasta. Raporteista 12 käsitteli peruskoulun 7.-9. luokkien tavoitteita ja sisältöjä joko suppeasti tai ei lainkaan. Peruskoulussa molekyyylimallinnuksen koettiin monipuolistavan työmenetelmiä ja parantavan kemiakuvaa ($f=1$) sekä tukevan aineen rakenteen opettamiseen liittyviä tavoitteita ($f=2$) (ks. taulukko 7).

Sisällönanalyysin perusteella opettajat kokivat molekyyylimallinnuksen roolin olevan lukiossa huomattavasti merkittävämpi kuin peruskoulussa. Sen koettiin kuuluvan olennaiseksi osaksi modernia oppimiskäsitystä ja oppimisympäristöä ($f=3$) sekä modernia lukiokemian opetusta ($f=5$) tieto- ja viestintätekniikan hyödyntämisen näkökulmasta ($f=9$). Molekyyylimallinnuksen todettiin myös olevan opiskelijoita motivoiva työtapana ($f=3$).

Kurssikohtaisia tavoitteita tarkastellessa, eniten havaintoja löytyi kursseihin Ihmisen ja elinympäristön kemia (KE1) ja Kemian mikromaailma (KE2) liittyen. KE1 -kurssin suurin alaluokka oli orgaanisten yhdisteiden rakenteet ja ominaisuudet ($f=11$). KE2 -kurssin suurimpia alaluokkia taas olivat mallit, taulukot ja järjestelmät päätelmien tukena ($f=6$), rakenteiden määritysmenetelmät ($f=5$) ja rakenteen ja ominaisuuksien väliset ominaisuudet ($f=3$). Kurssilta Reaktiot ja energia (KE3) havainnot käsittelivät pelkästään kemiallisen reaktion mallintamista ($f=3$).

Taulukko 7. Opetussuunnitelmien tavoitteita käsittelevät alaluokat, ($N_{raportit}=16$).

Luokka-aste / kurssi	Alaluokka	f
7-9	Mallit ja aineen rakenne	2
	Kemiakuva ja työmenetelmät	1
Lukion yleinen osa	Tieto- ja viestintätekniikka	9
	Kemian opetuksen luonne	5
	Oppimiskäsitys ja oppimisympäristö	3
	Motivointi	3
	Orgaanisten yhdisteiden rakenteet ja ominaisuudet	11
1	Seokset	1
	Tietojen esittäminen ja keskustelu	1
	Kokeellinen työskentely ja tiedonhankinta	1
	Mallit, taulukot ja järjestelmät päätelmien tukena	6
2	Rakenteiden määritysmenetelmät	5
	Rakenteen ja ominaisuuksien väliset ominaisuudet	3
	Kokeellisuuden ja mallintamisen yhdistäminen tutkimuksessa	2
	Kemiallinen reaktio	3
3	Metallit ja sähkökemialla	1
4	Metallit ja sähkökemialla	1
5	Tasapaino	2

4.5.2.2 Molekyylimallinnus ja opetussuunnitelmien perusteiden sisällöt

Opetussuunnitelmien sisältöjä tarkastellessa, kemian opettajien mielestä peruskoulun puolella molekyylimallinnus tukee parhaiten orgaanisten yhdisteiden rakenteiden ja ominaisuuksien opettamista ($f=4$). Lukion sisällöistä mallinnuksen koettiin antavan eniten lisäarvoa orbitaalien ($f=11$), kemiallisten sidosten ($f=10$), biomolekyylien ($f=6$) ja poolisuuden ($f=5$) opettamisessa (ks. taulukko 8).

Taulukko 8. Opetussuunnitelmien sisältöjä käsittelevät alaluokat, ($N_{raportit}=16$).

Luokka-aste / kurssi	Alaluokka	f
7-9	Orgaanisten yhdisteiden rakenteet ja ominaisuudet	4
	Veden kemia	2
	Alkuaineiden ja yhdisteiden ominaisuuksien ja rakenteiden selittäminen	1
1	Poolisuus	5
	Kemiallinen reaktio	1
2	Orbitaalit	11
	Kemialliset sidokset	10
	Isomeria	3
3	Kemiallinen reaktio	3
4	Biomolekyylit	6
	Metallit	2

Koulutuksessa etätehtävän purkutilaisuudessa opettajat toivat esiin peruskoulun 7-9-luokkien kohdalla molekyylimallinnuksen tärkeyden yhtenä tutkimusvälineenä, motivaation luoja, vaihtelun tarjoajana ja nykyaikaisen kemiakuvan välittäjänä. Hyväksi aloitusteemaksi todettiin vesi, joka on myös yksi kemian perusopetuksen aihekokonaisuuksista. Mallinnusta voisi hyödyntää esimerkiksi poolisuuden, sidoskulmien ja sidospituuksien opettamisessa. Veden jälkeen työskentely voidaan laajentaa orgaanisiin molekyyliin. Ajankohtaisiksi sovellusesimerkeiksi mainittiin lääkkeet ja polymeerit. 7-9-luokilla ei suositeltu mallinnuksen käyttöä kemiallisen reaktion tai kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien syvällisempään tutkimiseen.

Lukion kemian opetuksessa tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen koettiin antavan opiskelijoille kuvan nykyaikaisesta tavasta tehdä malleja ja ymmärtää niiden merkitys. Samalla sen todettiin toimivan tärkeänä kiinnostuksen herättäjänä. KE1 -kurssilla tärkeiksi asioiksi koettiin orgaanisten yhdisteiden mallinnus, poolisuus, sovellusten esittely ja mahdollisuus yhdistää kokeellisuutta mallinnukseen. KE2 -kurssi koettiin parhaaksi kurssiksi molekyylimallinnuksen hyödyntämiselle. Sen koettiin tukevan erityisesti vaikeina pidettyjen orbitaalien, hybridisaation ja isomerian opettamista. Myös spektrien hyödyntäminen nähtiin mielenkiintoisena lisänä.

KE3 -kurssilla opettajien mielestä molekyylimallinnus toisi lisää mahdollisuuksia kemiallisen reaktion opettamiseen, erityisesti kokeellisuuden ja mallintamisen yhdistämisellä. KE4 -kurssilla se auttaisi polymeerien ja makromolekyylien opetusta ja KE 5 kurssilla kemiallisen tasapainon ja protolyttien tutkimista.

Näiden lisäksi molekyylimallinnuksen koettiin sopivan kemian työkurssien sisälle sekä integroituvan hyvin biologiaan, fysiikkaan (Bohrin atomimalli, kvantittuminen), matematiikkaan terveystietoon ja liikuntaan.

