



Department of Chemistry, University of Jyväskylä

DEMONSTRAATIO LUKION KEMIAN OPETUKSESSA

Jarkko Lampiselkä

Academic Dissertation
for the Degree of
Doctor of Philosophy

Jyväskylä, Finland 2003

Research Report No. 102

URN:ISBN:978-951-39-9933-9
ISBN 978-951-39-9933-9 (PDF)
ISSN 0357-346X

Jyväskylän yliopisto, 2024

OPPONENT

Docent Jouni Viiri, Department of Education, University of Joensuu

SUPERVISORS

Professor Jussi Eloranta / Docent Mikko Vuolle

Department of Chemistry, University of Jyväskylä

Professor Jouni Välijärvi

Institute for Educational Research, University of Jyväskylä

REVIEWERS

Docent Pekka Kupari

Institute for Educational Research, University of Jyväskylä

Ph.D. Aija Ahtineva

Department of Teacher Education, University of Turku

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ,
RESEARCH REPORT NO.102

DEMONSTRAATIO LUKION KEMIAN OPETUKSESSA

BY

JARKKO LAMPISLÄ

ACADEMIC DISSERTATION FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY

*To be presented, by the Faculty of Mathematics and Science
of the University of Jyväskylä, for public examination in
Agora Auditorium 1 on December 20th, 2003, at 12 noon*



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

Department of Chemistry

Copyright ©, 2003

ISBN 951-39-1659-6

ISSN 0357-346X

Esipuhe

Haluan kiittää kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat olleet mukana tutkimusta tehdessä.

Erityiskiitokset ansaitsevat dosentti Mikko Vuolle ja professori Jouni Välijärvi, työn ohjaajat, jotka kärsivällisesti jaksoivat neuvoa ja ohjata työtä sekä korjata isommat ja pienet virheet.

Esitän kiitokseni Cygnaeus-lukion lehtorille Irma Aroluomalle, Jyväskylän lyseo lukion lehtorille Tiina Suhoselle ja Palokan lukion lehtorille Marja-Leena Korvolalle, jotka olivat apuna niin kokeellisten mittausten suorittamisessa kuin käytännön järjestelyissäkin.

Samoin haluan esittää kiitokseni professori Jussi Elorannalle, joka on auttanut työn viimeistelyssä, sekä dosentti Pekka Kuparia ja KT Aija Ahtinevaa, jotka ovat toimineet työn esitarkastajina.

Suuri kiitos kohdistuu myös työn rahoittajille, joita ilman työ olisi mahdoton toteuttaa käytännössä. Erityisen lämpimät kiitokset ansaitsevat Valtakunnallinen matematiikan, fysiikan ja kemian opetuksen tutkijakoulu, Suomen Akatemia rahoittamalla MALU 2002 tutkimushankeen ja Suomen Kulttuurirahasto, josta erityisesti Suomalaisen Kansakoulun Ystävien rahasto, myöntämällä stipendin väitöskirjatyöhön.

Suurimman kiitoksen kuitenkin ansaitsee rakas perheeni, Minna, Laura ja Ville, jotka ovat pysyneet rinnallani kivikkoisimmatkin kohdat arjen polusta.

Jyväskylässä, marraskuussa 2003

Jarkko Lampiselkä

Tiivistelmä

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää opiskelijoiden käsityksiä rautavillan palamisesta ja kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioista sekä määrittää demonstraation vaikutus ilmiöiden ymmärtämiseen. Perinteinen demonstraatio-opetus todettiin monelta osin vanhentuneeksi. Tutkimuksessa kehitettiin uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli, joka perustui kognitiivisen konstruktivismin näkemykseen oppijasta oman tiedon rakentajana. Oppijan demonstraatiosta tehdyt havainnot saavat merkityksensä, kun hän kytkee ne aikaisemmin oppimaansa, tulkitsee uutta tietoa aikaisempien kokemusten muodostaman viitekehyksen avulla ja vallitsevaan tilanteeseen sopivasti. Tässä tutkimuksessa oppiminen nähtiin yksilöllisenä prosessina, johon sosiaalisella vuorovaikutuksella voidaan kuitenkin oleellisesti vaikuttaa.

Tutkimuksessa on kyse opetuskokeilusta, jolla hankittiin tietoa hypoteettis-teoreettisen demonstraatio-opetuksen mallin toimivuudesta lukion kemian opetuksessa. Tutkimuskohteena olivat tutkimusryhmien opettajat ja opiskelijat, ja tutkimusaineisto hankittiin näiltä henkilöiltä käyttämällä useita erilaisia aineistonkeruumenetelmiä. Tutkimusinterventiot suoritettiin kaikille yhteisellä ja pakollisella kemian kurssilla, jonka sisältö rakentuu yleisestä ja epäorgaanisesta kemiasta. Rautavillan palamisilmiön tapauksessa koe havainnollistettiin uudentyyppisellä demonstraatio-opetuksella vain toiselle ryhmälle, kidevedellisen kuparisulfaatin reaktiot havainnollistettiin puolestaan molemmille ryhmille. Rautavillan palamisilmiön ymmärtämisen tapauksessa ryhmien tuloksia päästiin vertaamaan myös neljän ns. tavanomaiseen opetukseen osallistuneen ryhmän tuloksiin.

Tulosten perusteella todettiin uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen tehostavan muistijälkien muodostumista ja vaikuttavan siten myös oppijan tiedonhankinnan tehokkuuteen. Demonstraatio-opetuksella voidaan edistää oppijoiden oppimista ja auttaa heitä muodostamaan jäsenettyä mielikuvaa luonnonilmiön syy-seuraussuhteista. Tämä kuitenkin edellytti, että demonstraatio-opetus käsitettiin laajempaan prosessiin kuin mihin perinteisesti oltiin totuttu. Pedagogisesti asianmukaisesti suunniteltu ja toteutettu demonstraatio loi selvästi pohjaa ilmiön perushahmotukselle ja nähtiin askeleena ilmiöiden syvällisemmän ymmärtämisen tiellä.

Abstract

The purpose of the study was to examine students' conceptions regarding the combustion of iron wool and the reactions of hydrated copper sulphate and determine how demonstration affects their understanding of these phenomena. It was found that traditional demonstration-based instruction is in many respects an obsolete method. The research project developed a new model of demonstration-based instruction grounded on the cognitive constructivist view of the learner as a constructor of their own knowledge. The learner's observations of the demonstrations become meaningful when the learner links these with their previous learning, interpreting their new knowledge within a framework based on their earlier experiences and in a way that is appropriate to the given situation. Learning was considered in the study as an individual process that is nevertheless capable of being influenced, in essential ways, through social interaction.

The study involves a teaching experiment used to gather data on the feasibility, in upper secondary school chemistry instruction, of a hypothetico-theoretical model of demonstration-based instruction. The research subjects consisted of the teachers and students in the research groups, and the research data were collected from the subjects using several different data-gathering methods. The research interventions took place during a chemistry course taught to and obligatory for all subjects, which covered general and inorganic chemistry. The new method of demonstration-based instruction was used to demonstrate the combustion of iron wool to only one of the two research groups, while the reactions of hydrated copper sulphate were demonstrated to both groups. As regards the students' understanding of the combustion of iron wool, the learning outcomes of the two groups could be compared also with those of four groups taught using what are known as conventional methods.

The findings showed that the new method of demonstration-based instruction makes for more effective formation of memory traces and thus affects the effectiveness of the learner's knowledge-gathering activities. Demonstration-based instruction can promote the learner's learning and help them to build up a well-structured conception of the causal relationships involved in a natural phenomenon. However, this required seeing demonstration-based instruction as a broader process than what has traditionally been customary. It was obvious that a demonstration designed and carried out in a pedagogically appropriate manner prepared the ground for a basic grasp of the given phenomenon; it was seen as a step towards a more in-depth understanding of phenomena.

Sisältö

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Tutkimuksen tausta | 1 |
| 1.2 | Väitöskirjatyön käynnistyminen | 3 |
| 1.3 | Tutkimustehtävä | 5 |
| 2 | Kemian tietorakenne | 7 |
| 2.1 | Kemian tutkimuksen kohde | 7 |
| 2.2 | Kemiallisen tiedon kolmen dimension malli | 8 |
| 2.2.1 | Aineen kemiallisen koostumuksen ja rakenteen dimensio | 9 |
| 2.2.2 | Energiadimensio | 13 |
| 2.2.3 | Aikadimensio | 16 |
| 2.3 | Kemian kytkeytyminen muihin tieteisiin | 17 |
| 3 | Kemian oppiminen | 21 |
| 3.1 | Muisti | 21 |
| 3.2 | Informaation prosessointi | 22 |
| 3.3 | Tiedon syntyminen kemiassa ja oppitunnilla | 26 |
| 3.4 | Kemian kieli ja arkikieli | 30 |
| 3.5 | Kemian käsitteet oppimisen kohteena | 33 |
| 3.6 | Käsityksen muutokseen tähtäävä opetus | 36 |
| 3.6.1 | Ennakkokäsitykset | 36 |
| 3.6.2 | Kognitiiviset ristiriidat | 37 |
| 3.6.3 | Käsityksen muutosprosessi | 39 |
| 3.7 | Oppijan ajattelu ja metakognitio | 41 |
| 3.8 | Kemian oppimiseen soveltuvia oppimisen malleja ja teorioita | 43 |
| 4 | Demonstraatio kemian opetuksessa | 55 |
| 4.1 | Demonstraatio-opetuksen tavoite | 55 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.2 | Demonstraatio kemian opetuksessa | 57 |
| 4.2.1 | Luonnontieteellisen ajattelutavan tukeminen | 57 |
| 4.2.2 | Sisältöjen oppiminen | 58 |
| 4.2.3 | Oppimistehtävien luonne | 61 |
| 4.2.4 | Vuorovaikutustilanteen luonne | 61 |
| 4.2.5 | Kemian työmenetelmien omaksumisen | 63 |
| 4.2.6 | Erilaisia demonstraatiotyyppejä | 63 |
| 4.3 | Uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli | 66 |
| 4.4 | Opettajan oma tietoisuus | 71 |
| 5 | Tutkittavat ilmiöt ja käsitteet | 73 |
| 5.1 | Kemiallinen reaktio | 74 |
| 5.1.1 | Kemiallisen reaktion teoreettista taustaa | 74 |
| 5.1.2 | Oppijoiden käsityksiä kemiallisesta reaktiosta | 77 |
| 5.1.2.1 | Aineen rakenne | 78 |
| 5.1.2.2 | Kemiallinen reaktio | 79 |
| 5.1.2.3 | Käsityksen muuttamisen vaikeus | 81 |
| 5.2 | Kidevedellisen kuparisulfaatin kuumennus | 82 |
| 5.2.1 | Kideveden poistuminen reversiibelin reaktion esimerkkinä | 82 |
| 5.2.2 | Oppijoiden käsityksiä kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioista | 84 |
| 5.2.2.1 | Aikaisempia tutkimuksia palautuvasta reaktiosta | 85 |
| 5.2.2.2 | Aikaisempia tutkimuksia tasapainoreaktioista | 87 |
| 5.3 | Raudan palaminen | 88 |
| 5.3.1 | Raudan palaminen kemiallisena ilmiönä | 88 |
| 5.3.2 | Oppijoiden käsityksiä raudan palamisesta | 93 |
| 5.3.2.1 | Opiskelijoiden käsityksiä palamisilmiöstä | 93 |
| 5.3.2.2 | Kokeellisuuden merkitys palamisilmiön ymmärtämisessä | 95 |
| 6 | Tutkimusongelmat | 97 |
| 7 | Tutkimusasetelma | 99 |
| 7.1 | Kohdejoukon valinta ja ominaispiirteet | 99 |
| 7.1.1 | Kokeiluopetusryhmät | 99 |
| 7.1.2 | Vertailuopetusryhmät | 100 |
| 7.2 | Kemian kurssi | 101 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 7.3 | Aineiston hankinta | 101 |
| 7.4 | Aineiston valikoinnin periaatteet | 103 |
| 7.5 | Aineiston analyysi | 104 |
| 7.6 | Opetusryhmien opetustilanteiden kuvailu | 105 |
| 7.6.1 | Kokeiluopetusryhmät | 105 |
| 7.6.2 | Vertailuopetusryhmät | 108 |
| 8 | Tutkimuksen tulokset ja tulosten tulkinta | 111 |
| 8.1 | Opiskelijoiden käsityksiä palamisesta | 112 |
| 8.1.1 | Demonstraatioon vaikutus monivalintatehtävässä menestymiseen | 113 |
| 8.1.2 | Tasapainon muutosten viisi selitystapaa | 114 |
| 8.1.2.1 | Hapen liittyminen tasapainon muutoksen | 116 |
| 8.1.2.2 | Fysikaalisen ja kemiallisen muutoksen sekoittuminen | 122 |
| 8.1.2.3 | Olomuodon ja tiheyden muutos selittäjänä | 126 |
| 8.1.2.4 | Aineen ja energian säilymislain generoimat virhekäsitykset | 130 |
| 8.1.2.5 | Puuttuvat perustelut | 132 |
| 8.1.3 | Rautavillan palamisen symbolinen esitys | 132 |
| 8.1.4 | Demonstraatioon vaikutus ilmiön ymmärtämiseen | 135 |
| 8.1.5 | Empiiristen havaintojen vaikutus oppimisen tehokkuuteen | 143 |
| 8.2 | Demonstraatioon vaikutus kidevedellisen kuparisulfaatin reaktion ymmärtämiseen | 144 |
| 8.2.1 | Opiskelijoiden havainnot reaktioiden aikana | 145 |
| 8.2.1.1 | Havainnot lämmittämisen aikana | 146 |
| 8.2.1.2 | Havainnot veden lisäämisen aikana | 148 |
| 8.2.2 | Opiskelijoiden perusteluja ilmiöissä tapahtuville muutoksille | 151 |
| 8.2.2.1 | Veden muodostumisen selitykset | 151 |
| 8.2.2.2 | Lähtöaineen värin kuvittelemisen veden ominaisuudeksi | 170 |
| 8.2.2.3 | Rakenteen muuttumisen selittäminen olomuodon muutoksella | 175 |
| 8.2.2.4 | Selitykset veden lisäämisen aiheuttamille muutoksille | 180 |
| 8.2.2.5 | Värin palautuminen seurausta ilmiön käänteisyydestä | 188 |
| 8.2.2.6 | Rakenteen muuttuminen vailla huomiota palautuvassa reaktiossa | 192 |
| 8.2.3 | Havaintojen merkitys ilmiön perushahmotuksen luomisessa | 193 |
| 8.2.4 | Käänteisen reaktion osalta kyse uuden oppimisesta | 197 |
| 8.3 | Opiskelijoiden yleinen käsitys kemiallisesta reaktiosta | 198 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 8.4 | Demonstraatioefektin ja palamisilmiön ymmärtämisen | 201 |
| 8.4.1 | Opetuskokeilun vaikutukset | 201 |
| 8.4.2 | Orgaanisen ja epäorgaanisen aineen palamisen sekoittaminen | 204 |
| 8.4.3 | Päiväkirjojen merkitys oppimiselle | 208 |
| 8.5 | Demonstraatio-opetus lukio-opetuksen työtavaksi | 211 |
| 8.6 | Keskeiset tulokset | 213 |
| 9 | Tutkimuksen kokoava tarkastelu | 217 |
| 9.1 | Tutkimuksen luotettavuus | 217 |
| 9.2 | Tutkimusongelmien ratkaiseminen | 220 |
| 9.3 | Johtopäätökset ja pedagogiset suositukset | 224 |
| 9.3.1 | Demonstraation vaikutusten yksilöllisyys | 224 |
| 9.3.2 | Lukio-opetuksen kehittäminen demonstraation avulla | 225 |
| 9.3.3 | Opettajankoulutuksen kehittämistarpeet | 226 |
| 9.3.4 | Opetussuunnitelman uudistaminen | 227 |
| 9.4 | Tutkimuksen merkitys | 229 |
| 9.5 | Jatkotutkimusten tarve | 230 |
| | Lähdeluettelo | 233 |
| | Liitteet | 255 |

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Luonnontieteiden opetuksen laatu on noussut entistä keskeisemmäksi suomalaisen yhteiskunnan menestystekijäksi. Teollisuuden ja talouden asiantuntijat korostavat tasokkaan koulutuksen tärkeyttä innovatiivisen huippuosaamisen, mutta myös teollisuuden perustehtävien riittävän hallinnan välttämättömänä edellytyksenä (Anon. 1995). Taloudellinen menestyksemme määräytyy siitä, millaiset taidot, valmiudet ja tietorakenteet 2000-luvun peruskoulu, lukio ja ammatillinen koulutus kykenevät nuorille luomaan.

Luonnontieteiden ja tekniikan avaintaitojen hankinta on keskeinen vaatimus monien tulevaisuuden ammattien kannalta. Viestinnän ja teknisten apuvälineiden nopea kehitys edellyttävät sitä, että työntekijät kykenevät selviytymään yllättävistä tilanteista, havaitsemaan säännönmukaisuuksia ja ratkaisemaan epätavallisiakin ongelmia. Juuri tällaiset tarpeet tekevät luonnontieteiden peruskoulutuksesta tärkeän edellytyksen jatko-opinnoissa ja työelämässä menestymiselle. Mahdollisuudet korjata työelämässä perusopetuksen puutteita ovat hyvin rajalliset: 12 kouluvuoden aikana vakiintuneet käsitykset, opiskelumallit ja asenteet ovat juurtuneet syväälle. Monista tutkimuksista tiedetään oppimistulosten jäävän suurelle osalle nuorista melko vaatimattomiksi, ja virhekäsitykset jopa luonnon perusilmiöistä ovat tavallisia.

Kemian odotettua vähäisempi suosio kouluissa, sen vieroksuminen elämälle vieraana alueena ja tyttöjen aktiivinen hakeutuminen pois aineen opiskelusta ovat vakavia indikaattoreita kouluopetuksen ongelmista. Kyse ei ole siitä, etteivätkö kemian tutkimus tai tiedon modernit sovellukset tarjoaisi lumoavia mahdollisuuksia älyllisesti haastavien, tiedon sovelluksiin rohkaisevia ja nuorten elämyspiiriin läheisesti integroituvia oppimisen mahdollisuuksia. Kemian opetus muuttaa liian usein rikkaan tietopohjan pitkästyttäväksi ja auktorisoiduiksi teksteiksi, joita 45 minuutin oppitunneilla välitetään nuorille heidän omista tavoitteistaan, kiinnostuksistaan tai valmiuksistaan liian vähän huolta kantaen. Tuloksena on kouluoppimisen

maailma, jolla on vain vähän kosketuspintaa nuorten omaan tapaan havainnoida, tehdä päätelmiä ja arvioida luonnonilmiöitä (vrt. Ahtee 1998).

Vuonna 1996 käynnistettiin luonnontieteiden ja matematiikan opetuksen kansalliset kehittämistalkoot (LUMA-talkoot), joiden tavoitteena oli sekä lisätä nuorten kiinnostusta aineiden opiskeluun että kehittää opetuksen laatua. Hankkeen ensi vaiheessa valittiin 25 pilottikuntaa kehittämistyön vetureiksi ja aloitettiin laajamittainen opettajien lisäkoulutus muun muassa 15 ja 20 opintoviikon arvosanakoulutuksena. Opettajien täydennyskoulutuksen tarkoituksena oli kohottaa opettajien ammatillista osaamista sekä ainedidaktiikassa että aineenhallinnassa. Toiminnan arvioinnin perusteeksi luotiin pääosin määrällisiä indikaattoreita (Anon. 1998a). Hanke tarjosi kouluille myös kohtuullisesti taloudellisia resursseja, jotka usein ohjautuivat tilojen kunnostamiseen tai uusien tilojen rakentamiseen sekä tietokoneiden hankintaan ja tietoverkkojen luomiseen. Taloudellisen resursoinnin myötä myös monien lukioiden opetussuunnitelmat muuttuivat, mikä näkyi esimerkiksi kurssitarjonnan lisääntymisenä ja laajentumisena. Opetuksen työtavat alkoivat muuttua myös enenevässä määrin oppijakeskeisiksi ja kokeellista lähestymistapaa korostaviksi (vrt. esim. Anon. 1998b, 6–7; Aroluoma 2001, 133).

Näkemykset LUMA-hankkeen tavoitteiden saavuttamisesta muuttuivat kriittisemmiksi vuosituuhannen vaihteessa. Määrällisten tavoitteiden saavuttaminen kangerteli ja samaan aikaan todettiin kolmen vuoden ajanjakson olevat liian lyhyt laadullisten tavoitteiden toteutumiseksi. Hankkeen tavoitteita tarkennettiin muun muassa painottaen mielekästä oppimista ja oppijoiden minäkuvan kehittymistä. Havaittiin myös se, ettei opettajien täydennyskoulutuksesta vastaavilla ollut riittävää ainepedagogista kompetenssia tai koulumaailman tuntemusta (Anon. 1999, 36). Noin vuoden päästä väliarvion julkistamisesta Opetushallitus oli konkreettisesti tiedostanut laadullisen arvioinnin hankaluuden eikä esittänyt hankkeen laadullista arviointia seuraavassakaan julkaisussa. Alkoi näyttää yhä varmemmalta, ettei kemian osalta tulla saavuttamaan laadullisia eikä määrällisiä LUMA-hankkeen tavoitteita (Anon. 2000, 23, 29–30).

Merkittävä hanke luonnontieteiden opetuksen laadun kehittämiseksi oli myös opettajien valtakunnallinen matematiikan, fysiikan ja kemian tutkijakoulun perustaminen 90-luvun puolivälissä. Tutkijakoulu nimesi tavoitteekseen *“tutkimuksellisesti perustellun ja kestävän monitieteisen perustan rakentamisen matemaattis-luonnontieteellisten aineiden opetuksen ja opettajankoulutuksen sekä niitä koskevan tutkimuksen jatkuvalle uudistamiselle Suomessa”*. Samalla se tarjosi väylän myös opettajaksi opiskeleville ja toimessa oleville opettajille ammatilliseen kasvuun, akateemisen loppututkinnon suorittamiseen ja uralla etenemiseen. Tutkijakoulun kunnianhimoinen tavoite oli kasvattaa ja kouluttaa sekä ainetta että pedagogiikkaa erinomaisesti hallitsevia huippuopettajia vastaamaan elinkeinoelämän,

akateemisen tiedeyhteisön ja koulujen tarpeisiin. Tutkijakoulun perustaminen lisäsi myös olennaisesti luonnontieteiden opetuksen tutkimusta.

Koulurakenteen uudistus, lama, LUMA-talkoot ja tutkijakoulun perustamisen lisäksi myös ainepedagogisen paradigman muutos voimistuivat entisestään 90-luvulla. Behavioristisen oppimisen teorian rinnalla vahvistui konstruktivistinen oppimisen teoria. Konstruktivismin kognitiiviseen psykologiaan perustuvat näkemykset muuttuivat radikaalimmiksi 90-luvulle tultaessa, minkä vuoksi alettiin kiinnittää enenevässä määrin huomiota muun muassa oppijoiden ennakkokäsityksiin. Konstruktivismi ottaa kouluissa hyvin vastaan ehkä myös siksi, ettei sitä opetustoimen laajassa muutoksessa painotettu suhteettomasti eikä siitä tullut ohjaava normi: muutos tuli ikään kuin saman aallon mukana.

Opetuksen ja oppimisen asiantuntijat alkoivat korostaa oppijan ennakkokäsitysten keskeistä merkitystä oppimiselle. Oppiminen miellettiin prosessiksi, jossa uusi tieto rakennetaan vanhaa tietoa hyväksi käyttäen uudeksi mielekkäämmäksi kokonaisuudeksi. Uusi tieto voi kumuloitua vanhan päälle, mutta uusi ja vanha tieto voivat myös elää rinnakkain. Opetuksen haaste oli tarjota oppijalle tieto sellaisessa muodossa, että hänessä kasvoi tarve tietää. Motivoitunut oppija olisi aktiivinen hankkimaan tarvitsemansa tiedon. Opetuksen haasteeksi muodostui tarjota tietoa siinä muodossa ja niin ajoittaen, että se kohtaisi oppijan tarpeet ja odotukset oikeaan aikaan ja oikeassa muodossa.

Uusi oppimista koskeva tieto asetti opettajalle uusia vaatimuksia opetusmenetelmien uudistamisessa ja yksilöllisyyden huomioon ottamisessa opiskelun ohjaamisessa. Tilannetta monimutkaisti edelleen se, että sekä opettajan että oppijan henkilökohtaisilla asenteiden ja uskomuksien tiedettiin vaikuttavan mielikuvaan hyvästä oppimisesta ja opettamisesta (vrt esim. Kupari 1999, 4-22).

1.2 Väitöskirjatyön käynnistyminen

Tämä tutkimus käynnistyi edellä mainitussa muutoksen virrassa. Tutkimus edustaa näkemystä, jonka mukaan kemian opetuksen laatua voidaan parantaa vain tutkimuksen avulla. Tässä tutkimuksessa pyritään kehittämään demonstraatio-opetuksen malli, jonka avulla demonstraation opetuskäyttö systematisoituisi ja sen tieteellinen perusta vahvistuisi.

Konstruktivismiin pohjautuvan ainedidaktisen tutkimuksen yksi seuraus on ollut se, että opettajajohtoisiin työtapoihin on kiinnitetty sängen vähän huomiota. Opettajajohtoisuus on usein virheellisesti samaistettu opettajakeskeisyyteen. Mielikuvan virheellisyyteen on kiinnittänyt

huomiota muun muassa Kansanen (1991), joka erottaa toisistaan käsitteet opettajajohtoisuus ja opettajakeskeisyys. Toisaalta tutkimuksin on osoitettu, että oppijat kokevan oppijakeskeiset työtavat mielekkäämmiksi kuin perinteiset, mutta he päinvastoin kokevat oppivansa paremmin perinteisillä kuin oppijakeskeisillä työtavoilla (Nielsen & Thomsen 1985).

Watson ym. (1995) puolestaan osoittivat, ettei oppijoiden suorittaman kokeellisen työskentelyn määrällä juuri ole vaikutusta kemiallisten ilmiöiden tai käsitteiden oppimiseen. Tutkimus antoi myös viitteitä siitä, etteivät opettajan esittämät demonstraatiot juurikaan edistä kemian sisältöjen oppimista. Toisaalta kemian peruskäsitteiden abstrakti luonne asettaa kemian kouluopetukselle erityisiä vaatimuksia, joita muissa luonnontieteissä ei välttämättä heti kohdata (Erätuuli & Meisalo 1985, 42; Gabel 1998.)

Kemian kontekstissa kehitettyjä ja tutkimuksin koeteltuja demonstraatio-opetuksen malleja ei juuri ole esitetty. Millerin (1993) malli tai Kyyrösen (1999) tutkimus ovat harvoja poikkeuksia. Vaikka työtapana on yksi suosituimmista kokeellisen opetuksen työtavoista, on demonstraatiopedagogiikkakin vielä monilta osin tutkimatonta aluetta (Clermont ym. 1994). Näin ollen nimenomaan kemian opetuksen kontekstissa koetellulle ja demonstraation opetusvaikutukseen keskittyvälle tutkimukselle oli ilmiselvä tarve.

Tutkimuksen tavoitteena on yhden opetuksen työtavan tutkimuksellinen kehittäminen. Tutkimustyö palvelee kouluja tarjoamalla opettajille ajanmukaisen työvälineen ja oppijoita edistämällä heidän oppimistaan.

Todennäköisesti tutkimus ei olisi koskaan käynnistynyt ilman LUMA-hanketta ja tutkijakoulun perustamista. LUMA-hanke tarjosi resursseja ja mahdollisti täysipainoisen tutkimustyön tekemisen. Tutkijakoulu puolestaan tarjosi väylän tämän ja vastaavan tyyppisten didaktisesti orientoituneiden luonnontieteellisten tutkimusten tekemiselle.

Toisaalta tarvittiin myös melkoinen määrä uskoa työn merkitykseen ja itseluottamusta didaktisesti orientoituneen tutkimuksen tekemiseen luonnontieteellisen paradigman pohjalta. Vakaa usko tutkimuksen olennaiseen merkitykseen aineenopettajakoulutuksen että aineenopettajien tutkijakoulutuksen kannalta oli omiaan vahvistamaan tutkijan itseluottamusta ja päämäärähakuista työskentelyä.

Tutkimuksen käytännön toteutus on edellyttänyt perinteisistä luonnontieteellisistä tutkimuksista poikkeavien strategioiden hyödyntämistä. Luonnontieteellisen paradigman tunteminen ei ole riittänyt, sillä muun muassa tutkimuksen toimintastrategia ja tutkimusmenetelmät on omaksuttu kasvatustieteistä. Luonnontieteellisen ja kasvatustieteellisen paradigman yhteen sulauttamista on edistänyt tutkijan opettajaksi kouluttautuminen.

1.3 Tutkimustehtävä

Monet kemian opettamisen ja oppimisen tutkimukset tarkastelevat nykyisin käsitteiden vääriymmärryksiä (vrt. Riedel 2000). Yleensä selvitetään sitä, minkä tyyppisiä virhekäsityksiä esiintyy ja mitä niille mahdollisesti pitäisi tehdä. Sen sijaan vähäisemmässä määrin on tutkittu erilaisten opetusmenetelmien käyttöä ja tehokkuutta virhekäsitysten poistamiseksi tai oppimisen laadun parantamiseksi.

Tässä tutkimuksessa arvioidaan demonstraatio-opetuksen soveltuvuutta lukion kemian opetukseen. Demonstraatio-opetuksen tavoitteena on opettajan tietoinen pyrkimys saattaa oppijat sellaisten ongelmanratkaisutilanteiden ääreen, joissa arkikäsitys ja luonnonilmiöstä tehty havainto johtavat kognitiiviseen ristiriitaan. Kognitiivisilla ristiriidoilla pyritään saamaan aikaan oppimista kehittävä ja edistävä prosessi. Kognitiivisia ristiriitoja pyritään tuottamaan erityisesti niillä alueilla, joilla virhekäsitysten tiedetään olevan yleisiä tai joista oppijoilla on vain vähän emiiristä kokemusta. Opettajajohtoisuudella ja demonstraatiolla pyritään edistämään oppijoiden oppimista ja ratkaisemaan ristiriitoja. Malli korostaa myös opettajan mahdollisuutta tarkkailla oppimisprosessia.

Kemian kontekstissa kehitettyjä ja koeteltuja demonstraatio-opetuksen malleja ei juuri ole esitetty Millerin (1993) mallia tai Kyyrösen (1999) tutkimusta lukuun ottamatta. Vaikka demonstraatio on yksi suosituimmista kokeellisen opetuksen työtavoista, on demonstraatiopedagogiikka vielä monilta osin tutkimatonta aluetta (Clermont ym. 1994). Kemian opetuksen kontekstissa koetellulle ja demonstraation opetusvaikutukseen keskittyvälle tutkimukselle on siten ilmiselvä tarve. Tutkimuksessa korostuu soveltava näkökulma, eli siinä pyritään ensisijaisesti kehittämään pedagogisesti ajanmukaista työvälinettä.

Watsonin ym. (1995) mukaan oppijoiden suorittaman kokeellisen työskentelyn määrällä ei juuri ole vaikutusta kemiallisten ilmiöiden tai käsitteiden oppimiseen. Tutkimuksessa havaittiin myös, etteivät opettajan esittämät demonstraatiot juurikaan edistä kemian sisältöjen oppimista. Tällä tutkimuksella halutaan testata ja tarkentaa myös tämän väittämän pätevyysaluetta.

Tässä tutkimuksessa luonnontieteellinen ja kasvatustieteellinen paradigma pyritään integroimaan toimivaksi kokonaisuudeksi, jonka avulla kehitetään oppijan oppimisprosessia tukeva demonstraatio-opetuksen malli. Tutkimuksessa selvitetään, minkälainen vaikutus kehitetyllä demonstraatio-opetuksen mallilla on oppijan tieteellisten käsitteiden haltuunottoon prosessiin. Haltuunottoon prosessilla tarkoitetaan Krajcikin (1991) mallin mukaista kemiallisiin käsitteisiin tutustumisen, ymmärtämisen ja soveltamisen prosessia. Tutkimuksessa

keskitytään erityisesti siihen, miten demonstraation avulla voidaan rakentaa yhteys käsiteltävän ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille siten, ettei virhekäsityksiä synny tai oppijoilla jo olevia virhekäsityksiä onnistutaan vähentämään. Tutkimustehtäväksi, ja toisaalta tutkimuksen ensimmäiseksi ongelmaksi, muodostuu siten seuraava kysymys

1. Minkälainen demonstraatio-opetuksen malli tavoittaisi konstruktivistisen oppimisen teoreettiset perusteet?

Perinteisesti metodioppaat korostavat sitä, että tutkimusongelmat on tarkoin harkittava ja muotoiltava ennen kuin aineiston keruuseen ryhdytään. Laadullisen tutkimuksen eteneminen ei kuitenkaan ole yhtä suoraviivaista, kuin määrällisen tutkimuksen. Toisaalta Hirsjärven (1998, 120, ks. myös Creswell 1994, 70–72) mukaan laadullisessa tutkimuksessa "tutkimusongelmana" voidaan pitää myös tutkimustehtävää, joka asetetaan yleisellä tasolla. Tutkimuksen ensimmäinen ongelma on siis tässä tapauksessa yleisluonteinen kysymys, jossa koko tutkittava kokonaisuus hahmottuu. Lisäksi kysymyksen perusmuoto määräytyy tutkimuksen tarkoituksen mukaan, joka on kuvailla minkälainen on käytännössä toimiva demonstraatio-opetuksen malli.

2 Kemian tietorakenne

Kemia on luonnontiede. Luonnossa tapahtuu alinomaan mitä erilaisimpia muutoksia, joita pyritään ymmärtämään ja joiden perussyistä pyritään saamaan selvyys. Luonnossa tapahtuvia muutoksia kutsutaan luonnonilmiöiksi, ja ne kaikki noudattavat samoja peruslakeja. Kemian tarkoitus on luonnon perusilmiöiden syvälinen ymmärrys.

Kemian opettaminen on luonnontieteen opettamista. Myös kemian opettamisen tavoitteena on luonnonilmiöiden ymmärrys. Kemian opettamisen pedagogiset tavoitteet ovat yhteneviä tieteenalan tavoitteiden kanssa. Kemia tieteenä ja kemian opettaminen tavoittelevat samaa päämäärää.

2.1 Kemian tutkimuksen kohde

Kemiallisen tutkimuksen kohteena on kaikki maailmankaikkeudessa esiintyvä aine ja sen muutokset. Ilmiöiden ymmärrys tukeutuu kokeisiin ja mittauksiin sekä loogiseen ajatteluun. Kemisti saattaa järkeään ja loogiikkaansa käyttämällä ennustaa luonnossa esiintyvän vielä havaitsemattoman ilmiön tai olion, mutta varmuus sen olemassaolosta sekä päättelyn oikeellisuudesta saadaan silloin, kun se todennetaan havaitisijasta riippumattomilla mittalaitteilla.

Kemian tutkimus on kiinnostunut aineen luonteesta, ominaisuuksista ja rakenteesta. Aineeksi kutsutaan mitä tahansa maailmankaikkeudessa olevaa oliota, jolla on massa. Fysiikan ja kemian tutkimuksen erottelu käy hankalaksi siinä vaiheessa, kun tutkimuksen kohde on atomia pienempi hiukkanen. Perinteisesti on katsottu, että kemian tutkimuksen kohteena ovat atomit, sen elektronirakenteessa tapahtuvat muutokset sekä atomien tai atomiryhmien liittyminen, eroaminen tai uudelleenryhmittäminen.

Tutkimuskohteesta hankitaan tietoa tekemällä kokeita ja mittauksia luonnontieteellisiä tutkimusmenetelmiä käyttäen. Kemiassa tutkimustietoa voidaan hankkia monilla eri

mittalaitteilla sen mukaan, minkä tyyppistä tietoa halutaan saada tai miten tutkittavasta kohteesta voidaan saada tietoa.

Tutkittavat kohteet ovat kooltaan useimmiten niin pieniä, ettei tarkkaa tietoa olioiden tai ilmiön ominaisuuksista ja niiden käyttäytymistä säätelevistä periaatteista voida saada muuten kuin erityisiä mittalaitteita käyttämällä. Tutkija saattaa tehdä havaintoja makroskooppisessa mittakaavassa, mutta tällä tasolla tehdyt havainnot ovat luonteeltaan yleensä laadullisia (esimerkiksi aineen väri, haju, muoto jne.). Kvantitatiivista makrotason tietoa voidaan hankkia esimerkiksi vertailemalla, mutta havaitsijasta riippumattomaa tietoa vasta käyttämällä jotain mittalaitetta. Mittalaite on objektiivinen havainnoissaan, eikä sen ilmoittama tulos ole riippuvainen havaitsijan värien erottelukyvystä.

Kemisti tutkii aineen pienempien osasten sekä suurempien atomi- ja molekyyliyhdyntöjen ominaisuuksia, käyttäytymistä ja muutoksia. Aineen pienimmätkin rakenneyksiköt noudattavat samoja universaaleja lakeja kuin suuret taivaankappaleet. Toisaalta ei ole sama, tarkastellaanko yksittäistä hiukasta vai hiukkasryhmää. Se, mikä pätee atomitasolla, ei välttämättä pädekään enää atomiryhmien ja -joukkojen tasolla. Kokonaisuus on enemmän kuin yksiköidensä summa. Koska kemian tutkijalla on ongelmia mallintaa täsmällisesti yhdenkin atomin ominaisuudet ja käyttäytyminen kaikissa mahdollisissa olosuhteissa, muodostuu tilanne atomien lukumäärän kasvaessa yhä monimutkaisemmaksi probleemaksi.

Ymmärryksemme atomien ja molekyylien maailmasta kehittyi kemian tutkimuksen myötä nykyisin hyvin nopeasti. Yksi ratkaisu suuren hiukkasjoukon käyttäytymisen ymmärtämisen ongelmaan löytyi termodynamiikan periaatteista (Enquist 2000). Kineettinen kaasuteoria mallintaa yhden atomin ja atomiryhmän käyttäytymistä eri tavoin: atomiryhmä tai joukko käyttäytyy tilastollisesti varsin ennustettavasti. Vaikka yhden atomin paikan ja nopeuden yhtäaikainen määrittäminen onkin mahdotonta, niin siitä huolimatta suuren molekyylijoukon ominaisuuksia voidaan ennustaa tilastollisten keskiarvojen perusteella.

2.2 Kemiällisen tiedon kolmen dimension malli

Jensenin (1998) mukaan aineen rakenteesta ja sen muuttumisen lainalaisuuksista tutkimuksin hankittu tieto voidaan jaotella kolmeen tasoon: molaariseen, molekulaariseen ja elektroniseen.

1. Molaarisella tasolla ainetta käsitellään ja sen ominaisuuksia tutkitaan suurten hiukkasjoukkojen tapauksessa. Molaarista tasoa voidaan ajatella myös makroskooppisen/reaalimaailman tasona.
2. Molekulaarisella tasolla ainetta tarkastellaan atomien ja molekyylien suuruusluokassa. Samalla aineen ominaisuuksien tutkiminen muuttuu suuren hiukkasjoukon ominaisuuksien tutkimisesta muutamien tai yksittäisten hiukkasten ominaisuuksien tutkimiseen.
3. Elektronisella tasolla tutkitaan atomeja ja molekyyliä kevyempien hiukkasten käyttäytymisen vaikutus havaittuihin luonnonilmiöihin.

Kutakin tasoa voidaan puolestaan tarkastella kolmesta näkökulmasta, joita ovat

- A. aineen kemiallinen koostumus ja rakenne
- B. energia
- C. aika.

Taulukko 1 havainnollistaa yksityiskohtaisemmin kemiallisen tiedon kolmen tason mallia.

2.2.1 Aineen kemiallisen koostumuksen ja rakenteen dimensio

Koska aineen rakenne on ilmiselvästi molekulaarisen tason käsite, aineen koostumuksen ja sen ominaisuuksien selittäminen molaarisella tasolla ilman atomin tai molekyylin käsitteitä on melko rajoittunutta. Aineen rakenteen ja koostumuksen molaarisen tason kuvailussa on pitäydyttävä reaalimaailman käsitteissä. Se, että aineella on esimerkiksi tietyt kemialliset ominaisuudet, voidaan vahvistaa osoitusreaktioin. Aine voidaan luokitellaan puhtaiksi aineiksi ja yhdisteiksi sekä liuoksiksi ja seoksiksi, mutta yleensä on mahdotonta todeta silmämääräisesti, onko esimerkiksi jokin aine puhdas aine (kuten vesi) vai homogeeninen seos (kuten suolavesiliuos). Erilaisin koejärjestelyin voidaan osoittaa, mistä alkuaineista aine koostuu ja missä painosuhteessa näitä alkuaineita tutkittavassa aineessa esiintyy. Viittauksia empirisiin tai absoluuttisiin rakenne- ja kidekaavoihin ei voida kuitenkaan tehdä, koska viittaus edellyttäisi molekulaarisen tason käsitteiden käyttöä.

Aineiden erotteluun on käytettävä lisämääreitä esimerkiksi silloin, kun kaksi eri ainetta ovat rakentuneet samoista alkuaineista ja sisältävät samat suhteelliset painomäärät näitä aineita.

Taulukko 1. Kemiallisen tiedon kolmen tason ja dimension malli (Jensenin 1998 mukaan.)

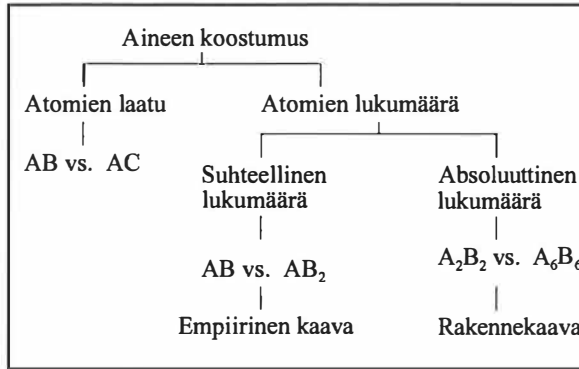
| <i>Tarkastelunäkökulma → Tarkastelutaso 1</i> | A) AINEEN KEMIALLI- NEN KOOSTUMUS JA RAKENNE | B) ENERGIA | C) AIKA |
|---|---|--|--|
| <i>1) Molaarinen taso</i> | Puhtaiden aineiden ja yhdisteiden sekä liuosten ja seosten suhteelliset koostumukset. Allotrooppien eri muotojen empiirinen määrittäminen (esim. väri). | Yhdisteen muodostumis- ja reaktion reaktiolämpö. Vapaa energia ja tasapainovakio. Entropian tulkinta pyrkimyksenä tasapainotilaan. | Kokeelliset reaktionopeuslait. Kokeelliset Arrheniuksen parametrit. |
| <i>2) Molekulaarinen taso</i> | Absoluuttinen ja rakennekaava. Allotrooppien eri muotojen selittäminen variaationa joko absoluuttisessa koostumuksessa (polymeerit) tai rakenteessa (isomeerit) | Kaasumaisten atomien muodostumislämpö ja sidossosiaatioenergia. Entropian tulkinta atomin/molekyylin vapausasteiden perusteella. | Reaktioiden molekulaarisuus. Aktivoituneen kompleksin muodostuminen ja energian jakautuminen tiettyssä ajassa |
| <i>3) Elektroninen taso</i> | Elektroniset kaavat (Lewisin rakenteet, elektronikonfiguraatiot). Variaatioiden esiintyminen ytimen tai elektronikuoren kokoonpanossa (isotoopit ja ionit) tai elektronikuoren rakenteessa (virittyneet tilat). | Virittymisen ja ionisoitumisen selittäminen elektronisen energian muutoksilla. Entropian tulkinta elektronisen energian tilastollisen jakautumisen näkökulmasta. | Ioniset ja foto-kemialliset reaktiomekanismit. Esim. molekyylin ja fotonien välisen reaktion tutkiminen. Virittyneen tilan muodostuminen tiettyssä ajassa ja tilan keston määrittäminen. |

Lisämääreitä voivat olla aineen olomuoto (kiinteä, neste, kaasu), väri (esimerkiksi valkoinen, punainen ja musta fosfori) tai kidemuoto (esimerkiksi rombinen ja monokliininen rikki).

Aineen koostumuksen selvittäminen molekulaarisella tasolla tuottaa tietoa atomien laadusta ja määrästä. Aineen laadulliset ominaisuudet paljastavat, minkä tyyppisistä atomeista molekyylille on rakentunut, ja vastaavasti aineen määrälliset ominaisuudet sen, mikä on kyseisten rakenneyksiköiden lukumäärien suhde toisiinsa. Rakenneyksiköiden määräsuhteiden tutkimus johtaa kahteen erityyppiseen tietoon (kuvio 1). Eri tyyppisten atomien suhteellisen lukumäärien selvittäminen johtaa empiiriseen ja absoluuttisen lukumäärän selvittäminen rakennekaavaan.

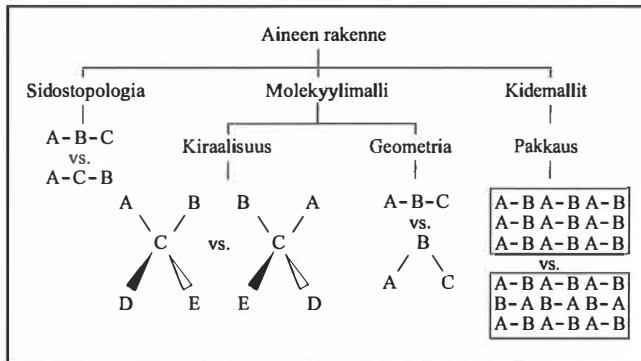
Toisinaan tyydytään ilmoittamaan vain aineen empiirinen kaava, kuten natriumkloridin (NaCl) tapauksessa, jossa rakenneyksiköiden suhde on 1:1.

Aineet luokitellaan eri yhdisteiksi, jos niiden rakenneyksiköiden laatu (esimerkiksi FeS ja CuS) tai suhteellinen lukumäärä eroavat toisistaan (esimerkiksi CO ja CO₂). Aineita kutsutaan toistensa polymeereiksi, jos verrattavat aineet eroavat toisistaan vain atomien absoluuttisen lukumäärän suhteen (esimerkiksi vinyylkloridi ja polyvinyylkloridi, PVC).



Kuvio 1. Aineen koostumuksen molekulaarisen tason tieto (Jensenin 1998 mukaan.)

