

Kemian opettajien käsityksiä molekyylimallinnuksen käytöstä opetuksessa (T)

Johannes Pernaa¹, Maija Aksela¹ & Jan Lundell²

¹ Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto

² Aineenopettajakoulutus, Kemian laitos, Jyväskylän yliopisto

Tässä tapaustutkimuksessa selvitettiin kemian aineenopettajien käsityksiä tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen roolista opetussuunnitelmien perusteiden tavoitteiden mukaisessa opetuksessa. Tutkimus toteutettiin *Mielekästä molekyylimallinnusta kouluopetukseen* -mentorikoulutushankkeen yhteydessä. Siihen osallistui 17 molekyylimallinnusta opetuksessa soveltavaa kemian aineenopettajaa perusopetuksesta ja lukiosta eri puolilta Suomea. Tutkimusta ohjasivat seuraavat kysymykset: 1) Mitä opetussuunnitelmien perusteiden mukaisia tavoitteita molekyylimallinnus tukee perusopetuksen ja lukion opetuksessa kemian aineenopettajien käsitysten mukaan? ja 2) Mitä opetussuunnitelmien perusteiden mukaisia sisältöjä molekyylimallinnus tukee perusopetuksen ja lukion opetuksessa kemian aineenopettajien käsitysten mukaan? Tutkimusaineistona käytettiin etätehtävän raportteja (N=16) sekä hankkeen yhden lähitapaamisen muistiinpanoja. Tutkimusaineisto analysoitiin teorialähtöisellä sisällönanalyysillä. Tutkimus osoitti, että kemian opettajien mielestä molekyylimallinnus tukee opetuksen tavoitteita ja sisältöjä lukuisissa kemian opetussuunnitelmien perusteiden kohdassa. Sen koettiin tukevan erityisesti orgaanisten yhdisteiden rakenteiden ymmärtämistä perusopetuksessa. Lukion opetuksessa sen koettiin tukevan erityisesti päätelmien tekoa ja kolmiulotteisten rakenteiden ymmärtämistä. Molekyylimallinnuksen koettiin antavan eniten lisäarvoa orbitaalien, kemiallisten sidosten ja biomolekyylien opettamiseen lukion kemian opetuksessa.

1. Johdanto

Mallit ja mallintaminen ovat olennaisia kemian työkaluja. Kemistit käyttävät niitä kaikissa mahdollisissa työvaiheissa linkkinä teoreettisen ja kokeellisen kemian välillä. Mallien avulla mm. ennustetaan, selitetään, esitetään tai kuvaillaan hypoteeseja, ilmiöitä, prosesseja ja tuloksia. Mallintamalla visualisoidaan niin makroskooppista, submikroskooppista kuin symbolistakin kemian tiedon tasoa (Johnstone, 1993; Gabel, 1999). Mallien tärkeä rooli huomioidaan myös kemian opetuksessa. Justin & Gilbertin (2002) mukaan kemian opettajien täytyy esitellä opiskelijoilleen ainakin mallikäsitteen luonne, erilaisten mallien mahdollisuudet ja rajoitteet sekä tarjota opiskelijoille mahdollisuus kehittää ja testata omia mallejaan. Mallinnusta tehdään mm. ajattelemalla, piirtämällä, eleillä ja tietokoneiden avulla. (Justi & Gilbert, 2002)

Mallinnuksen tärkeä rooli kemiassa näkyy vahvasti kemian opetussuunnitelmien perusteiden tavoitteissa ja sisällöissä. Opetussuunnitelmat painottavat tieto- ja viestintätekniikan (TVT) hyödyntämistä kemian opetuksessa yhtenä mallinnustyökaluna (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197). Haasteita tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen maanlaajuisessa käyttöönotossa kuitenkin riittää. Vuonna 2008 tehdyn ”Kemian opetus tänään: Nykytila ja haasteet Suomessa” -tutkimuksen mukaan vain 8 % tutkimukseen vastanneista opettajista hyödynsi tietotekniikkaa opetuksessaan ja 7 % mainitsi sen tärkeäksi kemian kurssien kehittämisalueeksi (Aksela & Karjalainen, 2008, 83-93).