4.5.3 Johtopäätökset ja pohdinta

Suoritetun tapaustutkimuksen otos on pieni ja tutkittava tapaus on monella tapaa ainutlaatuinen. Otos ei edusta kemian aineenopettajien perusjoukkoa hyvin, joten tuloksia ei voida yleistää kansallisella tasolla. Ensinnäkin, vastaavanlaista tilannetta on mahdotonta toistaa yksilöiden erojen, ainutlaatuisen ryhmäytymisen ja elämäntilanteiden vuoksi. Toiseksi, tutkittavat ovat aktiivisesti molekyylimallinnuskoulutukseen hakeutuvia opettajia (Aksela et al., 2008) ja kuuluvat siten 16 % (innovaattorit 2,5 % tai varhaiset omaksujat 13,5 %) kemian opettajien ammattikunnasta, jotka ovat alansa pioneereja ja uudistajia tai paikallisia vaikuttajia (Rogers, 1962).

Tämä ei kuitenkaan ole tutkimuksen luotettavuutta tai merkittävyyttä alentava tekijä. Tutkimus on laadullinen suuntaa-antava tapaustutkimus, jonka tavoitteena oli selvittää opettajien käsityksiä molekyylimallinnuksen roolista opetussuunnitelmien mukaisessa opetuksessa. Molekyylimallinnusta jo kentällä aktiivisesti käyttävät opettajat näkevät molekyylimallinnuksen ja opetussuunnitelmien välisen yhteyden kokonaisvaltaisemmin, kuin molekyylimallinnuksen käyttöä vasta aloittelevat opettajat. Sen vuoksi he antavat tutkimuksen tavoitteiden kannalta parasta tietoa. Kyse on ns. eliittiotannasta (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 86).

Kokonaisuutena tutkimustuloksia voidaan pitää erittäin luotettavina. Koonnin muistiinpanoista ilmenee, että samat tärkeinä pidetyt sisällölliset ja tavoitteelliset asiat nousivat esiin sekä tehtävän yksilövaiheessa (raportti) että ryhmätyövaiheessa (koonti).

Suoritetun sisällönanalyysin mukaan opettajat pitivät molekyylimallinnuksen roolia lukiossa selvästi merkittävämpänä kuin peruskoulussa. Lukiossa sen katsottiin kuuluvan tavoitteiden näkökulmasta olennaiseksi osaksi modernia kemian opetusta, kun taas peruskoulussa sen nähtiin tuovan yhden lisävaihtoehdon työtapoihin ja parantavan omalta osaltaan kemian kuvaa oppiaineena. Huomattavaa tosin on, että analysoidut raportit ottivat pääosin kantaa lukio-opetukseen. Vastausten jakautuminen saattaa johtua siitä, että hankkeeseen kuuluvista opettajista vain viidennes opettaa pelkästään peruskoulussa (ks. Aksela et al., 2008).

Opettajien käsitysten mukaan peruskoulussa mallinnus soveltuu sisällöistä parhaiten orgaanisten yhdisteiden mallintamiseen. Opettajat eivät suosittele molekyylimallinnusta kovin syvälliseen ominaisuuksien tai reaktioiden tutkimukseen peruskoulussa. Lukiossa taas sisältöjen näkökulmasta aiheita nousi esille useampia. Molekyylimallinnuksen katsottiin tuovan eniten apua orbitaalien, kemiallisten sidosten, biomolekyylien ja poolisuuden opettamiseen. Ryhmäkeskusteluissa nousivat esille myös kemiallisen reaktion ja tasapainon mallintaminen.

Tulokset ovat linjassa opetussuunnitelmien perusteiden kanssa. Opettajat näkevät tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen tukevan opetussuunnitelmien perusteiden mukaisia tavoitteita ja sisältöjä lukuisissa kemian opetuksen osa-alueissa. (vrt. Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197). Tulokset ovat yhteneviä

myös muiden saman alan tutkimusten kanssa (vrt. Aksela & Lundell, 2007; Aksela & Lundell, 2008; Aksela et al., 2008). Tutkimustulokset vahvistavat MMK -hankkeessa jo käsiteltyjen teemojen tärkeyden ja antavat lisätietoa tulevaisuudessa opetussuunnitelman perusteiden tavoitteiden ja sisältöjen suunnitteluun, opettajankoulutuksen kehittämiseen ja opetusmateriaalien tekemiseen. Tämä tutkimus on raportoitu julkaisussa IV (Pernaa et al., 2009).

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuskirjallisuuden mukaan modernien oppimisympäristöjen haasteista, mahdollisuuksista ja vaikutuksista tarvitaan lisää tutkimusta (Gilbert et al., 2002). Tässä tutkielmassa näitä asioita tutkittiin kansallisella tasolla. Tutkielman tavoitteena oli selvittää suomalaisten kemian aineenopettajien TVT:n hyödyntämiseen liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia sekä kehittää ratkaisuja ja malleja, jotka tukevat TVT:n diffuusiota kemian opetukseen.

Tutkimuksissa kehitettiin mielekäs kemian verkko-oppimateriaalimalli sekä neljä oppimisympäristöä, jotka yhdistävät TVT:n ja kemian kokeellisuuden (ks. luvut 4.2; 4.3; 5.1 sekä Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009). Lisäksi tutkimuksessa tutkittiin minkälaista koulutusta kemian opettajat tarvitsevat molekyylimallinnuksen hyödyntämiseen kemian kouluopetuksessa (ks. luvut 4.4; 4.5; 5.2 sekä Aksela et al., 2008; Pernaa et al., 2009).

Tässä luvussa vastataan tutkimuksen kahteen päätutkimuskysymykseen: 1) Millaisia uusia mahdollisuuksia tieto- ja viestintäteknikkaan pohjautuvat oppimisympäristöt tuovat kemian opetukselle? (ks. luku 5.1) ja 2) Millainen koulutus tukee tieto- ja viestintäteknikan hyödyntämistä kemian opetuksessa? (ks. luku 5.2). Lisäksi luvussa esitetään tärkeimpiä tutkimuksesta syntyneitä jatkotutkimuskohteita.

