

Sähköisten kemian oppimisympäristöjen historia, nykytila ja tulevaisuus

Johannes Perna

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto •
Johannes.perna@alumni.helsinki.fi

Maija Aksela

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto • maija.aksela@helsinki.fi

Tiivistelmä Tässä artikkelissa perehdytään sähköisten kemian oppimisympäristöjen historialliseen kehittymiseen, esitellään niiden nykytila ja pohditaan tulevaisuuden kehittämistarpeita. Tutkimus on luonteeltaan teoreettinen kirjallisuustutkimus. Sen tavoitteena on selvittää, miten kemian oppimisympäristöihin liittyvät tarpeet ovat ajan kuluessa muuttuneet. Ymmärtämällä niiden historiaa, voidaan tukea myös tulevaisuuden kehittämistarpeita nopeasti muuttuvassa teknologiakentässä. Tarkastelun kohteena ovat sekä teknologiaan että kemian opetukseen liittyvät muutokset. Tutkimuksen teoreettisena viitekehysenä käytetään sulautuvan oppimisen teoriaa. Teoriaosassa se yhdistetään mahdollisuuksiin, joita tieto- ja viestintäteknikka (TVT) tuo kemian opetukselle ja oppimiselle. Artikkelin historiallisessa viitekehyksessä esitetään TVT-pohjaisten kemian oppimisympäristöjen tarpeiden ja mahdollisuuksien muuttuminen kemian opetuksen lähihistoriassa. Siinä erotetaan kolme ajanjaksoa: 1) TVT:n käyttö ennen vuotta 2000, 2) käyttö vuosina 2000 - 2010 ja 3) käyttö vuodesta 2011 eteenpäin. Jokaiselta aikakaudelta nostetaan esiin kyseisen ajanjakson yhden merkittävimmän TVT-työkalun mahdollisuudet kemian opetukselle. Tutkimuksen analyysiosassa esimerkkejä peilataan sulautuvan kemian oppimisen teoriaan sekä teknologian kehittymiseen. Artikkelin lopuksi esitellään kolme ohjetta, joita voidaan käyttää kemian oppimisympäristöjen käytössä ja kehittämisessä. Ohjeistus tukee teknologisesti pitkäkestoisten ja TVT:n mahdollisuuksia monipuolisesti hyödyntävien kemian oppimisympäristöratkaisujen kehittämistä.

1 Johdanto

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden mukaisesti oppimisympäristö voi olla paikka, tila, yhteisö, käytäntö tai materiaali, joka edistää oppimista. Oppimisympäristö on samanaikaisesti fyysinen, psyykkinen ja sosiaalinen. (Opetushallitus, 2004) Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sähköisiä oppimisympäristöjä. Ne ovat oppimisympäristöjä, joissa tieto- ja viestintäteknikkaa (TVT) hyödynnetään opetuksen tai oppimisen tukena. TVT voi olla osa oppimisympäristöä usealla eri tavalla. Se voi olla esimerkiksi laite (esim. tablet, puhelin tai kannettava tietokone), ohjelmisto, oppimisalusta, internetin hyödyntäminen osana tiedonhakua tai vaikka sosiaalisen median keskustelupalsta.

TVT tukee tietojenkäsittelyä, mutta se, että parantaako se oppimistuloksia, on edelleen aktiivisena tutkimuskohteena. Sitä on tutkittu maailmanlaajuisesti paljon sekä laadullisesta että määrällisestä näkökulmasta. Tutkimuksen avulla on selvitetty mm. millaisia käsityksiä ja kokemuksia opettajilla, oppilailta ja vanhemmilla on TVT-avusteista opetusta kohtaan. Esimerkiksi Opetushallituksen Tieto- ja viestintäteknikka opetuskäytössä -

kirjallisuuskatsauksen mukaan valtaosa vanhemmista ja opettajista suhtautuu positiivisesti TVT:an. 2/3 vanhemmista uskoo TVT:n vaikuttavan oppimiseen myönteisesti. Opettajat käyttävät TVT:a, koska he kokevat sen avulla saavutettavan parempia oppimistuloksia sekä oppiainesisältöjen että opiskelutaitojen opettamisessa. Oppilaat ovat TVT:n suhteen kaikista kriittisimpiä. Vain 1/3 oppilaista kokee TVT:n parantavan oppimista. (ks. Opetushallitus, 2011) Mittavien määrällisten tutkimusaineistojen pohjalta kuitenkin tiedetään, että TVT:n vieminen kouluihin ei itsestään paranna oppimistuloksia. Niitä täytyy osata käyttää oppiainekohtaisten vaatimusten mukaisesti. Koulutusta tarvitsevat oppilaat ja opettajat, mutta myös oppilaitokset. (Hattie, 2009)

Kemian opetuksessa tämä tarkoittaa sitä, että oppimisympäristöjen kehittäjien tulee ymmärtää, millainen tiede kemia on ja millaisia mahdollisuuksia TVT tarjoaa kemian opetukselle. Tässä tutkimuksessa aiheeseen perehdytään analysoimalla suomalaisen kemian opetuksen lähihistoriassa esiintynyt TVT:n opetuskäyttö. TVT:n käyttöä ja mahdollisuuksia kemian opetuksessa peilataan sulautuvan oppimisen (engl. *blended learning*) teoriaan (Graham, 2006) sekä teknologian yleisiin kehityslinjoihin. Tutkimus on luonteeltaan teoreettinen kirjallisuustutkimus, jonka tavoitteena on oppia ymmärtämään TVT:n opetuskäytön historiaa ja ajan kuluessa muuttuneita opetuksen tarpeita ja teknologiamahdollisuuksia. Tutkimuksen pohjalta pyritään luomaan ohjeistus, joka tukee sähköisten kemian oppimisympäristöjen käyttöä ja kehittämistä.

Tutkimusta ohjaa kaksi päätutkimuskysymystä:

1. Miten TVT:n opetuskäyttö on kemian opetuksen lähihistoriassa muuttunut suhteessa teknologian kehittymiseen ja sulautuvan kemian oppimisen teoriaan?
2. Millaisia asioita sähköisten kemian oppimisympäristöjen kehittämisessä tulee ottaa huomioon kemian opetuksen näkökulmasta?

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä selvitetään tutkimuskohteen historiallinen ja teoreettinen konteksti. Toinen tutkimuskysymys ohjaa teoreettista analyysiä siten, että siitä voidaan nostaa käytännön tason ohjeistusta sähköisten kemian oppimisympäristöjen kehittämisen tueksi.

Tutkimuksessa erotetaan Suomen kemian opetuksen lähihistoriasta kolme ajanjaksoa:

1. sähköiset kemian oppimisympäristöt ennen vuotta 2000
2. sähköiset kemian oppimisympäristöt vuosina 2000-2010
3. sähköiset kemian oppimisympäristöt alkaen vuodesta 2011.

Ensimmäinen aikarajaus on tehty kemian opetuksen tutkimuksen perusteella. Vuonna 1999 julkaistiin ensimmäinen Kemian opetus tänään -tutkimus, jolla kartoitettiin Suomen kemian opetuksen silloinen tila. Tutkimukseen osallistui 399 kemian opettajaa, joilta kysyttiin, miten usein, miksi ja miten he käyttävät tietokoneita kemian opetuksessa. Tutkimuksessa selvitettiin myös, tarvitaanko aiheesta täydennyskoulutusta. (Aksela & Juvonen, 1999) Toinen aikarajaus on tehty teknologian kehittymisen perusteella. Tablet-

tietokoneet tulivat kansainvälisille markkinoille keväällä 2010. Suomeen ne saapuivat marraskuussa 2010.

Artikkeli sisältää johdannon lisäksi teoriaosan (luku 2), historiaan ja teoriaan peilattua analyysin (luku 3) ja pohdinnan (luku 4). Teoriasta rakennetaan viitekehys, johon historian keskeisiä aiheita peilataan analyysiosassa. Pohdinnassa vastataan tutkimuskysymyksiin ja esitellään tutkimuksesta johdetut sähköisten kemian oppimisympäristöjen kehittämisen hyvät toimintatavat. Seuraavaksi esitellään sulautuvan oppimisen teoria, joka on TVT:n opetuskäyttöä ohjaava keskeinen opetuksen teoria.

2 Teoreettinen viitekehys

Tässä luvussa esitellään tutkimuksessa käytetyt teoriat, joita ovat sulautuvan oppimisen teoria ja TVT:n mahdollisuudet kemian opetuksessa. Luvun lopussa esitetään synteesi näistä kahdesta, ja tarkastellaan TVT:n mahdollisuuksia kemiassa sulautuvan oppimisen teorian näkökulmasta.