Aineen rakenteen molekulaarisen tason tieto paljastaa atomien sitoutumisjärjestyksen ja paikat kolmiulotteisessa avaruudessa. Isomeerien koostumus on keskenään samanlainen, mutta niiden avaruudellisessa rakentumisessa on eroa. Isomeria voidaan edelleen jakaa kahteen luokkaan, joista toinen tarkastelee atomien sitoutumisjärjestystä (topologiset isomeerit) ja toinen atomien kolmiulotteista järjestymistä. Kolmiulotteinen järjestymisen voidaan edelleen jakaa geometriseen isomeriaan ja kiraaliseen isomeriaan (kuvio 2). Myös kiinteiden aineiden kidehilojen pakkaantumisessa on eroavuuksia, jolloin puhutaan fysikaalisesta tai pakkausisomeriasta. Fysikaalinen isomeria ei säily aineen sulaessa tai höyrystyessä, joten sitä tavataan ainoastaan kiinteiden aineiden tai kiteytyneiden nesteiden tapauksessa.



Kuvio 2. Aineen rakenteen molekulaarisen tason tieto (Jensenin mukaan.)

Aineen kuvailu molaarisella tai molekulaarisella tasolla ei kuitenkaan kerro mitään niistä syistä, miksi alkuaineet ovat sitoutuneet tietyissä suhteissa, miksi jokin isomeeri on pysyvämpi kuin toinen tai miksi atomit ylipäättensä muodostavat sidoksia. Näihin kysymyksiin vastaaminen edellyttää siirtymistä elektronisen tason käsitteisiin.

Elektronisen tason tiedolla tarkoitetaan teoriaa siitä, että aine rakentuu varautuneista ja neutraaleista hiukkasista, joita nimetään protoneiksi, neutroneiksi ja elektroneiksi. Elektronisen tason käsitteillä voidaan antaa aiempaa täsmällisempi selitys aineen rakenteelle ja kemialliselle sitoutumiselle. Aineen rakennetta ja sitoutumista voidaan kuvata käyttämällä esimerkiksi elektronikonfiguraatioita tai Lewisin kaavoja.

Ioneja ja ionisoitumista voidaan kuvata aineen elektronisen koostumuksen muutoksilla sekä virittymistä ja viritystiloja aineen elektronisen rakenteen muutoksilla. Tämän lisäksi atomiytimen koostumuksen muutoksilla voidaan selittää isotooppi-ilmiötä ja ytimen rakenteen muutoksilla ydinisomerialmiötä.

Oppijoiden empiiriset käsitykset aineen rakenteesta ja sen kemiallisesta koostumuksesta poikkeavat usein tieteellisistä. Oppimisen tuloksena oppijan ja opettajan näkemys lähenevät, mutta näkemys on usein konstruktio aikaisemmasta ja uudesta käsityksestä. Virheet perushahmotuksessa ilmenevät oppijoiden selityksissä. Oppijoilla on todettu olevan molaarisen tason hahmotuksen hankaluuksia esimerkiksi puhtaan aineen ja seoksen käsitteiden erottamisessa toisistaan. Mikrotason mallit eivät välttämättä auta käsitteiden omaksumista, sillä oppijat saattavat tulkita esitetyt mallitkin väärin (Sanger 2000). Toisaalta oppijat voivat opetuksen perusteella tietää aineen rakentuvan atomeista, mutta pitää itsepintaisesti kiinni aineen tasalaatuisuuden ja jatkuvuuden mallistaan (Pfundt 1981; Nussbaum 1985). Perushahmotuksen virheitä ilmenee myös molekulaariselta molaariselle tasolle siirryttäessä. Oppijat saattavat esimerkiksi kuvitella, että veden hajotuksessa syntyneistä kaasutilavuuksista suuremman tilavuuden saa happi, koska se on atomitasolla isompi kuin vety (Gabel 1987).

Oppimisen ongelmana on usein molaarisen tason konkreetin maailman ja molekulaarisen tason abstraktin maailman puutteellinen kytkeytyminen toisiinsa. Johnstonen (1991) mukaan opetuksessa tulisi pyrkiä systemaattisesti kytkemään toisiinsa luonnonilmiön molaarisen, molekulaarisen ja symbolisen tason esitykset. Näin oppijalle muodostuisi eheämpi kuva ilmiön konkreetista ilmenemismuodosta ja sen yhteydestä abstraktin tason selityksiin. Nakhleh ja Krajeik (1994) ovat lisänneet tähän vielä esityksen algebrallisen tason. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet oppijoilla olevan suuria hankaluuksia tulkita näkemäänsä eri tasoilla (Ben-Zvi ym. 1988), mikä taas ekspertille on hyvin helppoa.

Elektronisen tason hahmotuksen ongelmat liittyvät yleensä aineen elektronirakenteisiin ja kemiallisiin sidoksiin. Petersonin ja Treagustin (1989) mukaan 23 % lukioikäisistä tutkimusryhmän opiskelijoista kuvitteli elektronien jakaantuvan tasan kaikissa kovalenttisissa sidoksissa. Lisäksi kovalenttiset sidokset kuvattiin poikkeuksesta samalla tavalla polarisoituneiksi. Lisäksi 60 % lukioikäisistä ja 55 % yliopiston ensimmäisen vuoden opiskelijoista ei kyennyt sijoittamaan yleisten mallien mukaisesti vedyn ja fluorin välisen

kovalenttisen sidoksen elektroniparia. Boon (1998) mukaan oppijat saattavat myös kuvitella, että yksinkertainen sidos käsittää vain yhden elektronin.

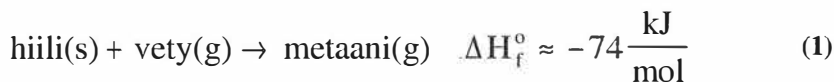
Buttsin ja Smithin (1987) sekä Boon (em.) mukaan hankaluuksia ilmenee myös ioniyhdisteiden ymmärtämisessä. Eri-ikäisillä oppijoilla näyttää olevan yhteinen virhekäsitys, jonka mukaan ioniyhdisteen rakenneosat ovat selvästi toisistaan erillään. Taberin (1994) tutkimus kuvaa tätä virhekäsitystä natriumkloridin tapauksessa: Opiskelijoiden mukaan natrium voi muodostaa vain yhden sidoksen, koska se voi luovuttaa vain yhden elektronin. Lisäksi natriumioni voi sitoutua vain elektronin vastaanottavan kloridi-ionin kanssa. Opiskelijat saattavat kyllä tietää natrium- ja kloori-ionien olevan vuorovaikutuksessa muiden ionien kanssa, mutta heidän mielestä nämä vuorovaikutukset eivät ole luonteeltaan ionisidoksellisia.

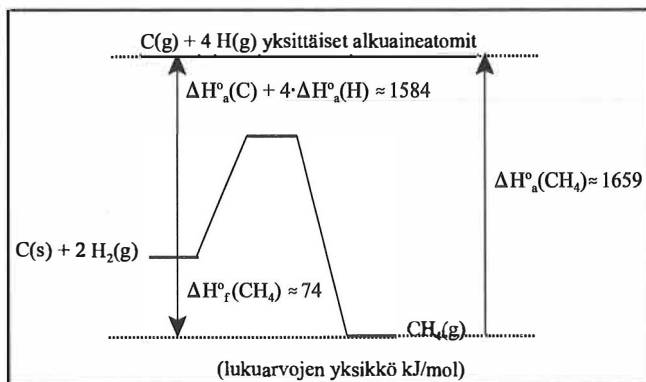
Yksi mahdollisuus aineen rakenteen ja kemiallisen koostumuksen eri tasojen hahmottamiseen on käsitteiden havainnollistaminen demonstroimalla. Demonstraatio tuo pelkistetyksi esille ilmiön tai käsitteen molaarisen tason ominaisuudet. Kun ilmiön ominaisuudet ja niiden muutoksista tehdyt havainnot kytketään johdonmukaisesti ilmiön teoreettisiin perusteluihin, kehittyy oppijoiden kyky tulkita ilmiöitä ja käsitteitä eri tasoilla. Tässä tutkimuksessa kehitetty demonstraatio-opetuksen malli tarjoaa opettajille työvälineen konkreetin makroskooppisen ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisen yhteyden havainnollistamiseksi.

2.2.2 Energiadimensio

Atomeilla ja molekyyleillä on rakenteen ja koostumuksen lisäksi kyky varastoida ja vapauttaa energiaa. Energian merkitys kemiallisille ilmiöille on ratkaiseva, koska sen tarpeesta, riittävydestä ja kulutuksesta riippuu kemiallisen reaktion käynnistyminen, eteneminen ja päättymisen.

Molaarisella tasolla kyetään mittaamaan esimerkiksi yhdisteen muodostumislämpö, vaikkei sen molekyyliarakennetta tiedetä (kuvio 3):





Kuvio 3. Metaanin muodostumisen termokemiallinen sykli (Jensenin 1998 mukaan).

Samoin fosforin kolme allotrooppista muotoa voidaan erottaa toisistaan värin lisäksi niiden termodynaamisten ominaisuuksien perusteella. Muodostumislämpöjen arvoja käyttämällä voidaan edelleen laskea esimerkiksi reaktiolämpö, reaktion vapaan energian määrä ja tasapainovakion arvo (Jensen, 1998; ks. myös Steinfeld ym. 1999, 300–302). Entropia selitetään termodynamiikan toisen ja kolmannen pääsäännön avulla, joiden mukaan kaikissa spontaaneissa prosesseissa entropia kasvaa ja ilmenee kemiallisissa prosesseissa mm. pyrkimyksenä tasapainotilaan.

Molekulaarisella tasolla yhdisteen muodostumislämpöä voidaan tarkastella uudesta näkökulmasta ja määrittää esimerkiksi yksittäisten kaasumaisten atomien muodostumislämpöjä tai toisaalta sidosten dissosiaatioenergioita:

$$\Delta H_f^\circ = \sum \Delta H_a^\circ[\text{alkuaineatomi}] - \Delta H_a^\circ[\text{yhdiste}] \quad (2)$$

Muodostumislämmön määrä voidaan myös jakaa molekyylin sidoksien kesken, jolloin päästään keskimääräisen sidosen energian käsitteeseen sekä keskimääräisiin sidoksen dissosiaatioenergioihin.

Molekulaarisella tasolla myös entropia saa uuden tulkinnan. Huomio voidaan kiinnittää atomien ja molekyylien vapausasteiden lukumäärään. Hiukkasella on kolme vapausastetta, jos se voi liikkua vapaasti kaikkiin kolmeen avaruuden suuntaan. Lisäksi hiukkanen voi pyöriä ja värähdellä, mikä lisää vapausasteiden määrää. Jos vapausasteiden määrä vähenee esimerkiksi molekyylin avaruudellisen rakenteen takia, molekyylin järjestäytyneisyys kasvaa ja entropia vähenee (kuvio 4).

Elektronisella tasolla energiatarkekelun huomio kiinnittyy ytimen ja etenkin elektroniverhon koostumukseen ja rakenteeseen. Esimerkiksi kovalentti sidos selitetään tällöin

| | | | | |
|---|---|---|---|--|
| S° (valkoinen P) Erilliset P ₄ molekyylit: molekyylin liike rajoittamaton | > | S° (punainen P) P atomit kejuuntuneet: Yksi vapausaste vähemmän | > | S° (musta P) P atomit muodostaneet levyjä: Kaksivapausastetta vähemmän |
|---|---|---|---|--|

Kuvio 4. Rikin allotrooppisten muotojen selittäminen vapausasteiden perusteella (Jensenin 1998 mukaan).

kvanttimekaanisena pyrkimyksenä elektronien pariutumiseen (vrt. Tommila 1965, 78–79; Kurki-Suonio 1984, 219). Atomin tai molekyylin elektronisen energian muutoksen avulla voidaan laskea esimerkiksi virittymiseen tai ionisoitumiseen vaadittavan energian suuruus. Entropian absoluuttisia arvoja voidaan laskea Boltzmannin kaavan avulla (Atkins & Paula 2002, 642).

Oppijoiden käsitykset kemiallisesta energiasta ja energiasta yleensäkin voivat poiketa huomattavasti tieteellisestä käsityksestä. Molaarisen tason virhekäsitykset ilmenevät muun muassa siten, että oppija kuvittelee lämmön olevan kuumaa ilmaa, joten sillä olisi siten massa (Andersson & Renström 1979). Myös palamisilmiöihin liittyvien valo- ja lämpöilmiöiden on todettu häiritsevän ilmiön omaksumisprosessia (de Vos & Verdonk 1986; De Jong ym. 1999).

Vain puolet Barkerin ja Millarin (2000) tutkimuksessa mukana olleista lukioikäisistä opiskelijoista mielsi sidoksen muodostumisen eksotermiseksi prosessiksi. Rossin (1993) mukaan opiskelijat ovat taipuvaisia ajattelemaan kemiallisen sidoksen katkeamisen energian vapauttavaksi tapahtumaksi. Virhekäsityksen syynä pidetään arkihavaintojen pohjalta luotua käsitystä. Oppijat yhdistävät arkielämän yhteyksistä tutut polttoaineisiin liittyvät havainnot kemiallisen energian käsitteeseen. Oppijat kuvailevat fraasin tapaisesti ”polttoaineen sisältävän energiaa” ja assosioivat tämän kemialliseen sidokseen varastoituneeksi energiaksi.

Oppilaiden päättely vaikuttaa perustuvan yleisestikin olettamukselle, jonka mukaan energiaa tarvitaan ilmiöiden tapahtumiseen (vrt. Watts 1983; Solomon 1984; Boo 1998). Tämä on arkihavainnosta tehty päätelmä, joka ilmenee käsityksenä, että sidoksen muodostuminen vaatii energiaa. Kemiallisessa reaktiossa ”sidokseen varastoitunut energia” voi sitten vapautua eri yhteyksissä ja sitä voidaan hyödyntää. Näkemys poikkeaa selvästi tieteellisestä mallista, jonka mukaan sidoksen muodostumisessa vapautuu ja katkaisemiseen tarvitaan energiaa esimerkiksi lämpönä.

Oppijoilla näyttää olevan ongelmia kemiallisen energian molekulaarisen tason perushahmotuksessa. Opetuksen tutkimuksessa pitäisi kiinnittää lisähuomiota oppijoiden energian käsitteen hahmottamiseen ja käsitteen käyttötapaan. Oppijoiden esikäsityksen selvittäminen puolestaan helpottaa oppitunnin etenemisen suunnittelua ja lisää näin opetuksen tehokkuutta. Samalla oppija tulee tietoiseksi sekä omasta että tieteellisestä kemiallisen energian käsityksestä.

2.2.3 Aikadimensio

Edellä on rakenteen ja koostumuksen sekä energian näkökulmaa selitetty lähinnä termodynaamisia malleja soveltaen. Kuitenkin tällä tavalla kyetään kohtuullisesti selittämään vain lähtöaineiden ja reaktiotuotteiden välisiä energiasuhteita ja tasapainotiloja. Sitä vastoin kysymykseen, kuinka nopeasti jokin ilmiö tapahtuu, termodynamiikka ei anna vastausta, koska aika ei sisälly muuttujana termodynamiikan yhtälöihin. Kemiallisten ilmiöiden tarkasteluun on otettava avuksi aineen rakenteen ja koostumuksen sekä energiakäsitteen lisäksi ajan käsite (vrt. Tommila 1965, 509).

Molaarisella tasolla ajan käsitteen mukaan ottaminen mahdollistaa kokeellisen kemiallisen reaktion nopeuden laskemisen sekä aktivoitumislämmön ja -entropian tarkastelun. Molekulaarisella tasolla reaktiolaki ja aktivoitumisentropia saavat molekulaarisen tulkinnan, joka kiinnittää huomion todennäköisimpään reaktiomekanismiin ja aktivoituun kompleksiin (Jensen, 1998; vrt. myös Steinfeld ym. 1999, 289–294). Elektronien tasolla huomioidaan ionien, virittyneiden tilojen ja isotooppien vaikutus kemiallisen reaktion mekanismiin ja energialaskuja voidaan tehdä käyttämällä tietoa transitiotilojen elektronirakenteista (Jensen, 1998).

Aikakäsitteellä on keskeinen merkitys kemian filosofisissa perusolettamuksissa. Molekulaarisella tasolla kaikella aineella on sille karakteristiset kemialliset ominaisuutensa. Tutkijalta jää aineen kemiallisen ominaisuuden muutos huomaamatta, jos aineen kemiallisen ominaisuuden mittaamiseen tarvittava aika on suurempi kuin aineen ominaisuuden muutokseen tarvittava aika:

$$t_{\text{muutos}} < t_{\text{mittaus}} \quad (3)$$

Tutkijan havainto mittauskohteesta on karkeistunut (Enquist 2000), jonkintyyppinen keskiarvo niistä ominaisuuksista, joita oliolla katsotaan todellisuudessa olevan. Esimerkiksi aineen kiehumispistettä tai tiheyttä mitattaessa ei kiinnitetä huomiota yksittäisten molekyylien rotaatio- tai vibraatiotilojen muutoksiin, vaan aineen ominaisuus määritellään kokonaisvaltaisesti. Molekyyli-rakenteen muutoksia voidaan hidastaa esimerkiksi jäädyttämällä tutkittava aine lähelle absoluuttista nollapistettä tai käyttämällä laitteistoja, joiden kahden mittauksen välinen aika on niin lyhyt, että esimerkiksi eri konformaatiot kyetään erottamaan toisistaan. Esimerkiksi veden voidaan kuvitella seos vetysidoksia toistensa kanssa vaihtavista polymeereistä, mutta käyttäytyvän termodynaamisesti kuin tasalaatuinen yhdiste, koska vetysidosten vaihtuminen on huomattavasti nopeampi ilmiö kuin höyrystyminen tai jäätyminen.

Kemiallisten ilmiöiden muutoksiin liittyy mittaustapahtumiin kytkeytyvän “laboratorioajan” lisäksi myös “historiallinen aika”, joka tarkastelee alkuaineiden syntyä, suhteellista pysyvyyttä, geokemiallista esiintymistä ja jakautumista maaperässä, astrokemiallista esiintymistä ja jakautumista sekä aurinkokunnassa että maailmankaikkeudessa ja biokemiallista esiintymistä ja jakautumista elävissä organismeissa.

Lyhyesti ilmaistuna historiallinen aika kiinnittää huomionsa siihen, kuinka ympäristön kemiallinen koostumus on muodostunut sellaiseksi, kuin se on. Historiallinen aika käsittää menneitä tai hyvin pitkäkestoisia tapahtumia, minkä vuoksi ympäristön kontrollointi on mahdotonta tai muutosten havainnoiminen laboratorio-olosuhteissa käytännöllisistä syistä mahdotonta. Historiallista aikaa käsittelevän tutkimuksen tulokset ovat usein monitulkintaisia ja päätelmät spekulatiivisia (esimerkiksi elämän synty maapallolla, evoluutioteoria, mannerlaattojen liike, kosmologia). Ehkä tästä syystä kemian historiallisia näkökulmia käsittelevää tutkimusta tehdään yliopistoissa pääosin muissa kuin kemian laitoksissa, kuten geologian tai astronomian laitoksissa.

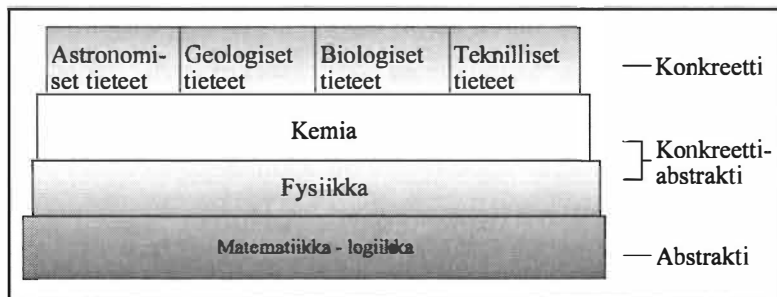
Kemiallisen reaktion ajasta riippuvia ilmiöitä ei juuri käsitellä perus- tai lukioasteen opetuksessa (vrt. POPS 1994, 80–82; LOPS 1994, 85–88). Tämä pitänee paikkansa useimmissa muissa maissa, sillä koululaisten käsityksiä kemiallisesta kinetiikasta ei juuri ole julkaistu kansainvälisissä tutkimuksissa. Muutamia harvinaisempia aiheeseen liittyviä tutkimuksetkin keskittyvät yleensä college- tai yliopistotasoiseen opetukseen (vrt. esim. Boyd 1978; Batt 1980; BouJaoude 1994; Parkash & Kumar 1999), ja niissä korostuvat sisällön opettamisen perusteet ainepedagogisen painotuksen sijaan.

Oppijoiden käsityksiä kemiallisesta kinetiikasta pitäisi selvittää nykyistä laajemmin ja eri kouluasteilla. Vain tieteellisen tutkimuksen avulla voidaan perus- kuin lukioasteen opetusta tällä alueella kehittää. Puutteellisen tutkimuksen ilmentymiä ovat muun muassa oppikirjoissa ja opetuksessa esitetyt virheelliset palamisilmiön kinetiikan selitysmallit (Vitz 2000; Krnel & Glazar 2001).

2.3 Kemian kytkeytyminen muihin tieteisiin

Jensenin (1998) mukaan kemia on kytkeytynyt muihin luonnontieteisiin sekä matematiikkaan ja logiikkaan tavalla, josta rakentuu hierarkkinen kokonaisuus (kuvio 5).

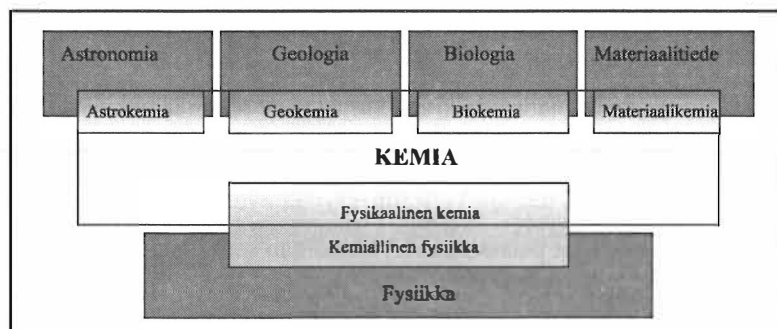
Hierarkiassa ylemmäksi merkityt tieteenalat käyttävät hyväkseen alemmaksi merkittyjen tieteenalojen periaatteita, lakeja ja teorioita, vaikka kullakin tieteenalalla muodostuu myös uusia käsittejärjestelmiä. Konkreettien tieteenalojen tutkimuskohteet ovat yleensä maailmankaikkeu-



Kuvio 5. Matemaattis-luonnontieteellisten tieteiden hierarkkinen luokittelu (Jensenin 1998 mukaan, ks. myös Allo 2000).

desta löytyvät oliot ja ilmiöt, kun taas abstraktit tieteenalat pyrkivät formuloimaan periaatteita, joita oliot ja ilmiöt noudattavat. Esimerkiksi sellaiset tieteenalat, kuten lääketiede, psykologia ja sosiologia voidaan sisällyttää biotieteiden alaisuuteen. (Jensen 1998.)

Kemian tietorakenteen kehittyminen ei olisi ollut mahdollista ilman matematiikkaa ja logiikkaa (vrt. K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 52, 245). Luonnontieteistä fysiikka on kemialle kaikkein läheisin, mutta yhteistyö biologian suuntaan on lisääntynyt voimakkaasti. Kemian tutkimuksen lajit ovat löytäneet yhtymäkohtia useisiin tieteenaloihin, joista muutamia on havainnollistettu kuviossa 6. Nanotieteiden kehitys ja tutkimuksen voimakas kasvu tapahtui vuosituhaten vaihteessa. Fysiikkaa, biologiaa ja kemiaa integroivan tutkimuksen ennustetaan olevan 2000-luvun ensimmäisten vuosikymmenten intensiivisimmistä tutkimusaloista.



Kuvio 6. Kemian liittyminen muihin luonnontieteellisiin aloihin (Jensenin 1998 mukaan, ks. myös allo 2000).

Fysiikkaa, kemiaa ja biologiaa integroiva nanotiede asettaa suuria haasteita perustieteiden opetukselle. Luonnontieteiden perustuminen matematiikkaan ja logiikkaan ohjaa myös näiden aineiden opettamisen järjestystä. Matematiikkaa ja sen menetelmiä pitää hallita ennen kuin voi siirtyä fysiikan opintoihin ja vastaavasti fysiikkaa ennen kemian opintoja. Tämän näkemyksen kannalla on vuoden 1988 fysiikan nobelisti professori Leon M. Lederman, joka on tutkijauran jälkeen suunnannut kiinnostustaan opettajien koulutukseen. (Ks. Allo 2000; Leino 2000.)

Kemian menestyksellinen oppiminen edellyttää siis hyviä matemaattisia tietoja ja taitoja. Kemian tutkimuskohteena ovat kuitenkin usein konkreetit luonnonilmiöt, joiden laadullinen ymmärtäminen on mahdollista jo varhain ja ilman matemaattisia taitoja. Kurki-Suonion (2000) mukaan fysiikassa kaikki ymmärtäminen on pohjimmiltaan laadullista, joten kvantitatiivinen käsitteistö suureineen, lakeineen ja teorioineen on vain tämän ymmärryksen täsmennettyä esitystä. Ilmiön kvantifiointi on kuitenkin mahdotonta ilman matemaattisia apuvälineitä. Samat periaatteet pätevät myös kemiaan ja sen oppimiseen.

3 Kemian oppiminen

Informaatiota hankitaan yleensä aistien välityksellä, mutta ihmisellä on luontainen kyky myös aistia omat ajatuksensa. Aivotutkimuksen ja kognitiivisen psykologian mukaan ihmisten tajunta ja muisti lokalisoituvat suurelta osin aivoihin. Myös tiedon prosessointi tapahtuu etupäässä aivoissa, vaikka osa tiedosta prosessoidaan muualla ja tapahtuman tiedostaminen aivoissa tapahtuu vasta myöhemmin. Hyvänä esimerkkinä tästä ovat refleksit.

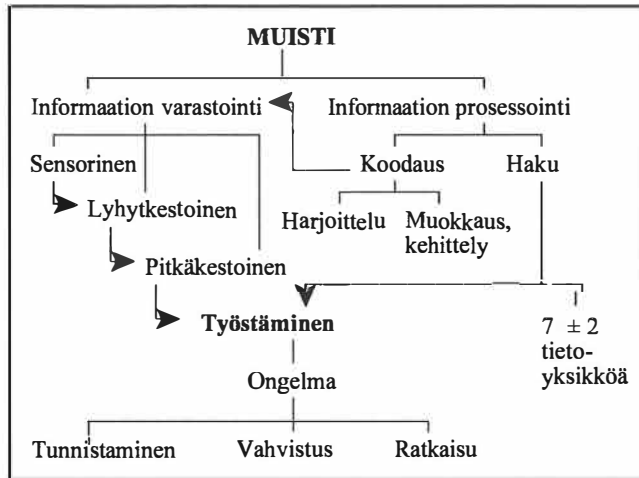
Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sitä, kuinka demonstraation avulla voidaan edistää luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden muistiin varastoimista, prosessointia ja pitkäkestoisesta muistista palauttamista.

3.1 Muisti

Ihmisen muistilla on keskeinen rooli informaation tallennuksessa, vertailussa ja varastoinnissa. Yleisesti muistilla tarkoitetaan varastoa, johon aistien kautta on välittynyt tai ajatteluprosessin tuloksena on palautettu informaatiota joko lyhyt- tai pitkäaikaista käyttöä varten (White 1989, 116–154; Eysenck & Keane 1996, 123–154; Johnstonen 1997). Muisti jaetaan yleensä kolmeen tyyppiin: sensoriseen muistiin, lyhytkestoiseen muistiin ja pitkäkestoiseen muistiin. Kuvio 7 havainnollistaa muistin ja informaation prosessoinnin välistä suhdetta.

Informaatiota prosessoidaan ensin sensorisessa muistissa, ja jos informaatiolla on jokin merkitys, se siirretään lyhytkestoiseen muistiin. Tieto varastoidaan lyhytkestoiseen muistiin vain muutamiksi sekunneiksi, koska sen varastointikyky on rajoittunut. Ihminen pystyy varastoimaan lyhytkestoiseen muistiin keskimäärin 7 ± 2 tietoyksikköä (ks. esim. White 1989, 127).

Pääosa informaatiosta varastoidaan pitkäkestoiseen muistiin, josta se voidaan tarvittaessa palauttaa esimerkiksi ongelmanratkaisua varten. Pitkäkestoista muistia kutsutaan myös semanttiseksi muistiksi. Pitkäkestoiseen muistiin varastoituneen informaation osat ovat rakentuneet verkostoiksi (Baker & Piburn 1997, 194–198).



Kuvio 7. Muistin ja tiedon prosessoinnin malli (Bakerin & Piburnin 1997, 191, mukaan).

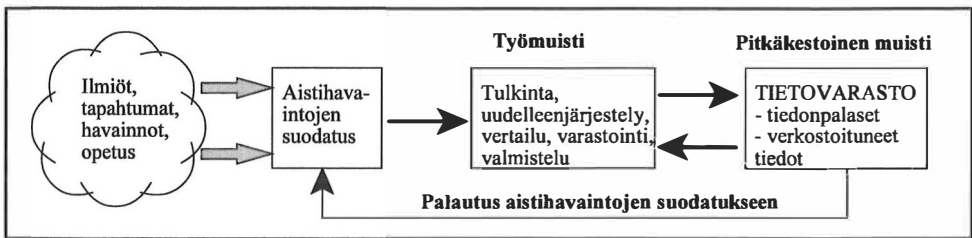
Muistaminen on tulos, joka ilmenee siinä, miten opitut asiat säilyvät mielessä ja miten ne otetaan sieltä käyttöön. Pitkäkestoisen muistin sisältö vaikuttaa oppijan tarkkaavaisuuden suuntautumiseen sekä informaation vastaanottamiseen ja prosessointiin (vrt. Lavonen 1996, 44; ks. myös Neisser 1976, 145–148). Demonstraatioilla voidaan tehostaa tiedon prosessointia ja auttaa oppijaa liittämään uudet käsitteet ja periaatteet aikaisempiin tietoihin.

3.2 Informaation prosessointi

Ihminen elää jatkuvassa vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Tiedostamme kuitenkin vain osan ympärillämme tapahtuvista asioista tai emme kiinnitä niihin huomiota. Aivoissamme oleva informaation suodatusjärjestelmä ohjaa huomiomme kulloiseenkin tilanteen kannalta relevantteihin seikkoihin. Huomion kiinnittäminen kaikkeen informaatioon johtaisi todennäköisesti vain kaaokseen ja henkiseen luhistumiseen (Johnstone 1997). Olennainen kysymys on, kuinka informaation suodatus ja prosessointi oikein tapahtuu.

Johnstonen (1983) mukaan informaation suodattamiseen vaikuttavat ihmisen aikaisemmat tiedot ja taidot sekä se, millä tavalla nämä asiat on tallentuneet muistiin. Yksilöiden välillä esiintyy tällöin eroja, jotka voivat johtua muun muassa tiedon määrästä, laadusta, uskomuksista tai asenteista. Oppijat saattavat havaita ja muistaa esimerkiksi opettajan esittämän demonstraation hyvin toisentyyppisenä kuin oli tarkoitus: muistavatko oppijat esimerkiksi tunnilla esitetystä kaasunkehityslaitteistosta vain sen monimutkaisen kokoonpanon, kaasun vapautumisen vai sen, mitä luonnonilmiötä laitteiston avulla havainnollistettiin?

Aivot prosessoivat informaatiota ennen sen varastoimista. Eri tyyppinen informaatio vaatii eriasteista prosessointia ennen informaation tallennusta. Johnstone (1997) esittää informaation prosessoinnista kuvion 8 mukaisen mallin.



Kuvio 8. Informaation prosessoinnin malli (Johnstonen 1997 mukaan).

Informaatiota prosessoidaan koodaamalla. Silmän verkkokalvon reseptorit aistivat sähkömagneettista säteilyä ja välittävät sen aivoille. Luettu teksti muokkautuu konkreeteista kirjaimista kuvitteellisiksi käsitteiksi.

On olemassa erilaisia muistitekniikoita esimerkiksi luetun muistamista varten. Joillekuille riittää ulkoa muistaminen hokemalla mielessä esimerkiksi lausetta “palaminen on aineen yhtymistä happeen”. Toiset taas pyrkivät liittämään lauseen johonkin toiseen merkitykseen, joka auttaa sen muistamisessa, ja jotkut puolestaan käyttävät lyhenteitä.

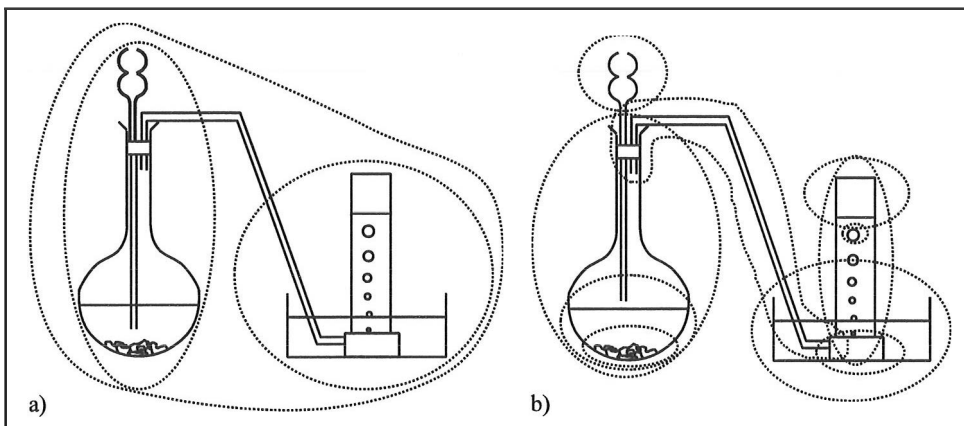
Lyhytkestoisen muistin rajallinen kapasiteetti viitannee siihen, että työmuistin koko on yksilöiden välillä lähestulkoon sama (Baker & Piburn 1997, 194). Työmuistissa katsotaan tapahtuvan informaation lyhytaikainen säilyttäminen ja tietoinen ajattelu (Johnstone 1997). Työmuistissa oleva informaatio on alituisessa vuorovaikutuksessa pitkäkestoisesta muistista haetun informaation kanssa merkitysten rakentamiseksi. Lyhytkestoisen muistin rajallisen kapasiteetin vuoksi osa informaatiosta palautetaan myös suoraan suodatusjärjestelmälle.

Muistin kapasiteetti muuttuu olennaisesti, kun lyhyt- ja pitkäkestoinen muisti alkavat tehdä yhteistyötä. Suurin osa ihmisistä epäonnistuu yli kymmenen numeron pituisen mielivaltaisen numerosarjan toistamisessa. Mutta vain hyvin harva epäonnistuu saman mittaisen numero- tai kirjainsarjan toistamisessa silloin, jos sarjalla on hänelle mielekäs merkitys. Esimerkiksi yhdistelmien 0123456789 tai AUTOAJOIOJAAN toistaminen onnistuneen lähes jokaiselta (Johnstone 1983). Edes sadan tai tuhannen numeron sarja ei tuota ongelmia, kun sillä on jokin merkitys. Kuka vain pystyy toistamaan ulkomuistista tuhat numeroa, kun ne on järjestetty peräkkäisiin 0123456789 sarjoihin. On myös osoitettu, että harjoittelulla mielivaltaisetkin numerosarjat pystytään toistamaan virheettömästi oikein.

Ihmisellä on luontainen kyky yhdenmukaisuuksien etsimiseen ja tiedon tiivistämiseen (Johnstone 1997). Tuhannenkin numeron toistaminen onnistuu helposti, koska numerosarjasta

voidaan tunnistaa yksikkö, jota monistamalla kokonaisuus voidaan muodostaa. Lyhytkestoisen muistin rajallisesta kapasiteetista huolimatta esimerkiksi lukeminen onnistuu helposti, vaikka sanat käsittävät usein enemmän kirjaimia kuin lyhytkestoiseen muistiin voidaan varastoida. Tämä selittyy sillä, että lukija ei kiinnitä huomiotaan yksittäisiin kirjaimiin, vaan kirjainten muodostamaan kokonaisuuteen eli sanaan. Sata kirjainta tiivistyy ensin sanoiksi, sanat lauseeksi, lauseet kappaleiksi ja niin edelleen. Lyhytkestoinen muisti ei ylikuormitu yksittäisten kirjainten valtavastakaan määrästä, kun tietoa varastoidaan merkityksinä.

Kyky tiivistää informaatiota on yksilöllinen ja siihen vaikuttaa voimakkaasti aikaisempi tieto. Asiantuntija pystyy tiivistämään kokonaisen artikkelin asiat muutamaksi keskeiseksi lauseeksi, kun aloittelijalle tuottaa hankaluuksia selviytyä yksittäisistä lauseistakin. Tiedon tiivistämisellä on keskeinen merkitys myös kemian oppimisessa. Ekspertti ja noviisi tiivistävät lauseen “väkevä rikkihappo on hyvä vedenpoistoaine” tietoa hyvin eri tavoin. Ekspertti saattaa ajatella lausetta muodossa [väkevä rikkihappo] [on hyvä] [vedenpoistoaine], kun noviisille lauseen sisältö on monimutkaisempi [väkevä] [rikki] [happo] [on] [hyvä] [veden] [poisto] [aine]. Ekspertille lause on siis yksinkertainen ja helposti lyhytkestoiseenkin muistiin mahtuva ilmaus, mutta noviisilta se vaatii lyhytkestoisen muistin toimimista ääri rajoilla. Jos opettaja ei tiedosta oppijan huomattavasti rajallisempaa kykyä tiedon tiivistämisessä, hän todennäköisesti etenee opetuksessa oppijoiden mielestä liian nopeasti. Kuvio 9 havainnollistaa kuvitteellisesti ekspertin ja noviisin tapaa hahmottaa laitekokonaisuus ja tiivistää laitteistoon liittyvää olennaista tietoa. (White 1989, 129–130.)



Kuvio 9. Kuvitteellinen näkemys siitä, kuinka a) ekspertti ja b) noviisi hahmottavat kaasunkehityslaitteiston (Whiten 1989, 130, mukaan).

Ekspertin mielestä laitteistokokonaisuus rakentuu muutamasta keskeisestä osakokonaisuudesta, eli kaasun kehitys- ja keräysyksiköstä. Noviisin näkökulmasta laitteisto on hyvin monimutkainen, ja se sisältää monta yksittäistä osakokonaisuutta, eikä kokonaisuudesta

myöskään hahmotu yhtenäistä kuvaa. Vaikka ekspertiltä onnistuu kokonaisuuksien hahmottaminen hyvin, niin joissain tapauksissa se myös heikentää hankittavan tiedon laatua. Ekspertiltä jäänee todennäköisesti havaitsematta se, ettei noviisiin kuvassa putken kärki ulotu nesteeseen saakka, kun taas moni noviisi todennäköisesti kiinnittäisi asiaan huomiota (kuvio 9). Tämä johtuu sekä tarkkaavaisuuden tason laskusta että etukäteen tehtävästä oletuksesta: ekspertti olettaa kuvien olevan samanlaisia eikä siten kiinnitä huomiota yksityiskohtiin. Tarkkaavaisuudella on siis myös keskeinen rooli oppimisessa. Kemian oppimisen kannalta olisikin tärkeää, että opettaja kohdistaisi oppijoiden huomion olennaiseen, jolloin välttyään lyhytkestoisen muistin ylimääräiseltä kuormitukselta.

Eri oppiaineissa tietoa voidaan tiivistää eri tavalla. Matematiikassa ja luonnontieteissä ilmiöitä tai käsitteitä ilmaistaan useimpiin muihin tieteisiin verrattuna lyhyillä ja ytimekkäillä lauseina tai erilaisten symbolien välisinä suhteina. Oppijan tiedon tiivistämiskyky kehittyy sitä mukaa, kun hän opiskelee ainetta (White 1989, 132). Aluksi yksittäiset ilmiöt tuntuvat erillisiltä kokonaisuuksilta, kunnes opintojen edetessä oppija alkaa hahmottaa laajempia kokonaisuuksia. Oppikirjojen tapa kuvata ilmiöitä on usein ratkaisevan tärkeä tämän prosessin kehittymiselle. Kun esimerkiksi hapettuminen ja pelkistyminen esiintyvät oppikirjassa toisistaan erillisinä, ikään kuin niiden välillä olisi vain löyhä kytkentä, esitystapa hidastaa ajattelun tiivistysprosessia. On myös selvää, että ihmisten tiedon tiivistämiskyky on erilainen.

Ekspertin ja noviisiin tietojen ja informaation prosessoinnin eroja voidaan luonnehtia seuraavasti (Bransford ym. 2000; vrt. myös Haapasalo, 1994, 109, 292–293):

1. Ekspertillä on kyky havaita informaatio kokonaisvaltaisemmin ja erottaa, mikä kussakin tilanteessa on olennaista ja epäolennaista.
2. Ekspertin tietorakenne muodostaa verkoston, jossa yksittäiset käsitteet ovat organisoituneet hierarkkiseksi rakenteeksi.
3. Ekspertti kykenee soveltamaan tietojaan yksittäisten tapausten selittämiseksi. Ekspertti kykenee ymmärtämään yksittäisen tapauksen kytkeytymisen laajempaan kokonaisuuteen.
4. Ekspertti kykenee palauttamaan tietoa pitkäkestoisesta muistista ilman, että tarkkaavaisuuden taso juurikaan laskee.
5. Ekspertti tarvitsee pedagogista sisältötietoa, jotta hän kykenee selittämään noviisille luonnonilmiöiden perusolemusta ja sen syy-seuraussuhteita.

Tynjälän (1999, 31–37) mukaan informaation prosessoinnin teoria (IP-teoria) soveltuu tietyin rajoituksin tiedon hankinnan ja prosessoinnin kuvaamiseen. Teoriaa luonnehditaan myös

heikoksi konstruktivismiksi, eikä se hyväksy ajatusta tiedon passiivisesta vastaanottamisesta. Moderni IP-teoria kuvaa oppimista oppijan aktiivisena tiedon rakentamisena, ja sen keskeisenä tutkimuskohteena on ollut muun muassa alakohtaisen eksperttiyden kehittyminen. IP-teorian pedagogiset sovellukset kiinnittävät huomion pitkäkestoisen muistin parantamiseen ja erityisesti mieleenpainamisvaiheen tehostamiseen. Tässä tutkimuksessa kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallissa IP-teorian pedagogiset sovellukset ilmenevät siten, että opittava aines jäsennetään tai ryhmitellään jonkin tietyn periaatteen mukaan. Toisaalta opittavat asiat voidaan myös demonstroida usealla eri tavalla ja useassa eri yhteydessä, jolloin oppijalle muodostuu assosiaatioita eri ilmiöiden välillä ja asia koodautuu helpommin pitkäkestoiseen muistiin.

3.3 Tiedon syntyminen kemiassa ja oppitunnilla

Tieteelliselle tiedolle on ominaista rakenteellisuus ja edistyvyys. Rakenteellisuus merkitsee pyrkimystä kiinteän yhtenäisen kokonaiskuvan muodostamiseen ja edistyvyys tieteellisen tiedon lisääntymistä, täsmentymistä, uudistumista ja itse tiedon rakenteen kehittämistä (vrt. K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 113).

Luonnontieteelliseen menetelmään kuuluu kaksi perusominaisuutta: empiirisuus ja eksaktius. Empiirisuus merkitsee sitä, että luonnonilmiöitä koskevat havainnot ja mittaukset ovat kaiken luonnontieteellisen tiedon perusta. Eksaktius puolestaan tarkoittaa sitä, että tulokset pyritään ilmaisemaan matemaattisessa muodossa ilmiöiden säännönmukaisuuksia esittävinä lakeina. Lakien avulla voidaan taas tehdä ilmiötä koskevia kvantitatiivisia ennusteita. (K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 118.)

Tieteelliselle menetelmälle ja sen avulla esimerkiksi induktiivisesti saadulle tiedolle ovat ominaisia objektiivisuus, kriittisyys ja autonomisuus. Objektiivisuus tarkoittaa ennen muuta riippumattomuutta tutkijan mielipiteistä, asenteista ja toiveista. Kriittisyys merkitsee perusteluiden jatkuvaa tarkkailua ja arvostelua. Tieteen autonomisuus merkitsee sitä, että vain tiedeyhteisö on pätevä arvioimaan perustelujen tieteellisen painavuuden, mutta myös sitä, että kritiikin on oltava tieteellistä. (Haaparanta & Niiniluoto 1990, 14–15; K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 115.)

Kemiallisen tiedon kvantitatiivisuus on tehnyt mahdolliseksi teorianmuodostuksen, jossa käsitteet ja niiden väliset matemaattiset relaatiot mahdollistavat kvantitatiivisten ennusteiden tekemisen luonnonilmiöistä (K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 54). Teoriat ovat tieteen peruselementtejä ja ne tarjoavat mahdollisuuden tieteen edistymiseen. Teorioiden avulla voidaan

luoda malleja, jotka selittävät havaitun ilmiön käyttäytymistä. Teoriat täydentävät luonnontieteellistä tutkimusprosessia ja saavat sen toistamaan itseään. Prosessi on luonteeltaan syklinen, itseään ylläpitävä ja korjaava.

Tieteellisen tiedon rinnalla on arkitiedon maailma, jossa oppijat elävät suurimman osan ajastaan. Arkitiedon maailma luodaan intuitiivisten havaintojen pohjalta. Sen perusteella luodut teoreettiset viitekehykset ovat joustavia ja tapauskohtaisia, eikä niitä yleensä tiedosteta. Oppijan arkitiedon maailma rajoittaa hänen tiedonhankintaansa fyysisestä maailmasta vastaavan tyyppisesti kuin paradigmojen ajatellaan ohjaavan tieteellisten teorioiden kehittymistä. Oppijan arkitiedon maailma kohtaa luonnontieteellisen tiedon maailman vain niillä muutamilla oppitunneilla, joilla aineita koulussa opiskellaan. Näin ollen on kohtuutonta odottaa oppijan kykenevän konstruoimaan jonkin luonnontieteellisen periaatteen yhden tai kahden oppitunnin aikana, kun periaatteen keksimiseen on vaadittu kymmenien tutkijoiden vuosikausia kestänyt tutkimus- ja ajattelutyö. Kompromissina onkin arkitiedon ja tieteellisen tiedon “yhteen sulautuminen” eli koulutiedon maailma. (Vosniadou 1994; Viiri 2000, 127.)

