

Oppilaiden visuaaliset representaatiot kiehumisessa

Erikoistyö ja Pro gradu-tutkielma

Jyväskylän yliopisto

Kemian laitos

Kemian opettajankoulutus

15.11.2012

Meri Hautala

Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten visuaalisten representaatioiden käyttö mahdollisesti auttaa kemian oppimisessa. Erityisesti paneuduttiin kemian visuaalisten representaatioiden tuottamisen vaatimiin kognitiivisiin toimintoihin.

Suoritettiin kirjallisuustutkimus kemian visuaalisista representaatioista ja niiden käytöstä oppimisessa. Kirjallisuustutkimuksen tulosten perusteella visuaalisten representaatioiden tuottamista tulisi hyödyntää osana kemian opetusta, sillä se vaatii oppijalta monipuolisia ja syvällisiä kognitiivisia prosesseja sekä auttaa oppijaa visualisoimaan kemiallisen tiedon submikroskooppisen tason tapahtumia. Juuri molekyyli-tason ymmärtäminen on kemian opiskelijoille hankalaa.

Kirjallisuuteen tutustumisen lisäksi tehtiin erikoistyö opiskelijoiden käyttämistä visuaalisista representaatioista. Erikoistyössä suoritettiin viisi pientä tapaustutkimusta Jyväskylän kaupungin lukioiden ja yliopiston kemian opiskelijoiden visuaalisten representaatioiden tuottamisesta. Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää, miten useamman representaatiomenetelmän käyttäminen kemian tehtävään vastatessa voisi edesauttaa kemian oppimista ja sisällyttävätkö oppijat yhteen representaatioon enemmän tietoa kuin toiseen. Lisäksi haluttiin tutkia onko representaatioiden tuottamisjärjestyksellä tai sillä kuinka selvästi teksti ja piirros liitetään tehtävänannossa toisiinsa vaikutusta tehtävästä saatavien pisteiden kannalta.

Tapaustutkimusten perusteella vaikuttaisi siltä, että useiden representaatiomenetelmien rinnakkainen käyttö kemian tehtäviin vastatessa antaa paremman kuvan vastaajan tiedoista ja taidoista. Vastaajan piirros ja teksti eivät yleensä tiedolliselta sisällöltään vastaa täysin toisiaan, joten ne yhdessä tuovat oppijan osaamisen kokonaisvaltaisemmin ilmi, kuin jos käytettäisiin vain yhtä vastaustapaa. Sen sijaan sillä ei näyttäisi olevan merkitystä, kumpaa vastaustapaa sovelletaan ensin. Myöskään tekstin ja piirroksen liittäminen tiiviimmin yhteen tehtävänannossa ei tuottanut paremmin toisiaan vastaavia representaatioita, kuin silloin kun teksti ja piirros tuotetaan eri tehtävissä. Tuotettujen tekstien ja piirrosten sisältämiä tietoja arvioidessa ei huomattu suuria eroja eri representaatioiden välillä.

Esipuhe

Tämä tutkimus tehtiin Jyväskylän yliopistossa kesällä ja syksyllä 2012. Lähdekirjallisuutta etsittiin ERIC- ja Google hakukoneilla. Näillä löydettiin useita artikkeleita tieteellisistä julkaisuista. Lisäksi lähdekirjallisuutena käytettiin opetushallituksen yläkoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteita sekä opetus- ja tutkimusalan kirjallisuutta.

Motivaationa tutkimuksen tekemiseen toimi halu tutustua visuaalisten representaatioiden käyttöön kemian opetuksessa sekä erityisesti niiden tarjoamiin etuihin oppijan kognitiivista toimintaa ajatellen. Toivoin tutkimuksen myötä saavansa ajatuksia visuaalisten representaatioiden käyttämisestä osana omaa opetustaan ja oppivansa itse ymmärtämään kemian mallinnusta paremmin. Nämä tavoitteet toteutuivat tutkimusta tehdessä ja kemian mallinnuksen maailma tulikin itselleni entistä kiinnostavammaksi. Lisäksi tutkimus rohkaisi tutustumaan opetusalan kirjallisuuteen laajemmin myös tutkimuksen ulkopuolella. Työn eteneminen vaati paljon aikaa, sillä tutkimuksen aikana syntyneet ajatukset piirtämisestä kognitiivisten toimintojen näkökulmasta tarvitsivat aikaa selkeytyäkseen.

Kiitän lämpimästi työni ohjaajaa Jan Lundellia kannustavasta ja ajatuksia herättävästä ohjauksesta sekä Jouni Välisaarta, joka toimi tutkielman toisena tarkastajana. Lisäksi kiitän Jouni Viiriä neuvoista tapaustutkimuksen tekemisessä. Kiitän myös tutkimukseen osallistuneita oppilaitoksia, niiden oppilaita ja heidän opettajiaan. Erityiset kiitokset perheelleni ja muille läheisilleni, jotka ovat tukeneet silloin kun olen tukea tarvinnut.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	i
Esipuhe.....	ii
Sisällysluettelo.....	iii
1. Johdanto	1
1.1. Konstruktivistinen oppimiskäsitys	1
1.2. Kemian kolmitaso.....	4
2. Representaatiot ja niiden käyttö kemiassa	6
2.1 Representaatiot suomalaisessa opetussuunnitelmassa.....	11
3. Oppilaiden visuaalisten representaatioiden hyödyt koulukemiassa	13
3.1 Piirtäminen on strateginen oppimisprosessi.....	13
3.2. Mallinnuskyvykkyys	17
3.3 Visuaalisten representaatioiden tuottamisen hyödyt kemian oppimisessä	20
4. Tehtäväkehys	24
4.1. Veden kiehuminen.....	24
4.2 Oppikirjojen visuaaliset representaatiot kiehumisesta	25
4.2.1 Peruskoulun oppikirjat	26
4.2.2 Lukion oppikirjat	28
4.2.3 Yliopiston oppikirjat	31
4.3 Oppilaiden käsitykset kiehumisesta	34
5. Tutkimuskysymysten valinta.....	35
6. Tutkimusmenetelmä.....	37

7. Aineiston käsittely	37
8. Tulokset ja niiden tulkinta.....	42
8.1. Vastaavatko kuva ja teksti toisiaan?.....	42
8.2. Kumpi vastaustavoista sisältää enemmän tietoa?.....	43
8.3. Paljastaako piirros sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule tekstistä ilmi?.....	44
8.4. Paljastaako teksti sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule piirroksesta ilmi?	52
8.5. Onko vastaustapojen tekojärjestyksellä merkitystä?	52
9. Lisätutkimus	53
9.1. Vastaavatko kuva ja teksti toisiaan?.....	54
9.2 Kumpi vastaustavoista sisälsi enemmän tietoa?	56
9.3. Paljastaako piirros sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule tekstistä ilmi?.....	56
9.4. Paljastaako teksti sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule piirroksesta ilmi?	59
9.5 Minkä vastaavuusluokan lomakkeet saavat keskimäärin parhaat pisteet?	62
10. Pohdintaa	62
Kirjallisuusluettelo.....	64
Liitteet	70

1. Johdanto

Kemia ei oppiaineena ole helpoimmasta päästä. Kemian ainesisältö on valtavan laaja ja sen opetteleminen tuntuu varmasti uudesta oppilaasta Mount Everestin valloittamista vastaavalta urakalta. Kuitenkin kaikki ympärillämme, jopa sisällämme on kemiaa. Kemian alan innovaatiot ovat myös monella tapaa parantaneet elinolosuhteitamme. Muun muassa lääkkeet, ruuan säilöntäaineet ja paperi ovat meille jokapäiväisiä kemian alan keksintöjä, jotka helpottavat elämäämme. Silti oppilaita on usein vaikeaa motivoida ymmärtämään tai edes haluamaan ymmärtää niiden kemiaa. Tässä kappaleessa käsitellään mahdollisia ihmisen oppimiseen ja kemian luonteeseen pohjautuvia syitä siihen, miksi kemia tuntuu uudelle oppilaalle ylitsepääsemättömältä esteeltä. Ensin tutustutaan laajalti hyväksytyyn konstruktivistiseen käsitykseen ihmisen oppimisesta, ja pohditaan kemian opetusta konstruktivismin näkökulmasta. Myöhemmin esitellään kemian tiedon kolmitasoluonne, jonka moniulotteinen rakenne vaikeuttaa kemiallisen tiedon omaksumista.

1.1. Konstruktivistinen oppimiskäsitys

Käsitykset oppimistapahtumasta ovat vaihdelleet vuosien saatossa. Locke ajatteli 1600-luvulla oppijan, erityisesti lapsen, mielen olevan kuin tyhjä taulu, johon oppimiskokemusten myötä piirtyy tietoa.¹ Tällainen oppimiskäsitys tarkoittaisi, että oppitunnilla oppilas pystyisi käytännössä omaksumaan kaiken tunnilla eri tavoin esitellyn uuden tiedon. Lisäksi opittu tieto olisi lähes suora kopio vastaanotetusta tiedosta. Käsitykset oppimisesta ovat kuitenkin kehittyneet tästä. Nykyään oppija nähdään oppimisensa aktiivisena tekijänä, joka konstruoi tietonsa vastaanottamansa informaation ja aiempien kokemustensa ja uskomustensa perusteella. Vastaanotettu informaatio ikään kuin puretaan osiin ja kootaan opittaessa uudelleen. Tällöin puhutaan konstruktivistisesta oppimiskäsityksestä.

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan aiempi tietorakenteemme vaikuttaa siihen, mitkä ympäristöstä tulevat ärsykkeet valikoimme lähempään tarkasteluun.¹ Muistissa oleva aiempi tietorakenteemme koostuu kokemuksistamme, uskomuksistamme ja käsityksistämme. Muistin katsotaan toimivan suodattimen tavoin niin, että se suodattaa tiedostamattamme ympäristöstämme joka hetki tulevat lukuisat aistiärsykkeet päästäten vain osan työmuistiin. Vain työmuistiin päästetyt ärsykkeet tiedostetaan. Työmuistissa käsiteltävän informaation valikointi tapahtuu olemassa

olevan tietorakenteemme pohjalta. Edelliset kokemukset, mielikuvat ja muistot säätelevät sitä, minkä uuden tiedon koemme tarpeelliseksi ottaa käsiteltäväksi edelleen. Havahdumme helposti kuullessamme oman nimemme, koska sillä on meille merkitystä. Toisaalta, jos olemme kiinnostuneita esimerkiksi kalastamisesta, keskittymisemme suuntautuu puhujaan, joka alkaa kertoa kalajuttuja. Uusi työmuistiin päässyt tieto käsitellään, suodatetaan aiemman tietorakenteen mukaan uudelleen ja tallennetaan pitkäkestoiseen muistiin, jossa se yhdistetään vanhaan tietorakenteeseen sellaisenaan, tai se muokkaa tätä rakennetta. Joissakin tapauksissa vanha tietorakenne saatetaan hylätä kokonaan, koska uusi tieto ei sovi siihen. Useimmiten ristiriitaisessa tilanteessa hylätyksi tulee kuitenkin uusi tieto, sillä vanhat tietorakenteet on helpompi säilyttää.

Nykyinen konstruktivistinen oppimiskäsitys korostaa aiemman tietorakenteen lisäksi oppimisympäristön merkitystä.¹ Jo Vygotski uskoi oppimistapahtuman olevan väistämättä riippuvainen sosiaalisesta kontekstistaan, siitä missä, milloin ja kenen läsnä ollessa oppiminen tapahtuu.² Vygotskin näkemyksistä saikin alkunsa sosiokonstruktivistinen oppimiskäsitys. Oppiminen on aina tilannesidonnaista ja tapahtuu oppijaa ympäröivässä sosiaalisessa kontekstissa, johon läheisesti liittyvät oppimistilanteen jakavat henkilöt, esimerkiksi koulussa muut oppijat ja opettajat. Heidän toimintansa ja uskomuksensa vaikuttavat yksittäisen oppijan muodostamiin tietorakenteisiin. Laajemmin sosiaalinen yhteys käsittää koko sen hetkisen vallitsevan kulttuurin. Oppimisen ei voida koskaan ajatella tapahtuvan irrallaan sosiaalisesta kontekstista, sillä jo pelkät oppikirjat heijastavat aikakautensa ja tekijöidensä arvoja ja uskomuksia.

Myös suomalainen koulutus pohjautuu konstruktivistiselle oppimiskäsitykselle, joka näkee oppijan oman oppimisensa aktiivisena tekijänä ja toimijana. Suomen lukion opetussuunnitelman perusteissa oppiminen määritellään seuraavasti.

*”...oppiminen on seurausta opiskelijan aktiivisesta ja tavoitteellisesta toiminnasta, jossa hän vuorovaikutuksessa muiden opiskelijoiden, opettajan ja ympäristön kanssa ja aiempien tietorakenteiden pohjalta käsittelee ja tulkitsee vastaanottamaansa informaatiota.”*³

Konstruktivistinen oppimiskäsitys sisältää kaksi ongelmaa, jotka vaikeuttavat uuden oppilaan tutustumista kemian maailmaan. Ensimmäisenä on kemiaan liittyvän olemassa olevan tietorakenteen puuttuminen.⁴ Kaikilla on arkipäiväisiä kokemuksia vaikkapa kemiallisista reaktioista, mutta emme tiedosta niiden kemiallista luonnetta. Esimerkiksi maidon hapantuessa emme pohdi happamoitumisen aiheuttajaa, vaan kaadamme maidon surutta viemäriin. Harvoilla on myöskään kokemustaustaa sellaisista käsitteistä kuin alkuaine, atomi tai elektroni, ennen kuin oppikirjat ne meille esittelevät. Jos uudelle informaatiolle ei löydy yhtymäkohtia vanhasta tietorakenteesta, sen muistiin painamisesta tulee hankalaa. Tieto on säilöttävä yksittäisenä yksikkönä, jolla ei ole linkkejä muuhun tietorakenteeseen. Myös tällaisen yksikön muistissa säilyttäminen ja sieltä mieleen palauttaminen on vaikeaa.

Toinen ongelma on työmuistin rajallisuus.⁴ Koetta edeltävänä iltana aloitettu opiskelu on tuttu esimerkki siitä, mitä tapahtuu kun koetlemme työmuistiamme. Opittavaa asiaa tuntuu olevan liikaa, olo on ahdistunut eikä mitään jää mieleen. Tietoa on yksinkertaisesti liian paljon kerralla omaksuttavaksi. Jos uutta käsiteltävää tietoa on liikaa, työmuisti ylikuormittuu. Muistiin painaminen ja keskinäisten suhteiden hahmottaminen vaikeutuu, ja oppiminen jää pinnalliseksi. Kokeen jälkeen tieto unohtuu nopeasti. Asiantuntijoiden on kuitenkin mahdollista omaksua melko nopeasti suuriakin määriä uutta tietoa alaltaan. Näin siksi, että he käyttävät apunaan tiedon ”niputtamista”. Vanhan tietorakenteensa pohjalta he pystyvät luokittelemaan uutta tietoa pieniin nippuihin, joissa asiat liittyvät olennaisesti toisiinsa. Jokaista tiedonmurusta ei siis tarvitse käsitellä työmuistissa omana yksikkönään, vaan niput voidaan käsitellä kerralla. Lisäksi tietonipulla on useampia kytköksiä muuhun tietorakenteeseen kuin yksittäisellä tiedonmurulla. Asiantuntijan tietonippu vie työmuistista saman verran tilaa kuin aloittelijan tiedonmurunen. Näin asiantuntija pystyy käyttämään työmuistiaan uuden oppimiseen huomattavasti tehokkaammin. Kemian opintojen alussa on paljon ulkoa opeteltavaa tietoa, kuten alkuaineiden nimet, kirjainsymbolit ja järjestysluvut. Kun näistä ei ole mitään aiempaa kokemuspohjaa, ei ole ihme että työmuisti ylikuormittuu. Opettajasta saattaakin tuntua, että opetus on alettava jokaisella kurssilla aivan alusta. Oppilaskaan ei pääse kokemaan edistyneensä ja tällöin tulee helposti mielikuva, että kemian opiskelu on tarkoituksetonta ulkolukemista. Useat oppilaat työntävät kemian aivojen pimeimpään kolkkaan outona ja rasittavana oppiaineena.

1.2. Kemian kolmitaso

Johnstone kuvaili kemiallisen tiedon rakennetta kolmiolla, jonka jokaisessa kärjessä on yksi kemiallisen tiedon kolmesta tasosta.⁵ **Makrotason** tieto on sitä minkä koemme aisteillamme. Näemme esimerkiksi kuinka liuos vaihtaa väriä tai kuulemme kuinka kaasu pamahtaa syttyessään. **Submikroskooppisen** tason tiedolla tarkoitetaan niitä atomi- ja molekyyli-tason tapahtumia, joista makrotason havaintomme johtuvat. **Symbolinen taso** välittää tietoa näiltä kahdelta muulta tasolta erilaisin representaatioin. Tiedämme, että kirjain H tarkoittaa kevyintä alkuainetta, vetyä, jonka järjestysluku on 1 ja joka kaasufaasissaan muodostaa hapen kanssa räjähdysherkän seoksen. Johnstone kuvaili oppilaiden kykyä käsitellä kemiallista tietoa näillä kolmella tasolla siten, että oppilas liikkuu yhdessä nurkassa kerrallaan, tai kahta nurkkaa yhdistävällä sivulla. Kaikkien kolmen tason yhtäaikainen hallinta on siis vaikeaa. Asiantuntija taas navigoi vaivatta kolmion sisällä, käsitellen tietoa jopa tiedostamattaan sujuvasti jokaisella tasolla. Peter Mahaffy lisäsi myöhemmin kolmitasoon neljännen kulman.⁶ Mahaffy katsoi, että kemiallisen tiedon luonteeseen kuuluu makro-, submikro- ja symbolisen tason lisäksi inhimillinen taso, joka käsittää kemian historian ja kehityksen, hyödyntämisen yhteiskunnassa, sekä oppijan omat kokemukset kemiasta arkipäivässä.

Kemian kolmitaso tuottaakin opetukseen useita ongelmia.⁷ Ensimmäinen, ja kenties ilmeisin, on se, etteivät oppilaat tiedosta kolmitason olemassa oloa. Oppikirjat tai opettajat eivät yksinkertaisesti esittele sitä, tai pitävät sitä itsestään selvänä. Pelkästään näiden eri tasojen tunteminen helpottaisi kemiallisen tiedon järjestelyä ja näin pitkäkestoiseen muistiin painettavan tietorakenteen muodostamista. Tämä taas helpottaisi uuden kemiallisen tiedon omaksumista.

Toinen oppilaiden ongelmista on kolmitason keskinäisten suhteiden ymmärtäminen.⁷ Oppilaat eivät hahmota miten väriä vaihtava liuos, ainemäärälaskut ja titrauskäyrä liittyvät toisiinsa. Makrotason kokemuksi kertyy usein kokeellisten töiden kautta liian vähän, tai työt suoritetaan keittokirjamaisesti askel kerrallaan ymmärtämättä kokonaisuutta. Töiden havaintoja ei osata yhdistää tehtäväkirjan laskuihin ja submikrotason väärinkäsitykset ovat yleisiä. Oppilas voi liittää aineen ominaisuuksia molekyyliin⁷, ajatellen esimerkiksi, että veden kuumentuessa tai jään sulaessa vesimolekyylit kuumenevat tai sulavat. Tällaisessa tapauksessa on selvää, että molekyyli-tason luonne on ymmärretty väärin ja se ajatellaan vain miniatyyri-edustuksena makroskooppisesta tasosta.

Kolmantena ongelmana on opetuksen liikkuminen pitkälti tällä vaikealla submikrotasolla.^{7,8} Oppikirjat etenevät usein käyden ensin ilmiön molekyyli-tason tapahtumat läpi perinpohjaisesti, ja vasta lopuksi tutustutaan havaittavissa olevaan makroilmiöön. Tällainen syystä seuraukseen siirtymä tuntuu alan asiantuntijasta loogiselta tavalta kertoa ilmiöstä. Johnstone kuitenkin totesi osuvasti:

*”I have become aware that we are trying to share our beautiful subject with young people in an apparently “logical” way and, at the same time conflicting with what we know about the way that people learn(psychological).”*⁹

Johnstone uskoi ”loogisen” etenemistavan olevan ristiriidassa ihmisen luontaisen oppimisen kanssa. Viittaus liittyy selvästi konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen, jonka mukaan mielenkiintomme herättävät sellaiset asiat, jotka kokemuspohjamme mukaan ovat meille merkityksellisiä. Van Berkel *et al.* kuvailivat kouluopetusta pitkinä tikapuina, jotka eivät palvele konstruktivistista oppimista.⁷ Molekyyli-tason syystä makrotason seuraukseen kahlatessaan oppilaat joutuvat kiipeämään pitkät ”teoriatikkaat” ja näkevät vasta ylimmältä puolelta oppimansa kokonaisuuden eli sen, miten heidän oppimansa liittyi mihinkään. He siis etenevät luonnollisen oppimisen vastaisesti. Ihmisellä on luontainen tarve selvittää itseään kiinnostavia asioita. Lapsi huomaa, että lehti kelluu ja kivi uppoaa, ja heittelee lätäkköön lapasia myöten kaiken käteen sattuvan tutkiakseen ilmiötä enemmän. Koulussa vastaavaa opetetaan laskemalla tiheyksiä ja ennustamalla siten uppoaako esimerkiksi etanolilla täytetty astia veteen. Kiipeämisessä on iso urakka ja moni uupuu kesken kaiken todeten ”ettei vain ymmärrä kemiaa”. Nekin, jotka jaksaisivat kiivetä, jäävät usein puoleen väliin, koska opetussuunnitelman seuraaminen vaatii melko ripeää etenemistähtia.

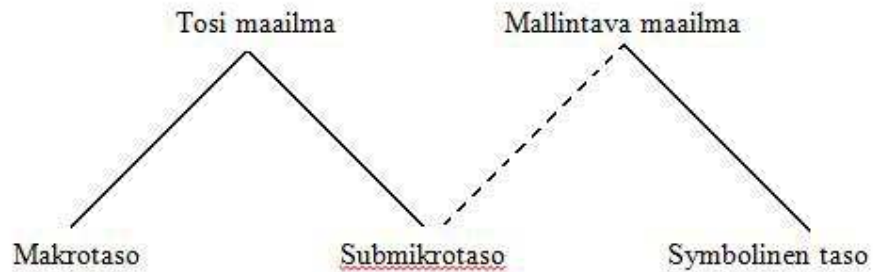
Tässä luvussa esitellyt ongelmat ilmaisevat, että kemian kolmitaso, ja erityisesti sen haastavin submikrotaso ovat oppilaille vaikeita hallita. Submikrotason vaikeus johtuu luonnollisesti siitä, että se käsittelee mekanismeja, joita emme voi nähdä. Oppilas ei voi katsoa todellista metaanimolekyyliä ja nähdä miksi se käyttäytyy tietyllä tavalla. Kuitenkin tieteellisen tiedon rakentumiseen kuuluvat havainnot, havaintojen aikaansaamat hypoteesit ja näiden hypoteesien testaaminen. Kemiaalisia havaintoja saadaan toki makroskooppisella tasolla, mutta esitettäessä hypoteeseja makrotason ilmiöiden syistä siirrymme submikroskooppisen tason näkymättömiin kokonaisuuksiin.

Tällöin tutkija tai oppija rakentaa itselleen mielikuvan, mallin siitä, mitä molekyylitasolla tapahtuu. Molekyylitason tuntemus ja ymmärrys onkin kemian osaamisen kannalta olennaista, joten sen käsittelyn helpottamiseksi näkymätön on tuotava näkyväksi. Seuraavassa luvussa kuvaillaan kuinka tätä ongelmaa helpottaakseen kemistit käsittelevät submikroskooppisen tason objektien ominaisuuksia erilaisin representaatioin.

2. Representaatiot ja niiden käyttö kemiassa

Tässä luvussa esitellään representaation määritelmä ja tarkastellaan representaatioiden erilaisia rooleja kemian maailmassa. Luvussa eritellään myös representaatioiden osalualue, johon tässä tutkielmassa keskitytään: visuaaliset representaatiot.

Kemian maailma voidaan jakaa karkeasti tosimaailmaan ja mallintavaan maailmaan. Kemian tiedon kolme tasoa sijoittuvat tähän kahtiajakoon kuvan 1⁷ ja taulukon 1⁷ esittämällä tavalla.