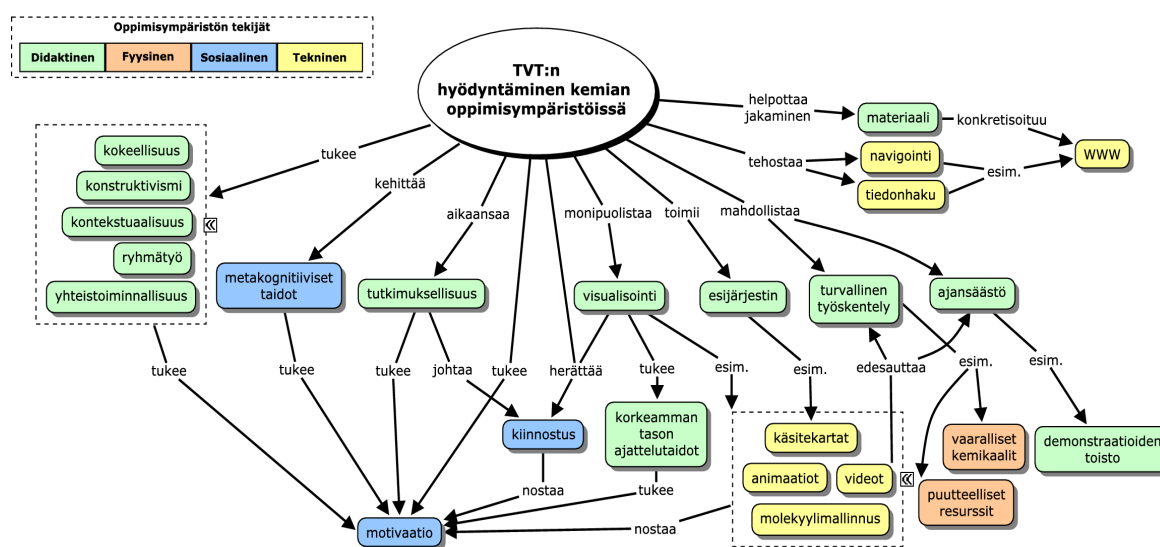
5.1 Tieto- ja viestintäteknikkaan pohjautuvien oppimisympäristöjen mahdollisuudet kemian opetuksessa

Mielekkään oppimisen teorian mukaan oppimisessa olennaisinta on opiskelijan sisäinen motivaatio, mutta myös mielekästä oppimista kannustava oppimisympäristö on tärkeä tekijä (Novak, 1998). Myös Meisalon et al. (2000) mukaan avoimien oppimisympäristöjen kanssa työskenneltäessä tärkeintä on opiskelijan motivaatio. Kemian opetuksessa opiskelijan motivaatiota voidaan tukea muun muassa kokeellisuudella (esim. Nakhleh et al., 2002; Millar, 2004), kontekstuaalisuudella (esim. Gilbert, 2006), TVT:n hyödyntämisellä (esim. Aksela, 2005; Russell et al., 1997) tai käyttämällä opetuksessa esimerkiksi historiallista (Erduran, 2001; Erduran & Scerri, 2002) tai avointa tutkimuksellista (esim. Millar, 2004) lähestymistapaa.

Tässä tutkielmassa kehitetyt oppimisympäristöt ovat avoimia moderneja oppimisympäristöjä, joissa yhdistetään TVT:a ja kemian kokeellisuutta. Oppimisympäristöjen avoimuutta korostetaan kontekstuaalisella lähestymistavalla (Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009), jonka myötä opiskelija pystyy vaikuttamaan oppimistavoitteisiin omien kokemuksiensa kautta (vrt. Gilbert, 2006; Meisalo et al., 2000).

Oppimisympäristöjen kehittämisessä on lähtökohtaisesti oletettu tutkimustiedon (esim. Aksela, 2005; Kozma & Russell, 2005; Russell et al., 1997; Russell & Kozma, 2005) perusteella, että avoimuus ja TVT:n hyödyntäminen nostavat kemian oppimisympäristön mielekkyyttä ja motivoivat opiskelijoita. TVT:a voidaan hyödyntää myös niin, ettei se

anna lisäarvoa oppimisympäristölle. Tässä tutkielmassa selvitettiin, millaisia uusia mahdollisuuksia TVT:n hyödyntäminen tuo kemian oppimisympäristöille. Tutkimustulosten mukaan TVT:a voidaan hyödyntää kaikkien oppimisympäristöjä määrittelevien osatekijöiden (didaktiset, fyysiset, tekniset ja sosiaaliset) tukena. TVT antaa lisäarvoa avoimille kemian oppimisympäristöille esimerkiksi esijärjestimenä, navigoinnin ja tiedonhaun tehostajana, kiinnostuksen herättämisessä, kokeellisuuden, kontekstuaalisuuden, konstruktivismin ja korkeamman tason ajattelutaitojen tukemisessa, materiaalin jakamisessa, opiskelijan metakognitiivisten taitojen kehittämisessä, tutkimuksellisen lähestymistavan aikaansaamisessa, ajansäästössä, turvallisen työskentelyn mahdollistamisessa, visualisoinnin monipuolistamisessa sekä ryhmätyön ja yhteistoiminnallisuuden tukemisessa (ks. kuva 14; taulukko 9). (Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009) Monet yllä luetelluista tekijöistä ovat opiskelijan motivaatiota tukevia tekijöitä, mikä nousee TVT:n hyödyntämisen tärkeimmäksi käyttömahdollisuudeksi (ks. kuva 14) (vrt. Meisalo, 2000).



Kuva 14 Yhteenveto TVT:n hyödyntämisestä kemian oppimisympäristöissä. (ks. Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009)

Taulukko 9. Yhteenveto TVT:n mahdollisuuksista kemian oppimisympäristöissä. (ks. Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009)

Hyödyntäminen	Kuvaus	Osatekijä
• Esijärjestin • Navigointi • Tiedonhaku	Verkkomateriaaleja käsittelevässä tutkimuksessa (Pernaa & Aksela 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b) kehitettiin verkkomateriaali, jossa tiedonhakua ja navigointia tehostettiin rakentamalla navigointijärjestelmä käsitekartoista. Tutkimus osoitti käsitekarttojen soveltuvan tiedon jäsentämiseen verkkoympäristössä erityisen hyvin (vrt. Carnot et al., 2001). Käsitekartat nostivat kehitetyn materiaalin käytettävyyttä, mikä on yksi mielekkään verkkomateriaalin piirre (vrt. Multisilta, 1997). Materiaali toimii samanaikaisesti laajana materiaalipankkina, mutta käsitekarttojen myötä	• Didaktinen • Tekninen