Taulukossa 2 on esitetty tiivistetysti arkitiedon ja tieteellisen tiedon maailmojen

Taulukko 2. Arkitiedon ja tieteellisen vertailu (Solomonin 1993; Ahteen 1998 mukaan).

| ARKITieto | TIETEELLINEN TIETO |
|--|--|
| Mielipide-eroista pyritään konsensukseen sosiaalisessa vuorovaikutuksessa. | Keskustelun tai väittelyn tavoitteena on kärjistää eroja sekä lujittaa tai hylätä kilpailevat mielipiteet. |
| Käytetyt käsitteet ovat monimerkityksisiä, usein määrittelemättömiä, ja ne muotoutuvat sosiaalisessa kanssakäymisessä. | Käsitteet määritellään yksikäsitteisesti ja täsmällisesti rajattussa kontekstissa. |
| Sanojen merkitys vaihtelee mm. entnologisen, fyysisen ja affektiivisen kontekstin perusteella. | Käsitteiden merkitykset ovat symbolisia ja ne on irrotettu yksittäisistä tilanteista. |
| Ilmeiset ristiriitaisuudet hyväksytään. Vaatimus loogisesta riippuvuudesta on vähäistä tai olematonta. | Käsitteet ja teoriat muodostavat hierarkkisen struktuurin ja noudattavat tiukkaa logiikkaa. |
| Intuitiivinen päättely yleistä. Arkitietoa käytetään ihmisten kesken yleisesti tavanomaisessa kanssakäymisessä. | Tieteen menetelmiä käytetään harvoin. Tieteellistä tietoa jakavat asiaan perehtyneet ekspertit (tutkijat, opettajat, asiantuntijat). |

yhtäläisyyksiä ja eroja. Arkitietoa luodaan jokapäiväisissä sosiaalisissa tilanteissa, missä keskustelun tavoitteena on konsensukseen pääseminen ja ristiriitojen välttäminen. Tämä eroaa selvästi tieteellisestä keskustelusta, jonka tavoitteena on näkemuserojen kärjistäminen ja tilanteen mukaan vaihtoehtoisten mielipiteiden lujittaminen tai hylkääminen.

Arkipuheessa käytetyt käsitteet ovat usein monimerkityksisiä ja muotoutuneet sosiaalisessa kanssakäymisessä. Esimerkiksi kynttilän kuvataan hengittävän happea ja raudan lahoavan ruostuessaan. Tieteelliset käsitteet ovat sen sijaan täsmällisesti määriteltyjä, ja niillä on tietyt pätevyysalueensa. Arkipuheessa käytettyjen sanojen merkitys voi vaihdella monenkin eri tekijän perusteella, ja olla asiayhteydestä riippuvaista. Tieteellisten käsitteiden merkitys on puolestaan symbolinen, ja ne on irrotettu yksittäisistä tilanteista. Jokapäiväisessä keskustelussa hyväksytään ilmeistenkin ristiriitaisuuksien esiintyminen ja ilmiöiden loogiselle riippuvuudelle on asetettu vain vähäisiä vaatimuksia. Esimerkiksi palamisilmiössä aineen massa toisinaan kasvaa ja toisinaan vähenee asiayhteydestä riippuen: puun palaessa sen massa ”ilmiselvästi” vähenee, kun taas raudan massa kasvaa sen palaessa. Tieteelliset käsitteet ja teoriat muodostavat sen sijaan hierarkkisen rakennelman, jossa käsitteet ovat liittyneet toisiinsa tiukkaa logiikkaa noudattaen. Arkipäätely on usein intuitiivista, ja sen perusteella luotua tietoa käytetään yleisesti tavanomaisessa keskustelussa. Käytännön kokemus on opettanut, että perunoiden tai kananmunien keitinveeten kannattaa laittaa suolaa, öljyläikkää on turha yrittää pyyhkiä vetisellä rievulla tai että halko syttyy paremmin, jos sen pilkkoo pienemmäksi. Tieteellistä tietoa puolestaan syntyy pitkäjänteisen tutkimuksen ja johdonmukaisen päättelyn turvin. Näin luotua tietoa jakavat puolestaan vain asiaan perehtyneet ekspertit, kuten tutkijat ja opettajat. (Solomon 1993; Ahtee 1998.)

Oppijoiden käsitys luonnontieteestä, tieteellisestä tiedosta ja sen menetelmistä poikkeaa usein selvästi tieteen käsityksestä. Griffithsin ja Barryn (1991) mukaan oppijat kyllä mieltävät tieteen edistymisen kumulatiiviseksi prosessiksi, mutta heidän käsityksensä tieteellisestä tiedosta on staattista ja autoritääristä. Tieteellistä tietoa pidettiin absoluuttisena ja kiistattomana, vaikka se todellisuudessa on varsin dynaamista ja suhteellista (vrt. myös Lampiselkä ym. 2001). Tieteelliset teoriat puolestaan ymmärretään naiivisti vain hyvin rajallisen tapausjoukon tulkinnanvaraisena selityksenä. Lisäksi ”tieteellisen lain” termi yhdistetään yleisesti arkiseen ”lain” käsitteeseen. Kun Solomon ynnä muut (1996) analysoivat oppijoiden käsityksiä luonnontieteestä, oppijoiden käsitysten todettiin muuttuvan pilakuvien antamasta mallista keksiä uutta sattumanvaraisesti kohti luonnontieteellistä harkittua toimintaa. Siirtymään oli vaikuttanut suotuisasti opettajan tapa liittää tunnilla esitettävät kokeet ilmiön teoreettisiin perusteluihin.

Tätä tutkimusta varten luotiin hypoteettis-teoreettinen demonstraatio-opetuksen malli, jonka yhtenä tavoitteena on havainnollistaa luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden

välistä yhteyttä. Malli tukeutuu induktiiviseen päättelyyn, koska se on yksi luonnontieteen tiedonmuodostuksen perusmenetelmistä. Demonstraation odotetaan toimivan siltana arkitiedon ja tieteellisen tiedon välillä, ja se madaltaa samalla porrasta siirryttäessä empiirisistä havainnoista abstrakteihin käsitteisiin. Demonstraation menestyksellinen toteuttaminen edellyttää opettajalta oppiainetta koskevan tiedon lisäksi myös hyvää ainepedagogista sisältötietoa. (vrt. Garnett & Tobin 1988; Clermont ym. 1994; De Jong ym. 1999.)

Pedagoginen sisältötieto

Opettaja kouluttautuu vuosia, ja niiden aikana hän hankkii suuren tietopääoman sekä kemiasta että kasvatustieteistä. Pelkkä oppiaineen tai opettamisen periaatteiden sisältötieto ei kuitenkaan riitä siihen, että opettaja kykenee ilmaisemaan oppiaineen sisältöjä oppijalle ymmärrettävällä tavalla. Yksi matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimuksen kiinnostavimmista alueista onkin opettajan pedagoginen sisältötieto ja sen kehittyminen.

Pedagogisessa sisältötiedossa yhdistyvät oppiaineen ja sen opettamisen teoreettiset sisällöt. Se käsittää kaiken sen tiedon, jota opettaja tarvitsee opettaakseen oppiainetta, ja siihen kuuluvat muun muassa ideoiden esitystavat, analogioiden käyttäminen, havainnollistaminen, esimerkit ja selitykset, joilla asia saadaan oppijalle ymmärrettävään muotoon (Viiri 2000, 54). Toisin sanoen, opettaja jalostaa oppiaineen sisältötietoa sen opettamiseen liittyvää opetuksen teoriaa hyödyntäen. Opettaja toimii ikään kuin muuntajana, joka muuntaa oppiaineen sisällöt oppijalle omaksuttavaan muotoon. Pedagogisen sisältötiedon määritelmät vaihtelevat (van Driel ym. 1998). Yhtä mieltä ollaan kuitenkin siitä, että opettajan pedagoginen sisältötieto kehittyy opetuskokemuksen karttuessa. Vastavalmistuneella opettajalla tai opetusharjoittelijalla ei siis ole yleensä vielä yhtä kehittyntä pedagogista sisältötietoa kuin kokeneella opettajalla.

Opettajan kyky muuntaa asioita oppijalle omaksuttavaan muotoon edellyttää hyvää oppiaineen hallintaa, mutta myös hyvää oppimisteorioiden hallintaa. Jos opettajan osaaminen painottuu esimerkiksi vain kemian teoreettisten sisältöjen hallintaan, oppijat saattavat kokea, ettei opettaja osaa opettaa heille kemiaa. Oppiaineen teoreettisen perustan hallinnan dilemma on siinä, ettei se takaa kykyä osata opettaa kyseistä oppiainetta, mutta toisaalta se on hyvän opetustaidon välttämätön edellytys.

Clermont ynnä muut (1994) ovat vertailleet noviisi- ja eksperttiopettajan eroja luentodemonstraatioiden opetuskäytössä. Tutkimuksen mukaan kokeneet opettajat kykenevät hyödyntämään opetuksessaan saman ilmiön havainnollistamiseksi useampia erilaisia demonstraatioita, ja toisaalta samaa demonstraatiota eri tarkoituksiin. Kokeneilla opettajilla on lisäksi selkeämpi näkemys demonstraation kompleksisuudesta ja siitä, miten se vaikuttaa

oppimiseen. Kokeneet opettajat esimerkiksi suosivat yksinkertaisia demonstraatioita, jotta oppijoiden huomio kiinnittyisi oppimisen kannalta kaikkein olennaisimpaan. Kokeneet opettajat myös ymmärtävät, kuinka pienet variaatiot demonstraatioissa voivat tehostaa käsitteellistä oppimista. Kokeneiden opettajien taitoa valita oppimisen kannalta olennaisia demonstraatioita ja varioida niitä selitti parhaiten heidän noviiseja laajempi pedagoginen sisältötietonsa.

Demonstraatio-opetuksen mallin konstruomisessa kiinnitettiin huomio oppijan arkitiedon, tieteellisen tiedon ja opettajan pedagogisen sisältötiedon maailmoin. Tässä tutkimuksessa kehitettävä demonstraatio-opetuksen malli voidaan pitää modernina työvälina, jota käyttämällä opettaja kykenee hyödyntämään pedagogista sisältötietoaan aiempaa tehokkaammin ja muuntamaan tieteellisen tiedon paremmin oppijalle ymmärrettävään muotoon. Mallin mukaisen opetuksen lähtökohtana on oppiaineeseen liittyvien ennakkokäsitysten selvittäminen ja hypoteesien tekeminen niihin perustuen, jolloin opettaja kykenee muodostamaan oppimisen kannalta mielekkään konfliktitilanteen. Lisäksi mallissa pyritään ottamaan huomioon oppijoiden tekemät erilaiset tulkinnat, siirtymään opetuksessa faktapainotteisuudesta oppijan ongelmanratkaisun tukemiseen ja kehittämään oppijoiden kykyä tunnistaa ilmiöstä tehtävien päätelmien tilannesidonnaisuus. Samalla malli asettaa aiempaa enemmän haasteita opettajan oppiaineen sisältötiedon ja oppimisen teoreettisten perustelujen hallinnalle. Tämä merkitsee sitä, että opettajan pitää pystyä kuuntelemaan ja tulkitsemaan, miten oppijat ovat ymmärtäneet hänen selityksensä erilaisissa tilanteissa ja opettajalla tulee olla suuri joukko eri tilanteisiin sopivia demonstraatioita, joilla hän auttaa erilaisia oppijoita oppimaan (vrt. Ahtee 1998, 361).

Mallin mukaisessa opetuksessa oppiminen edistyy myös siksi, että oppijat saavat ilmiöistä ja sen toimintaperiaatteesta empiirisiä havaintoja. Opetuksessa ilmiö ja sitä kuvaavat abstraktit käsitteet sekä ilmiön syy-seuraussuhteet ja sen teoreettiset perustelut kytetään toisiinsa opetuskeskustelun avulla. Oppiminen tehostuu, kun konkreetit havainnot ja abstraktit käsitteet saavat nyt merkityksensä oppijan ajattelussa ja puheessa.

3.4 Kemian kieli ja arkikieli

Kemian kielen kohteena ovat havaintomaailman ilmiöt, ja niitä vastaavat abstraktit käsitteet. Kemian kielelle on ominaista käsitteiden hierarkkinen rakenne ja käsitteiden välinen rakenteellinen verkosto. Luonnonilmiöitä ja niitä vastaavia käsitteitä kuvataan sanoin, kuvin, symbolein ja eri käsitteiden välisiä suhteita algebrallisin esityksin.

Kemialla on sille ominainen kielensä, jota ei käytetä muissa tieteissä, mutta jotka voivat lainata sitä kemiasta. Kemian kieli on universaalialia, eikä sitä tarvitse yleensä kääntää puhutun kielen tapaan. Kemian kieli koostuu symboleista ja niiden välisistä suhteista, kuvista ja sanoista. Kun kemiallisia ilmiöitä, olioita ja käsitteitä ilmaistaan puhutun sanan mukaisin sanoin ja lausein, ne joudutaan kääntämään kielestä toiseen, kuten mitkä tahansa kielen sanat. Joissain tapauksissa käsite on eri kielissä lähes identtinen, kuten energian tai kvantin käsite.

Kemialle ovat ominaisia käsitteiden, ilmiöiden ja olioiden symboliset esitykset, vaikka niitä voidaan tarvittaessa esittää kuvina tai sanoina. Kemialliset käsitteet kuvattiin aluksi keksityin tai muista yhteyksistä johdetuin symbolein. Tästä ovat peräisin esimerkiksi kullan (☉), hopean (☾) tai kuparin (♀) tunnusomaiset merkinnät. Nykyisen symbolikielen kehittäjänä pidetään ruotsalaista kemistiä Jöns Jakob Berzeliusta (1779–1848). Uudistuksen myötä kemiallisesta symboliikasta katosi alkemistien mystisyys ja se sai yhtenäisemmän rakenteen. Esimerkiksi kultaa ilmaistaan lyhenteellä Au ja hopeaa lyhenteellä Ag, jotka ovat sanojen “aurum” ja “argentum” lyhenteitä. Jos kahdella aineella on sama alkukirjain, Berzeliuksen ehdotuksen mukaan epämetallia kuvattaisiin yhdellä kirjaimella ja metallia kahdella. (Hudson 1995, 138.)

Kemian symboliikan ohella kehitettiin myös kemiallisia yhdisteitä ja kemiallisia reaktioita koskevia merkitsemistapoja. Nykyisin kemiallisen symboliikan ja terminologian ilmiöstä huolehtii kansainvälinen IUPAC-järjestö (International Union of Pure and Applied Chemistry), joka tekee tarvittaessa ehdotuksia, täsmennyksiä ja korjauksia kemian kieleen.

Kemian merkkikielen opiskelun tekee hankalaksi sen monimerkityksellisyys. Esimerkiksi kirjain S voi tarkoittaa yhtä rikkiatomia, yhtä moolia rikkiatomia tai rikkiä alkuaineena. Oppijalle on harvoin itsestään selvää, mitä opettaja kussakin yhteydessä symbolilla mahtaa tarkoittaa. Esimerkiksi kaavan 4 reaktioyhtälö voidaan ymmärtää siten, että kaksi kaasumaisessa



tilassa olevaa metaanimolekyyliä reagoi neljän kaasumaisessa tilassa olevan happimolekyylin kanssa muodostaen neljä nestemäisessä olomuodossa olevaa vesimolekyyliä ja kaksi kaasumaisessa olomuodossa olevaa hiilidioksidimolekyyliä. Tai opettaja voi tarkoittaa kahta moolia tai kahta litraa. Toisaalta olomuodon ilmaiseminen muutamien molekyylien reaktion tapauksessa saattaa jopa vaikeuttaa oppimista, sillä olomuoto on molaarisen tason käsite ja molekyyli puolestaan abstraktin molekulaarisen tason käsite (vrt. Ben-Zvi ym. 1987, 1988). Tämän lisäksi reaktioyhtälö ei ilmoita mitään siitä, millä edellytyksin reaktio tapahtuu, mitkä ovat ilmiössä säilyviä ja muuttuvia suureita tai mikä on reaktion dynamiikka ja kinetiikka. Ei

siis ole mikään ihme, että oppijoilla on vaikeuksia kemiallisen reaktiomekanismien ymmärtämisessä ja käsitteiden omaksumisessa.

Arkielämässä sanoilla on useita merkityksiä, kun taas tieteellisillä käsitteillä on täsmälliset määritelmät (Solomon 1993; Ahtee 1998). Oppijoiden käyttämien sanojen merkitys voi vaihdella esimerkiksi henkilön affektiivisten tilojen mukaan. Oppijat ovat taipuvaisia selittämään luonnonilmiöissä tapahtuvia muutoksia arkipäiväisin termein (Duit & Kesidou 1988), jolloin toinen oppija voi puhua kynttilän hengittämisestä ja toinen palamisesta. Uusien käsitteiden käyttöönotto on ennen muuta niiden liittämistä kieleen, ja käsitteiden hallinnan aste kuvastuu selvimmin ja täydellisimmin kielellisestä esityksestä. Virheellinen käyttö ilmentää aina väärinkäsityksiä käsitteiden merkityksestä. Lauseita ei voi muotoilla tuntematta merkitystä, joka lauseen pitäisi ilmaista (K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 169).

Kemian opetus on siis myös kielellisen ilmaisun opetusta ja oppiminen sen harjoittelua. K. Kurki-Suonion ja R. Kurki-Suonion (1994, 170) näkemyksen mukaan ei riitä, että käsitteet määritellään ja niiden käyttö perustellaan kemiallisesti, vaan niitä on opetettava ja opeteltava käyttämaan. Opetuksessa on huomioitava erityisesti, että lauseet ovat sekä sisällöllisesti että muodollisesti virheettömiä. Sen lisäksi, että ne ilmoittavat käsitteen merkityksen yksiselitteisesti, on ilmaisun oltava ymmärrettävä. Opetuksen on torjuttava aktiivisesti virhekäsitysten mahdollisuutta. Monet perinteiset sanonnat osoittautuvat lähemmin tarkasteltuna kemiallisesti harhaanjohtaviksi ja herättävät vääriä mielikuvia (K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 172, 177–180, 259–260). Hyvä esimerkki tästä on palamisen käsite, jolle englannin kielessä ovat olemassa mm. ilmaisut “burning” ja “combustion”. Edellinen viittaa palamisen yleisempään ilmenemismuotoon ja samalla siten myös ilmiön redox-luonteeseen. Jälkimmäinen puolestaan viittaa yksityiskohtaisemmin aineen ja hapen väliseen reaktioon. Suomen kielessä ei vastaavaa erottelua tehdä, joten oppijoiden virhekäsitysten syntyminen on todennäköisempää.

Oppijoiden virheellisiä ilmauksia voidaan selittää virhekäsityksillä. Virhekäsityksiä puolestaan voidaan selittää oppijoiden ideoiden perustumisella arkipäivän havaintoihin, jotka ovat usein keskenään erilaisia ja ristiriitaisia sekä poikkeavat tieteellisestä selityksestä (Solomon ym. 1985; Solomon 1993; Ahtee 1998). Opetuksen jälkeenkään oppijat eivät kovin usein kykene johdonmukaiseen käsitteen käyttöön, oli kyseessä sitten heidän itse konstruoimansa tai tieteellinen käsitys. Oppijoilla on myös vaikeuksia nähdä kontekstien välisiä yhtäläisyyksiä, vaikka ne olisivat hyvin läheisiä (Clough & Driver 1986; Palmer 1993). Tämä antaa luontevan selityksen esimerkiksi palamisilmiöön liittyville virhekäsityksille massan kasvamisesta ja vähenemisestä.

Tässä tutkimuksessa kehitettävässä demonstraatio-opetuksen mallissa huomioidaan käsitteiden liittäminen kieleen. Demonstraatio-opetus nähdään aiempaa laajempänä prosessina, jossa aloitetaan oppijoiden arkikäsitteistä ja tavasta ilmaista niitä sanallisesti. Demonstraatio-opetuksen edetessä oppijat johdatellaan tieteellisempään käsitykseen ja siten tieteellisempään tapaan kuvata ilmiötä ja havaintoja sanoin. Työtapa pohjautuu induktiiviseen ajatteluun ja opetusstrategiaan, joka helpottaa oppijoiden ajattelun etenemistä konkreeteista havainnoista abstraktiin symbolikieleen. Pedagogisesti tutkimuksessa kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallin tavoite on siis liittää konkreetti luonnonilmiö sitä kuvaaviin abstrakteihin käsitteisiin.

3.5 Kemian käsitteet oppimisen kohteena

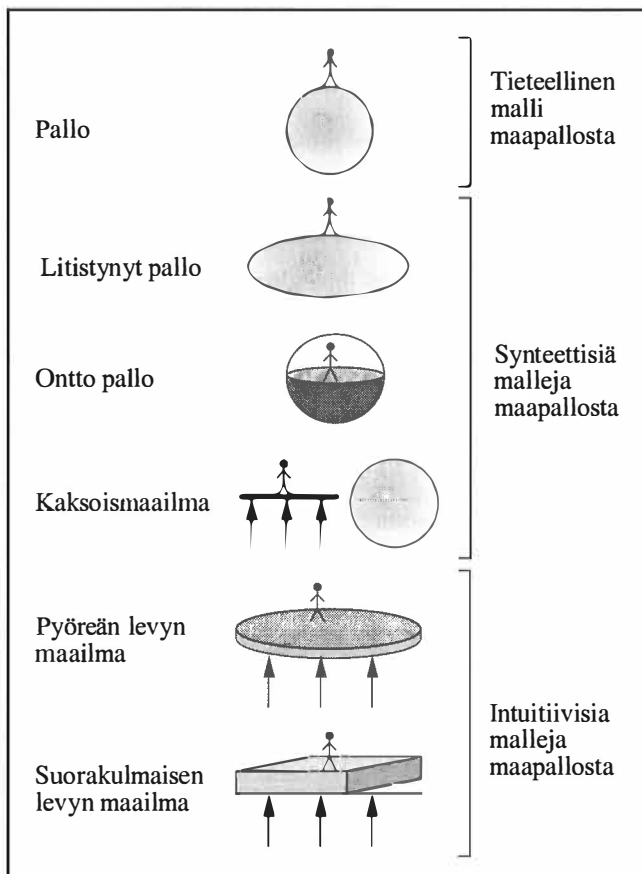
Kemian ilmiöitä selitetään ja jäsennetään kemian käsitteillä, laeilla ja teorioilla. Kemian käsitteet voidaan luokitella niiden merkityksen perusteella omiin käsiteluoksiin: oliot, ilmiöt, suureet, mallit.

Olioita ovat hiukkaset, kappaleet ja kentät: ne ovat, liikkuvat, kasvavat, vaikuttavat, voivat törmätä, muuttua, kasvaa jne. Oliot voidaan tunnistaa niiden pysyvien ominaisuuksien perusteella. Ilmiöillä tarkoitetaan luonnon tai ihmisen aiheuttamia tapahtumia. Ilmiöissä oliot tekevät, liikkuvat, käyttäytyvät, muuttuvat jne. Ilmiöt voidaan tunnistaa niiden lakien perusteella, joita ne noudattavat. Olioiden ja ilmiöiden mallit ovat kielellisesti myös olioita ja ilmiöitä. Tarkkaa rajaa mallien ja olioiden tai ilmiöiden välille on hankala asettaa, sillä ilmiöiden ja olioiden tarkastelu edellyttää aina jonkinasteista idealisointia. Olioiden ja ilmiöiden havaittavia piirteitä nimitetään ominaisuuksiksi. Esimerkiksi suureet ovat kvantitatiivisesti määriteltäviä kemiallisten olioiden ja ilmiöiden ominaisuuksia (Lavonen 1996, 34–35; K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 160, 170, 362–365).

Kemia on oppiaineena varsin monimutkainen. Sen käsitteet linkittyvät muihin käsitteisiin niin mutkikkaasti, että jo peruskäsitteidenkin opiskeleminen on hankalaa (Erätuuli & Meisalo 1985, 42; Gabel 1998). Oman ongelmansa muodostaa kemiallisen tiedon luonne, joka voidaan jakaa ilmiön makroskooppiseen ilmenemismuotoon ja sen mikroskooppisen, symbolisen ja algebrallisen tason selitysmalleihin (Johnstone 1991; Nakleh ja Krajcik 1994). Suurin osa oppijoista ei kuitenkaan kykene hahmottamaan tiedon eri tasoja eivätkä siten kykene kovinkaan helposti tarkastelemaan asioita eri näkökulmista (Ben-Zvi ym. 1988).

Oppijoiden mielikuvia ja uskomuksia edellä mainituista luonnontieteellisistä käsitteistä ja malleista kutsutaan oppijoiden käsityksiksi. Käsitteet syntyvät ihmisen aivoissa henkisen

toiminnan tuloksena, jolloin hän liittää mielessään esimerkiksi oliot ja ilmiöt niitä selittäviin yhteyksiinsä sekä muodostaa koetuista ilmiöistä käsityksiä (Levävaara 1997, 14; Viiri 2000, 95). Oppijoiden mielikuvien yhteydessä puhutaan yleisesti myös mentaalimalleista, joilla tarkoitetaan periaatteessa samaa asiaa. Esimerkiksi Vosniadou (1994) on tutkimuksissaan havainnollistanut lasten intuitiivisten havaintojen pohjalta konstruoimaa kuvaa maailmasta (kuvio 10). Hän jakaa mentaalimallit kolmeen luokkaan sen perusteella, minkä tyyppiseen tietoon malli perustuu. Intuitiiviset mallit ovat yleensä kaikkein yksinkertaisimpia ja perustuvat arkitietoon. Synteettiset mallit syntyvät, kun intuitiivisia malleja pyritään muokkaamaan ja sovittamaan yhteen esimerkiksi opetuksessa esitettävien tieteellisten mallien kanssa. Tieteellinen malli on puolestaan tiedeyhteisön hyväksymä malli, ja sen katsotaan kuvaavan maailmaa sellaisena kuin se todellisuudessa on. Tieteellisten mallien yhteydessä ilmoitetaan aina sen pätevyysalue, toisin sanoen rajoitukset sen suhteen, miten tarkasti ja millä ehdoin malli vastaa todellisuutta. Synteettisiin ja intuitiivisiin malleihin tämä ei välttämättä päde, ja intuitiivinen malli saattaa muodostua jopa dogmaattiseksi (esimerkiksi egosentrinen maailmankuva).



Kuvio 10. Lasten mentaalimalleja maapallosta (Vosniadoun 1994 mukaan).

Oppijoiden käsitykset luonnontieteellisistä käsitteistä poikkeavat usein opetuksen jälkeenkin varsin paljon tieteellisistä käsityksistä. Oppijat voivat esimerkiksi luetella täsmällisiä määritelmiä, mutta ulkoisesti moitteettomasta olemuksestaan huolimatta ne ovat usein vielä yhdistelmiä oppijan arkiajattelun ja tieteellisen määritelmän perusteella luodusta käsityksestä. Oppijat saattavat käyttää samoja sanoja kuin opettaja viitaten samoihin ilmiöihin ja olioihin, mutta silti sanoilla voi olla eri merkitys (Kyyrönen, 1999, 15). Oppijan käsityksiä opettajan käyttämistä käsitteistä kutsutaan muun muassa lasten tieteksi (Gilbert ym. 1982), pseudokäsitteiksi (Vygotsky 1982, 129), vaihtoehtoiksi viitekehyyksiksi (Driver & Ericson 1983), naiiveiksi käsityksiksi (Champagne ym. 1983), virhekäsityksiksi (Griffits & Grant 1985) tai esikäsitteiksi (Hashweh 1988).

Luonnontieteiden oppimista voidaan tarkastella ymmärrystä vähitellen lisäävänä hahmotusprosessina, jossa oppijan kuva ympäröivästä maailmasta muuttuu. Muutoksen suuntana ja tavoitteena on opettajan ja oppijan näkemyksen kohtaaminen, eli noviisi alkaa vähitellen kyetä tulkitsemaan ja selittämään ilmiöitä siten kuin ekspertti ne tulkitsisi ja selittäisi. (Kurki-Suonio 1994; Ramsden 1988; Ahtee 1994; Kyyrönen 1999, 16). On kuitenkin näyttöä siitä, että arkitiedon ja tieteellisen tiedon maailmat käsitteineen ja selityksineen voivat varastoita muistiin kahdeksi erilliseksi tietorakenteeksi (Viennot 1979). Tietoisuus rinnakkaisten käsitysrakennelmien mahdollisuudesta on yksi konstruktivistisen oppimiskäsityksen periaatteista.

Kemian opetuksen tavoitteena on tieteellisten käsitteiden oppiminen ja oppijan arkikäsitteiden muuntaminen tieteellisemmäksi. Tavoitteen saavuttamiseksi opettajalla on käytettävään erilaisia opetuksen työtapoja, jotka harjaannuttavat oppijan tietojen ja taitojen hankintaa eri tavoin. Kokeellista opetusta pidetään olennaisena osana kemian käsitteiden omaksumisprosessissa. Tässä yhteydessä kokeellisella opetuksella tarkoitetaan tieteellisten käsitteiden käyttöönottojärjestystä, joka noudattaa tiettyä suuntaa, ja jossa edetään konkreeteista havainnoista kohti abstrakteja käsitteitä, yksinkertaisesta monimutkaiseen. (vrt. K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 252–255)

Demonstraatio on yksi kokeellisen opetuksen työmuodoista. Kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallin tavoitteena on havainnollistaa oppijalle konkreettien havaintojen liittymistä niitä kuvaaviin abstrakteihin käsitteisiin. Tämä onnistuu, kun demonstraatio mielletään aiempaa laajemmaksi kokonaisuudeksi, jossa demonstraation esittämisvaihe on vain yksi osa. Havaintojen ja käsitteiden liittämistä toisiinsa helpottaa se, että malli perustuu moderniin konstruktivistiseen oppimisen teoriaan. Mallin mukaisessa opetuksessa tieteellisten käsitteiden haltuunotto prosessi tukeutuu Krajckin (1991) käsitteiden omaksumisprosessin malliin. Tämän

tutkimuksen viitekehyksessä oppimisen uskotaan edistyvän etenkin silloin, kun demonstraatio aiheuttaa oppijan ennakkokäsityksen ja tieteellinen käsityksen välisen loogis-tiedollisen ristiriidan. Tätä ennen on kuitenkin syytä tutustua tarkemmin oppijoiden ennakkokäsityksiin, sillä niiden on todettu muun muassa ohjaavan oppijoiden havaintojen tekemistä (Kyyrönen 1999, 17).

3.6 Käsityksen muutokseen tähtäävä opetus

3.6.1 Ennakkokäsitykset

Oppijoiden mielikuvia ja uskomuksia luonnonilmiöiden selityksistä kutsutaan ennakkokäsityksiksi (Lavonen 1996, 52; vrt. Gilbert ym. 1982; Vygotski 1982; Driver & Ericson 1983; Champagne ym. 1983; Griffiths & Grant 1985; Hashweh 1988;). Yhteistä eri selitysmalleille on se, että niiden mukaan oppijan käsitykset ovat juurtuneet varsin tiukasti hänen ajatteluunsa ja ne ovat usein ristiriidassa vallitsevan tieteellisen näkemyksen kanssa (ks. esimerkiksi Driver 1983; Coll & Taylor 2001).

Oppijalla on ennen varsinaista kemian kouluopetuksen alkua jo havaintoja kemiallisista ilmiöistä ja selitysmalleja näiden syy-seuraussuhteille. Sitruhedelmät maistuvat happamilta ja kynttilä sammuu, jos sen päälle asettaa ylösalaisin käännetyn juomalasin. Oppija saattaa yrittää selittää happamuutta esimerkiksi happomolekyylien piikikkyydellä ja kynttilän sammumista hapen loppumisella. Todellisuudessa kumpikaan selitysmalli ei vastaa tieteellistä näkemystä, mutta oppijan näkökulmasta selitykset ovat johdonmukaisia ja selittävät empiiriset havainnot uskottavasti. Ennakkokäsityksiä kutsutaan virhekäsityksiksi, kun ne ovat ristiriidassa yleisesti hyväksytyyn tieteelliseen käsitykseen kanssa (vrt. esimerkiksi Nicoll 2001, 709).

Oppijan ja tieteellisen käsityksen ristiriitaisuus johtuu siitä, että oppija on luonut käsityksensä pääosin intuition ja loogisen päättelyn perusteella (Palmer 2001). Happamat aineet "pistelevät" kielessä samaan tapaan kuin piikikkäät esineet iholla, joten happamien aineiden täytyy olla rakenteeltaan piikikkäitä piikikkäiden esineiden tapaan. Myös muut seikat, kuten ilmiön teoreettisten olosuhteiden idealisointi (esim. ideaalisesti käyttäytyvä kaasu) ja oppijan käsitevaraston puutteellisuus, voivat johtaa virhekäsityksiin ja virheellisiin ilmaisuihin (Lavonen & Meisalo 2003a). Kun ilmiöiden perusluonteeseen ja syy-seuraussuhteisiin tutustutaan kemian

kouluopetuksen yhteydessä, oppija voi tällöin konstruktivistisen oppimisen teorian mukaan rakentaa uuden ja tieteellisemmän selityksen ilmiöille (Palmer 2001.).

Virheelliset käsitykset estävät usein asian “oikein” oppimisen, joten opettajan on autettava oppijaa “poisoppimaan” virheelliset käsityksensä (Lavonen 1996, 53). Oppijat on harjaannutettava tarkkailemaan prosesseja esimerkiksi demonstraatioissa, eikä vain totutettava heitä näkemään sitä, mitä he haluavat nähdä. Opettajan on siis annettava neuvoja ja vihjeitä siitä, mitä oppijan tulisi demonstraation aikana havaita ja miten havaittu ilmiö tulisi ymmärtää. (Lavonen 1996, 54.) Joidenkin virhekäsitysten havaitsemista ja käsittelyä helpottaa se, että ne ovat samantyyppisiä, kuin kemian historiassa esiintyneet virheelliset käsitykset ovat olleet (van Driel 1998).

Modernin oppimiskäsityksen mukaan opettaja ei voi siirtää käsitystään sellaisenaan oppijalle, vaan oppija rakentaa itse oman käsityksensä. Oppija tulkitsee havaintojaan ja uutta tietoa aikaisemman tietonsa pohjalta ja näin jatkuvasti rakentaa kuvaansa maailmasta ja sen ilmiöistä (Tynjälä 1999, 38). Oppijan ennakkokäsitysten selvittäminen auttaa opettajaa ohjaamaan oppijan tiedon rakentamisen prosessia vallitsevan tieteellisen käsityksen suuntaan. Demonstraatio-opetuksen kannalta oppijoiden ennakkokäsitysten huomioiminen tarkoittaa esimerkiksi sitä, että opettaja selvittää oppijoiden ennakkokäsitykset kyselemällä ja sen jälkeen havainnollistaa demonstraatiolla, miten asian laita todellisuudessa on. Tässä tutkimuksessa kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallin mukaisessa opetuksessa pyritään tunnistamaan oppijoiden ennakkokäsitykset sekä rakentamaan yhteys luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille siten, että virhekäsitykset korjaantuvat tieteelliseksi. Työtapa pyrkii myös ehkäisemään uusien virhekäsitysten syntymistä. Olennainen tekijä käsityksen muutosprosessissa on tarkoituksenmukaisten kognitiivisten ristiriitojen käyttäminen.

3.6.2 Kognitiiviset ristiriidat

Ennakkokäsityksissä, niiden syntymisessä ja muuttumisessa on monia yhtäläisyyksiä tieteen kehittymisen kanssa. Ennakkokäsitysten muuttaminen vaatii ponnistelua, uuden oivaltamista ja samantapaisen oppimisprosessin läpikäymistä kuin on tieteen käsitysten muuttuessa tapahtunut (Lavonen 1996, 53–54). Yksi menetelmä käsityksen muutokseen tähtäävässä opetuksessa on kognitiivisten ristiriitojen käyttäminen.

Scott ym. (1991) mukaan oppijoiden käsityksistä lähtevät opetusmenetelmät voidaan jakaa karkeasti kognitiivisen ristiriidan ratkaisuun sekä oppijan vallitsevan tietorakenteen laajentamiseen perustuviin menetelmiin. Molemmissa menetelmissä oppijalla on aktiivinen rooli

omien käsitystensä rakentamisessa. Kognitiiviseen ristiriitaan perustuvan menetelmän katsotaan kuitenkin korostavan oppijan roolia vallitsevan käsityksen muuttumisessa, kun taas jälkimmäisessä korostuu opettajan rooli sopivien tietorakenteen laajentamista tukevien mallin valitsemisessa. (Viiri 2000, 130.)

Ristiriitatilanteeseen joudutaan yleensä silloin, kun arkikäsitys ja tieteellinen käsitys poikkeavat toisistaan. Esimerkiksi puun palaessa aineen määrä voi näyttää pienenevän, mutta todellisuudessa näin ei käy. Toisaalta puun palaminen ja monet muut kemialliset ilmiöt vaikuttavat peruuttamattomilta ja vain yhteen suuntaan eteneviltä reaktioilta, mutta todellisuudessa monet reaktiot pystyvät etenemään myös lähtöaineiden suuntaan. Oppija kohtaa kognitiivisen ristiriidan yleensä juuri sellaisissa tilanteissa, joissa hän ei kykene ymmärtämään oppimisen kohteena olevaa ilmiötä aikaisempien tietojensa avulla (Adey 1992, 137; Lavonen 1996, 50). Konfliktin pitää kuitenkin olla merkityksellinen vanhan käsityksen horjuttamiselle edistääkseen oppimista. Opettajan tehtävänä on ohjata oppijoiden ajattelua niin, että konflikti ratkeaisi tieteellisemmän käsityksen hyväksi (Kyyrönen 1999, 18.). Niaz (1995) huomauttaakin, että kognitiivisen konfliktin ilmaantuessa on tärkeää tarjota oppijoille kokemuksia, jotka helpottavat kyseisten konfliktien ratkaisua.

Kognitiivisen konfliktin ilmaantuessa oppijat eivät välttämättä hylkää aikaisempaa käsitystään, vaan esimerkiksi sivuuttavat ristiriidan aiheuttaman tiedon (Niaz 1995; ks. myös Chinn & Brewer 1998). Osborne ja Freyberg (1985, 12) ovat havainneet oppijoiden konservatiivisuuden ja sitkeyden aikaisempien käsitysten ylläpitämisessä. Tämä voi liittyä ihmisen tunnetekijöihin, sillä ristiriitatilanne yleensä herättää pelkoa ja epävarmuutta. Oppija voi kokea itsensä uhatuksi ja pyrkiä välttämään vastaaventyypisiä konfliktitilanteita tulevaisuudessa (Dreyfus ym. 1990). Kognitiivisten konfliktien opetuskäytön haaste onkin tuottaa oppijalle jatkuvasti "pettymyksiä" niin, että hänen oppimishalunsa ja motivaationsa uuden oppimiseen silti koko ajan paranevat.

Tässä tutkimuksessa kognitiivisiin ristiriitoihin pyritään nimenomaan sellaisten luonnonilmiöiden osalta, joista oppijalla tiedetään olevan virheellisiä käsityksiä. Oppijoiden ennakkokäsitysten tunteminen auttaa konfliktitilanteen rakentamista sellaiseksi, että oppijat näkevät ja tulkitsevat konfliktitilanteen samalla tavoin kuin opettaja sen näkee ja tulkitsee. Kehitettävän demonstraatio-opetusmallin mukaisessa opetuksessa opettaja kykenee toisaalta myös tarkkailemaan ja kontrolloimaan oppijoiden oppimisprosessia, koska demonstraatio toteutetaan opettajajohtoisesti.

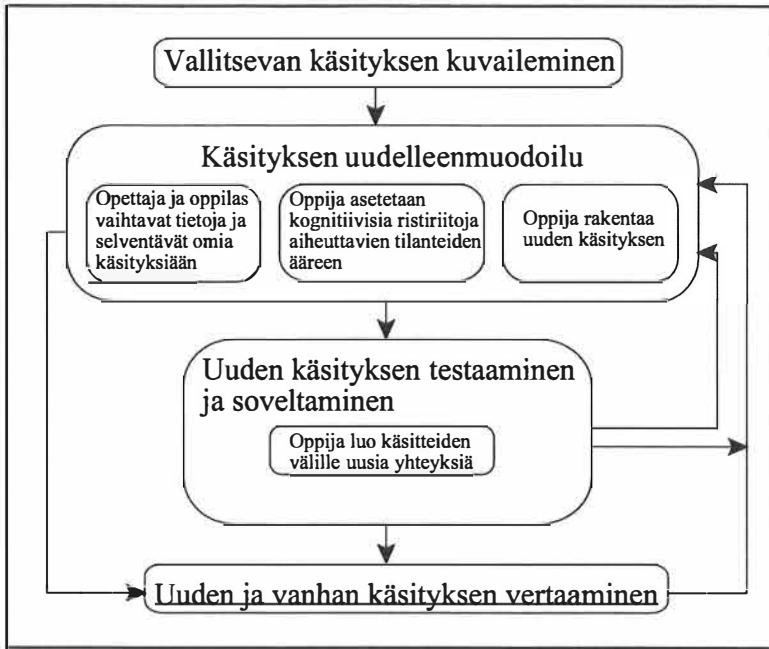
3.6.3 Käsitteellisen muutoksen prosessi

Kognitiivinen ristiriita on keskeinen käsite muun muassa Piagetin (1977) konstruktivistisessa oppimisen teoriassa. Vastaavatyypistä periaatetta on sovellettu hyödyntäneet muun muassa Posner ynnä muut (1982) radikaalin käsitteellisen muutoksen mallissaan ja Vosniadou (1994) mentaalisen mallin tarkistamisen ja uudelleen muovaamisen mallissaan. Kognitiivisen konfliktin ratketessa yksilön mielessä katsotaan tapahtuvan eräänlainen ”tieteellinen vallankumous”. (Tynjälä 1999, 39–44, 77, 93.) Tässä tutkimuksessa käsitteellisen muutoksen prosessilla tarkoitetaan pääasiassa samaa, kuin Posner ym. (1982) ja Vosniadou käsitteellisellä muutoksella.

Käsitteellisen muuttamisen ehtona pidetään yleisesti sitä, että uusi käsitys on oppijalle aikaisempaa käsitystä järkevämpi, uskottavampi ja hyödyllisempi (Posner ym. 1982; Hodson & Hodson 1998). Viirin (2000, 134–135) mukaan käsitteen tai ajatuksen järkevyys voi tarkoittaa oppijalle esimerkiksi sitä, että hän tietää, mitä käsite tarkoittaa, sanat ovat ymmärrettäviä ja mielekkäitä. Käsitteen uskottavuus voi puolestaan tarkoittaa esimerkiksi sitä, että maailma on todella kuvattuna käsitteen kaltainen: käsite on tosi, ja se sopii yhteen oppijan maailmankuvan kanssa. Käsitteen hyödyllisyyttä on puolestaan luonnehdittu siten, että uusi käsite tuntuu oppijasta hyödylliseltä ja käyttökelpoiselta. Oppija kokee, että voi sen avulla tai sitä soveltaen ratkaista ongelmia ja selittää vanhoja käsitteitä uudella tavalla.

Krajcikin (1991) mukaan oppijan käsitteellisen muutoksen prosessi lähtee liikkeelle omien ajatusten tutkimisella, johon kuuluu olennaisena osana omien käsitysten kuvaileminen. Opettajan ja oppijan välinen keskustelu, demonstraatio, oppilastyö tms. toiminta johtaa omien käsitysten tunnistamiseen ja selkiintymiseen. Opetuksen edetessä oppija asetetaan sellaisiin tilanteisiin, joissa hän kohtaa kognitiivisen ristiriidan. Oppija kokee, että hänen käsityksensä on puutteellinen, joten hän muotoilee uudelleen käsitystään. Tämän jälkeen seuraa uuden käsityksen testaaminen sekä vertaaminen vanhaan. Mikäli uusi käsitys tuntuu järkevämmältä, uskottavammalta ja hyödyllisemmältä, oppija korvaa vanhan käsityksen uudella käsityksellä. Kuvio 11 havainnollistaa oppijan käsitteellisen muutoksen prosessia, jota voidaan soveltaa myös kemian ilmiöiden ja asioiden oppimiseen.

Tutkimukset ovat osoittaneet, ettei käsitteellisen muutoksen prosessi ole missään mielessä triviaali prosessi (ks. esimerkiksi Duit & Treagust 1998). Parhaimmassa tapauksessa oppijan aikaisempi käsitys täsmentyy tai täydentyy siten, että uusi käsitys on lähempänä vallitsevaa tieteellistä käsitystä kuin aikaisempi käsitys. Todellisuudessa on kuitenkin hankalaa tai ehkä mahdotonta päästä tilanteeseen, jossa jokainen käsitteellisen muutoksen prosessi johtaisi uuden virheettömän käsityksen muodostumiseen. Oppijan käsitteellisen muutoksen prosessi on usein puutteellinen, eikä



Kuvio 11. Käsityksen muutosprosessi (Krajcikin 1991 mukaan).

oppija kovin helposti luovu vanhasta käsityksestään. Uusi ja vanha käsitys saattavat myös esiintyä rinnakkain, jolloin uusi käsitys vain täydentää vanhaa käsitystä joltain osa-alueelta. Oppija saattaa myös hylätä uuden käsityksen, vaikka hän kykenisi selittämään sen avulla uusia ilmiöitä.

Demonstraatio-opetuksella pyritään helpottamaan ja edistämään oppijan käsityksen muutosprosessia. Demonstraatioissa luonnonilmiö voidaan esittää pelkistettynä olennaisimpiin muuttujiin, monta kertaa peräkkäin samanlaisena, vain keskeisiä muuttujia hieman varioiden. Lisäksi kehitettävässä demonstraatio-opetusmallissa huomioidaan oppijoiden aikaisempien käsitysten merkityksen oppimiselle. Opettaja tarkkailee ja ohjaa oppijoiden oppimisprosessin edistymistä tieteellisen käsityksen suuntaan, joten mielivaltaisille tulkinnoille jää vain niukasti tilaa. Käsityksen muutosprosessi siis sekä tehostuu että tarkentuu mallin mukaisessa opetuksessa. Oppijan näkökulmasta myös käytetyt käsitteet tuntuvat demonstraation jälkeen järkeviltä, koska ne yhdistyvät empiirisiin havaintoihin. Käsite tuntuu myös uskottavammalta kuin aikaisemmin, sillä demonstraation jälkeen oppija tietää maailman todella toimivan kuvatun käsitteen mukaisesti. Lisäksi oppimisen kohteena oleva käsite tuntuu hyödylliseltä muun muassa siksi, että oppija kykenee demonstraation jälkeen selittämään jotain sellaista, mitä hän ei olisi aiemmin pystynyt.

3.7 Oppijan ajattelu ja metakognitio

Älykkyyden ja ajattelun taitojen luokittelu riippuu paljolti siitä, missä yhteydessä, minkä taustafilosofian tai minkä psykologisen suuntauksen perusteella näitä käsitteitä tarkastellaan (Lavonen, 1996, 47). Yleensä puhutaan arkiajattelusta, alemman kognitiivisen tason ajattelusta ja ylemmän kognitiivisen tason ajattelusta.

Kemian opetuksen ja oppimisen tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita lähinnä ylemmän kognitiivisen tason ajattelusta. Alemman kognitiivisen tason ajatteluksi katsotaan yleensä tietäminen, muistaminen ja algoritmien soveltaminen. Alemman tason ajattelun taitoja voidaan testata kysymyksillä, jotka edellyttävät opitun asian muistamista tai algoritmin käyttämistä oppijalle tutussa kontekstissa. Ylemmän kognitiivisen tason ajatteluna puolestaan pidetään kysymysten tekemisen, ongelmanratkaisun, päätöksenteon, kriittisen ja arvioivan ajattelun taitoja. Korkeamman tason ajattelun taitoja voidaan testata kysymyksillä, jotka edellyttävät oppitujen tietojen soveltamista uudessa kontekstissa sekä analyysien tai synteisien tekemistä (Zoller & Tsapalis 1997; Zoller 1999).