Kuva 1: Kemian tiedon kolme tasoa

Taulukko 1: Kemian tiedon kolme tasoa

	Tosi maailma	Mallintava maailma
Makrotaso	X	
Submikrotaso	X	(X)
Symbolinen taso		X

Makro- ja submikrotaso kuuluvat siis tosi maailmaan, kun taas symbolinen taso kuuluu mallintavaan maailmaan. Lisäksi submikrotason voi lukea kuuluvaksi myös mallintavaan maailmaan. Submikroskooppisen tason maailma on siis yhtä tosi kuin makroskooppinenkin, mutta sen todentuntuisuutta vähentää se, että sen objektit ovat liian pieniä jotta ne voisi nähdä.⁷ Nykyään voimme tarkkailla molekyylitason tapahtumia hienostunein laittein ja niistä saatavin mittaustuloksin, mutta useat kemian keskeisistä teorioista on kehitelty ennen näitä apuvälineitä. Kuinka esimerkiksi Mendelejev saattoi kehittää vielä nykyiselläänkin käyttökelpoisen jaksollisen järjestelmän? Entisaikojen tiedemiehet käyttivät näkymättömien kokonaisuuksien tutkimiseen ihmisen suurinta voimavaraa, jonka hyödyntämisen usein unohtamme vanhetessamme: mielikuvitusta. Kuvittelemalla erilaisia mahdollisuuksia ja testaamalla niitä ajatuksissa ja käytännössä tiedemiehet ja filosofit ovat muovanneet itselleen malleja siitä, kuinka uskovat maailman toimivan.

Malli on käsitys maailmasta. Se kertoo miten ja miksi jotain tapahtuu ja mitä tapahtumasta seuraa. Malleja on useita erilaisia.¹⁰ Jokaisella on omia **mentaalimalleja**, eli mielikuvia, jotka sellaisenaan ovat muiden ulottumattomissa. Kun kommunikoimme näitä yksityisiä mielikuviamme toisille, syntyy uusi, **ilmaistu malli**, joka ei koskaan ole mentaalimallin täydellinen kopio. Jos ilmaistu malli saavuttaa tiedeyhteisön yleistä hyväksyntää ja sitä voidaan ajankohtaisesti hyödyntää, voidaan puhua **tieteellisestä mallista**.

Jotta mallista siis olisi yleistä hyötyä, se täytyy välittää muulle maailmalle. Malleja voidaan ilmaista erilaisin edustuksin eli representaatioin. Gilbert erottelee representaatiot niiden tarkoituksen mukaan.⁷ Representaation tarkoituksena voi olla mallintaa ilmiötä puhtaasti siten kuin se aistein havaitaan. Näin esimerkiksi silloin kun

näemme kuvasarjan siitä, kuinka indikaattori muuttaa väriään punaisesta violetiksi jossain tarkemmin määrittelemättömässä kohdassa titrausta. Representaation tarkoituksena voi toisaalta olla tukea ilmiön kvalitatiivista eli laadullista tarkastelua, esimerkiksi esittää yhdisteiden rakennekaavoin mitä tapahtuu neutraloitumisreaktiossa. Kolmanneksi tarkoituksiksi Gilbert erittelee representaation mahdollisuuden tukea ilmiön kvantitatiivista eli määrällistä tarkastelua, esimerkiksi auttaa määrittämään kuinka paljon happoa tarvitaan neutraloimaan tietty tilavuus emästä. Käyttötarkoituksensa lisäksi Gilbert erittelee representaatiot myös niiden ilmaisutapojen mukaan.¹⁰

- Konkreettinen: Käsin kosketeltava ja muovattava, esimerkiksi kouluistakin tutut pallo-tikku molekyyli­palikat.
- Verbaalinen: Sanoin kuvailtu, esimerkiksi opettajan selitys mallista.
- Symbolinen: Tieteellisin symbolein ja yhtälöin kuvattu esitys, esimerkiksi reaktioyhtälö.
- Visuaalinen: Eri­laiset kuvat, diagrammit ja animaatiot.
- Elehtivä: Käsin tai muutoin ruumin liikkeillä ilmaistu.

Tässä tutkielmassa keskitytään erityisesti visuaalisiin representaatioihin ja niiden käyttöön koulumaailmassa. Visuaaliset representaatiot ovat jokaiselle kemiaa opiskelleelle tuttuja. Bohrin atomimallin mukaisen kuvan vedystä tunnistaa lähes jokainen peruskoulun käynyt. Objektien ja käsitteiden visualisointi on myös oppimisprosessi, jossa voidaan abstrakteistakin asioista muodostaa loogisia kokonaisuuksia. Tässä tutkielmassa visualisoinnin ja visuaalisen representaation ero määritellään Gilbertiä mukaillen.¹⁰

”We will presume that visualization is a mental operation and that representation is the object and result of that operation.”¹⁰

Visualisointi on siis ajatusoperaatio, joka on pohjimmiltaan kuvittelua. **Visuaalinen representaatio** on tämän operaation kohde tai tulos. Gilbertin malliluokittelun mukaan visualisointi voi siis tuottaa joko mentaaliseksi tai ilmaistuksi malliksi luokiteltavan

representaation. Oppikirjojen sivuilla nähdään näitä ilmaistuja, yleisesti hyväksytyjä visuaalisia representaatioita. Varsinkin submikroskooppista tasoa edustavat representaatiot auttavat oppilasta visualisoimaan kemian näkymätöntä maailmaa, mutta usein niiden todelliset mahdollisuudet oppimisen apuna jäävät hyödyntämättä, koska oppilaiden oletetaan automaattisesti osaavan tulkita näitä representaatioita oikein. Näin ei kuitenkaan aina ole.

Vosniadou *et al.* tutkivat pienten lasten mentaalimallien ja yleisesti hyväksytyjen tieteellisten mallien suhdetta.¹¹ He haastattelivat 42 oppilasta kreikkalaisen alakoulun ensimmäiseltä ja kolmannelta luokalta, tutkivat näiden mentaalimalleja maapallosta ja kuinka mallit muuttuivat, kun oppilaille annettiin päätelmien tueksi karttapallo. Tutkijat huomasivat, että useilla oppilailla oli omiin arkikokemuksiin pohjautuva mentaalimalli, joka erosi kulttuurisesti hyväksytyistä pallomallista. Monet oppilaat mielsivät maan litteäksi. Kun lapsille näytettiin karttapallo, ja kysyttiin miksi se erosi heidän mallistaan, useimmat oppilaat vaihtoivat mallinsa palloksi. Huomattavaa kuitenkin oli, että kaikki virhekäsitykset eivät korjaantuneet, vaikka karttapallo pidettiin oppilaiden näkyvillä. Monet oppilaat uskoivat esimerkiksi, että maalla on reuna ja siltä voisi pudota. Kun oppilailta kysyttiin, voiko etelänavalla asua, monet katsoivat karttapallon alle. Nähdessään, että siellä on manner, he vastasivat myönteisesti. Uusi malli ei siis tuottanut uutta eheää mentaalimallia, vaan tuotti yhdistelmän vanhasta ja uudesta käsityksestä. Toisaalta oppilaat eivät kyseenalaistaneet uutta mallia, vaan vastasivat vaikeisiin ongelmiin perustaen ratkaisunsa tähän malliin. Jos karttapallossa ei olisi etelänavan kohdalla ollut mannerta, olisivatko oppilaat vastanneet kysymykseen kielteisesti? Kun karttapallo tarjosi vastauksen kysymykseen, oppilaat vastasivat pallomallin mukaisesti. Jos vastausta ei voinut päätellä karttapallosta, he tukeutuivat vanhaan malliinsa. Näin esimerkiksi kysyttäessä onko maalla reunaa. Mallin rajat vaikuttavat siis oppilaan päättelyyn. Vosniadoun ja kumppaneiden tutkimus osoittaa, että pelkkä valmiin mallin läsnäolo ei saa aikaan oppilaan oikeaa tulkintaa mallista. Mallin tulkinta voi olla oppilaalle haasteellista, eikä mallia ja sen rajoja sisäistetä kunnolla. Gilbert esittää, että representaatioiden arvo opetusvälineinä lisääntyisi merkittävästi, jos oppilaat saisivat aktiivista tukea niiden tulkintaan.⁷ Opettajan tulisi ohjata mallien käsittelyyn ja sen harjoitteluun aivan samoin kuin kemian laskuihin.

Mallien tulkintaa ongelmallisempaa on, että oppilailla ei ole selkeää mielikuvaa representaatioiden roolista kemian opetuksessa. Oppilaat tutustuvat erilaisiin malleihin kemian opetuksen eri aihealueilla, mutta malleista, niiden kehittämisestä ja käytöstä ei

tarjota laajaa yleiskuvaa. Edellisessä luvussa mainittiin, että oppilaat liittävät aineen ominaisuuksia molekyyliin. Samantapainen nurinkurinen ajattelu on havaittavissa myös siten, että oppilaat järkeilevät asioita submikromailmaa edustavien mallien perusteella,⁷ ymmärtämättä niitä vain edustuksiksi todellisuuden jostakin melko suppeastakin osasta, jolloin ne eivät kenties toimi muissa yhteyksissä. Oppilas saattaa kohdella mallia suorana kopiona todellisesta objektista, jolloin mallin toiminnan rajat rajoittavat myös oppilasta. Adbo ja Taber tutkivat 16-vuotiaiden ruotsalaisopiskelijoiden mentaalimalleja aineen hiukkasluonteesta.¹² Haastattelujen ja opiskelijoiden piirrosten perusteella he havaitsivat, että opiskelijat uskoivat esimerkiksi atomien olevan liikkumattomia kiinteässä aineessa ja että nesteessä ja kaasussa atomien välillä ei ole puoleensavetäviä vuorovaikutuksia. Virhekäsitysten syntyyn on voinut vaikuttaa se, että visuaaliset representaatiot, kuten oppikirjakuvat keskittyvät yleensä muihin ilmiöihin ja sivuuttavat edellä mainittujen ilmiöiden mallintamisen esimerkiksi mallin yksinkertaisuuden vuoksi. Myöskään omista piirroksistaan puhuessaan opiskelijat eivät maininneet piirroksensa esittävän ytimen ja elektronit väärissä kokosuhteissa toisiinsa nähden. Harrison ja Treagust havaitsivat malleista syntyneitä virhekäsityksiä australialaisilla 8-10 – luokkien oppilailla.¹³ Oppilaat uskoivat, että elektronikuori on verrattavissa esimerkiksi omenan kuoreen siten, että elektronikuori suojaa atomia samoin kuin omenan kuori suojaa hedelmälihaa. Elektronipilvi oli oppilaiden mielestä eri asia, ja elektronit sijaitsevat tässä elektronipilvessä, eivät elektronikuoreessa. Virhekäsityksen taustalla on ilmeisesti, että oppilaat yhdistävät tieteellisessä termissä esiintyvän kuvailevan sanan kuori sen arkimerkitykseen, ja olettavat, että elektronikuori muistuttaa arkikielen kuorta kaikin tavoin, eikä vain muodoltaan.

Visuaalisten representaatioiden käyttö opetuksessa ei aina takaa hyviä oppimistuloksia. Niiden varomaton käyttö voi johtaa jopa virhekäsityksiin.^{7,12,13} Parhaimmassa tapauksessa visuaalisten representaatioiden käyttäminen kuitenkin auttaa oppijaa ymmärtämään kemiaa syvällisemmin. Monet oppilaat oppivat kemiaa vain pintapuolisesti, jolloin saavutettu tieto jää välineelliselle tasolle. Oppilas tietää kyllä miten jokin reaktio tapahtuu ja osaa esittää sen esimerkiksi reaktionkaavan avulla, mutta ei osaa selittää miksi se tapahtuu. Treagust, Chittleborough ja Mamiala osoittivat, että syitä selittävällä, relationaalisella ymmärryksellä ja submikro- ja symbolisen tason representaatioiden yhtäaikaishallitsemisella on yhteys.¹⁴ He suorittivat kaksi erillistä opetuksen seurantalutkimusta. Ensimmäinen tutkimus seurasi kahden kokeneen kemian opettajan representaatioiden käyttöä opetuksessaan kemiallisten ilmiöiden

selittämisen apuna. Toinen tutkimus seurasi oppilaiden osallistumista mallintamista painottaneelle kemian kurssille. Tutkimuksessaan he huomasivat, että vaikka opettaja käyttäisi opetuksessaan submikro- ja symbolisen tasojen malleja, oppilaat eivät aina ymmärrä niiden selittävää roolia. Mallintamista painottaneen kurssin opiskelijoita seurattessaan he päättelivät, että erityisen paljon oppilaan osaamiseen vaikuttaa se, että hän tunnistaa kemian eri tasojen (submikro, makro ja symbolinen) representaatioita, erottaa ne toisistaan ja kykenee liikkumaan tasolta toiselle. Myös Van Garderen huomasi tutkimuksessaan, että keskivertoa lahjakkaammat oppilaat käyttivät visualisointia apunaan ongelmanratkaisussa huomattavasti useammin kuin keskiverto oppilaat, tai oppimisvaikeuksien kanssa kamppailevat oppilaat.¹⁵ Ainsworth puolestaan vakuuttui, että käyttämällä useita representaatioita samanaikaisesti, edellisessä kappaleessa mainitut mahdollisuudet representaatioiden väärintulkintaan vähentyvät.¹⁶ Samaa aihetta kuvaavat erilaiset representaatiot täydentävät toisiaan ja toisaalta rajoittavat toistensa tulkintaa, jolloin väärinkäsityksille ei jää yhtä paljon liikkumatilaa. Visualisointitaidoilla ja kyvyllä tulkita visuaalisia representaatioita on siis yhteys parempaan oppimiseen. Seuraava luku käsittelee tarkemmin visuaalisten representaatioiden hyötyjä koulumaailmassa.

2.1 Representaatiot suomalaisessa opetussuunnitelmassa

Suomen peruskouluissa noudatetaan vuonna 2004 hyväksyttyä opetussuunnitelman perusteita.¹⁷ Jokainen oppilaitos toteuttaa omaa opetussuunnitelmaansa näiden perusteiden puitteissa. Erilaisiin representaatioihin tutustuminen ja niiden hyödyntäminen kemiassa mainitaan myös opetussuunnitelmien perusteissa. Kemian tavoitteiksi 7-9 luokalla mainitaan, että oppilas oppii:

- aineen rakennetta ja kemiallisia sidoksia kuvaavia käsitteitä ja malleja
- kuvailemaan ja mallintamaan kemiallisia reaktioita reaktioyhtälöiden avulla

Kemiallisten mallien käsite näyttää rajautuvan peruskoulussa tarkoittamaan reaktioyhtälöitä ja niissä käytettäviä kemiallisia kirjainsymboleita.¹⁷ Malleihin sisältyy myös esimerkiksi kuvaajia ja molekyyliä mallintavia kuvia, mutta näitä ei opetussuunnitelman perusteissa eritellä. Peruskoulun kemian opetus näyttää representaatioiden osalta painottuvan kemian merkkikielen opetteluun. Päätösarvioinnin kriteereissä arvosanalle 8 mainitaan kuitenkin, että oppilas:

- Osaa kuvata atomia, kemiallisia sidoksia ja yhdisteitä asianmukaisia malleja käyttäen.

Tämä näyttäisi laajentavan mallien käsitettä koskemaan useampia representaatioita, joista oppilaan tulisi hallita kaikki ja osata valita kulloiseenkin mallinnustilanteeseen sopiva malli.¹⁷

Lukioissa oppilaitoskohtaista opetusta toteutetaan vuonna 2003 valmistuneen Lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaan.³ Näissä perusteissa erilaisia kemiallisia representaatioita painotetaan enemmän kuin peruskoulussa. Kemian opetusta ja sen tarkoitusta luonnehditaan seuraavasti:

”Kemian opetukselle on luonteenomaista kemiallisten ilmiöiden ja aineen ominaisuuksien havaitseminen ja tutkiminen kokeellisesti, ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkikielellä sekä ilmiöiden mallintaminen ja matemaattinen käsittely.”³

Kemian opetuksen tavoitteissa mainitaan, että opiskelija:

- osaa käyttää aineen ominaisuuksien päättelyssä erilaisia malleja, taulukoita ja järjestelmiä
- osaa tutkia kokeellisesti ja erilaisia malleja käyttäen aineiden rakenteeseen, ominaisuuksiin ja reaktioihin liittyviä ilmiöitä

Peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa mallit näytetään rajoittavan ilmaisun keinoiksi, viestiksi oppilaalta opettajalle.³ Lukion opetussuunnitelman perusteet sen sijaan määrittelee mallit myös ajattelun apuvälineiksi, keinoksi, jota opiskelija voi käyttää keskustellessaan itsensä kanssa kemiallisia ilmiöitä tutkiessaan. Nämä kaksi näkökulmaa yhdessä vastaavat hyvin representaatioiden käyttötarkoituksia kemian maailmassa. Malleilla on merkitystä niin yksilölle kuin yhteisölle. Käyttötarkoitusten esiintulojärjestys opetuksessa tuntuu kuitenkin nurinkuriselta. Jotta yksilö voisi käyttää mallia ilmaisemaan ajatuksiaan muille, hänen on ensin käsiteltävä mallia itse. Kaikki kemiassa yleistyneet mallit ovat alun perin olleet yksilön tapa kuvata ajatuksiaan itselleen ja merkitä niitä muistiin. Vasta kun mallin toimivuutta ja käyttökelpoisuutta on arvioitu, myös muu työyhteisö on omaksunut sen. Mallien käyttöä ajattelun välineinä

tulisikin opettaa aktiivisesti mallien rakentamiseen ohjaten jo peruskoulussa. Tämä antaisi oppilaille todellisemman käsityksen kemian tutkimuksen luonteesta ja keinoja kehittää omaa kemiallista ajatteluaan.

3. Oppilaiden visuaalisten representaatioiden hyödyt koulukemiassa

Tässä luvussa tarkastellaan visuaalisten representaatioiden tarjoamia hyötyjä osana koulukemiaa. Mielenkiinnon kohteeksi on rajattu oppilaiden omat visuaaliset representaatiot, tässä tutkielmassa erityisesti piirrokset. Piirtäminen perustellaan tehokkaaksi oppimisstrategiaksi, jolla on selviä etuja kemian submikroskooppisen tason syvemmissä ymmärtämisessä.

3.1 Piirtäminen on strateginen oppimisprosessi

Matemaattis-luonnontieteellisissä aineissa piirtäminen rajoittuu useimmiten erilaisten diagrammien laatimiseen. Piirtäminen tulisi kuitenkin nähdä monipuolisena mahdollisuutena syventää ja tehostaa oppimista, sillä se on metakognitiivista toimintaa.

Metakognitiolla tarkoitetaan omien kognitiivisten prosessien tiedostamista ja niiden tietoista säätelyä ja arviointia.¹⁸ Yksilö siis tutkii tiedon käsittelyyn liittyviä toimintojaan, tarkastelee aktiivisesti niiden toimivuutta ja tarvittaessa muokkaa niitä. Metakognitiivinen visualisoija arvioi omia visualisointiprosessejaan ja niiden tuloksia, tutkii miten visualisoinnit vastaavat tarkoitustaan ja muokkaa visuaalisia representaatioitaan, jotta tuloksena olisi mahdollisimman laadukas malli todellisuuden toiminnasta.

Peterson perustelee tarkemmin visualisoinnin tärkeyttä osana oppimista.¹⁰ Onko esimerkiksi mahdollista, että pieni lapsi oppisi kävelemään, mikäli hän ei koskaan näkisi toisten kävelevän? Fyysisen taidon opettelussa visuaalinen esimerkki on, jos ei ehdoton, niin ainakin oleellinen. Huippu-urheilijat hyödyntävät tätä valmistautumalla koviin suorituksiin mielikuvaharjoittelulla. Visualisoinnista on hyötyä myös sanallisen kuvailun ymmärtämisessä. Kuvittelemalla on mahdollista luoda visuaalinen representaatio tapahtumasarjasta, jonka joku muu kertoo. Tutuilla visuaalisilla kokemuksilla on myös mahdollista järkeillä uusia asioita. Veden aaltoliike toimii analogiana ääniaalloille. Visualisointikyvyt tukevat myös luovuutta, sillä vanhaa

visualisointia on mahdollista tulkita uudelleen tai muuttaa tarvittaessa sen sisältöä tai kontekstia.

Lapsille visualisoinnin harjoittelu on tuttua. Moni lapsi nauttii siitä, että aikuinen lukee hänelle ääneen ja hän saa silmät kiinni kuvittaa tarinan kulkua. Myös piirtäminen on lapselle luonnollista, ja siihenkin usein liittyy tarinan kerrontaa. Lapsi kertoo mielessään itselleen tarinaa piirtämästään kuvasta.¹⁹ Kuvan avulla lapsen on siis mahdollista keskustella itsensä tai muiden kanssa, se voi välittää tunteita tai tapahtumia, joita lapsen verbaaliset kyvyt ovat vielä liian kehittymättömiä ilmaisemaan. Hyvin tyypillistä on myös, että osana leikkejään kirjoitustaidottomat lapset piirtävät postikorttia tai sanomalehden sivua muistuttavia papereita.¹⁹ Aikuinenkin tunnistaa niiden käyttötarkoituksen ulkonäöltä, ne toimivat oikeiden vastineidensa leikkiedustuksina, ne ovat siis representaatioita todellisuudesta. Visuaaliset representaatiot ovat edellä mainituin perustein selvästi osa lapsen kehittymistä. Brooks kuvailee lapsen tarvetta visualisoida:

*”Trough drawing they are not only able to see what they are thinking, they are also able to play around with and transform their ideas.”*²⁰

Brooks tukee kuvailuaan antamalla esimerkin omasta alakoululuokastaan.²¹ Hänen oppilaansa Ed sai tehtäväkseen tutkia valoa tarkastelemalla taskulamppua. Tutkimuksessaan Ed piirsi kuvan tutkittavana olleesta taskulampusta. Piirtäessään Ed keskusteli muiden oppilaiden kanssa piirroksestaan ja tarkasteli myös muiden töitä, poimien niistä hyväksi arvioimiaan ominaisuuksia omaan piirroksensa. Teippaamalla taskulampun valokeilaa kuvaavan piirroksen päälle mustan pahviläpän, hänen piirroksestaan tuli myös malli siitä kuinka taskulamppu voi olla joko päällä tai pois päältä. Näytettyään valmista piirrosta luokkatovereilleen hän lisäsi heidän kommenttiansa perusteella työhönsä vielä liikkuvan paperinpalan edustamaan taskulampun kytkintä. Ed siis testasi mallinsa toimivuutta oikean taskulampun edustajana ja muokkasi työtään sekä omien että muiden arvioiden mukaan. Tämä osoittaa selvää metakognitiivista ajattelua. Samaan aiheeseen liittyen kaksi muuta oppilasta sai tehtäväkseen suunnitella palikoista rakennelman, josta valo ei pääse karkaamaan. Oppilaat aloittivat työn piirtämällä kumpikin oman suunnitelman, minkä jälkeen he tutustuivat toistensa piirroksiin ja muoivasivat niitä yhdistelemällä yhteisen

rakennelman. Piirrookset toimivat visuaalisena apuna omien ajatusten ilmaisemisessa ja niistä keskustelemisessä.

Kuten Ed, piirtäessään ihminen kokoaa tietonsa, arvioi sitä, visualisoi siitä kokonaisuuden, siirtää sen paperilla, arvioi sitä uudestaan ja muokkaa tarvittaessa.²¹ Tämä on metakognition kautta tapahtuvaa tietorakenteen muokkaamista. Van Meter ja Garner toteavatkin piirtämisen olevan strateginen oppimisprosessi muiden joukossa, sillä se tähtää tiettyyn tavoitteeseen, järjestelee tietoa ja tutkitusti parantaa oppimista.²² Ainsworth *et al.* yhtyvät tähän näkemykseen ja lisäävät piirtämisen olevan oppimisstrategiana erityisen tehokas, sillä piirtäessä tiedon suora kopiointi on mahdotonta, toisin kuin esimerkiksi muistiinpanoja kirjoitettaessa.²³ Tekstistä tai kuullusta piirrettäessä on ensin määritettävä mitä tiedetään, valikoitava siitä oleellinen ja sitten muokattava se visuaaliseen muotoon. Tämä on työmuistin aktiivista toimintaa. Ainsworth kumppaneineen totesi piirtämisen myös motivoivan oppilasta sitoutumaan omaan oppimiseensa. Tämä tuo helpotusta koulumaailman ongelmiin, sillä monia oppilaita on vaikea saada ottamaan vastuuta siitä, mitä ja miten he oppivat. Lisäksi piirtämien opettaa luomaan omia representaatioita, pohtimaan ja päättämään sekä kommunikoidaan. Myös Brooks havaitsi samoja etuja omassa tutkimuksessaan.¹⁹ Tutkimusta kuvaillaan tarkemmin seuraavassa luvussa.