	myös nopeana kertaustyökaluna. Käsitekartat toimivat navigointiprosessissa esijärjestimenä, mikä on yksi mielekkään oppimisen perustekijöistä (vrt. Novak, 1998, 67).	
• Kiinnostus • Motivaatio	Kiinnostuksen ja motivaation tukeminen nousevat vahvasti esille tutkimuksessa Pernaa ja Aksela (2009). Tutkittaessa yllä olevaa käsitekarttaa (ks. kuva 14) huomataan kiinnostuksen nostavan motivaatioita ja motivaation olevan käsitekartan keskeisin käsite. Motivaation tukemiseen tähdätään didaktisilla, sosiaalisilla ja teknisillä tekijöillä.	• Sosiaalinen
• Metakognitiiviset taidot	Tutkimuksessa Pernaa & Aksela (2009) kehitetyssä happoja ja emäksiä käsittelevässä oppimisympäristössä hyödynnetään tietokoneavusteisia käsitekarttoja oman oppimisen seuraamisessa, mikä kehittää opiskelijan metakognitiivisia taitoja.	• Sosiaalinen • Tekninen
• Kokeellisuus	Tutkimuksessa Pernaa ja Aksela (2008a; 2008b) opettajat kokivat TVT:n avulla tuettujen kokeellisten töiden tuovan lisäarvoa verkko-oppimisympäristölle. Opettajat ja opiskelijat totesivat TVT:n myös olevan olennainen osa kokeellista työskentelyä myös tutkimuksessa Pernaa & Aksela (2009), jossa sen koettiin motivoivan opiskelijoita ja tehostavan visualisointia kokeellisuuden yhteydessä.	• Didaktinen
• Konstruktivismi	Tutkimuksessa kehitetyssä verkkomateriaalissa konstruktivismia on pyritty korostamaan rakentamalla verkkomateriaali käsitekarttoista, joiden avulla opiskelija pystyy jäsentämään tietoa verkkoympäristössä tehokkaasti (Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b) sekä tutkimuksessa Pernaa ja Aksela (2009) kehitetyssä videoita ja kokeellisuutta yhdistelevässä oppimisympäristössä kemian demonstraatioiden yhteydessä konstruktivistista lähestymistapaa tuettiin kysymysten ja videoiden hyödyntämisen avulla.	• Didaktinen
• Korkeamman tason ajattelutaidot • Tutkimuksellinen lähestymistapa	Korkeamman tason ajattelutaitoja ja tutkimuksellista lähestymistapaa tuetaan esimerkiksi kehittämistutkimuksen Pernaa ja Aksela (2009) kehitetyssä kokeellisuus & molekyylihallinnus -oppimisympäristössä. Oppimisympäristössä tehdään oletus ja suoritetaan kokeellinen työ, jonka jälkeen havainnoidun makrotason ilmiön tuloksia analysoidaan ja arvioidaan submikroskooppisella tasolla tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen keinoin.	• Didaktinen • Tekninen
• Materiaalin jakaminen	Tutkimuksessa kehitettyjen oppimisympäristöjen TVT-elementit ovat pääosin toteutettavissa ilmaisohjelmistoilla ja materiaalit ovat vapaasti kaikkien saatavissa verkon kautta (Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009). Verkon hyödyntäminen ja ilmaisohjelmistojen ilmaisen materiaalin välittämisessä on yksi keino tukea Valtioneuvoston kanslian (2007) esittämää tavoitetta maanlaajuisesta tieto- ja viestintätekniisestä tasa-arvosta.	• Didaktinen • Tekninen
• Turvallinen työskentely • Ajansäästö	Tutkimuksen Pernaa ja Aksela (2009) mukaan TVT:a hyödyntämällä voidaan esimerkiksi toteuttaa kokeellisuutta puutteellisilla resursseilla (esim. ilman vetokaappia) tai demonstroida turvallisesti reaktioita, joiden suorittamiseen tarvitaan vaarallisia kemikaaleja. TVT:n todettiin myös säästävän aikaa muun muassa demonstraatioiden toistamisessa.	• Didaktinen • Fyysinen
• Visualisointi	Luvun 4.2 kehittämistutkimuksessa kehitetyssä verkkomateriaalissa oppimista tuetaan sub-mikrotasoa havainnollistavilla animaatioilla ja korkealaatuisilla kuvilla (Pernaa & Aksela 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b). Luvun 4.3 kehittämistutkimuksessa Pernaa ja Aksela (2009) TVT:n todettiin tukevan kemian kokeellisuutta esim. visualisoimalla näkymätöntä submikrotasoa (vrt. Kozma & Russell, 2005; Russell et al., 1997; Russell & Kozma, 2005).	• Didaktinen
• Ryhmätyö • Yhteis-toiminnallisuus	Tutkimuksessa Pernaa & Aksela (2009) kehitetyssä käsitekarttoja hyödyntävässä oppimisympäristössä ryhmätyötä ja yhteistoiminnallisuutta tuettiin tekemällä käsitekarttoja ennen ja jälkeen kokeellista työtä, jossa käsitekarttoja esitettiin ja työstiin sekä kotiryhmissä että koko luokan kesken.	• Didaktinen

Tutkimuksissa (Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009) selvitettiin TVT:n mahdollisuudet ja haasteet kemian oppimisympäristöjen tukena. Niiden perusteella aihetta käsittelevät jatkotutkimukset tulee vahvemmin suunnata tukemaan mielekästä kemian oppimista. Teoreettista viitekehystä tulee siis voimakkaammin kytkeä mielekkään oppimisen teorian ympärille, jonka pohjalta jatketaan uudentyyppisten modernien oppimisympäristöjen kehittämistä. Kehittämisessä tulee huomioida motivaatiota tukevat didaktiset, fyysiset, sosiaaliset ja tekniset kemian oppimisympäristötekijät, joiden myötä oppimistavoitteet pystytään selkeämmin kohdentamaan tarpeisiin nähden. Oppimisympäristöjen kehittämiseen tulee sisällyttää myös vaikuttavuutta mittaavat oppilastestaukset, jotka nostavat kehitettyjen oppimisympäristöjen käytettävyyttä ja luotettavuutta.

Tutkimukset (Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009) osoittavat TVT:n pohjautuvien kemian oppimisympäristöjen kehittämistarpeen ja potentiaalin olevan kemian opetuksessa erittäin suuri, mikä kannustaa jatkotutkimuksiin aihepiirin parissa.

5.2 Tieto- ja viestintätekniikan hyödyntämistä kemian opetuksessa tukeva koulutus

TVT:n hyödyntäminen diffusioituu kemian opetukseen hitaasti. Viimeisimmän 10 vuoden aikana TVT:n käyttö kemian opetuksen tukena ei ole merkittävästi kasvanut ja se on pysynyt opettajien ensisijaisena täydennyskoulutustoiveena (ks. Aksela & Juvonen, 1999; Aksela & Karjalainen, 2008). Aikaisemman tutkimustiedon mukaan vähäiseen käyttöön eivät ole syynä opettajien asenteet, vaan tiedot, taidot ja resurssiongelmat. Opettajilla ei myöskään ole mahdollisuutta saada tukea käyttöön liittyviin ongelmiin. (ks. Aksela & Lundell, 2007; Aksela & Lundell, 2008). Tämän tutkielman tapaustutkimukset (Aksela et al., 2008; Pernaa et al., 2009) ovat osa kolmivuotista MMK-kehittämistutkimushanketta, jossa tähän tarpeeseen vastataan kehittämällä kansallinen molekyylihallinnuksen vertaiskoulutusverkosto ja kattava suomenkielinen molekyylihallinnusoppikirja.