Bloomin taksonomian mukaan tietäminen ilmenee aikaisemmin opitun asian muistamisena, jolloin oppija kykenee esimerkiksi termien määrittämiseen, objektien tunnistamiseen ja eri työvaiheiden suorittamiseen. Ymmärtäminen ilmenee oppisisällön merkityksen ymmärtämisenä, jolloin oppija kykenee esimerkiksi selittämään kemiallisia käsitteitä, tulkitsemaan kuvaajia ja tekemään yleistyksiä mittaustulosten perusteella. Soveltaminen ilmenee oppijan valmiutena käyttää oppimaansa asiaa uudessa ja konkreettissa tilanteessa, jolloin hän kykenee esimerkiksi ongelmanratkaisuun, käsitteiden soveltamiseen toisessa asiayhteydessä ja kuvaajien tuottamiseen. Analysoinnin taito ilmenee kykynä pilkkoa laaja asiasisältö pienemmiksi yksiköiksi, jolloin oppija kykenee esimerkiksi tunnistamaan laajasta mittaustulosten joukosta olennaisimmat, huomaamaan epä johdonmukaisuudet tai kykenee havaitsemaan erillisten havaintojen välisen riippuvuussuhteen. Synteisien tekemisen taito ilmenee oppijan kykynä muodostaa kokonaisuuksia. Tällöin hän osaa esimerkiksi laatia hypoteeseja ja suunnitella tutkimustehtäviä ja tuottaa vaihtoehtoisia menetelmiä ja ratkaisuja ongelmiin. Arviointikyky ilmenee muun muassa oppijan valmiutena arvioida mittaus- ja tutkimustulosten merkittävyyttä sekä tehdä päätelmiä havaintojen pohjalta. (Domin 1999; ks. myös Bloom 1974.)

Tässä tutkimuksessa kehitettävä demonstraatio-opetuksen malli tähtää sekä alemman että korkeamman tason ajattelun taitojen harjaantumiseen. Työtapa sisältää voimakkaan empiirinen painotuksen, millä katsotaan olevan olennainen vaikutus muun muassa näköhavaintojen

perusteella muodostuvien muistijälkien pitkäaikaiseen tallentumiseen. Opetusmenetelmän tavoitteena on oppimisen kohteena olevan ilmiön ja sitä kuvaavien käsitteiden sekä niiden välisten suhteiden ankkuroituminen pysyvästi oppijan muistiin. Ylemmän kognitiivisen tason ajattelun harjaannuttamiseksi työtapaan liittyy opetuskeskustelu. Opettajan rooli on pitemminkin oppimisprosessin tukija, kuin kateederilta tiedota jakava opettaja. Oppijoilla on mahdollisuus tehdä omia havaintoja ja tulkintoja, mutta opettaja arvioi ja asettaa kyseenalaiseksi koko ajan niiden oikeellisuuden. Demonstraatio-opetuksessa, kuten monessa muussakin kokeellisen opetuksen työtavassa, oppijan ajattelun kehittyminen perustuu pohjimmiltaan siihen, että hän kykenee tunnistamaan omat ajatuksensa ja käsityksensä. Demonstraatio-opetuksessa on siis kiinnitettävä alemman ja ylemmän tason kognitiivisten taitojen lisäksi huomio oppijan metakognitiivisiin taitoihin.

Yleisessä mielessä metakognitiivisilla taidoilla tarkoitetaan yksilön kykyä tunnistaa omaa ajatteluaan ja sen kehittymistä. Whiten (1989, 98) sekä Rickeyn ja Stacyn (2000) mukaan metakognitiivisilla taidoilla on keskeinen merkitys asioita ja ilmiöitä koskevien käsityksen muutosprosessissa. Oppijan metakognitiiviset taidot ilmenevät mm. siten, että oppija

- on tietoinen tekijöistä, jotka vaikuttavat hänen kykyynsä muistaa asioita,
- kykenee tarkkailemaan omaan ymmärtämistään esimerkiksi oppitunnin aikana,
- kykenee hyödyntämään eri ongelmanratkaisustrategioita ja
- kykenee kontrolloimaan omaa ajatteluaan.

Oppimisen kannalta olennaista on se, että yksilö on koko ajan tietoinen omasta toiminnastaan ja ajattelustaan. Metakognitiiviset taidot korostuvat sellaisissa kemian opetuksen työtavoissa, joissa oppija itse ohjaa oppimisensa etenemistä.

Rickeyn ja Stacyn (2000) mukaan omien käsitysten tunnistaminen vaikuttaa uusien käsitysten muodostumiseen ja toisaalta oman ajattelumallin tunnistaminen sekä sen kontrollointi ongelmanratkaisukykyyn. Oppijalla on tietyt vakiintuneet käytänteet esimerkiksi annettujen harjoitustehtävien suorittamisessa tai ongelmanratkaisussa. Oppijan kyky mukautua on koetuksella uuden tai odottamattoman tilanteen edessä. Tällainen on esimerkiksi kognitiivinen ristiriita. Oppija kykenee kehittämään omaa ongelmanratkaisutapaansa tai omien toimintojensa kontrollointia vasta, kun hän on tiedostanut vakiintuneet toimintamallinsa.

Tynjälän (1999, 114) mukaan metakognitiivisten tietojen jaottelu kolmeen ryhmään voidaan tehdä kiinnittämällä huomio minän tietoihin ja käsityksiin itsestä (ja muista) tiedonkäsittelijänä (“Minulla on hyvä näkömuisti”), tietoihin erilaisista tehtävistä ja niistä suoriutumisesta (“Tiivistelmän kirjoittaminen edellyttää, että poimin tekstistä olennaisimmat

asiat”) sekä tietoon erilaisista strategioista (“Voin muodostaa kokonaiskuvan asioista käsittekartan avulla”). Metakognitiiviset taidot ilmenevät puolestaan kykyinä käyttää hyväkseen näitä tietoja oman oppimisen säätelyssä.

Oppijan metakognitiivisten taitojen kehittymistä voidaan edistää monilla eri työmuodoilla. Tynjälän (1999, 62) mukaan ulkoinen tuki ja oppimisprosessin kontrolli ovat tärkeitä oppimisen alkuvaiheessa, mutta etenkin kontrollia voidaan vähentää metakognitiivisten taitojen ja itseohjautuvuuden kehittymisen myötä. Opettajajohtoisuus oli tästä syystä looginen valinta kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallin opetusstrategiaksi. Opettajajohtoisuuden nähdään helpottavan ensimmäisten askeleiden ottamista esimerkiksi uuden ilmiön ymmärtämissä tai tieteellisten käsitteiden omaksumisessa. Toisaalta demonstraatio-opetus nähdään myös välttämättömänä askeleena syvällisemmän ymmärtämisen ja itsenäisen työskentelyn valmiuksien vahvistamisessa.

Demonstraatio-opetus pyrkii siis vaikuttamaan oppimisprosessin metakognitiivisen säätelyyn ja sitä kautta oppimisen itsesäätelyyn. Esimerkiksi työskentelyn alkuvaiheessa oppijalta edellytetään omien tavoitteiden määrittelyä ja strategioiden valintaa. Oppimisprosessin edetessä metakognitiiviset toiminnot tukevat prosessin arvioimista, tarkkailemista ja strategioiden muuntelua tarpeen mukaan ja loppuvaiheessa oman suorituksen ja oppimisen arviointia. Opetusmalli sisältää siis myös pohdintavaiheen, jolloin oppijat ja opettaja yhdessä tarkastelevat kokeen onnistumista sekä luonnontieteellisen tiedonmudostuksen että oman oppimisensa näkökulmasta.

3.8 Kemian oppimiseen soveltuvia oppimisen malleja ja teorioita

Oppimista kuvaavien teorioiden keskeisin tavoite on selittää yksilön ja ryhmän oppimista. Käsitys tiedosta ja sen luonteesta on toinen keskeinen kysymys. Sadan viimevuoden aikana on esiintynyt kolme hallitsevaa tutkimusperinnettä: behavioristinen, konstruktivistinen ja humanistinen.

Oppimisen tutkimusta on viime vuosikymmeninä luonnehtinut jännite behavioristisen ja konstruktivistisen oppimisen teorioiden välillä. Von Wrightin (1992, 2) mukaan taustalla on vanha tietoteoreettinen erottelu empiristisen ja rationalistisen tiedonkäsityksen välillä. Empirismin mukaan tieto on kokemuseräistä eli aistihavaintoihin perustuvaa. Rationalismin mukaan tiedon lähteenä tai perustana on järki, joten todellisuutta koskevaa tietoa voidaan

saavuttaa ymmärryksen tai älyllisen intuition avulla. Tämä näkemys korostaa aikaisemman tiedon merkitystä.

Varhainen empirismi perustui oletukselle, että mieli koostuu yksiköistä, jotka ovat peräisin havainnoista ja jotka eri tavoin assosioituessaan luovat kokemusmaailmamme. Thorndiken luomat behavioristisen oppimisen periaatteet nojasivat voimakkaasti assosiaatioteoriaan (von Wright 1992, 6). Behavioristinen oppimisteoria näki oppimisen ärsykkeiden ja reaktioiden välisenä kytkenä. Yksilölliselle tulkinnalle oli vain vähän sijaa. Onnistuneet toiminnot tai oikeat vastaukset palkittiin, kun taas väärät toimintamuodot tai väärät vastaukset jätettiin huomiotta. Behavioristisella oppimisen teorialla on monta etua. Von Wright (1992, 8) kiteyttää asian seuraavasti:

“Se on pitkän tradition pohjalta muovautunut, selkeä ja arkiajattelun mukainen. Opettajan kannalta se on johdonmukainen ja turvallinen eli hänen valtaansa tukeva. Sitä on perinteisesti pidetty hyvin toimivana ainakin perustaitoja opettaessa. Sen heikkoudet käyvät kuitenkin ilmi, kun tarkastellaan ymmärtämisistä painottavaa oppimista eli kun siirrytään konstruktivistisen oppimiskäsityksen kotipihalle.”

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppimista ohjaa informaation valikointi ja tulkinta. Von Wrightin (1992, 9–10) mukaan teorian perusolettamuksia on, että havaintomaailmamme on merkitysten eikä ärsykkeiden maailmaa. Havaintomme saavat merkityksensä, kun ne kytketään aikaisemmin opittuun, tulkitaan aikaisempien kokemusten muodostaman viitekehyksen avulla ja tilanteeseen sopivasti (ks. myös Johnstone 1997). Tässä mielessä rakennamme eli konstruoimme havaintomaailman kohteet, emme pelkästään rekisteröi niitä. Informaation prosessointi on kokonaisvaltainen tapahtuma. Jos informaation prosessointi aiheuttaa muutoksia tiedoissamme, käsityksissämme tai taidoissamme ja jos muutos on hetkellistä pysyvämpi kutsumme sitä oppimiseksi.

Muisti muodostuu oppimisen kautta (Järvilehto 1994, 156). Oppiminen tiedon siirtämisenä perustuu näkemykseen, jonka mukaan tieto siirtyy ympäristöstä ihmiseen. Järvilehdon (1994, 156) mukaan tämä edellyttäisi, että tieto on olemassa kirjassa tai opettajassa, josta se voitaisiin siirtää tiettyä kanavaa pitkin oppijaan. Oppijassa oletetaan olevan jonkin tyyppinen muistivarasto, johon tieto sijoitetaan ja varastoidaan. Vastakohtana tälle on eliö-ympäristöjärjestelmän teoria, jonka mukaan oppiminen on jatkuva prosessi, jossa tietoa luodaan sen mukaan, mitä ihminen ympäristöstään tarvitsee ja minkälaisia tuloksia toiminnan tulee tuottaa. Tässä tutkimuksessa nojataan jälkimmäiseen näkemykseen, jonka mukaan yksilö luo omaa tietoaan ja rakentaa omaa maailmankuvansa.

Konstruktivistinen oppimisen käsitys painottaa kolmea seikkaa. Ensimmäkin opetus on ankkuroitava oppijan arkitodellisuuteen. Toiseksi, parhaiten opitaan ongelmista, jotka heräävät tai onnistutaan herättämään oppijalle itselleen läheisessä teema-alueessa ja jotka hän itse ratkaisee. Kolmanneksi, oppijan aktiivisuudella on keskeinen merkitys. Oppiminen aktiivisena tiedonhankintana on nykyisin myös yksi kemian opetuksen peruslähtökohtia. (von Wright 1992, 12–13)

Von Wrightin (1992, 17) mukaan yksi keskeinen oppimisen tarkastelutapa viime vuosina on ollut ekspertin ja noviisin tietorakenteiden määrällisten ja laadullisten erojen selvittäminen. Keskeinen tutkimushavainto on ollut se, ettei eksperttiyteen päästä vain tiedon määrää lisäämällä, vaan olennaista on tiedon jäsentynyt organisointi. Tämä on lisännyt kiinnostusta informaation prosessoinnin sisäiseen säätelyyn ja kysymyksiin siitä, mihin tarkkaavaisuutemme kohdistuu. Informaation prosessoinnin sisäistä säätelyä nimitetään yleisesti metakognitiiviseksi taidoiksi, joilla tarkoitetaan yksilön omaa kognitiivis-emotionaalisia prosesseja koskevaa tietoa: sen ohella, että tiedämme, voimme myös tietää, että tiedämme. Näiden taitojen pohjata yksilö voi reflektoida ja oppia säatelemään omaa toimintaansa ja siten vaikuttamaan omaan oppimiseensa.

Opetuksen tutkimus on viime vuosina suuntautunut vahvasti myös kokemukselliseen oppimiseen. Kokemuksellinen oppiminen korostaa yksilön ainutkertaisuutta kehitysmahdollisuuksia täynnä olevana oppijana ja oppimista elinikäisenä prosessina. Kokemuksellisella oppimisella on yhtymäkohtia niin humanistiseen psykologiaan kuin konstruktivismiin.

Usein konstruktivismia kuvataan, ikään kuin se olisi valmis teoria. Se on kuitenkin lähempänä teoreettista mallia kuin valmista teoriaa. Konstruktivismiin teoria ja konstruktivistinen pedagogia on syytä erottaa toisistaan, sillä ensimmäinen näyttäisi nojaavan filosofiseen päättelyyn ja jälkimmäinen praktiseen totuusteoriaan (vrt. Matthews 1998).

Tässä tutkimuksessa nojaututaan kognitiivisen konstruktivismiin näkemykseen oppijasta oman tiedon rakentajana. Oppijan demonstraatiosta tekemät havainnot saavat merkityksensä, kun hän kytkee ne aikaisemmin oppimaansa ja tulkitsee uutta tietoa aikaisempien kokemusten muodostaman viitekehyksen avulla ja vallitsevaan tilanteeseen sopivasti. Oppiminen katsotaan yksilölliseksi prosessiksi, johon kuitenkin voidaan oleellisesti vaikuttaa sosiaalisella vuorovaikutuksella. Tutkimuksessa kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallin mukaisessa opetuksessa lähtökohtana on Krajcikin (1991) käsityksen muutokseen tähtäävää oppimisprosessin malli.

Seuraavaksi käsitellään muutamia kemian oppimiseen soveltuvia oppimisteorioita ja esitellään niihin sopivia pedagogisia malleja.

Tynjälän (1999, 31–36) mukaan IP-teorian rakentamisen alkuvaiheissa oppiminen rinnastettiin tietokoneen kaltaiseen toimintaan. Suuntaus omaksui ATK-alan termistön, jossa behaviorismin käyttämät käsitteet ärsyke ja reaktio korvattiin käsitteillä syöte (input) ja tuotos (output). Teorian mukaan syötteen ja tuotoksen välissä oli kognitiivisen informaation prosessoinnin vaihe. Oppimista puolestaan pidettiin tietojen varastoimisena muistiin sekä niiden prosessointina ja palauttamisena muistista.

Alkuperäinen teoria oli hyvin mekanistinen ja näki oppimisen tiedon passiivisena vastaanottamisena. Se myös sisälsi oletuksen tiedon objektiivisuudesta, toisin sanoen erillisestä etukäteen olemassa olevasta tiedosta. Moderni IP-teoria sen sijaan hylkää tietokonemetaforan ja kuvaa oppimista oppijan aktiivisen tiedon rakentamisena. Sen keskeisenä tutkimuskohteena on muun muassa alakohtaisen eksperttisyden kehittyminen.

Moderni IP-teoria pohjautuu realistiseen filosofiaan ja totuuden korrespondenssiteoriaan. Realistisen filosofian mukaan ihmisen psyykinen maailma on riippumaton ontologisesta todellisuudesta. Totuuden korrespondenssiteorian mukaan ihmisen tietorakenteiden todellisuus määräytyy sen perusteella, miten ne vastaavat ulkoisen maailman rakenteita. Modernin IP-teorian mukaan yksilöt vastaanottavat, valikoivat ja analysoivat informaatiota ja rakentavat ymmärrystään maailmasta monimutkaisten ajatteluprosessien avulla. Toisinaan teorian katsotaan edustavan heikkoa konstruktivismia, koska siinä korostetaan yksilön aktiivista kognitiivista prosessointia (ks. myös Prawatt 1996).

Teorian pohjalta kehitellyissä pedagogisissa sovelluksissa kiinnitetään huomiota pitkäkestoisen muistin parantamiseen ja mielienpainamisvaiheen tihvistämiseen. Sen sovellukset tähtäävät usein erilaisten muistamista helpottavien tekniikoiden kehittelyyn, kuten opittavan aineksen osittamiseen sopiviin yksikköihin, kertaamiseen ja mielikuvien liittämiseen verbaaliseen materiaaliin (ks. myös Aebli 1991, 78, 84). Tässä tutkimuksessa kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallissa pyritään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan kaikkia näitä tekniikoita. Mallin mukaisessa opetuksessa esimerkiksi edetään vaiheittain ja oppimisen kohteena olevat asiat pyritään ryhmittelemään tietyn periaatteen mukaisesti. Pohdintavaiheeseen voi sisällyttää myös esimerkiksi kertaamisen vaiheen, koska silloin ilmiöstä, käsitteestä tai periaatteesta uskotaan muodostuvan pysyvämpi mielikuva.

Demonstraatio-opetuksen kannalta moderni IP-teoria merkitsee myös sitä, että opittava asia tulisi esittää usealla eri tavalla ja useassa eri kontekstissa. Samaa asiaa tulisi siis käsitellä sekä kirjallisen että kuvallisen materiaalin pohjalta ja siitä tulisi keskustella ja sitä tulisi tarkastella eri näkökulmista. Kemiallisen tiedon monitasoisuudesta ja -ajattelua vaativaa luonnetta

ovat painottaneet etenkin Ben-Zvi (1987; 1998), Johnstone (1991) ja Gabel (1998), joiden näkemysten liittymistä moderniin IP-teoriaan on esitelty yksityiskohtaisemmin muun muassa kohdassa 3.2.

Moderni IP-teoria on osaltaan vaikuttanut erilaisten oppimis- ja opiskelustrategioiden ja -tyylien sekä metakognitiivisten taitojen merkityksen huomioimiseen (Tynjälä 1999, 36). Näiltä osin asiaa on jo tarkasteltu kohdassa 3.7.

Kognitiivinen konstruktivismi

Varhaisimmaksi konstruktivismin kehittäjäksi esitetään 1700 luvulla elänyttä filosofi Gimbattista Vicoa. Nykyajan konstruktivistit Jean Piagetia ja Ernest von Glaserfeldiä myöten ovat omaksuneet monia hänen esittämiään ajatuksia, kuten ajatuksen oppijasta oman tiedon rakentajana (von Glaserfeld 1998). Kognitiivinen konstruktivismi liitetään usein radikaaliin konstruktivismiin. Nimityksen taustalla on perinteisestä, realistisesta ja empiirisestä tietoteoriasta poikkeava näkemys tiedosta ja sen luonteesta. Radikaali konstruktivismi kieltää absoluuttisen tiedon olemassaolon sekä sen, että tieto vastaisi täysin todellisuutta. Havaintomme todellisuudesta eivät ole koskaan puhtaita, vaan tulkintaa siitä, mitä tai millainen todellisuuden kuvitellaan olevan (Tynjälä 1999, 40; vrt. myös Haapasalo, 1994, 95). Moderni kognitiivinen konstruktivismi pohjautuu lähinnä Immanuel Kantin ja Jean Piaget'n ajatteluun, ja nykyään näkemysten johtavana hahmona pidetään Ernest von Glaserfeldiä (Tynjälä 1999, 39; vrt. myös Matthews 1998). Suomessa kognitiivista konstruktivismia ja sen merkitystä oppimiselle ovat tutkineet ja soveltaneet muun muassa Erno Lehtinen, Lenni Haapasalo ja Jorma Ojala.

Kognitiivinen konstruktivismi edustaa pragmaattista totuusteoriaa, jonka mukaan tiedon todellisuutta testataan käytännössä. Jos tietomme osoittautuu käyttökelpoiseksi, relevantiksi ja elinkelpoiseksi ja auttaa meitä ymmärtämään todellisuutta ja sen rakenteita sekä toimimaan siinä, sitä voidaan pitää totena. Tiedon arvioinnin kriteereiksi nousevat esimerkiksi tiedeyhteisön yksimielisyys ja yksilöllisesti konstruoitujen näkemysten sopivuus yleisesti hyväksytyyn näkemykseen (Tynjälä 1999, 39–41).

Kognitiivinen konstruktivismin mukaan kognitiivinen toimintamme pyrkii luomaan järjestystä muuten epämääräiselle ja hahmottomalle kokemusvirralle. Oppimisessa korostuvat oppijan aikaisemmat tiedot, oppimisen sisäinen säätely ja metakognitiiviset taidot, sillä havainnot tulkitaan aina aikaisempien tietojen ja uskomusten pohjalta.

Oppimiseen liittyvät assimilaation, akkommodaation ja skeeman käsitteet. Skeemalla tarkoitetaan tietorakennetta, jonka pohjalta yksilö jäsentää ja tulkitsee havaintojaan. Ne ovat ikään kuin sisäisiä malleja siitä, mitä eri asiat sisältävät, miten ne toimivat ja miten tapahtumat

etenevät. Assimilaatio ja akkommodaatio ovat puolestaan Piaget'n psykologian keskeisiä käsitteitä. Assimilaatiolla tarkoitetaan kognitiivista mekanismia, jossa uusi havainto tai kokemukset liitetään olemassa olevaan skeemaan. Akkommodaatio tapahtuu puolestaan silloin, kun havainnot tai kokemukset eivät sovi aikaisempiin skeemoihin ja syntyy laadullisesti uudenlainen skeema. Skeemojen uudelleenmuotoutuminen on siten keskeinen käsite kognitiivisessa konstruktivismissa, sillä sen kautta kuvamme maailmasta ja sen toimintaperiaatteista muuttuvat (Tynjälä 1999, 42–43).

Piaget'n teoriassa kielen tehtävä on pikemminkin toimia siltana tiedon välitykselle kuin objektina, joka kuljettaa tietoa: "Understanding is a matter of fit rather than match". Von Glaserfeld on kuvaillut kielen merkitystä myös seuraavasti:

"The analysis of the process of linguistic communications shows that knowledge cannot simply be transferred by means of words. Verbally explaining a problem does not lead to understanding, unless the concept the listener has associated with the linguistic components of the explanation are compatible with those the explainer has in mind. Hence, it is essential that the teacher have an adequate model of the conceptual network within which the student assimilates what he or she is being told. Without such a model as basis, teaching is likely to remain a hit-to-miss affair." (von Glaserfeld 1998, 26)

Karkeasti yleistäen tämä tarkoittaa opetustyössä esimerkiksi sitä, että oppijalle on hyödytöntä puhua atomista, ennen kuin hänellä on edes alkeellinen käsitys niistä filosofisista periaatteista ja mittauksista, joita käsitteen luonnehdintaan on tarvittu. Ilman tätä kyse on pikemminkin valmentamisesta oppimisen sijasta.

Kognitiivisen konstruktivismin teorian pohjalta demonstraatio-opetuksessa huomioidaan oppijoiden ennakkokäsitysten merkitys hänen oppimiselleen ja siihen sisällytetään ennakkokäsitysten selvittäminen yhdeksi opetusstrategian vaiheeksi. Piaget'n teoriaa sovelletaan muodostamalla hypoteesien tekemisen ja testaamisen vaiheet, millä tähdätään assimilaatioon ja akkommodaatioon. Assimilaation tapauksessa voidaan hyödyntää esimerkiksi kahta toisistaan vain hieman poikkeavaa demonstraatiota, jolloin pyritään laajentamaan oppijan skeemaa oppimisen kohteena olevasta ilmiöstä. Akkommodaatiosta on kyse silloin, kun opetustilanteen tavoitteena on oppijan arkikäsitteiden ja tieteellisen käsityksen välisen ristiriidan eksplisointi, ts. näkyväksi tekeminen. Akkommodaatiota tavoitellaan erityisesti niissä tapauksissa, kun oppijalla tiedetään entuudestaan tai ennakkokäsitysten selvittämisen perusteella olevan naiivi ja empiirinen kuva luonnonilmiöstä ja sen syy-seuraussuhteista.

Sosiokonstruktivismiin mukaan tieto on sosiaalisen prosessin tulos ja ihmiset muodostavat kuvansa todellisuudesta sidoksissa sosiaaliseen, kulttuuriseen ja historialliseen kehukseen (Tynjälä 1999, 44–50). Suuntauksen luojana pidetään Vygotskya. Suomessa sitä ovat tutkineet muun muassa Engström, von Wright ja Lehtinen. Kemian opetukseen teoriaa ovat soveltaneet muun muassa Richard Krajcik (1991) ja demonstraatio-opetukseen Liisa Kyyrönen (1999).

Vygotskyn ajatusten mukaan tieto sisäistyy psykologisten välineiden käytön kautta, joita ovat esimerkiksi erilaiset merkit ja merkkijärjestelmät. Ajattelua ei siten voida ymmärtää tutkimatta kulttuurien tuottamia merkkejä, joita ovat esimerkiksi puhuttu ja kirjoitettu kieli, matematiikka tai taide. Merkkijärjestelmät ja erityisesti kieli mahdollistavat sen, että ajattelun avulla voidaan suunnitella tulevaisuutta ja tarkastella menneisyyttä. Kaikkein korkeimman tasoisen abstraktin ajattelun kehittyminen edellyttää muodollista opetusta abstrakteilla merkkijärjestelmillä, joten abstraktia ajattelua voi esiintyä vain teknologisesti pitkälle kehittyneessä yhteiskunnassa. (Tynjälä 1999, 44–46).

Vygotskyn mukaan oppiminen alkaa sosiaalisessa vuorovaikutuksessa ja muuttuu sitten sisäiseksi psyykkiseksi prosessiksi. Opetuksessa olisi tärkeää tietää oppijan ns. lähikehityksen vyöhyke. Tällä Vygotsky tarkoittaa esimerkiksi sellaisia oppimistehtäviä, joita oppija voi tehdä opettajan tai jonkin oppimista edistävän laitteen avulla, mutta joista hän ei pysty suoriutumaan yksin. Lähikehityksen vyöhyke on siis oppijan aktuaalisen ja potentiaalisen kehitystilän välinen etäisyys. Jos opetuksessa keskitytään niihin toimintoihin, joista oppija voi suoriutua kokeneemman avustuksella, päästään käsiksi niihin kykyihin, jotka ovat juuri alkamassa kehittyä. Taustalla korostuu siis ekspertin ja noviisin vuorovaikutus oppimisen ytimenä. Oppijan käsitukset kehittyvät vuorovaikutuksessa asiantuntijan kanssa. Vygotskyn näkemyksiä on kuitenkin kritisoitu siitä, että ekspertin tuki saattaa joskus toimia eri tavoin kuin on ajateltu, toisin sanoen noviisi saattaa tulla riippuvaiseksi ekspertin avusta, jolloin itsenäinen työskentely ehkäistyy. Vygotskyn näkemyksessä korostuu ekspertin taito asettaa oppimisen kannalta olennaisia ongelmia, mutta myös taito auttaa oppijaa vain riittävästi. Myös Aebli (1986, 328–329) on pohtinut opettajan tuen merkitystä ja opetuksessa annettavan minimaalisen avun merkitystä oppijan oppimiselle (vrt. myös Vygotsky 1982, 153–206; Tynjälä 1999, 46–50; Viiri 2000, 137).

Kyyrönen (1999) on väitöstutkimuksessaan pyrkinyt soveltamaan sokraattista dialogia kemian demonstraatio-opetukseen Vygotskyn oppimisteorian näkökulmasta. Hän tarkastelee erityisesti ekspertin ja noviisin välisen keskustelun merkitystä ilmiön ymmärtämisprosessissa ja

sitä, kuinka opettaja taitavilla kysymyksillään ikään kuin kaivaa tiedon oppijan päästä. Myös Millerin (1993) mallissa korostuu demonstraatio-opetuksen sosiokonstruktivistinen näkökulma.

Tässä tutkimuksessa oppiminen nähdään oppijalle perusolemukseltaan henkilökohtaisena ja yksilöllisenä prosessina, johon ulkoiset tekijät kuitenkin voivat oleellisesti vaikuttaa. Tässä mielessä tutkimuksessa kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallin mukaisessa opetuksessa aikaan saatu oppiminen on samanaikaisesti sekä yksilöllinen että sosiaalisen vuorovaikutuksen prosessi. Vygotskyn näkemyksiin tukeudutaan myös siinä, että opetusstrategiaksi on valittu opettajajohtoinen opetus. Näin mahdollistuu pätevän ohjaajan antama ohjaus oppijan lähikehityksen alueella eikä toisaalta tiedon rakentaminen ole vain oppijan omalla vastuulla. Myös Hodson ja Hodson (1998) ovat korostaneet opettajajohtoista yhteiskonstruktiota, jossa oppijaa ei jätetä yksin konstruoimaan uutta tietoa. Toisaalta oppijoiden ennakkokäsitysten selvittämisestä tulee yhä olennaisempi vaihe, sillä vain ennakkokäsitysten selvittämisellä voidaan tietää ja arvioida oppijan aktuaalisen ja potentiaalisen kehitystilan etäisyyttä toisistaan. Sosiokonstruktivismin näkökulmasta kehitettävä demonstraatio-opetuksen malli nähdään ikään kuin rakennustelineenä, jonka avulla oppija pystyy yltämään tiedonrakennuksessa pidemmälle, kuin hän yltäisi ilman tätä tukea (vrt. Tynjälä 1999, 49)

Oppiminen käsityksen muutoksena

Käsityksen muutokseen tähtäävien opetusmenetelmien mallina esitetään yleisesti Posnerin (1982) ynnä muiden käsityksen muutoksen malli. Fysiikan puolella merkittävää tutkimusta on alalla tehnyt muun muassa Stella Vosniadou ja kemian puolella Richard Krajcik. Tutkijat esittävät yleensä tietyt vähimmäisehdot, joiden täytyessä opettaminen voi johtaa käsityksen muutokseen. Posnerin ym. mallissa oppijan käsityksen muutosta kuvataan radikaaliksi käsityksen muutokseksi, Vosniadoun mallissa mentaalisen mallin tarkistamiseksi ja uudelleen muovaamiseksi sekä Krajcikin mallissa ajattelun kehittymiseksi kognitiivisten ristiriitojen kautta. Yhteistä kaikille malleille on se, että oppijan mielessä tapahtuu eräänlainen "tieteellinen vallankumous" ja oppijan näkemys maailmasta ja sen toimintaperiaatteesta muuttuu aiempaa tieteellisemmäksi (vrt. Tynjälä 1999, 77). Tynjälää (1999, 77–83) mukailten oppijan käsityksen muutokset voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan:

1) Oppimisen kohteena olevan ilmiön yksittäisten käsitteiden merkityksiin liittyvät muutokset

Hewsonin ja Hewsonin (1992) mukaan käsityksen muutoksia ovat oppimiseen liittyvien käsitteiden käyttöönotto ja aikaisempien käsitysten tarkentuminen. Uusien käsitteiden

käyttöön otosta on kyse esimerkiksi silloin, kun oppija ei ennen kurssin alkua puhu palamisen yhteydessä elektronin siirtymisprosessista, mutta kurssi lopussa kuvaa palamiseen kuuluvan olennaisena osana elektronien siirtyminen. Käsitusten tarkentuminen voi puolestaan ilmetä siten, että arkikäsitys saa tarkemman teoreettisen sisällön tai sitä aletaan selittää teoreettisemmin. Siitä on esimerkkinä tapaus, jossa oppija kuvailee opetuksen jälkeen, kuinka aineen palaminen tarkoittaa toisaalta sekä aineen ja hapen välistä reaktiota, mutta laajemmassa mielessä aineen hapettumista redox-ilmion kontekstissa.

2) Muutokset käsitteiden välisissä suhteissa

Toisissa käsityksen muutokseen tähtäävissä malleissa kuvataan sitä, miten oppija muodostaa yhteyksiä sellaisten asioiden välille, jotka ovat aikaisemmin esiintyneet hänen ajattelussaan toisistaan erillisinä. Scottin ynnä muiden (1991) mukaan tällaiset mallit perustuvat oppijan vallitsevaan tietorakenteeseen ja sen laajentamiseen uudelle alueelle. Malli korostaa opettajan roolia, sillä hänen odotetaan kykenevän valitsemaan sellaisia esimerkkejä, jotka tukevat oppijan käsityksen muutosta kohti tieteellistä käsitystä (Tynjälä 1999, 79–80, Viiri 2000, 130).

3) Muutokset yksilön peruskäsityksissä ja tietoteoreettisissa selityksissä

Chin (1994) ja Vosniadoun (1994) mallissa korostuu ajatus siitä, että luonnonilmiöt ja niitä kuvaavat abstraktit käsitteet kuuluvat perusolemukseltaan ja tietoteoreettisesti eri luokkiin. Mallien mukaan väärinkäsityksiä syntyy esimerkiksi silloin, kun oppijat sijoittavat ilmiön perusolemukseltaan väärään luokkaan. Esimerkiksi vetovoima voidaan kuvitella maan tai sähkövirta esineen ominaisuudeksi. Näissäkin tapauksissa virhekäsitysten perussyynä pidetään arkihavaintojen naiiveja ja intuitiivisia selitysmalleja. Molemmissa malleissa käsityksen muutos tapahtuu, kun asiat siirtyvät perusolemukseltaan ja tietoteoreettisesti toisiin luokkiin. Chi kuvaa muutosta aineen, prosessin ja mentaalisen tilan välisinä muutoksina. Ainekategoriaan luuluvat asiat voivat olla luonnonmateriaaleja tai artefakteja. Prosessit voivat olla toimenpiteitä ja menettelyjä, tapahtumia tai vuorovaikutuksia. Metaaliset tilat voivat olla emotionaalisia ja intentionaalisia tiloja. Vosniadoun mallissa muutokset käsitellään kehysteorioiden, erityisten teorioiden ja ajatusmallien väliseksi muutokseksi. Kehysteoriat muodostetaan lapsuudessa intuition perusteella, ja ne käsittävät perusolemukseltaan ja tietoteoreettisesti syvällisimpiä olettamuksia. Erityiset teorit koostuvat joukosta lauseita ja uskomuksia, jotka kuvaavat kehysteorioiden puitteissa esimerkiksi jonkin kappaleen ominaisuutta ja käyttäytymistä. Ajatusmallit ovat erityisiä teorioita yksityiskohtaisempia, tilannesidonnaisia ja konkreetteja

selityksiä maailman tapahtumista. Yksilön kannalta vaikeinta on kehysteorioiden muuttaminen, koska se edellyttää yksilön hylkäävän perusoletuksiaan.

Kognitiivisen konfliktin malli

Kognitiiviseen konfliktiin tukeutuvat opetusmallit ovat yksi osakategoria käsityksen muutokseen tähtäävissä opetusmalleissa. Näissä malleissa käsityksen muutosta pidetään epäjatkuvampana prosessina kuin esimerkiksi oppijan tietorakenteen laajentamiseen tähtäävissä malleissa (Scott ym. 1991, ks. myös Viiri 2000, 130).

Kognitiivisen konfliktin malli hyödyntää oppijan käsityksen ja vallitsevan tieteellisen käsityksen välistä näkemuseroa. Historiallisesti malli perustuu Piaget'n teoriaan oppimisesta, jossa käsityksen muutokset pohjautuvat assimilaatiolle ja akkommodaatiolle sekä käsitykseen tiedonhankinnasta adaptiivisena toimintona. Assimiloidessaan oppija käyttää ennestään tuttua skeemaa uuden tilanteen jäsentämiseen ja ymmärtämiseen. Mikäli uusi tilanne ei vastaakaan tai noudatakaan aikaisempaa skeemaa, tapahtuu assimilaation aikana turhautumista. Turhautuminen puolestaan toimii ratkaisevana kognitiivisen kehityksen promoottorina. Akkommodaatiossa oppija luo uuden skeeman assimilaation ja turhautumisen kautta. Adaptiivisella toiminnalla Piaget tarkoittaa tiedon hankkimista tai omaksumista ympäristöstä, muttei darwinistista ympäristöön sopeutumista (von Glaserfeld 1998, 15).

Chinn ja Brewer (1998) ovat esitelleet taksonomian siitä, kuinka oppija suhtautuu epätavalliseen tietoon opiskellessaan luonnontieteitä. Chinnin ja Brewerin mukaan ihmiset suhtautuvat ristiriitaiseen tietoon joko jättämällä sen huomiotta, hylkäämällä, sulkemalla pois, jättämällä toistaiseksi päättämättä sen merkityksestä, tulkitsemalla uudelleen sen merkityksen vallitsevien käsitystensä perusteella, hyväksymällä ristiriitaisen tiedon mahdollisuuden ja tekemällä toisarvoisia muutoksia aikaisempiin tietoihinsa tai hyväksyvät ristiriitaisen tiedon mahdollisuuden ja muuttamalla (viitckchys)tcoriaansa.

Ristiriitaisen tiedon huomiotta jättämisellä he tarkoittavat sitä, ettei yksilö edes välitä selittää ristiriitaista tietoa, joten alkuperäinen käsitys pysyy muuttumattomana. Hylätessään ristiriitaisen tiedon yksilö katsoo uuden tiedon kelvottomaksi selittämään havaintoja, mutta pyrkii myös selittämään, miksei ristiriitainen tieto ole validia. Ristiriitaisen tiedon pois sulkemisessa tiedon katsotaan kuuluvan teorian pätevyysalueen ulkopuolelle, joten ristiriitaista tietoa pidetään validina mutta irrelevanttina. Jotkut yksilöt jättävät päättämättä ristiriitaisen tiedon merkityksestä, koska he uskovat pystyvänsä selittämään ristiriitaisen tiedon vallitsevan käsityksensä avulla, mutteivät ole vielä keksineet selitystä. Uudelleen tulkitsemisesta on kyse silloin, kun ristiriitaista tietoa yritetään tulkita uudelleen siten, ettei vallitsevaa käsitystä tarvitse

muuttaa. Toisarvoisen käsityksen muutoksen tapauksessa yksilö hyväksyy ristiriitaisen tiedon validina ja muuttaa käsitystään vain jonkin tietyn tapauksen yhteydessä. Yksilön peruskäsitykset ja uskomukset pysyvät kuitenkin muuttumattomina. Chinnin ja Brewerin mallissa ainoastaan yhdessä tapauksessa tapahtuu käsityksen muutos. Se tapahtuu silloin, kun yksilö hyväksyy ristiriitaisen tiedon ja muuttaa aikaisempaa käsitystään uuden käsityksen mukaiseksi.

Tässä tutkimuksessa kehitettävä demonstraatio-opetuksen malli tukeutuu kognitiivisen ristiriidan käyttöön. Oppijoiden käsityksen muutosprosessia seurataan Krajcikin (1991) kognitiiviseen ristiriitaan perustuvan mallin avulla. Demonstraatio-opetuksen mallin tavoitteena on Chinnin ja Brewerin (1998) taksonomian mukainen ristiriitaisen tiedon hyväksymisen ja käsityksen muutokseen johtava prosessi. Tavoitteisiin pääsemisestä edistää se, että malli perustuu oppijoiden ennakkokäsityksien selvittämiseen, oppijoiden näkökulmasta mielekkään ristiriidan synnyttämiseen ja empiirisille kokemuksille, jotka helpottavat kyseisten konfliktien ratkaisua.

4 Demonstraatio kemian opetuksessa

Tässä luvussa tarkastellaan kemian demonstraatio-opetuksen nykyistä tilaa suhteessa kasvatustieteellisen paradigman muutokseen. Tässä yhteydessä esitellään myös uuden tyyppinen demonstraatio-opetuksen malli, joka rakentuu konstruktivistisen oppimisen ja käsityksen muutosprosessin mallin teoreettisille periaatteille.

4.1 Demonstraatio-opetuksen tavoite

Luonnontieteen opetuksen työtapaa voidaan ymmärtää välineeksi, jota hyödyntämällä opettajan ja oppijoiden yhteinen työskentely etenee luonnon kanssa tapahtuvana vuorovaikutuksena ja loogisena ajatteluprosessina (vrt. Erätuuli & Meisalo 1985, 82).

Demonstraation tavoitteet ovat monilta osin yhteisiä muiden luonnontieteen opetuksen työtapojen kanssa. Kokeellisen opetuksen tavoitteita ovat kattavasti muotoilleet muun muassa Kerr (Hodson 1998) sekä Beatty ja Woolnough (Swain ym. 1999) ja hieman suppeammin Gott ja Duggan (1996) sekä Bennett ja Kennedy (2001). Tässä tutkimuksessa demonstraatio-opetuksen keskeisiksi tavoitteiksi määritellään

- oppijan ajattelun aktivoiminen,
- luonnontieteellisen ajattelutavan omaksuminen ja
- luonnonilmion ja sen teoreettisten perusteluiden välisen yhteyden havainnollistaminen.

Tässä yhteydessä aktiivisuudella tarkoitetaan ennen kaikkea oppijan aktiivista tiedon käsittelyä. Beasley'n (1982) mukaan oppijoiden aktiivisuus ja tehtäviin osallistuminen lisääntyvät luentodemonstraatioiden aikana. Oppijan tarkkaavaisuuden tasolla on ratkaiseva merkitys myös oppijan demonstraatiosta tekemiin havaintoihin ja havaintojen pohjalta syntyviin metakognitiivisiin toimintoihin (Rickey & Stacy 2000).

Demonstraatioon seuraaminen näyttää saavan oppijoissa aikaan välitöntä pintaoppimista (Ahtee 1994) ja pitkäkestoisempaa syväoppimista (Kyyrönen 1999). Pintaoppimisella tarkoitetaan yksittäisten faktatyyppisten tietojen hallintaa ja muistamista ja syväoppimisella puolestaan näiden tietojen järjestymistä loogiseksi ja hierarkkiseksi verkostoksi eli tietorakenteeksi (White 1989, 116–154, Nakleh & Krajcik 1994). Demonstraatioon arvo on yleensä siinä, että se toimii oppimisprosessin käynnistäjänä ja syväoppimisen alkuun saattajana. Onnistunut demonstraatio siis luo pohjaa kemian syvällisemmälle ymmärtämiselle. Tutkimuksessa kehitettävän demonstraatio-opetuksen tavoitetta voidaan luonnehtia myös siten, ettei käsityksen muutosprosessi pääty demonstraation jälkeen, silloin se on vasta alkanut (vrt. Vygotsky 1982, 154).

Luonnontieteellisen ajattelutavan omaksuminen on tärkeä lukio-opetuksen tavoite (LOPS 1994, 80). Demonstraatio-opetuksella voidaan kehittää oppijoiden kykyä jäsentää aineistoa ja ilmaista yleisiä väittämiä sekä tietämiään asioita omin sanoin. Oppijat oppivat myös erottamaan tärkeät asiat toisarvoisista ja yhdistämään yksittäiset tiedot laajempiin kokonaisuuksiin (vrt. Ahtee & Sahlberg 1989). Demonstraatio-opetuksessa oppijat oppivat luonnontieteellisen tavan arvioida kokeellisesti hankitun tiedon totuutta (vrt. Gott & Duggan 1996). Heille käy myös selväksi, että kokeiden tekeminen on olennainen osa luonnontieteellistä tiedonhankintaa ja tiedonmuodostuksen prosessia.

Demonstraatioon tietoa hankitaan pääasiallisesti aistien kautta, konkreettisin toiminnoin ja kokemuksiin keräten. Oppijalle tosiasioiden kokoamisesta muodostuu tietojärjestelmä, jonka varassa hän voi päätellä, mikä tieto on todellista tai totta tai käytännön järjen mukaista (Leino & Leino 1990, 15).

Demonstraatio-opetus pyrkii edistämään induktiivista päättelyä. Demonstraatioon luonnonilmiö esitetään kontrolloiduissa olosuhteissa ja pelkistettynä olennaisiin muuttujiin. Tapahtuvista muutoksista tehdään havaintoja, ja niiden perusteella luodaan mielikuva tapahtumasta. Demonstraatio-opetuksen tavoitteena on induktiivista päättelyä hyödyntämällä tehdä päätelmiä suureiden välisistä riippuvuussuhteista ja ilmiön syy-seuraussuhteista.

Demonstraatio-opetuksen tavoitteita ovat myös virhekäsitysten poisoppiminen ja uusien käsitysten muodostaminen siten, ettei virhekäsityksiä syntyisi. Tavoitteiden saavuttamista edistää se, että demonstraatio-opetus on opettajajohtoinen työtapana. Opettajajohtoinen työtapana tarjoaa tilaisuuden tarkkailla oppijoiden oppimisprosessia ja ohjata oppimista kohti sille asetettuja tavoitteita (vrt. Beasley 1982; Silberman 1983; Seinelä 1987, 64–73; Roadruck 1993).

4.2 *Demonstraatio kemian opetuksessa*

Tässä tutkimuksessa demonstraatio määritellään opettajajohtoiseksi vuorovaikutustilanteeksi, jossa oppiminen on oppijakeskeistä, aktiivista tiedonhankintaa. Demonstraatio-opetuksen kannalta keskeisiä tavoitteita ovat oppijan ajattelun aktivoiminen, luonnontieteellisen ajattelutavan omaksuminen sekä luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisen yhteyden havainnollistaminen.

4.2.1 Luonnontieteellisen ajattelutavan tukeminen

Näyttävä ja yllätyksiä sisältävä demonstraatio saa aikaan ihmettelyä ja herättää kiinnostusta, mikä on omiaan lisäämään oppijoiden kiinnostusta tarkasteltavaan ilmiöön. Opettajan vastuulle jää ihmettelyn ja kiinnostuksen kanavoiminen sisäiseksi aktiivisuudeksi, jolloin ihmettely jalostuu ongelmia ratkovaksi ajatteluksi.