2. Molekyylimallinnus suomalaisten kemian aineenopettajien näkökulmasta

Mallinnukseen liittyvää kirjallisuutta on runsaasti saatavilla, esimerkiksi kemian opetuksen alan julkaisuissa mallit ovat paljon keskusteltu aihe. Pikkahaku 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 opetusmallikuvauksia (JCE, 2009).

Täsmällisemmin, tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen tutkimus on alkanut maailmanlaajuisesti 1980-luvun loppupuolella (ERIC, 2009), kun taas Suomessa vastaavanlainen tutkimus, opettajille suunnatut julkaisut ja molekyylimallinnuskoulutus on alkanut 2000-luvun alkupuolella (esim. Aksela & Lahtela-Kakkonen, 2001; Lundell & Aksela, 2003; Aksela & Lundell, 2007; Aksela & Lundell, 2008). Yleisesti voidaan todeta, että tietokoneavusteinen molekyylimallinnus tuo uusia mahdollisuuksia kemian opetukseen jokaisella opetusasteella (Aksela & Lundell, 2007).

Tutkimusten (esim. Gabel, 1999) mukaan oppilaat kokevat kemian vaativaksi ja abstraktiksi oppiaineeksi, mikä on seurausta kemiallisen tiedon kompleksisesta luonteesta. Kemiassa samaa ilmiötä pystytään mallintamaan kolmella eri tasolla: makrotasolla, submikrotasolla ja symbolisella tasolla (Johnstone, 1993). Käytännössä se tarkoittaa esim. kokeellisen työn vaiheiden tai tulosten esittämistä piirto-ohjelman avulla symbolisesti tai kokeen taustalla olevien teorioiden selittämistä ja visualisoimista molekyylimallinnusohjelmien avulla. Tutkimusten mukaan TVT:n mahdollistamien monipuolisten mallinnusresurssien on todettu auttavan oppilaita hahmottamaan yhteyksiä näiden kolmen tason välillä (esim. Kozma & Russell, 2005; Russell & Kozma, 2005).

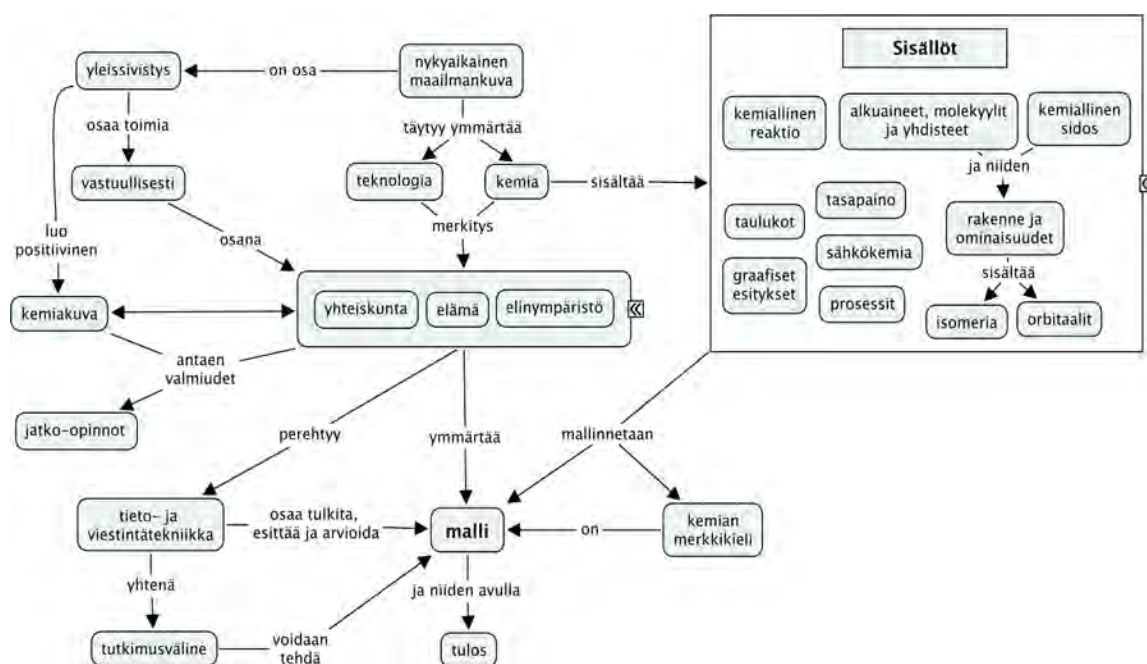
Molekyylimallinnuksen käyttö kemian opetuksessa on vähäistä sen mahdollisuuksiin verrattuna. Ongelmana eivät ole opettajien asenteet, vaan tiedot, taidot ja resurssiongelmat. Opettajat suhtautuvat mallinnukseen erittäin positiivisesti ja tiedostavat mallinnuksen mahdollisuudet. Haasteita ovat muun muassa mallinnusohjelmien hinta, tietokoneiden määrät ja heikot tietotekniset taidot, jolloin mallinnuksen liittäminen osaksi opetusta on haastavaa. Myös suomenkielisen opetusmateriaalin puuttuminen ja vähäinen koulutustarjonta vaikeuttavat mallinnuksen siirtymistä opetukseen. (Aksela & Lundell, 2007) Kouluopetukseen suunnattua molekyylimallinnuskoulutusta on mahdollista 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 kurseille. Suomenkieliselle molekyylimallinnusta käsittelevälle kirjalle, joka sisältäisi teoriaa ja harjoitustehtäviä esimerkiksi kemialliseen reaktioon, sidoksiin, orbitaaleihin ja isomeriaan liittyen, olisi tarvetta. (Aksela & Lundell, 2007; Aksela et al., 2008) Tällä hetkellä suomenkielistä, helposti opettajien saatavilla olevaa opetusmateriaalia löytyy vain vähän: Dimensiossa on julkaistu molekyylimallinnusta 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).