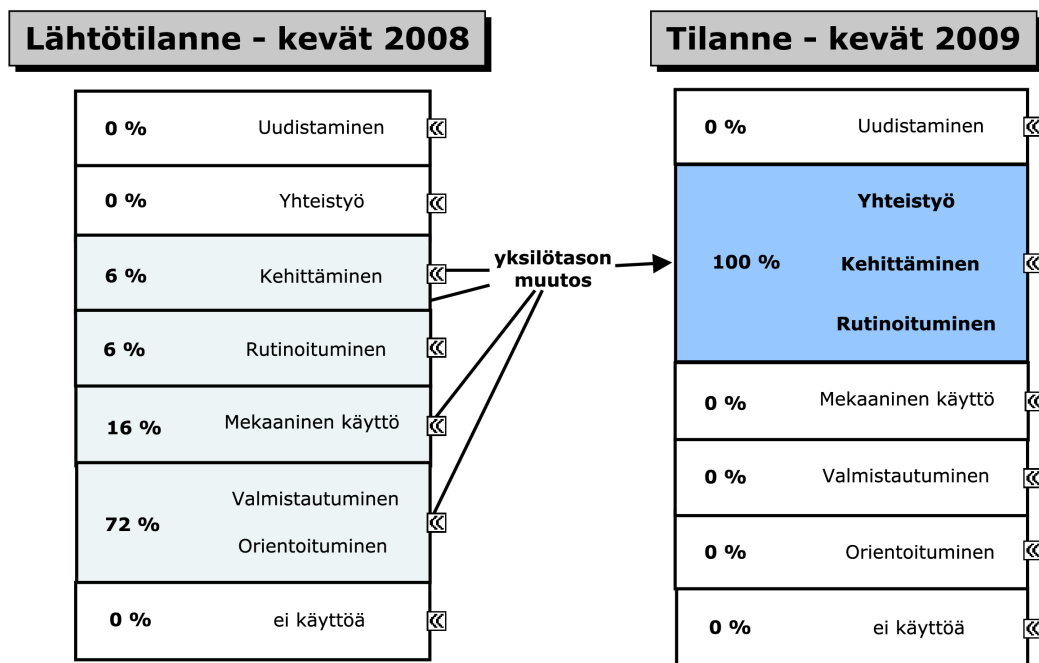
Tutkimuksessa Aksela et al. (2008) kartoitettiin kehittämishankkeen lähtötilanne. Pohdittaessa lähtötilannetta Rogersin (1962) diffuusioteorian pohjalta voidaan todeta, että kehittämishankkeessa oleva 21 opettajan ryhmä sisältää sekä innovaattoreita että varhaisia omaksujia. Hankkeen opettajat ovat ensimmäisinä ammattikunnastaan ryhtyneet toimimaan molekyylihallinnusinnovaation diffuusiota edistävästi ja sitoutuvat toimimaan paikallisina mentoreina myös hankkeen loputtua.

Ensimmäisen vuoden aikana MMK-hankkeen koulutustulokset yksittäisen opettajan näkökulmasta ovat merkittävät (ks. kuva 15). Tarkastelemalla Hallin ja Hordin (1987) kehittämien yksilön innovaation omaksumisen taitokategorioiden mukaan opettajien lähtötasoa huomataan, että suurin osa (72 %) opettajista vasta orientoitui etsimään tietoa molekyylihallinnuksesta tai valmistautui ensimmäisen kerran ottamaan molekyylihallinnuksen itsenäisesti käyttöön asentamalla työkoneeseen hankkeesta saatavan mallinnusohjelmiston. Lähtötilanteessa löytyi myös opettajia, jotka käyttivät molekyylihallinnusta toisinaan mekaanisesti (16 %) tai rutinoituneesti (6 %) opetuksen

tukena. Yksi hankkeen opettajista suoritti myös aiheesta jatko-opintoja (ks. Aksela et al., 2008).

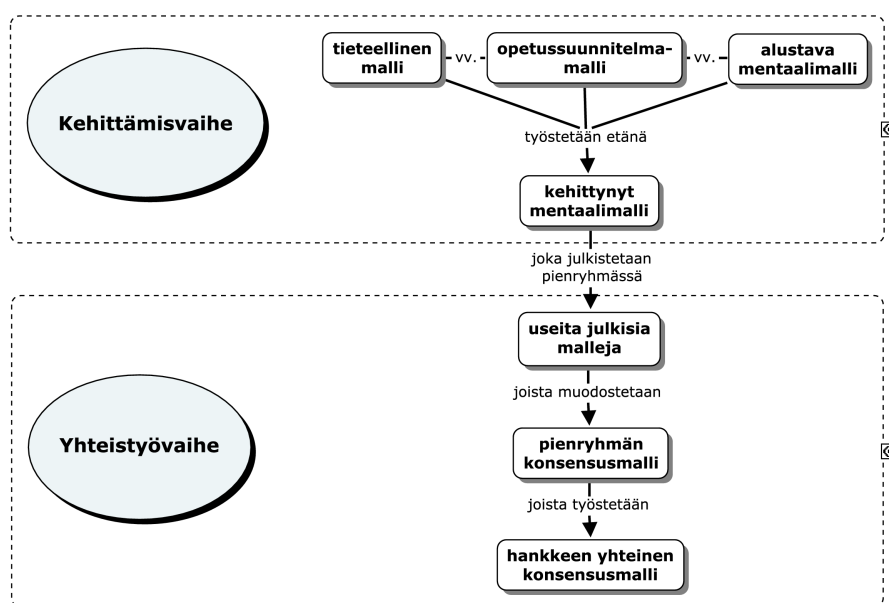
Ensimmäisen vuoden aikana opettajat kokoontuivat muutamana lähiopetuspäivänä opiskelemaan teoriaa, saamaan teknistä tukea ja verkostoitumaan. Lähiopetuskertojen jälkeen opettajat kehittivät etätehtävissä molekyylimallinnusharjoituksia, joita he testasivat opetuskäytössä ja tutkivat, miten opiskelijat suhtautuvat niihin ja mitä he oppivat niiden avulla. Opettajien vastaanottavaisuus uusille innovaatioille, tutkimuspohjainen tavoitteellinen lähestymistapa sekä vuorovaikutus lähi- ja etäopiskelun välillä tekivät koulutuksesta innovaatioiden omaksumisen näkökulmasta erittäin tehokasta. Vuoden aikana opettajien taito- tieto ja resurssitilannetta parannettiin luomalla mahdollisuus molekyylimallinnuksen käytön rutinoittamiselle ja kehittämiseksi yhteistyön kautta (vrt. Aksela & Lundell, 2007; Aksela & Lundell, 2008; Hall & Hord, 1987):