Leopold ja Leutner vertailivat tutkimuksessaan piirtämistä ja kirjoittamista oppimisstrategioina.²⁴ Testattavana oli 90 saksalaista lukiolaista, jotka jaettiin neljään ryhmään. Kaikki ryhmät lukivat saman vettä käsittelevän tekstin. Ensimmäisen ryhmän tehtävänä oli piirtää tekstin mukaan, toisen ryhmän tuli poimia pääkohdat muistiinpanoiksi. Kolmas ryhmä teki kumpaakin. Neljäs ryhmä ei saanut tekstin käsittelyyn erillisiä ohjeita. Tekstiin tutustumisen jälkeen jokaiselle ryhmälle pidettiin sitä käsittelevä koe, joka koostui avoimista ja monivalintakysymyksistä. Lisäksi oppilaat osallistuivat visualisointikokeeseen. Tuloksista näkyi, että piirtäneet oppilaat selviytyivät muita ryhmiä paremmin visualisointikokeesta ja avoimista kysymyksistä. Monivalintakysymyksissä ei ollut havaittavissa selviä eroja. Monivalintakysymyksissä on mahdollista arvata tai päätellä oikea vastaus sulkemalla pois väärät vaihtoehdot, joten voidaan olettaa, että avoimet tehtävät mittaavat paremmin syvällistä ymmärrystä. Tuloksista voidaan siis päätellä, että piirtämistä oppimisstrategiana hyödyntäneet oppilaat oppivat paremmin kuin muut.

Piirtämistehtävät vaativat oppilailta laajaa valikoimaa erilaisia kognitiivisia prosesseja. Krathwohl kuvaili oppimiseen liittyviä kognitiivisia prosesseja päivittäessään vuonna

2001 Bloomin taksonomiaa (1956).^{25,26} Bloomin taksonomia luokittelee ne kognitiiviset prosessit, joita oppilas käyttää suorittaessaan jotakin oppimistehtävää. Taksonomia etenee yksinkertaisista kognitiivisista prosesseista monimutkaisiin ja ajattelun tasolla konkreettisesta abstraktiin. Kognitiiviset prosessit Bloomin mukaan ovat:

- knowledge (tietäminen)
- comprehension (ymmärtäminen)
- application (soveltaminen)
- analysis (analysoiminen)
- synthesis (tuottaminen)
- evaluation (arvioiminen)

Krathwohl esitti Bloomin kognitiivisille prosesseille uudet, toimintaa painottavat nimet ja vaihtoi kahden viimeisen prosessin sijaintia taksonomiassa.²⁶ Krathwohlin päivittämä taksonomia on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Bloomin alkuperäinen ja päivitetty taksonomia^{25,26}

Bloomin taksonomia	Bloomin päivitetty taksonomia
Knowledge (tietäminen)	Remember (muistaa)
Comprehension (ymmärtäminen)	Understand (ymmärtää)
Application (soveltaminen)	Apply (soveltaa)
Analysis (analysoiminen)	Analyze (analysoi)
Synthesis (tuottaminen)	Evaluate (arvioi)
Evaluation (arvioiminen)	Create (luo)

Taksonomia etenee siten, että muistaminen nähdään kaikkein yksinkertaisimpana kognitiivisena prosessina, uuden tuottaminen, luominen, taas monimutkaisimpana.²⁶

Luominen on prosesseista myös abstraktein. Kemian mallinnustehtävä kattaa parhaimmillaan kaikki näistä taksonomian tasoista. Mallinnusta aloittaessa oppilaan täytyy ensin muistella ilmiöön liittyviä tietojaan. Jotta mallista tulisi pätevä, on ilmiö ymmärrettävä hyvin. Tämän jälkeen oppilas soveltaa tietojaan visuaaliseen ilmaisutapaan, valikoi (analysoi) mitkä tekijät ovat ilmiössä oleellisia ja mitkä eivät, mitä mallilla halutaan ilmaista ja mitä jätetään mallintamatta. Oppilas luo mallin, arvioi sen laadukkuutta ja mahdollisesti muokkaa malliaan. Mallintaessa oppilas käyttää siis monia erilaisia kognitiivisia prosesseja. Sen sijaan kirjallisessa tehtävässä, jossa kysytään vaikkapa reaktionopeuteen vaikuttavia tekijöitä, oppilas voi vastata täysin oikein vain käyttämällä yksinkertaisinta kognitiivista prosessia, muistamista. Kuitenkin prosesseja ymmärtämisestä tuottamiseen pidetään muistamista arvokkaampina oppimisen kannalta. Monimutkaisemmissa kognitiivisissa prosesseissa oppija käsittelee tietoa monipuolisemmin kuin yksinkertaisissa prosesseissa. Tämä johtaa syvällisempään tietoon.

Tässä luvussa on kuvailtu, kuinka piirtäminen on monipuolisesti kognitiivisia prosesseja käyttävä oppimisstrategia. Parhaimmillaan piirtämistä hyödyntävät tehtävät saavat aikaan laadukasta oppimista. Seuraavassa luvussa kerrotaan, kuinka piirtämällä voi harjoittaa erityistä visuaalista mallinnuskyvykkyyttä, joka auttaa tieteellisen tiedon luonteen ymmärtämisessä.

3.2. Mallinnuskyvykyys

Tutkimusten mukaan oppilailla on vaikeuksia hahmottaa kemian kolmen tason välisiä suhteita ja liikkua tasolta toiselle.^{7,8} Erityisesti hankaluuksia tuottaa submikroskooppisen tason yhdistäminen muihin. Oppikirjat tarjoavat tietoutta paljolti symbolisella tasolla, kaavoina ja yhtälöinä, ja oppilaat tuntuvatkin hallitsevan symbolisella tasolla luovimisen. Koska kurssikokeiden tehtävät vaativat usein osaamista juuri symbolisella tasolla, laskuina ja reaktioyhtälöinä, voivat kokeet antaa virheellisen kuvan oppilaan osaamistasosta. Oppilaat eivät osaa ajatella symbolisen tason tietoa submikrotason tapahtumina. Kern *et al.* antoivat oppilaille tehtäväksi tasapainottaa metaanin palamisreaktio ja piirtää reaktio hiukkastasolla.²⁷ Tutkijat havaitsivat, että vaikka suurin osa vastanneista (65,3 %) osasi tasapainottaa reaktioyhtälön oikein, vain 31,1 % piirsi kemiallisesti oikean hiukkasmallin reaktiosta. Tämä kertoo oppilaiden osaamisen pinnallisuudesta ja kyvyttömyydestä visualisoida reaktion tapahtumia.

Useimmissa koulukokeissa tämän kaltaista osaamista kuitenkin mitataan juuri reaktion tasapainotustehtävällä, jolloin kuva oppilaiden osaamisesta saattaa jäädä virheelliseksi. .

Paitsi omassa mallintamisessa, oppilaille tuntuu myös olevan hankaluuksia mallien tieteellisen roolin ymmärtämisessä. Treagust, Chittleborough ja Mamiala kartoittivat australialaisten yläkoululaisten käsityksiä mallien käyttötarkoituksesta kemian opetuksessa.²⁸ Tutkimukseen osallistui yhteensä 228 oppilasta, jotka vastasivat Likert-asteikkoa hyödyntäneeseen lomakekyselyyn. Tulosten mukaan jopa 20 % vastanneista piti mallia suorana kopiona aidosta ilmiöstä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkiksi pallo-tikkumallit vastaavat aitoja molekyyliä siten, että myös aitojen molekyylien välillä on näkyviä, tikkumaisia sidoksia. Myös Harrison ja Treagust havaitsivat yläkoululaisten kemiaan liittyviä mentaalimalleja tutkiessaan, että 58 % tutkimukseen osallistuneista 48 oppilaasta piti mallia kopiona todellisuudesta.²⁹ Oppilaat tukeutuivat mallista avulla päättämiseen silloinkin, kun malli ei kuvannut pohdittavaa ongelmaa. Osa oppilaista oli esimerkiksi sitä mieltä, että atomi on kova. Tämä voi johtua siitä, että elektronikuori kuvataan yleensä yhtenäiseksi, atomiydintä ympäröiväksi viivaksi, jonka voisi kuvitella olevan kiinteä samaan tapaan kuin kananmunan kuori. Treagustin ja kumppaneiden kyselyyn vastanneista 60 % puolestaan oli sitä mieltä, että mallin tulisi muistuttaa tarkasti alkuperäistä asiaa kaikessa muussa paitsi koossa.²⁸ Oppilas siis ajattelee mallin olevan vain käytännöllinen suurennos aidosta asiasta. Kuitenkin yli puolet piti useiden eri mallien käyttämistä hyvänä tapana kuvata saman ilmiön eri ominaisuuksia. Tästä voisi päätellä, että oppilas käsittää mallin voivan kuvata vain jotakin pientä osaa ilmiöstä. On kuitenkin mahdollista, että hän ei tästä huolimatta ymmärrä mallin yksinkertaistavan jopa tätä pientä osaa, jotta malli olisi tarpeeksi käytännöllinen ja selkeä. Vastanneista puolet ei ymmärtänyt lainkaan mallien roolia ilmiöiden ennustamisessa ja tieteellisten teorioiden kehitystyössä. Treagust *et al.* uskoivat tämän johtuvan siitä, että oppilaille on kokemusta malleista vain tiedon välittäjinä, ei ajattelun työvälineinä. Oppilailta jää siis täysin ymmärtämättä mallien toinen puoli, jossa malli ei ole valmis kokonaisuus, vaan muuttuva kehitelmä, jonka tehtävänä on selkeyttää ajatuksia ja testata teorioita. Oppilaiden on kuitenkin mahdollista saavuttaa kokonaisvaltaisempi kuva malleista kemiassa, jos heille annetaan sitä tukevat olosuhteet. Harrison ja Treagust toteuttivat kokeilun, jossa 11-luokkalaista opetettiin 36 viikon ajan kiinnittäen erityistä huomiota erilaisten mallien yhtäläisyyksiin ja eroihin sekä hyviin ja huonoihin puoliin.¹³ Oppilaat haastettiin pohtimaan, täyttääkö kulloinenkin malli sille asetetut vaatimukset ja voisiko sitä parantaa jotenkin.

Tutkimustulosten mukaan opetusviikkojen aikana oppilaiden ymmärrys malleista ja mallinnuksesta osana tiedettä kehittyi.

Kozma ja Russel puolestaan tutkivat yliopisto-opiskelijoiden ja ammattikemistien toiminnan eroja suorittaessa laboratoriotyötä ryhmässä.¹⁰ Kemistit käyttivät kommunikoinnin ja ongelmanratkaisun apuna huomattavasti enemmän visualisointeja. Opiskelijat sen sijaan keskustelivat kemisteihin verrattuna hyvin vähän reaktion molekyylyltasosta ja keskittyivät laitteiston ja reagenssien käyttööminaisuuksiin. Visualisointien käytön vähäisyys saattaaakin opiskelijoilla olla viite molekyylytason huonosta hallinnasta. Toisaalta molekyylytason puutteellinen osaaminen voi myös olla tulosta siitä, että opiskelijat eivät ole ymmärtäneet mallien roolia ajattelun apuvälineinä. Kozma ja Russel esittävät tutkimuksensa perusteella, että kemian opintoihin tulisi sisällyttää erityistä mallinnuskyvykkyyden kehittämistä. Mallinnuskyvykkyys tarkoittaisi kykyä tulkita erilaisia representaatioita, tarvittaessa myös tuottaa omia mallinnuksia ja myös arvioida niiden pätevyyttä. Tällöin voitaisiin puhua metakognitiivisesta visualisoinnista.

Miten mallinnuskyvykkyyttä sitten voitaisiin koulussa opetella? Justi ja Gilbert esittivät kirjallisuuden perusteella tavoitteet mallien opettamiselle kouluissa.³⁰ Malleja opiskeltaessa oppilaan tulisi:

- A. oppia malleja
- B. oppia malleista
- C. oppia tekemään omia mallinnuksia.

Nämä kohdat sisältävät paitsi erilaisiin malleihin tutustumisen, myös mallien erilaisten tehtävien tarkastelemisen ja mallinnusprosessin opettelu.³⁰ A-kohdan kaltainen mallien oppiminen tarkoittaa erilaisten mallien ja niiden tulkinnan osaamista. B-kohta tarkoittaa mallien tieteellisen roolin ja käyttötarkoitusten oppimista. C-kohdan mukaan oppilaan tulee kyetä toimimaan myös itse aktiivisena mallintajana, joka osaa konstruoida oman tarkoituksenmukaisen mallin, käyttää sitä ongelmanratkaisussa ja arvioida testaten sen pätevyyttä. Mikäli kaikki tavoitteet toteutuvat, oppilaalle kehittyisi Kozman ja Russelin esittämää mallinnuskyvykkyyttä.¹⁰

Kouluoppimisessa oppilas kyllä tutustuu erilaisiin malleihin, mutta mallien roolin oppiminen ja mallintajana toimiminen jäävät opetussuunnitelman perusteissa vähemmälle huomiolle.^{3,17} Perusteissa oppilas kuvataan mallintajana vain siinä

mielessä, että hän osaa tuntemistaan valmiista malleista valita sopivan kulloisenkin kemiallisen ilmiön esittämiseen. Tämä ei vaadi oppilaan toimimista autenttisena, tutkivana mallintajana. Edellisessä luvussa kuvailtiin, kuinka lapselle on luonnollista käyttää visualisointikykyään ja piirtämistä maailman tutkimiseen.¹⁹⁻²¹ Lapset jopa mallintavat tiedostamattaan.¹⁹ Kuitenkin tämän luvun alussa mainitun Kernin ja kumppaneiden tutkimuksen mukaan varttuneempien oppilaiden kemialliset mallinnuskyvyt ovat huolestuttavan alhaisella tasolla. Miksi mallinnuskyvyn kehittyminen jää kesken? Anning ja Adams esittävät syiden löytyvän koulumaailmasta. Vielä esikoulussa piirtäminen on olennainen osa päivää, mutta peruskouluun siirryttäessä piirtäminen muuttuu ajan täytteeksi.¹⁹ Oppilas piirtää silloin, kun muutakaan tekemistä ei enää keksitä. Piirtämistä ei nähdä tuottavana ja kehittävänä, vaan pelkkänä sijaistoimintana, joka estää oppilasta tylsistymästä tai häiriköimästä. Mikäli piirtäminen kuitenkin on tunnin pääasia, se on tyyliltään mallista kopioimista,^{19,31} ei ongelmanratkaisun apuväline. Anningin ja Adamsin mukaan opettajat kokevat kyvyttömyyttä arvioida oppilaiden piirroksia, eivätkä he osaa antaa niistä sisällöllistä palautetta.^{19,31} Niinpä oppilas kokee piirtämisen vähempiarvoiseksi kuin esimerkiksi kirjoittamisen, jota harjoitellaan aktiivisesti ja josta saadaan monipuolista palautetta. Piirtäminen kommunikaatiokeinona unohdetaan ja ”huonot” piirtäjät luopuvat siitä jopa kokonaan.

Mallinnuskyvykkyyden kehittäminen osana kemian opetusta toisi lisää arvoa piirtämiselle oppimisstrategiana. Mallinnusta harjoittaessaan oppilaat saisivat myös monipuolisemman käsityksen visuaalisista representaatioista kommunikaatiokeinona. Seuraavassa luvussa kerrotaan, mitä oppimiseen liittyviä hyötyjä kemian opetuksen tutkijat ovat oppilasmallinnuksesta havainneet seuraavan.

3.3 Visuaalisten representaatioiden tuottamisen hyödyt kemian oppimisessa

Vaikka mallinnusta ei vielä laajasti hyödynnetä osana kemian opetusta, tutkimuksia sen hyödyistä oppimiseen liittyen on tehty. Tässä luvussa kuvaillaan joitakin tutkimuksia ja niistä saatuja tuloksia.

Prins *et al.* toteuttivat kurssin, jonka osallistujat pääsivät harjoittelemaan autenttista mallintamista kemiassa.³² Tutkijat halusivat selvittää, miten autenttisiin mallinnusharjoituksiin osallistuminen vaikuttaa oppilaan omaan mielenkiintoon ja

kuinka hyvin oppilaat osaavat suorittaa autenttisia mallinnusprosesseja. Mallinnusharjoituksiin osallistui 18 10–11 –luokkalaista hollantilaisnuorta, jotka suorittivat kaksi mallinnustehtävää aiheinaan juomaveden puhdistusprosessin ja ihmisen altistuminen kulutustuotteiden kemikaaleille. Mallinnustehtävät suoritettiin ryhmissä, ja tehtävään kuului ongelman määrittäminen, tiedon etsiminen, mallin luominen ja hypoteesin tekeminen mallin perusteella. Osallistujat kävivät ryhmäkeskustelun kummankin tehtävän jälkeen ja vastasivat kyselylomakkeisiin. Tutkijat tarkastelivat myös ryhmien tekemiä toimintasuunnitelmia kummankin tehtävän yhteydessä.

Tehtäviin osallistuneet oppilaat pitivät mallinnusharjoituksia mielenkiintoisina ja pitivät erityisesti harjoitusten autenttisuutta.³² Oppilaat myös ottivat mielellään vastuuta mallinnustehtävästä ja raportoivat arvostavansa mallien merkitystä osana tiedettä. Prins ja kumppanit raportoivat, että osallistujat osasivat määritellä mallinnettavan ongelman ja siihen liittyvät tekijät sekä tuottaa ilmiötä kuvaavan mallin. Tutkijat huomasivat kuitenkin oppilaille olevan hankaluuksia edetä tämän jälkeen mallin testaamiseen ja arvioimiseen.

Edellisessä luvussa mainittiin Brooks'n kuvaus visualisoinnista lasten ajattelun apuvälineenä.²⁰ Myös kemian mallinnuksessa on pohjimmiltaan kyse ajatusten visualisoinnista ja ideoilla leikkimisestä. Merino ja Sanmarti käyttivät oppilaspiirroksia apunaan tutkiessaan alakoulu-ikäisten oppilaiden käsityksiä kemiallisesta muutoksesta ja aineen hiukkasluonteesta.³³ Osa oppilaista oli aiemmin harjoitellut visuaalisten representaatioiden tuottamista piirtämällä luonnontieteen tunneillaan. Merino ja Sanmarti huomasivat mallintamista harjoitteleiden lasten tuottavan piirroksia, jotka olivat muita lähempänä yleisesti hyväksytyjä tieteellisiä malleja. He uskoivat, että mallintamisen harjoittelu oli antanut oppilaille työkaluja tutkia ja ilmaista ajatuksiaan. Näin ajattelun taso oli kehittynyt. Davidowitz ja kumppanit tutkivat, miten mallintamista tukeva opetus auttoi ensimmäisen vuoden yliopisto-opiskelijoita submikroskooppisen tason tapahtumien ymmärtämisessä kemiallisten reaktioiden ja erityisesti stoikiometrian yhteydessä.³⁴ Opiskelijoiden mallinnustaidot ja mallien tulkinta paranivat opetuksen aikana. Opiskelijat kaipaavat ajattelullensa visuaalisia apuvälineitä aivan samoin kuin alakoululaiset.

Edens ja Potter puolestaan tutkivat, onko oppimisen kannalta väliä sillä, tuottaako oppija oman piirroksen vai kopioiko hän valmiin kuvan.³⁵ Tutkimukseen osallistui yhteensä 184 4-5 – luokkalaista oppilasta, jotka lukivat energian säilymisen lakia kuvailevan tekstin vuoristoradasta. Oppilaat jaettiin kolmeen ryhmään. Ensimmäinen

ryhmä kopioi tekstiä esittävän kuvan, toinen piirsi tekstiin liittyen oman kuvan ja kolmas ryhmä kirjoitti oman kuvauksen tekstistä. Kun tekstin ymmärtämistä testattiin, kävi ilmi, että oman piirroksen tehneiden ymmärrys oli huomattavasti kuvauksen kirjoittaneita parempaa. Oman kuvan piirtäneet olivat ymmärtäneet tekstin myös hieman paremmin kuin kuvan kopioineet. Lisäksi oman kuvan piirtäneiden väärinkäsitykset vähenivät eniten.

Piirtämisellä on siis mahdollista saada aikaan laadukkaampaa oppimista. Tämänkaltaisia tuloksia raportoivat myös Justi *et al.*⁷ ja Zhang ja Linn.³⁶ Justi kumppaneineen huomasi mallinnustehtäviä painottaneen kemian kurssin vähentävän opiskelijoiden väärinkäsityksiä molekyylitasolla.⁷ Saman havaitsivat Zhang ja Linn, jotka raportoivat piirtäjien osoittavan myös monimutkaisempaa ajattelua kemiallisten reaktioiden yhteydessä.³⁶ Piirtäjät myös tulkitsivat uusia malleja vertailuryhmää syvällisemmin. Lisäksi he huomasivat, että piirtämisestä hyötyivät eniten ne oppilaat, jotka tutkimuksen lähtötasotestissä suoriutuivat kaikkein heikoimmin. Vaikuttaisi siis siltä, että piirtäminen auttaa sitä enemmän, mitä vähäisemmät kemian taidot sitä edeltävät. Nancy puolestaan suoritti tutkimuksen piirtämistä ja visualisointia hyödyntäneestä yliopistokemian kurssista, ja havaitsi oppilaiden arvosanojen keskiarvon olevan piirtämätöntä kontrolliryhmää parempi.³⁷ Nancy uskoi syyn olevan se, että visualisointitaitojen kehittyminen auttoi opiskelijoita kaikenlaisessa ongelmanratkaisussa. Chittleborough ja Treagust tutkivat, miten mallinnustehtävät auttavat kemian taidoiltaan eritasoisia opiskelijoita.³⁸ Tutkimuksessaan he huomasivat, että mallinnusharjoitukset paransivat osallistujien mallinnustaitoja, ja kemian osaamiseltaan heikommat kehittyivät pian muiden tasolle. Havainnot tukevat Zhangin ja Linnin tulkintaa siitä, että mallinnusharjoitukset tarjoavat eniten apuvälineitä kemian taidoiltaan heikoimmille oppilaille.³⁶

Visuaalisten representaatioiden tekemisen ei aina tarvitse tapahtua kynän ja paperin avulla. Nykyaikainen teknologia on tuonut myös koulujen käyttöön erilaisia mallinnusohjelmia, joilla kemiallisia kokonaisuuksia, kuten molekyylejä ja reaktioita, voi tutkia. Näiden mallinnusohjelmien etuna on, että molekyylillä voi tarkastella tietokoneen ruudulla eri puolilta samaan tapaan kuin jos sitä pitelisi kädessään. Lisäksi suurtenkin molekyyliden tekeminen käy verrattain nopeasti. Molekyylin rakentaminen tietokoneen ruudulle ei kuitenkaan periaatteiltaan juuri poikkea paperille piirtämisestä. Oppija aloittaa tyhjältä ruudulta ja muodostaa pienistä osista lopulta suuremman kokonaisuuden. Lopputulosta voi muokata jopa helpommin kuin paperiversiota.