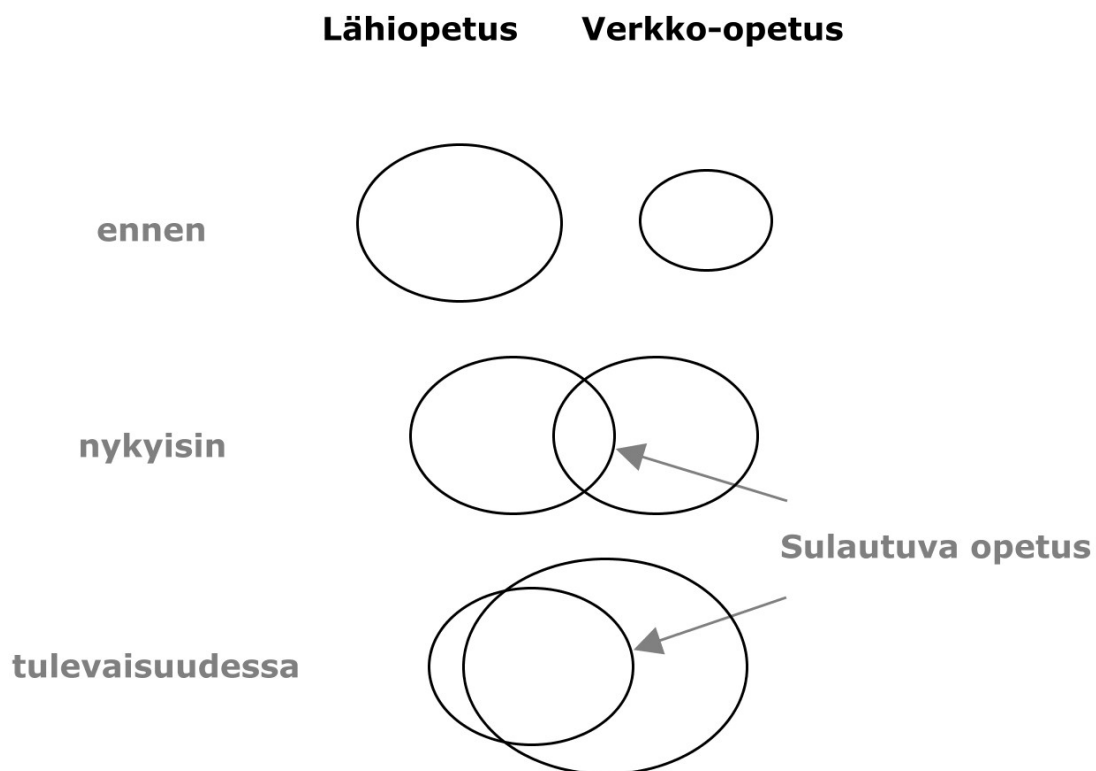
2.1 Sulautuvan oppimisen teoria

Tutustumalla alan tutkimuskirjallisuuteen huomataan, että sulautuvan oppimisen teoriaa on vaikea määritellä yksiselitteisesti. Ensinnäkin tarkastelunäkökulma voi vaihdella. Sulauttamista voidaan tarkastella joko opetuksen tai oppimisen näkökulmasta. Sulautuvalla opetuksella tarkoitetaan sulauttamista opetuksen tarpeiden mukaan, kun taas sulautuvassa oppimisessa sulauttamisen kohteena on oppiminen. (Itkonen-Isakov, 2009) Toiseksi, sulauttamisen kohde vaihtelee. Se voi kohdistua esimerkiksi aktiviteettiin, kurssiin, opintolinjaan tai vaikka koko oppilaitokseen (Osguthorpe & Graham, 2003). Kolmanneksi, tutkimuskirjallisuudessa sulautuvalle oppimiselle on annettu useita erilaisia määritelmiä. Esim. Itkonen-Isakovin (2009) mukaan sulautuva oppiminen on pedagoginen ratkaisu, joka mahdollistaa formaalin ja informaalin oppimisen yhdistämisen. Driscollin (2002) mukaan sulautuvalla oppimisella ja opetuksella voidaan tarkoittaa eri opetusteknologioiden, oppimisteorioiden (esim. behaviorismi tai konstruktivismi) tai erilaisten opetusjärjestelyjen (esim. verkko- tai lähiopetus) yhdistämistä. Driscoll painottaa artikkelissaan, että vaikka sulauttamista voidaan toteuttaa monella eri tavalla, olennaisinta sen toteuttamisessa on konkreettinen opetus- tai oppimistavoite.

Grahamin (2006) mukaan yllä esiteltyt määritelmät ovat joko liian laajoja tai suppeita. Ne joko pätevät kaikkeen opetukseen ja oppimiseen tai eivät kuvaa sulauttamisen mahdollisuuksia riittävän laajasti. Hänen mukaan ei olekaan tarpeen määritellä itse sulautuvaa oppimista tai opetusta, sillä kaikki opetus ja oppiminen ovat jossain määrin sulautuvaa. Hänen mukaansa tärkeämpää on määritellä, millainen on sulautuva oppimisympäristö. Grahamin esittämän määritelmän mukaan sulautuva oppimisympäristö on ajan ja paikan suhteen joustava oppimisympäristö, jossa lähiopetusta tuetaan TVT:n keinoin. Grahamin määritelmä on tässä tutkimuksessa käytetty sulautuvan oppimisen

määritelmä. Tämä on perusteltua, sillä TVT:n hyödyntäminen opetuksen ja oppimisen tukena on yksi koko opetusalan suosituimmista keskustelu- ja tutkimusaiheista (mm. Hattie, 2009). Esimerkiksi opetusalan ERIC-tutkimustietokannasta löytyy yli 58 000 aihetta käsittelevää vertaisarvioitua tutkimusartikkelia (ERIC, 2013).

Sulautuvan oppimisen malli on kehittynyt ajan kuluessa. Se on edennyt opetusteknologian ja pedagogisen osaamisen kehittymisen mukaan. Graham (2006) esittelee sulautuvan opetuksen toteutumisen eri vaiheita ajan kuluessa (kuva 1). Aikaisemmin lähi- ja verkko-opetus toteutettiin erillään eikä niiden yhdistämisen mahdollisuuksia tunnettu, tai tarjolla ei ollut sitä mahdollistavaa opetusteknologiaa. Valtaosa kaikesta opetuksesta toteutettiin lähiopetuksena. Nykyään vallitsee tilanne, jossa opetus toteutetaan jonkin verran sulautetusti teknologiamahdollisuuksien ja pedagogisen osaamisen mukaan. Tulevaisuudessa on todennäköistä, että lähes kaikki opetus toteutetaan sulautetusti ja tarjonnan pääpaino on verkko-opetuksessa. Sulauttaminen mahdollistaa samanaikaisesti lähi- ja etäopiskelun. Opetusta sulautetaan aktiviteettien, opiskelijoiden, opettajien kurssien, kurssikokonaisuuksien ja organisaatioiden tasolla. Tulevaisuudessa käsitteitä sulautettu opetus tai oppiminen ei enää käytetä, vaan puhutaan yleisesti



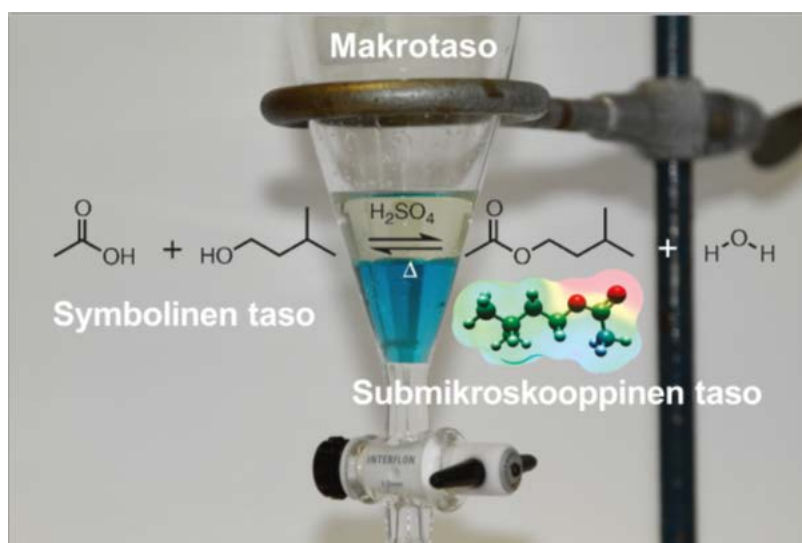
Kuva 1 Sulautuvan opetuksen määrä ja laatu ennen, nyt ja tulevaisuudessa (mukailtu kuvioista 1.2 Graham, 2006).

opetuksesta ja oppimisesta. (Graham, 2006) Tulevaisuuden sulauttamisen ohjeeksi Garrison ja Vaughan (2008) ehdottavat, että opetuksen sulauttamisen tavoitteena ei ole asettaa TVT-avusteista opetusta ja perinteistä luokkaopetusta vastakkain. Tärkeämpää olisi etsiä tapoja, miten ne voitaisiin mielekkäästi yhdistää toistensa vahvuuksia tukevalla tavalla.