- **Rutinoituminen ja resurssit:** Kaikki opettajat saivat hankkeessa oman mallinnusohjelmiston, jonka he voivat asentaa helposti lähestyttävälle kotikoneelle. Tämä madaltaa harjoittelukynnystä, jolloin käyttö alkaa rutinoitua.
- **Rutinoituminen ja tuki:** Kurssialustan kautta opettajat saavat tukea tekniseen suorittamiseen ja teoriaosaamiseen myös lyhyellä ajalla kouluttajilta ja vertaisilta.
- **Kehittäminen, tiedot ja taidot:** Soveltavien ja tutkimuspohjaisten etätehtävien avulla opettajat tekevät kehitystyötä innovaation omaksumisen tueksi.
- **Yhteistyö ja tuki:** Kurssialustan ja säännöllisten lähiopetuspäivien myötä opettajat pystyvät verkostoitumaan ja muodostaan yhteisiä mallinnusprojekteja.



Kuva 15 Opettajien taidollinen innovaation omaksuminen ensimmäisen koulutusvuoden aikana. (ks. Aksela et al., 2008)

Myös tapaustutkimuksessa Pernaa et al. (2009) esitellään konkreettinen esimerkki, miten kehittämis- ja yhteistyövaiheet esiintyvät MMK -hankkeen koulutuksessa henkilökohtaisella tasolla. Tutkimuksessa kartoitettiin hankkeen opettajien käsityksiä molekyyli mallinnuksen roolista kemian opetuksessa. Tutkimus pohjautui teoreettiselta viitekehykseltään opetussuunnitelmien perusteisiin (opetussuunnitelmamalli) (ks. Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197). Tapaustutkimuksessa opettajat refleктоivat opetussuunnitelmamallia hankkeessa jo käsiteltyjen teemojen ja omien kokemuksien (alustava mentaalimalli) pohjalta. Aikaisemmat teemat ovat valittu koulutukseen aikaisemman tutkimuksen perusteella (ks. Aksela & Lundell, 2007; Aksela & Lundell, 2008; Aksela et al., 2008) ja edustavat siten prosessissa tieteellistä mallia. Opettajat työstivät tehtävää ensin etänä muodostaen kehittyneen mentaalimallin opetussuunnitelmamallista, alustavasta mentaalimallista ja tieteellisestä mallista. Etätyön jälkeen oma kehittyneempi mentaalimalli julkistettiin lähiopetuskerralla ensin pienryhmässä, jonka jälkeen prosessin viimeisessä vaiheessa pienryhmät etsivät vielä yhteistä konsensusta kehittämällä ja testaamalla pienryhmäkonsensusmalleja suuremmassa ryhmässä (ks. kuva 16) (vrt. Gilbert et al., 2000). (Pernaa et al., 2009)



Kuva 16 Kehittämis- ja yhteistyövaiheiden esiintyminen tapaustutkimuksessa Pernaa et al. (2009).

Suoritettujen tapaustutkimusten Aksela et al. (2008) ja Pernaa et al. (2009) mukaan aikaisempaan tutkimustietoon pohjautuva lähi- ja etäopetusta sisältävä tavoitteellinen koulutus tukee erittäin vahvasti TVT-innovaation taidollista omaksumista yksilötasolla.

Kehitettävä kansallinen mentorointiverkosto tulee olemaan tärkeä TVT:n koulumaailmaan siirtymistä tukeva innovaatio.

MMK-hankkeen opettajat tulevat hankkeen aikana kasvamaan innovaattorien ja varhaisten omaksujien roolista kohti muutosagentin roolia, jolloin he ryhtyvät omilla tahoillaan edistämään alueellisten mentorointiverkostojen kehittämistä. He eivät hankkeen jälkeen enää tarvitse tukea molekyylimallinnuksen peruskäytössä ja eivät siten ole mentorointiverkoston ensisijainen kohde, vaan heidän kollegansa ja lähipiirien koulujen opettajat. Tästä syystä, ilmiön kokonaisvaltaisen ymmärtämisen vuoksi jatkossa olisi tärkeää tutkia tarkemmin innovaation diffuusion vaikutusta hankkeen opettajien työyhteisöissä, jonka perusteella saataisiin tietoa, mihin suuntaan kehittämistutkimuksen tuotoksia (mentorointiverkosto ja molekyylimallinnusoppikirja) tulisi kehittää.

Suoritetut tutkimukset osoittavat TVT:n hyödyntämiseen liittyvien sovellusten ja koulutuksen tutkimisen olevan ajankohtaisia kemian opetuksen tutkimusaloja (ks. Aksela et al., 2008; Pernaa & Aksela, 2008a; Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2009; Pernaa et al., 2009). Myös kansallinen koulutusstrategia pitää alan jatkotutkimusta tärkeänä ja painottaa TVT:n hyödyntämisen ja opetuksen välisten rajapintojen tutkimista uusien innovaatioiden löytämiseksi (ks. Opetusministeriö, 2009).