Venkataraman tutki tällaisten mallinnusohjelmien käyttöä yliopisto-opiskelijoiden kanssa.³⁹ Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat eivät lukeneet pääaineenaan kemiaa, tai kokivat kemian muutoin hankalaksi. Osallistujat opiskelivat kemian peruskäsitteitä tekemällä erilaisia harjoituksia Spartan-molekyylimallinnusohjelmalla. Lisäksi he tekivät useita mallinnukseen liittyviä kotitehtäviä. Ennen ja jälkeen kurssin he osallistuivat kemian tietoja kartoittaviin kokeisiin. Osallistujat tekivät kurssin lopuksi myös yhteenvedon kokemuksistaan ja antoivat loppupalautetta kurssista. Koetulokset paranivat kurssin aikana ja osallistuneet saivat hyviä arvosanoja kotitehtävistään. Opiskelijoiden omasta mielestä visualisointi- ja mallinnustehtävät olivat auttaneet heitä ymmärtämään kemian peruskäsitteitä. Mallinnusharjoituksia pidettiin myös hyvinä tapoina keskustella näistä käsitteistä. Venkataraman, Edens ja Potter sekä Merino ja Sanmarti uskovat kaikki mallinnustehtävien auttaneet oppilaita rakentamaan omia mentaalimalleja tieteellisistä käsitteistä.^{33,35,39}

Oppimiseen liittyvien hyötyjen lisäksi tutkimukset kertovat myös muista saavutetuista ansioista. Ainsworth ja Iacovides tutkivat kahteen ryhmään jaettuja yliopisto-opiskelijoita.⁴⁰ Ensimmäinen ryhmä piirsi muistiinpanot tekstin mukaan, toinen kirjoitti muistiinpanoja kuvasta. Tekstistä piirtäneet siirsivät muistiinpanoihinsa enemmän tietoa kuin kuvasta kirjoittaneet. Tämä voi johtua siitä, että visuaalisen representaation tulkinta koetaan vaikeaksi, eikä siitä saada irti yhtä paljon kuin tekstistä. Omaan representaation luomista taas rajoittaa vain oman mielikuvituksen käyttö. Koulukirjojen kuvien tarkastelu ei siis ole yhtä laadukas oppimistapahtuma kuin oman kuvan piirtäminen. Davidowitz *et al.* esittivät omassa tutkimuksessaan, että oppilaspiirroksista on myös hyötyä opettajan arvioissa oppilaiden todellista ymmärrystä, sillä ne kertovat oppilaan ajatuksista suuremmin kuin esimerkiksi matemaattiset vastaukset.³⁴ Kemian opetuksen tutkijat ovatkin usein hyödyntäneet oppilaspiirroksia keinona tutkia oppilaiden käsityksiä kemiallisista ilmiöistä.^{12,29,33,34}

Piirtämisen vaikutuksia selvittäneissä kemian opetuksen tutkimuksissa selkein yhteinen havaittu hyöty on oppilaiden mallinnustaitojen kehittyminen.^{13,24,32-34,36-38} Mallinnustehtävien suorittaminen kehittää oppilaan kykyä luoda omia ja tulkita muiden kehittämiä visuaalisia representaatioita. Tämä on tärkeää, jotta visuaalisten representaatioiden välittämä tieto voitaisiin tehokkaasti omaksua. Mallinnustaito myös auttaa oppilaita ymmärtämään paremmin mallien luonnetta esimerkiksi molekyylitaso tapahtumien edustuksina ja tieteellisen tutkimuksen mukaan muuttuvina kokonaisuuksina. Piirtäminen näyttää myös kannustavan metakognitiiviseen

ajatteluun,^{36,41,42} myös ryhmässä,³⁶ sillä piirtäneet oppilaat keskustelevat piirtämättömiä enemmän tiedoistaan ja ajatuksistaan. Itse piirtävät oppilaat myös tunnistavat tiedolliset puutteensa paremmin kuin valmiita visuaalisia representaatioita tarkastelevat.⁴¹

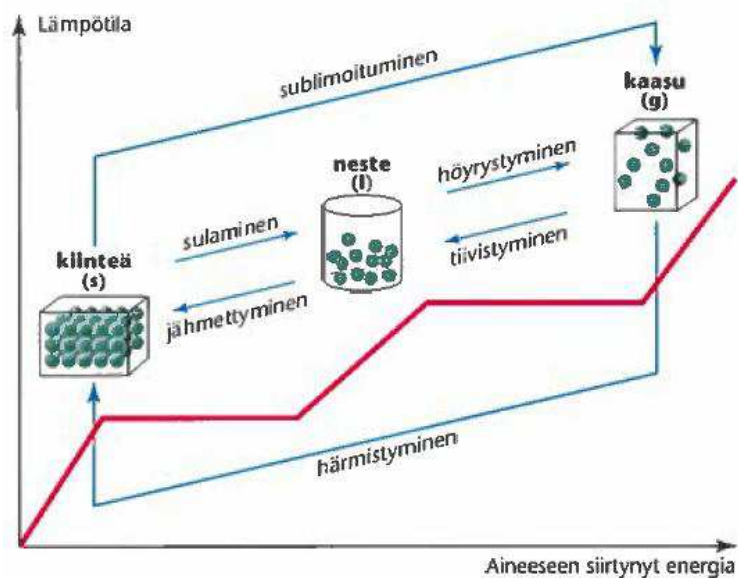
Piirtämisestä saavutettavat hyödyt ovat siis tehostuneen oppimisen ja mallinnustaitojen paranemisen lisäksi sosiaalisia ja metakognitiivisia. Visualisointien käyttö lisää ja helpottaa oppilaiden välistä kommunikointia ja kannustaa arvioimaan omia tietojaan ja osaamistaan yksin ja ryhmässä. Tällaiset ominaisuudet ovat tuleville tieteenharjoittajille tärkeitä, sillä tiedemaailmassa luoviminen vaatii sosiaalisia taitoja, yhteistyökykyä ja omien resurssien tuntemista.

4. Tehtäväkehys

Tutkimuskysymyksiä selvittämään valittiin tehtävälomaketutkimus. Tämä siksi, että tutkimuskysymykset ovat luonteeltaan tehtävärviointiin liittyviä. Sopivaa aihetta eli kemiallista tehtäväkehystä pohtiessa pyrittiin valitsemaan kaikille osallistujille tuttu aihealue, joka kemialliselta taustaltaan sopisi hieman eritasoisille kemian opiskelijoille. Tässä luvussa kuvaillaan valittua tehtäväkehystä, sen molekyyllitason kemiaa ja aiempaa tutkimusta kemian opetuksessa.

4.1. Veden kiehuminen

Veden kiehuminen on kaikille tuttu arkipäiväinen tapahtuma. Kiehuminen on fysikaalinen reaktio, jossa molekyylien lisääntyvä liike voittaa molekyylien väliset puoleensavetävät vuorovaikutukset ja molekyylit pääsevät erkanemaan toisistaan. Tällöin aine muuttuu nesteestä höyryksi. Kiehuminen on siis aineen olomuodon muutos. Kuvassa 1 on esimerkki veden olomuotojen muutosten kuvaamisesta kemian oppikirjoissa.



Kuva 2: Veden olomuotojen muutokset⁴⁵ osa 1 s.17

Kuvassa 2 on käytetty samanaikaisesti useita eri representaatioita. Olomuotojen muutokset on esitetty niiden sanallisin termein ja muutoksen suuntaa kuvaavien nuolin. Lisäksi jokainen olomuoto on esitetty visuaalisesti veden rakenneosasten mikrotason tapahtumia mallintamalla. Kuvaaja puolestaan mallintaa, kuinka veteen siirretyn energian myötä veden lämpötila kohoaa, mutta pysyy vakiona olomuotomuutosten tapahtuessa. Veden kiehumisen, jäätyminen, sublimoituminen ja härmistyminen ovat esillä jo yläasteen oppitunneilla, joten kiehumisen tulisi olla tuttua kaikille lukiolaisille. Arkipäiväisyytensä ja tuttuutensa takia se valittiin myös tähän tutkimukseen.

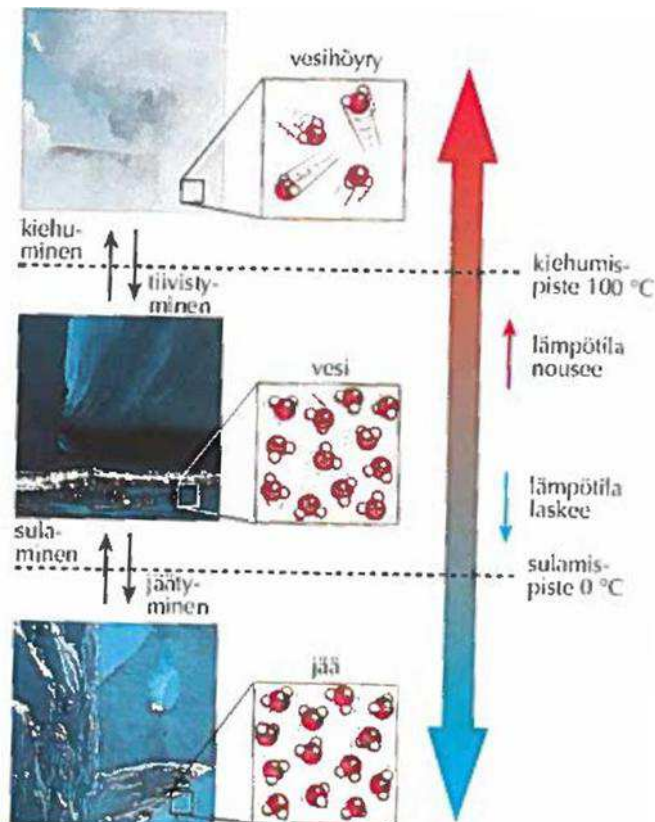
4.2 Oppikirjojen visuaaliset representaatiot kiehumisesta

Koska kaikkeen havainnointiin ja tiedonkäsittelyyn vaikuttaa yksilön aiempi tietorakenne, myös aiemmin kohdatut visuaaliset representaatiot vaikuttavat osaltaan siihen, miten oppilaat tulkitsevat tässä tutkimuksessa annetun tehtävän ja miten he suorittavat sen. Jotta aiempaan tietorakenteeseen vaikuttanutta informaatiota saatiin kartoitettua, tutkittiin peruskoulun, lukion ja yliopiston kemian oppikirjojen käyttämiä visuaalisia representaatioita kiehumisen yhteydessä. Tutkittavaksi valittiin kaksi peruskoulusta kaksi kirjasarjaa, lukiosta kaksi kirjasarjaa ja yliopistosta kaksi oppikirjaa. Tarkoituksena ei ollut verrata kirjojen käyttämiä visuaalisia

representaatioita, vaan tutkia minkälaisia representaatioita oppilaat ovat kohdanneet, ja miten ne näkyvät heidän omissa piirroksissaan.

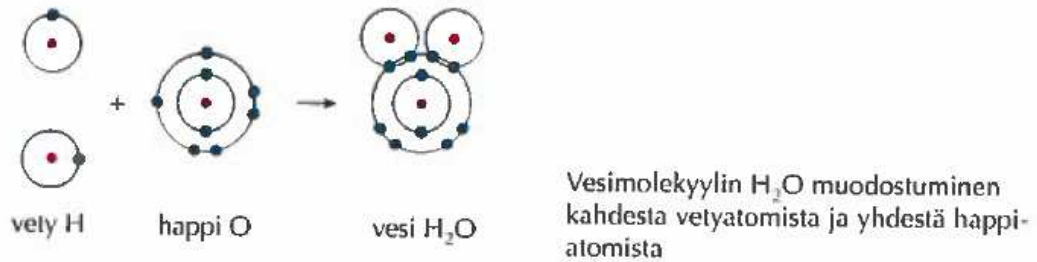
4.2.1 Peruskoulun oppikirjat

Peruskoulun kirjasarjoista tutkittavaksi valikoituivat Avain- sekä Aine ja energia-kirjasarjat. Avain-sarjassa kiehumista käsitellään ensimmäisessä oppikirjassa aineen eri olomuotojen yhteydessä, jossa se määritetään olomuodon muutokseksi lämmön vaikutuksesta. Visuaalisena apuvälineenä on valokuva veden kolmesta eri olomuodosta ja näiden vieressä mikrotason representaatiot (kuva 3). Mikrotason kuvaamiseen käytetään kalottimallia, ja molekyylien liike on kuvattu sarjakuvamaisin viivoin. Vetyxidosta representaatioissa ei kuvata.

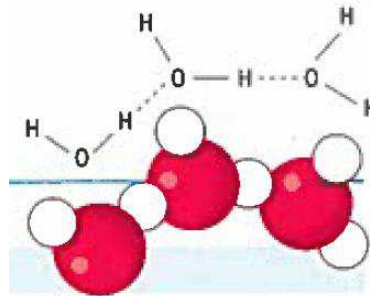


Kuva 3: Veden eri olomuodot ^{43 s.96}

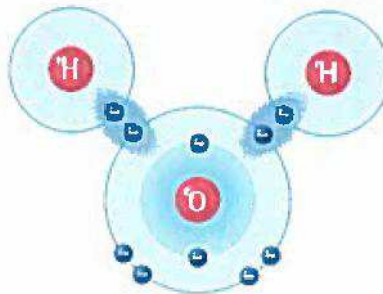
Kiehumista ei käsitellä muissa kirjasarjan osissa, mutta sarjan toisessa osassa vesimolekyylin jaetut elektroniparit esitetään Bohrin atomimallin avulla (kuva 4).



Kuva 4: Vesimolekyylin Bohrin atomimallilla esitettynä⁴³ s. 30



Kuva 5: Vetysidoksen rakennekaavoilla ja kalottimallilla esitettynä⁴⁴ s. 85

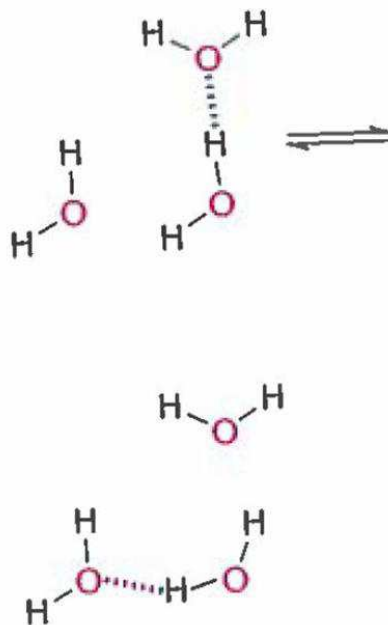


Kuva 6: Vesimolekyylin Bohrin atomimallin mukaan⁴⁴ s.114

Aine ja energia – tietokirjassa ei ole visuaalisia representaatioita veden kiehumiseen liittyen. Kalottimallilla esitettyjä vesimolekyyylimalleja kirjasta kyllä löytyy (kuva 5), sekä Bohrin atomimallia mukaileva kuvaus (kuva 6).

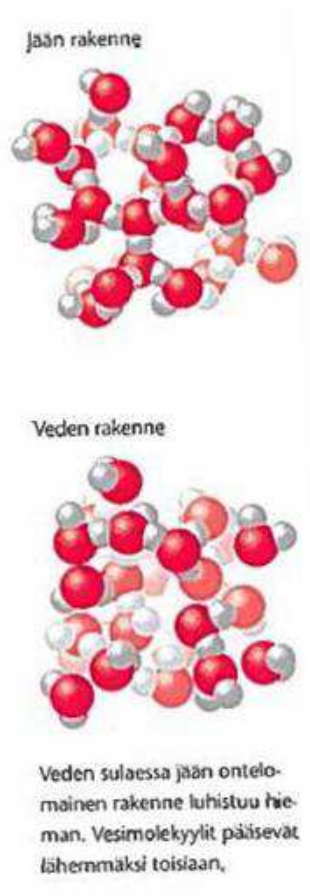
4.2.2 Lukion oppikirjat

Lukion kirjasarjoista tutkittiin Reaktio- ja Mooli-kirjasarjoja. Kumpaankin sarjaan kuuluu viisi oppikirjaa. Koska lukion ensimmäinen kemian kurssi on pakollinen, kaikki oppilaat ovat tutustuneet ainakin kirjasarjojen ensimmäisiin osiin. Reaktio-sarjan ensimmäisessä osassa kiehumisen tuodaan esille heikkojen sidosten yhteydessä. Termi on määritelty yleisesti, eikä siinä mainita erikseen veden kiehumista. Vesimolekyylien välinen vetysidos on kuitenkin kuvattu esimerkkinä heikoista sidoksista. Representaatiossa käytetään rakennekaavoja, joiden välinen vetysidos on kuvattu viivoin (kuva 7).



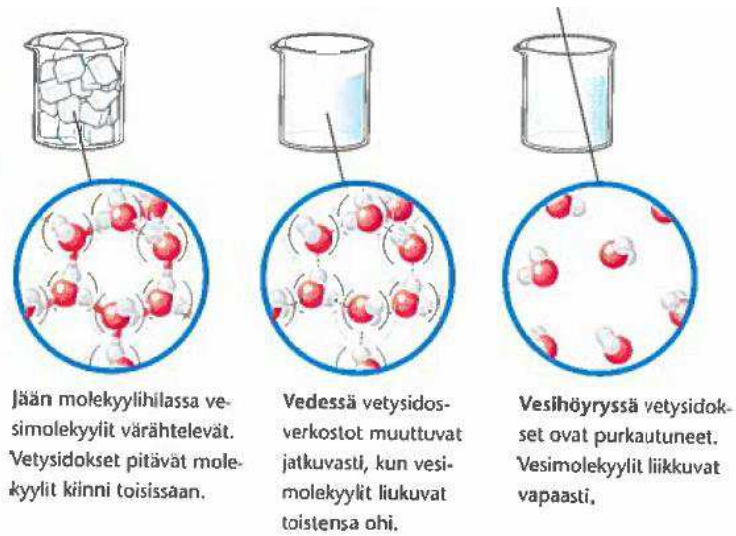
Kuva 7: Vesimolekyyliä rakennekaavoin esitettynä⁴⁵ osa 1 s.84

Reaktiosarjan toisessa osassa Kemian mikromaailma käsitellään vettä alaotsikolla Veden ominaisuudet ja merkitys luonnossa. Kiehumista ei tässä yhteydessä mainita, vaan kappale keskittyy jäähän ja nestemäiseen veteen. Visuaalisissa representaatioissa vesimolekyylien kuvaamiseen käytetään kalottimallia (kuva 8). Vetysidosta representaatioissa ei kuvata.

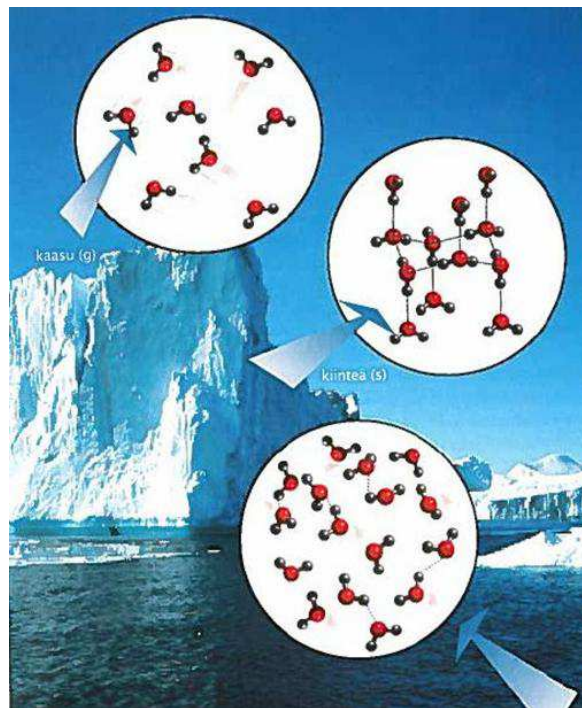


Kuva 8: Jään ja veden rakenne⁴⁵ osa 2 s.103

Sarjan kolmannessa osassa Reaktiot ja energia kiehuminen mainitaan lämpöliikkeen yhteydessä. Molekyylien lämpöliikettä veden eri olomuodoissa kuvataan visuaalisesti esittäen veden kolme olomuotoa mittalaseissa (kuva 9). Mikrotason tapahtumia kuvataan kalottimallilla, ja vetysidos on kuvattu sylinterinä molekyylien välille.



Kuva 9: Veden eri olomuodot⁴⁵ osa 3 s.107



Kuva 10: Veden eri olomuodot⁴⁶ osa 1 s. 25

Mooli-kirjasarjassa kiehumista käsitellään ensimmäisessä osassa aineiden olomuotojen yhteydessä. Visuaalisena representaationa on valokuva veden kaikista olomuodoista ja mikrotason kuvaamiseen jokaisen olomuodon yhteydessä käytetään pallo-tikkumallia

(kuva 10). Molekyylien liike aineessa kuvataan varjoilla, vetysidokset puolestaan katkoviivalla. Kiehuminen määritellään ilmiönä.



Kuva 11: Vesimolekyyliä rakennekaavoin⁴⁶ osa 1 s.74

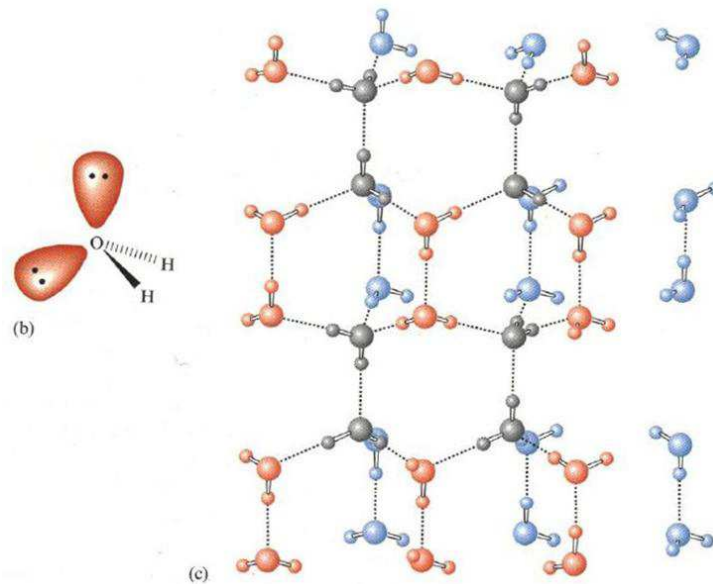
Ensimmäisessä osassa kiehumista ei tuoda tämän jälkeen enää esille, mutta vesimolekyylien välisiä vetysidoksia kuvataan heikkojen sidosten yhteydessä. Visuaalisena representaationa käytetään rakennekaavoja, joissa vetysidos kuvataan katkoviivoin (kuva 11). Muissa kirjasarjan osissa veden kiehumista ei käsitellä.

4.2.3 Yliopiston oppikirjat

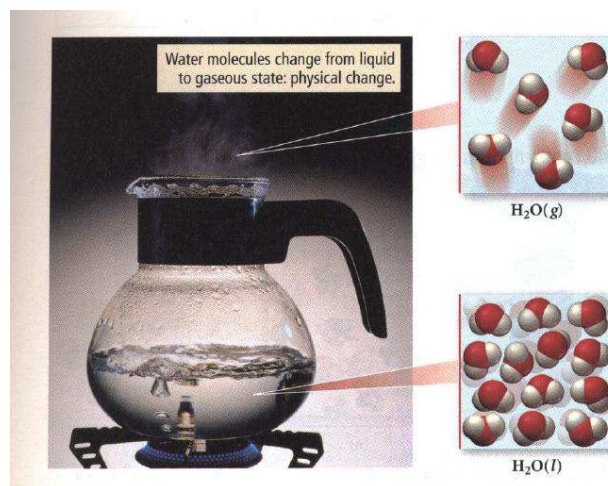
Yliopiston oppikirjoista tutkittavaksi valittiin Housecroftin ja Constablen Chemistry, 3. painos ja Tron Chemistry: A molecular approach, 2. painos. Nämä ovat Jyväskylän yliopiston viimeaikaisia kemian peruskurssien oppikirjoja.

Housecroftin ja Constablen Chemistry-kirjassa veden kiehumisen yhteydessä esitetään visuaalisena representaationa graafi lämpötilan muutoksista vedessä olomuodon muutoksissa. Kiehumisen mikrotason tapahtumia ei esitetä molekyylimalleilla, mutta vesimolekyylien järjestäytyminen jäässä kuvataan pallo-tikkumallilla (kuva 12). Vetysidos kuvataan tässä mallissa katkoviivalla.

Tron Chemistry: A molecular approach – kirjassa veden kiehuminen kuvataan visuaalisesti valokuvalla kiehuvista vesipannusta (kuva 13). Valokuvan yhteydessä mikrotason tapahtumia kuvataan sekä nesteessä että höyryssä kalottimallilla. Vetydoksia ei ole kuvattu, molekyylien liike kuvataan varjoina.

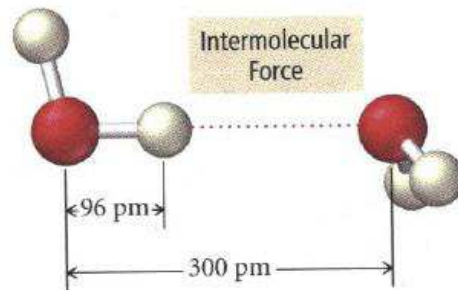


Kuva 12: Vesimolekyylien järjestäytyminen jäässä^{47 s.645}



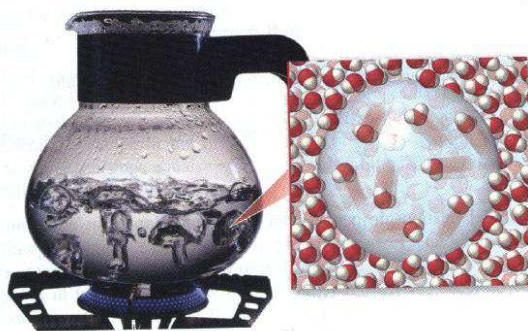
Kuva 13: Vesi kiehuu^{48 s.9}

Lisäksi Tro esittää veden kolme olomuotoa kalottimallilla, jossa vetysidosta ei kuvata (kuva 14). Samassa yhteydessä vetysidos kuitenkin kuvataan katkoviivalla pallo-tikkumolekyylien välissä.



Kuva 14: Vetysidos vesimolekyylien välillä^{48 s.459}

Kiehumisen yhteydessä tapahtuvaa kuplintaa ja kuplien sisältämää vesihöyryä kuvataan valokuvalla kuplivasta vesipannusta (kuva 15). Valokuvan yhteydessä kuplan sisältö mikrotasolla kuvataan kalottimallilla.