3. Molekyylihallinnus opetussuunnitelmien perusteissa

Viimeisten perus- ja lukio-opetusten opetussuunnitelmauudistusten jälkeen mallinnus ja TVT:n hyödyntäminen ovat nousseet entistä keskeisimpään rooliin kemian opetuksessa. Vuosiluokilla 7-9 ja lukiassa 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. 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 yksi on mallinnettu opetussuunnitelmien perusteissa esiintyvien mallinnukseen liittyvien käsitteiden suhteita (ks. kuva 1). (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197)



Kuva 1. Mallinnus nykyisten opetussuunnitelmien mukaan 7-9 luokilla ja lukiassa. (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197)

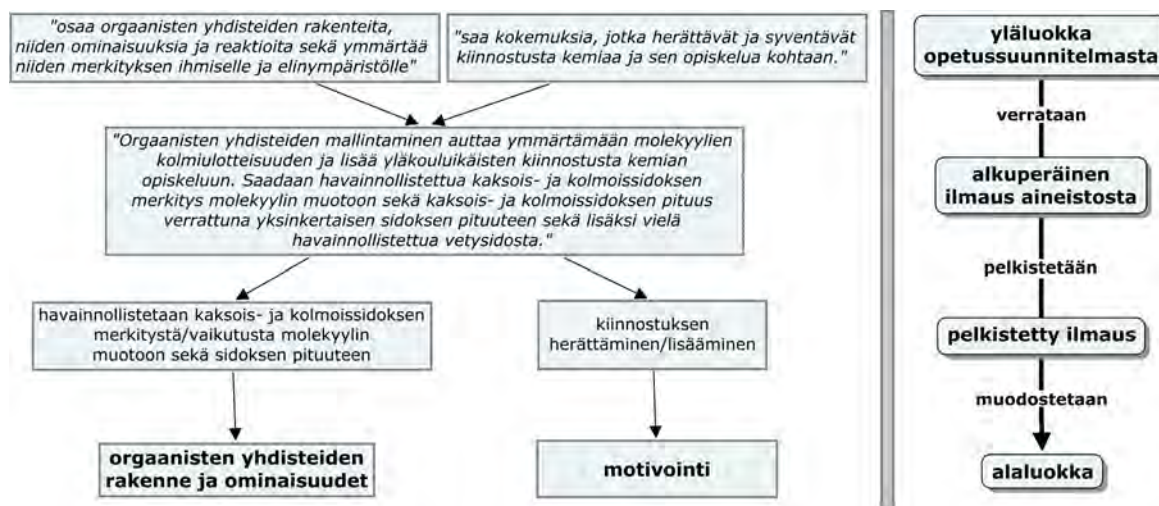
4. Suuntaa-antava tapaustutkimus ja teorialähtöinen sisällönanalyysi

Tutkimus suoritettiin suuntaa-antavana tapaustutkimuksena (Cohen et al., 253-263). Se toteutettiin *Mielekästä molekyylimallinnusta kouluopetukseen* (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 molekyylimallinnuksen roolista opetussuunnitelmien mukaisessa opetuksessa.