Myös tulevaisuuden tutkijoiden mukaan TVT:n merkitys kouluopetuksessa tulee kasvamaan. Tulevaisuudessa kouluopetuksesta entistä suurempi osa tullaan toteuttamaan pienryhmäopetuksena. Oppiaineiden väliset rajapinnat opitaan tuntemaan paremmin ja aineiden välistä konvergenssia pystytään hallitsemaan kokonaisvaltaisemmin. Tulevaisuudessa tärkein oppimistavoite on metataitojen kehittyminen. Tietoa tulee koko ajan enemmän, joten sen hallitsemiseen, prosessointiin ja visualisoimiseen täytyy saada koulutusta. Yhteiskunnan näkökulmasta opetuksen eriyttämisen merkitys korostuu. On entistä tärkeämpää pystyä tukemaan jokaisen oppilaan yksilöllisiä lahjakkuusosa-alueita. Käytännön tasolla tämä tarkoittaa virtuaali- ja reaaliympäristöjen välisen vuorovaikutuksen kasvamista. Myös sosiaalisen median merkitys opetustyökaluna tulee kasvamaan nopeasti. (Linturi et al. 2011)

2.2 Tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuudet kemian opetuksessa

TVT:llä on keskeinen rooli kemian opetuksessa, sillä tietokoneita tarvitaan kemiallisen tiedon visualisoimiseen. Yksi kemian opetuksen merkittävimmistä opetusta ohjaavista malleista on kemiallisen tiedon luonne ja kemian kolme tasoa: makrotaso, symbolinen taso ja submikroskooppinen taso. Makrotasolla tarkoitetaan näkyvää maailmaa, symbolisella tasolla esimerkiksi kemiaan liittyviä symboleita ja submikrotasolla mikromittakaavaa pienempiä asioita, kuten esimerkiksi elektronien jakautumista molekyylissä. Submikrotason ilmiöitä ei voi havaita silmillä tai mikroskoopilla, niiden mallintamiseen ja visualisoimiseen tarvitaan TVT:a (kuva 2). (Johnstone, 1993)



Kuva 2 Kemian kolme tasoa.

Tässä artikkelissa tarkasteltavia kemian opetuksen mediateknisiä työkaluja ovat animaatiot, videot, molekyylihallinnus, simulaatiot ja erilaiset mittausautomaatiovälineet. Seuraavaksi esitellään niiden teknologiset taustat ja mahdollisuudet kemian opetuksessa.

Mittausautomaatiolla tarkoitetaan järjestelyä, jossa TVT:a käytetään hyödyksi kokeellisen tiedon keräämiseen, analysoimiseen ja esittämiseen. Mittausautomaatio koostuu laitteistosta, ohjelmistosta ja erilaisista mitta-antureista. (esim. Aksela, 2005; Laitala, 2007; Leskinen, 2007) Mittausautomaatiolaitteistot ja ohjelmistojen sisältämät visualisointityökalut tukevat kokeellista työskentelyä ja yleistä tietojenkäsittelyä. TVT helpottaa datan keräämistä, käsittelyä, prosessoimista, visualisoimista ja esittämistä, jotka tukevat opiskelijoiden tutkimustaitojen ja korkeamman tason ajattelutaitojen kehittymistä. (Aksela, 2011)

Animaatio on staattinen kuvasarja, jonka avulla saadaan aikaan liikkuvaa kuvaa. Animaatiot piirrettiin niiden alkuaikoina käsin, mutta nykyään opetuksessa käytettävät animaatiot ovat digitaalisia videotiedostoja. Vaikka nykyanimaatiot tehdään pääosin tietokoneella, animointitekniikka on pysynyt samana. Ne koostuvat vieläkin yksittäisistä ruuduista.

Opetusvideot ovat animaatioiden tavoin digitaalisia videoita, mutta ne eroavat toisistaan kemiallisen tiedon näkökulmasta. Kemian animaatiossa tarkastellaan submikroskooppista tasoa ja videolla voidaan esittää makrotason ilmiöitä. Videonkäsittelyllä voidaan myös editoida videotallenne, joka yhdistää makrotason videon ja submikrotason animaation. Videotiedostoja voidaan yhdistellä tasomaisesti siten, että yhdessä videoesityksessä tarkastellaan samanaikaisesti useaa videota ja animaatiota.

Molekyylihallinnuksella tarkoitetaan yksittäisten molekyylien tai pienten staattisten systeemien mallintamista, kun taas **simulaatioilla** on mahdollisuus käsitellä

isompia systeemejä. Simulaatiot eroavat molekyylihallinnuksesta myös siten, että niissä tarkastellaan dynaamisia prosesseja. Molekyylihallinnuksessa käyttäjällä on aktiivinen rooli ja ohjelmisto antaa käyttäjälle vapauden rakentaa, laskea ja visualisoida systeemiä haluamallaan tavalla. Simulaatioissa käyttäjän oikeuksia on rajoitettu enemmän. Usein käyttäjä ei suorita laskentaa, vaan simulaatio perustuu valmiiksi laskettuun dataan. (Kozma & Russell, 2005) Animaatiot ja videot kuvaavat simulaatioiden tavoin dynaamisia prosesseja, mutta ne eivät ole interaktiivisia eivätkä perustu laskennalliseen dataan. (Velázquez-Marcano, Williamson, Ashkenazi, Tasker & Williamson, 2004)

Kemian opetuksen näkökulmasta TVT:n mahdollistama tärkein resurssi on monipuoliset visualisointityökalut. Opiskelijat ja opettajat kokevat modernit visualisoinnit yleisesti ottaen motivoiviksi. Opettajia TVT-avusteiset tutkimustyökalut motivoivat myös sen vuoksi, että ne edustavat nykyaikaista kemian tutkimusta ja opetusta. (Aksela & Juvonen, 1999; Aksela & Karjalainen, 2008; Aksela & Lundell, 2008; Webb, 2005). TVT:n avulla kemian dynaamiset prosessit voidaan tehdä näkyviksi ja konkreettisiksi. Molekyylihallinnus ja simulaatiot mahdollistavat esimerkiksi reaktioiden pysäyttämisen, energioiden laskemisen ja molekyylien värähtelyjen visualisoiminen. Animaatioiden avulla voidaan esittää miten kemialliset reaktiot etenevät. Ilmiöiden mallintaminen auttaa opiskelijoita arvioimaan ja testaamaan sisäisiä mallejaan. Monipuoliset visualisointityökalut eheyttävät opiskelijoiden mentaalimalleja ja tuovat niihin mukaan dynaamisuutta. Pelkästään staattisen kuvan avulla molekyylien liikkuvan ja värähtelevän luonteen mallintaminen on opiskelijoille haastavaa. (esim. Tasker & Dalton, 2006; Russell & Kozma, 2005; Rapp, 2005; Webb, 2005; Williamson & Abraham, 2005; Yang et al. 2004)

TVT mahdollistaa kokeellisuuden ja mallintamisen yhdistämisen. Mallintamisen yhdistäminen kokeellisuuteen selkeyttää teorian ja käytännön välistä rajapintaa, ja antaa opiskelijoille työkaluja käydä keskustelua submikrotason ilmiöistä. Tämä ohjaa opetusta ja oppimista kemian näkökulmasta merkitykselliseen oppimiseen. (Aksela, 2005; Kozma, 2003) Myös kokeellisuusvideot koetaan tärkeiksi, koska ne tukevat turvallista laboratoriotyöskentelyä ja säästävät tarvittaessa opetusaikaa. Videoiden avulla voidaan esim. tutustua etukäteen kokeellisiin prosesseihin, mahdollisiin virhelähteisiin ja tarkkuutta vaativiin osioihin. (Laroche et al. 2003)

Yhteenvetona TVT:n hyödyntämisestä kemian opetuksen kirjallisuudesta voidaan todeta, että sen käytön mahdollisuuksista ja haasteista on paljon tutkimustietoa. Lähitulevaisuudessa yksi mielenkiintoisimmista kemian opetuksen tutkimuskohteista on, että miten TVT:a voidaan hyödyntää mielekkäästi osana arviointia. Ensimmäiset sähköiset kemian ylioppilaskirjoitukset järjestetään jo syksyllä 2018, jonne mennessä tämä asiaa pitää olla ratkaistuna. (Tähkä, 2013)

2.3 Sulautuva oppiminen kemian opetuksen kontekstissa

Luvussa 2.1 tuotiin esille Garrisonin ja Vaughanin (2008) esittämä ajatus TVT-avusteisen opetuksen ja perinteisen opetuksen vahvuuksien yhdistämisestä. Edellisessä luvussa taas esitettiin tiivistelmä TVT:n mahdollisuuksista kemian opetuksessa. Yhdistetään seuraavaksi nämä asiat sulautuvan oppimisen mahdollisuuksiin, joita tutkimuskirjallisuuden mukaan ovat seuraavat asiat:

1. Mediarikkaat oppimisympäristöt mahdollistavat monimuotoisemman pedagogiikan

Perinteisessä lähiopetuksessa käytetään paljon opetusaikaa luennointiin, jolloin esim. projektitöiden ja kokeellisuuden tekemiseen sitä jää vähemmän. Sulautuvan opetuksen keinoin tähän aikaasteeseen voitaisiin vastata tekemällä luennoista digitaalisia opetusvideoita. Videot jaettaisiin oppimisalustan välityksellä opiskelijoille ennen luentoa. Tällöin lähiopetuksessa voitaisiin luennoinnin sijaan keskittyä kokeellisuuteen ja ongelmanratkaisuun sekä keskusteluun. Tämänäyttöinen sulauttaminen olisi myös kustannustehokasta. Hyvin tehdyt teoriavideot ovat pitkäikäisiä ja opiskelijat voivat katsoa niitä useaan kertaan toisin kuin lähiopetuksen luentoa. Myös kaikki kemian visualisoinnit edustavat tällaista mediarikkautta. (vrt. Osguthorpe & Graham, 2003)

2. Uusia mahdollisuuksia sosiaaliselle vuorovaikutukselle

Lähiopetuksessa sosiaalinen vuorovaikutus tapahtuu kasvotusten ja yhteisöllisyys rakentuu ihmisten välisen kanssakäymisen tuloksena. Lähiopetuksessa keskustelu-aika ja -paikka ovat rajattuja opetustilanteeseen, kun taas verkkoympäristössä työskentely on vapaata ajasta ja paikasta. Kasvotusten tapahtuvassa keskustelussa kommunikoidaan monipuolisesti (esim. puhe, teksti, kuva, ele ja ilme), kun taas verkossa keskustelu on tekstipohjaista ja eleet visualisoidaan erilaisilla tunnetilaa kuvaavilla hymiöillä. Modernissa globaalissa maailmassa molemmat viestintämuodot ovat tärkeitä. TVT mahdollistaa molempien viestintämuotojen samanaikaisen hyödyntämisen toisiaan tukevalla tavalla. (Osguthorpe & Graham, 2003) Keskustelu lisää usein kemian käsitteiden ja ilmiöiden oppimista (esim. Aksela, 2005).