Kuva 15: Vesihöyryä kuplissa^{48 s. 475}

Oppikirjoissa vesimolekyyliä, niiden liikettä ja niiden välisiä vuorovaikutuksia kuvamaan käytetään siis kalottimallia, pallo-tikkumallia ja rakennekaavoja. Liikettä kuvataan joko varjoin tai yksinkertaisin viivoin. Vetysidos jätetään varsinkin alemmilla

asteilla usein kuvaamatta. Vetyhidoksen kuvaamiseen käytetään katkoviivaa, yksinkertaista viivaa tai molekyylien välistä sylinteriä. Erityisen huomattavaa on, että mikrotason tapahtumat esitetään usein ikään kuin suurennettuna kuvakaappauksena makrotason tapahtumista.

4.3 Oppilaiden käsitykset kiehumisesta

Oppilaiden ymmärrystä kiehumisesta on tutkittu aikaisemminkin.⁴⁹⁻⁵² Costu suoritti tutkimuksen, jossa hän antoi 15 - 20 vuoden ikäisten oppilaiden seurata veden, etanolin ja kuparisulfaattiliuoksen kiehumista.⁵⁰ Oppilaat vastasivat kysymykseen:

- Mistä kiehuessa nesteessä havaitut kuplat muodostuvat?

Vesi oli oppilaille tutuin aine, mutta silti lähes puolet osallistujista vastasi kuplien koostuvan ilmasta tai happi- ja vetykaasusta. Muiden aineiden kohdalla väärin vastausten osuus kasvoi entisestään. Costu *et al.* olivat havainneet samanlaisia tuloksia jo aiemmassa tutkimuksessaan, jolloin kuplien oli uskottu sisältävän ilmaa, happea, vetyä tai jopa lämpöä.⁵¹ Oppilaille oli siis selvästi virheellisiä käsityksiä kiehumisen molekyyli-tason tapahtumista. Käsitys siitä, että kiehuessa havaitut kuplat sisältävät lämpöä saattaa juontua kattilasta nousevan vesihöyryn havaitsemisesta lämpimäksi. Tällöin lämmön luonnetta molekyylien liikkeenä ei ole sisäistetty, vaan lämpö ajatellaan näkymättömäksi ja aineettomaksi. Happi- ja vetykaasun mainitseminen viittaa uskomukseen siitä, että vesimolekyylit hajoavat kiehuessa hapeksi ja vedyksi. Vastaavaan uskomukseen törmäsi Senocak.⁵² Hän tutki tulevien peruskouluopettajien käsityksiä kiehumisesta. Osallistuneet olivat kaikki ensimmäisen vuoden opettajaopiskelijoita, joilla osalla oli taustaa luonnontieteiden opiskelussa, osalla ei. Jotkin osallistujat uskoivat kiehumisen vahingoittavat tai jopa tuhoavat veden molekyyli-rakenteen.

Tulevien opettajien väärinkäsityksiä kiehumisesta tutki myös Chang.⁴⁹ Satojen opettajaopiskelijoiden otos sisälsi erilaisia tiedetaustoja. Myös Changin tutkimus kysyi kiehuessa havaittavien kuplien sisältöä. Tästä otoksesta useimmat uskoivat kuplien olevan ilmaa. Toiseksi yleisin vastaus oli vesihöyry. Lisäksi kuplien uskottiin sisältävän kuumaa vettä, happea ja jopa hiilidioksidia. Tutkimuksessa selvisi, että mitä eniten oikeita vastauksia antoivat ne osallistuneet, joilla oli eniten taustaa luonnontieteiden opiskelussa.

Vaikka veden kiehumisen on kaikille tuttua, tutkimukset osoittavat, etteivät kaikki ymmärrä kiehumisen molekyyli-tason tapahtumia.⁴⁹⁻⁵² Jos kiehuessa esiintyvien kuplien sisältöä ei osata määrittää oikein, ei kiehumisessa tapahtuvaa muutosta molekyylien välillä ole ymmärretty. Tässä luvussa esitellyt yleiset väärinkäsitykset viittaavat siihen, että fysikaalisen muutoksen sijaan kiehumisen ajatellaan kemiallisena reaktiona, jossa vedestä tulee jotain muuta, esimerkiksi vetyä, happea tai hiilidioksidia. Jopa tulevilla opettajilla on näitä väärinkäsityksiä. Tulevassa luokassaan he siirtävät nämä väärinkäsitykset helposti eteenpäin oppilailleen, jolloin yhden ihmisen virheellisen ymmärryksen vaikutukset moninkertaistuvat. Kuinka moni näistä oppilaista tulee koskaan korjaamaan virheellistä käsitystään?

Koska virhekäsitykset veden kiehumisesta vaikuttavat yleisiltä, niitä oletetaan esiintyvän jonkin verran myös tämän tutkimuksen aineistossa. Huomio suuntautuikin virhekäsitysten laadun sijaan siihen, näkyvätkö nämä vääristyneet ajatukset tekstissä vai piirroksessa. Mikäli virheelliset ajatukset on helpompi huomata piirroksessa, piirrostehtävä lisää opettajan mahdollisuuksia huomata ne ja puuttua asiaan ajoissa.

5. Tutkimuskysymysten valinta

Piirtämistä kemian opetuksessa on tutkittu paljonkin, mutta paljon on myös selvittämättä. Tässä luvussa kuvaillaan tutkimuskysymysten valintaa mahdollisten tutkimuskohteiden joukosta. Tässä tutkimuksessa haluttiin lähestyä piirtämistä osana tavallista oppituntitoimintaa ja tutkia miten jyvaskyläläiset kemian kurssien opiskelijat mallintavat kemiaa ja mitä hyötyä piirtämisestä mahdollisesti olisi osana oppituntia tai koetta. Aluksi kartoitettiin minkälaisia representaatioita opiskelijat visuaalisessa mallinnuksessaan käyttävät. Tämä valittiin ensimmäiseksi tutkimuskysymykseksi.

Ainsworth ja Iacovides raportoivat havainneensa eroja muistiinpanoihin tallennetun tiedon määrässä riippuen siitä, piirsikö oppilas tekstistä vai kirjoittiko kuvasta.⁴⁰ Tekstistä piirtäen muistiinpanoja tehneet sisällyttivät piirroksensa enemmän tietoa kuin kuvasta muistiinpanoja kirjoittaneet. Olisiko samanlainen havainto mahdollista myös, jos oppilas sekä kirjoittaa että piirtää yhdestä ja samasta aiheesta? Sisällyttäisikö oppilas piirroksensa enemmän tietoa kuin tekstiinsä? Tämä ongelma valittiin toiseksi tutkimuskysymykseksi. Haluttiin selvittää kumpi vastaustavoista mahdollisesti sisältäisi tietoa enemmän. Opettajan kannalta haluttiin myös nähdä, vaikuttaisiko piirrosten kurssikokeeseen sisällyttäminen oppilaan osaamisen arviointiin, eli paljastavatko kuvat

sellaisia virhekäsityksiä, joita tekstistä ei näe. Ainsworth uskoi useiden representaatioiden samanaikaisen käsittelyn vähentävän väärinymmärryksen mahdollisuutta.¹⁶ Tästä päätellen useamman representaation tarkasteleminen, tässä tapauksessa visuaalisen ja sanallisen, antaisi myös opettajalle mahdollisuuden todenmukaisempaan arvioon oppilaan osaamisesta. Virhe yhdessä tehtävässä voi osoittautua toisen avulla pelkäksi huolimattomuudeksi. Toisaalta kuvallinen representaatio voi paljastaa aukkoja aiheen hallinnassa, vaikka sanallisessa representaatiossa kyseistä termistöä käytettäisiin oikein.

Koska piirtämistä nykyisellään hyödynnetään kemian opetuksessa vielä melko vähän, oletuksen oli, että oppilaat ovat tottuneempia vastaamaan kysymyksiin kirjallisesti. Siispä kirjalliset selitykset sisältäisivät oletettavasti piirroksia enemmän tietoa. Toisaalta kirjallinen selitys voisi tukea kuvan piirtämistä, toimimalla oppilaalle referenssinä hänen tiedoistaan. Kolmanneksi tutkimuskysymykseksi valittiinkin selvittää onko tekstin ja kuvan tuottamisjärjestyksellä väliä niiden yhdessä välittämän tiedon kannalta. Hypoteesina oli, että kun oppilas vastaa ensin kirjallisesti ja sen jälkeen kuvallisesti, vastaukset yhdessä antaisivat paremman arvosanan kuin jos kuva piirretään ensin ja teksti kirjoitetaan vasta sitten.

Tutkimuskysymykset:

1. Millaisia representaatioita vastaajat käyttävät?
2. Vastaavatko oppilaan tuottama kuva ja teksti toisiaan?
 - 2a) Jos eivät, kumpi niistä sisältää enemmän tietoa?
 - 2b) Paljastaako kuva sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule tekstissä ilmi? Entä päinvastoin?
3. Onko kuvan ja tekstin tekojärjestyksellä merkitystä vastauksien oikeellisuuden kannalta?

Tutkimuskysymykset ovat luonteeltaan kvalitatiivisia ominaisuuksia tutkivia, joten myös suunniteltavan tutkimuksen tuli tähdätä kvalitatiivisiin tuloksiin. Tutkimuksen oli myös sisällettävä sanallisten ja visuaalisten representaatioiden tuottamista vaativia osallistujatehtäviä. Seuraavissa luvuissa kuvaillaan tehtävien kemiallisen taustan valintaa ja lopullisen tutkimuslomakkeen kehittämistä.

6. Tutkimusmenetelmä

Tutkimuskysymyksiin haettiin vastauksia suorittamalla neljä pienimuotoista tapaustutkimusta Jyväskylässä keväällä 2012.⁵³ Tutkimustavaksi valittiin tehtävälomake. Lomaketta täyttäessä oppilas teki kaksi veden kiehumista käsittelevää tehtävää, jotka vaativat sanallisen ja visuaalisen representaation tuottamista. Toisessa pyydettiin kuvailemaan veden kiehumiseen liittyviä molekyylitason tapahtumia sanallisesti, toisessa molekyylitason tapahtumat piirtäen. Lomakkeita tehtiin kahdenlaisia siten, että lomakkeissa A kirjoitustehtävä oli ensin (liite 1), lomakkeissa B taas piirustustehtävä (liite 2).

Tutkimus suoritettiin kolmella lukion tunnilla ja yhdellä yliopiston luennolla siten, että joka toinen osallistuja sai A-lomakkeen ja joka toinen osallistuja B-lomakkeen. Osallistujat saivat myös suullisen ohjeistuksen lomakkeiden täyttämistä. Aikaa vastaamiseen oli noin 20 minuuttia. Vastausaika oli riittävä, sillä useimman osallistujat käyttivät siitä vain osan. Lukioissa tehtyjä tapaustutkimuksia käsitellään tässä aineistossa tuloksia tulkitessa yksinkertaisuuden vuoksi yhtenä aineistona. Lukion tunneista kaksi oli kemian tunteja ja yksi fysiikan tunti. Kaikki tutkimukseen osallistuneet lukiolaiset olivat käyneet pakollisen kemian kurssin. Kummankin kemian tunneilla osallistuneen ryhmän oppilaat opiskelivat parhaillaan kemian 2-kurssia. Fysiikan tunnilla tutkimukseen osallistuneet eivät olleet tätä kurssia vielä käyneet. Yliopiston kurssi käsitteli orgaanista kemiaa. Yliopiston osallistujien kemiantaustat vaihtelevat paljon. Osa on mahdollisesti käynyt lukiossa kaikki kemian kurssit, osa vain ainoan pakollisen. A-lomakkeita täytettiin yhteensä 42 kappaletta, B-lomakkeita 43. Yksi A-lomake jouduttiin hylkäämään, koska sen vastausta ei epäselvyydestä johtuen voitu tulkita, joten tuloksien tulkinnassa oli mukana vain 41 A-lomaketta. Yhteensä aineistolomakkeita kerättiin siis 84 kappaletta.

7. Aineiston käsittely

Aineiston keräämisen jälkeen jokaisen lomakkeen tehtävien vastaukset arvioitiin kahdella tapaa. Ensin teksti ja piirros arvioitiin erikseen oikeellisuutensa mukaan kuten koevastaukset. Arvioinnin kehykseksi kehitettiin arviointiasteikko, joka esitellään taulukossa 3.

Taulukko 3: Vastausten arviointi

Luokan symboli	Luokan nimi	Luokan selitys
A	Täydellinen vastaus	Kaikki vaadittavat asiat mainitaan ja ne ovat oikein.
B	Vajaa vastaus	Virheitä ei ole, mutta vastauksesta puuttuu jotain.
C	Virheellinen vastaus	Vastauksessa on yksi tai useampi virhe. Vastaus voi olla lisäksi vajaa.
D	Ei vastausta/ Epätoivoinen yritelmä	Vastausta ei ole, tai se ei kerro mitään ilmiön kemiallisista taustoista.

Täydelliseen vastaukseen vaadittiin seuraavat asiat:

- Vastauksessa mainitaan vesimolekyylit nesteessä.
- Vastauksessa mainitaan vesimolekyylit höyryssä.
- Vastauksessa huomioidaan molekyylien liike ja liikkeen kiihtyminen nesteen lämmitessä.
- Vastauksessa mainitaan vesimolekyylien välillä olevan puoleensavetäviä vuorovaikutuksia.
- Vastauksessa mainitaan molekyylien välisten vuorovaikutusten heikkeneminen.
- Molekyylien väliset vuorovaikutukset nimetään tai esitetään oikeellisesti vetysidoksiksi.
- Vastauksessa mainitaan vetysidoksien katkeaminen.
- Vastauksessa mainitaan myös systeemiin syötetty energia.

Edellä luetellut kohdat listattiin lomakkeeksi, jonka mukaan jokainen vastaus arvioitiin (liite 3). Lomake täytettiin siten, että mikäli vastauksessa oli esitetty vaadittu yksityiskohta oikein, sen paikalle merkittiin rasti. Mikäli kyseistä asiaa ei ollut mainittu lainkaan, tai se oli esitetty väärin, merkintää ei tehty. Lisäksi lomakkeeseen merkittiin tekstistä tai piirroksista havaitut virheet, joita tarkastelemalla saatiin vastaus tutkimuskysymykseen 1.2. Teksti ja piirros arvioitiin erikseen ja niiden vastausluokat merkittiin lomakkeeseen. Näitä vertaamalla saatiin vastaus tutkimuskysymykseen 1.1. Vertaamalla A- ja B-lappujen vastausten keskiarvoja pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymykseen 2. Arviona oli, että vajaa vastaus on laadukkaampi kuin virheellinen vastaus. Aineistoa tutkiessa kävi kuitenkin ilmi, että tämän kaltainen yleistys tuottaisi virheellisiä tulkintoja. Aineistosta löytyi useita lomakkeita, joissa vajaa vastaus ei sisältänyt juurikaan tietoa. Toisaalta aineistossa oli monia runsaita vastauksia, joissa oli vain yksi virhe. Tästä syystä arviointia muutettiin siten, että jokainen vastaus pisteytettiin. Jokaisesta arviointilomakkeen rastista vastausta kohti sai yhden pisteen, jolloin maksimipistemäärä kustakin vastauksesta oli kahdeksan pistettä. Jokaisesta vastauksen sisältämästä virheestä vähennettiin yksi piste. Esimerkiksi jos kuvassa on esitetty kaikki vaadittavat asiat oikein, vastaus saa kahdeksan pistettä. Jos edellä mainitussa kuvassa on yksi virhe, esimerkiksi vesimolekyyli on piirretty lineaarisesti, vastauksesta saa seitsemän pistettä. Esimerkki tehtävälomakkeen arvioinnista on esitetty kuvassa 16.

	Kirjallinen selitys	Piirros
Vesimolekyylijä nesteessä	X	X
Vesimolekyylijä höyryssä	X	X
Molekyylien liike ja liikemäärän ero	X	X
Molekyylien väliset sidokset/vuorovaikutukset		
Molekyylien välisten atraktiivisten vuorovaikutusten heikkeneminen		
Vetyidos		
Vetyidosken katkeaminen		
Systeemiin syötetty energia	X	X

Virheitä tekstissä:

Ei virheitä.

Virheitä kuvassa:

Ei virheitä.

Selityksen luokka:

B = 2 4p

Kuvan luokka:

B = 2 4p

Vastaavuus:

3

2

ka 4p

Kuva 16: Esimerkki täytetystä arviointilomakkeesta

Toiseksi vastauksia arvioitiin yhdessä sen perusteella, kuinka hyvin ne vastasivat toisiaan. Näin haettiin vastausta toiseen tutkimuskysymykseen. Ensin vastaavuudet jaettiin arvoluokkiin 3-0 sen mukaan, kuinka täydellisesti teksti ja piirros vastasivat toisiaan. Nämä luokat jaettiin edelleen alaluokkiin 2a-2c ja 1a-1c siten, että alaluokka

kertoi, kumpi vastauksista sisälsi enemmän tietoa. Vastaavuusluokat on esitelty tarkemmin taulukossa 4.

Taulukko 4: Vastaavuusluokat

Luokan symboli	Luokan nimi	Luokan selitys	Alaluokat
3	Täydellinen vastaavuus	Piirros ja teksti vastaavat toisiaan täysin.	Ei alaluokkia.
2	Melkein täydellinen vastaavuus	Piirros ja teksti eroavat toisistaan vain yhden asiasisällön osalta.	2a: Tekstissä mainitaan yksi asia enemmän kuin piirroksessa. 2b: Piirroksessa on yksi asia enemmän kuin tekstissä. 2c: Piirroksessa ja tekstissä on saman verran asiaa, mutta ne eivät ole täysin samat.
1	Vajaa vastaavuus	Piirros ja teksti eroavat toisistaan useamman kuin yhden asiasisällön osalta,	1a: Tekstissä on enemmän asiaa kuin piirroksessa. 1b: Piirroksessa on enemmän asiaa kuin tekstissä. 1c: Piirroksessa ja tekstissä on asiaa saman verran, mutta ne eivät ole täysin samat.
0	Ei vastaavuutta	Piirros ja teksti eivät vastaa toisiaan lainkaan.	Ei alaluokkia.

Piirroksen ja tekstin vastaavuusluokka on esitetty liitteessä 5. Lomakkeiden pisteytys ja virheiden lukumäärä on esitetty liitteessä 6. Seuraavassa luvussa kuvailaan aineiston tulkinnasta saatuja tuloksia.

8. Tulokset ja niiden tulkinta

Tässä luvussa esitellään vastaukset toiseen ja kolmanteen tutkimuskysymykseen erikseen. Vastaukset ensimmäiseen tutkimuskysymykseen on sisällytetty näihin kappaleisiin. Lisäksi annetaan havainnollistavia esimerkkejä tutkimustuloksiin liittyen.

8.1. Vastaavatko kuva ja teksti toisiaan?

Koko aineistosta vain 23 % vastauksista teksti ja piirros vastasivat toisiaan täydellisesti. Koko aineiston vastaavuusluokat on esitelty täydellisesti taulukossa 5.

Alle neljäsosassa vastauksista kuva ja piirros siis vastasivat täydellisesti toisiaan. Tämä on hyvin pieni osuus, mikä antaa viitteitä siitä, että piirroksen ja tekstiin sisällytettävän tiedon määrä on eri, vaikka ne käsittelevät samaa aihetta. Toisaalta sellaisia vastauksia, joissa piirros ja teksti eivät vastaa toisiaan lainkaan on alle kymmenesosa koko aineistosta. Tällaisten vastausten taso on muutenkin alhainen ja ne sisältävät vähiten tietoa.

Lukiolaisten lomakkeista toisiaan vastasi täydellisesti suurempi osuus kuin yliopisto-opiskelijoiden lomakkeista. Taulukosta 5 nähdään, että lukiolaisten vastaukset olivat kuitenkin keskimäärin sisällölliseltä pisteytykseltään alhaisempia kuin yliopisto-opiskelijoiden, joten vaikka vastaukset vastasivat toisiaan täydellisesti, ne eivät välittäneet paljonkaan tietoa.

Taulukko 5: Aineiston 1 vastaavuusluokat

Vastaavuusluokka	3	2a	2b	2c	1a	1b	1c	0	yhteensä
Koko aineisto									
kpl	19	14	12	2	9	16	5	7	84
%	23	17	14	2	11	19	6	8	100
Yliopisto									
kpl	6	6	6	1	4	15	2	1	41
%	15	15	15	2	10	36	5	2	100
Lukiot									
kpl	13	8	6	1	5	1	3	6	43
%	30	19	14	2	12	2	7	14	100

8.2. Kumpi vastaustavoista sisältää enemmän tietoa?

Edellisen luvun taulukosta nähdään, ettei voida yksiselitteisesti sanoa kumpi vastaustyyppi sisälsi enemmän tietoa. Vastaavuusluokkaan 2 kuuluvissa lomakkeissa teksti näyttää sisältävän enemmän tietoa, vastaavuusluokkaan 1 kuuluvissa lomakkeissa taas piirros. Yhteensä koko aineistosta 27 % teksti sisälsi enemmän tietoa, 33 % taas piirros. Otokoko on kuitenkin liian pieni, jotta prosentuaalinen ero olisi merkittävä.

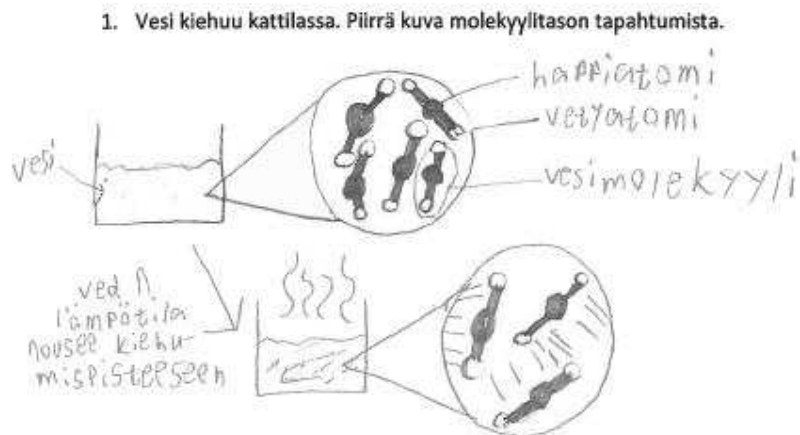
Kun yliopisto-otosta (41 kpl) ja lukio-otosta (43 kpl) tarkasteltiin erikseen, ikäluokissa on havaittavissa pieniä eroja. Yliopisto-otoksessa vastaavuudeltaan 2-luokkaan kuuluvissa lomakkeissa ei voi päätellä kumpi vastaustapa sisälsi enemmän tietoa. 1-luokkaan kuuluvissa lomakkeissa taas piirrokset sisälsivät selvästi enemmän tietoa. Lukio-otoksessa taas sekä 2- että 1-luokkaan kuuluvista lomakkeista suurimmassa osassa teksti sisälsi enemmän tietoa. Tämä voi johtua siitä, että yliopisto-opiskelijat ovat nähneet opintojensa aikana enemmän kuvallisia esityksiä ja ovat tottuneempia käyttämään niitä kuin lukiolaiset. Tulos myös myötäilee Kozman ja Russelin tutkimusta, jossa ammattikemistien havaittiin käyttävän opiskelijoita enemmän

visuaalisia representaatioita ryhmätyöskentelyssään.¹⁰ Jos opiskelija on suorittanut yliopisto-opinnoissaan useita kursseja kemiaa, hän on oletettavasti nähnyt useampia kemiallisia visualisointeja kuin lukio-opiskelija, ja on siten lukiolaista lähempänä kemian ammattilaista. Toisaalta jokaiselta kemian kurssilta voi löytyä opiskelijoita, joille kurssi on ensimmäinen kurssi kemiaa yliopisto-opintojen aikana.

8.3. Paljastaako piirros sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule tekstistä ilmi?

Sellaisia papereita, joissa piirros paljasti tekstistä huomaamatta jääviä virhekäsityksiä, oli yhteensä 13 kappaletta. Prosentuaalinen osuus koko aineistosta on 15 %.

Piirrosten paljastamat virhekäsitykset liittyivät lähinnä aineen rakenteeseen ja sitoutumiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi kokeita tarkistaville opettajille tutut rakenteellisesti käänteinen vesi ja lineaarinen vesi.