Tutkimusta ohjasivat tutkimuskysymykset:

1. Mitä opetussuunnitelmien perusteiden mukaisia tavoitteita molekyylimallinnus tukee perusopetuksen ja lukion opetuksessa kemian aineenopettajien käsitysten mukaan?
2. Mitä opetussuunnitelmien sisältöjä molekyylimallinnus tukee eri luokka-asteilla ja lukion kursseilla kemian aineenopettajien käsitysten mukaan?

Tutkimusaineistona käytettiin opettajien opetussuunnitelmia ja molekyylimallinnusta käsittelevän etätehtävän raportteja ja purkutilaisuuden muistiinpanoja. Kyseisessä etätehtävässä opettajat selvittivät, missä opetussuunnitelmien alueissa, sekä tavoitteiden että sisältöjen näkökulmasta, molekyylimallinnuksella voisi olla lisäarvoa kemian opetuksessa. Aineistosta raportit analysoitiin teorialähtöisellä sisällönanalyysillä (Tuomi & Sarajarvi, 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 molekyylimallinnukseen liittyviä tiivistettyjä alaluokkia pelkistämällä ne raporteista saaduista alkuperäisistä ilmaisuista. Päätelyketju teorialähtöisessä sisällönanalyysissä on deduktiivinen (ks. kuva 2). Tiivistämisen jälkeen alaluokat kvantifioitiin laskemalla frekvenssit (f).



Kuva 2. Teorialähtöisen sisällönanalyysin päätelyketju. (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 116)

Sisällönanalyysin lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan etätehtävän purkutilaisuudesta kirjoitettuja muistiinpanoja. 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.

5. Tulokset

5.1 Molekyylimallinnus ja opetussuunnitelmien perusteiden tavoitteet

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

Sisällönanalyysin perusteella opettajat kokivat molekyylimallinnuksen 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 viestintäteknikan hyödyntämisen näkökulmasta (f=9). Molekyylimallinnuksen 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 määrittäminen (f=5) ja rakenteen ja ominaisuuksien väliset ominaisuudet (f=3). Kurssilta Reaktiot ja energia (KE3) havainnot käsitelivät pelkästään kemiallisen reaktion mallintamista (f=3).

Taulukko 1. 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 viestintäteknikka	9
	Kemian opetuksen luonne	5
	Oppimiskäsitys ja oppimisympäristö	3
	Motivointi	3
1	Orgaanisten yhdisteiden rakenteet ja ominaisuudet	11
	Seokset	1
	Tietojen esittäminen ja keskustelu	1
2	Kokeellinen työskentely ja tiedonhankinta	1
	Mallit, taulukot ja järjestelmät päätelmien tukena	6
	Rakenteiden määrittäminen	5
	Rakenteen ja ominaisuuksien väliset ominaisuudet	3
3	Kokeellisuuden ja mallintamisen yhdistäminen tutkimuksessa	2
	Kemiallinen reaktio	3
4	Metallit ja sähkökemian	1
5	Tasapaino	2

5.2 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 2).

Taulukko 2. Opetussuunnitelmien sisältöjä käsittelevät alaluokat, ($N_{\text{raportti}}=16$).

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 protolyyttien tutkimista.

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

6. Tutkimuksen luotettavuus

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 molekyylihallinnuskoulutukseen hakeutuvia opettajia (Aksela et al., 2008) ja kuuluvat siten 2,5 % kemian opettajien ammattikunnasta, jotka ovat alansa pioneereja ja uudistajia (mm. Rogers, 1995). Tämä ei kuitenkaan ole tutkimuksen luotettavuutta tai merkittävyyttä alentava tekijä. Tutkimus on laadullinen suuntaa-antava tapaustutkimus, jonka tavoitteena oli selvittää opettajien käsityksiä molekyylihallinnuksen roolista opetussuunnitelmien mukaisessa opetuksessa. Molekyylihallinnusta jo kentällä aktiivisesti käyttävät opettajat näkevät molekyylihallinnuksen ja opetussuunnitelmien välisen yhteyden kokonaisvaltaisemmin, kuin molekyylihallinnuksen käyttöä vasta aloittelevat opettajat. Sen vuoksi he antavat tutkimuksen tavoitteiden kannalta parasta tietoa. Kyse on ns. eliittiotannasta (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 86).