Demonstraatiolla on sekä innostava että opettava vaikutus, mutta ennen kaikkea opetustavan synnyttämä motivaatio puoltaa sen käyttöä opetuksessa. Luonnontieteiden opetuksen tavoitteita tehokkaasti palveleva demonstraatio vaatii opetuskeskustelua, pelkkä näyttäminen ei siis riitä.

Demonstraatio-opetuksessa opettaja on fyysisesti läsnä ja vuorovaikutuksessa oppijoiden kanssa koko ajan. Tämä tarjoaa monia etuja muihin kokeellisen opetuksen työtapoihin verrattuna. Opettaja kykenee esimerkiksi koko ajan tarkkailemaan oppimisprosessin edistymistä. Opettaja voi ohjata oppijan tarkkaavaisuuden ilmiön ymmärtämisen kannalta olennaisiin asioihin esittämällä houkuttelevia kysymyksiä (Taba 1967, 87–127; Joyce ym. 1997, 40–54). Näin opettaja kykenee myös ohjaamaan oppijan sisäistä aktiivisuutta.

Opettaja voi edistää ajatteluprosessia esittämällä kysymyksiä, jotka auttavat oppijaa havaitsemaan tämän virhekäsityksen ja tieteellisen käsityksen välisen ristiriidan. Toisaalta läsnäolo auttaa opettajaa myös havaitsemaan oppijan ajautumisen loogis-tiedolliseen ristiriitaan. Oppijoiden oppiminen edistyy opettajajohtoisessa demonstraatio-opetuksessa konfliktitilanteessa myös siksi, ettei oppiminen ole vain oppijan omalla vastuulla.

Trowbridgen ym. (1997, 215–216) mukaan demonstraatio voidaan esittää induktiivisesti, jolloin opettaja kysyy oppijoilta erityyppisiä kysymyksiä, mutta antaa vastauksia vain harvoin. Induktiivinen demonstraatio painottaa tutkimuksellista työskentelyä, mikä rohkaisee oppijoita analysoimalla tietoa ja tekemään hypoteeseja. Oppijoiden oppimismotivaatio pysyy korkeana,

kun heille esitetään mielekkäitä ongelmia. Induktiivisessa demonstraatioissa opettaja esittää kysymyksiä, jotka arvoitusten tavoin pitävät yllä oppimismotivaatiota. Induktiivinen demonstraatio herättää oppijoiden mielenkiinnon tutkittavaa luonnonilmiötä kohtaan ja samalla motivoi heitä ajattelemaan ja arvailemaan ilmiön lainalaisuuksia. Näin oppija voi kehittää omaa ajattelutaitoaan.

Opettajaohjoisessa demonstraatio-opetuksessa opettaja voi seurata oppijoiden oppimista ja arvioida sen laatua. Oppijoiden vastaukset toimivat palautejärjestelmänä, joka ohjaa opettajan myöhempien kysymysten luonnetta ja kertoo hänelle, miten oppijat hallitsevat käsitteitä. Opettaja voi kysymyksillään varmistaa sen, että oppijat ovat ymmärtäneet luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisen yhteyden. Edellä esitetty ei sulje pois sitä mahdollisuutta, että demonstraatiota käytetään esimerkiksi jonkin työvaiheen tai mittalaitteen käytön opettamiseen.

Demonstraatio muistuttaa tutkimusprosessia silloin, kun tarkasteltava ilmiö herättää kysymyksiä, joihin ei ole olemassa ilmiselvää ja yksiselitteistä vastausta. Oppijat pitävät tämälntyyppisistä demonstraatioista juuri siksi, että ne sisältävät paljon toimintaa ja erilaisia oppimisen mahdollisuuksia.

Oppijoiden oppimismotivaatio nousee demonstraatiota seurattaessa myös siksi, että he voivat nähdä omin silmin luonnonilmiössä tapahtuvia muutoksia.

4.2.2 Sisältöjen oppiminen

Demonstraatiosta oppimiseen liittyvät tiedon hankinnan ja prosessoinnin teoriat ovat esitetty yksityiskohtaisemmin luvussa 3. Tässä tutkimuksessa oppiminen nähdään perusolemukseltaan oppijalle henkilökohtaisena ja yksilöllisenä prosessina, johon ulkoisilla tekijöillä voidaan oleellisesti vaikuttaa. Tässä mielessä demonstraatiosta oppiminen on samanaikaisesti sekä yksilöllinen että sosiaalisen vuorovaikutuksen prosessi (Hewson ym. 1998).

Johnstonen (1991) sekä Naklehin ja Krajcikin mukaan (1994) kemian opetuksessa korostuu kemiallisen tiedon kolmitasoinen malli. Kemiallisen tiedon ymmärtäminen edellyttää siten ilmiön havainnollistamista makroskooppisella tasolla (esimerkiksi demonstraatiolla) sekä selityksen esittämistä mikroskooppisessa, symbolisessa ja algebrallisessa muodossa.

Useiden tutkijoiden (ks. esimerkiksi Posner ym. 1982, Gunstone 1994, Hewson ym. 1998) mukaan käsityksen muutos lähtee liikkeelle siitä, että oppija tunnistaa omat ajatuksensa. Prosessin edetessä hän arvioi omia käsityksiään ja tarvittaessa lisää uuden käsityksen aikaisemman rinnalle tai korjaa tai korvaa aiemman käsityksen uudella (vrt. Chinn & Brewer 1998). Esimerkiksi Posnerin ym. (1982) sekä Hodsonin ja Hodsonin (1998) mukaan oppija

muuttaa käsitystään, koska hän kokee uuden käsityksen aiempaa järkevämmäksi, uskottavammaksi ja hyödyllisemmäksi (käsitteistä tarkemmin kohdassa 3.6.3). Oppija siis kykenee nyt selittämään ja ymmärtämään jotain sellaista, mitä hän ei ole aikaisemman käsityksen perusteella ole pystynyt ymmärtämään.

Demonstraatiosta oppimiseen voidaan soveltaa Whiten ja Gunstonen sekä Kurki-Suonion ja Kurki-Suonion, mutta myös Millerin ja Krajcikin kehittämää oppimismalleja. Kaksi ensimmäistä mallia korostavat selkeämmin oppimisprosessin induktiivista ja yksilöllistä luonnetta kuin kaksi viimeksi mainittua. Whiten ja Gunstonen (1996, 44–64) oppimismalli pohjautuu induktiiviseen ajatteluun ja sen hyödyntämiseen ilmiön ymmärtämiseksi. Whiten ja Gunstonen *Prediction-Observation-Explanation* -mallin tavoite on harjaannuttaa oppijoita hyödyntämään hankkimaansa tietoa aikaisempien käsitystensä vahvistamiseksi tai uudelleen muotoilemiseksi. Työtapa myös mittaa oppijan tiedon soveltamiskykyä. Kurki-Suonion ja Kurki-Suonion (1994) kokeellis-induktiivinen menetelmä perustuu ilmiöön, havaitsemiseen ja mittaamiseen, jolloin kokeelliset lait johdetaan empiirisesti suorittamalla demonstraatioita ja käsitteet otetaan käyttöön näin löydettyjen lakien perusteella. Demonstraatioissa edetään tällöin yksinkertaisista käsitteistä kohti monimutkaisempia, ilmiöistä sovelluksiin.

Millerin (1993) *Demonstration-Exploration-Discussion* -mallissa oppiminen muodostaa oppijakeskeisen konstruktioprosessin, jossa opitaan samalla sekä kriittistä ajattelua että oppiaineen sisältöjä. Mallin lähtökohtana on keksivä oppiminen (vrt. Domin 1999). Malli ei esitysmuodostaan huolimatta ole lineaarinen. Se voi käynnistyä yhtä hyvin niin tutkimus- kuin keskusteluvaiheessakin, joten siinä on mukana voimakas deduktiivinen komponentti. Mallissa painotetaan dialogin merkitystä, ja ilmiön tutkiminen mielletään olennaisemmaksi kuin vastausten saaminen.

Demonstraatiosta oppimiseen voidaan soveltaa Krajcikin (1991) mallia, kun huomio kiinnitetään käsityksen muutosprosessiin ja kognitiivisen ristiriidan käyttöön sekä painotetaan vuorovaikutusta ja oppimisen sosiaalista luonnetta. Krajcikin (1991) malli mukaan oppiminen alkaa siitä, että oppijat kuvailevat omia käsityksiään tutkittavasta luonnonilmiöstä. Oppimisen edistymisen keskeinen vaihe ovat kognitiiviset ristiriidat, joiden ilmaantuessa oppijan ja opettajan sekä oppijoiden keskustelu johtaa käsityksen uudelleen muotoilemiseen ja kemiallisten käsitteiden omaksuminen. Malli painottaa oppimisen sosiaalista luonnetta Millerin (1993) mallia enemmän, ja lähestymistavalla on yhtäläisyyksiä Kyyrösen (1999) demonstraation ja sokraattisen dialogin yhdistävään malliin. Tutkimuksessa kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallin rakentamisessa on huomioitu edellä esitetyt mallit ja niitä soveltamalla pyritään luomaan esitettyjä malleja yksityiskohtaisempi ja nimenomaan kemian opetukseen soveltuva malli.

Oppijalla on yleensä jonkin tyyppinen alkuoletus luonnonilmiön ominaisuuksista ja sen

syy-seuraus suhteista, mutta tämä ymmärrys on saattanut rakentua arkielämän käsitysten varaan (vrt. esimerkiksi Ahtee 1998). Demonstraatio voi edistää oppijan arkitiedon ja tieteellisen tiedon lähentymistä toimimalla näiden välisenä siltana. Yksi demonstraatio-opetuksen tavoitteista onkin havainnollistaa luonnonilmiö pelkistämällä se olennaisiin muuttujiin. Esimerkiksi puun palamisen tarkastelu voidaan pilkkoa aineen ja hapen välisen reaktion tarkasteluun, valo- ja lämpöilmiöiden tarkasteluun tai yhtä hyvin ilmiön kvantitatiivisten tekijöiden tarkasteluun. Toisaalta demonstraatiolla pyritään rakentamaan yhteys luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille tavalla, joka minimoi väärien tulkintojen ja virhekäsitysten syntymisen mahdollisuuden. Sillan rakentaminen edellyttää opettajalta sekä hyvää oppiaineen sisältöjen että oppimisteorioiden hallintaa, mutta ennen kaikkea pedagogista sisältötietoa (Clermont ym. 1994, De Jong ym. 1999). Sosiokonstruktivismiin näkökulmasta tässä tutkimuksessa kehitettävä demonstraatio-opetuksen malli toimii siltana, jonka avulla oppija pystyy etenemään tiedonrakennuksessaan pidemmälle, kuin hän pääsisi ilman demonstraation auttamaa tukea (Tynjälä 1999, 49)

Kehitettävässä demonstraatio-opetuksen mallissa tieteellisten käsitteiden käyttöönotto noudattaa tiettyä järjestystä, jossa edetään yksinkertaisista käsitteistä monimutkaisempiin; empiirisistä abstrakteihin. Demonstraation tavoite on madaltaa porrasta arkiajattelusta abstraktiin ajatteluun. Oppijoiden käsitteellistä ajattelun kehitystä pyritään koko ajan tukemaan siten, ettei käytettyjä esimerkkejä ole ymmärretty liian konkreettisesti, melkein käsitteiden identtisinä vastineina.

Kehitettävän demonstraatio-opetuksen mallin luontevimmat käyttötilanteet ovat uuden asian opettamisen yhteydessä, kun oppija johdatellaan esimerkiksi kemiallisen käsitteen tai ilmiön oppimiseen (vrt. Spencer 1999). Ilmiön perushahmotus muodostuu tällöin chäksi, ja käsityksen syventämistä on hyvä jatkaa esimerkiksi oppijoiden itsenäisesti suorittamalla tutkimustehtävillä. Mallissa käsityksen muutosprosessi nojaa induktiiviseen päättelyyn. Kemiallinen tieto kumuloituu demonstraation edetessä, ja vaihettain ctenminen auttaa oppijaa asettamaan itselleen osatavoitteita matkalla kohti abstrakteja käsitteitä. Opetusmallia voidaankin käyttää etenkin ilmiöiden havainnollistamiseen ja abstraktien käsitteiden konkretisointiin.

4.2.3 Oppimistehtävien luonne

Meisalo ja Lavonen (1994, 86) ovat esittäneet taksonomian kokeellisten töiden avoimuuden asteesta kiinnittämällä huomion työskentelyn tavoitteisiin tai tehtäviin, tutkimusvälineisiin tai laitteen käyttöohjeisiin, työohjeisiin sekä annettujen vastausten tai työn raportointiin. Kutakin neljää osa-aluetta erikseen arvioimalla saadaan viisi avoimuuden tasoa ääripäinään täysin suljettu tai täysin avoin työtapa. Ääripäissä esimerkiksi opettaja on etukäteen valinnut työvälineet tai mitään välineitä ei ole valittu.

Demonstraatio-opetuksessa esitettävät tutkimusongelmat ovat yleensä opettajan esittämiä, mutta voivat yhtä hyvin olla oppijoiden aikaisempiin tietoihin pohjautuvia hypoteeseja. Työmenetelmät ovat uscimmiten ennalta määrättyjä, joten ilmiön näyttämiseen kuluu vain vähän aikaa ja pohdinnolle jää runsaasti tilaa. Demonstraatiossa ei yleensä ole erillistä oppijoille esitettävää työohjetta, vaan vain opettaja on perehtynyt mahdolliseen työohjeeseen. Opettaja yleensä tietää ongelman ratkaisun etukäteen, ja hän pyrkii demonstraation avulla johdattelemaan oppijoiden ajattelua kyseistä ratkaisua kohti.

Näin tulkittuna demonstraatiosta jää helposti mielikuva kateederimaisena ja opettajakeskeisenä työtapana. Vaikka demonstraatio-opetuksessa esitettävä ongelma, työmenetelmä, sen toteutus ja näin hankitut vastaukset ovatkin pääosin ennalta määrättyjä, keskeiseksi nousee kuitenkin opettajan tapa tiedostaa opetuksen tavoitteet, oppijan tarpeet ja oman työnsä tarkoitus. Opettaja pystyy vastaamaan tähän haasteeseen yhdistämällä oppijan oppimista koskevat pedagogiset tietonsa ja taitonsa opetettavan ilmiön sisältötietoihin. Näin tapahtuu, kun opettajalla on riittävästi ilmiöön liittyvää pedagogista sisältötietoa (vrt. Clermont ym. 1994, De Jong ym. 1999).

4.2.4 Vuorovaikutustilanteen luonne

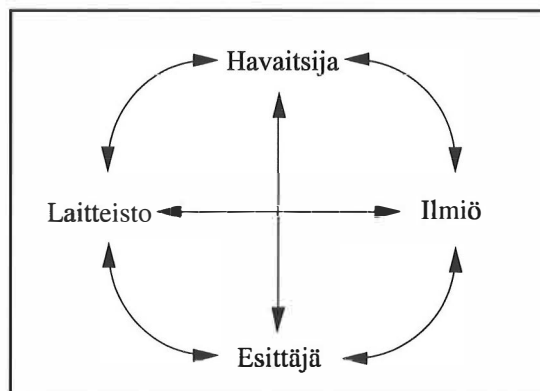
Demonstraatiossa on kaksi keskeistä toimijaa: esittäjä ja havainnoija. Riippumatta siitä, kuka demonstraation esittää tai miten se esitetään, demonstraatio-opetuksessa kiinnitetään erityistä huomiota näiden kahden toimijan väliseen viestintään. Viesti välittyy kaikkia aisteja hyväksi käyttämällä, joten oppijalle on täsmennettävä, mitä aistia hänen tulee kussakin tilanteessa ensisijaisesti käyttää (vrt. White 1989, 131). On kohtuutonta olettaa oppijan tietävän etukäteen, mitä hänen tulee havainnoida, kun kyseessä on esimerkiksi uusi luonnonilmiö. Aebelin (1991, 77) mukaan oppijoiden tarkkaavaisuus voidaan varmistaa selkeällä ja havainnollisella

ongelmanasettelulla. Oppijan tarkkaavaisuuden kohdentaminen on tärkeimpiä demonstraatio-opetuksessa huomioitavista asioista.

Demonstraatiossa havainnoija, esittäjä, kemialliset laitteistot ja luonnonilmiö ovat läheisessä vuorovaikutuksessa toistensa kanssa (kuvio 12). Demonstraatiolla pyritään rakentamaan yhteys luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille. Menetelmä tuo luonnonilmiön oppijan lähettyville turvallisessa ja pelkistetyssä ympäristössä säilyttäen kuitenkin yhteyden luonnon muodostamaan suurempaan kontekstiin.

Demonstraatio voidaan erottaa muista kokeellisen opetuksen työtavoista sen perusteella, että demonstraatiossa esittäjä on keskeisessä roolissa. Kyyrönen (1999, 47) on luonnehtinut roolijakoa siten, että opettaja, joka jo tietää, näyttää oppijoille, jotka eivät vielä tiedä. Demonstraatio voi kuitenkin olla myös oppijoiden esittämä.

Opettajajohtoisen demonstroimisen etuja on mahdollisuus tarkkailla ja ohjata oppijoiden oppimisprosessia. Opettajajohtoisuus on kuitenkin opettajan valtaa korostava, joten kehitettävän demonstraatio-opetusmallin tavoitteleva dialogi saattaa olla vaarassa kuihtua opettajan monologiksi, ellei tähän kiinnitetä erityistä huomiota. Toinen opettajajohtoisen demonstraation eduista on hallittu kognitiivisten ristiriitojen aiheuttaminen; toisin sanoen opettaja rakentaa ristiriitatilanteen oppijoiden ennakkokäsitysten varaan. Opettajajohtoisuus voi kuitenkin aiheuttaa tällöin ongelmia, sillä oppijat eivät välttämättä näe ristiriitatilannetta, kuin opettaja sen näkee. Yksi opettajajohtoisen demonstroimisen eduista on oppimisprosessin vastuun jakautuminen opettajan ja oppijan kesken. Vaarana on tosin se, että oppijalähtöinen kyselevä opetus muuntuukin opettajakeskeiseksi tiedon jakamiseksi. Demonstraatio-opetuksella on myös käytännöllisiä etuja esimerkiksi oppijoiden itsenäiseen työskentelyyn verrattuna: voidaan säästää materiaalikuluissa sekä pienentää onnettomuusriskiä.



Kuvio 12: Vuorovaikutus demonstraatiossa.

4.2.5 Kemian työmenetelmien omaksumisen

Demonstraatioon käyttö työmenetelmien oppimisessa nojaa keskeisiltä osin mallioppimiseen periaatteisiin. Opettaja näyttää oppijalle mallin tai esimerkin, jota toistamalla oppija kykenee suorittamaan tehtävän (Kyyrönen 1999, 47). Tätä voidaan verrata perinteiseen ekspertti–noviisi-asetelmaan silloin, kun kyseessä on yksinkertaisten työvaiheiden tai laitteiden käytön opettaminen. Demonstraatio-opetusta koskevassa kritiikissä huomio kiinnittyy yleensä siihen, ettei oppija itse pääse toimimaan. Aeblin (1991, 69) mielestä oppijan oma toiminta on perusluonteisen tärkeää, mutta yhtä tärkeää on pätevän opettajan antama ohjaus. Samaan päädytään myös Vygotskyn (1982, 153–206) sosiokonstruktivistisen pedagogian teoriassa. Mallioppimisen yksinkertainen ja suora muoto on näyttämällä opettaminen. Demonstraatio on jäljittelyä. Kemian oppimisen tavoitteiden kannalta ilmiöiden ymmärtäminen on tärkeämpää kuin malliesimerkin näyttäminen ja jäljittely. Jälkimmäinen tulee kuitenkin kyseeseen silloin, kun oppijalle halutaan opettaa jonkin laitteiston rakentamista, mittaustekniikkaa tai laitteiston käyttämistä. Ne liittyvät läheisesti sensomotoristen operaatioiden harjaannuttamiseen ja motorisen älykkyyden vahvistumiseen (White 1989, 39, 80–83)

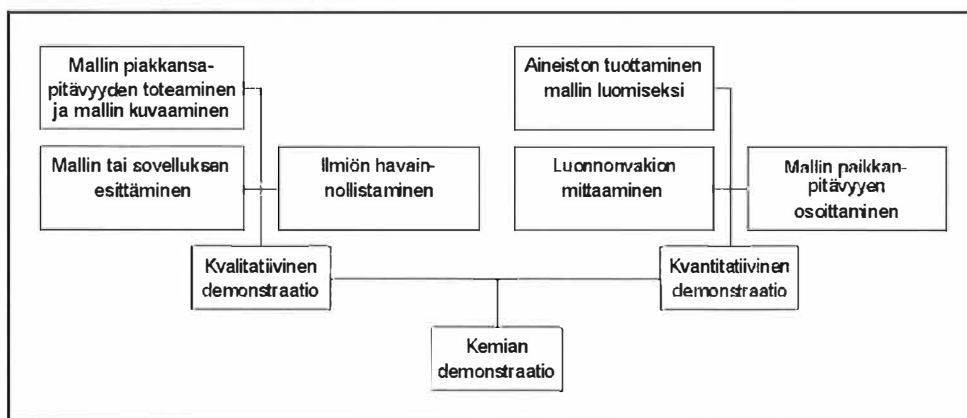
Demonstraatioissa toiminta jaetaan osiin, ja usein samalla tavalla voidaan menetellä myös harjoituksissa. On kuitenkin pidettävä huoli siitä, että kukin osatoiminta muodostaa mielekkään toiminnallisen kokonaisuuden. Osittamista ei siis saa viedä liian pitkälle. Demonstraatio ja jäljittely nousevat keskeisiksi silloin, kun oppijan oletetaan joutuvan käyttämään mittausteitä itsenäisesti. Tästä näkökulmasta demonstraatio opetuksen ja demonstraatioista oppimisen voidaan katsoa olevan välttämätön askel itsenäisen työskentelyn taitoihin pyrittäessä. Lisäksi monet koulun laboratoriotöissä tarvittavista välineistä, reagensseista ja työmenetelmistä ovat oppijoille vieraita, ja demonstraatio soveltuu välineiden, reagenssien ja työmenetelmien käytön oppimiseen erityisen hyvin. Työtavassa opettajan on tarkkailtava omaa toimintaansa ja tapojaan, etteivät oppijat opi virheellisiä työtapoja virheellisten käsitysten tapaan.

4.2.6 Erilaisia demonstraatiotyyppejä

Demonstraatioita voidaan luokitella esimerkiksi käytetyn tekniikan perusteella, jolloin puhutaan makro- ja mikrokemiallisista kokeista tai tietokonesimulaatioista. Toisen tyyppinen jaottelu saadaan kiinnittämällä huomio tieteellisen päättelyn etenemisen suuntaan, jolloin puhutaan induktiivisista tai deduktiivisista demonstraatioista. Kun huomio kiinnitetään

ryhädynamiikkaan ja pedagogiikkaan, voidaan puhua opettaja- ja oppijajohtoista demonstraatioista tai luento-, laboratorio- tai laskuharjoitusdemonstraatioista. Jaottelu voidaan tehdä myös demonstraation luonteen perusteella, jolloin puhutaan laadullisista tai määrällisistä demonstraatioista. Luokittelut eivät ole toisiaan poissulkevia. (Erätuuli & Meisalo 1985, 99–112; Aebli 1986, 69–85; Taylor 1995, 59–60; Ogborn ym. 1996, 77–95; Kyyrönen 1999, 47–49; Trowbridge ym. 2000, 215–221)

Erätuulen ja Meisalon mukaan demonstraatiot voidaan luokitella kvalitatiivisiksi ja kvantitatiivisiksi kokeeksi (kuvio 13). Kvalitatiivisessa demonstraatioissa ei suoriteta mittauksia, vaan toivottuun tulokseen päädytään ilmiön peruspiirteitä havainnoimalla. Kvantitatiiviset demonstraatiot perustuvat mittaamiseen.



Kuvio 13. Kemian demonstraatioiden luokittelu (Meisalon & Erätuulen 1985, 99, mukaan).

Aebli (1986) esittelee demonstraation yhdeksi opetuksen perusmuodoista ja tarkastelee sitä sekä psykologian että didaktiikan näkökulmista. Aebli on peräisin määritelmä demonstraatiosta malliesimerkin näyttämisenä ja sen jäljittelyä. Esimerkkiä seurattaessa oppijan oletetaan sisäisesti jäljittelevän opettajan toimintaa. Aebli esittelee myös demonstraation esittämiseen liittyviä teknisiä ja didaktisia ratkaisuja. Opettajan tulisi kiinnittää oppijoiden huomio ilmiössä tapahtuvien muutosten tarkkailuun. Oppijoiden tarkkaavaisuuden tason kohottaminen ja tarkkaavaisuuden kiinnittyminen oikeisiin asioihin voidaan varmistaa selkeällä ja havainnollisella ongelmanasettelulla.

Havaintojen tekemistä helpottaa ja tehostaa se, että ilmiö tai työvaihe demonstroidaan hitaasti, perusteellisesti ja tarvittaessa moneen kertaan. Havaintojen tekemisen esteenä voi olla esimerkiksi se, ettei kaikilla oppijoilla ole esteetöntä näköyhteyttä havaintokohteeseen. Opettajan tulee siis ryhmitellä oppijat siten, että he näkevät demonstraation hyvin. Tällöin opettaja myös itse näkee oppijat ja voi tarkkailla heidän oppimistaan. Tulosten arviointi ja

oppijan itsearviointi nähdään myös keskeiseksi osaksi oppimisprosessia. Demonstroinnin teknisillä ratkaisuilla Aebli tarkoittaa huomion kiinnittämistä havaintokohteen näkyvyyteen ja rakennelmien loogisuuteen, didaktisilla ratkaisuilla puolestaan niitä, joissa huomio kiinnittyy havainnoista oppimiseen, kuten tarkkaavaisuuteen, ongelmanasetteluun ja arviointiin.

Taylor (1995) jakaa opetuksessa käytettävät demonstraatiot kokeiksi, joissa hyödynnetään muita kuin tavanomaisia luokasta löytyviä välineitä, analogioiksi ja todellisiksi luonnontieteellisiksi kokeiksi. Analogisissa demonstraatioissa luonnonilmiö havainnollistetaan sille läheisessä kontekstissa, kuten havainnollistettaessa atomien pakkautumista erilaisilla kidealleilla. Luonnontieteellisten kokeiden luokkaan kuuluvissa demonstraatioissa tehdään täsmällisiä mittauksia noudattaen tieteellisiä menetelmiä. Opettaja voi havainnollistaa esimerkiksi atomien virittymistä liekkikokeella tai veden rakenneosasten stoikiometrisiä suhteita hajottamalla vettä Hoffmannin laitteella. Roadruckin (1993) mukaan demonstraatio-opetuksessa saatetaan kohdata ongelmia liiallisen yleistyksen vuoksi ja Dagherin (1994) mukaan analogioiden käytössä tuleekin siitä syystä olla huolellinen. Tutkimuksen on osoitettu, etteivät analogiat saa suoraviivaisesti aikaan käsityksen muutoksia.

Ogborn ym. (1996) ovat pohdiskelleet demonstraatio-opetuksen tavoitteita ja demonstroimisen merkitystä oppimisprosessissa. He pohtivat demonstraation mahdollisuutta havainnollistaa luonnonilmiön ja sen teoreettisten perustelujen välistä yhteyttä oppijalle ymmärrettävällä tavalla. Todellisuudessa demonstraatio on aina jossain määrin idealisoitu tapahtuma ja oppiminen tulkintaa. Puutteistaan ja rajoituksistaan huolimatta demonstraatiota pidetään yhtenä opetuksen perusmuotona, jossa luonnonilmiö saadaan paljastamaan sitä ohjailevia lakeja. Myös Ogborn ym. korostavat demonstraation mahdollisuutta muuttaa oppijoiden ennakkokäsityksiä tämän tutkimuksen tapaan.

Kyyrönen (1999) yhdistää demonstraation ja sokraattisen dialogin. Oppijat eivät välttämättä löydä demonstraatiosta sellaista tietoa, jota opettaja toivoisi oppijoiden löytävän ja joka myös palvelisi kemiallista tulkintaa ilmiötä. Kyyrösen mukaan sokraattisen dialogin ja demonstroimisen yhdistäminen mahdollistaa oppijoiden oppimisprosessin kontrolloinnin. Myös Kyyrösen malli perustuu käsityksen muutokseen kognitiivisten ristiriitojen kautta.

Trowbridgen ym. mukaan induktiivisen demonstraation malli perustuu kyselevään opetustapaan ja oppijoiden ajattelun johdattamiseen havainnoista teoriaan. Mainitut tutkijat erottelevat tarkemmin demonstraation eri muotoja, kuten opettajademonstraation, opettaja–oppilasdemonstraation, oppilasryhmademonstraation, oppilaskohtaisen demonstraation ja vierailijademonstraation. Jaottelun perustana on esittäjän ja havainnoijan välisen vuorovaikutuksen määrä ja laatu. Opettajademonstraatioissa opettaja tekee demonstraation vaatimat esivalmistelut ja esittää sen. Opettaja–oppilas-demonstraatioissa osa oppijoista toimii

opettajan apuna laitteiston rakentamisessa tai demonstraation esittämisessä, joten työmuoto on edellistä yhteistoiminnallisempi. Oppilasryhmädemostraatioissa oppijat suorittavat demonstraation omilla laitteillaan opettajan antamien ohjeiden mukaisesti tai samaan aikaan opettajan kanssa hänen näyttäessään esimerkkiä. Demonstraatio toteutetaan oppijavetoisesti ja sen merkittävin etu on oppijoiden roolin korostuminen.

Oppilaskohtaisen demonstraation etu on siinä, että demonstraatio esitetään yhdelle oppijalle, jolloin osa oppimista häiritsevistä tekijöistä jää pois. Esimerkiksi ujolla oppijalla saattaa olla vaikeuksia uskaltaa kysyä opettajalta mieltään askarruttavaa asiaa koko luokan kuunnellessa, vaikka kysymys saattaisi olla ratkaisevan tärkeä. Oppilaskohtaisia demonstraatioita voidaan käyttää oppijan tietojen ja taitojen testaamiseen esimerkiksi kurssikokeen yhteydessä. Työmuotoa sovelletaan myös siten, että se toimii oppijan oppinnäytteenä, jossa hänen tehtävänä on esimerkiksi demonstraatiolaitteiston rakentaminen tai jonkin yksinkertaisen kokeen toteuttaminen. Vierailijan esittämän demonstraation tavoitteena on tuoda vaihtelua kurssin muuten tuttuun ja tavanomaiseen työskentelyyn. Trowbridge ym. esittelevät lisäksi ns. hiljaisen demonstraation, jossa opettaja esittää demonstraation ilman opetuskeskustelua, jolloin oppijoiden tekemien havaintojen laadullinen merkitys korostuu (Trowbridge ym. 2000, 215–221).

4.3 Uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli

Eri opetustavat tukevat oppijan tiedon hankintaa ja taitojen kehittymistä eri tavoilla. Monipuolinen opetusmenetelmien käyttö mahdollistaa kemian sisältöjen tehokkaan oppimisen, luonnontieteellisten ajattelu- ja työtapojen omaksumisen sekä persoonallisuuden kehittymisen. Tässä tutkimuksessa kehitetty uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli on yksi kokeellisen opetuksen työtavoista. Se on luonteeltaan ensisijaisesti tieto- ja prosessikeskeinen työtapa.

Kognitiivinen konstruktivismi asettaa demonstraatio-opetukselle monia haasteita: Ensinnäkin opettajan rooli muuttuu, ja oppijan aktiivisuuden merkitys on korostuu aiempaa enemmän. Toiseksi, oppijan ennakkokäsitykset on otettava opetuksen peruslähtökohdaksi. Kolmanneksi, faktapainotteisuudesta on siirryttävä ongelmakeskeisyyteen ja huomioitava oppimisen tilannesidonnaisuus. Neljänneksi, ongelmanratkaisussa ymmärtäminen on tärkeämpää kuin ulkoa oppiminen ja prosessissa on huomioitava oppijoiden erilaisten tulkintojen mahdollisuus. Uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli pyrkii vastaamaan

näihin haasteisiin ja onnistuu siinä, kun demonstraatio käsitetään aiempaa laajempaan ja kokonaisvaltaisempaan osana oppimisprosessina. Taulukko 3 havainnollistaa perinteisen ja uudentyyppisen demonstraation eroja.

Taulukko 3. Perinteisen ja uudentyyppisen demonstraation vertailu oppimiseen vaikuttavien eri tekijöiden näkökulmasta.

| <i>Tarkastelu- näkökulma</i> ¹ | PERINTEINEN DEMONSTRAATIO | UUDENTYYPPINEN DEMONSTRAATIO |
|---|---|--|
| <i>Vuorovaikutus</i> | Opettajan ja oppilaiden välinen vuorovaikutus etenee pääosin siten, että oppilas on tiedon passiivinen vastaanottaja ja opettaja tiedon jakaja. Opetus on pääosin opettajakeskeistä monologia. Opettaja yleensä esittää demonstraation. | Toimijoiden rooli on jäsentynyt pääosin siten, että oppilas on aktiivinen tiedon konstruoiija ja hypoteesien tekijä ja opettaja hänen oppimisprosessinsa tukija. Opetus on pääosin kyselevää, oppilaskeskeistä dialogia. Demonstraatioon toimija vaihtelee. |
| <i>Ennakkokäsitykset</i> | Ennakkokäsitysten ja uuden käsityksen välillä ei esiinny affektiivista sitomista. | Työtavassa on olennaista uuden tiedon affektiivinen sitominen oppijan vallitsevaan käsitykseen. Ennakkokäsitykset selvitetään, sillä oppilaan tiedetään rakentavan ymmärryksensä niihin tukeutuen. |
| <i>Havainnot</i> | Oppilaiden tekemien havaintojen luonne ja merkitys jäävät vähäiselle huomiolle, sillä oppimisen ei katsota liittyvän ratkaisevassa määrin kokemuksiin ja tapahtumiin. | Oppiminen on sidoksissa kokemuksiin ja tapahtumiin sekä on näiden lisäksi kontekstisidonnaista. Työtavassa pyritään tarkoituksenmukaiseen ristiriitatilanteen aiheuttamiseen pseudokäsitysten kanssa (ennuste–havainto–konflikti) |
| <i>Oppimisprosessi</i> | Oppiminen nähdään sattumanvaraisena ja sanatarikkana uuden tiedon liittämisenä aikaisempiin tietoihin. Demonstraatio on vain yksi tapa tehostaa tiedonsiirtoa opettajalta oppijalle | Oppiminen on itsenäistä ja aktiivista uuden tiedon liittämistä vallitsevaan tietorakenteeseen, virhekäsitysten poisoppimista ja uusien muodostumisen ehkäisemistä. Työtavalla ratkaiseva merkitys uuden ilmiön opettamisen kannalta, koska se haastaa ennakkokäsityksiä ja rakentaa perushahmotusta ilmiön syvällisemmälle ymmärtämiselle. |
| <i>Tiedonluomisen prosessi</i> | Opettaja korostaa, mitä ilmiössä havaittiin, selittää havaintojen syy-seuraussuhteen ja selittää mahdollisesti työssä ilmenneet odottamattomat havainnot. | Oppilaat kirjaavat havainnot sellaisina, kuin he itse ne havaitsevat. Opettaja arvioi havaintojen oikeellisuuden esimerkiksi tarkasteessaan oppilaiden tekemät muistiinpanot. Opettaja toistaa kokeen tarvittaessa. |

Perinteisessä demonstraatio-opetuksessa (vrt. esim. Trowbridge ym. 2000, 215–221) opettajan rooli on toimia tiedon jakajana. Perinteisessä mallissa oppijat nähdään tiedon passiivisina vastaanottajina. Uudentyyppistä demonstraatio-opetusta luonnehtii oppijakeskeisyys, ja opettajan rooli on toimia oppimisprosessin tukijana. Opettajakeskeisen monologin sijaan suositaan oppijakeskeistä kyselevää opetusta. Myös toimijoiden roolijako eroaa siten, että

perinteisesti opettaja on ollut demonstraation esittäjä ja toimija, kun taas uudessa mallissa demonstraation esittäjänä ja toimijana voivat olla muutkin.

Perinteisessä opetusmallissa ei ole juurikaan huomioitu ennakkokäsitysten merkitystä uuden asian oppimiselle. Uudentyyppisessä opetusmallissa koko opetuksen lähtökohdaksi otetaan oppijoiden ennakkokäsitykset. Ennakkokäsitysten affektiivisella sitomisella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että arkielämän havainnot liitetään opetuskeskustelun avulla oppimisen kohteena olevaan ilmiöön.

Oppijoiden tekemien havaintojen luonne ja merkitys eivät juuri tule esiin perinteisessä mallissa, sillä oppimisen ei katsota liittyvän ratkaisevassa määrin oppijoiden kokemuksiin. Modernissa mallissa oppiminen nähdään kontekstisidonnaisena, eli se liittyy aina oppijoiden kokemuksiin. Uudentyyppisessä työtavassa käsityksen muutosprosessin alkuna on tarkoituksenmukaisen ristiriitatilanteen aiheuttaminen pseudokäsitysten avulla. Oppimisen uskotaan etenevän näiden ristiriitojen kautta. Ennuste–havainto–konfliktin ratkeamista tieteellisen käsityksen hyväksi edistää se, että konfliktitilanne perustuu tietoon oppijan ennakkokäsityksistä.

Perinteisessä demonstraatio-opetuksessa oppiminen nähdään sanatarkkana uuden tiedon liittämisenä aikaisempiin tietoihin, ja demonstraatio vain yhtenä tapana tehostaa tiedon siirtoa opettajalta oppijalle. Modernissa mallissa sen sijaan oppiminen käsitetään oppijoiden itsenäiseksi ja aktiiviseksi uuden tiedon liittämiseksi omaan tietorakenteeseensa, virhekäsitysten poisoppimiseksi ja uusien virhekäsitysten muodostumisen ehkäisemiseksi. Työtavalla uskotaan olevan ratkaiseva merkitys uuden ilmiön oppimisessa, koska se kyseenalaistaa oppijan ennakkokäsityksiä ja rakentaa siten perushahmotusta ilmiön syvällisemmälle ymmärtämiselle. Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen malli nähdään myös välttämättömänä askeleena itsenäisen oppimisen tiellä.

Perinteisessä opetusmallissa opettaja korostaa sitä, mitä ilmiössä havaittiin, selittää havaintojen syy-seuraussuhteen ja mahdollisesti työssä ilmenneet odottamattomat havainnot. Modernissa työtavassa huomion keskipisteeksi nousevat opiskelijat ja heidän tapansa tehdä havaintoja. Oppijoiden annetaan tehdä havainnot itsenäisesti, mutta opettaja arvioi alinomaa niiden oikeellisuutta ja tarvittaessa asettaa ne kyseenalaiseksi.

Demonstraatio on perinteisesti mielletty vain kokeen näyttämiseksi ja havaintojen tekemiseksi sen perusteella. Varsinaista demonstraatiota edeltävä valmisteleva opiskeluvaihe ja demonstraatiota seuraava pohdinta ovat olleet eräänlaista “harmaata aluetta”. Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallissa huomioidaan konstruktivistisen oppimisen periaatteet kiinnittämällä huomio oppijoiden ennakkokäsitysten lisäksi heidän luonnontieteellisen ajattelun

kehittymiseensä ja kemian kokeelliseen luonteeseen. Taulukko 4 havainnollistaa perinteisen ja uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen vaiheiden eroja.

Taulukko 4. Perinteisen ja uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen opetusvaiheiden vertailu.

| | TYÖVAIHEET | | |
|-------------------------------------|---|--|--|
| TYÖTAPA | Demonstraatioon valmistautuminen | Demonstraation esittäminen | Demonstraatioon liittyvä pohdiskelu |
| <i>Perinteinen demonstraatio</i> | Ei olennaista / vähäistä | Tieteellisen tiedon siirron tehostaminen opettajalta oppijalle | Ei olennaista / vähäistä |
| <i>Uudentyyppinen demonstraatio</i> | Ennakkokäsitysten kartoittaminen ja hypoteesien tekeminen | Havaintojen tekeminen ja periaatteen määrittäminen | Päätelmien tekeminen ja työn arviointi |

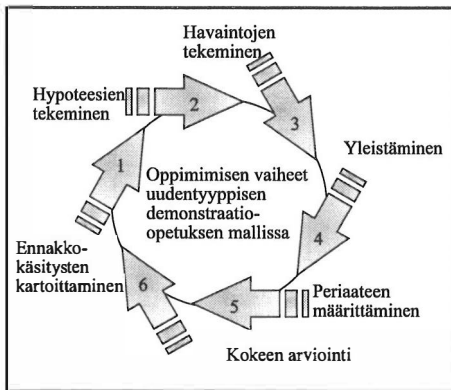
Uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli rakentuu ennakkokäsitysten kartoittamisen ja hypoteesien teon, havainnoinnin (hypoteesien testauksen) ja periaatteen määrittämisen sekä päätelmien tekemisen ja työn arvioinnin vaiheista. Demonstraatioon valmistauduttaessa opettaja esittää ilmiöön liittyviä kysymyksiä, joiden tarkoituksena on demonstroitavan ilmiön ja sen kontekstin sitominen aikaisemmin opittuun ja oppijan arkielämään. Seuraavaksi oppijoita rohkaistaan hypoteesien tekoon orientaatiovaiheessa heränneiden ajatusten pohjalta. Työvaihe voi olla opettajan ja oppijoiden välistä keskustelua, oppijoiden välistä dialogia tai ryhmätyöskentelyä.

Demonstraatioon esittämävaiheessa suoritetaan havainnointi ja hypoteesien testaus. Havaintojen pohjalta käydään opetuskeskustelua, jonka tavoitteena on vahvistaa tai kumota hypoteesi tai määritellä esimerkiksi ilmiölle ominainen käsite.

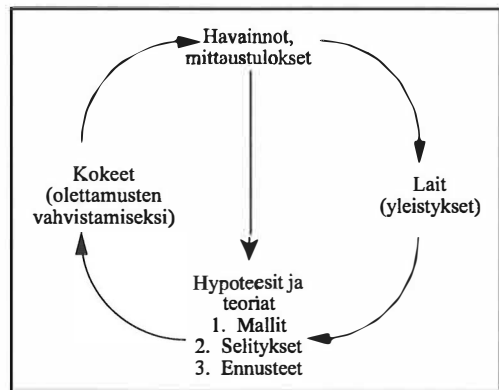
Demonstraatioon liittyvässä pohdintavaiheessa oppijoita rohkaistaan yleistysten tekemiseen ja tietojen soveltamiseen. Lopuksi opettaja kertoo hypoteesit, havainnot ja päätelmät. Yhteenvedon tarkoitus on kohdentaa oppijoiden ajatukset siihen, mitä ilmiötä demonstraatiolla havainnollistettiin ja miten se liittyi opittavaan asiaan.

Opetusstrategian viimeisessä vaiheessa suoritetaan kokeellisen työn arviointi, jossa pohditaan työn merkitystä oppimisen näkökulmasta ja yleisemminkin. Tällöin pohditaan esimerkiksi sitä, olisiko jotain pitänyt tehdä toisin, kuinka varmoja voidaan olla kokeellisesti hankitun tiedon oikeellisuudesta ja kuinka tiedemiehet hyödyntävät kokeita luonnontieteen tiedonhankinnassa. Pohdiskelu voi olla myös konkreettisempaa, kuten mitä seikkoja demonstraatioissa syntyneiden ympäristölle vaarallisten aineiden jatkokäsittelyssä tulee huomioida. Yksityiskohtaisia kuvauksia mallin soveltamisesta on liitteissä 6-8.

Uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli muistuttaa luonnontieteellisen tiedonhankinnan mallia. Malli on syklinen luonnontieteellisen tiedonhankinnan mallin tapaan (kuviot 14 ja 15).



Kuvio 14. Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen malli.



Kuvio 15. Luonnontieteellisen tiedonhankinnan malli (Russelin 1992, 5, mukaan).

Uudentyyppisen demonstraatio-opetus alkaa oppijoiden ennakkokäsitysten selvittämisellä. Oppijoiden ennakkokäsitykset ovat ilmiön naiiveja selitysmalleja ja -teorioita ja niiden voidaan katsoa vastaavan tieteellisen tiedonhankinnan mallin mukaisia vallitsevia selitysmalleja ja -teorioita. Työtavan toisen vaiheen tavoitteena on hypoteesien luonnehdinta ennakkokäsitysten ja aikaisempien tietojen perusteella. Vaihe vastaa tieteellisen tiedonhankinnan hypoteesien ja ennusteiden luomisen vaihetta. Opetusstrategian kolmannessa vaiheessa tehdään havaintoja ja testataan hypoteeseja aivan kuten tieteellisen tiedonhankinnan metodissakin. Seuraavassa vaiheessa ilmiö liitetään sen teoreettisiin perusteluihin, mikä vastaa tieteellisen metodin ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisen vastaavuuden tarkastelua. Opetuskeskustelun tavoitteena on päästä konsensukseen suuremmalle ilmiöjoukolla yhteisestä periaatteesta, mikä vastaa siis luonnontieteellisen tiedonhankinnan teorianmuodostuksen vaihetta. Kokeen arvioinnin jälkeen ollaan valmiita uuden syklin aloittamiseen. Uuden syklin tavoitteena on muun muassa opittujen asioiden syventäminen, laajentaminen, korjaaminen ja tarkistaminen tieteellisen tiedonhankinnan mallin tapaan.

Mallin mukainen opetus voi alkaa myös jostain muusta vaiheesta kuin ennakkokäsityksistä. Yksittäinen oppija saattaa esimerkiksi esittää väittämän, jota testataan demonstraation avulla. Oppimisprosessi on tosin tällöinkin alkanut oppijan ennakkokäsitysten selvittämisellä, mutta ennakkokäsitysten luonnehdinta on tapahtunut oppijan ns. sisäisenä puheena metakognitiivisesti. Jossain tapauksissa ensimmäinen vaihe voi jäädä kokonaan pois. Näin on esimerkiksi silloin, kun oppimisen kohteena oleva ilmiö ei ole käytännön elämästä tuttu eikä oppijoilla ole ilmiöstä aikaisempaa kokemusta. Periaatteen määrittämisen vaihe voidaan

joissain tapauksissa jättää vähäisemmälle huomiolle ja edetä siihen esimerkiksi vasta kun oppijoille on esitetty myös muutama muu vain hieman jo esitetystä poikkeava demonstraatio. Sama pätee myös työn arvioinnin vaiheeseen. Opetusstrategia voi myös edetä jossain muussa järjestyksessä, kuin edellä on esitetty, mutta vastuu eheän kokonaisuuden rakentamisesta on tällöin opettajalla. Tämän tutkimuksen demonstraation opetusvaikutusta käsittelevät tutkimustulokset pätevät vain mallin mukaisesti etenevään opetukseen.