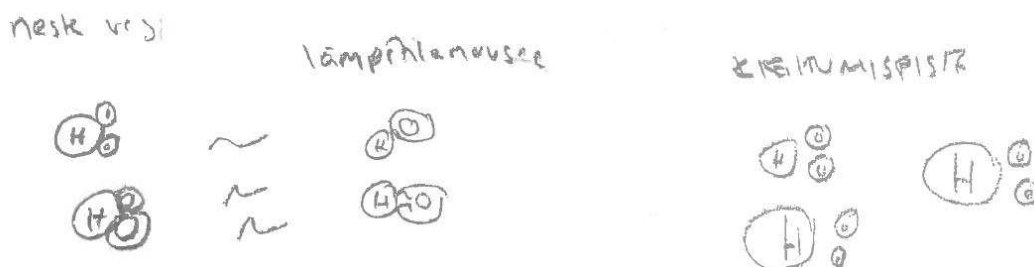


Kuva 17: Lomake nro 80 (lukio)

Oppilas on piirtänyt vesimolekyylin lineaariseksi ja käyttänyt molekyylin mallintamiseen pallo-tikkumallia (kuva 17). Pallo-tikkumalleille on tyypillistä, että eri atomit erotetaan toisistaan pallon värin perusteella. Oppilas on mukaillut tätä käytäntöä piirtämällä happiatomit tummemmiksi kuin vetyatomit. Hän on myös nimennyt atomit kuvaansa viitaten. Lineaarinen vesimolekyyli sen sijaan ei ole pallo-tikkumallin

mukainen, sillä fyysisissä pallo-tikkumalliin perustuvissa mallinnuspaketeissa lineaarista vesimolekyyliä ei pysty rakentamaan. Myöskään oppikirjojen kuvissa lineaarista vesimolekyyliä ei yleensä esiinny.

2. Vesi kiehuu kattilassa. Piirrä kuva molekyylitason tapahtumista.



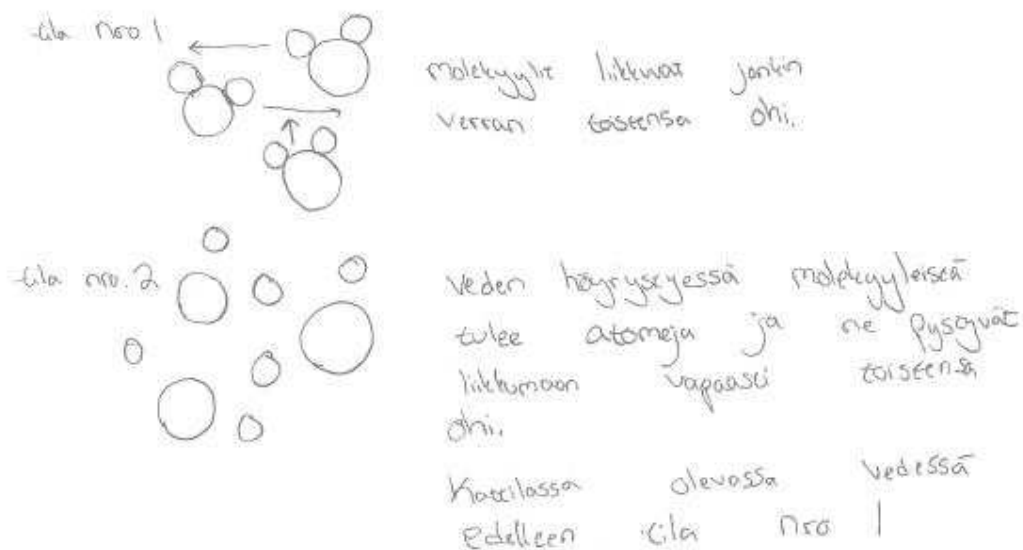
Kuva 18: Lomake nro 46 (lukio)

Rakenteellisesti käänneinen vesimolekyyli koostuu oppilaan piirroksessa kahdesta happiatomista ja yhdestä vetyatomista (kuva 18). Atomit on nimetty väärin päin. Oppilaan piirros muistuttaa oppikirjoissa paljon käytettyjä kalottimalleja. Kalottimallissa, samoin kuin pallo-tikkumallissa, atomit erotetaan toisistaan värin perusteella. Tämä on kenties vaikeuttanut oppilaan mallin oikeaa tulkintaa. Toisaalta piirroksista nähdään, että oppilas ymmärtää molekyylin sisäisten sidosten katkeavan veden kiehuessa, joten oppilaan kemiallinen osaaminen on oletettavasti yleisesti heikkoa.

Nämä virhekäsitykset ovat luonteeltaan sellaisia, että ne eivät näy kirjallisissa vastauksissa. Oppilaan kirjoittaessa paperille sanan vesimolekyyli, opettaja ei voi tietää millaiseksi oppilas vesimolekyylin mielessään visualisoi. Kirjallisissa vastauksissa ei pyydetä kuvailemaan molekyylimallin sidoskulmia tai rakennekaavaa, eikä tämä mielekästä olisikaan. Toisaalta, jos virhekäsitystä lineaarisesta vesimolekyylistä ei korjata, oppilaalla tulee olemaan vaikeuksia ymmärtää esimerkiksi poolisuutta. Käänneinen vesi voi puolestaan olla pelkkä huolimattomuusvirhe, mutta myös näihin oppilaan huomio on hyvä kiinnittää ajoissa.

Myös aiemmissa tutkimuksissa esiintyneitä virhekäsityksiä kiehumisen molekyylitason tapahtumista tuli esille tämän tutkimusaineiston piirroksissa. Tällainen oli veden hajoaminen atomeiksi höyrystyessään.

2. Vesi kiehuu kattilassa. Piirrä kuva molekyylitason tapahtumista.



Kuva 19: Lomake nro 65 (lukio)

Tässä lomakkeessa, samoin kuin edellisessä, oppilas uskoo selvästi molekyylien sisäisten sidosten katkeavan veden kiehuessa (kuva19). Kuvan viereen oppilas on kirjoittanut kuin kuvailuna piirtämästään:

”Veden höyrystyessä molekyyleistä tulee atomeja...”

Kuitenkin sanallisessa tehtävässä oppilas kuvailee kiehumista eri sanoin (kuva20):

1. Vesi kiehuu kattilassa. Selitä omin sanoin mitä molekyylitasolla tapahtuu.

Veden ollessa kattilassa molekyylit pysyvät
liikkumaan jatkuvasti verran toisiinsa ohi.
Veden alkaessa kiehua syntyy
vesihöyryä, jossa molekyylit pysyvät
liikkumaan vapaasti, mutta kattilassa
kuplivassa vedessä ovat molekyylit
Edelleen vain hieman toisiinsa ohi.

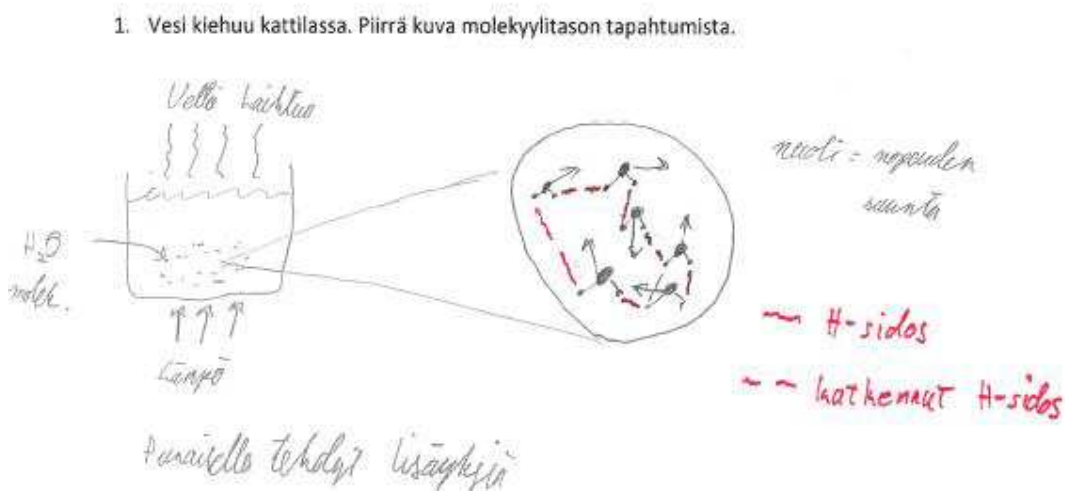
Kuva 20: Lomake nro 65 (lukio)

”Veden alkaessa kiehua syntyy vesihöyryä, jossa molekyylit pystyvät liikkumaan vapaasti...”

Vaikuttaisi siltä, että oppilas uskoo kiehumisessa ensin syntyvän vesihöyryä, jossa on vesimolekyylejä, jotka höyryssä sitten hajoavat atomeiksi. Sanallisesta selityksestä tämä virhekäsitys ei näy.

Myös virheellinen molekyyliden välinen sidos kuvattuna joko happipäiden tai vetypäiden välille oli havaittavissa tutkimusaineistosta. Piirroksessa näkyvä virheellinen sidos saatettiin kuitenkin tekstissä nimetä vetysidokseksi. Kirjallisen vastauksen perusteella opettaja ei siis voisi huomata virhekäsityksen olemassa oloa. Tällainen virheellinen vetysidos löytyi jopa yliopisto-otoksesta, mikä osoittaa virhekäsitysten jäävän oikaisemattomina elämään hyvinkin pitkään.

Kuvan 21 yliopisto-opiskelijan lomakkeessa vesimolekyylit on kuvattu pallo-tikkumallia mukaillen. Molekyylistä ei ole kuitenkaan nimetty, mistä alkuaineista se koostuu. Erilaiset atomit on esitetty vain piirtämällä ne erikokoisiksi. Kokoeroista kuitenkin voidaan päätellä, että vetysidos on piirretty molekyyliden kahden samanlaisen pään välille. Puoleensa vetäviä vuorovaikutuksia ei ole ymmärretty oikein. Tekstissä kuitenkin termiä vetysidos käytetään näennäisesti oikein (kuva 22).



Kuva 21: Lomake nro 5 (yliopisto)

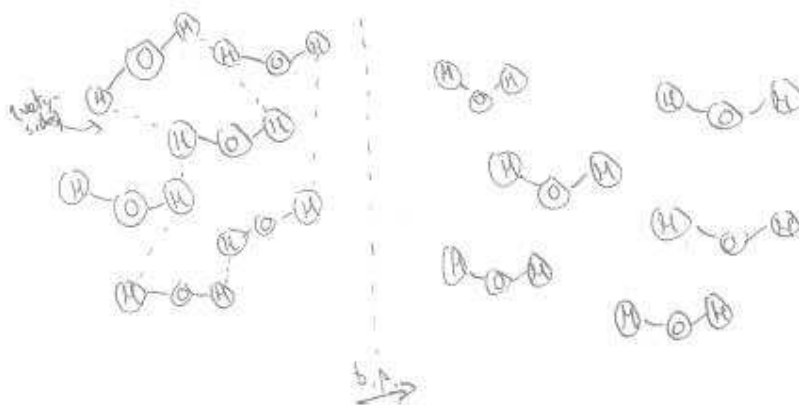
2. Vesi kiehuu kattilassa. Selitä omin sanoin mitä molekyylitasolla tapahtuu.

Kun vesi kiehuu, siihen tulee niin paljon lisää (lämpö)energiaa, että vesimolekyylien väliset vetysidokset alkavat katkeilla. Tästä vettä alkaa haahkumaan ~~...~~ **порча мин.**

Kuva 22: Lomake nro 5 (yliopisto)

”Kun vesi kiehuu, siihen tulee niin paljon lisää (lämpö)energiaa, että vesimolekyylien väliset vetysidokset alkavat katkeilla.”

1. Vesi kiehuu kattilassa. Piirrä kuva molekyylitason tapahtumista.



Kuva 23: Lomake nro 7 (yliopisto)

Tässä lomakkeessa vesimolekyyli on kuvattu edellisen tavoin käyttäen pallo-tikkumallia (kuva23). Atomit ovat tällä kertaa kooltaan liki samankokoisia, mutta ne on nimetty alkuaineen kirjainsymbolilla. Sanallisessa selityksessä kiehumista kuvataan seuraavasti (kuva 24):

2. Vesi kiehuu kattilassa. Selitä omin sanoin mitä molekyylitasolla tapahtuu.

Ennen kiehumista vesi on nestettä. Molekyylit ovat "kiinni" toisissaan. Kiehumisessa molekyylien liikenopeus kasvaa, sidoksia katkeaa ja ne pääsevät liikkumaan kattilan tilavuudessa paremmin. Osa kaasumolekyyleistä törmäsi kattilan kumoitin ja tiivistyy takaisin nesteeksi. Jokainen kaasumolekyyli voi liikkua toisistaan ripumatta törmäyksiä lukuun ottamatta.

Kuva 24: Lomake nro 7 (yliopisto)

"Molekyylit ovat "kiinni" toisissaan. Kiehumisessa molekyylien liikenopeus kasvaa, sidoksia katkeaa ja ne pääsevät liikkumaan kattilan tilavuudessa paremmin."

Selityksessä mainitaan, että kiehuessa sidoksia katkeaa. Näitä sidoksia ei kuitenkaan tarkenneta molekyylin välisiksi. Piirroksessa sen sijaan näkyy, että olomuodon muutos on ymmärretty oikein molekyylin välisten vuorovaikutusten heikkenemiseksi. Molekyylin välinen sidos kuitenkin kuvataan väärin vesimolekyylin vetypäiden välille. Termissä vetysidos ei mainita, osallistuuko vetysidokseen yksi vai useampi vetyatomi. Tämä voi osaltaan olla syynä virhekäsitykseen sidoksesta molekyylin vetypäiden välillä. Vesimolekyylin väliseen sidokseen liittyi myös virhekäsityksiä, joiden mukaan molekyylin vetypäät eivät osallistu sitoutumiseen lainkaan.

Kuvassa 25 esiintyvän lomakkeen täyttäjällä on maininnut piirtäneensä tehtävänannon vastaisesti kuvan ensin. Selitykseksi on annettu:

"...koska keksin ajatuksen vasta mallia piirtäessä."

Vastaja on siis selvästi käyttänyt piirrettyä mallia ajattelunsa apuna. Piirroksessa vesimolekyylin kuvaamiseen on käytetty kalottimallia, jossa atomit on nimetty alkuainesymboleillaan. Molekyylit on esitetty poolisina ja niiden positiiviset ja negatiiviset osittaisvaraukset on piirretty oikein. Kuvassa negatiivisesti osittaisvarautuneet happipäät ovat kääntyneenä toisiaan kohti ja molekyylien viereen on piirretty nuolia happipäistä pois päin. Nuolet voisivat tarkoittaa happipäiden hylkivän toisiaan. Tekstissä kuitenkin kiehumista selitetään:

"Pooliset heikot sidokset katkeavat."

1. Vesi kiehuu kattilassa. Selitä omin sanoin mitä molekyylitasolla tapahtuu.

osa vedestä ^{höyrystöä} ~~tehdään~~ vesihöyryksi.
 molekyylit liikkuvat enemmän kuin
 vedessä joka ei kiehu.

Poikisat heikot sidokset katkeavat.

lisätty
 kuvan,
 piirtämisen
 jälkeen.

2. Vesi kiehuu kattilassa. Piirrä kuva molekyylitason tapahtumista.

Katka
 tekisin
 opetuksen
 vasta mallin
 piirrettä.

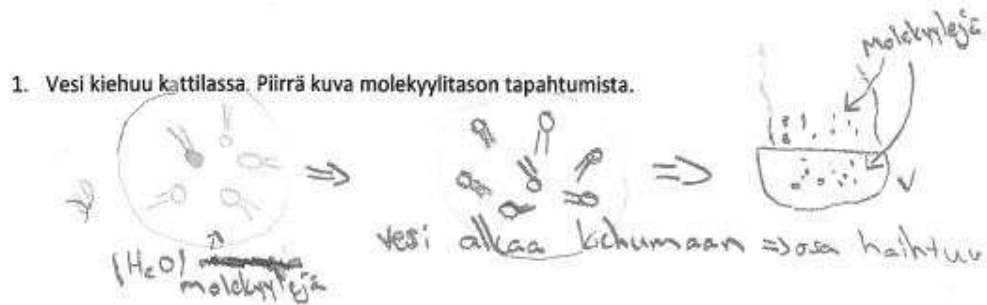
Kuva 25: Lomake nro 45 (lukio)

Nuolten voidaan siis tulkita kuvaavan poolisen sidoksen katkeamista ja molekyylien erkanemista sidoksen katkeamisen tuloksena. Tällöin tunnistetaan kuitenkin ajatusvirhe, jonka mukaan vesimolekyylin negatiivisesti osittaisvarautuneet happipäät ovat alun perin vetäneet toisiaan puoleensa, muodostaen sidoksen molekyylien välille. Teksti itsessään ei ole virheellinen, vetysidos on luonteeltaan poolinen ja opettaja voisi tulkita vain termin unohtuneen. Kuva kuitenkin paljastaa, että sähköiset vuorovaikutukset ovat vielä heikolla osaamisen tasolla.

Piirrostehtävistä on siis tulosten perusteella apua erityisesti molekyylien rakenneominaisuuksia ja reaktiomekaniikkaa koskevien virhekäsitysten huomaamisessa. Lisäksi löytyi tekstivirheitä, jotka piirroksen avulla saattoi kuitenkin tulkita huolimattomuusvirheiksi. Esimerkiksi alla olevassa kuvassa 26 lomakkeessa numero 55 mainitaan, että

”...osa höyrystyy ja osa atomeista hajaantuu... muuttuu kaasuksi...”

Piirroksessa kattilasta pakenevat pallot on kuitenkin nimetty molekyyleiksi, joten tekstissä mainituilla atomeilla on ilmeisesti tarkoitettu molekyyliä. On siis selvää, että tekstin täydennyksenä piirros antaa opettajalle paremmat mahdollisuudet saada kokonaisvaltainen kuva oppilaan ymmärryksestä ja näin myös saavuttaa oikeudenmukaisempi arviointi.



2. Vesi kiehuu kattilassa. Selitä omin sanoin mitä molekyyli-tasolla tapahtuu.

~~Atomeista~~ Molekyylit ovat ensin varsin hajandisesti liikkeessä => vesi alkaa kiehumään => osa höyrystyy ja osa atomeista hajaantuvat => muuttuu kaasuksi (g)

Kuva 26: Lomake nro 55 (lukio)

8.4. Paljastaako teksti sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule piirroksesta ilmi?

Sellaisia lappuja, joissa teksti paljasti kuvassa näkymättömiä virhekäsityksiä, oli yhteensä 10 kappaletta. Vastaava prosentuaalinen osuus koko aineistosta on 12 %. Näissä virhekäsitykset liittyivät itse kiehumistapahtumaan, esimerkiksi siihen mitä ja miksi kiehuessa höyrystyy. Esimerkkejä virhekäsityksistä olivat:

- kiehuminen tapahtuu spontaanisti
- ilmanpaine ei enää kiehuessa pidä molekyyliä kattilassa
- ilma on vesihöyryä tiheämpää
- lämpöenergia vapautuu höyrynä ja aiheuttaa veden kuplintaa

Vaikka pelkästään tekstistä ilmi käyviä virhekäsityksiä oli piirroksia vähemmän, eron ei kuitenkaan näin pienellä otoksella voi väittää olevan merkittävä. Teksteistä löytyneet virhekäsitykset kertovat epäselvyyksistä kiehumisen syihin liittyen. Tekstin arvoa ei voikaan korvata pelkällä piirrostehtävällä, vaan niitä tulisi käyttää rinnakkain täydentämään toisiaan.

8.5. Onko vastaustapojen tekojärjestyksellä merkitystä?

Vastauksien oikeellisuutta arvioidessa vastaukset pisteytettiin siten, että maksimipistemäärä kustakin vastauksesta oli kahdeksan pistettä. Jokaisesta vastauksessa esiintyneestä halutusta asiasta annettiin yksi piste ja jokaisesta vastauksessa esiintyvistä virheistä vähennettiin yksi piste. Jokaisen lomakkeen kokonaisarvosana määriteltiin siten, että teksti ja piirros pisteytettiin erikseen ja laskettiin pisteiden keskiarvo. Näitä keskiarvoja käyttäen määritettiin edelleen A- ja B-lomakkeiden keskiarvot koko aineistossa. Arvosanat on esitetty taulukossa 6.

Pisteytykset on raportoitu tarkemmin liitteessä 4. Koko aineistossa B-lomakkeet saivat hieman A-lomakkeita parempia pisteitä. Lukioaineistossa tulos oli päinvastainen, B-lomakkeet saivat keskimäärin huonompia pisteitä kuin A-lomakkeet. Yliopisto-otoksessa B-lomakkeet saivat parempia pisteitä. Tulokset eivät tue alkuperäistä hypoteesia, sillä näyttäisi, että ensin kuvan piirtäneet antavat hieman parempia

vastauksia, kuin ensin sanallisen selostuksen kirjoittaneet. Erot pisteiden välillä ovat kuitenkin pieniä, joten ei näytä siltä, että piirroksen ja tekstin tekojärjestyksellä olisi ratkaisevaa merkitystä vastauksen oikeellisuuden kannalta. Odotettavaa oli, että yliopistolomakkeet saivat keskimäärin parempia arvosanoja kuin lukiolomakkeet.

Taulukko 6: Aineiston 1 pisteet

Koko aineisto	Arvosanojen keskiarvo
A-lomakkeet	3,4
B-lomakkeet	4,0
Lukiot	
A-lomakkeet	2,9
B-lomakkeet	2,7
Yliopisto	
A-lomakkeet	4,9
B-lomakkeet	5,0

9. Lisätutkimus

Alkuperäisen tutkimuksen tulosten arviointi herätti ajatuksen lisätutkimuksesta. Alkuperäisen tutkimuksen aineistossa erottui kaksi tapaa visuaalisen representaation esittämiseen veden kiehumisen yhteydessä. Osassa lomakkeista kiehumisen tapahtumat oli mallinnettu yhdellä kuvalla, osassa taas useamman kuvan sarjana. Tästä huomiosta heräsi ajatus kiehumisen mallintamisesta useamman välivaiheen kuvasarjana. Suoritettiin viides tapaustutkimus, johon osallistui 32 opiskelijaa Jyväskylän yliopiston kemian aineenopettajan syventäviin opintoihin kuuluvalla kurssilla. Heistä 25 (78 %) ilmoitti suorittaneensa kemiasta vähintään perusopinnot. Lisäksi 22 (69 %) ilmoitti opiskelevansa pääaineenaan jotain muuta kuin kemiaa. Aineistosta tutkittiin jälleen tutkimuskysymyksiä 1a ja 1b. Koska ilmeisesti piirroksen ja tekstin tekojärjestyksellä ei

ole väliä vastauksien oikeellisuuden kannalta, päätettiin jättää tutkimuskysymys 2 pois lisätutkimuksesta. Sen sijaan haluttiin tutkia, missä vastaavuusluokassa vastaukset saivat parhaimmat pisteet. Vastaavatko laadukkaita vastauksia tuottavan oppilaan teksti ja kuva toisiaan paremmin kuin huonompia vastauksia tuottavalla oppilaalla? Hypoteesina oli, että paremman vastaavuusluokan lomakkeet saisivat parempia pisteitä, kuin huonomman vastaavuusluokan lomakkeet. Laadittiin siis uusi tutkimuskysymys:

4. Minkä vastaavuusluokan lomakkeet saavat keskimäärin parhaat pisteet?

Koska tutkimuskysymys 2 jätettiin pois, laadittiin uusi tutkimuslomake. Tehtävänä oli edelleen piirtää ja kirjoittaa veden kiehumiseen liittyvistä molekyyli-tason tapahtumista, mutta nyt osallistujat piirsivät viiden kuvan sarjakuvan tapahtumista ja kirjoittivat selvityksen kuvasta kuvan viereen. Kuva ja teksti liitetään näin tehtävänannossa selvemmin toisiinsa. Tutkimuskysymyksessä 1 keskityttiin siihen, saadaanko tällaisella tehtävänannolla paremmin toisiaan vastaavia tuotoksia, kuin jos tekstin kirjoittaminen ja kuvan piirtäminen esitetään erillisinä tehtävinä, kuten edellisessä tutkimuksessa. Uusi tehtävälomake on liitteenä 4. Lisätutkimus suoritettiin Jyväskylän yliopistossa kemian aineenopettajaopiskelijoille tarkoitettulla syventävällä kurssilla syksyllä 2012. Osallistujat saivat aluksi suullisen ohjeistuksen, jonka jälkeen aikaa lomakkeen täyttämiseen oli noin 15 minuuttia. Lomakkeet arvioitiin kuten aiemmassa tutkimuksessa.

9.1. Vastaavatko kuva ja teksti toisiaan?

Vain kuudessa lomakkeessa kuva ja teksti vastasivat toisiaan täydellisesti. Tämä vastaa 19 % koko aineistosta. Koko aineiston vastaavuusluokat on esitelty taulukossa 7.