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

7. Johtopäätökset ja pohdinta

Suoritetun sisällönanalyysin mukaan opettajat pitävät molekyylihallinnuksen 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 (Aksela et al., 2008).

Opettajien käsitysten mukaan peruskoulussa mallinnus soveltuu sisällöistä parhaiten orgaanisten yhdisteiden mallintamiseen. Opettajat eivät suosittele molekyylihallinnusta kovin syvälliseen ominaisuuksien tai reaktioiden tutkimukseen peruskoulussa. Lukiossa taas sisältöjen näkökulmasta aiheita nousi esille useampia. Molekyylihallinnuksen 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 molekyylihallinnuksen 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.

Lähteet

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

Aksela, M., & Lahtela-Kakkonen, M. (2001). Molekyyli-tason teknologiaa opetuksessa, *Kemia-Kemi*, 28 (3), 200-203.

Aksela, M., & Lundell, J. (2007). Kemian opettajien kokemuksia tietokoneavusteisesta molekyylimallinnuksesta. Kirjassa M. Aksela, & M. Montonen (Toim.) *Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluihin* (s. 226-247). Helsinki, 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.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education*. New York, Routledge.

ERIC: Education Resources Information Center. (2009). <http://www.eric.ed.gov/>, luettu 31.08.2009.

Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 548-553.

Jalonen, E., Lundell, J., & Aksela, M. (2007). Molekyylimallinnus lukion kemian opetuksessa. Kirjassa M. Aksela., & M. Montonen (Toim.) *Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluihin* (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.

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.

- Jääskeläinen, P. (2008). Kiinnostuksen tukeminen perusopetuksessa: molekyylihallinnus työtapana. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/tutkimus/opinnaytetyot/pg-jaaskelainen_piia.htm.
- Konschin, H. (2005). Molekyylihallinnus kemian opetuksessa osa 7: Kvantkemi i skolan, möjligt eller omöjligt? *Dimensio*, 69 (1), 50-54.
- 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). Molekyylihallinnus kemian opetuksessa osa 1: Molekyylihallinnus ja kemian opetus. *Dimensio*, 67 (5), 47-49.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004a). Molekyylihallinnus kemian opetuksessa osa 2: Molekyylihallinnus ja energia. *Dimensio*, 68 (1), 53-54.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004b). Molekyylihallinnus kemian opetuksessa osa 3: Molekyylien rakenne ja sen visualisointi. *Dimensio*, 68 (2), 40-42.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004c). Molekyylihallinnus kemian opetuksessa osa 4: Orbitaalien havainnollistaminen lukion kemian opetuksessa. *Dimensio*, 68 (3), 40-43.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004d). Molekyylihallinnus kemian opetuksessa osa 5: Kemiällisen sidoksen tietokoneavusteinen mallintaminen. *Dimensio*, 68 (4), 26-29.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2004e). Molekyylihallinnus kemian opetuksessa osa 6: Tutkimuskohteena molekyylien värähdykset. *Dimensio*, 68 (5), 54-56.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2005). Molekyylihallinnus kemian opetuksessa osa 8: Kemiällisen reaktion mallinnus. *Dimensio*, 69 (2), 33-36.
- 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/opinnaytetyot/pg-mmuurinen-nskarp.htm>.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Vammala, Vammalan Kirjapaino Oy.
- Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004*. Vammala, Vammalan Kirjapaino Oy.
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations*, 4th ed. New York, Free Press.
- 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/opinnaytetyot/pg-asaloma.htm>.
- Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Jyväskylä, Tammi.

Uusikartano, H. (2006). Biomolekyylin visualisointi kemian opetuksessa. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/tutkimus/opinnaytetyot/pg-uusikartano.htm>.

Vainio, J. (2005). Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus energian opettamisen apuvälineenä. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.

Västinsalo, J. (2009). Ilman kaasujen molekyylimallinnus 7-9 -luokkalaisten kiinnostuksen tukena. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.