Tällä kohdalla ei ole suoranaista yhteyttä luvussa 2.2 esitettyihin TVT:n mahdollisuuksiin kemian opetuksessa, mutta sosiaalinen vuorovaikutus on keskeistä kemian opinnoissa ja tutkimuksessa. Kemia on tieteenalana poikkitieteellinen ja kemian tutkimus vaatii monimuotoista sosiaalista osaamista. Kemian tutkimusta ei tehdä yksin vaan ryhmässä. Tutkimusryhmät koostuvat eri alojen asiantuntijoista ja tutkimus vaatii monipuolista ongelmanratkaisua. Ryhmän jokainen jäsen vaikuttaa ryhmän luovuuteen ja tuottavuuteen. Myös koko ryhmä on poikkitieteellisesti sidoksissa muiden alojen tutkimusryhmiin. Yhteistyö tieteen teossa on siis erittäin monipuolista. (esim. Vesterinen, 2012)

3. Joustavuus, henkilökohtainen vastuu ja motivaation tukeminen

Kuten yllä todettiin, sulautuva opetus mahdollistaa ajasta ja paikasta vapaan opiskelun. Esimerkiksi videoita voidaan katsella kaikilla laitetyypeillä (mm. puhelin, tabletti, kannettava ja pöytäkone) milloin tahansa. (Osguthorpe & Graham, 2003) Opiskeluvapaus ja -joustavuus tuovat opiskelijalle suuremman vastuun omasta oppimisesta, millä on todettu olevan positiivinen vaikutus opiskelumotivaatioon (esim. Peura, 2013). Kemian opetuksessa TVT mahdollistaa modernien visualisointien käytön, joiden koetaan motivoivan opiskelijoita. (Aksela & Lundell, 2008).

4. Uudenlainen suhtautuminen tietoon

Sulauttaminen mahdollistaa entistä monipuolisemman tiedon hyödyntämisen. Ennen työskenneltiin oppikirjoihin ja koulujen kirjastoihin tukeutuen, mutta sulauttaminen mahdollistaa koko internetin hyödyntämisen tiedonlähteenä. (Osguthorpe & Graham, 2003) Tämä on tärkeää, sillä yhteiskunta kehittyy koko ajan entistä teknologiapainotteiseksi ja tietoa on aikaisempaa enemmän tarjolla. Tämä muutos on otettu huomioon myös kouluopetuksessa. Tiedonhaku, sen analysointi, prosessointi ja esittäminen ovat nousseet entistä tärkeämpään rooliin ja ulkoluvun testaamisen merkitys on vähentynyt (mm. Opetushallitus, 2011). Tämä pätee myös kemian opetukseen. Tiedonhaku, mallintaminen, visualisointien tulkitseminen ja TVT-avusteinen kokeellisuus tulevat tulevaisuudessa yleistymään osana kemian arviointia. (Tähkä, 2013)

3 Tieto- ja viestintäteknologian kehittyminen suhteessa kemian opetuksen tarpeisiin

Tässä kappaleessa historiallista ja teoreettista viitekehystä analysoidaan esimerkkien avulla. Analyysi esitetään ensimmäisen tutkimuskysymyksen mukaisesti jäsennettynä eri aikakausiin.

3.1 Sähköiset kemian oppimisympäristöt ennen vuotta 2000

Vuoden 1999 Kemian opetus tänään -tutkimuksen mukaan tietokoneiden hyödyntäminen kemian opetuksessa oli opettajille uutta 2000-luvun lopussa. Raportin mukaan 90-luvulla 7 % opettajista hyödynsi säännöllisesti mittausautomaatiovälineitä kokeellisuuden tukena. Käyttöä perusteltiin seuraavasti (Aksela & Juvonen, 1999, 20):

- tulosten helppo jatkokäsittely
- mahdollistaa isossa ryhmässä demonstroimisen
- nopea ja säästää aikaa, niin oppitunnilla jää aikaa ajattelulle ja tulosten pohtimiselle
- havainnollinen, motivoi oppilaita, tukee oppimista ja tarjoaa vaihtelua opetukseen
- nykyaikainen tekniikka, laadukkaat laitteet ja ohjelmistot.

Raportissa mainittiin myös internetin käyttö ja yleiset opetusohjelmistot. Animaatioista, molekyyli mallinnuksesta ja simulaatioista ei ollut mainintaa, vaikka internetissä oli jo useamman vuoden toiminut avoin Java-pohjainen suomenkielinen molekyyli mallinnusympäristö (ks. Roininen, 1997; vrt. Aksela & Juvonen, 1999) Tietokoneiden hyödyntäminen kemian opetuksessa oli vuonna 1999 toivotuin täydennyskoulutusaihe. Koulutusta toivottiin muun muassa tietokoneiden yleisestä käytöstä (esim. hyvät ohjelmistot, internetin käyttö ja valmiiden aineistopankkien kerääminen) sekä tietokoneiden käyttämisestä laboratoriossa (esim. koulutusta mittaamisesta ja ohjelmistojen käytöstä sekä videoita oikeiden laitteiden käytöstä). (Aksela & Juvonen, 1999, 55-57) Vuonna 1998 39 % oppilaitoksia oppilas/tietokone-suhdeluku oli alle 10 (Kankaanranta & Puhakka, 2008).

Esimerkki 1: Mittausautomaation käyttö 1990-luvulla

Mittausautomaatiolaitteistot olivat 1990-luvun käytetyin kemian opetuksen mediatekninen työkalu. Siihen aikaan ei ollut verkosta ajettavia sovelluksia, vaan ohjelmistot asennettiin pöytäkoneelle. Sulautuvan oppimisen näkökulmasta koneelle asennettava ohjelmisto satoi oppimisympäristön tiettyyn aikaan ja paikkaan. Mitta-anturit olivat johdon päässä, joten mittaukset suoritettiin siellä missä kone sijaitsee. 90-luvulla sulauttaminen oli kuvan 1 mukaisesti ennen tilassa. (ks. kuva 1; vrt. Osguthorpe & Graham, 2003)

Mittausautomaatio mahdollisti opettajille tehokkaamman tietojenkäsittelyn, uusia visualisointityökaluja ja säästi tarvittaessa opetusaikaa ajattelulle ja pohdinnalle. Se myös motivoi opiskelijoita. Peilattaessa tätä sulautuvan oppimisen ydinkohtiin huomataan, että mittausautomaatio tuki niistä kohtia 1 ja 3 (motivaatio). 90-luvulla mittausautomaatio toi siis uuden mediaelementin opetukseen, joka avasi yllä mainittuja mahdollisuuksia opetukselle. Sosiaalisen vuorovaikutuksen (2) tai ajan- ja paikan vapauttamiseen (3) sillä ei pyritty. Se ei myöskään uudistanut suhtautumista tietoon tai osaamiseen (4). (ks. luku 2.3 ja vrt. Aksela, 2011; Aksela & Juvonen, 1999; Aksela & Lundell, 2008; Osguthorpe & Graham, 2003; Peura, 2013) 90-luvun mittausautomaatiotutkimus on laajennut 2000-luvulla kansainväliseksi tutkimusyhteistyöksi (LUMA Sanomat, 2012).

3.2 Sähköiset kemian oppimisympäristöt vuosina 2000-2010

2000-luvulla tietokoneiden määrät oppilaitoksissa kasvoivat ja niiden käyttö osana kemian opetusta yleistyi. Vuonna 2006 79 % suomalaisia oppilaitoksia tietokoneiden oppilas/tietokone -suhdeluku oli alle 10 (Kankaanranta & Puhakka, 2008). Kemian opettajista taas 50 % kertoi käyttävänsä tietokonemittauksia silloin tällöin kemian opetuksessa. Vuonna 2008 toistetun Kemian opetus tänään -tutkimuksen mukaan mittausautomaation käytön syyt eivät olleet muuttuneet viimeisimmän 10 vuoden aikana. Käyttämättömyyden syyksi mainittiin laitteiston, tietojen ja taitojen puutteet. Mittausohjelmistojen käyttö kemian opetuksessa oli yhä eniten toivottu

täydennyskoulutusaihe, mutta myös muita TVT-työkaluja kuten esim. molekyylihallinnusta ja internet-sovellusten käyttöä toivottiin. (Aksela & Karjalainen, 2008)

Mittausautomaation lisäksi 2000-luvulla yleistivät myös muut keskeiset kemian TVT-työkalut. Vuonna 2001 ilmestyi ensimmäinen kemian opetuksen molekyylihallinnusartikkeli (Aksela & Lahtela-Kakkonen, 2001) ja simulaatioiden mahdollisuuksia kemian opetuksessa tutkittiin (Vihma, 2006). Animaatioiden ja videoiden käyttö kemian opetuksessa yleistyi esim. Helsingin yliopiston kemian laitoksen Kemian opettajankoulutusyksikön kursseilla (ks. Pernaa, 2011). Myös kemian opetuksen verkkomateriaalien laadinta vakiintui osaksi Helsingin yliopiston kemian opettajankoulutusta (ks. LUMA Sanomat, 2013). Vuonna 2003 yksikkö sai myös Kestävän kehityksen palkinnon Kemia yhteiskunnassa -kurssilla kehitetyistä verkkomateriaaleista.