Taulukko 7: Aineiston 2 vastaavuusluokat

Vastaavuusluokka	3	2a	2b	2c	1a	1b	1c	0	yhteensä
kpl yhteensä	6	4	0	2	8	12	0	0	32
%	19	12	0	6	25	38	0	0	100
kpl, pääaine kemia	2	2	0	0	1	2	0	0	7
kpl, pääaine muu	4	2	0	2	7	10	0	0	25

Tulos vahvistaa aiemmasta aineistosta saatuja tuloksia. Tekstin ja kuvan sisältämän tiedon määrä näyttäisi olevan eri, vaikka teksti liitettäisiin kuvaan läheisemmin. Täysin toisiaan vastaavia vastauksia oli jopa prosentuaalisesti vähemmän kuin aiemmassa tutkimuksessa. Tämä voi johtua siitä, että osallistujat keskittyivät kuvasarjan välittämään tietoon ja kokivat sanallisen selityksen vain kuvasarjan tukena. Tällöin tekstin sisältämän tiedon määrään ei ole kiinnitetty yhtä suurta huomiota, kuin kuvaan.

Sellaisia vastauksia, joissa teksti ja piirros eivät vastanneet toisiaan lainkaan, ei tässä aineistossa ollut. Tässä tapauksessa kuvan ja tekstin yhteen liittäminen on voinut vaikuttaa positiivisesti. Tehtävän annossa on nimenomaan pyydetty sanallista selostusta kuvan tapahtumista, jolloin osallistuja luultavasti kirjoittaa kuvastaan, eikä siihen liittymättömistä asioista.

Kun verrattiin pääaineenaan kemiaa opiskelevien ja sivuaineenaan kemiaa opiskelevien osallistujien lomakkeiden vastaavuusluokkia, huomattiin eroja vastaavuusluokkien jakautumisessa. Pääaineenaan kemiaa opiskelevien vastaukset jakautuvat tasaisemmin eri vastaavuusluokkiin. Sivuaineenaan kemiaa opiskelevien lomakkeista suhteellisesti useampi oli vastaavuusluokaltaan alhaisempi. Kemian pääaineopiskelijat tuottivat siis keskimäärin vastaavuusluokaltaan parempia vastauksia. Kurssi, jolla tutkimus suoritettiin, käydään kemian pääaineopinnoissa yleensä opintojen loppupuolella. Sivuaineopiskelija taas voi suorittaa kurssin koska vain. Aineistoa tutkittaessa huomattiin, että sivuaineenaan kemiaa opiskelevien suoritettujen opintojen kemiallisuus vaihtelivat välillä 10 - 50. Ne lomakkeet, jossa pääainetta ei mainittu (2 kpl), luokiteltiin kemiaa sivuaineenaan lukevien joukkoon suoritettujen kemian opintojen perusteella. Sivuaineopiskelijoiden joukossa on siis todennäköisesti enemmän kemiaa heikosti

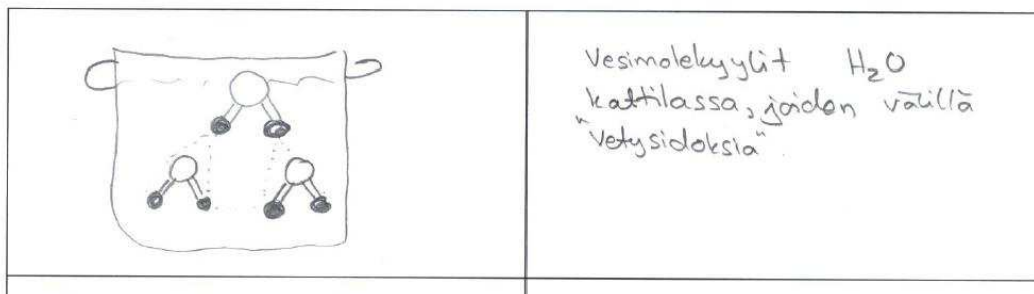
osaavia, kuin pääaineopiskelijoiden joukossa. Tämä voi osaltaan selittää sen, että sivuaineopiskelijoiden lomakkeissa useampi sijoittui alhaisiin vastaavuusluokkiin.

9.2 Kumpi vastaustavoista sisälsi enemmän tietoa?

Edellisen luvun taulukosta nähdään, että niitä lomakkeita, joissa teksti sisälsi enemmän tietoa kuin kuva, oli yhtä monta kuin lomakkeita, joissa kuva sisälsi enemmän tietoa kuin teksti. Vastaavuusluokkaan 2 kuuluvissa lomakkeissa teksti näyttäisi jälleen sisältävän enemmän tietoa, vastaavuusluokassa 1 taas kuva. Nämä tulokset ovat yhteneväisiä aiemman tutkimuksen tulosten kanssa. Näyttäisi siis siltä, että mitä enemmän vastaukset eroavat toisistaan, sitä todennäköisemmin kuva sisältää tekstiä enemmän tietoa.

9.3. Paljastaako piirros sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule tekstistä ilmi?

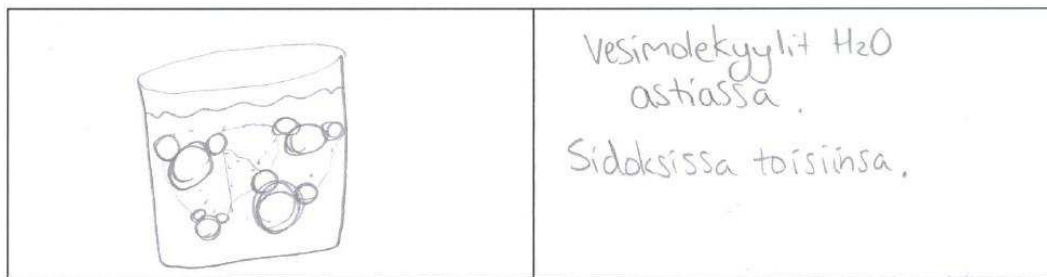
Sellaisia lomakkeita, joissa piirros paljasti tekstistä huomaamatta jääviä virhekäsityksiä, oli yhteensä viisi kappaletta. Prosentuaalinen osuus koko aineistosta oli 16 %. Nämä virhekäsitykset liittyivät jälleen aineen rakenteeseen ja sitoutumiseen, tarkemmin sanottuna vetysidokseen ja veden hajoamiseen alkuaineikseen.



Kuva 27: Lomake nro 100

Lomakkeessa numero 100 on käytetty pallotikkumallia. Vastaja mainitsee vesimolekyylien väliset vetysidokset (kuva 27). Kuvassa kuitenkin nähdään, että

vetysidokset on piirretty katkoviivaksi vesimolekyylien vetypäiden välille. Tämän kaltainen virhekäsitys esiintyi myös aiemman tutkimuksen aineistossa.



Kuva 28: Lomake nro 90

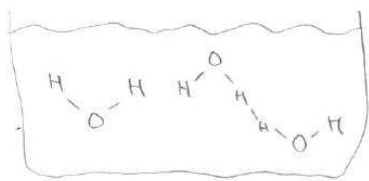
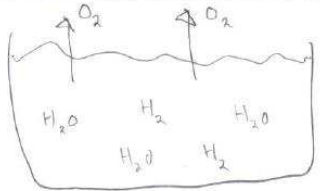
Lomakkeessa numero 90 ei sanallisesti mainita vetysidosta, molekyylien selitetään vain olevan sidoksissa toisiinsa (kuva 28). Kuvassa on piirretty kalottimallilla esitettyjen vesimolekyylien välille vetysidoksen kaltaisia vuorovaikutuksia, mutta näyttäisi, että vastaaja uskoo yhden vetypäähän muodostavan useampia vetysidoksia.

Kuvan 29 lomakkeessa vastaajan käsitys molekyyleistä on ilmeisesti vajavaista. Molekyylien kuvaamiseen on käytetty kalottimallia. Sanallisessa selostuksessa puhutaan molekyylien vapaasta liikkumisesta, mutta kuvasta nähdään kuinka vesimolekyylit hajoavat alkuaineikseen. Vastaaja oli käynyt kemian peruskurssit 1-3, joten tämän kaltainen virhekäsitys molekyyleistä vaikuttaa huolestuttavalta.

Kuvan 30 lomakkeessa kuvaan on piirretty nestemäiseen veteen vetymolekyylijä rakennekaavoin mallinnettuna. Sanallisessa selityksessä mainitaan happea vapautuvan, kun vesi kiehuu. Maininta ei ole täysin väärä, sillä hapen liukoisuus veteen vähenee veden lämpötilan kohotessa. Tällöin veteen liuennutta happea vapautuu ympäristöön. Kuvaan jäivät vetymolekyylit kuitenkin kielivät siitä, että happea uskotaan vapautuvan, koska vesimolekyylijä hajoaa lämmitettäessä. Myös käytetyn representaation muuttuminen kuvien välillä rakennekaavoista molekyylikaavoihin on vihje siitä, että vastaaja ei täysin ymmärrä veden kiehuessa tapahtuvia sidosten katkeamisia.

	<p>vesi normaaliolosuhteissa</p>
	<p>vesi alkaa lämmitä, molekyylit alkaa liikkua</p>
	<p>vesi kiehuu, molekyylit liikkuvat vapaasti</p>

Kuva 29: Lomake nro 106

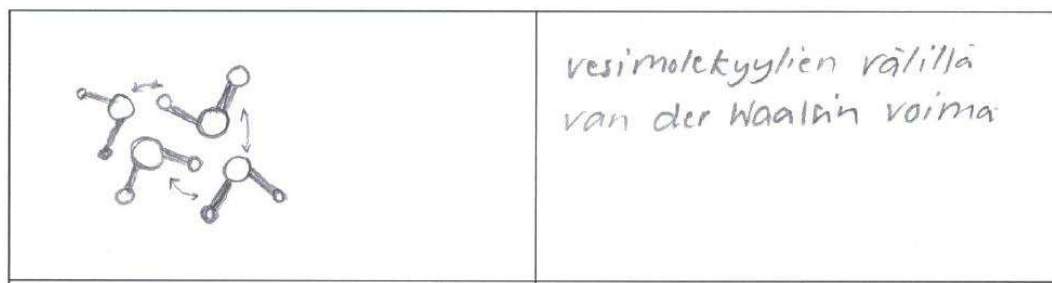
	<p>vetysidokset alkaa hajota</p>
	<p>Happea vapautuu</p>

Kuva 30: Lomake nro 92

Kuvien paljastamat virhekäsitykset olivat hyvin samankaltaisia kuin aiemmassa tutkimuksessa. Tämä viittaa siihen, että kuvien käytöstä on hyötyä virhekäsitysten huomaamisessa myös korkeammilla opiskeluasteilla.

9.4. Paljastaako teksti sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule piirroksesta ilmi?

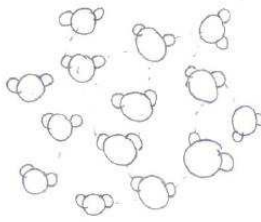
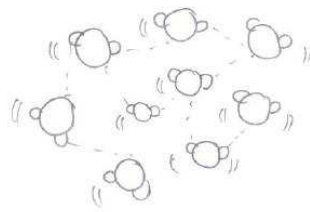
Sellaisia lomakkeita, joissa teksti paljasti piirroksessa huomaamatta jäävän virhekäsityksen, oli yhteensä 10 kappaletta. Lukumäärä vastaa 31 % koko aineistosta. Nämä virhekäsitykset koskivat molekyylien välisten sidosten tunnistamista sekä molekyylien liikettä.



Kuva 31: Lomake nro 115

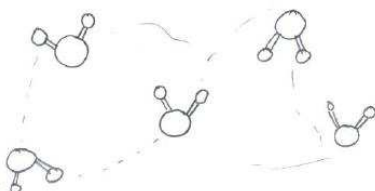
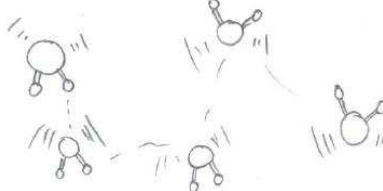
Molekyylien välinen vuorovaikutus nimettiin kahdessa lomakkeessa väärin. Kuvan 31 lomakkeessa voisi piirroksessa näkyvien nuolien tulkita kuvaava vetysidoksen kaltaisia vuorovaikutuksia, sillä nuolet näyttävät olevan tikkupallomallin mukaan kuvattujen molekyylien happi- ja vetypäiden välillä. Tekstissä kuitenkin mainitaan molekyylien välillä olevan van der Waalsin voimia, vetysidoksia ei mainita.

Useissa lomakkeissa mainittiin vesimolekyylien alkavan liikkua, kun vettä lämmitetään. Tosiasiassa molekyylit liikkuvat kaikissa lämpötiloissa, niiden liike vain on sitä kiivaampaa, mitä suurempi aineen lämpötila on. Kuvan 32 lomakkeessa kyseinen virhekäsitys voisi jäädä kuvasta huomaamatta, sillä toiseen kuvaan lisätyt liikettä kuvaavat viivat voisi tulkita tapana kuvata liikkeen kiihtymistä. Kuvan 32 kaltainen representaatio vastaa paljon myös oppikirjoissa usein nähtäviä kuvia molekyylien liikkeestä veden olomuodon muutoksissa.^{43,44} Alkukuvaan viivoja ei kenties ole piirretty, jotta ero olisi selvempi. Tekstistä virhekäsitys tulee selvästi esiin.

	<p>Aluksi kun vesi on nestemäistä molek on sitoutunut toisiinsa vetysidoksin. Molekyylit "lähellä" toisiaan</p>
	<p>Esimerkiksi kattilaan tuodaan lämpöä, molekyylit alkavat liikkumaan käyttäen enemmän tilaa</p>

Kuva 32: Lomake nro 107

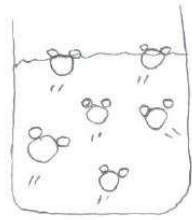
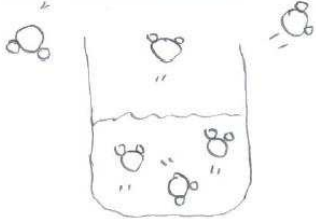
"Esimerkiksi kattilaan tuodaan lämpöä, molekyylit alkavat liikkumaan käyttäen enemmän tilaa." (kuva 31)

	<p>Vesi molekyylit "leijuvat" melko vapaasti. Molekyylit vuorovaikuttavat toistensa kanssa.</p>
	<p>Kun vettä lämmitetään, molekyylit alkavat värähdellä ja liikkua.</p>

Kuva 33: Lomake nro 85

"Kun vettä lämmitetään, molekyylit alkavat värähdellä ja liikkua." (kuva 33)

Myös kuvan 33 lomakkeessa numero 85 edellä mainitun kaltainen tulkinta olisi mahdollinen. Erityisesti osan alkukuvaan piirretyistä vetysidoksista voisi käsittää kuvaavan molekyylien liikettä. Toinen molekyylien liikkeeseen liittyvä virhekäsitys näkyy seuraavassa lomakkeessa (kuva 34).

	<p>Kiehumispisteessä molekyylit ovat nopeassa liikkeessä ja osa molekyyleistä pyrkii astian ulkopuolelle</p>
	<p>Lopulta molekyylit ovat niin nopeassa liikkeessä ja poutkoilevat niin, etteivät ne enää mahdu astiaan vaan liikkuvat kaasuna sen ulkopuolelle</p>

Kuva 34: Lomake nro 116

Tekstissä mainitaan, että molekyylien liike kasvaa vettä lämmitettäessä lopulta niin kiivaaksi, että molekyylit eivät mahdu kattilaan ja siirtyvät siksi kaasuna kattilan ulkopuolelle. Sama virhekäsitys esiintyi useammassa lomakkeessa. Tämän virhekäsityksen aiheuttajaa olisi syytä tutkia, sillä ajatus kiehumisesta pelkästään molekyylien liikkeen lisääntymisenä jättää kokonaan tarkastelematta molekyylien väliset vetovoimat. Kyseinen vastaaja oli opiskellut kemiaa noin 40 opintopisteen verran, siis enemmän kuin peruskurssit. Silti hän ei olomuotomuutosta miettiessään tullut ajatelleeksi molekyylien välisiä sidoksia.

Aineistosta tehtyjen havaintojen perusteella voidaan väittää, että kemialliset virhekäsitykset ovat ongelma myös pitkälle kemian opinnoissaan edenneille. Tulosten perusteella useiden representaatiomenetelmien rinnakkaisesta käytöstä on hyötyä näiden virhekäsitysten paljastamisessa. Tulokset vahvistavat aiemmasta tutkimuksesta tehtyjä havaintoja.

9.5 Minkä vastaavuusluokan lomakkeet saavat keskimäärin parhaat pisteet?

Näyttäisi siltä, että ne lomakkeet, joissa teksti sisältää enemmän tietoa (a-luokat) saivat keskimäärin parhaat pisteet. Tulokset on esitelty kokonaisuudessaan taulukossa 8.

Taulukko 8: Aineiston 2 pisteet

Vastaavuusluokka	3	2a	2b	2c	1a	1b	1c	0	Koko aineisto
Tekstin keskiarvo	4,2	5,3	-	1,5	6,4	3,8	-	-	4,5
Kuvan keskiarvo	4,7	4,8	-	2,0	4,5	5,8	-	-	4,8
Yhteinen keskiarvo	4,4	5,0	-	1,8	5,4	4,8	-	-	4,7

Koska vastaavuusluokkiin 2b, 1c ja 0 kuuluvia lomakkeita ei ollut, näiden luokkien saamia pisteitä ei voitu tarkastella. Huomattiin kuitenkin, että vastaavuusluokkaan 2c kuuluneet lomakkeet saivat huomattavasti huonompia pisteitä verrattuna muuhun aineistoon. Muiden vastaavuusluokkien pisteet olivat verrattain lähellä toisiaan ja koko aineiston keskiarvoa. Tulokset eivät vahvista alkuperäistä hypoteesia. Sen sijaan näyttäisi siltä, että piirros ja teksti voivat poiketa toisistaan vastaajan tasosta riippumatta. Tämä rohkaisee entisestään käyttämään piirtämistä ja kirjoittamista rinnakkaisina vastaustapoina.

10. Pohdintaa

Vastaajat käyttivät representaatioissaan samoja malleja kuin oppikirjat kuvissaan. Tämä on ymmärrettävää, sillä tehtävässä ei pyydetty kehittämään uutta mallia. Vastaaja valikoi siis tietorakenteestaan tehtävään sopivan mallin ja hyödyntää sitä.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, ettei tekojärjestyksellä kuvan ja tekstin tuottamisessa ole lopputuloksen kannalta merkitystä. Piirros ja teksti eivät kuitenkaan sisällöltään yleensä täysin vastaa toisiaan. Siksi ne täydentävät vastausmuotoina toisiaan, sillä niissä esiintyvät tiedot muodostavat yhdessä täydellisemmän kokonaisuuden kuin kumpikaan yksin. Tulos tukee Ainsworthin havaintoja useiden representaatioiden käytön hyödyistä.⁷ Tämä rohkaisee sisällyttämään enemmän piirustustehtäviä kemian opetukseen. Toisaalta tulokset viittaavat siihen, että oppilaat kaipaavat opastusta ja harjaantumista visuaalisessa mallintamisessa sekä mallinsa arvioinnissa, jotta piirros välittäisi kaiken oppilaan osaamisen.

Piirros näyttäisi sisältävän enemmän tietoa hieman useammin kuin teksti. Tämän tutkimuksen perusteella edellä mainitusta ei kuitenkaan voida tehdä yleistystä, sillä otoskoko on liian pieni. Pikemminkin voidaan päätellä, ettei yhtä vastaustyyppiä voi kohottaa toisen yli, vaan tulos vahvistaa edellisessä kappaleessa esitettyä arviota siitä, että teksti ja piirros ovat arvokkaampia yhdessä kuin yksin.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin paljastaako piirros sellaisia virhekäsityksiä, jotka eivät tule tekstistä ilmi, ja päinvastoin. Tietenkin näiden lisäksi oli sellaisia lomakkeita, joissa sama virhekäsitys näkyi kummassakin vastaustyyppissä. Tällaiset lomakkeet jätettiin tämän tutkimuskysymyksen kohdalla arvioimatta. Ensimmäisessä tutkimuksessa piirroksot paljastivat hieman enemmän virhekäsityksiä kuin teksti, toisessa tutkimuksessa päinvastoin. Sillä, kumpi vastaustapa paljastaa useammin virhekäsityksiä, ei kuitenkaan tämän tutkimuksen kannalta ole merkitystä. Se, että yksi vastaustapa paljastaa virhekäsityksen, joka toisesta jää huomaamatta vahvistaa piirroksen ja tekstin toisiaan täydentävää luonnetta. Piirrostehtävien lisääminen kurssikokeisiin sanallisia ja laskennallisia tehtäviä täydentämään voisi siis vaikuttaa siihen, että koearvosana kuvaisi paremmin oppilaan todellista osaamista. Tutkimuksen perusteella ei näyttäisi olevan suurta merkitystä sillä, kuinka tiiviisti teksti ja piirros liitetään tehtävänannossa toisiinsa.

Edellä mainitut tulokset viittaavat siihen, että kemian opetuksen tulisi nykyistä enemmän hyödyntää itse tuotettua visuaalista representaatiota perinteisten kirjallisten tehtävien rinnalla. Piirrostehtävä yksinään ei kenties kerro oppilaan osaamisesta sen laajemmin kuin kirjoitustehtäväkään, mutta yhdistettyinä ne antavat kokonaisvaltaisemman kuvan oppilaan ymmärryksestä. Lisäksi piirrostehtävät kertovat kirjoitustehtäviin verrattuna oppilaan osaamisen eri osa-alueista ja erityisesti paljastivat väärinkäsityksiä näiltä tietyiltä alueilta. Tässä tutkimuksessa teksteissä keskityttiin

kiehumistapahtuman syihin ja seurauksiin, kuten nesteen lämpenemiseen. Piirroksissa taas näkyi enemmän itse tapahtumaan ja sen mekaniikkaan liittyviä käsityksiä esimerkiksi siitä miten vesimolekyylit ovat sidoksissa toisiinsa tai mitä sidoksia kiehumisessa katkeaa. Tällaista havaintoa voi hyödyntää valitsemalla parhaan vastaustavan kysymykseen nähden. Jos esimerkiksi halutaan selvittää oppilaiden yksityiskohtaista ymmärrystä reaktiomekanismeista, olisi tehokkainta antaa tehtäväksi piirtää reaktio esimerkiksi rakennekaavoin. Tällöin nähdään minkä sidosten oppilas uskoo katkeavan ja minkä sidosten muodostuvan. Toisaalta esimerkiksi molekyylien lämpöliikkeen lisääntyminen sidosten katkeamisen aiheuttajana voi olla piirroksessa vaikeaa mallintaa, joten tekstivastaus saattaa tuottaa parempia tuloksia.

Tutkimusten otoskoot olivat verrattain pieniä, kuten tapaustutkimukselle on tyypillistä, joten prosentuaalisissa osuuksissa vain muutama alkio voi aiheuttaa suuriakin prosentuaalisia eroja. Lisäksi tutkimus käsitteli yhden suomalaisen kaupungin eräiden lukiolaisten ja yliopisto-opiskelijoiden kemian mallinnustaitoja tietyinä ajankohtana. Tästä syystä tässä tutkimuksessa esitetyistä prosenttiluvuista ei voi tehdä yleistäviä johtopäätöksiä. Kaikkia tutkimuksessa esitettyjä kvantitatiivisia tuloksia tulisikin pitää vain viitteitä antavina. Enemmän arvoa on tutkimuksen kvalitatiivisilla tuloksilla, esimerkiksi virhekäsitysten laadulla. Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttaa lisäksi se, että vain yksi ihminen käsitteli ja arvioi aineiston. Aineiston luotettavampi tulkinta olisi saavutettu, mikäli useampi tutkija olisi arvioinut aineiston annettuja arviointiperusteita noudattaen.

Kirjallisuusluettelo

1. P. Tynjälä, *Oppiminen tiedon rakentamisena: Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita*, 1. painos, Tekijä ja Kirjayhtymä Oy, Helsinki, **1999**.
2. L. Vygotski, *Ajattelu ja kieli*, 1. painos, WEILIN+GÖÖS, Espoo, **1982**.
3. Opetushallitus, Lukion opetussuunnitelman perusteet, **2003**, www.oph.fi, luettu 07.11.2012.
4. A. H. Johnstone, Chemistry Teaching: Science or Alchemy? *Journal of Chemical Education*, **1997**, 74, 262-68.