Lähteet

- Aksela, M., & Juvonen, R. (1999). *Kemian opetus tänään*. Helsinki: Opetushallitus, Edita Oy.
- Aksela, M., & Lahtela-Kakkonen, M. (2001). Molekyylitason teknologiaa opetuksessa. *Kemia-Kemi*, 28(3), 200-203.
- Aksela, M. (2005). *Supporting Meaningful Chemistry Learning and Higher-order Thinking Through Computer-Assisted Inquiry: A Design Research Approach*. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino.
- Aksela, M., & Lundell, J. (2007). Kemian opettajien kokemuksia tietokoneavusteisesta molekyylimallinnuksesta. Kirjassa M. Aksela, & M. Montonen (Toim.), *Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluun* (s. 226-247). Helsinki: Yliopistopaino.
- Aksela, M., & Karjalainen, V. (2008). *Kemian opetus tänään: Nykytila ja haasteet Suomessa*. Helsinki: Kemian opetuksen keskus, Kemian laitos, Helsingin yliopisto, Yliopistopaino.
- Aksela, M., & Lundell, J. (2008). Computer-based molecular modelling: Finnish school teachers experiences and views. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 301-308.
- Aksela, M., Lundell, J., & Pernaa, J. (2008). Molekyylimallinnuksen mentoreita kemian opetuksen ja oppimisen tueksi. Kirjassa J. Välisaari, & J. Lundell (Toim.), *Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä opetusta* (s. 59-68). Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- Aksela, M., & Pernaa, J. (2009). Kemianluokka Gadolin -opettajien kokemuksia uuden oppimisympäristön käytöstä. Kirjassa M. Aksela, & J. Pernaa (Toim.), *Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa perusopetuksesta korkeakouluun - IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät* (s. 40-49). Helsinki: Yliopistopaino.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York, Holt: Reinehart & Winston.
- Arajärvi, K., & Aksela, M. (2009). Kokeellisuus ja kiinnostus kemian opetuksessa. Kirjassa M. Aksela, & J. Pernaa (Toim.), *Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa perusopetuksesta korkeakouluun - IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät* (s. 172-180). Helsinki: Yliopistopaino.
- Burke, K. A., Greenbow, T. J., & Windschitl, A. (1998). Developing an Using Conceptual Computer Animations for Chemistry instruction. *Journal of Chemical Education*, 75(12), 1658-1661.
- 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. Institute for Human and Machine Cognition.
<http://www.ihmc.us/users/acanas/Publications/CMapsVSWebPagesExp1/CMapsVSWebPagesExp1.htm>, luettu 14.10.2008.
- Cardellini, L. (2004). Conceiving of Concept Maps to Foster Meaningful Learning: An Interview with Joseph D. Novak. *Journal of Chemical Education*, 81(9), 1303-1307.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education*. New York: Routledge.
- Coleman, C., King, F., Ruth, M. H., & Stary, E. (2001). *Developing higher-order thinking skills through the use of technology*. ERIC Document Reproduction Service No. ED459702.
- Denning P. J. (2004). The social life on innovation. *Communications of the ACM*, 47, 15-19.

- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11, 105-121.
- Elliott, M. J., Stewart, K. K., & Lagowski, J. J. (2008). The Role of the Laboratory in Chemistry Instructions. *Journal of Chemical Education*, 85(1), 145-149.
- 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. Kirjassa J. K. Gilbert, R. Justi, D. Treagust, O. de Jong, ja J. van Driel (Toim.), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (s. 7-27). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- ERIC: Education Resources Information Center. (2009). <http://www.eric.ed.gov/>, luettu 31.08.2009.
- Euroopan komissio. (2007). The life-long learning program 2007 – 2013. http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-programme/doc78_en.htm, luettu 14.1.2010.
- 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.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning Through Chemistry Education Research: A look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Gahr, A. A. (2003). Cooperative Chemistry: Concept Mapping in the Organic Chemistry Lab. *Journal of College Science Teaching*, 32(5), 311-315.
- 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., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. Kirjassa J. K. Gilbert, & C. J. Boulter (Toim.), *Developing Models in Science Education* (s. 3-18). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K., de Jong, O., Justi, R., Treagust, D., & Van Driel, J. (2002). Research and development for the future of chemical education. Kirjassa J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. van Driel (Toim.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (s. 391-408). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science teaching*, 28(9), 799-822.
- Hall, G., & Hord, S. (1987). *Change in schools: Facilitating the process*. Albany, NY: State University of New York Press.
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- Jalonen, E., Lundell, J., & Aksela, M. (2007). Molekyylimallinnus lukion kemian opetuksessa. Kirjassa M. Aksela, & M. Montonen (Toim.), *Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluun* (s. 148-154). Helsinki: Yliopistopaino.
- JCE: Journal of Chemical Education. (2009). <http://jchemed.chem.wisc.edu/>, luettu 31.08.2009.
- Johnstone, A. H. (1993). The Development of Chemistry Teaching: A Changing Response to Changing Demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. Kirjassa C. Reigeluth (Toim.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of*

- instructional theory, volume II* (s. 215-239). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and Modelling in Chemical Education. Kirjassa J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. van Driel (Toim.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (s. 47-68). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Juuti, K. (2005). *Towards primary school physics teaching and learning : design research approach*. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino.
- Jääskeläinen, P. (2008). Kiinnostuksen tukeminen perusopetuksessa: molekyylimallinnus työtapana. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradut/pg_jaaskelainen_piia.pdf, luettu 24.2.2010.
- Laroche, L. H., Wulfsberg, G., & Young, B. (2003). Discovery Videos: A Safe, Tested, Time-Efficient Way To Incorporate Discovery-Laboratory Experiments into the Classroom. *Journal of Chemical Education*, 80(8), 962-966.
- Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. Kirjassa D. L. Gabel (Toim.), *The Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (s. 94-128). New York: Macmillan.
- Kalliala, E. (2002). *Verkko-opettamisen käsikirja*. Jyväskylä: Gummerus.
- Kaya, O. N. (2008). A Student-Centred Approach: Assessing the Changes in Prospective Science Teachers' Conceptual Understanding by Concept Mapping in a General Chemistry Laboratory. *Research in Science Education*, 38(1), 91-110.
- Kiliç, Z., Kaya, O. N., & Doğan, A. (2004). Effects of Students' Pre- and Post-Laboratory Concept Maps on Students' Attitudes toward Chemistry Laboratory in University General Chemistry, Online Submission, Poster esitetty kansainvälisessä kemian opetuksen konferenssissa (18th, Istanbul, Turkki, 2004).
- Konschin, H. (2005). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 7: Kvantkemi i skolan, möjligt eller omöjligt? *Dimensio*, 69(1), 50-54.
- Kozma, R. (2003). Material and social affordances of multiple representations for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205-226.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. Kirjassa J. K. Gilbert (Toim.), *Visualization in Science Education* (s. 121-146). Dordrecht: Springer.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2003). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 1: Molekyylimallinnus ja kemian opetus. *Dimensio*, 67(5), 47-49.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004a). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 2: Molekyylimallinnus ja energia. *Dimensio*, 68(1), 53-54.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004b). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 3: Molekyylien rakenne ja sen visualisointi. *Dimensio*, 68(2), 40-42.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004c). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 4: Orbitaalien havainnollistaminen lukion kemian opetuksessa. *Dimensio*, 68(3), 40-43.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004d). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 5: Kemiallisen sidoksen tietokoneavusteinen mallintaminen. *Dimensio*, 68(4), 26-29.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004e). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 6: Tutkimuskohteena molekyylien värähdykset. *Dimensio*, 68(5), 54-56.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2005). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 8: Kemiallisen reaktion mallinnus. *Dimensio*, 69(2), 33-36.
- Manninen, J., & Pesonen, S. (1997). Uudet oppimisympäristöt. *Aikuiskasvatus* 4(97), 267-274.