Molekyylihallinnuksen käyttö kemian opetuksessa oli 2010-luvun eniten tutkittu, kehitetty ja koulutettu TVT-työkalu. Aiheesta kirjoitettiin paljon suomenkielisiä opettajille suunnattuja artikkeleita (ks. Aksela, & Lahtela-Kakkonen, 2001; Lundell & Aksela, 2003) sekä myös kansainvälisiä tutkimusjulkaisuja (mm. Aksela & Lundell, 2008). Tutkimuksen avulla selvitettiin esimerkiksi, mitä kemian ilmiöitä opettajat pitivät tärkeänä käsitellä mallinnuksen avulla (mm. kemiallinen reaktio ja sidokset, orbitaalit, isomeria), miksi he käyttivät mallinnusta ja millainen olisi hyvä kouluopetukseen soveltuva molekyylihallinnusohjelmisto. Opettajien mukaan hyvä ohjelmisto olisi edullinen, suomenkielinen, toimintavarma, monipuolinen mutta kuitenkin selkeä ja helppo käyttää. Ohjelmisto tulisi myös olla helposti jaettavissa opiskelijoille. Opettajat mainitsivat käyttävänsä molekyylihallinnusta, koska kokivat sen tukevan opiskelijoiden luovuutta, oppimista, visualisointi- ja tutkimustaitoja sekä motivoivan ja innostavan kemian opintoihin. (ks. Aksela, Lundell & Pernaa, 2008; Pernaa, Aksela & Lundell, 2009)

Molekyylihallinnus on kuulunut Helsingin yliopistossa kemian opettajien koulutukseen vuodesta 2002 lähtien. Vuosikymmenen aikana mallinnuksesta tehtiin useita pro gradu tutkielmia (esim. Jääskeläinen, 2008; Muurinen & Skarp, 2004; Saloma, 2005; Uusikartano, 2006; Vainio, 2006; Västinsalo, 2009) ja järjestettiin mittavia täydennyskoulutushankkeita (esim. Aksela et al. 2008) Koulutus toteutettiin pääosin maksullisilla ohjelmistoilla, kuten Spartanilla ja HyperChemillä, mutta myös ilmaista ChemSketchiä sekä avointa Java-pohjaista Jmol-ohjelmistoa käytettiin jonkin verran. Jmolia käytettiin sekä itsenäisenä sovelluksena että myös suoraan verkosta käsin ajettavana Java-sovelmana. Käytetyillä ohjelmistoilla oli erilaisia käyttömahdollisuuksia. ChemSketch on rakenteiden piirto-ohjelmisto, Spartan ja HyperChem mahdollistavat laskennan ja visualisoinnin, mutta Jmol soveltuu vain valmiin datan visualisointiin. (ks. ACD/Labs, 2013; Hybercube, 2013; Jmol, 2013; Wavefunction, 2013)

Tablettien ilmestymisen kautta siirryttiin seuraavalle aikakaudelle. Ensimmäiset tabletit (iPad 1) julkaistiin kansainvälisillä markkinoilla huhtikuussa 2010. Suomeen ne saapuivat marraskuussa 2010.

Esimerkki 2: Molekyylimallinnus vuosina 2000-2010

Molekyylimallinnuksen opetuskäyttö alkoi Suomen kemian opetuksessa 2000-luvun alussa. (Aksela & Lahtela-Kakkonen, 2001). 2000-luvun TVT:n hyödyntäminen eroaa selvästi 1990-luvusta, sillä sen käyttö integroitiin osaksi kemian opetuksen tutkimusta. Tämä oli seurausta siitä, että Helsingin yliopiston kemian laitokselle perustettiin maan ensimmäinen kemian opettajankoulutusyksikkö vuonna 2001. TVT:n käyttö kemian opetuksessa valittiin yhdeksi yksikön tutkimuspainopistealueista. Mittausautomaation lisäksi kemian verkko-opetus ja molekyylimallinnus kemian opetuksessa sisällytettiin yksikön tutkimusohjelmaan. (ks. Aksela, 2005; Lundell & Aksela, 2003) Kemian opettajankoulutusyksikköön kehitettiin vuonna 2002 kurssi Laskennallinen kemia kouluopetuksessa, jonka nimi myöhemmin muuttui Kemian mallit ja visualisointi -kurssiksi.

2000-luvulla myös kemian opetus tieteenalana kehittyi huomattavasti. Alettiin esimerkiksi ymmärtää mallien, visualisointien ja TVT:n mahdollisuuksia kemian oppimisessa (esim. Aksela & Lundell, 2008; Russell & Kozma, 2005; Rapp, 2005). Molekyylimallinnusohjelmistojakin oli tarjolla enemmän kuin 10 vuotta aikaisemmin. Esimerkiksi Wavefunction toi markkinoille Spartan Student -ohjelmiston, joka mahdollisti oikean kemian tutkimustyökalun käyttöönoton kemian kouluopetuksessa (Lundell & Aksela, 2003; Wavefunction, 2013) 2000-luvulla ohjelmistot asennettiin pääosin pöytäkoneelle tai kannettavalle tietokoneelle, mutta myös verkkopohjaiset Java-sovelmiin perustuvat molekyylimallinnustyökalut alkoivat yleistyä (Jmol, 2013). Tämän ajan teknologia ja ohjelmistot vastasivat hyvin kemian opetuksen tarpeisiin. Kemian opettajat kertoivat mallinnuksen käytön syyksi esim. monipuoliset visualisointiresurssit opiskelijoiden tutkimustaitojen kehittymisen, joka molekyylimallinnuksen kontekstissa tarkoittaa mm. omien mallien suunnittelua ja testaamista eli molekyyliä rakentamista ja laskentaa. Tietokoneille asennettavat opetuksen mittakaavassa järeät ohjelmistot pystyivät tähän, ja Java-pohjainen Jmol tarjosi monipuoliset visualisointiresurssit (ks. Aksela & Lundell, 2008; Jmol, 2013; Lundell & Aksela, 2003; Wavefunction, 2013)

Sulautuvan oppimisen ydinkohtien näkökulmasta molekyylimallinnus mahdollisti 1990-luvun mittausautomaation tapaan kohdat 1 ja 3 (motivaatio). Kannettavien tietokoneiden ja avointen ohjelmistoresurssien yleistymisen vapautti opetusta osittain myös ajasta ja paikasta. (ks. luku 2.3 ja vrt. Aksela & Lundell, 2008; Osguthorpe & Graham, 2003)

3.3 Sähköiset kemian oppimisympäristöt alkaen vuodesta 2011

Vuonna 2011 yleistyneet mobiililaitteet toivat sähköisille kemian oppimisympäristöille suuria teknologisia haasteita. Esimerkkinä voidaan mainita Helsingin yliopiston kemian opettajankoulutusyksikössä kehitetyn avoimen kouluopetukseen soveltuvan verkkopohjaisen molekyylihallinnusympäristön teknologiaratkaisun yhteensopimattomuus uusien laitteiden kanssa. Mallinnusympäristön kehittämisessä oli otettu huomioon viimeisimmän 10 vuoden aikana saadut löydökset opettajien tarpeista ja haasteista. Teknologiapohjaksi oli valittu avoimen lähdekoodin Java-pohjainen Jmol. Palvelulla on ollut tuhansia käyttäjiä, mutta sen teknologinen pohja ei mahdollistanut suurta kasvua. Nopeasti yleistyneiden mobiililaitteiden verkkoselaimet eivät tukeneet Java-sovelmia, joihin päälle ympäristö oli rakennettu. (Pernaa & Aksela, 2011) Vuonna 2012 Jmolin kehittäjäyhteisö reagoi Java-ongelmaan ja tuotti ohjelmistosta Android-sovelluksen ja Javattoman version, jota voidaan käyttää mobiililaitteiden verkkoselaimilla (Jmol-Android, 2013; JSmol, 2013).