5. A. H. Johnstone, The Development of Chemistry Teaching, A Changing Response to Changing Demand, *Journal of Chemical Education*, **1993**, 70.
6. P. Mahaffy, Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry, *Journal of Chemical Education*, **2006**, 83, 49-55.
7. J. K. Gilbert ja D. Treagust, *Multiple Representations in Chemical Education*. Kirjassa: J. K. Gilbert (toim.), *Models and Modelling in Science Education*, Springer, **2009**.
8. D. L. Gabel, K. V. Samuel ja D. Hunn, Understanding the Particulate Nature of Matter, *Journal of Chemical Education*, **1987**, 64.
9. A. H. Johnstone, Teaching of Chemistry - Logical or Psychological? *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, **2000**, 1, 9-15.
10. J. K. Gilbert, *Visualization in Science Education*, 1. painos, Springer, **2007**.
11. S. Vosniadou, I. Skopeliti ja K. Ikospentaki, Reconsidering the Role of Artifacts in Reasoning: Children's Understanding of the Globe as a Model of the Earth, *Learning and Instruction*, **2005**, 15, 333-351.
12. K. Adbo ja K. S. Taber, Learners' Mental Models of the Particle Nature of Matter: A Study of 16-Year-Old Swedish Science Students, *International Journal of Science Education*, **2009**, 31, 757-786.
13. A. G. Harrison ja D. F. Treagust, Modelling in Science Lessons: Are There Better Ways To Learn with Models? *School Science and Mathematics*, **1998**, 98, 420-29.
14. D. F. Treagust, G. Chittleborough ja T. L. Mamiala, The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations, *International Journal of Science Education*, **2003**, 25, 1353-1368.
15. D. van Garderen, Spatial Visualization, Visual Imagery, and Mathematical Problem Solving of Students with Varying Abilities, *Journal of Learning Disabilities*, **2006**, 39, 496-506.
16. J. K. Gilbert, M. Reiner ja M. Nakhleh, *Visualization: Theory and Practice in Science Education*, Springer, New York, **2008**.

17. Opetushallitus, Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet, **2004**, www.oph.fi, luettu 07.11.2012
18. K. Uusikylä, *Lahjakkaiden kasvatusta, Opetus 2000*, WSOY, Juva, **1994**.
19. A. Anning, Learning to Draw and Drawing to Learn, *International Journal of Art & Design Education*, **1999**, *18*, 163-172.
20. M. Brooks, Drawing, Visualisation and Young Children's Exploration of "Big Ideas", *International Journal of Science Education*, **2009**, *31*, 319-341.
21. M. Brooks, Drawing as a Unique Mental Development Tool for Young Children: interpersonal and intrapersonal dialogues, *Contemporary Issues in Early Childhood*, **2005**, *6(1)*, 80.
22. P. Van Meter ja J. Garner, The Promise and Practice of Learner-Generated Drawing: Literature Review and Synthesis, *Educational Psychology Review*, **2005**, *17*, 285-325.
23. S. Ainsworth, V. Prain ja R. Tytler, Drawing to Learn in Science, *Science*, **2011**, *333(6046)*, 1106-1107.
24. C. Leopold ja D. Leutner, Science Text Comprehension: Drawing, Main Idea Selection, and Summarizing as Learning Strategies, *Learning and Instruction*, **2012**, *22*, 16-26.
25. B. S. Bloom, *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook 1: Cognitive Domain*, 1. painos, Longmans, Green and Co., New York, London, Toronto, **1956**.
26. D. R. Krathwohl, A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview, *Theory into Practice*, **2002**, *41*, 212-18.
27. A. L. Kern, N. B. Wood, G. H. Roehrig ja J. Nyachwaya, A Qualitative Report of the Ways High School Chemistry Students Attempt to Represent a Chemical Reaction at the Atomic/Molecular Level, *Chemistry Education Research and Practice*, **2010**, *11*, 165-172.

28. D. F. Treagust, G. D. Chittleborough ja T. L. Mamiala, Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry, *Research in Science Education*, **2004**, *34*, 1-20.
29. A. G. Harrison ja D. F. Treagust, Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry, *Science Education*, **1996**, *80*, 509-34.
30. R. S. Justi ja J. K. Gilbert, Modelling, Teachers' Views on the Nature of Modelling, and Implications for the Education of Modellers, *International Journal of Science Education*, **2002**, *24*, 369-87.
31. E. Adams, Power Drawing, *International Journal of Art & Desing Education*, **2002**, *21*, 220-233.
32. G. T. Prins, A. M. W. Bulte, J. H. Van Driel ja A. Pilot, Students' Involvement in Authentic Modelling Practices as Contexts in Chemistry Education, *Research in Science Education*, **2009**, *39*, 681-700.
33. C. Merino ja N. Sanmarti, How Young Children Model Chemical Change, *Chemistry Education Research and Practice*, **2008**, *9*, 196-207.
34. B. Davidowitz, G. Chittleborough ja E. Murray, Student-Generated Submicro Diagrams: A Useful Tool for Teaching and Learning Chemical Equations and Stoichiometry, *Chemistry Education Research and Practice*, **2010**, *11*, 154-164.
35. K. M. Edens ja E. Potter, Using Descriptive Drawings as a Conceptual Change Strategy in Elementary Science, *School Science and Mathematics*, **2003**, *103*, 135-144.
36. Z. H. Zhang ja M. C. Linn, Can Generating Representations Enhance Learning with Dynamic Visualizations? *Journal of Research in Science Teaching*, **2011**, *48*, 1177-1198.
37. E. Nancy, Long-Term Impact of Improving Visualization Abilities of Minority Engineering and Technology Students: Preliminary Results, *Engineering Design Graphics Journal*, **2011**, *75*, 2-8.

38. G. Chittleborough ja D. F. Treagust, The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level, *Chemistry Education Research and Practice*, **2007**, 8, 274-292.
39. B. Venkataraman, Visualization and Interactivity in the Teaching of Chemistry to Science and Non-Science Students, *Chemistry Education Research and Practice*, **2009**, 10, 62-69.
40. S. Ainsworth ja I. Iacovides, Learning by Constructing Self-Explanation Diagrams, *11th Biennial Conference of European Association for Research on Learning and Instruction*, Nicosia, Cyprus, 01.01.2005.
41. M. C. Linn, How can selection and drawing support learning from dynamic visualizations? *ICLS' 10 Proceedings of the 9th International Conference of the Learning Sciences*, 29.06.2010-02.07.2010, 2, 165-166.
42. S. Ainsworth, Improving Learning by Drawing, *ICLS 10th International Conference of the Learning Sciences - "The Future of Learning"*, Sydney, Australia, 02.07.2012-07.07.2012, 167-168.
43. J. Happonen, M. Heinonen, H. Muilu ja K. Nyrhinen, *Avain*, 1. painos, Otava, **2004**.
44. Aspholm, Hirvonen, Hongisto, Lavonen, Penttilä, Saari ja Viiri, *Aine ja energia*, 8.-12. painos, WSOY, **2006**.
45. Kaila, Meriläinen, Ojala ja Pihko, *Reaktio*, 1.-3. painos, Tammi, **2008**.
46. K. Lehtiniemi ja L. Turpeenoja, *Mooli*, 1. painos, Otava, **2006**.
47. C. E. Housecroft ja E. C. Constable, *Chemistry*, 3. painos, Pearson Education Limited, **2006**.
48. N. J. Tro, *Chemistry: A Molecular Approach*, 2. painos, Pearson Education, **2011**.
49. J. Chang, Teachers College Students' Conceptions about Evaporation, Condensation, and Boiling, *Science Education*, **1999**, 83, 511-26.

50. B. Costu, Big Bubbles in Boiling Liquids: Students' Views, *Chemistry Education Research and Practice*, **2008**, 9, 219-224.
51. B. Costu, A. Ayas, M. Niaz, S. Unal ja M. Calik, Facilitating Conceptual Change in Students' Understanding of Boiling Concept, *Journal of Science Education and Technology*, **2007**, 16, 524-536.
52. E. Senocak, Prospective Primary School Teachers' Perceptions on Boiling and Freezing, *Australian Journal of Teacher Education*, **2009**, 34, 27-38.
53. R. K. Yin, *Case Study Research: Desing and Methods*, 2. painos, SAGE Publications, **1994**.

Liitteet

1. Tehtävälomake A
2. Tehtävälomake B
3. Arviointilomake
4. Lisätutkimuksen tehtävälomake
5. Lomakkeiden vastaavuudet
6. Lomakkeiden pisteytykset

Liite 1: Tehtävälomake A

A-lappu.

Tee tehtävät järjestyksessä, ensin tehtävä nro. 1, sitten tehtävä nro.2.

Osallistuminen tapahtuu nimettömänä, joten älä kirjoita nimeäsi tehtävälappuun.

Kiitos osallistumisesta!

1. Vesi kiehuu kattilassa. Selitä omin sanoin mitä molekyylitasolla tapahtuu.

2. Vesi kiehuu kattilassa. Piirrä kuva molekyylitason tapahtumista.

Liite 2: Tehtävälomake B

B-lappu.

Tee tehtävät järjestyksessä, ensin tehtävä nro. 1, sitten tehtävä nro.2.

Osallistuminen tapahtuu nimettömänä, joten älä kirjoita nimeäsi tehtävälappuun.

Kiitos osallistumisesta!

1. Vesi kiehuu kattilassa. Piirrä kuva molekyyli-tason tapahtumista.

2. Vesi kiehuu kattilassa. Selitä omin sanoin mitä molekyyli-tasolla tapahtuu.

Liite 3: Arviointilomake

	Kirjallinen selitys	Piirros
Vesimolekyylejä nesteessä		
Vesimolekyylejä höyryssä		
Molekyyliin liike ja liikemäärän ero		
Molekyyliin väliset sidokset/vuorovaikutukset		
Molekyyliin välisten attraktiivisten vuorovaikutusten heikkeneminen		
Vetyidos		
Vetyidoksen katkeaminen		
Systeemiin syötetty energia		

Virheitä tekstissä:

Virheitä kuvassa:

Selityksen luokka:

Kuvan luokka:

Vastaavuus:

Liite 4: Lisätutkimuksen tehtävälomake

Piirrä vasemman puolen ruutuihin viiden kuvan sarja siitä, mitä molekyylitasolla tapahtuu kun **vesi kiehuu**. Kirjoita jokaisen kuvan viereen oikean puolen ruutuihin sanallinen selostus kuvan tapahtumista.

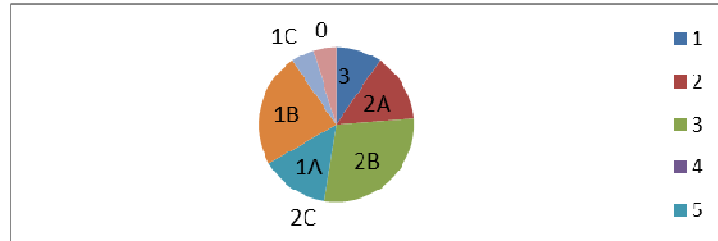
Kiitos osallistumisestasi!

Liite 5: Lomakkeiden vastaavuudet

Yliopisto 1

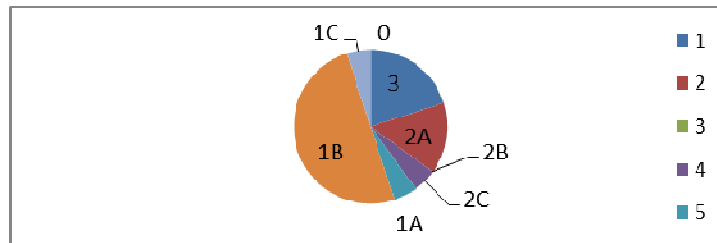
B-laput

Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	2	3	6	0	3	5	1	1



A-laput

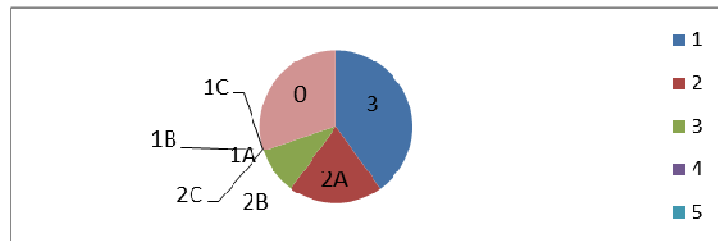
Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	4	3	0	1	1	10	1	0



Lukio 1

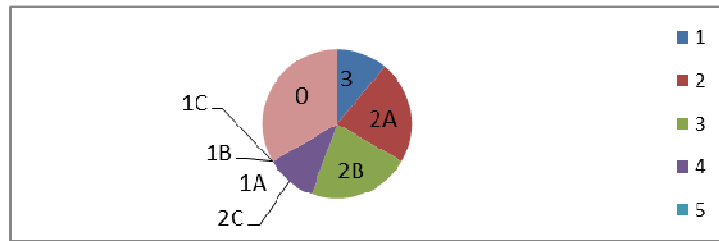
B-laput

Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	4	2	1	0	0	0	0	3



A-laput

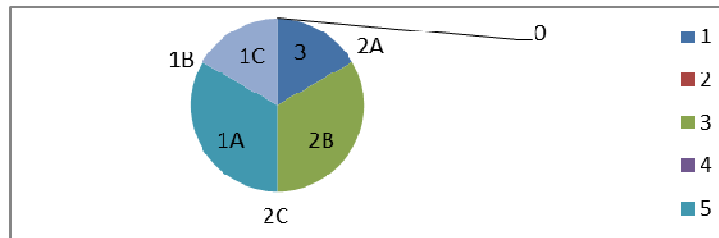
Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	1	2	2	1	0	0	0	3



Lukio 2

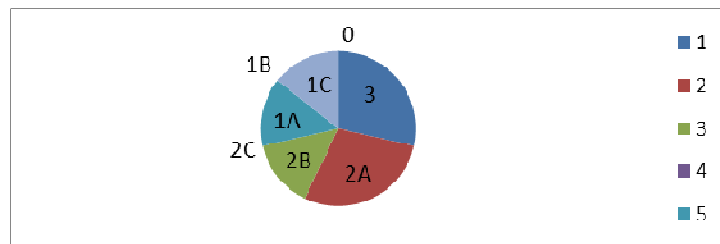
B-laput

Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	1	0	2	0	2	0	1	0



A-laput

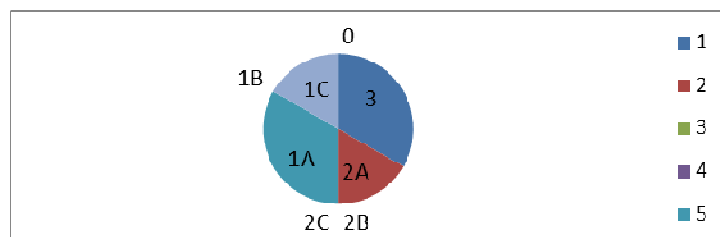
Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	2	2	1	0	1	0	1	0



Lukio 3

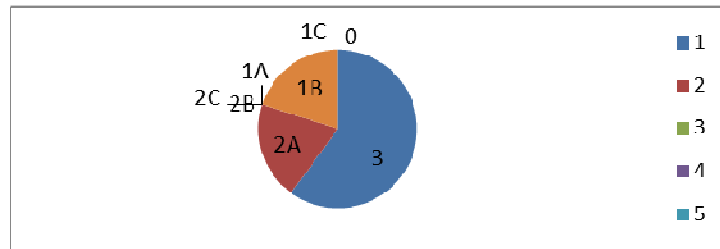
B-laput

Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	2	1	0	0	2	0	1	0



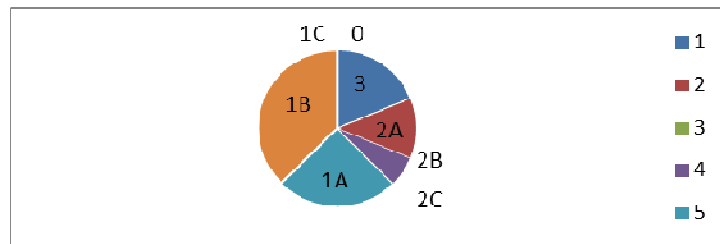
A-laput

Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	3	1	0	0	0	1	0	0



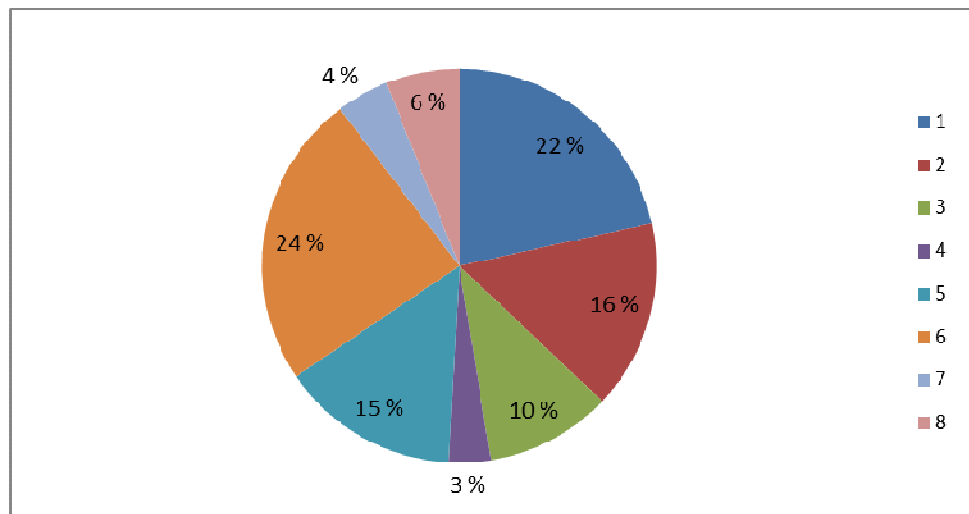
Yliopisto 2

Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	6	4	0	2	8	12	0	0
Prosenttia	18,75 %	12,50 %	0,00 %	6,25 %	25,00 %	40,63 %	0,00 %	0,00 %



Kaikki

Vastaavuus	3	2A	2B	2C	1A	1B	1C	0
kpl	25	18	12	4	17	28	5	7
Prosenttia	21,55 %	15,52 %	10,34 %	3,45 %	14,66 %	24,13 %	4,31 %	6,03 %



Liite 6: Lomakkeiden pisteytykset

Yliopisto1	Lapun nro	A/B?	Vastaavuus	TEKSTI	pisteet	virheet	KUVA	pisteet	virheet	Vastauksen pisteiden keskiarvo
	4	B	1C		6	0		6	0	6
	9	B	1B		0	1		3	1	1,5
	13	B	1B		4	0		6	0	5
	16	B	1B		5	0		6	0	5,5
	18	B	1B		5	0		6	0	5,5
	20	B	1B		4	0		7	0	5,5
	1	B	2B		7	0		8	0	7,5
	2	B	2B		7	0		8	0	7,5
	6	B	2B		1	0		2	0	1,5
	11	B	2B		6	0		7	0	6,5
	12	B	2B		6	0		7	0	6,5
	3	B	1A		7	0		6	0	6,5
	19	B	2A		5	0		4	0	4,5
	14	B	3		6	0		6	0	6
	15	B	3		6	0		6	0	6
	17	B	1A		7	1		6	0	6,5
	21	B	0		2	0		0	1	1
	8	B	1A		6	1		2	1	4
	10	B	2A		2	1		2	0	2
	7	B	2A		5	0		3	1	4
	5	B	2B		6	0		6	1	6
Keskiarvo		Summa			4,90476	4		5,09524	5	5
	23	A	1C		6	0		6	0	6
	22	A	1B		2	0		5	0	3,5
	24	A	1B		4	0		6	0	5
	25	A	1B		3	0		4	0	3,5
	33	A	1B		4	0		6	0	5
	36	A	1B		3	0		6	0	4,5
	38	A	1B		4	0		8	0	6
	39	A	1B		3	0		6	0	4,5
	40	A	1B		2	0		6	0	4
	41	A	1A		7	0		6	0	6,5
	27	A	2C		7	0		7	0	7
	28	A	2A		7	0		6	0	6,5
	31	A	2A		3	0		2	0	2,5
	35	A	2A		7	0		6	0	6,5
	29	A	3		6	0		6	0	6
	30	A	3		5	0		6	0	5,5
	34	A	3		6	0		6	0	6

	37	A	3		4	0		4	0	4
	26	A	1B		0	1		3	0	1,5
	32	A	1B		4	0		6	1	5
Keskiarvo		summa			4,35	1		5,55	1	4,95

Lukio 1	Lapun nro	A/B?	Vastaavuus	TEKSTI	pisteet	virheet	KUVA	pisteet	virheet	Vastauksen pisteiden keskiarvo
	55	B	3		3	0		3	0	3
	51	B	0		0	0		3	0	1,5
	53	B	2B		0	2		0	2	0
	60	B	2A		5	0		4	0	4,5
	54	B	2A		6	0		5	0	5,5
	59	B	3		3	0		3	0	3
	58	B	3		1	1		2	0	1,5
	56	B	3		3	0		3	0	3
	52	B	0		1	1		0	1	0,5
	57	B	0		0	1		1	1	0,5
Keskiarvo		Summa			2,2	5		2,4	4	2,3
	42	A	2B		4	0		4	1	5
	46	A	2A		1	0		0	2	0,5
	50	A	2A		4	0		3	0	3,5
	45	A	3		3	0		3	0	3
	47	A	2B		1	1		2	1	1,5
	49	A	0		1	0		0	0	0,5
	43	A	0		1	0		1	0	1
	48	A	0		1	0		2	0	1,5
	44	A	2C		1	1		2	0	1,5
Keskiarvo		Summa			1,88889	2		1,88889	4	2

Lukio2	Lapun nro	A/B?	Vastaavuus	TEKSTI	pisteet	virheet	KUVA	pisteet	virheet	Vastauksen pisteiden keskiarvo
	69	B	3		3	0		3	0	3
	73	B	2B		2	0		3	0	2,5
	70	B	2B		3	0		4	0	3,5
	68	B	1A		3	0		1	0	2
	72	B	1C		3	0		3	0	3
	71	B	1A		4	0		1	1	2,5
Keskiarvo					3	0		2,5	1	2,75
	65	A	2A		3	0		1	1	2
	66	A	2A		3	0		2	0	2,5
	64	A	2B		4	0		5	0	4,5
	62	A	1A		2	0		1	0	1,5
	67	A	3		2	0		2	0	2

	61	A	1C		2	1		3	0	2,5
	63	A	3		2	1		3	0	2,5
Keskiarvo		Summa			2,57143	2		2,42857	1	2,5

Lukio 3	Lapun nro	A/B?	Vastaavuus	TEKSTI	pisteet	virheet	KUVA	pisteet	virheet	Vastauksen pisteiden keskiarvo
	83	B	2A		4	0		3	0	3,5
	82	B	3		4	0		4	0	4
	79	B	3		3	0		2	1	2,5
	80	B	1C		3	1		1	1	2
	84	B	1A		4	0		2	0	3
	81	B	1A		4	1		3	0	3,5
Keskiarvo		Summa			3,66667	2		2,5	2	3,08333
	78	A	3		4	0		4	0	4
	74	A	3		4	0		4	0	4
	75	A	2A		3	0		2	0	2,5
	76	A	1B		5	0		7	0	6
	77	A	3		5	1		5	1	5
Keskiarvo		Summa			4,2	1		4,4	1	4,3

Yliopisto2	Lapun nro	Vastaavuus	TEKSTI	pisteet	virheet	KUVA	pisteet	virheet	Vastauksen pisteiden keskiarvo
	85	1B		5	1		7	0	6
	86	1B		6	0		7	0	6,5
	87	1B		6	0		8	0	7
	88	1B		2	1		4	1	3
	89	1B		6	0		7	0	6,5
	90	1B		5	0		6	1	5,5
	91	1B		3	0		6	0	4,5
	92	1B		3	0		4	1	3,5
	93	1B		1	0		3	1	2
	94	1B		2	0		7	0	4,5
	95	1B		5	0		7	0	6
	96	1B		2	1		4	0	3
	97	1A		7	0		6	0	6,5
	98	1A		7	0		4	0	5,5
	99	1A		6	0		3	0	4,5
	100	1A		7	1		5	1	6
	101	1A		3	1		3	0	3
	102	1A		8	0		6	0	7
	103	1A		8	0		6	0	7
	104	1A		5	0		3	0	4
	105	2C		2	1		3	0	2,5
	106	2C		1	1		1	1	1

107	2A	7	1	7	0	7
108	2A	6	1	6	0	6
109	2A	4	0	3	0	3,5
110	2A	4	0	3	0	3,5
111	3	8	0	8	0	8
112	3	6	0	6	0	6
113	3	4	1	4	1	4
116	3	2	1	3	0	2,5
115	3	3	1	4	0	3,5
116	3	2	1	3	0	2,5
Keskiarvo	Summa	4,5625	13	4,90625	7	4,73438