Syy uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen ja luonnontieteellisen tiedonhankinnan mallien yhtäläisyyteen on ilmeinen: tieteellisen tiedonmuodostuksen prosessi on samalla oppimisprosessi. Ja kääntäen: oppimisprosessi on myös uuden tiedon luomisen prosessi, vaikkei kouluoppimisen osalta tulekaan kyseeseen tieteellisesti uuden tiedon luominen.

4.4 Opettajan oma tietoisuus

Demonstraatiota käyttävän opettajan tulee hallita käsiteltävään ilmiöön liittyvät luonnontieteelliset periaatteet, tietää konstruktivistisen oppimisen perusolettamukset ja kyetä yhdistämään nämä kaksi ainepedagogiseksi tiedoksi. Vasta tällöin hän kykenee orientoimaan oppijat demonstraatioon tehokkaalla tavalla, osaa valita oikeantyyppisen demonstraation ilmiötä havainnollistamaan, pystyy ohjaamaan oppimisprosessia oikeaan suuntaan ja osaa tehdä ilmiön ymmärtämisen kannalta olennaisia kysymyksiä.

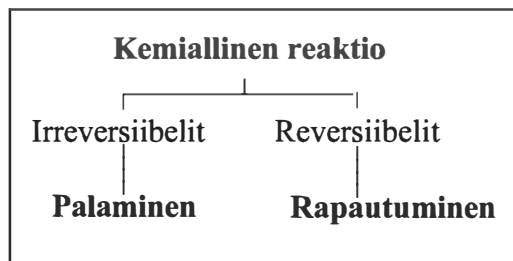
Tieteellisten käsitteiden käyttöönoton järjestyksellä sekä opettajan ja oppijan välisellä dialogilla on ratkaiseva merkitys yritettäessä rakentaa yhteys luonnontieteellisen ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille. Vain hallittu demonstraation valinta ja käyttö johtaa siihen, että oppijan ja opettajan näkemykset kohtaavat.

Koska demonstraatio on vuorovaikutustilanne, demonstraation esittäjän on otettava huomioon havainnoijien eli oppijoiden ennakkokäsitysten merkitys heidän oppimiselleen. Demonstraatiota seurattaessa oppija tulkitsee havaitsemaansa aikaisempien tietojensa perusteella ja pyrkii ymmärtämään tapahtumia niihin tukeutuen. Tästä syystä demonstraation esittäjän on selvitettävä itselleen, *mitä* hän demonstroi, *miten* hän aikoo demonstraatio toteuttaa ja *miksi* hän on valinnut juuri tämän demonstraation ilmiön havainnollistamiseksi. Oppijan aikaisempien käsitysten selvittäminen helpottaa päätöksentekoa ja siten myös auttaa sekä demonstraatiotyypin valinnassa että opetuksen organisoinnissa.

5 Tutkittavat ilmiöt ja käsitteet

Tässä luvussa esitellään tämän tutkimuksen tarkastelun kohteena olevat kemialliset luonnonilmiöt ja käsitteet. Kemiallisten ilmiöiden ja käsitteiden valintaa ohjasivat toisaalta tutkimuskohteena olleen kurssin koulukohtaiset ja valtakunnalliset opetussuunnitelmien perusteet sekä ilmiöiden ja käsitteiden akateeminen ja pedagoginen kiinnostavuus. Tutkimuksessa päätettiin selvittää lukiolaisten käsityksiä kemiallisesta reaktiosta yleensä sekä sen erikoistapauksina palamista ja kidevedellisen yhdisteen rapautumista (kuvio 16) (vrt. esim. Gillespie 1997). Näihin ilmiöihin päädyttiin ennen muuta aikaisempien tutkimuksien ja ilmiöiden pedagogisen mielenkiinnon perusteella sekä siksi, että ilmiöt ovat keskeisiä kemian perusopintojen kannalta. Samalla hankittiin tietoa siitä, kuinka uudentyypisen demonstraatio-opetuksen malli voi edistää näiden ilmiöiden ja käsitteiden haltuunottoa.

Mainittuja kemiallisia ilmiöitä ja käsitteitä oli rapautumista lukuun ottamatta tutkittu melko runsaasti aikaisemminkin, mutta demonstraation kontekstissa ja lukio tasolla varsin vähän.



Kuvin 16. Tutkittavien ilmiöiden ja käsitteiden verkosto.

5.1 Kemiallinen reaktio

5.1.1 Kemiallisen reaktion teoreettista taustaa

Ihminen on muokannut vuosituhansien ajan luonnossa esiintyviä aineita palvelemaan paremmin omia tarpeitaan esimerkiksi ruuanlaiton ja malmin rikastamisen yhteydessä tai lääkeaineina. Tieto aineiden muokkausmenetelmistä (eli kemiallisesta metodiikasta) on siirtynyt sukupolvelta toiselle ensin suullisesti ja myöhemmin kirjallisessa muodossa. Aineen käsittelytaidot opittiin siis ennen muutoksen teoreettisten perusteluiden formulointia, ja järjestys on pysynyt samana nykyaikaisessa modernissa ja teknistyneessä yhteiskunnassamme. Oppijat ovat luoneet esikäsityksensä kemiallisesta reaktiosta intuition perusteella. Esikäsitykset ovat siten vahvasti kontekstisidonnaista ja tapauskohtaista erityistietoa. Yksi perusopetuksen ja lukion kemian opetuksen tavoitteita on intuitiivisten käsitysten täsmentäminen ja tarvittaessa poisoppiminen sekä oppijan ajattelun johdattelu kohti vallitsevaa tieteellistä käsitystä.

Opetuksen toteuttaminen ei ole kuitenkaan missään mielessä triviaali prosessi, jossa oppija vain johdatellaan intuitiivisesta käsityksestä kohti vallitsevaa tieteellistä käsitystä. Kemiallisen reaktion määritelmä on edelleen tulkinnanvarainen (Palmer & Treagust 1996), minkä voi todeta myös tarkastelemalla esimerkiksi yliopistotason oppikirjoja:

“During a chemical change, at least one substance cease to exist, and formed in its place is at least one new substance.” (Russell 1992, 13)

“A chemical change is one in which a given substance becomes a new substance or substances with different properties and different composition.” (Zumdahl 1993, 29)

“A chemical reaction is a process in which the atoms in the reactant molecules are rearranged to form the molecules of the products” (Gillespie ym. 1994, 18).

“A chemical change, also called a chemical reaction, occurs when a substance (or substances) is converted into a different substance (or substances), that is, one with different composition and therefore different properties.” (Silberberg 1996, 3)

“A chemical reaction is the process of chemical change, the conversion of one or more substance into other substances” (Atkins & Jones 1999, F70).

Kaikki edellä mainitut määritelmät kuvaavat jollain tasolla kemiallisen reaktion edellyttävän aineen muuttumista muodosta toiseen. Määritelmien puute on kuitenkin siinä, että todellisuudessa tarvitaan paljon yksityiskohtaisempaa tietoa aineen rakenteesta, muutoksien lainalaisuuksista sekä siitä, mitkä aineen ominaisuuksista muuttuvat ja mitkä säilyvät, jotta voidaan määrittellä, mikä muutos on kemiallinen ja mikä ei.

Aiemmin kemiallinen ja fysikaalinen ilmiö erotettiin toisistaan sen perusteella, millä tavalla aineen rakenne muuttui. 1900-luvun havaittiin kuitenkin uudentyyppinen ilmiö, jonka luokittelu joko fysikaaliseksi tai kemialliseksi oli perin hankalaa. Ilmiölle annettiin nimeksi radioaktiivisuus, ja sillä oli sekä kemiallisen että fysikaalisen luonnonilmiön tunnusmerkkejä. Ilmiö poikkesi kuitenkin tunnetuista ilmiöistä muutamien kohdin niin radikaalisti, ettei niitä voitu luokitella kuuluvaksi kumpaakaan “perinteisistä” luokista.

Taulukosta 5 käy ilmi, kuinka fysikaalinen, kemiallinen ja radioaktiivinen ilmiö voidaan yleisellä tasolla erottaa toisistaan, mutta ilmiöt muistuttavat monilta osin toisiaan. Fysiikan ja kemian atomaarisen tason filosofiset perusteet lähestyvät toisiaan asympotoottisesti ja tietyissä vaiheissa tullaan tilanteeseen, jossa on vaikea erottaa, kuuluuko ilmiö fysiikan tai kemian tutkimusalueeseen.

Taulukko 5. Luonnonilmiöiden vertailu (Changin 1991 mukaan.)

| <i>Ilmiö - Tarkastelu- näkökulma ↓</i> | FYSIKAALINEN | KEMIALLINEN | RADIOAKTIIVINEN |
|--|--|---|--|
| <i>Rakenne- dimensio</i> | Rakenneyksiköt voivat järjestäytyä uudelleen, mutta aine säilyttää identiteettinsä molaarisella ja molekulaarisella tasolla. | Rakenneyksiköiden järjestyksen muutos edellyttää vanhojen sidosten katkeamista ja uusien muodostumista. Aineen identiteetti muuttuu molaarisella muttei molekulaarisella tasolla. | Aineen rakenne muuttuu ytimen tasolla. Aineen identiteetti muuttuu atomitasolla. Aine muuttuu toiseksi aineeksi. (Vertaa alkemistien transmutaation käsitteeseen.) |
| <i>Energia- dimensio</i> | Ilmiöissä sitoutuu tai vapautuu pieniä määriä energiaa. | Ilmiöissä sitoutuu tai vapautuu pieniä määriä energiaa. | Ilmiöissä vapautuu tai sitoutuu suuria määriä energiaa. |
| <i>Aika- dimensio</i> | Ilmiöiden muutosnopeus vaihtelee hyvin pitkäkestoisista hyvin lyhytkestoisiin. | Ilmiöiden muutosnopeus vaihtelee hyvin pitkäkestoisista hyvin lyhytkestoisiin. | Ilmiöiden muutosnopeus vaihtelee hyvin pitkäkestoisista hyvin lyhytkestoisiin. |

Kemialliset ja radioaktiiviset ilmiöt poikkeavat monelta osin toisistaan. Kemiallisessa reaktiossa atomien väliset vanhat sidokset katkeavat ja uusia muodostuu, kun taas radioaktiivisessa

reaktiossa alkuaineet muuttuvat toisiksi alkuaineiksi. Kemiallisessa reaktiossa sidosten rikkoontumiseen ja muodostumiseen osallistuvat vain orbitaaleilla olevat elektronit, kun taas radioaktiiviseen reaktioon osallistuvat elektronien lisäksi protonit ja neutronit sekä joukko muita alkeishiukkasia. Kemiallisissa reaktioissa vapautuu tai sitoutuu hyvin pieniä energiamääriä verrattuna radioaktiivisissa reaktioissa vapautuvan tai sitoutuvan energian määrään. Toisaalta kemiallisten reaktioiden nopeus riippuu muun muassa lämpötilasta, paineesta, pitoisuudesta ja katalyytistä, kun taas radioaktiivisten reaktioiden nopeus on yleensä riippumaton näistä tekijöistä. (Chang 1991, 958)

Kemiaa opiskelevan nuoren mielestä kemiallinen muutos on helposti hyvin kaoottisena tapahtuma. Tarkastellaan esimerkiksi elohopeaoksidin muodostumista (Andersson 1986). Lähtötilanteessa on kahta eri alkuainetta, joilla on niille tunnusomaiset piirteensä. Reaktion loputtua, tuotteen nimestä huolimatta, siinä ei ole enää olemassa alkuaineita elohopea ja happi. Oppijan näkökulmasta reaktion lainalaisuuksien ymmärtämisen tekee entistä haastavammaksi se, että elohopeaoksidin osat voidaan palauttaa takaisin lähtöaineikseen eli alkuainemuotoon elohopeaksi ja hapeksi.

Kemia selittää tapahtuman atomiteorialla siten, että alkuaineen atomien järjestys muuttuu tavalla, joka säilyttää atomien identiteetin. Lopputilanteessa ei ole enää olemassa lähtöaineen atomeja, vaan uutta ainetta uusine ominaisuuksineen. Toisaalta identiteetin säilyvyys selittää sen, miksi aineet voidaan palauttaa takaisin lähtöaineikseen.

Identiteetin säilyttämisen periaate kytkeytyy läheisesti myös atomin ja alkuaineen käsitteisiin. Kemiassa alkuaine määritellään koostuvan keskenään samanlaisista atomeista eikä alkuainetta ei voida kemiallisen menetelmin muokata yksinkertaisemmiksi osasiksi. Vaatimus keskinäisistä samankaltaisuudesta on aivan olellinen, sillä vain siten kyetään erottamaan toisistaan saman alkuaineen eri isotoopit. Toisaalta vaatimus kemiallisen muokkauksen mahdottomuudesta on myös olennainen, koska silloin suljetaan pois radioaktiiviset prosessit ja menetelmät. Yksinkertaisimmillaan yksi kappale minkä tahansa alkuaineen atomeja edustaa sekä itseään atomina että kemiallisena alkuaineena; yksi rauta-atomikin on rautaa. Määrittelyn mukaan protoni ei ole alkuaine, kuten ei sokerikaan molekyyli. Alkuaineen identiteetti kytkeytyy näin ollen yksityiskohtaisesti käsitteisiin atomi ja elektroni, ja atomin identiteetti käsitteisiin protoni, neutroni ja elektroni. Kemiiallisten reaktioiden kannalta atomin ja alkuaineen identiteetti tarkoittaa sitä, ettei kemiallisessa reaktiossa tapahdu muutoksia atomin ytimessä.

Monet kemialliset reaktiot tapahtuvat atomia pienempien olioiden vaikutuksesta. Vaikka elohopean ja hapen läsnäolo onkin välttämätöntä elohopeaoksidin muodostumiselle, niin vasta elektronien siirtyminen, elektroniparien muodostuminen tai jakautuminen saa lähtöaineen olemassaolon loppumaan ja uuden aineen olemassaolon alkamaan. Tämä ja vastaavan tyyppiset

tapahtumat on sittemmin nimitetty esimerkiksi hapettumis-pelkistymisilmiöiksi. On syytä huomauttaa, ettei esimerkiksi pelkkä elektronin liike ole riittävä ehto kemialliselle reaktiolle, vaan kemiallinen reaktio edellyttää aina myös alkuaineen atomien osallistumista prosessiin.

Kemiallinen reaktio on dynaaminen. Elektronit eivät tosin ole ainoita hiukkasia, joiden liikkeen, uudelleen orientoitumisen, vaihdoksen tai pariumisen perusteella ilmiö nimetään. On olemassa monia muita ilmiöitä, joita nimitetään muiden hiukkasten perusteella tietyiksi kemiallisiksi ilmiöiksi ja siten kemiallisiksi reaktioiksi. Yleisimpiä ovat happo-emäsilmiöt, joissa tapahtuman aikaan saava tekijä on protoni, sakkaantumisilmiöt, joiden alkuun saavat tekijät ovat ioneja, ja kompleksinmuodostumisilmiöt, joiden alkuun saattavana tekijöinä voivat olla edellisten lisäksi myös suuremmat hiukkaset, kuten molekyylit.

Kuitenkin kaikkien näidenkin tapauksien perimmäiset ehdot kytkeytyvät aineen kvantti- ja energiatiloihin ja siten suoraan myös kvantin ja energian käsitteisiin. Koulukemian opetuksessa ei kuitenkaan voida edellyttää oppijoiden hallitsevan kemiallisen reaktion peruslainalaisuuksia kvanttikemiallisten käsitteiden pohjalta, vaan opetuksessa on pitäydyttävä yksinkertaisemmissa, joskin riittävän hyvin atomiteorian mukaisesti toimivissa käsitteissä. Näin ollen lukion yleisen ja epäorgaanisen kemian opetuksessa voidaan pitäytyä hapettumis-pelkistymis-, sakkaantumis-, happo-emäs- ja kompleksinmuodostumis-ilmiöissä. Tässä tutkimuksessa keskitytään näistä ensimmäiseen ja viimeiseen.

5.1.2 Oppijoiden käsityksiä kemiallisesta reaktiosta

Jopa yliopisto-opiskelijoilla on monilta osin naiivi ja empiirinen kuva kemiallisesta reaktiosta. Kuitenkin tutkimustieto on vaikuttanut vain vähän kemian opetukseen ja opiskeluun: yhä uudelleen tutkimukset osoittavat oppijoilla esiintyvän samoja virhekäsityksiä kemian perusilmiöistä. Herää kysymys, kuinka hyvin tutkimustieto tavoittaa kentän tason ja vaikuttaa käytänteisiin.

Kemiallisen muutoksen ymmärtämisen vähimmäisedellytyksenä voidaan pitää aineen molaarisen tason rakenteen ja rakentumisperiaatteiden perushahmotusta. Mikäli perushahmotus on puutteellinen tai virheellinen, myös käsitys kemiallisesta reaktiosta muodostuu puutteelliseksi ja virheelliseksi.

5.1.2.1 Aineen rakenne

Oppijoilla on usein vakavia puutteita aineen rakenteen perushahmotuksessa niin molaarisella, molekulaarisella, symbolisella kuin algebrallisellakin tasolla.

Oppijoilla on vaikeuksia erottaa toisistaan seoksen, liuoksen, alkuaineen ja atomin käsitteitä. Sanger (2000) huomauttaa, että molekulaarisen tason mallit voivat auttaa oppijoita mieltämään aineen rakentuvan pienen pienistä osista. Samalla hän kuitenkin korostaa, ettei pelkkä mallin näyttäminen vielä riitä, sillä oppijat saattavat tulkita esitetyt mallit väärin. Tämä kävi ilmi myös Ojalan (1997) tutkimuksessa, joka osoitti opettajaksi opiskelevien luoneen taivaankappaleiden mittasuhteista ja aurinkokunnasta hyvin virheellisen kuvan oppikirjoissa esitettyjen mallien perusteella.

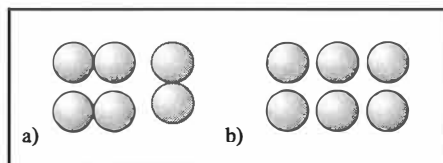
Monet oppijat yläasteelta yliopistotasolle eivät näytä ymmärtävän aineen eri ilmenemismuotojen johtuvan aineen atomirakenteen eroista (Novick & Nussbaum 1981; Shepherd & Renner 1982). Oppija saattaa esimerkiksi ajatella, että veden hajotuksessa syntyneistä kaasuista suuremman tilavuuden ottaa happi, koska se on atomitasolla isompi. Oppijat eivät siis osaa erottaa toisistaan aineen rakenteen ja ulkoisten olosuhteiden vaikutusta aineen molaarisen tason ominaisuuksiin. (Gabel ym. 1987.)

Oppijat ovat taipuvaisia mieltämään aineen kauttaaltaan tasalaatuiseksi ja jatkuvaksi. Opetuksen perusteella he saattavat tietää, että ainetta voidaan jakaa pienempiin osasiin, kuten jyviksi, mutta heidän mielestään aine säilyttää lopussakin "jatkuvuutensa". (Novick & Nussbaum 1981; Pfundt 1981; Shepherd & Renner 1982; Nussbaum 1985.)

Erityisen hankala näyttää olevan aineen kaasumaisen olomuodon ja toisaalta lämmön käsitteiden ymmärtäminen (vrt. Hesse & Anderson 1992). Anderssonin ja Renströmin (1979, 1981a,b) mukaan yllättävän monet yläasteikäisistä oppijoista eivät mieltäneet kaasun painavan jotain tai käsittäneet kaasuilla olevan jonkin suuruinen massa. Oppijoiden mielestä lämpö on kuumaa ilmaa, joten lämmöllä olisi siten massa. Toisaalta veden kiehumisessa syntyvät kuplat ovat oppijoiden mielestä kuumaa ilmaa, joka tunkeutuu astian pohjan läpi nesteeseen ja kulkee nesteen läpi haihtuakseen sen pinnalta. Näin naiivien käsitysten luulisi olevan tunnusomaista vain nuoremmille oppijoille, mutta Osbornen ja Cosgroven (1983) tutkimuksessa neljäsosa 17-vuotiaista kemian opiskelijoista mielsi veden kiehuessa syntyvien kuplien olevan ilmaa. Myös kaasun mikrotason rakennemalleissa on ilmennyt virhekäsityksiä, sillä oppijoiden mielestä kaasun rakenneyksiköiden väliin ei jää "tyhjää" tilaa (Novick & Nussbaum 1981; Shepherd & Renner 1982). Rakennemallien virhekäsitys ei toisaalta ole ihme, sillä historiallisesti tarkasteltuna aineen kaasumaisen olomuodon käsitteen haltuunotto prosessi kesti useita kymmeniä ellei jopa satoja vuosia (vrt. Hudson 1995). Prosessin seurauksena

käsityksemme kemiasta otti aimo harppauksen eteenpäin. Yksi haltuunotto-prosessin hedelmistä oli flogistonteorian kumoutuminen 1800-luvulla.

Kemian merkkikielen ymmärtäminen on kemian opetuksen suuria haasteita, jota voidaan verrata jopa lukemisen oppimiseen. Näin ollen ei liene ihme, että oppijoiden mielestä merkintä $3N_2$ voidaan esittää kuvallisesti yhtä pätevästi periaatteessa kummalla tahansa kuvion 17 osoittamista malleista



Kuvio 17. Oppijoiden mielestä molemmat kuvat vastaavat symbolista merkintää $3N_2$ (vrt. Yarroch 1985).

Algebrallisen tason hahmotusongelmat kuvastuvat esimerkiksi oppijoiden tavassa ratkaista laskutehtäviä. Oppijat saattavat ratkaista tehtäviä moitteetta, mutteivät ymmärrä tehtävässä tarvittavien käsitteiden sisältöä. Tämä voi ilmetä esimerkiksi siten, että oppija yleistää ideaalikaasun moolitilavuuden käsitteen ideaalikaasujen lisäksi kaikkiin kaasuihin tai jopa nestemäisten ja kiinteiden aineiden kontekstissa asetettujen ongelmien käsittelyyn. (Cervellati 1982; Nurrenbern & Pickering 1987.)

5.1.2.2 Kemiallinen reaktio

Koska oppijoiden käsitykset aineen rakenteesta muodostuvat helposti puutteellisiksi ja virheellisiksi, on selvää että myös oppijoiden käsitykset kemiallisesta reaktiosta ovat puutteellisia ja virheellisiä.

Kemiallisen reaktion perushahmotus muodostuu suurelta osin oppijoiden omien empiiristen havaintojen pohjalta (vrt. Duit & Kesidou 1988). Hahmotus tapahtuu usein jo varhaislapsuudessa ja omaksutut käsitykset juurtuvat kiinteäksi osaksi oppijan tietorakennetta. Sen lisäksi, että oppijoiden ajatukset kemiallisista reaktioista perustuvat konkreetteihin havaintoihin, ne ovat usein myös keskenään erilaisia ja ristiriitaisia (Solomon ym. 1985). Kouluopetuksen yhteydessä kemiallisia reaktioita yritetään sitten selittää arkipäivän ilmiöiden perusteella. Opetuksen haasteeksi koetaan näiden intuitiivisten ja stereotyyppisten käsitysten poisoppiminen. (Ks. esim. Driver ym. 1985; Osborne & Freyberg 1985, 12; Hesse & Anderson 1992.)

Oppijoiden kemiallisia ilmiöitä koskevat käsitykset näyttävät usein olevan myös kontekstisidonnaisia. Oppijat eivät kykene johdonmukaiseen käsitysten soveltamiseen, olipa kyseessä sitten heidän itsensä konstruoima tai tieteellinen käsitys. Tämä johtuu siitä, etteivät oppijat kykene näkemään eri ilmiöiden kontekstien välistä yhteyttä, vaikka se olisi hyvin läheinen. (Clough & Driver 1986; Palmer 1993; Boo 1996.)

Perushahmotuksen virheet ja kontekstisidonnaisuushahmotuksen virheet tulevat ilmi viimeistään silloin, kun oppijoita pyydetään selittämään luonnonilmiöiden luonnetta ja sen syy-seuraussuhteita: monien oppijoiden mielestä esimerkiksi ruostuminen on lahoamista tai olomuodon muutos (Hesse & Anderson 1992), lämpö, kylmyys ja hajoaminen ovat kemiallisen reaktion konkreetteja lähtöaineita tai tuotteita (Stavidrou & Solomonidou 1989) ja kiehuminen on esimerkki kemiallisesta reaktiosta (Schollum 1981). Toisaalta oppijoiden mielestä kemiallinen reaktion "todisteeksi" näyttää riittävän se, että on ilmennyt siihenä, kuplien muodostumista tai värin muuttumista eli konkreetteja havaittavia muutoksia (Driver ym. 1994).

Anderssonin (1986) havaintojen mukaan vain noin 20 % yläasteikäisistä oppilaista ajatteli, että kemiallisessa reaktiossa tapahtuu reagoivien aineiden välillä jonkin tyyppistä vuorovaikutusta. Vastaavasti Leen (1999a) tutkimuksen mukaan kolmasosalla lukio-oppijoista ei ollut minkäänlaista käsitystä siitä, että kemiallisessa reaktiossa tapahtuu atomien uudelleenryhmittymistä sekä sidosten katkeamista ja muodostumista (ks. myös Ahtee & Varjola 1998). Lisäksi oppilailla on todettu olevan oppimisvaikeuksia kemiallisen energian ja energiakäsitteen kanssa yleensäkin (Watts 1983; Solomon 1984; Andersson 1986; Boo 1998; Stylianidou & Boohan 1998).

Olisi toivottavaa, jos kouluopetuksella tiedettäisiin päästävän virhekäsityksistä. Todellisuus on kuitenkin osoittautunut toiseksi. Vain noin puolet yliopiston ensimmäisen vuoden opiskelijoista mielsi uuden aineen muodostumisen olevan kemiallisen reaktion olennainen piirre (Cervellati ym. 1984). Yliopisto-opetuksenkin vaikuttavuuteen voidaan suhtautua kriittisesti, sillä puolet Leen (1999a) tutkimusryhmän opiskelijoista mielsi lähtöaineiden hajoavan ensin täydellisesti osikseen ja reagoivat sitten suoraan muodostaen reaktiotuotteita. Näin siis siitä huolimatta, että opiskelijat olivat opetuksessaan tutustuneet transitiotilateoriaan.

Opiskelijoiden virhekäsitysten voidaan olettaa johtuvan arkihavaintojen virheellistä tulkinnasta, mutta niihin vaikutuksensa on myös opetuksella. Leen (1999b) tutkimuksessa opettajilla todettiin olevan palamisilmiötä koskevia vallitsevasta tieteellisestä käsityksestä poikkeavia näkemyksiä. Ben-Zvin ym. (1987) mukaan osasy virheellisistä ajattelumalleista lankeaa oppikirjoille, joiden perusteella opiskelijat esimerkiksi luovat kemiallisesta reaktiosta hyvin staattisen kuvan. Oppikirjojen visuaalinen esitystapa on toki muuttunut vuodesta 1987,

mutta tutkimuksen perusteella oppikirjojen visuaalisen esitystavan vaikutukseen voidaan suhtautua edelleen varauksellisesti. Tutkimuksen mukaan opiskelijoiden mielikuvaa ei kyetty juuri muuttamaan edes dynaamista mallia korostavalla oppikirjalla. Tutkijat korostivatkin opettajan merkitystä dynaamisen mallin mielikuvan luomisessa.

Kun opiskelijat omaksuvat tieteellisen selitysmallin tieteellisine käsitteineen, heidät on myös saatava käyttämään näitä malleja ja käsitteitä. Useat tutkimuksen ovat osoittaneet, etteivät esimerkiksi perusopetuksen yläluokkien ikäiset oppilaat juuri käytä atomin tai molekyylin käsitteitä kuvaillessaan kemiallisen reaktion tapahtumia, vaikka heillä opetuksen perusteella olisi ollut tieto näistä käsitteistä ja aineen molekulaarisen tason rakentumisesta (Stavidrou & Solomonidou 1989; Abraham ym. 1992; Hesse & Anderson 1992).

5.1.2.3 Käsitteiden muuttamisen vaikeus

Opiskelijoiden käsityksen muuttamiseksi ja muutosprosessin tehostamiseksi on testattu useita eri menetelmiä. Stylianidou ja Boohan (1998) kokeilivat abstraktien kuvasarjojen käytön opetusvaikutusta kemiallisten ilmiöiden haltuunottoon 12-vuoden ikäisillä oppilaille, Ben-Zvi (1987) hyödynsi kemiallisen reaktion dynaamista mallia korostavaa oppikirjaa ja Stavy (1991) testasi analogioiden vaikutusta oppimiseen.

Stavyn kokeessa havaittiin, että oppilaiden käsitysprosessin edistyi. Oppilaat kykenivät yleistämään massan säilymislain jodikokeen kontekstista asetonin haihtumista käsittelevään kokeeseen. Analogioita käytetään yleensä eri sisältöalueilla (esimerkiksi jokiverkosto virtapiirin mallina), mutta suurempi opetusvaikutus saavutetaan silloin, kun analogioita käytetään samalla sisältöalueella (ks. myös Mistrell 1982). Toisaalta analogioiden käsityksen muutoksia aikaansaava vaikutus ei ole suora eivätkä opiskelijat kykene helposti siirtämään omaksumaansa käsitystä kontekstista toiseen (ks. myös Boo 1996).

Stavyn (1980), Posnerin ym. (1982), Driverin ym. (1985) ja Lawsonin (1989) tutkimukset ovat osoittaneet oppijan käsityksen muutoksen edellyttävän omakohtaista kokemusta siitä, että heidän käsityksensä ovat jollain tapaa riittämättömiä tai puutteellisia selittämään havaittuja muutoksia. Oppija kokee loogis-tiedollisen ristiriidan, jossa havainto ja oppijan ennakkokäsitys ovat ristiriidassa ("*prediction-outcome*"-konflikti). Nussbaumin (1985) sekä Eisenin ja Stavyn (1989) kokeiden mukaan uuden asian opettamisessa on olennaista lähteä oppijoiden ennakkokäsitysten selvittämisestä.

Kemiallisen reaktion opetuksessa on siis paljon haasteita, sillä oppijoiden käsitykset perustuvat usein naiiveihin empiirisiin havaintoihin, heidän ajattelunsa on usein kontekstisidonnaista ja oppijoilla on vaikeuksia tieteellisten käsitteiden käytössä, minkä yksi

ilmenemismuoto on fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön sekoittuminen selitysmalleissa. Toisaalta monet tutkimukset ovat osoittaneet, että erilaisilla opetuksen työtavoilla saavutetaan vain rajallinen vaikutus oppimiseen.

5.2 Kidevedellisen kuparisulfaatin kuumennus

5.2.1. Kideveden poistuminen reversiibelin reaktion esimerkkinä

Kidevedellisen kuparisulfaatin kuumennusta käytetään varsin yleisesti esimerkkinä reversiibelistä reaktiosta. Kidevedeksi sitoutunut vesi voidaan poistaa yhdistettä kuumentamalla ja palauttaa vettä lisäämällä. Palautuva reaktion noudattaa reaktioyhtälöä

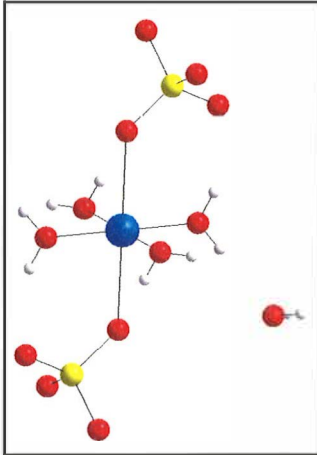


Reaktioyhtälön mukaiset tapahtumat ilmenevät makroskooppisella tasolla veden muodostumisena ja kidevedellisen kuparisulfaatin värin muuttumisena sinisestä valkoiseksi (tai vaaleanvihreäksi). Kuparisulfaattilla on useita kidevedellisiä muotoja, joista penta-, tri-, ja monohydraatti ovat tunnetuimmat ja tutkituimmat (ks. esim. Jóna & Šramko 1976; Langfelderová ym. 1979; Varghese & Maslen 1985).

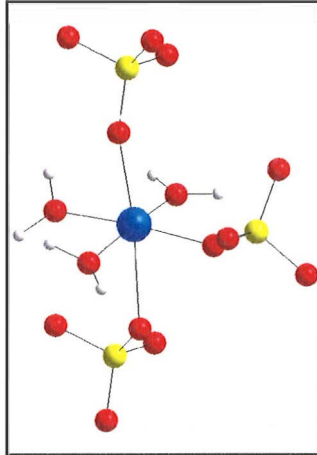
Mikroskooppisesti tarkasteltuna kuparisulfaattipentahydraatti on kompleksiyhdiste, jonka keskusatomina on kupari(II)-ioni ja ligandeina vesimolekyylit ja sulfaatti-ionit. Keskusatomiin on sitoutunut neljä vesimolekyyliä ja kaksi sulfaatti-onia siten, että ligandien happiatomit ovat suuntautuneet keskusatomia kohti kuvion 18 mukaisesti. Kidevedelliseen kuparisulfaattiin on sitoutunut viisi vesimolekyyliä, joista neljä on koordinoitunut suoraan keskusatomiin, mutta viides ei. Viidennen vesimolekyylin oletetaan sijaitsevan alkeiskopin sisällä melko vapaasti, joskin sillä esiintyy vetysilloja kahden koordinoituneen vesimolekyylin ja kahden sulfaatti-ionin kanssa. Tässä tapauksessa vetysillat muodostuvat koordinoitumattoman vesimolekyylin vedyn ja koordinoituneen vesimolekyylin hapen välille sekä toisaalta koordinoitumattoman vesimolekyylin vetyjen ja koordinoituneiden sulfaatti-ionien vapaiden happiryhmän välille (Jóna & Šramko 1976).

Kideveden poistuminen etenee kolmessa vaiheessa (Jóna & Šramko 1976; Langfelderová 1979). Ensimmäinen välivaihe on trihydraatti, toinen monohydraatti. Aikaisemmin oletettiin

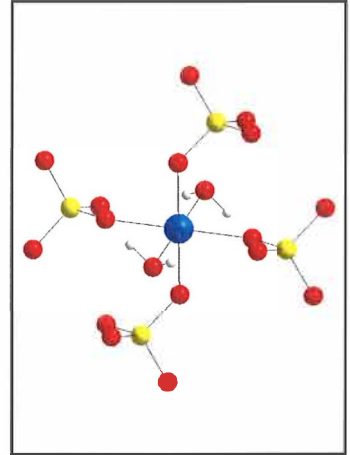
reaktion ensimmäisessä vaiheessa poistuvan kaksi koordinoitunutta vesimolekyyliä, toisessa vaiheessa toiset kaksi ja viimeiseksi koordinoitumaton vesimolekyyli. Langfelderová ym. kuitenkin osoittivat alkuperäisen koordinoitumattoman vesimolekyylin liittyvän osaksi trihydraatin ja siten myös monohydraatin kiderakennetta vertaamalla välituotteena syntyvien yhdisteiden kiderakenteita synteettisesti valmistettujen yhdisteiden kiderakenteisiin. Välituotteiden ja synteettisesti valmistettujen kiteiden kiderakenteet olivat samanlaiset mittaustarkkuuden rajoissa. Kuviot 19 ja 20 havainnollistavat välituotteiden kiderakenteita.



Kuvio 18. Kuparisulfaatti-pentahydraatin kiderakenne.



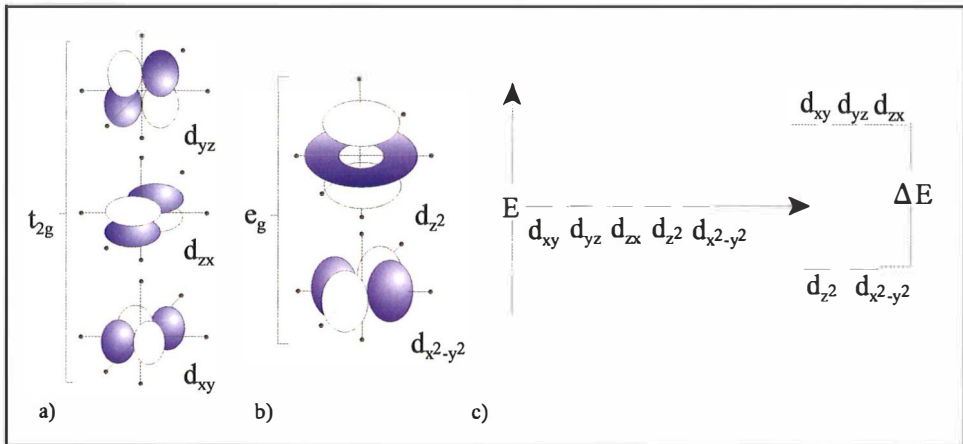
Kuvio 19. Kuparisulfaatti-trihydraatin kiderakenne.



Kuvio 20. Kuparisulfaatti-monohydraatin kiderakenne.

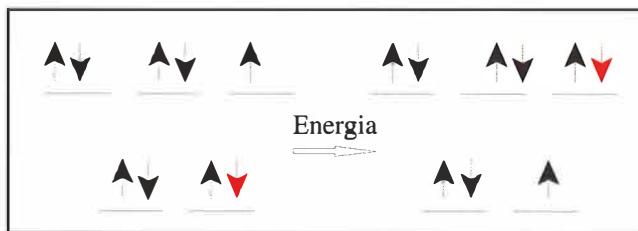
Kideveden poistuminen ilmenee siis veden muodostumisena, mutta sen lisäksi havaitaan yhdisteen värin muuttuminen sinisestä valkoiseksi. Kide- ja ligandikenttäteorioilla voidaan selittää koordinaatioyhdisteen muodostumisen ja luonteen lisäksi sen värinmuutoksia (Barnard 1965, 243–269; Shiver ym. 1994, 581–613; Rayner-Canham 1996, 400). Kidekenttäteoria lähtee olettamuksesta, että keskusatomien ja ligandien väliset sidokset ovat puhtaasti sähköisen vuorovaikutuksen aiheuttamia eikä elektronipilvien peittoa keskusatomien ja ligandien välillä esiinny. Ligandikenttäteoria ottaa huomioon myös mahdollisen elektronipilvien päällekkäisyyden.

Kuparisulfaattipentahydraatin oktaedrinen ligandikenttä epähomogenisoituu johtuen ligandien vuorovaikutuksesta. Negatiivisten ligandien repulsiio aiheuttaa akselistojen väliin suuntautuneiden orbitaalien (kuvio 21a) energian kasvamisen, mutta vastaavasti akselistojen suuntaisilla orbitaaleilla (kuvio 21b) on alhaisempi energia (kuvio 21c) (Pilbrow 1990, 27; Shiver ym. 1994, 258).



Kuvio 21. a) Akselistojen väliin suuntautuneet ja b) akseliston suuntaiset orbitaalit. Merkinnot e_g ja t_{2g} viittaavat orbitaalien symmetriaryhmiin. c) Kupari(II)-ionin d^9 -elektronijärjestelmän hajaantuminen oktaedrisessa ligandikentässä.

Ligandikenttäteorian mukaan kupari(II)-ionilla on d-orbitaalilla kaikkiaan yhdeksän elektronia, joista yksi on paritumaton. Aineen väri on scurausta näkyvän valon aallonpituudella tapahtuvasta sähkömagneettisen säteilyn absorboitumisesta, jolloin yksi alemman energiatilan elektroneista virittyy korkeammalle energiatilalle (kuvio 22).



Kuvio 22. Elektronin virittyminen kupari(II)-ionin d^9 -konfiguraatiossa.

Kidevesien poistuminen muuttaa kupari(II)-ionin ligandikenttää, sillä jäljelle jäävät vain negatiivisesti varautuneet sulfaattiryhmät. Sulfaatti-ionien vaikutuksesta ligandikenttä heikkenee ja absorptiovyö siirtyy infrapunaisen säteilyn aallonpituusalueelle, joten molaarisella tasolla anhydraatti aine näyttää valkoiselta. Vaikka vesimolekyylit tai sulfaatti-ionit eivät itse aiheutakaan aineen väriä, niin niillä on keskeinen osa värinmuodostuksen mekanismeissa.

5.2.2 Oppijoiden käsityksiä kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioista

Kuparisulfaatin kideveden poistuminen ja palautuminen esitetään reversiibelin reaktion tyypillisenä esimerkkinä usein niin kotimaisissa ja kuin ulkomaisissakin oppikirjoissa. Siksi on melko yllättävää, ettei kyseisen ilmiön oppilaskokeista, demonstraatioista

luonnontutkimustehtävistä tai muista vastaavista opetusmenetelmistä ole juurikaan kiinnitetty huomiota tutkimuksissa. Kuparisulfaattipentahydraattia on tutkittu jonkin verran kemian eri alueilla, kuten rakennekemiassa, mutta tutkimus ei ole saanut osakseen sielläkään suurta kiinnostusta

5.2.2.1 Aikaisempia tutkimuksia palautuvasta reaktiosta

Pfundtin (1982) mukaan oppilailla on vaikeuksia käsittää kemiallisessa reaktiossa tapahtuvia muutoksia juuri siitä syystä, että kemiallisissa ilmiöissä jonkin alkuaineen olemassa olo voi päättyä ja uuden alkuaineen vastaavasti alkaa. Kirjoittaja huomauttaakin, että reversiibeilitä reaktioita tarkasteltaessa on erittäin tärkeää kiinnittää oppilaiden huomio siihen, mitkä ovat prosessissa säilyviä ja muuttuvia suureita tai ominaisuuksia. Esimerkiksi kupari ei palaessa vain "vaihda väriään" punertavasta mustaksi, vaan aineen ominaisuudet muuttuvat huomattavasti perusteellisemmalla tavalla.

Pfundtin tutkimukseen osallistui yhteensä 10 oppilasta, joista kaksi selitti värin muuttumisen kuivumisena, kaksi valkaisuna ja kuusi tuhkan muodostumisena. Osa tuhkan muodostuksen selitysmalliin tukeutuneista oppilaista oletti ilmiössä tapahtuvan myös kuivumista. Seuraavassa muutama tapaus hieman tarkemmin (Pfundt 1982, 15-16).

Tapaus 1 (Julia, 12-vuotias tyttö): Kidevedellisen kuparisulfaatin kuumennus toteutettiin koeputkessa, ja sen tavoitteena oli huomion kiinnittyminen erityisesti veden muodostukseen. Oppilas selitti valkoisen reaktiotuotteen olevan tuhkaa, koska se muistutti ulkoisilta olemuksiltaan puun palaessa syntyvää tuhkaa. Hän kuvasi ilmiötä muiden oppilaiden tavoin liekittömäksi palamiseksi. Huolimatta haastattelijan yrityksistä ohjata oppilaan ajattelua tieteellisempään suuntaan, oppilas ei huomionnut veden muodostuksen keskeistä roolia. Oppilaan mukaan reaktiossa syntynyt vesi oli lähtöisin (ulkoisesti) hieman kosteasta aineesta ja prosessissa aine vain yksinkertaisesti kuivui (eli vesi haihtui kuten kuivuessa). Esiteltäessä ajatusta reaktion reversiibeliydestä ja siitä, että veden lisäyksellä alkuperäinen aine voitaisiin palauttaa, tyttö totesi "*When you pour water on wood ash, wood is not re-formed*". Kun haastattelija lisäsi vettä, niin oppilas ei hylännyt täydellisesti omaa käsitystään, vaan selitti edelleen, että jälkimmäinen aine eroaa vieläkin jollain tavalla alkuperäisestä aineesta ja epäili, että näin muodostunut aine olisi ainakin kevyempää kuin alkuperäinen.

Tapaus 2 (Stephanie, 11-vuotias tyttö): Kidevedellisen kuparisulfaatin kuumennus tehtiin avoimessa astiassa eikä veden muodostumista voinut siten havaita yhtä hyvin kuin edellisessä tapauksessa. Tästä huolimatta oppilas välittömästi kokeen jälkeen totesi lopputuotteen olevan kuivunutta kidevedellistä kuparisulfaattia ja kuvasi kuumennuksen vastaavaksi prosessiksi kuin

puun kuivumisen kuumennettaessa. Perusteluna hän esitti sen, että kidevedellinen kuparisulfaatti piti kuivuessaan samanlaista rätisevää ääntä kuin puu ja lisäksi ilmiössä muodostui jotain murentuvaa. Lopputuotteena syntyvää vaaleansinertävää tuotetta hän vertasi maan kuivumiseen: kuivuessaan maakin muuttuu kovin kevyeksi, ja kun kuivaan maahan kaadetaan vettä siitä tulee jälleen tummaa. Oppilas halusikin tehdä reaktiotuotteelle jatkokekeen, jossa sen päälle lisättiin vettä. Oppilas oli selvästi mielissään, kun palautuva reaktio toteutti hänen ennustuksensa. Edes palautuneen reaktiotuotteen kuivuus ei ihmetyttänyt tyttöä, sillä hänen mukaansa kaikki vesi oli imeytynyt anhydraattiin.

Esimerkit havainnollistavat, kuinka oppijat selittävät havaintojaan aikaisempiin tietoihinsa tukeutuen (vrt. esimerkiksi Duit & Kesidou 1988; Hesse & Anderson 1992). Julialle tapahtuma edusti ”tuhkanmuodostusta”, kun taas Stephanielle se oli ”kuivumista”.

Ilmiössä tapahtuvan muutoksen palautumiskyky heijastui myös oppilaiden selityksiin siitä, mitkä ominaisuudet säilyvät ja muuttuvat kemiallisessa reaktiossa. Kaksi ”kuivumiskäsitettä” käyttänyttä oppilasta oli vahvasti sitä mieltä, ettei aineen tarvitse muuttua peruuttamattomasti, kun sen väri muuttuu. ”Aineen valkaisu” ehdottanut oppilas oli epävarma muutoksen peruuttamattomuudesta. Kaikki kuusi ”tuhkateorian” kannalla ollutta oppilasta puolestaan katsoivat, että aine itsessään muuttui, vaikkeivät olleet täysin yhtä mieltä muutoksen peruuttamattomuudesta. Clark ym. (2000) mukaan oppilaat saattavat epäillä kideveden olemassaoloa juuri siksi, ettei se ole silmin nähtävissä. Tällaisen käsityksen poistamiseksi oppilaat voidaan saattaa pohtimaan arkielämästä tuttuja aineita, jotka sisältävät vettä, mutta ovat kuitenkin kuivia, kuten savea tai liivatetta.