Java-ratkaisujen yhteensopimattomuusongelmat koskevat myös kemian simulaatioita, joista käytetyimpinä voidaan mainita Coloradon yliopiston PhET-simulaatiot ja Molecular Workbench -ohjelmisto. Molemmista palveluista on alettu kehittämään myös mobiiliyhteensopivia HTML5-pohjaisia versioita. (The Concord Consortium, 2013; University of Colorado, 2013)

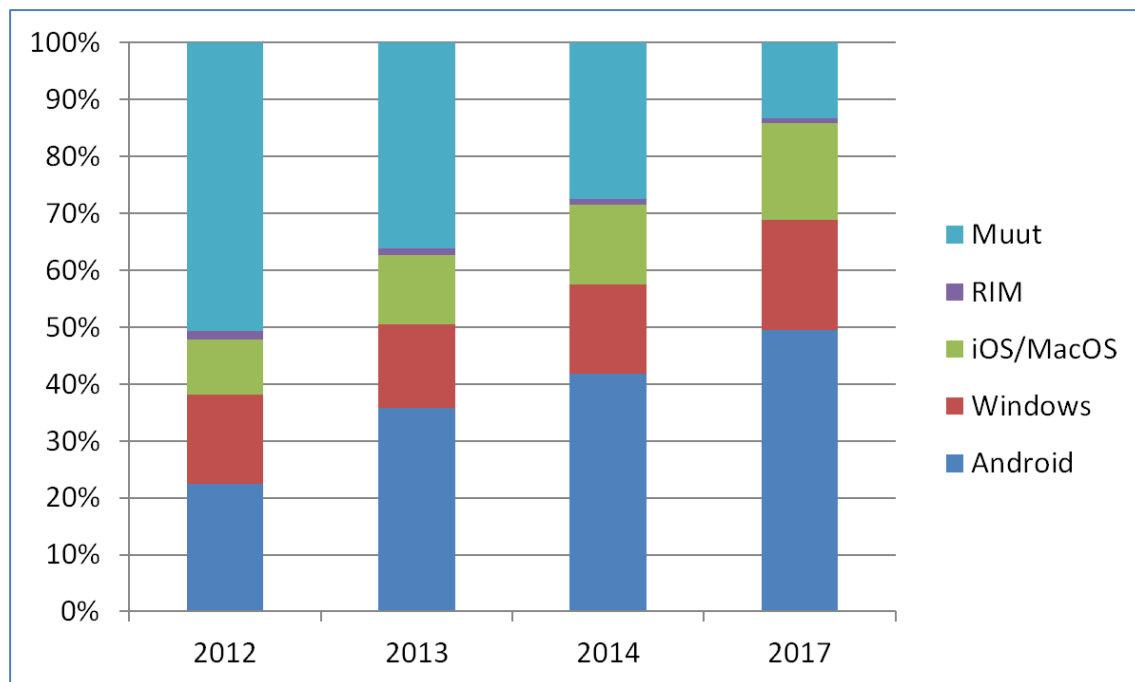
Animaatioiden ja videoiden käytölle teknologian kehittyminen ei ole ongelma, sillä ne jaetaan käyttäjille kaikkien laitteiden kanssa yhteensopivien verkkovideopalveluiden välityksellä (esim. Vimeo ja YouTube). Merkittävää on, että niiden tarjonta, kysyntä ja käyttö Suomessa on kasvanut räjähdysmäisesti parin viime vuoden aikana. Myös kemian animaatioiden ja videoiden tarjonta on kasvanut lyhyessä ajassa merkittävästi (esim. Opetus.tv, 2013).

Tulevaisuuden sähköiset kemian oppimisympäristöt tulevat olemaan yhteensopivia tablettien- ja älypuhelinien kanssa. Laitekannan muutos määrää kehittämissuunnan. Kansainvälinen ICT-alan tutkimus- ja konsultointiyritys Gartner on arvioinut, että vuodesta 2012 vuoteen 2017 mennessä pöytäkoneiden ja kannettavien maailmanlaajuiset myyntimäärät ovat laskeneet 15 prosentista 9 prosenttiin. Niiden myyntiä vähentää kuluttajien kasvava kiinnostus ultramobiili PC -laitteita kohtaan. Samanaikaisesti tablettien myyntimäärä kasvaisi 5 prosentista 16 prosenttiin. Tabletit veisivät hieman älypuhelimien markkinaosuutta, mutta älypuhelimien uskotaan olevan vuonna 2017 yhä myydyin päätelaitetyyppi (2012 79 % ja 2017 72 %) (taulukko 1. Vuonna 2017 noin 50 prosentissa kaikista myydyistä laitteista olisi Android-käyttöjärjestelmä. Windows ja iOS -käyttöjärjestelmiä käyttäviä laitteita tulisi molempia olemaan noin 20 prosentissa myytyjä laitteita (kuva 3). (Gartner, 2013) Android-sovellukset kirjoitetaan pääosin Java-kielellä, joka on tätä artikkelia kirjoitettaessa Tioben -ohjelmointikielten analytiikkasivuston mukaan maailman käytetyin ohjelmointikieli (15,98 %). Seuraavaksi suosituimpia ovat C

(15,97 %), C++ (9,37 %), Objective-C (8,08 %), PHP (6,69 %). Mainittakoon myös, että verkkosivujen toiminnallisuuksien tekoon paljon käytetty JavaScript on sijalla 9. (2,09 %). Tiobe ei luokittele HTML5-kieltä ohjelmointikieleksi vaan tiedon merkintäkieleksi. (Tiobe.com, 2013)

Taulukko 1 Laitetyyppien maailmanlaajuinen myyntiarvio vuosina 2012-2017 (tuhat yksikköä) ja markkinaosuus (Gartner, 2013)

Laitetyyppi	2012		2013		2014		2017	
PC (pöytäkone tai kannettava)	341 263	15 %	315 229	13 %	302 315	12 %	271 612	9 %
Ultramobiili PC	9 822	0 %	23 592	1 %	38 687	2 %	96 350	3 %
Tabletti	116 113	5 %	197 202	8 %	265 731	10 %	467 951	16 %
Älypuhelin	1 746 176	79 %	1 875 774	78 %	1 949 722	76 %	2 128 871	72 %
Yhteensä	2 213 374	100 %	2 411 797	100 %	2 556 455	100 %	2 964 784	100 %



Kuva 3 Käyttöjärjestelmien maailmanlaajuinen prosentuaalinen myyntiarvio vuosina 2012-2017. (Gartner, 2013)

Esimerkki 3: 2010-luvun mobiiliyhteensopivat kemian visualisoinnit

Kuten edellä mainittiin, tablettien ja älypuhelimien yleistymisen asetti sähköisille kemian oppimisympäristöille haasteita. Teknologiaesimerkkinä mainittiin Javaan ja tietokoneisiin pohjautuvat ohjelmistoratkaisut, jotka eivät enää toimineet mobiileissa päätelaitteissa. (Pernaa & Aksela, 2011) Alan kehittäjäyhteisöt tosin reagoivat suhteellisen nopeasti teknologian kehittymiseen ja julkaisivat sovelluskaupoista ostettavia mobiilisovelluksia tai HTML5-pohjaisia verkkopalveluita, mutta uudet ohjelmistoratkaisut eivät ole riittävän monipuolisia kemian opetuksen tarpeisiin nähden.

Tutkimustiedon perusteella tiedetään ilmiöt, jotka tulisi mallintaa sekä opettajien tarpeet ja visio hyvästä ohjelmistosta (ks. luku 3.2). Kemian oppiminen vaatii mallien rakentelua ja niiden testaamista, eli monipuolisia ohjelmistoja ja laskentakapasiteettia. Uudet mobiiliyhteensopivat ohjelmistot eivät tätä tue, vaan ne ovat pelkistettyjä visualisointisovelluksia. (ks. Jmol, 2013; JSmol, 2013; The Concord Consortium, 2013; University of Colorado, 2013; Wavefunction, 2013 ja vrt. esim. Tasker & Dalton, 2006; Rapp, 2005; Yang et al. 2004) Kokeellisuuden näkökulmasta mobiiliratkaisut ovat lupaavia, sillä jo submikrotason visualisointi tukee kokeellista ajattelua (vrt. Kozma, 2003).

Yleisesti sulautuvan oppimisen näkökulmasta mobiilit oppimisympäristöt mahdollistavat kaikkien teorian ydinkohtien toteuttamisen. Uusien mediasovellusten hyödyntäminen tekee oppimisympäristöistä mediarikkaita, mobiiliviestintä vapauttaa oppimisen ajasta ja paikasta. Sosiaalisen media on integroitu osaksi sovelluksia, mikä tuo uusia kanavia sosiaaliselle vuorovaikutukselle. Opiskelijat ovat myös jatkuvasti yhteydessä verkon tietoresursseihin, mikä mahdollistaa uuden tavan suhtautua osaamiseen ja uudistaa arviointia (vrt. Osguthorpe & Graham, 2003; Tähkä, 2013)

Taulukko 2 Erilaisten mallinnusteknologioiden vertailua.

	Spartan ⁽¹⁾	Jmol ⁽²⁾	Jsmol ⁽³⁾	Jmol-Android ⁽⁴⁾
Valmiin datan käyttö	X	X	X	X
Mallien rakentaminen	X	X	X	
Rakenteiden optimointi	X	X	X	
Energian laskenta	X			
Visualisointi	X	X	X	X
Tiedon tallentaminen	X	X	X	
Kuvan tekeminen	X	X	X	X
Mobiiliyhteensopiva			X	X

1) Spartan on tietokoneelle asennettava ohjelmisto. (Wavefunction, 2013)

2) Jmol on Java-pohjainen verkosta tai tietokoneen kovalevyltä ajettava ohjelmisto. (Jmol, 2013)

3) JSmol on HTML5- ja JavaScript -pohjainen verkkosovellus. (JSmol, 2013)

4) Jmol-Android on Google play -kaupasta ladattava mobiilisovellus (Jmol-Android, 2013).