- Maor, D. (2000). A teacher professional development program on using a constructivist multimedia learning environment. *Learning Environments Research*, 2, 307-330.
- 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., Sutinen, E., & Tarhio, J. (2000). *Modernit oppimisympäristöt*. Juva: WS Bookwell Oy.
- Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. Artikkeliksi kirjoitettu tapaamiseen: High School Science Laboratories: Role and Vision. Washington: National Academy of Sciences, 1-22.
- Monteyne, K., & Cracolice, M. S. (2004). What's wrong with Cookbooks? A Reply to Ault. *Journal of Chemical Education*, 80(11), 1559-1560.
- Multisilta, J. (1997). Miltä näyttää WWW-maailma oppimisympäristönä. Kirjassa E. Lehtinen (Toim.), *Verkkopedagogiikka* (s. 101-111). Helsinki: Edita.
- Muurinen, M., & Skarp, N. (2004). Oivaltamisen iloa laskennallisesta kemiasta. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradut/pg_mmuurinen-nskarp.pdf, luettu 24.2.2010.
- Nakhleh, M. B., Polles, J., & Malina, E. (2002). Learning Chemistry in a Laboratory Environment. Kirjassa J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. van Driel (Toim.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (s. 69-94). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nicoll, G., Francisco, J. S., & Nakhleh, M. (2001). An Investigation of the Value of Using Concept Maps in General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 78(8), 1111-1117.
- Novak, J. D. (1998). *Tiedon oppiminen, luominen ja käyttö: Käsitekartat työvälineinä oppilaitoksissa ja yrityksissä*. (Suom. M. Åhlberg). Jyväskylä: PS-kustannus.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Opetusministeriö. (2009). Opetusministeriön strategia 2020. Opetusministeriön julkaisuja 2009:47. http://www.minedu.fi/OPM/Julkaisut/2009/opetusministerion_strategia_2020.html, luettu 14.1.2010.
- Pendley, B. D., Bretz, R. L., & Novak, J. D. (1994). Concept Maps as a Tool to Assess Learning in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 71(1), 9-15.
- Pernaa, J. (2008). Hyönteisten kemiaa lukion kemian opetuksessa. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradut/pg_pernaa.pdf, luettu 24.2.2010.
- Pernaa, J., & Aksela, M. (2008a). Verkko kemian oppimisympäristönä: esimerkkinä hyönteisten kemia. Kirjassa J. Välisaari, & J. Lundell (Toim.), *Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä opetusta* (s. 35-44). Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- Pernaa, J., & Aksela, M. (2008b). Concept maps as meaningful learning tools in a web-based chemistry material. Kirjassa A. J. Canas, J. D. Novak, P. Reiska, & M. K. Åhlberg (Toim.), *Concept Mapping : Connecting Educators : Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping : vol. 1 Full papers, part one* (s. 282-289). Viro: IHMC, Tallinnan yliopisto, Helsingin yliopisto, OU Vali Press.
- Pernaa, J., Aksela, M., & Lundell, J. (2009). Kemian opettajien käsityksiä molekyylimallinnuksen käytöstä opetuksessa. Kirjassa M. Aksela, & J. Pernaa (Toim.), *Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa*

- perusopetuksesta korkeakouluun - IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät* (s. 195-204). Helsinki: Yliopistopaino.
- Pernaa, J., & Aksela, M. (2009). Chemistry teachers' and students' perceptions of practical work through different ICT learning environments. *Problems of Education in the 21st Century*, 16, 80-88.
- Regis, A., Albertazzi, P. G., & Roletto, E. (1996). Concept Maps in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 73, 1084-1088.
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press.
- 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.
- Russell, J., & Kozma, R. (2005). Assessing learning from the use of multimedia chemical visualization software. Kirjassa J. K. Gilbert (Toim.), *Visualization in Science Education* (s. 299-332). Dordrecht: Springer.
- Saloma, A. (2005). Vetysidoksen opetus ja oppiminen. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradut/pg_asaloma.pdf, luettu 24.2.2010.
- Sjöberg, S. (2000). *Naturvetenskap som allmänbildning - en kritisk ämnesdidaktik*. Häftad: Studentlitteratur AB.
- Stensvold, M., & Wilson, J. T. (1992). Using Concept Maps as a Tool to Apply Chemistry Concepts to Laboratory Activities. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 230-232.
- Särkkä, H. (2009). Simulaatiot ionisidoksen oppimisen tukena. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
- Tasker, R., & Dalton, R. (2006). Research into practice: Visualization of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 141-159.
- Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Jyväskylä: Tammi.
- Tversky, B. (2005). Prolegomenon to scientific visualizations. Kirjassa J. K. Gilbert (Toim.), *Visualization in Science Education* (s. 29-42). Dordrecht: Springer.
- Uusikartano, H. (2006). Biomolekyylin visualisointi kemian opetuksessa. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradut/pg_uusikartano.pdf, luettu 24.2.2010.
- 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 14.1. 2010.
- Vainio, J. (2005). Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus energian opettamisen apuvälineenä. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
- Velázquez-Marcano, A., Williamson, V. M., Ashkenazi, G., Tasker, R., & Williamson, K. C. (2004). The Use of Video Demonstrations and Particulate Animation in General Chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), 315-323.
- Vermaat, J. H., Kramers-Pals, H., & Schank, P. (2003). The use of animations in chemical education. Artikkelit esitetty kansainvälisessä tapaamisessa, järjestävänä tahona the association for educational communications and technology, Anaheim, CA, USA, October 22-26, 2003.
- Vesterinen, V-M., & Aksela, M. (2009). A novel course of chemistry as a scientific discipline: how do prospective teachers perceive nature of chemistry through visits to research groups? *Chemical Education Research and Practice*, 10, 132-141.

- Vihma, L. (2006). Tietokonesimulaatioita kaasujen ymmärtämisen tukemiseen kemian lukio-opetuksessa. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradut/pg_lvihma.pdf, luettu 24.2.2010.
- Västinsalo, J. (2009). Ilman kaasujen molekyyli mallinnus 7-9 -luokkalaisten kiinnostuksen tukena. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradut/pg_vastinsalo.pdf, luettu 24.2.2010.
- Özmen, H., Demircioğlu, G., & Coll, R. K. (2009). A comparative study of the effects of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students' understanding of acid-base chemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(1), 1-24.