Pfundtin (em.) mielestä oli varsin yllättävää, kuinka helposti ”tuhkakäsitteen” kannattajat yleensä hyväksyivät ilmiön reversiibeliyden, kun palauttava koe oli tehty. Oppilaat kommentoivat muun muassa siten, että ”ilmiössä onkin täytyntä tapahtua vain värin muutos” tai ”eipä se lopputuote tainnutkaan olla tuhkaa”. Toisaalta kaikki ”tuhka-“ tai ”valkaisukäsityksen” kannattajat eivät olleet yhtä varmoja veden roolista. Näiden oppilaiden mielestä vesi selvästi liittyi tapahtumiin, muttei ollut mitenkään välttämätön, tai että vesi osallistuu ehkä ennemminkin aineen ”viileyden tai tunnusomaisen lämpötilan” muodostukseen. Brožek (1996) on huomauttanut, että oppilaiden huomio on hyvä kiinnittää myös veden poistumisen endotermiseen ja veden palautuksen eksotermiseen luonteeseen. Pfundtin tutkittaville tuli kuitenkin selväksi se, että reaktio on käänteinen.

Muitakin aiheeseen liittyviä tutkimuksia on julkaistu. Rodríguez ja Vicente (2002) suunnittelivat yliopiston kemian peruskurssille sopivan laboratoriotyökokonaisuuden kemian peruskäsitteiden opettamiseksi ja käyttivät siinä kuparisulfaattipentahydraatin monipuolisia ominaisuuksia. Silberin (1972) tutkimuksen tavoite oli vastaava kuin edellisillä, mutta toteutus

huomattavasti yksinkertaisempi. Molempien tutkimusten tavoite oli esitellä opetuskokonaisuus epäorgaanisten käsitteiden ja kemiallisten perustutkimusmenetelmien opettamiseksi.

Kemian oppimisen kontekstissa palautuvia reaktioita ei kuitenkaan ole tutkittu juuri tämän yleisemmin. Muutamat aiheesta tehdyt tutkimukset keskittyvät ensisijaisesti yliopistotasoiseen reaktiokinetiikkaan ja sen opettamiseen (Batts ym. 1977; Volk ym. 1977; King 1986; Zielinski 1995). Niistä vain Zielinskin tutkimusote on lähempänä modernia didaktisen kemian tutkimusta. Toisaalta myös Zielinskin tutkimus keskittyy yliopistotason reaktiokinetiikan opettamiseen ja Mathcad-ohjelman käyttämiseen korkeampien ajattelutoimintojen opettamisessa (HOT-skills so. Higher Order Thinking skills).

5.2.2.2 Aikaisempia tutkimuksia tasapainoreaktioista

Palautuvalla reaktiolla on yhtäläisyyksiä tasapainoreaktion kanssa, sillä molemmissa reaktioissa lähtöaineet muuttuvat reaktiotuotteiksi ja reaktiotuotteet voivat palautua alkuperäisiksi. Kemiallisen tasapainon käsitettä pidetään oppimiselle hyvin haasteellisena, koska käsitteen muodostumisessa yhdistyy usean tutkimussuunnan vuosikymmenien tieto (Quilez-Pardo & Solaz-Poroles 1995). Kemiallista tasapainoa kuvataan yleensä tasapainovakion avulla, joten edellisen lisäksi syynä omaksumisen vaikeuteen on myös käsitteen matemaattinen esitysmuoto (Tomas & Schwenz 1998).

Sekä kemiallisen tasapainon että tasapainovakion matemaattisen esitysmuodon takia on pidetty perusteltuna, ettei aihetta opetettaisi ennen kuin oppilaat ovat saavuttaneet formaalin ajattelun tason. Käsitteen ensivaiheen opetuksessa olisi syytä pitäytyä konkreeteissa esimerkeissä. (Huddlen & Pillay 1996.)

Osasyynä oppimisen ongelmiin on se, että tasapainon käsite liittyy moniin arkipäiväisiin käsitteisiin, joilla on aivan toisen tyyppinen merkitys, kuten “siirtyä”, “yhtäsuuruus” tai “fysikaalinen tasapaino” (Bergquist & Heikkinen 1990).

Oppilailla on todettu vastaavatyypisiä hankaluuksia ilmiön haltuun ottamisessa kuin ilmiötä ensivaiheessa tutkineilla tiedemiehillä 1800-luvulla. Muun muassa käänteisen reaktion mahdollisuus ja palautuvan reaktion samanaikaisuus oli ristiriidassa vallitsevan käsityksen kanssa (van Driel 1998). Toisaalta oppilaiden selitykset ilmiön syy-seuraussuhteille perustuvat naiiveihin teorioihin ja intuitioon, kun taas tiedemiehet tukeutuivat selityksissään aineen hiukkasrakenteeseen ja kineettiseen malliin.

Oppimisen ongelmat ilmenevät käytännössä siten, etteivät opiskelijat ole kovinkaan hyvin perillä kemiallisen tasapainon dynaamisesta luonteesta (Gussarsky & Gorodetsky 1990). Opiskelijat ovat taipuvaisia käsittämään tasapainoreaktion systeemiksi, jossa etenevä reaktion

tapahtuu ensin täydellisesti ja käänteinen reaktio alkaa vasta tämän jälkeen (Wheeler & Kass 1978; Bergquist & Heikkinen 1990). Sama virhekäsitys voi ilmetä myös siten, että opiskelijat kuvittelevat reaktioyhtälön eri puolien voivan toimia tasapainotilanteessakin toisistaan riippumatta (Hackling & Garnett 1985). Virheellinen käsitys on johtanut siihen, etteivät opiskelijat juuri tee eroa "loppuun asti" menevien ja tasapainoreaktioiden välillä (Wheeler & Kass 1978).

Vertailtaessa kemiallista tasapainoa käsittelevien tutkimusten tuloksia Pfundtin (em.) tutkimukseen ensimmäinen huomio on se, että palautuvien reaktioiden esimerkkinä käytetty kuparisulfaatin kideveden poistuminen saattaa lisätä kemiallisten tasapainoon liittyviä virhekäsityksiä. Kuparisulfaatin kideveden poistuminen toteutetaan usein nimittäin siten, että reaktion annetaan edetä ensin toiseen suuntaan niin täydellisenä kuin mahdollista ja vasta sitten suoritetaan käänteinen reaktio. Yrittäessään soveltaa tällaista ajattelumallia selittäessään itselleen kemiallisen tasapainon käsitettä oppilas saattaa päätyä virhekäsitykseen kemiallisen tasapainon oskilloivasta luonteesta. Opiskelijoille tulisi siten tehdä tietäväksi, että vaikka "palautuva reaktio" ja "tasapainoreaktio" muistuttavatkin toisiaan monelta osin, niiden perusero on tasapainoreaktion dynaamisessa luonteessa.

5.3 Raudan palaminen

5.3.1 Raudan palaminen kemiallisena ilmiönä

Rauta on maakuoren toiseksi yleisin alkuaine. Se on suhteellisen helposti rikastettavissa ja muokattavissa yksinkertaisin työvälinein, ja sen seoksilla on keskeinen maailmantaloudellinen merkitys esimerkiksi kuva- ja äänitallennemateriaalien osana. Rauta osallistuu biokemiallisiin elintoimintoihimme, sen rikastamiseen ja muokkaamiseen liittyy monipuolista teollisuutta ja siitä valmistettavat hyödykkeet ovat helpottaneet jokapäiväistä elämäämme monilla eri tavoilla jo niin pitkään, että ainetta pidetään itsestään selvänä osana jokapäiväistä elämäämme. Rautaa uskotaan esiintyvän suurina pitoisuuksina maapallon ytimessä, jossa sen virtausten katsotaan synnyttävän maapallon magneettikentän.

Hapettumis-pelkistymisilmiön konkreetti ilmenemismuoto eli palamisilmiö on kiehtonut ihmismieltä vuosituhansia. Yksityiskohtaisesti tarkasteltuna palamisilmiö on hyvin

monimutkainen prosessi, joten ei ollut yllätys, että ilmiön selittämisessä liikuttiin pitkään harhapoluilla flogiston-teorian parissa.

Flogiston-teorian mukaan (Pauling 1953, 120–122; Selwood 1965, 119–123; Oldroyd 1972; Bernhaim 1976; Brown & Dronsfield 1991; Hudson 1995, 80–82; Silberberg 1996, 7–11; Irvin 1997) palamisilmiö edellytti flogistonia, joka oli palamistapahtumasta riippuen joko vapaa tai sitoutunut hiukkanen, tai ainetta, jolla oli massa tai jolla oli negatiivinen massa tai jolla ei ollut ollenkaan massaa. Joissain tapauksissa flogiston oli aineetonta ja kykeni läpäisemään astian seinämän kuten säteily. Flogiston-teorialla onnistuttiin selittämään monia palamisilmiöitä loogisesti, mutta teoriassa oli muutama ratkaiseva sisäinen ristiriita, joihin se lopulta kaatuikin.

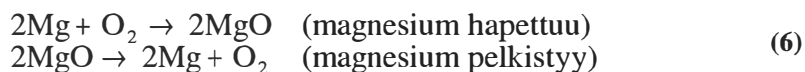
Yksi kiistellyimmistä tapahtumista oli joidenkin metallien palamisessa havaittu reaktiotuotteen massan kasvu. Flogiston-teorian mukaan palavasta metallista tulisi poistua flogistonia, jolloin jäljelle jäisi alkuperäistä yhdistettä keveämpi ja tuhkamainen reaktiotuote. Tutkimukset kuitenkin osoittivat teoreettisen oletuksen ja kokeellisen havainnon välisen ristiriidan. Flogiston-teorian kannattajat pitivät tätä osoituksena flogistonin negatiivisesta massasta, mutta oli vain ajan kysymys, milloin flogiston-teoria hylättäisiin.

Lavoisierin 1800-luvun alussa suorittamat kokeet elohopeaoksidilla olivat merkittävä virstanpylväs flogiston-teorian hylkäämisen kannalta. Näillä kokeilla hän kykeni sekä valmistamaan deflogistoitunutta ilmaa (eli happea) että toisaalta osoittamaan metallioksidien muodostuvan metallin ja tietyn ilmassa olevan komponentin (eli hapen) reagoidessa keskenään.

Palamisilmiön selittäjänä ollut flogiston-teoria korvautui happeen perustuvalla teorialla, josta on johdettu myös palamisilmiön yläkäsitteet hapettuminen ja pelkistyminen. Historiallisesti on ironista, että palamisilmiön selittäjä happi ja siihen perustuva ilmiön nimeämisperinne tulisi aiheuttamaan monia oppimisen ongelmia.

Palamisilmiössä tapahtuvien muutosten nimeäminen hapettumiseksi ja pelkistymiseksi ovat omiaan lisäämään ilmiöön liittyviä virheellisiä yleistyksiä. Käsitteiden nimien perusteella palaminen ja hapettuminen käsitetään konkreettisesti ja lähes yksinomaan aineen yhtymiseksi happeen.

Nimeämisperinne juontuu Lavoisierin happiteoriasta, jossa hapettuminen käsitettiin kirjaimellisesti aineen ja hapen väliseksi reaktioksi ja pelkistyminen tälle vastakkaiseksi tapahtumaksi. Esimerkiksi:

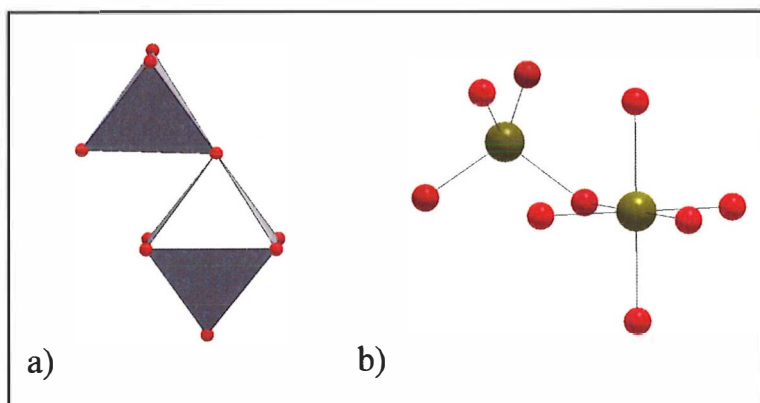


Melko pian ymmärrettiin myös se, ettei hapettumis-pelkistymisilmiö ollut näin yksinkertainen tapahtuma, sillä magnesium saatiin palamaan myös sellaisissa olosuhteissa, joissa happi oli sitoutuneena toisen alkuaineen kanssa tai sitä ei ollut läsnä ollenkaan.

Moderni kemian teoria selittää raudan palamisen käyttämällä klassisia hapettumis- ja pelkistymis-käsitteitä. Raudan palaessa rauta-atomit reagoivat ilman happimolekyylien kanssa siten, että reaktion lopputuotoksena syntyy raudan oksideja.

Molaarisella tasolla tarkasteltuna raudan palaminen on yleinen ja helposti tunnistettava luonnonilmiö, joista tutuin lienee ruostuminen. Raudan kolme yleisintä hapetustuotetta ovat rauta(II)-, rauta(III)- ja rauta(II)rauta(III)oksidit. Molekulaarisella tasolla raudan palaminen kytkeytyy yksiselitteisesti hapettumis-pelkistymisilmiöön.

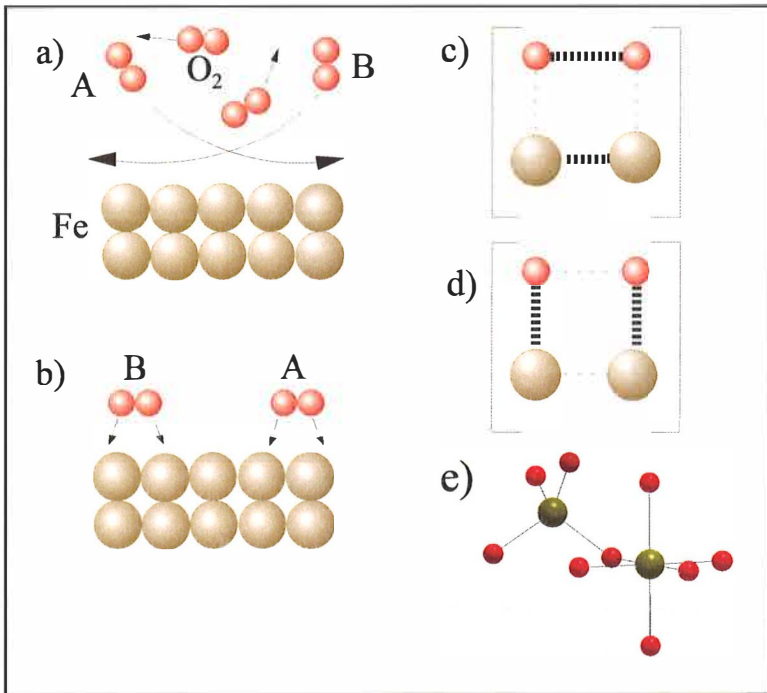
Tämän tutkimuksen mukaisessa koeasetelmassa (ks. luku 8) raudan palaessa tapahtuu rauta-atomien ja happimolekyylien välinen hapettumis-pelkistymisreaktio ja reaktiotuotteena syntyy rauta(II)rauta(III)oksidia (Fe_3O_4) (vrt. esim. Remy 1956, 275; Holtzclaw ym.1991, 884) Syntynyt reaktiotuote on väriltään mustaa ja sitä esiintyy myös luonnon mineraaleista magnetiitissa. Kiderakenteessa Fe(II)-ionit asettuvat oktaedrisin väli tiloihin ja Fe(III)-ionit puoliksi tetraedrisiin ja puoliksi oktaedrisiin väli tiloihin happi-ionien muodostamassa kuutiollisessa hilassa (kuvio 23).



Kuvio 23. Fe_3O_4 :n kidehila havainnollistettuna a) monitahokas mallilla b) pallotikkumallilla.

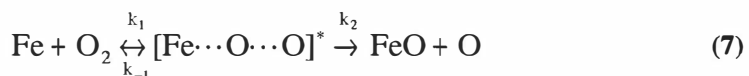
Kuvio 24 havainnollistaa raudan palamisen molekulaarisen tason tapahtumia. Ennen reaktion alkamista rauta-atomien ja happimolekyylien välillä esiintyy vain vähäistä vuorovaikutusta. Kun reaktio-olosuhteita muutetaan lämpötilaa nostamalla, rauta-atomien ja happimolekyylien vuorovaikutus lisääntyy. Lämpötilan nostaminen aiheuttaa sen, että tilastollisesti yhä useampi lähtöaineiden törmäys johtaa reaktiotuotteiden muodostumiseen (kuvio 24a).

Kuvio 24b havainnollistaa tilannetta, jossa rauta-atomeja lähestyneiden happimolekyylien A ja B sekä rauta-atomien välinen vuorovaikutus on kasvanut. Sähköinen vuorovaikutus rauta-atomien ja happimolekyylien elektronipilvien välillä lisääntyy, mikä johtaa transiitotilan syntymiseen. Transiitotila aiheuttaa muutoksia lähtöaineiden elektronipilvissä ja mahdollistaa elektronin siirtymisreaktioita. Transiitotilassa tapahtuu myös atomien uudelleenryhmittymistä. Samalla kun lähtöaineiden atomien keskinäiset sidokset alkavat heiketä ilmenee lähtöaineiden välillä puolestaan sidoksen muodostumista (kuviot 24c ja 24d). Transiitotilasta reaktio voi edetä sekä lähtöaineiden että reaktiotuotteiden suuntaan. Suotuisassa tilanteessa reaktio etenee reaktiotuotteiden suuntaan muodostaen kiteistä rauta(II)rauta(III)oksidia (kuvio 24e).

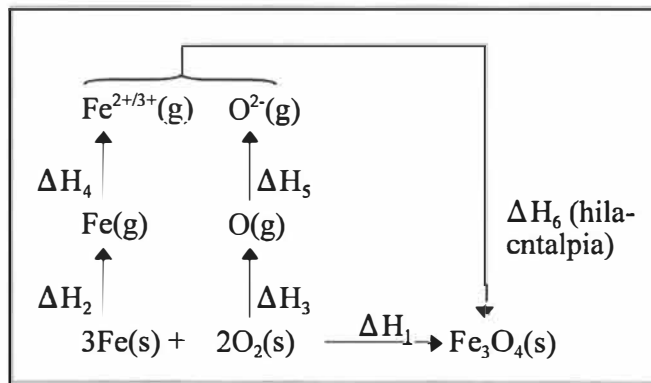


Kuvio 24. Raudan palamisen molekulaarisen tason malli: a) Lähtöaineatomien väliset törmäykset voivat johtavat siihen, että b) atomien välinen vuorovaikutus kasvaa. Suotuisat törmäykset johtavat transiitotilaan, jossa c) lähtöaineatomien keskinäiset sidokset heikkenevät ja d) lähtöaineatomien välillä ilmenee sidoksen muodostumista. Lopputuotteena muodostuu e) kiinteää rauta(II)rauta(III)oksidia (Fe_3O_4).

Kuvion 24 tapahtumat voidaan kuvata myös reaktioyhtälön avulla, mutta yksinkertaisuuden vuoksi esitetään rauta(II)oksidin muodostuminen.



Reaktiota voidaan tarkastella myös Born-Harber-syklin avulla, jolloin huomio kiinnittyy reaktiokinetiikan sijaan termodynamiikkaan. Raudan palaminen voidaan esittää kuvion 25 mukaisella energiakaaviolla. Energiakaaviossa ΔH_1 ilmoittaa raudan ja hapen välisen reaktion entalpian. Tämä voidaan määrittää kokeellisesti tai laskea käyttämällä kirjallisuusarvoja, jolloin on tunnettava myös muiden entalpioiden arvot (ΔH_{1-6}). ΔH_2 ja ΔH_3 kuvaavat lähtöaineiden atomisoimiseen ja ΔH_4 ja ΔH_5 näiden kaasumaisten atomien ionisoimiseen tarvittavan energian määrää. ΔH_6 on ionimuodossa olevien lähtöaineiden liittymisen ja ionihilaksi järjestäytymisen tuotoksena vapautuvan energian määrä. Toisaalta monille yhdisteille on taulukoitu muodostumisentalpoiden lukuarvoja. Tässä yhteydessä muodostumisentalpian käyttö olisi varsin järkevää, sillä lähtöaineet ovat standardiolosuhteissa alkuainemuodoissaan ja reaktioentalpia on suoraan Fe_3O_4 :n muodostumisentapia ($-1118,4\text{kJ/mol}$).



Kuvio 25. Raudan palamisen Born-Harber-sykli.

Termodynamiikka tuottaa myös reaktiokinetiikan kannalta olennaista tietoa. Olettakaamme rauta-atomien ja happimolekyylien törmäyksen aiheuttavan lähtöaineatomien keskinäisten sidosten täydellisen katkeamisen ja vapaiden atomien ionisoitumisen. Seuraavaksi vapaat ionit ryhmittäisivät uudelleen ja muodostaisivat reaktiotuotetta. Kollisioenergia ei kuitenkaan aina riitä saamaan aikaan tällaista lähtöaineiden atomi- ja ionisoitumista, joten reaktion on oletettu kulkevan jotain vaihtoehtoista reaktiomekanismia pitkin eli esimerkiksi transiitilan kautta. Transiitilan todistuksena voidaan pitää esimerkiksi sitä, että monien reaktioiden aktivoitumisenergiat ovat huomattavasti reaktioon osallistuvien komponenttien dissosioitumisenergioita pienempiä.

5.3.2 Oppijoiden käsityksiä raudan palamisesta

Oppilaiden käsityksiä palamisesta on tutkittu jo pitkään. Tutkimuskohteena ovat olleet perusasteen, toisen asteen ja korkea-asteen opiskelijat sekä opettajat. Virhekäsitykset ovat osoittautuneet varsin pysyviksi. Opiskelijat käsittävät palamisen hyvin eri tavalla kuin mikä on siitä vallitseva tieteellinen käsitys.

Palamisilmiön tuttuuden vuoksi se ehkä kuvitellaan helpommaksi opettaa, kuin se todellisuudessa on. Palamisilmiön selittäminen ilman atomin, elektronin, molekyylin tai energian käsitteitä on todellinen haaste niin alaluokkien kuin yliopiston opettajillekin.

5.3.2.1 Opiskelijoiden käsityksiä palamisilmiöstä

Opiskelijoiden käsitykset palamisilmiöstä ovat usein tapauskohtaista yksittäistietoa ja monelta osin virheellisiä vallitsevaan tieteelliseen käsitykseen verrattuna (de Jong ym. 1999). Syiksi on esitetty muun muassa sitä, että opiskelijoiden selitykset liittyvät usein ilmiön silmin havaittaviin piirteisiin (BouJaoude 1991), opiskelijoiden käsityksiin vaikuttavat suurelta osin ilmiöstä arkielämän yhteydessä tehdyt havainnot (Watson & Dillon 1996) ja ilmiön perusluonteen ja syy-seuraussuhteiden selitysten yhteydessä käytetyt käsitteet aiheuttavat väärää assosiaatioita (Basili 1989; Rahayu & Tytler 1999). Ilmiön selittäminen opiskelijoiden tietoja vastaavalla tasolla on sitä suurempi haaste, mitä nuoremasta, kokemattommasta ja vähemmin teoreettisin tiedoin hallitsevasta oppilaasta on kyse. Oppikirjoissa ilmenevät virheet lisäävät opetuksen haasteita entisestään. Vielä paljon vakavamman huolen aiheuttavat tieteellisissä artikkeleissa ilmenevät virheet (Birk & Lawson 1999; Vitz 2000).

Ilmiön perushahmotuksen suurin ongelma on lähtöaineiden välisen vuorovaikutuksen luonteen kirkastaminen oppijoille. Monet perusopetuksen oppilaat kuvittelevat, ettei hapen ja aineen välillä ilmene vuorovaikutusta, vaikka tietävät hapen olevan olennainen osa palamisilmiötä (Meheut ym. 1985). Meheutin mukaan perushahmotuksen ongelma ilmenee myös siten, että oppilaat voivat ymmärtää aineen muuttuvan palamisreaktiossa toiseksi aineeksi, mutta siten, että kukin aine muuttuu itsenäisesti ja muista riippumatta. Vaikuttaa siis siltä, että oppijat saattavat käsittää hapen roolin ikään kuin reaktion katalysaattoriksi.

Oppilaat eivät yleensä kykene tuottamaan kattavaa palamisilmiön selitystä. He käyttävät selityksiensä yhteydessä usein fraaseja, kuten "kemiallinen/fysikaalinen muutos", eivätkä juuri tee eroa fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön välillä (BouJaoude 1991). Esimerkiksi suurin osa perusopetuksen yläluokkien ikäisistä oppilaista käsitti rautavillan palamisen johtuvan fysikaalisista muutoksista. Fysikaalisiin ilmiöihin perustuvien selitysten määrä tosin vähenee

siirryttäessä kuudennelta yhdeksännelle luokalla, mutta vielä yhdeksännelläkin luokalla niiden määrä oli suhteellisesti runsaampi kuin kemialliseen reaktioon perustuvien selitysten määrä. (Andersson & Renström 1981b.) Virhekäsitysten syy on aineen olomuodon ja koostumuksen käsitteiden sekoittuminen. Sekoittumisen syyksi on esitetty sitä, että aineen koostumuksen käsite on abstraktimpi kuin aineen olomuodon käsite (Andersson & Renström 1981b).

Se, että kaasumaiset lähtöaineet tai reaktiotuotteet osallistuvat reaktioon, on todettu vaikeaksi oppia (Hesse & Anderson 1992). Koska oppilaat tukeutuvat usein vain silmin havaittaviin todisteisiin, “näkyvämmillä” kaasulla ei mielletä olevan merkittävää roolia palamisilmiössä tai sen vaikutus ilmenee “massan pienenemisenä”. Toisaalta, kun oppilaita pyydettiin kuvaamaan palamisilmiön reaktiotuotteiden luonnetta, suurin osa oppilaista selitti palavien aineiden tuottavan prosessissa kaasumaisia aineita (Watson & Dillon 1996). Brooks ja Driverin (Prieto ym. 1992) mukaan 16-vuotiaista opiskelijoista 75 % kuvitteli, että ilma on massatonta tai että sillä on negatiivinen massa. Yhtäläisyydet flogiston-teorian taustalla oleviin virhekäsityksiin ovat tältä osin hyvin ilmeiset, ja kaasumaisten aineiden osallistuminen palamisreaktioon näyttää generoivan yleisen virhekäsityksen massan pienenemisestä palamisilmiössä.

Raudan tai kynttilän palamisilmiöissä tapauksessa käsityksen muodostuksen prosessiin ja virhekäsitysten syntymiseen näyttää vaikuttavan myös ilmiöön liittyvät valo- ja lämpöilmiöt (de Vos & Verdonk 1986).

Palamisilmiön selitykset kompastuvat usein fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön selitysten sekoittumiseen. Tällöin ajatellaan, että kaikki aineet eivät esimerkiksi pala, vaan niissä tapahtuu ennemminkin jonkintyyppinen sulamis- tai haihtumisilmiö (Meheut ym. 1985; BouJaoude 1991). Palaminen saatetaan käsittää esimerkiksi haihtumisen kaltaiseksi ilmiöksi, jossa esimerkiksi alkoholi palaessaan ei pala, vaan höyrystyy kuten vesi höyrystyy kiehuessa.

Joillakin oppilailla näyttää olevan vakaa uskomus siitä, ettei rauta voi palaa. Jos oppilaalle on näytetty esimerkiksi rautavillan palaminen, hän selittää ilmiön todennäköisesti siten, että rautavillan palaessa jokin muu aine kuin rauta palaa. (Andersson & Renström 1981b).

Myös käsiteassosiaatiovirheet generoivat uusia virhekäsityksiä. Oppilaat saattavat yhdistää arkipäivän termejä palamisilmiöön, jolloin kynttilän esimerkiksi kuvataan “hengittävän” happea palaessaan (Rahayu & Tytler 1999). College-tason opiskelijoilla on todettu ilmenevän oppimisongelmia siksi, että käsitteet “create” ja “destroy” assosioituvat arkipäiväisiin termeihin, mikä haittasi aineen säilymistä kemiallisen reaktion kontekstissa (Basili 1989).

5.3.2.2 Kokeellisuuden merkitys palamisilmiön ymmärtämisessä

De Jongin (1999) tutkimuksessa opettajaksi opiskelevat suunnittelivat palamisilmiön opetuskokonaisuutta. Opiskelijoiden suunnitelmissa oli aloittaa ilmiön opettaminen lähtemällä arkielämästä tutusta ilmiöstä ja esittelemällä myös liekittömän palamisen muotoja sekä kiinnittämällä opiskelijoiden huomio valo- ja lämpöilmiöihin. Oppitunnin orientaatio todettiin modernin oppimisteorian mukaiseksi ja oppimista tukevaksi lähestymistavaksi, mutta suurin osa opiskelijoista ei kuitenkaan tiedostanut täysin oppijoiden ennakkokäsitysten merkitystä ilmiön opettamisessa. Suurin osa opiskelijoista tuntui päinvastoin soveltavan traditionaalista tiedon transferiin perustuvaa opetusmallia, jossa opettajan rooli muistuttaa tiedon jakajaa.

Watson ja Dillon (1996) puolestaan totesivat, että kokeellisella työskentelyllä on lähes olematon vaikutus palamisilmiön ymmärtämiseen. Joukolla kokeellisia töitä, joissa reaktiotuotteena oli kiinteää lopputuotetta, ei näyttänyt olevan vaikutusta oppilaiden vastauksiin. Paljon kokeellista työtä tehneillä oppilailla oli kyllä kattavampi näkemys palamisilmiön edellytyksistä, mutta he eivät osanneet käyttää hyödykseen kokeellisten töiden tuomaa tietoa.

Esimerkkien perusteella voidaan päätellä, että opettajan merkitys oppimisen mahdollisuuksien luojana on keskeinen. Kouluympäristössä hänen tietonsa ja uskomuksensa kokeellisen työskentelyn tarkoituksesta, oppimisen lainalaisuuksista ja oppimisympäristön tarjoamista mahdollisuuksista ovat ratkaisevia. Opettajan tulkinta määrittää puitteet ja rajat myös opiskelijan tulkinnalle roolistaan oppimistilanteessa. Opettajan uskomukset ovat usein tiedostamattomia ja siten vaikuttamassa hänen käsityksiinsä opettajan roolista ja toimintamalleihinsa. Pinnallinen tiedostaminen ja traditionaaliset uskomukset johtavat helposti mekanistiseen, tiettyjä menettelytapoja rutiininomaisesti toistavaan opetukseen. Opettajan syvälinen tietoisuus sitä vastoin luo edellytykset aktiiviselle ja tavoitteelliselle vaikuttamiselle oppijan oppimisprosesseihin. Toisaalta vahvakin tietoisuus voi olla ulkokohtaista, jolloin se painottaa lähinnä materiaalien edellytysten, kuten oppikirjojen, opetusvälineiden ja opettajan välittämän tiedon, merkitystä. Sisäinen orientaatio taas nostaa keskeiseksi sen, mitä opiskelijassa tapahtuu, millaiseen vuorovaikutukseen oppiminen perustuu ja miten näihin prosesseihin voidaan kouluympäristössä vaikuttaa.

Virhekäsitysten alkujuuret voidaan jäljittää havaintojen tulkintaan arkikäsitysten perusteella, opiskelijoiden rajalliseen kykyyn soveltaa omaksumaansa tietoa, ilmiön kuvailussa ja syy-yhteyksien selityksessä käytettyihin kielellisiin ilmaisuihin sekä opettajaksi opiskelevien, opettajien ja tieteellisten artikkelien vaikutuksiin.

Palamisilmiön opettamisessa keskeistä on pohtia, mitä ilmiöllä halutaan opettaa ja millaisessa kontekstissa ilmiö esitetään. Opettajan on syytä kiinnittää huomiota antamiinsa

selityksiin, jotta ne olisivat sisällöllisesti relevantteja sekä selkeästi ja ymmärrettävästi viestittyjä. Opettajan on myös tärkeää tiedostaa oma roolinsa oppimisen mahdollisuuksien luoja.

6 Tutkimusongelmat

Tutkimushankkeessa luotiin hypoteettis-teoreettinen demonstraatio-opetuksen malli, jonka toimivuutta testattiin opetuskokeiluissa. Tutkimusongelman selvittäminen edellytti mallin toimivuuden testaamista kenttäolosuhteissa. Tutkimusongelman muotoiltaessa lähdettiin siitä olettamuksesta, että valtaosa opettajista käyttää demonstraatiota ensisijaisesti lyhyinä ja pelkistävinä eksperimenteinä (vrt. esim. Trowbridge ym. 2000, 215–221). Tässä tutkimuksessa haluttiin luoda uusi, tavanmukaista laajempi ja eheämpi käyttötapa demonstraatiolle. Tällainen demonstraatio on ensisijaisesti asiantuntijan (opettajan) ohjaama koko luokan yhteinen projekti ja interventio luonnonilmiöiden maailmaan luokkaympäristössä. Opettaja toimii eräänlaisena “eräoppaana” luontoon, jossa oppijoilla on mahdollisuus tehdä omia havaintoja ja tulkintoja, mutta joiden oikeellisuutta opettaja kuitenkin alinomaa arvioi, asettaa kyseenalaiseksi ja tarvittaessa ohjaa oikealle polulle.

Uuden tyyppisen luentodemonstraation mallin tavoitteena on myös oppijoiden oppimisprosessin helpottuminen ja nopeutuminen. Mallin toimivuutta arvioitiin määrittämällä kriteerit sille, miten mallin tulisi vaikuttaa oppimiseen. Tutkimuksen toiseksi ongelmiksi muodostuivat siten seuraava kysymys:

2. Miten tutkimuksessa kehitetty demonstraatio-opetuksen malli vaikuttaa opitun asian määrään?

Tässä yhteydessä määrällinen tieto tarkoittaa kutakuinkin samaa kuin “mitä”-tieto (vrt. White 1989, 33; Wellington 1989; White 1996). Mitä-tieto liitettiin opiskelijoiden tekemiin havaintoihin ja niistä kertomiseen, propositionaaliseen logiikkaan opiskelijoiden esittämien väittämien tai määritelmien muodossa ja matemaattisiin algoritmeihin ongelmanratkaisustrategiana. Opiskelija esimerkiksi tiesi, mitä kokeessa tapahtui tai mitä havaittiin ja kertoi havainnoistaan sekä kokemuksistaan. Oppimisen näkökulmasta oli kyse havaintoihin liittyvien muistijälkien hyödyntämisestä tehtävän suorituksessa. Määrällinen tieto saattoi ilmetä opiskelijoiden vastauksissa fakta-tyyppisten väittämien ja määritelmien

esittämisenä. Oppimisen näkökulmasta opiskelija hyödynsi vastauksessaan muistiaan ja siten esimerkiksi muistamaansa yleistä määritelmää. Mitä-tieto ilmeni myös siten, että opiskelija noudatti tai hyödynsi jonkintyyppistä ongelmanratkaisulogiikkaa oikeaan lopputulokseen pääsemiseksi. Tällöin opiskelija käytti päättelyketjua tai ratkaisumallia ilman syvällistä pohdintaa siitä, mitä ratkaisu oikeastaan merkitsi kyseisessä tehtävässä tai oliko ratkaisu järkevä tehtävän asettamien reunaehtojen puitteissa. Nämä määrällisen tiedon ilmenemismuodot eivät luonnollisestikaan riitä kattamaan koko määrälliseen tietoon tai “mitä”-tietoon liittyviä seikkoja. Tässä tutkimuksessa kyseiset sisällöt ovat kuitenkin olennaisimmat tarkastelunäkökulmat.

3. Miten tutkimuksessa kehitetty demonstraatio-opetuksen malli vaikuttaa opitun asian laatuun?

Opitun asian laadulla tarkoitetaan tässä kutakuinkin samaa kuin “miksi”-tiedolla (vrt. White 1989, 33; Wellington 1989; White 1996; White & Gunstone 1996, 12–14). Laadullinen osaaminen liittyi havaintojen selityksiin, välttämien tai määritelmien perusteltuun käyttöön ja suunnitelmalliseen matemaattisten algoritmien käyttöön. Opetuksen vaikutus opitun laatuun arvioitiin niiden selitysten perusteella, joita opiskelijat esittivät havaitsemiensa luonnonilmiöiden syy-seuraussuhteista. Laadullinen osaaminen saattoi siten ilmetä esimerkiksi fakta-tyyppisten tietojen verkottumisena tai vastauksen merkityksen analyysinä. Opiskelija esimerkiksi saattoi pohtia vastauksensa merkitystä asetetun ongelman ja sen reunaehtojen suhteen tai niitä perusteluita, joiden avulla hän oli päätenyt ratkaisuunsa. Työtavan vaikutusta oppimiseen tarkasteltiin erityisesti luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisen yhteyden muodostumisen näkökulmasta. Relevantin yhteyden ilmentymänä pidettiin muun muassa väärinymmärrysten poisoppimista ja kemiallisten sisältöjen ymmärtämistä väittämälogiikkaa syvällisemmin.

7 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen tiedonhankinta toteutettiin opetuskokeiluna, jolla etsittiin tietoa hypoteettis-teoreettisen demonstraatio-opetuksen mallin toimivuudesta lukion kemian opetuksessa. Tutkimuskohteena olivat opettajat ja oppijat. Aineisto hankittiin käyttäen useita erilaisia aineistonkeruumenetelmiä. Tutkimusaineisto koostuu oppijoiden ja opettajien kirjoittamista päiväkirjoista, haastatteluista, videonauhoituksista, puolistrukturoiduista kyselylomakkeista, kognitiivisista testeistä ja kurssikokeista. Aineiston hankinnassa ja analyysissä noudatettiin pääosin laadullisen tutkimuksen menetelmiä.

7.1 Kohdejoukon valinta ja ominaispiirteet

7.1.1 Kokeiluopetusryhmät

Tutkimukseen osallistui tutkimuksen vastuullisen tutkijan lisäksi yksi tutkimuskoulun opettajista. Molemmat opettajat ovat valmistuneet samasta yliopistosta pääaineenaan kemia. Sekä tutkijan että tutkimuskoulun opettajan opetustehtävänä oli ensisijaisesti lukion kemian opettaminen, ja heillä kummallakin oli noin yhden vuoden opettajakokemus. Tutkimuskoulun opettaja valinnan ratkaisi se, että hänellä oli opetettavanaan kemian kurssi sellaisena ajankohtana, että se sopi tutkimuksen muuhun aikatauluun.

Kokeiluopetukseen osallistui 57 lukion ensimmäisen vuoden opiskelijaa Jyväskylän Cygnaeus-lukiosta. Opetusryhmät valittiin sen mukaan, mistä koulusta oli tutkimuksen suorittamishetkellä mahdollista saada tutkimusryhmiä. Tutkimuksen kuluessa oltiin yhteydessä myös muihin kouluihin, mutta vain yhden koulun kurssitarjonta sopi tutkimuksen aikatauluun. Oppijat opiskelivat kahdessa eri opetusryhmässä, joissa oli 27 ja 30 opiskelijaa. Näistä ensiksi

mainittu sai opetusta syyslukukaudella 1999–2000 ja jälkimmäinen kevätlukukaudella 1999–2000. Kaikki opiskelijat olivat 15–16 vuoden ikäisiä.

Opiskelijat olivat valikoituneet Cygnaeus-lukioon alueellisten ja henkilökohtaisten mieltymystensä perusteella.

Opiskelijat valikoituvat tutkimusryhmiin ensisijaisesti sen perusteella, mihin oppilaitokseen he olivat hakeutuneet ja toiseksi sen perusteella, minkä opetusryhmän he kurssitarjonnasta olivat valinneet. Edelliseen oli vaikuttamassa ennen kaikkea aikaisempi koulumenestys, jälkimmäiseen opintojen edistyminen ja opiskelijatoverit.

Tutkimusryhmiin osallistuneet opiskelijat olivat päättäneet osallistua kyseisille kursseille omien opintosuunnitelmiansa mukaisena ajankohtana, eikä opiskelijoiden valinnassa siis käytetty satunnaisotantaa. Molemmat opiskelijaryhmät olisivat pysyneet ennallaan riippumatta siitä, osallistuivatko ryhmät tutkimukseen vai ei.

7.1.2 Vertailuopetusryhmät

Tässä tutkimuksessa kehitetyn demonstraatio-opetuksen mallin toimivuutta verrattiin kenttäolosuhteissa ns. tavanomaiseen opetukseen. Tutkimusten aikana oltiin yhteydessä Jyväskylän kaupungin ja maalaiskunnan lukioihin, mutta vain muutaman koulun kurssijärjestykset sopivat tutkimuksen aikatauluun. Tutkimusta päästiin kuitenkin toteuttamaan yhdessä kaupungin ja yhdessä maalaiskunnan lukiossa, joista kummastakin saatiin yksi vertailuryhmä. Vertailuryhmiä saatiin siten yhteensä neljä: kaksi tutkimusyhteistyökoulusta ja kaksi sen ulkopuolisista kouluista. Vertailuryhmien opetukseen osallistui 99 lukion ensimmäisen vuoden opiskelijaa.

Vertailuryhmän opettajille annettiin ohje toteuttaa opetustaan normaaliin tapaan. Ainoat muutokset arkipäivän rutiineihin olivat tutkimuslomakkeiden täyttö, muutamien opiskelijoiden ja opettajan pitämä oppimispäiväkirja sekä kurssin lopussa suoritettut haastattelut.

Tutkittavaksi ilmiöksi vertailuryhmien osalta valittiin rautavillan palaminen. Vertailuryhmille esitettiin samat palamista koskevat kysymykset kurssin alussa ja lopussa kuin kokeiluopetuksessa olleille ryhmille oltiin esitetty.

7.2 *Kemian kurssi*

Tutkimuksen interventiot suoritettiin kaikille yhteisellä ja pakollisella kemian kurssilla, jonka sisältö rakentuu yleisestä ja epäorgaanisesta kemiasta. Yhden kurssin laskennallinen laajuus on 38 tuntia, joista kontaktiopetukselle jäi käytännössä aikaa noin 30 tuntia.

Opiskelijoiden edellytetään hallitsevan Kemia 1-kurssin jälkeen lukion opetussuunnitelman perusteiden yleisen osan mukaan mm. seuraavia asioita:

“Vahvistetaan ja syvennetään aiemmin opittujen kemian perusteiden ymmärtämistä sekä käytännön elämään liittyvien kemiallisten ilmiöiden ja aineiden tuntemista. Tutustutaan kemian sovelluksiin ja merkitykseen yhteiskunnassa keskittyen muutamaa teemaan, esimerkiksi tärkeimpien aineiden kiertoon luonnossa tai energiatuotannon kemiaan. Kehitetään kokeellisen työskentelyn, tiedonhankinnan ja -käsittelyn taitojen ja tietojen, esittämisessä tarvittavia valmiuksia.” (LOPS 1994, 80)

Kurssin keskeisimpinä tavoitteena oli siten kemiallisten ilmiöiden ja aineen ominaisuuksien selittäminen aineen rakenteen ja sidosten avulla.

7.3 *Aineiston hankinta*

Tutkimusongelmiin vastaaminen edellytti monipuolista tiedonhankintaa erilaisilla tiedonkeruumenetelmillä. Aineistoa kerättiin kurssien eri vaiheessa sen mukaan, minkä tyyppistä aineistoa oltiin keräämässä ja mihin tiettyyn tutkimusongelmaan vastaamiseksi aineistoa kulloinkin kerättiin. Esimerkiksi päiväkirja-aineistoa kerättiin koko kurssin ajan.

Tutkimusinterventio suoritettiin kaikille yhteisellä ja pakollisella lukion kemian kurssilla, koska näin menetellen voitiin tutkia heterogeenisempaa opiskelijajoukkoa kuin muiden kurssien osalta olisi ollut mahdollista. Muut lukion kemian kurssit ovat vapaavalintaisia, joten niiden opiskelijajoukko on valikoituneempaa. Menettelyllä pyrittiin laajentamaan tulosten yleistettävyyttä ja lisäämään niiden sovellusarvoa opetuksen kehittämisessä.

Aineistoa hankittiin kognitiivisella testillä (liite 1), puolistrukturoidulla kyselylomakkeella (liite 2), haastatteluilla, videoinnilla, kurssikokeella (liite 3) ja päiväkirjoilla (liite 4). Kurssin lopussa esitettiin sama kognitiivinen testi kuin kurssin alussa (Liite 1).

Kognitiivinen testi käsitti 10 tosi-epätosi-väittämää ja mittauskerran mukaan kolme tai useampia avoimia ongelmaratkaisutehtäviä. Tehtävissä kysyttiin opiskelijoiden käsityksiä liukenemisesta, kemiallisesta reaktiosta, palamisesta sekä moolimassan ja konsentraation käsitteestä. Samalla lomakkeella kysyttiin myös opiskelijoiden aikaisempaa kurssimenestystä kemiassa, fysiikassa, matematiikassa, liikunnassa ja englannin kielessä. Kurssin alussa testiin osallistui 23 (N=27) ryhmän 1 opiskelijaa ja kurssin lopussa 26. Ryhmässä 2 kaikki 30 (N=30) opiskelijaa osallistuivat testiin sekä kurssin alussa että sen lopussa. Kurssin alussa testiin osallistui 17 (N=18) vertailuryhmän 1 opiskelijaa ja kurssin lopussa 18. Vertailuryhmässä 2 kaikki 39 (N=39) opiskelijaa osallistui testiin, kurssin lopussa sen sijaan yksi opiskelija vähemmän. Vertailuryhmissä 3 (N=29) ja 4 (N=13) kaikki opiskelijat osallistuivat testiin sekä kurssin alussa että sen lopussa.

Puolistrukturoidulla kyselylomakkeella tiedusteltiin opiskelijoiden ajatuksia kokeellisesta opetuksesta. Kysymyksillä tavoiteltiin lisäinformaatiota, joka täydentäisi opiskelijoiden päiväkirjoihin kirjaamia ajatuksia demonstraation opetusvaikutuksesta. Toisaalta tällä lomakkeella pyrittiin selvittämään myös niiden opiskelijoiden ajatuksia, jotka eivät pitäneet päiväkirjaa eivätkä mahdollisesti osallistuisi haastatteluihinkaan.