4 Pohdinta

Artikkelissa osoitettiin teoreettisen ja historiallisen päättelyn pohjalta, miten kemian opetuksen tarpeet ja teknologia ovat muuttuneet viimeisten vuosikymmenten aikana. Tutkimalla Suomen kemian opetuksen historiaa saatiin selville, että TVT:n käyttö kemian opetuksessa yleistyi ja monipuolistui merkittävästi 2000-luvulle siirryttäessä. Käyttö alkoi 1990-luvulla mittausautomaatiolla. 2000-luvulla yleistyivät animaatiot, videot, molekyyylimallinnus ja simulaatiot. Tähän vaikutti sekä teknologian kehittyminen ja yleistyminen kouluissa että myös Helsingin yliopiston kemian opettajankoulutusyksikön perustaminen. (vrt. Aksela & Juvonen, 1999; Aksela & Karjalainen, 2008; Kankaanranta & Puhakka, 2008)

Kemian opetuksen tarpeita analysoimalla nähdään, että 1990-luvulla TVT:a käytettiin pääosin visualisointiresurssien ja ajanhallintatyökalujen vuoksi. TVT:n koettiin myös motivoivan opiskelijoita. 2000-luvulla kemian opetus tieteenä vahvistui ja TVT:n mahdollisuuksia osana kemian opetusta alettiin ymmärtää paremmin. Myös ajatus opiskelijoiden ajattelu- ja tutkimustaitojen kehittymisestä alkoi ohjata sähköisten oppimisympäristöjen kehittämistyötä. (ks. Aksela, 2005, vrt. Aksela & Juvonen, 1999; Aksela & Karjalainen, 2008; Aksela & Lundell, 2008) Sulautuvan oppimisen näkökulmasta

tarve kohdistui molemmilla ajanjaksoilla kohtien 1 ja 3 (motivaatio) tukemiseen. 2000-luvulla yleistyneet kannettavat vapauttivat oppimista myös osittain ajasta ja paikasta. (ks. luku 2.3 ja vrt. Osguthorpe & Graham, 2003).

2010-luvulla mobiililaitteet uudistivat sähköisten kemian oppimisympäristöjen teknologiavaatimukset. Aikaisemmat valtateknologiat, kuten tietokoneelle asennettavat ohjelmistot ja Java-pohjaiset verkkosovellukset eivät toimineet uusissa päätelaitteissa. Analysistä saatiin myös selville, että mobiilisovellukset eivät tue kemian opetuksen molekyylihallinnustarpeita yhtä hyvin kuin koneelle asennettavat ohjelmistot. Esimerkiksi rakennus- ja laskentatyökalut ovat puutteelliset, mikä ei mahdollista molekyylihallinnuksen käyttöä kemian tutkimustyökaluna (ks. taulukko 2 ja vrt. Aksela et al. 2008; Aksela & Karjalainen, 2008) Olisi tosin aiheellista tutkia, että miten iso tarve molekyylihallinnuksen käytölle tutkimustyökaluna esim. lukio-opinnoissa oikeasti on. Riittäisikö pelkästään TVT-pohjainen visualisointi kattamaan valtaosan opiskelijoiden tarpeista? Laskentatyökaluja tarvitsevat lahjakkaat opiskelijat voitaisiin ohjata esimerkiksi yliopistojen LUMA-keskusten harrastustoimintaan.

Mobiililaitteet ja uudet mediasovellukset mahdollistavat kaikkien sulautuvan oppimisen ydinkohtien hyödyntämisen. Teoreettisen analyysin pohjalta voidaan todeta sulauttamisen muuttuneen Suomen kemian opetuksessa Grahamin (2006) mallin mukaisesti (ks. taulukko 3 ja vrt. kuva 1).

Taulukko 3 Sulautuvan oppimisen hyödyntämisen muuttuminen kemian opetuksessa.

	← 1999	2000-2010	2011 →
1. Mediarikkaat oppimisympäristöt	X	X	X
2. Sosiaalinen vuorovaikutus	-	-	X
3. Aika, paikka ja motivaatio	motivaatio	kaikki osittain	X
4. Uudenlainen suhtautuminen tietoon	-	-	X

Edellä mainittujen tutkimusten pohjalta voidaan luoda sähköisten kemian oppimisympäristöjen käyttäjälle ja kehittäjille kolme ohjetta:

1. Valitse käyttöön sopiva teknologia: Pehdy eri vaihtoehtoihin ja vertaile niiden hyviä puolia ja heikkouksia käyttötarkoituksen mukaan. Valinnassa kannattaa ottaa huomioon, että Java on maailman käytetyin ohjelmointikieli ja Android on vuonna 2017 suurin käyttöjärjestelmä. Jos sovellus halutaan optimoida Androidille, kannattaa oppimisympäristö kirjoittaa Javalla suoraan Android-sovelluksen muotoon. Jos taas Android-optimointi ei ole tarpeellista, saavutetaan suurin käyttäjäkunta ja monipuolisin päätelaitetuki HTML5-JavaScript -yhdistelmällä. Se tulee myös olemaan teknologisesti pitkäikäinen ratkaisu. (vrt. Gartner, 2013)

2. Huomioi kemian opetuksen ja oppimisen tarpeet kemian opetussuunnitelman perusteiden mukaisesti: Kemia on tieteenä sosiaalinen ja kemiallinen tieto on luonteeltaan monimuotoista. Kemian oppiminen vaatii omien mallien rakentelua, testaamista ja monimuotoista sosiaalista vuorovaikutusta. Tutkimus- ja ajattelutaitojen kehittäminen on tärkeä osa opintoja. (vrt. Aksela, 2005; Aksela et al., 2008; Dalton & Tasker, 2006; Vesterinen, 2012)

3. Sovella sulautuvan oppimisen teoriaa opetukseen: Mobiililaitteet ja uudet sovellukset mahdollistavat monipuolisen median käytön kemian opetuksessa. Tämä taas mahdollistaa monipuolisten työtapojen käytön. Pedagoginen TVT:n oikea käyttö on avainasemassa mielekkääseen oppimiseen (esim. Aksela, 2005). Tämä tukee aikaisempaa paremmin haasteita ajan ja paikan suhteen sekä erilaisten oppijoiden tarpeiden huomioon ottamista. Tästä seuraa sosiaalisen vuorovaikutuksen monipuolistuminen ja oppijan henkilökohtaisen motivaation kasvaminen. (vrt. Osguthorpe & Graham, 2003) Uudet taidot kommunikoida, verkostoitua ja viestiä tietoa erilaisten sosiaalisten ryhmien mukaisesti mahdollistavat oppimisen soveltamista omien tarpeiden mukaisesti. Tämä opettaa opiskelijan arvostamaan omaa oppimistaan ja sijoittamaan siihen aikaisempaa enemmän aikaa ja vaivaa. Lopulta myös opetusalan ja yhteiskunnan suhtautuminen tietoon tulee muuttumaan. (vrt. Linturi et al., 2011; Opetushallitus, 2011) Metatiedon oppiminen nousee

tärkeämmäksi, kuin sisällön muistaminen. Sisältötieto opitaan väistämättä, kunhan oppimiseen sitoudutaan ja siitä tulee elinikäinen prosessi.

Tutkimuksen keskeisin arvo luonnontieteiden opetukselle ja oppimiselle on yllä mainittu sähköisten oppimisympäristöjen kehittämisohjeistus. Teknologian kehitys on nopeaa, joka esim. Suomessa korostuu erilaisten oppimiscalustaratkaisujen kehittämishankkeina (ks. esim. Tekes, 2013). Valittavien ratkaisujen määrä ja teknologian nopea kehittyminen voi myös vaikeuttaa koulujen kehittämishankkeita, sillä koulusektorilla ei ole riittävää osaamista arvioida omia kehittymistarpeitaan nopeasti muuttuvassa teknologiaympäristössä. Opettajat ovat ensisijaisesti opetuksen asiantuntijoita ja teknologian tuntemus ei kuulu heidän ydinosaamiseensa. Tutkimuksessa johdettu kemian opetuksen ja TVT:n opetuskäytön yleisiin teorioihin ankkuroitu kehittämisohjeistus antaa kemian opettajille korkealaatuisen opetuksen ja oppimisen kehittämistyökalun. Ohjeistus mahdollistaa teknologisesti kestävien ja kemian opetuksen TVT-mahdollisuuksia tukevien sähköisten oppimisympäristöjen kehittämisen.

Lähteet

- ACD/Labs. (2013). ACD/ChemSketch Freeware - A free comprehensive chemical drawing package. <http://www.acdlabs.com/resources/freeware/chemsketch/>, luettu 19.8.2013.
- Aksela, M. (2005). *Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A Design research approach*. Akateeminen väitöskirja, Helsingin yliopisto. Helsinki: Unigrafia Oy. <http://urn.fi/URN:ISBN:952-10-2708-8>
- Aksela, M. (2011). Engaging students for meaningful chemistry learning through microcomputer-based laboratory (MBL) inquiry : Promoure en els estudiants l'aprenentatge significatiu de la química mitjançant treballs pràctics indagatius amb l'ús d'equips de captació de dades amb sensors (MBL). *Educació Química EduQ*, 9, 30-37. <http://hdl.handle.net/10138/29524>
- Aksela, M. & Juvonen, R. (1999). *Kemian opetus tänään*. Helsinki: Opetushallitus, Edita Oy.
- Aksela, M. & Karjalainen, V. (2008). *Kemian opetus tänään: Nykytila ja haasteet Suomessa*. Helsinki: Kemian opetuksen keskus, Kemian laitos, Helsingin yliopisto, Yliopistopaino.
- Aksela, M. & Lahtela-Kakkonen, M. (2001). Molekyylitason teknologiaa opetuksessa. *Kemia-Kemi*, 28(3), 200-203.
- Aksela, M. & Lundell, J. (2008). Computer-based molecular modelling: Finnish school teachers experiences and views. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 301-308. <http://dx.doi.org/10.1039/B818464J>
- 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 ongelmälähtöistä opetusta* (s. 59-68). Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- ERIC: Education Resources Information Center. (2013). <http://www.eric.ed.gov/>, luettu 19.8.2013.
- Hypercube. (2013). HyperChem. <http://www.hyper.com/>, luettu 19.8.2013.
- Garrison, D. R. & Vaughan, N. D. (2008). *Blended learning in higher education*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Gartner. (2013). Gartner Says Worldwide PC, Tablet and Mobile Phone Combined Shipments to Reach 2.4 Billion Units in 2013. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2408515>, luettu 21.8.2013.

- Graham, C. R. (2006). Blended learning systems: Definition, current trends, and future directions. Teoksessa C. J. Bonk & C. R. Graham (toim.), *The handbook of blended learning: Global perspectives local designs*. (s. 3-21). San Francisco: Pfeiffer.
- Driscoll, M. (2002). Blended learning: Let's get beyond the hype. *E-Learning*, 3(3), 54.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. New York: Routledge.
- Itkonen-Isakov, T-M. (2009). Aiemmin hankitun osaamisen tunnistamisesta sulautuvan oppimisen kontekstissa. Teoksessa Lähti, M. & Putkuri, P. (toim.), *Löytöretki aikuisohjauksen maailmaan* (s. 186-193). Jyväskylä: Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun julkaisuja.
- Johnstone, A. H. (1993). The Development of chemistry teaching: A Changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705. <http://dx.doi.org/10.1021/ed070p701>
- Jmol. (2013). Jmol: an open-source Java viewer for chemical structures in 3D. <http://www.jmol.org/>, luettu 21.8.2013.
- Jmol-Android. (2013). Jmol Molecular Visualization. <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.openscience.jmolandroid>, luettu 21.8.2013.
- JSmol. (2013). JSmol: an open-source HTML5 viewer for chemical structures in 3D. <http://wiki.jmol.org/index.php/JSmol#JSmol>, luettu 21.8.2013.
- Jääskeläinen, P. 2008. *Kiinnostuksen tukeminen perusopetuksessa: molekyyli-mallinnus työtapana*. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/jaaskelainen-p-2008.pdf>, luettu 19.8.2013.
- Kankaanranta, M. & Puhakka, E (2008). Kohti innovatiivista tietotekniikan opetuskäyttöä: Kansainvälisen SITES 2006 -tutkimuksen tuloksia. Jyväskylän yliopiston koulutuksen tutkimuslaitos. <http://ktl.jyu.fi/img/portal/13816/SITES-julkaisu.pdf?cs=1228198530>, luettu 19.8.2013
- Kozma, R. (2003). Material and social affordances of multiple representations for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205-226. [http://dx.doi.org/10.1016/s0959-4752\(02\)00021-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0959-4752(02)00021-x)
- 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.
- Laitala, A. (2007). *Mittausautomaatio ympäristökemian oppimisen tukena perusopetuksessa*. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/laitala-a-2007.pdf>, luettu 19.8.2013.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1021/ed080p962>
- Leskinen, H. (2007). *Lämpöenergian ymmärtämisen tukeminen mittausautomaation avulla lukion kemian opetuksessa*. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/leskinen-h-2007.pdf>, 19.8.2013.
- Linturi, H., Rubin, A. & Airaksinen, T. (2011). *Oppimisen tulevaisuus 2030 -barometri*. Julkaisusarja: Lukion tulevaisuus 2030: Toinen koulu, toinen maailma. Opetushallitus / Otavan Opisto, Tulevaisuuden tutkimuskeskus. http://www.oph.fi/download/137072_Lukion_tulevaisuus_2030.pdf, luettu 19.8.2013.
- LUMA Sanomat. (2013). Kemiaa elinympäristössämme -aiheisia opetuspaketteja <http://www.luma.fi/materiaalit/1142/kemiaa-elinympaeristoessaemme>, luettu 19.8.2013.
- LUMA Sanomat. (2013). Kemma-keskus mukaan eurooppalaiseen COMBLAB-projektiin. <http://www.luma.fi/artikkelit/1254/kemma-keskus-mukaan-eurooppalaiseen-comblab-projektiin>, luettu 27.8.2013.
- Lundell, J. & Aksela, M. (2003). Molekyyli-mallinnus kemian opetuksessa osa 1: Molekyyli-mallinnus ja kemian opetus. *Dimensio*, 67(5), 47-49.

- Muurinen, M. & Skarp, N. (2004). Oivaltamisen iloa laskennallisesta kemiasta. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/muurinen-m-skarp-n-2004.pdf>, luettu 19.8.2013.
- Opetushallitus. (2011). *Tieto- ja viestintäteknikka opetuskäytössä - Välineet, vaikuttavuus ja hyödyt* (Tilannekatsaus toukokuu 2011). Muistiot 2011:2.
http://www.oph.fi/julkaisut/2011/tieto_ja_viestintateknikka_opetuskaytossa, luettu 19.8.2013.
- Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Opetus.tv. (2013). Opetus.tv - Päivitä tulevaisuutesi. <http://opetus.tv/>, luettu 19.8.2013.
- Osguthorpe, R. T. & Graham, C. R. (2003). Blended learning systems: Definitions and directions. *Quarterly Review of Distance Education*, 4(3), 227–234.
<http://dx.doi.org/10.1080/01587919.2012.723166>
- Pernaa, J. (2011). *Kehittämistutkimus: Tieto- ja viestintäteknikkaa kemian opetukseen*. Akateeminen väitöskirja, Helsingin yliopisto. Helsinki: Unigrafia Oy.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-7291-8>
- Pernaa, J. & Aksela, M. (2011). Kehittämistutkimus: Kemian kouluopetukseen soveltuvan molekyylihallinnusympäristön kehittäminen. Teoksessa M. Aksela, J. Pernaa & M. Happonen. *Kansainvälinen kemian vuosi: Kemia osaksi hyvää elämää : VI Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät -symposiumkirja* (s. 110-121). Helsinki: Yliopistopaino.
- 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 korkeakouluihin - IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät* (s. 195-204). Helsinki: Yliopistopaino.
- Peura, P. (2013). Matematiikan opetuksen tulevaisuus -blogi. <http://maot.fi>, luettu 19.8.2013.
- Rapp, D. N. (2005). Mental models: Theoretical issues for visualization. Kirjassa J. K. Gilbert (toim.), *Visualization in science education* (s. 43-60). Dordrecht: Springer.
- Roininen, I. (1997). Orgaanisen kemian webbikirja. <http://pelu.jns.fi/iroi/>, luettu 19.8.2013.
- 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). Vetyäidoksen opetus ja oppiminen. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/saloma-a-2005.pdf>, luettu 19.8.2013.
- Tasker, R. & Dalton, R. (2006). Research into practice: Visualization of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 141-159.
<http://dx.doi.org/10.1039/B5RP90020D>
- Tekes. (2013). OppimISRatkaisut. <http://www.tekes.fi/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat-ja-verkostot/oppimISRatkaisut>, luettu 7.10.2013.
- The Concord Consortium. (2013). Molecular Workbench. <http://mw.concord.org/modeler/>, luettu 19.8.2013.
- Tiobe.com. (2013). TIOBE Programming Community Index for August 2013.
<http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>, luettu 19.8.2013.
- Tähkä, T. (2013). Digitaaliset kokeet kemiassa. *LUMAT*, 1(1), 137-140.
- University of Colorado. (2013). PhET Interactive Simulations (CC BY 3.0 US).
<http://phet.colorado.edu/>, luettu 19.8.2013.
- Uusikartano, H. (2006). *Biomolekyylin visualisointi kemian opetuksessa*. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/uusikartano-h-2006.pdf>, luettu 19.8.2013.
- Vainio, J. (2006). *Tietokoneavusteinen molekyylihallinnus 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.
<http://dx.doi.org/10.1023/B:JOST.0000045458.76285.fe>
- Vesterinen V-M. (2012). *Nature of Science for Chemistry Education Design of Chemistry Education Course*, Akateeminen väitöskirja, Helsingin yliopisto. Helsinki: Unigrafia Oy.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-8396-9>
- Vihma, L. (2006). *Tietokonesimulaatioita kaasujen ymmärtämisen tukemiseen kemian lukio-opetuksessa*. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/27424>, luettu 24.7.2012.
- Västinsalo, J. (2009). *Ilman kaasujen molekyylimallinnus 7.-9.-luokkalaisten kiinnostuksen tukena*. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/vastinsalo-j-2009b.pdf>, 19.8.2013.
- Wavefunction. (2013). Spartan Software. <http://www.wavefun.com/>, luettu 19.8.2013.
- Webb, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: Implications for an integrated pedagogy. *International Journal of Science Education*, 27(6), 705-735. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690500038520>
- Williamson, V. & Abraham, M. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660320508>
- Yang, E. Greenbowe, T. & Andre, T. (2004). The Effective use of an interactive software program to reduce students' misconceptions about batteries. *Journal of Chemical Education*, 81(4), 587-595.
<http://dx.doi.org/10.1021/ed081p587>