Haastatteluilla haluttiin saada syvällisempää tietoa opiskelijoiden kognitiivisen testin vastauksista ja perusteluja niille. Opiskelijoilta oli kurssin alussa tiedusteltu halukkuutta osallistua kurssin lopussa suoritettavaan haastatteluun. Ensimmäisen ryhmästä arvottiin kaksi henkilöä haastatteluun halukkaiden joukosta, ja tämän jälkeen kaikilta muiltakin kuin halukkailta tiedusteltiin haluaisiko joku osallistua haastatteluun. Ryhmästä 1 haastatteluihin osallistui kaksi opiskelijaa, ja heitä haastateltiin erikseen. Ryhmästä 2 haastatteluihin osallistui viisi opiskelijaa, joista kahta haastateltiin yhtä aikaa, muita kolmea erikseen. Haastatteluissa opiskelija ja haastattelija kävivät yhdessä läpi opiskelijan vastaukset kognitiivisen testin kysymyksiin ja opiskelijalle tarjottiin mahdollisuus täydentää vastauksiaan sekä selvittää vastaukseen johtaneita ajatuksia. Näin ollen haastattelu toteutui puolistrukturoidun haastattelun periaatteiden mukaisena (Fontana & Frey 1994)

Kurssin alussa muutamaa vapaaehtoista opiskelijaa pyydettiin pitämään kurssin aikana oppimispäiväkirjaa. Ryhmässä 1 päiväkirjaa kirjoitti kuusi opiskelijaa: yksi poika ja yksi tyttö itsenäisesti sekä kahden pojan ja kahden tytön muodostamat työparit. Ryhmästä 2 päiväkirjaa kirjoitti 11 opiskelijaa (kuusi poikaa, viisi tyttöä), joista pojat kirjoittivat pareittain ja tytöt itsenäisesti. Kummassakin opiskelijaryhmässä parit muodostuivat opiskelijälähtöisesti ja vapaavalintaisesti. Oppimispäiväkirjaan pyydettiin kuvailemaan oppituntien kulkua, oppitunnilla käsiteltävää aihetta, mitä he tunnilla olivat tai eivät olleet oppineet, mikä oppimistapahtumaa oli heidän mukaansa edistänyt tai hidastanut sekä omaa, opettajan ja luokan yleistä tunnelmaa,

oppimismyönteisyyttä ja yleistä ilmapiiriä. Myös tutkimusryhmien opettajia pyydettiin pitämään vastaavan tyyppistä tuntipäiväkirjaa. Opiskelijoita ja opettajia pyydettiin kirjaamaan havaintonsa erityisesti siitä, miten kokeellinen työskentely sujui, mitä siitä opittiin tai oli tarkoitus oppia sekä miten kokeellinen työ oli auttanut oppimaan kemiallisia ilmiöitä, suureita, lakeja, teorioita tai sovelluksia.

Opetustunteja videoitiin, minkä tarkoituksena oli täydentää opettajan ja opiskelijoiden päiväkirjamerkintöjä. Video oli asetettu luokkaan siten, ettei se häiritsisi oppitunnin kulkua. Videokamera kuvasi joko luokan sivusta tai takaosasta koko luokkatilaa, mutta kuitenkin niin, että opiskelijoiden ilmeet ja puhe tallentuivat mahdollisimman hyvin. Videokuvauksen aiheuttamaa sosiaalista painetta pyrittiin vähentämään siten, että kameraa käytettiin systemaattisesti jokaisella oppitunnilla, jolloin se muodostui luonnolliseksi osaksi luokkahuoneen kalustoa. On selvää, että videokuvaus aiheuttaa opiskelijoiden muutoksia opiskelijoiden käyttäytymisessä, mutta vastaavanlaisen häiriön aiheuttaa myös ulkopuolinen observoija (vrt. Uusikylä 1979, 51–56; Weade & Evertson 1991)

Ryhmille pidettiin osittain sama kurssikoe. Osa kurssikokeen kysymyksistä toimi tutkimuksen mittareina. Tutkimuksen kannalta olennaisiin kysymyksiin vastasi 25 ryhmän 1 (N=27) ja 16 ryhmän 2 (N=30) opiskelijaa. Palamisilmiön osalta tutkimuksen kannalta olennaisiin kysymyksiin vastasi 13 vertailuryhmän 1 (N=18) sekä kaikki vertailuryhmän 2 (N=39), vertailuryhmän 3 (N=29) ja vertailuryhmän 4 (N=13) opiskelijat. Kysymyksillä pyrittiin arvioimaan demonstraation opetusvaikutusta tietyyntyyppisin kysymyksenasetteluin ja niitä tarkastellaan yksityiskohtaisemmin seuraavissa luvuissa.

7.4 Aineiston valikoinnin periaatteet

Aineiston valinnan periaatteet kytkeytyvät läheisesti tutkimusongelmiin ja ennen kaikkea aineiston kykyyn vastata tutkimusongelmiin. Koska aineistoa oli kerätty monilla eri menetelmillä ja monilta eri henkilöiltä, aineistoa oli tiettyyn ongelmaan vastaamiseksi monissa eri muodoissa.

Luvuissa yksi ja viisi esitetyt tutkimusongelmat kytkeytyvät toisiinsa tiiviisti tavalla, jossa yhteen ongelmaan vastaaminen tuottaa tietoa ja mahdollisesti antaa vastauksia myös muihin ongelmiin. Jotta voitaisiin kehittää uudentyyppinen luentodemonstraation malli, on hankittava tietoa sen opetusvaikutuksesta. Jotta voitaisiin vaikuttaa demonstraatiosta opitun asian määrään ja laatuun, on demonstraatio-opetuksen mallin vastattava aiempaa täsmällisemmin

konstruktivismiin sille esittämiin vaateisiin. Näin ollen esimerkiksi opiskelijan haastattelussa antama vastaus saattoi tuottaa tietoa jokaiseen kolmeen tutkimusongelmaan tai vain yhteen.

Ensimmäisestä tutkimusongelmasta ilmenee, että tutkimuksella on oma kehittämistehtävänsä. Kun hypoteettis-teoreettinen demonstraatio-opetuksen malli oli muotoiltu, sitä piti testata kenttäolosuhteissa. Periaatteessa kaikki tiedonkeruumenetelmät tuottivat tietoa siitä, miten hyvin hypoteettis-teoreettinen malli toimii kenttäolosuhteissa, mutta erityisesti päiväkirjat ja puolistrukturoidut haastattelulomakkeet oli suunniteltu tuottamaan yksityiskohtaista tietoa mallin toimivuudesta.

Toiseen ja kolmanteen ongelmaan vastaaminen edellytti tietoa opiskelijoiden oppimistuloksista. Tässä tapauksessa kiinnitettiin huomiota ennen kaikkea kognitiivisiin testeihin ja kurssikokeeseen. Niiden antamalla tiedoilla selvitettiin opiskelijoiden omaksuman kemiallisen tiedon määrää ja laatua, jolla olisi yhteys opetusmenetelmään ja siten hypoteettis-teoreettisen mallin pätevyteen. Vastauksissa kiinnitettiin erityishuomio opiskelijoiden tapaan käyttää kurssilla omaksumiaan tietoja ja taitoja ongelmanratkaisussa.

7.5 Aineiston analyysi

Tutkimuksen luotettavuutta voidaan parantaa triangulaation tai kyllästyneisyyden keinoin. Triangulaation kautta validiteetin arviointi saadaan keräämällä tietoa mahdollisimman monipuolisesti. Kyllästyneisyydellä tarkoitetaan tiedon hankinnan jatkamista niin kauan, kunnes käytetyillä menetelmillä ei saada ilmiöstä uutta tietoa. (Patton 1990, 187–188; Janesick 1994; Morse 1994; Syrjälä ym. 1994, 48.) Aineiston analyysimenetelmä edellytti siis monipuolista tiedonhankintaa aineiston kyllästyneisyyden ja triangulaation mahdollistamiseksi. Triangulaatiota käytettiin erityisesti opetusmenetelmän arvioinnissa ja aineiston kyllästyneisyyttä oppimisen edistymistä selvittäessä.

Aineiston analyysissä keskityttiin suurelta osin aineistolähtöiseen induktiiviseen analyysiin, joka perustui aineiston koodaukseen, luokitteluun ja käsitteellistämiseen. On syytä huomata, ettei koodaus tässä yhteydessä viittaa aineiston analyysimenetelmään, vaan koodausta käytetään aineiston käsitteellistämisen välineenä. Toisaalta tulkintojen tekeminen suoraan koodatun aineiston perusteella on yleensä hankalaa tai jopa mahdotonta ja edellyttää yleensä vähintään koodatun aineiston luokittelun. (Coffey & Atkinson 1996, 26–32.)

Aineiston koodaus riippui myös siitä, mihin kysymykseen tai ongelmaan haettiin vastausta ja mikä oli vastauksen sisältö: vastaukset esimerkiksi eri kurssikokeen kysymyksiin jouduttiin

koodaamaan eri tavalla ensinnäkin siksi, että tehtävissä kysyttiin kemian tietorakenteen näkökulmasta eri asioita, ja toisaalta siksi, että opiskelijan vastaukset olivat kysymyksen mukaan jaoteltavissa hyvin eri tavoin.

Oman ongelmansa koodauksessa tuotti vastausten monimerkityksisyys etenkin niissä tapauksissa, kun vastaus voitiin luokitella kuuluvaksi useampaan luokkaan samanaikaisesti.

Koodit, luokat ja kategoriat saattoivat muuttua koodauksen edetessä, jotta niiden avulla olisi voitu vastata täsmällisemmin tutkimusongelmiin. Koodaus ei siten ollut missään mielessä ehdottoman tarkkarajaista ja muuttumatonta, vaan muodostui analyysin ja tulkinnan sykliseksi prosessiksi.

7.6 Opetusryhmien opetustilanteiden kuvailu

Molempien kokeiluopetusryhmien sekä vertailuryhmien 1 ja 2 opetuksessa käytettiin samaa oppikirjaa. Vertailuryhmien 3 ja 4 opetuksessa käytettiin useampaa oppikirjaa rinnakkain. Yksi rinnakkain käytetystä oppikirjoista oli kuitenkin sama oppikirja, jota käytettiin ainoana oppikirjana muissa ryhmissä. Lukumääräisesti suurin osa tutkimukseen osallistuneista opiskelijoista käytti samaa oppikirjaa.

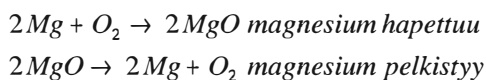
Seuraavassa kuvataan yksityiskohtaisesti kokeiluopetukseen osallistuneiden ryhmien opetusta sekä palamisilmiön että kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioiden opettamisen osalta. Vertailuryhmien osalta vastaavantyyppinen kuvailu esitetään vain raudan palamisilmiön osalta.

7.6.1 Kokeiluopetusryhmät

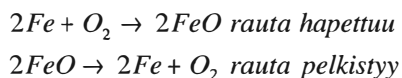
Ryhmässä 1 palamisreaktion eksotermisyys havainnollistettiin tulitikun, butaanikaasun ja magnesiumin palamisreaktioiden yhteydessä. Palamisilmiö oli esillä muissakin demonstraatioissa, kuten vetyperoksidin hajoamisreaktion demonstraatioissa, jossa käytettiin hehkuvaa puutikkua osoittamaan reaktiossa vapautuvan happea. Kun kurssissa edettiin hapettumis-pelkistymisilmiötä käsittelevään kohtaan, oppilaille demonstroitiin raudan palaminen. Demonstraatioissa kiinnitettiin oppilaiden huomio massan muutokseen. Demonstraation jälkeen palamisilmiö kytkettiin redox-reaktioon saman tyyppisin esimerkein, joita ryhmässä 2 oli esitetty (ks. myös liite 5). Redox-ilmion periaatteita opettaessa hapettuminen määriteltiin elektronien luovuttamiseksi ja pelkistyminen elektronien

vastaanottamiseksi. Opetuksen edetessä otettiin käyttöön myös termit hapetin, pelkistin ja hapetusluku. Edellä mainittujen käsitteiden käyttöä ja redox-reaktioiden käsittelyä jatkettiin metallien opettamisen yhteydessä. Liitteessä 6 kuvataan yksityiskohtaisesti demonstraatio-opetuksen eteneminen, mutta se ei paljasta eksplisiittisesti opiskelijoiden ennakkokäsitysten ja demonstraation lopputuloksen välistä riitaisuutta. Demonstraation yllätyksellisyys, ja toisaalta myös opiskelijoiden ennakkokäsitysten ja kokeen lopputuloksen välinen ristiriitaisuus, tuli eksplisiittisesti esille vasta haastattelu- tai päiväkirja-aineistosta (tarkempi kuvailu luvussa 8).

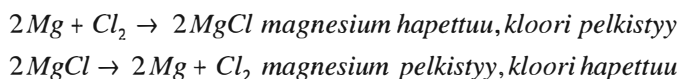
Ryhmässä 2 palamisreaktion eksotermisyys havainnollistettiin tulitikun ja magnesiumin palamisreaktioiden yhteydessä. Magnesiumin palamisilmiö havainnollistettiin niin molaarisella, molekulaarisella kuin symbolisellakin tasolla. Magnesiumin palamisen reaktioyhtälöitä havainnollistettiin esimerkkireaktiolla, jossa reaktion sanallinen, symbolinen ja kuvallinen esitys esitettiin rinnakkain (liite 5). Molekulaarisen tason esityksessä hyödynnettiin Leen (1999a) tutkimusta. Symbolisella tasolla palamisilmiön kuvattiin reaktioyhtälöillä, joissa hapettuminen määriteltiin hapen liittymisenä magnesiumiin ja pelkistyminen sille käänteisenä reaktiona:



Tämän jälkeen esitettiin vastaavat reaktioyhtälöt raudan hapettumis-pelkistymisilmiössä:



Näiden esimerkkien avulla opiskelijoita rohkaistiin tekemään induktioyleistys, jonka mukaan hapettuminen tapahtuu hapen liittyessä aineeseen ja pelkistyminen hapen poistuessa aineesta. Tämän jälkeen opiskelijoille esitettiin magnesiumin ja kloorin välisen reaktion reaktioyhtälö, missä yhteydessä opettaja esitti väittämän, että myös tässä reaktiossa magnesium hapettuu ja kloori pelkistyy.



Opiskelijoita pyydettiin pohtimaan ja keksimään syy siihen, miksi näin voitiin väittää, vaikkei happi osallistunut reaktioon. Opiskelijoiden vastausten perusteella päädyttiin redox-reaktion määritelmään, jossa hapettuminen määriteltiin elektronien luovuttamiseksi ja pelkistyminen elektronien vastaanottamiseksi. Redox-reaktioiden käsittelyä jatkettiin metallien reaktioiden ja sähkökemiallisen jännitesarjan opettamisen yhteydessä.

Ryhmässä 1 kidevedellisen kuparisulfaatin reaktiot demonstroititiin tutkimuksessa kehitetyn opetusmallin mukaisesti. Demonstraatioon valmistauduttaessa opettaja selvittää opetuskeskustelun avulla opiskelijoiden käsityksiä kemiallisesta reaktiosta. Hän kysyi opiskelijoilta mm. sitä, mistä voidaan tietää kemiallisen reaktion tapahtuneen. Opiskelijoiden mukaan tämä voidaan tietää mm. siitä, että aineen rakenne, sen sulamispiste tai sen väri on reaktion jälkeen muuttunut. Opiskelijat lisäsivät myös, että kemiallisiin reaktioihin liittyy energian vapautumista tai sen kuluttamista. Seuraavaksi opiskelijat johdateltiin käänteisen reaktion periaatteiden opiskeluun. Opettaja houkutteli opiskelijat pohtimaan kemiallisten reaktioiden käänteistä luonnetta kysymällä, etenevätkö kaikki reaktiot aina vain yhteen suuntaan. Yksi opiskelija ehdotti sulamista käänteisen reaktion esimerkkinä.

Demonstraatioon valmistauduttaessa opettaja kysyi opiskelijoilta, mitä he olettavat kidevedelliselle kuparisulfaatille tapahtuvan sitä kuumennettaessa. Opiskelijat ehdottivat aineen sulavan, syttyvän palamaan, muuttavan väriään, alkavan kiehua tai savuta. Tämän jälkeen siirryttiin demonstraation esittämisvaiheeseen ja opettaja suoritti kokeen. Opiskelijoiden tehdessä havaintoja yksi opiskelijoista totesi, ettei aine alkanut ainakaan kiehua. Havaintojen teon yhteydessä opiskelijoiden huomio kohdistettiin myös aineen värin muuttumiseen sekä suoritettiin käänteinen reaktio. Reaktion käänteisyys tuli kuitenkin ilmi jo siinä vaiheessa, kun anhydraattinen aine putosi vettä sisältävän keitinlasin pohjalle. Anhydraatti yhdiste ei kuitenkaan muuttunut kauttaaltaan siniseksi, joten opettaja pipetoi lisää vettä anhydraatin joukkoon ja vei näin käänteisen reaktion loppuun asti. Monet opiskelijat kommentoivat innostuneina värin muuttumista alkuperäiseksi.

Demonstraatioon liittyvässä pohdintavaiheessa opettaja liitti opetuskeskustelun avulla demonstraatioissa ilmenneet muutokset reaktion symboliseen esitykseen. Opettaja kohdisti opiskelijoiden huomion siihen, että eri kide muodot voidaan tunnistaa niiden eri värien perusteella. Liitteessä 7 kuvataan yksityiskohtaisesti demonstraatio-opetuksen eteneminen.

Myös ryhmässä 2 kidevedellisen kuparisulfaatin reaktiot demonstroititiin tutkimuksessa kehitetyn opetusmallin mukaisesti. Opetusprosessi aloitettiin aineen ulkoisten piirteiden havainnoinnilla, jolloin ne liitettiin aineen kemialliseen kaavaan. Samassa yhteydessä opettaja kuvaili, minkälaiselta aine näyttäisi mikroskoopilla tarkasteltuna, ja kertoi, kuinka tutkittavan aineen eroaa kiderakenteeltaan ruokasuolakiteestä.

Demonstraatioon valmistauduttaessa tehtiin myös hypoteeseja, mutta tässä tapauksessa opettaja muodostui hypoteesit oppilaiden sijaan. Opettaja kertoi oletuksena olevan se, että aineeseen sitoutunut vesi voidaan saada irtoamaan kiteestä, mutta myös se, että kidevesi voidaan liittää takaisin. Yksi opiskelija kommentoi ensimmäistä hypoteesia siten, että kutsui opettajaa

“taikuriksi”. Jälkimmäistä hypoteesia kommentoi useampikin opiskelija, ja he kaikki suhtautuivat reaktion käänteisyyden mahdollisuuteen epäillen.

Demonstraatiota esitettäessä opettaja kohdisti oppilaiden huomion sekä veden muodostumiseen että värin muuttumiseen. Tehostaakseen oppilaiden havaintojen tekemistä opettaja vei anhydraattia sisältävän koeputken aivan opiskelijoiden kasvojen lähelle ja kuljetti koeputkea oppilailta toiselle. Opetuskeskustelussa opettaja täsmensi vielä sitä, kuinka veden muodostuminen ja värin muuttuminen liittyvät toisiinsa.

Seuraavaksi opettaja palautti muistiin toisen hypoteesin, eli sen, että reaktio voi edetä myös toiseen suuntaan, jolloin aine palautuu alkuperäiseksi. Tehostaakseen väitettä opettaja lisäsi anhydraatin joukkoon vettä, jolloin aine palautui alkuperäisen väriseksi. Monet opiskelijat totesivat innostuneina värin palautumista alkuperäisekseen.

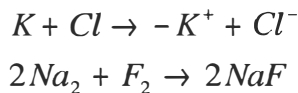
Demonstraation jälkeen opettaja kertoi, että edellä kuvatut reaktiot ovat esimerkki käänteisestä reaktiosta. Lisäksi hän täsmensi, että reaktiot voidaan saada tapahtumaan monta kertaa uudestaan, ja tehostaakseen kertomaansa opettaja toisti edellä kuvatut reaktiot. Lopuksi opettaja kuvaili, mitä anhydraatille tapahtuisi, jos se jätettäisiin luokkahuoneen pöydälle viikoksi. Opettaja kertoi, että anhydraatti sitoisi itseensä ilmassa olevaa vesihöyryä ja muuttuisi siten vähitellen takaisin alkuperäisen kaltaiseksi kiteiseksi, siniseksi yhdisteeksi. Liitteessä 8 kuvataan yksityiskohtaisesti demonstraatio-opetuksen eteneminen.

7.6.2 Vertailuopetusryhmät

Vertailuryhmässä 1 palamisilmiöön läheisesti liittyvien kemiallisten ilmiöiden käsittely aloitettiin kemiallisen reaktion edellytyksien käsittelyllä. Kemialliseen reaktioon liittyviä lämpöenergian muutoksia tarkasteltaessa opiskelijoille näytettiin eksotermisen reaktion energiaprofiili. Vedyn sytyttäminen tulitukulla puolestaan demonstroi aktivoitumisenergian tarvetta, ja samassa yhteydessä opettaja kuvaili siirtymäkompleksin tapahtumia. Opetuksessa demonstroititiin myös kromioksidin palaminen, mutta ilmiötä ei liitetty selvästi palamisilmiön yhteyteen, vaan kokeen tarkoitus oli havainnollistaa kemiallisessa reaktiossa tapahtuvia tilavuuden muutoksia. Samalla tunnilla esiteltiin vedyn palamisen reaktioyhtälö. Vedyn palamisen reaktioyhtälöitä havainnollistettiin esimerkkireaktiolla, jossa reaktion sanallinen, symbolinen ja kuvallinen esitysmuoto esitettiin rinnakkain. Edellisten lisäksi oppilaille näytettiin opetusvideo, joka havainnollisti kemiallisen reaktion edellytyksiä ja reaktion tapahtumista atomitasolla. Myöhemmin opetuksen edetessä palamisilmiön opetukseen opettaja havainnollisti metallien palamista polttamalla magnesiumlankaa. Kun palaminen liitettiin

hapettumis-pelkistymisilmiön kontekstiin, opettaja esitteli alumiinin ja rautaoksidin reaktion. Samassa yhteydessä demonstroitii myös raudan hapettuminen: kokeessa laitettiin pieni tuppo rautavillaa koeputken pohjalle ja koeputki asetettiin ylösalaisin vedellä osittain täytettyyn astiaan. Koeasetelma aiheutti raudan ruostumisen, ja demonstraation jälkeen opiskelijoiden huomio kohdistettiin rautavillan massan muutokseen. Hapettumis-pelkistymisilmiötä demonstroitii tämän jälkeen muissakin yhteyksissä, kuten käsiteltäessä metallien redox-reaktioita ja sähkökemiallista jännitesarjaa.

Vertailuryhmässä 2 kurssin alussa esitettiin raudan ja rikin välinen (redox-)reaktio, jossa seosta kuumennettiin kaasupolttimen liekissä. Myöhemmin, kurssin edetessä palamisilmiön opettamiseen, opettaja esitti eksotermisen reaktion esimerkkinä tähtisädetikun palamisen. Tässä yhteydessä kiinnitettiin huomiota siihen, mikä kemiallinen reaktio on ja mitä sen tapahtuminen edellyttää. Kurssin edettyä palamisreaktiota käsittelevään oppituntiin, opettaja joutui olemaan poissa koulusta henkilökohtaisista syistä, ja opiskelijat tutustuivat itsenäisesti palamiseen ja metalleihin mm. oppikirjojen avulla. Opettaja oli ohjeistanut opiskelijoiden itsenäisen työskentelyn siten, että oppilaita kehoitettiin lukemaan aihetta käsittelevä oppikirjan luku. Heidän tuli pyrkiä löytämään vastaus kysymyksiin “Mikä seuraavista aineista hapettuu ja mikä pelkistyy?” ja “Mikä on hapetin, mikä pelkistin?” oheisessa reaktioyhtälössä ¹



Lisäksi oppilaiden piti kirjoittaa magnesiumin ja kloorin välinen hapetus-pelkistysreaktio ja tehdä aiheeseen liittyvät oppikirjan harjoitustehtävät. Seuraavalla oppitunnilla käsiteltiin hapettumis-pelkistymisilmiötä laajemmin. Aiheeseen liittyviä demonstraatioita tai oppilastöitä ei tehty, vaan aiheesta kirjoitettiin muistiinpanoja. Sitä seuraavilla oppitunneilla käsiteltiin metallien reaktioita ja sähkökemiallista jännitesarjaa.

Vertailuryhmien 3 ja 4 opettajan ja opiskelijoiden päiväkirjamerkinnoissä ei esiinny mainintaa palamisilmiön erityisestä käsittelystä. Redox-ilmiöitä käsiteltiin kuitenkin jonkin verran opettajan demonstroidessa kuparin ja typpihapon välisen reaktion. Demonstraatioon ensisijainen tavoite oli havaintojen teon harjoittelu. Demonstraatioon jälkeen opiskelijat jaettiin 3–4 hengen ryhmiin pohtimaan havaintojaan sekä selittämään havaintojaan ja reaktion tapahtumista ylipäättään. Ryhmätyön tavoitteeksi oli määrätty jonkintyyppinen kirjallinen esitys

¹ Reaktioyhtälöt ovat suora lainaus yhden kyseisen ryhmän opiskelijan päiväkirjasta.

tehdystä havainnoista ja niille annetuista (molaarisen tason) selityksistä. Ryhmätyön kirjallinen tuotos vaikutti kurssiarvosanaan.

8 Tutkimuksen tulokset ja tulosten tulkinta

Tutkimuksen pääasiallinen tehtävä oli demonstraation opetusvaikutuksen selvittäminen. Tärkeimmäksi nähtiin se, että opiskelijoiden oppiminen olisi tässä tutkimuksessa demonstraatio-opetukselle määriteltujen tavoitteiden suuntaista: uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen tavoite on oppijan ajattelun aktivoiminen, luonnontieteellisen ajattelutavan omaksuminen ja luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisen yhteyden selvittäminen.

Ajattelun aktivoitumisen merkkeinä pidetään tässä tutkimuksessa esimerkiksi oppijan tehtävään osallistumisen ja havaintojen tekemisen lisääntymistä sekä loogis-kognitiivisten konfliktien ilmaantumista. Näistä kaksi ensimmäistä ilmentävät ennen kaikkea ulkoista aktivoitumista ja jälkimmäinen sisäistä aktiivisuutta. Tutkimuksen kannalta sisäisellä aktiivisuudella on merkittävämpi rooli kuin ulkoisella aktiivisuudella.

Luonnontieteellisen ajattelutavan omaksumisen merkkeinä tässä tutkimuksessa pidetään muun muassa oppijan kykyä järjestää aineistoa, ilmaista väittämiä tai tietämiään asioita omin sanoin, yhdistää yksittäiset asiat laajemmiksi kokonaisuuksiksi, arvioida kokeilla hankitun tiedon totuutta sekä mieltää kokeet olennaiseksi osaksi luonnontieteellistä tiedonhankintaa ja tiedonmuodostuksen prosessia. (vrt. Ahtee & Sahlberg 1989; Lampiselkä 2002.)

Sisältöjen oppimisen merkeiksi katsotaan pinta- ja syväoppimisen eri muodot, kuten virhekäsitysten poisoppiminen, uusien käsitysten oppiminen vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti, virhekäsitysten välttäminen tai ilmiön selitysten ankkuroituminen pitkäkestoiseen muistiin. Päähuomio kiinnitetään opettajien kemiallisten ilmiöiden sisällölliseen hallintaan ja siihen, kuinka demonstraatio vaikuttaa ilmiöiden käsitteelliseen omaksumiseen. Tieteellisten käsitteiden omaksumisessa tarkkailtiin niitä merkkejä, jotka osoittavat oppijan oppineen ilmiöiden teoreettiset perustelut vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti.

8.1 Opiskelijoiden käsityksiä palamisesta

Koeryhmien opiskelijoille esitettiin useita erilaisia palamisilmiöön liittyviä demonstraatioita (taulukko 6).

Taulukko 6: Koeryhmille esitetyt palamisilmiöön liittyvät demonstraatiot.

| DEMONSTROIDUT ILMIÖT JA NIIDEN DEMONSTROINTITAPA | RYHMÄ 1 | RYHMÄ 2 |
|---|---------|---------|
| Kuparin hapettuminen - kuparin ja rikin reaktio, kun reaktioseosta kuumennetaan koeputkessa | X | X |
| Puun palaminen - tulitikun palaminen | X | X |
| Butaanin palaminen - kaasupolttimen toiminta | X | X |
| Magneesiumin palaminen - magnesiumilastun palaminen | X | X |
| Raudan palaminen - rautavillan palaminen | X | |

Koeryhmille esitettiin samat demonstraatiot saman tyyppisissä koeasetelmissä ja samassa kohtaa kurssia. Ainoa ero oli se, ettei toiselle ryhmälle esitetty rautavillan palamista havainnollistavaa demonstraatiota. Ryhmien opetusta on kuvailtu yksityiskohtaisemmin luvussa 7 sekä liitteissä 5 ja 6.

Rautavillan palamisen demonstraatio mahdollisti ilmiössä tapahtuvan massan muutoksen empiirisen havainnoinnin. Koe toteutettiin siten, että tunnettu määrä rautavillaa asetettiin haihdutusmaljaan, malja vaa'an päälle ja rautavilla sytytettiin palamaan. Opiskelijat saattoivat havaita massan kasvamisen sen perusteella, että vaa'an näytöllä oleva punnituslukema suureni reaktion edetessä.

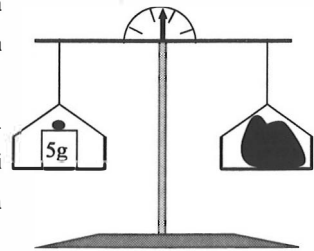
Palamisilmiöön liittyvät demonstraatio esitettiin kurssin aikana kronologisesti siten, että kuparin hapettuminen esitettiin kurssin alussa (ks. Taulukko 6). Ryhmä 1 oli nähnyt rautavillan palamista havainnollistavan demonstraation noin kaksi viikkoa ennen koetta. Viimeisin ryhmälle 2 esitetty palamisilmiön kontekstiin liittyvä demonstraatio (magneesiumin palaminen) oli esitetty noin kolme viikkoa ennen kurssikoetta.

Opiskelijoiden käsitystä rautavillan palamisesta mitattiin alla olevalla kysymyksellä kurssikokeen yhteydessä. Kysymyksen ensimmäinen osa on yksinkertainen monivalintatehtävä, jonka tuottamaa tietoa selvitetään täsmällisemmin b-kohdan kysymyksellä. C-kohdassa haluttiin selvittää, minkä tyyppisen kemiallisia symboleja sisältävän vastauksen opiskelija antaa ja toisaalta onko kolmannen kohdan vastaus ristiriidassa ensimmäisen tai toisen kohdan vastauksen

kanssa. Olettamuksena oli, että esiintyy ainakin joitain sellaisia tapauksia, joissa opiskelija on vastannut väärin a- ja/tai b-kohtiin, mutta oikein c-kohtaan.

Vasemmanpuoleisessa vaakakupissa on 5g rautapunnus, jonka massa on yhtä suuri kuin oikeanpuoleisessa vaakakupissa olevien rautasäikeiden (“teräsvillan”) massa.

a) Opettaja sytyttää rautasäikeet palamaan ja reaktio etenee loppuun saakka. Muuttuuko vaa’an tasapaino, ja jos muuttuu, niin miten? Ympyröi mielestäsi oikea vaihtoehto. (Voit olettaa, ettei kappaleiden asento tai sijoittelu kupeissa vaikuta tasapainoon millään tavalla.)

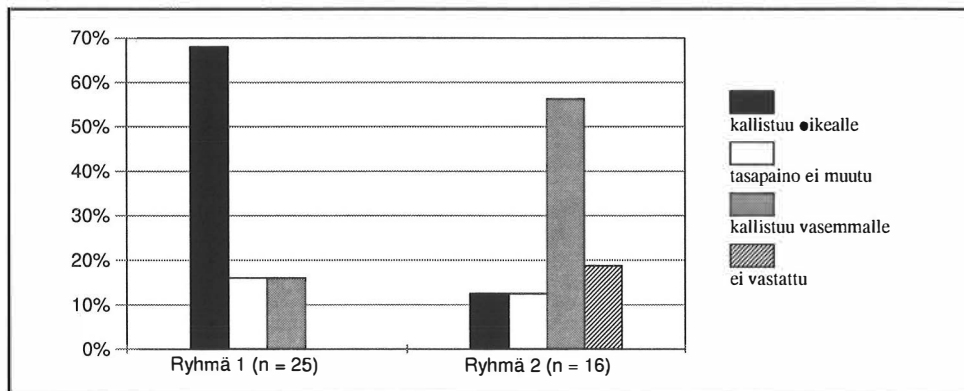


- i) kallistuu vasemmalle, ii) tasapaino ei muutu, iii) kallistuu oikealle
- b) Miksi tasapaino asettuu väittämälläsi tavalla?
- c) Esitä raudan palamista kuvaava reaktioyhtälö.

Kysymyksellä selvitettiin myös demonstraation vaikutusta opiskelijoiden vastauksiin. Hypoteesina oli, että demonstraation nähneet opiskelijat vastaisivat useammin oikein a-kohdan monivalintakysymykseen kuin toisen ryhmän opiskelijat, koska heillä oli tapahtumasta näköhavainto. B- ja c-kohtiin demonstraation suorittamisella ei välttämättä ole suoraa vaikutusta. Epäsuora vaikutus voi muodostua sitä kautta, että demonstraatio on herättänyt opiskelijoiden mielenkiinnon ja motivaatio oppimista kohtaan on kasvanut. Toisaalta uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen opetusmallin tarkoituksena on auttaa opiskelijoiden perushahmotuksen muodostamisessa ja saada heidät ymmärtämään, kuinka havainnot voidaan selittää ilmiöön liittyvällä teorialla. C-kohdan osaamiseen on demonstraation epäsuoraakin vaikutusta vaikea osoittaa.

8.1.1 Demonstraatioon vaikutus monivalintatehtävissä menestymiseen

Opiskelijoiden vastaukset a-kohdan kysymykseen jakautuivat kuvion 26 mukaisesti. Enemmistö ryhmän 1 opiskelijoista valitsi monivalintatehtävissä oikean vaihtoehdon (68 %) ja vain vähäisemmässä määrin valittiin muita vaihtoehtoja (16 % ja 16 %). Ryhmässä 2 suurin osa opiskelijoista valitsi väärän vastausvaihtoehdon (13 % ja 56 %) ja oikean vaihtoehdon valinneita oli 13 % kaikista vastanneista. Osa ryhmän 2 opiskelijoista ei vastannut a-kohtaan lainkaan.



Kuvio 26. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen vaihtoehdoittain ja ryhmittäin kysyttäessä, miten vaa'an tasapaino muuttuu rautavillan palaessa. ("Kallistuu oikealle" on oikea vaihtoehto.)

8.1.2 Tasapainon muutosten viisi selitystapaa

Raudan palamista koskevan kysymyksen b-kohdassa opiskelijoiden piti esittää perusteluja sille, miksi tasapaino asettui heidän a-kohdassa väittämällään tavalla. Aikaisempien tutkimusten (mm. Meheut 1985; Andersson & Renström 1981b, 1986, 1990, BouJaoude 1991; Prieto ym. 1992; Ahtee 1994; Watson & Dillon 1996; Lee 1999a,b; Rahay & Tytler 1999) ja opiskelijoiden vastausten sisältöjen perusteella määriteltiin luokat, joihin vastaukset sijoitettiin. Opiskelijoiden vastausten mukaan palamisessa tapahtui a) kemiallinen ilmiö, b) jonkintyyppinen fysiikan ja kemian välimuotoinen ilmiö, c) fysikaalinen ilmiö tai d) opiskelija tukeutui aineen ja energian säilymislakiin. Oman joukon muodostivat vastaukset, joihin ei sisällynyt lainkaan käsitystä tutkittavasta ilmiöstä (e) Ei selitystä). Ohessa luokkien tarkempi kuvailu:

a) Kemiallinen ilmiö

Vastauksessa käsitellään hapen ja raudan reaktiota kemiallisessa kontekstissa. Opiskelija tekee päätelmiä, kuten että lähtöaine ja reaktiotuote ovat erilaisia, mikä aiheuttaa massan muutoksia. Luokka voidaan jakaa myös useampaan alaluokkaan. Opiskelijan selityksen mukaan

- 1) massa kasvaa palamisessa (lisäksi hänen c-kohdan vastauksensa on oikea)
- 2) ilmiössä tapahtuu ruostumisreaktio, joka aiheuttaa massan kasvua
- 3) rauta hapettuu, mutta elektronien siirtyminen aiheuttaa massan muutoksen
- 4) rautaan liittyvä happi aiheuttaa painon lisäyksen.

b) Välimuotoinen ilmiö

Ilmiötä selitetään kuin kemiallista reaktiota, mutta muutoksiin selitetään vaikuttavan myös fysikaaliset tekijät, kuten haihtuminen tai tiivistyminen.

c) Fysikaalinen ilmiö

- 1) Haihtuminen/poistuminen: opiskelijan selityksen mukaan ilmiössä tapahtuu häviämistä, katoamista tai vapautumista, joka aiheuttaa havaitut muutokset.
- 2) Tiheyden muutos: opiskelijan selityksen mukaan esim. lähtöaineiden ja reaktiotuotteiden tiheydet ovat erisuuruiset, mikä aiheuttaa havaitut muutokset.
- 3) Olomuodon muutos: opiskelijan selityksen mukaan aineelle tapahtuu olomuodon muutos, joka aiheuttaa havaitut muutokset.

d) Aineen ja energian säilymlaki

Opiskelija tukeutuu selityksessään aineen, massan, energian tai jonkin käsitteyhdistelmän häviämättömyyteen. Opiskelija ilmaisee esimerkiksi, että ainemäärä/massa säilyy ilmiössä.

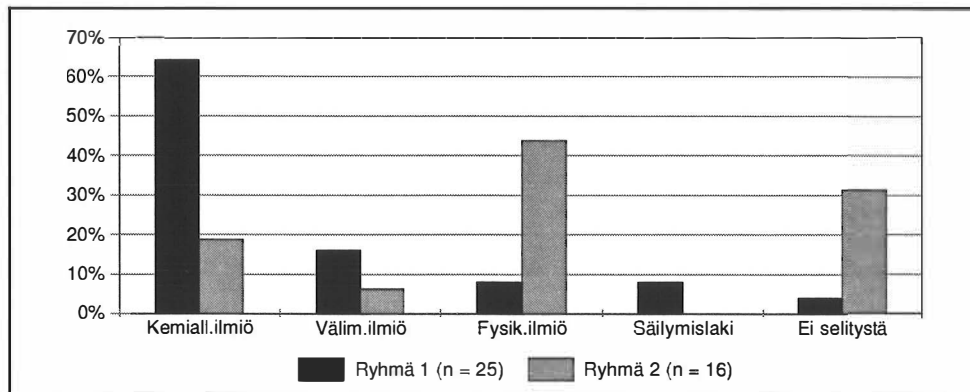
e) Ei selitystä

Ei vastausta tai opiskelija toteaa, että massa pienenee palaessa.

Luokat eivät ole tarkkarajaisia ja jotkin vastaukset olisi voitu luokitella useampaakin luokkaan.

Opiskelijoiden vastaukset jakautuvat kuvion 27 mukaisesti. Ryhmässä 1 suurin osa selityksistä sijoittuu kemiallisen ilmiön luokkaan (64 %). Jonkin verran esitettiin välimuotoisia selityksiä (16 %) tai tukeuduttiin lakiin (8 %). Muutamista vastauksista käy ilmi, että oppijoilla on virhekäsityksiä (fysikaalinen ilmiö, 8 %) ja ettei ilmiön syy-seuraussuhteita ole ymmärretty lainkaan (ei selitystä, 4 %). Ryhmässä 2 suurimman luokan muodostavat fysikaalisiin ilmiöihin tukeutuvat selitykset (44 %), mutta suuri osa vastauksista heijastaa myös vähäistä tai olematonta ymmärrystä (ei selitystä, 31 %). Välimuotoisia selityksiä on suhteellisen vähän (6 %). Pienen, mutta sisällöllisesti tärkeän ryhmän muodostavat kemiallisten ilmiöiden luokkaan sijoittuvat vastaukset (19 %).

Koska suurin osa ryhmän 1 opiskelijoista oli valinnut a-kohdassa oikean vaihtoehdon, oli luontevaa olettaa heidän pärjäävän suhteellisesti paremmin myös b-kohdassa, kuten tapahtuikin. Suurin osa ryhmän 2 opiskelijoista oli taas valinnut a-kohdassa väärän vaihtoehdon, joten oli luontevaa olettaa heidän b-kohdan perusteluiden olevan enemmän tai vähemmän puutteellisia tai vääriä.



Kuvio 27. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin sen mukaan, mitä ilmiötä tai lakia he käyttivät perusteluna a-kohdan vastaukselleen.

Seuraavassa kuvataan yksityiskohtaisesti, minkä tyyppisiä selityksiä opiskelijat tuottivat b-kohdan vastaukseksi.

8.1.2.1 Hapen liittyminen tasapainon muutoksen selittäjänä

Ryhmän 1 kemiallisten ilmiöiden luokkaan sijoittuvista vastauksista suurimman ryhmä muodostavat raudan ja hapen väliseen kemialliseen reaktioon tukeutuvat perustelut (9 kpl/36 %):

1. **Tiina** (R1): "Poltettaessa rautasäikeisiin sitoutuu happea, joten massa suurenee."
2. **Mari** (R1): "Teräsvillaan sitoutuu palaessa happea ja sen massa suurenee."
3. **Elina** (R1): "Koska palaessaan rauta reagoi hapen kanssa ja sen paino kasvaa."

Ilmiön syy-seuraussuhteet vastaavat tieteellistä selitysmallia, mutta vastausten lyhyden vuoksi osaamisesta ei voida tehdä kovin pitkälle meneviä päätelmiä.

Seuraavat kolme vastausta ovat edellisiä hieman monisanaisempia. Ne sisältävät ilmiöön liittyviä (lisä)perusteluja.

4. **Eero** (R1): "Kun rauta rupeaa palamaan niin se joutuu ottamaan happea jotta reaktio tapahtuisi. Happi lisää painoa, koska se yhtyy palaessa."
5. **Kari** (R1): "Raudan palaessa siihen yhtyy happea joka on välttämätöntä palamiselle joten syntyy rautaoksidia joka tietenkin painaa enemmän koska happi on yhtynyt siihen."
6. **Kaarin** (R1): "Koska rauta hapettuu, sen massa lisääntyy hapen massalla."

Eeron ja Karin vastauksen erityispiirteenä on palamisreaktion edellytysten korostaminen. Heidän mukaansa palamista tapahtuu ei ilman hapen läsnäoloa. Hapen välttämättömyyden korostaminen ilmentää perushahmotuksen muodostumista oikeaksi. Kaarin käyttää puolestaan vastauksessa palamiskäsitteen yläkäsitettä hapettuminen. Vastauksen loppuosa kuitenkin paljastaa hänen käsittävän hapettumisen nimenomaan hapen liittymisenä eikä sen yleisemmässä merkityksessä elektroninsiirtymisilmiönä.

Antti esittelee reaktion selkeästi molekulaarisen tason tapahtumana, jossa happiatomien tuoma lisäpaino aiheuttaa molaarisella tasolla havaitut muutokset.

7. Antti (R1): "Koska palamisreaktiossa rautaan sitoutuu happea, niin happiatomien tuoma lisäpaino saa kupin kallistumaan oikealle."

Vastaus etenee johdonmukaisesti syystä seuraukseen ja ilmentää matemaattisen logiikan mukaista ajatteluprosessia. Opiskelijan vastaus voitaisiin kirjoittaa myös esimerkiksi "koska $\text{Fe} + \text{O} \rightarrow \text{FeO}$ ja $m(\text{FeO}) < m(\text{Fe})$, vaaka kallistuu oikealle". Larin vastaus heijastelee vastaavan tyyppistä ajatteluprosessia, vaikkei logiikka olekaan yhtä ilmeistä.

8. Lari (R1): "Teräsvilla palaa eli yhtyy happeen, teräsvillan ja siihen yhtyneen hapen massa on suurempi kuin 5g rautapunnuksen."

Myös Larin vastauksessa on muiden vastauksista poikkeavia piirteitä. Hän kuvailee ensin, mitä palaminen on, ja määrittelee sen hapen liittymiseksi ja vasta tämän jälkeen käyttää tietojaan tasapainon muutoksen selittämiseen. Epäselväksi vielä jää, miksi Lari on liittänyt määritelmän vastauksen alkuun? Haluaako hän ehkä todistaa tietävänsä määritelmän? Toisaalta se saattaa olla merkki metakognitiivisesta toiminnasta, jolloin määritelmä toimisi ikään kuin omien ajatusten jäsentäjänä. Kemian näkökulmasta tarkasteltuna vastauksen loppuosa riittää kuitenkin sellaisenaankin selittämään, miksi vaaka kallistuu palaneen rautavillan puolelle. Sama pätee Antinkin vastaukseen. Pienistä rakenteellisista eroista huolimatta opiskelijoiden vastausten samankaltaisuus antaa aiheen olettaa heidän ajattelunsa noudattavan keskenään samanlaista logiikkaa.

Pentin vastaus muistuttaa kahta edellistä, mutta sisältää jälleen muiden opiskelijoiden vastauksista poikkeavia piirteitä.

9. Pentti (R1): b) “Koska raudan palaessa syntyy rautaoksidia eli rauta yhtyy happeen jolloin massa kasvaa. Katso C-kohta.”

c) “ $Fe(s) + O(g) \rightarrow FeO(s)$ ”
Fe:n massa < FeO:n massa

Sanallisen vastausosan logiikka on kahden edellisen kaltainen. Pentti tukeutuu vastauksessa myös ilmiön teoreettisiin perusteluihin (opiskelijan vastaukseen kirjoittaman kemiallisen reaktion kaava tulkittiin edustavan opiskelijan ajattelussa kemiallisen reaktion teoreettisia perusteluita.) Kahden edellisen opiskelijan vastausten ajattelun taustalta voitiin löytää matemaattista logiikkaa, mutta tässä tapauksessa opiskelija käyttää kahden edellisen vastaajan ajattelumallin mukaista kemiallista merkintätapaa. Kurssipäiväkirjan mukaan opiskelija on ollut pois siltä oppitunnilta, jolla rautavillan palamista havainnollistava demonstraatio esitettiin. Tämä tukee sitä tulkintaa, että opiskelijan ajattelu tukeutuu kemialliseen teoriaan kahta edellistä vastaajaa selvemmin. Lisänäyttöä tästä saatiin myös haastattelussa, jossa hän kommentoi työtavan opetusvaikutusta.²

Edellä kuvatut vastaukset ovat rakenteeltaan hyvin samankaltaisia. Tätä voidaan selittää sattumalla tai ulkoa oppimisella, mutta myös demonstraatio-opetuksen aikaan saamalla ilmiön ymmärtämisellä. Sattumasta ei liene kysymys, kun noin kolmannes opiskelijoista tuottaa avoimeen kysymykseen rakenteeltaan samantyyppisen vastauksen.

Opiskelijoiden käyttämät käsitteet ovat tieteellisesti oikeita, eikä vastauksissa ilmene arkipäivän ilmiöihin liittyviä ilmaisuja. Kurki-Suonion & Kurki-Suonion (1994, 169) mukaan uusien käsitteiden käyttöönotto on ennen muuta niiden liittämistä kieleen ja käsitteiden hallinnan aste kuvastuu selvimmin ja täydellisimmin kielellisestä esityksestä. Virheellinen käyttö ilmentää aina käsitteiden merkityksen väärinkäsityksiä. Lauseita ei voi muotoilla tuntematta merkitystä, joka lauseen pitäisi ilmaista. Mintzesin ym. (2000, 42) mukaan ymmärtämisestä on kyse silloin, kun käsityksemme ovat sopuoinnussa muiden ihmisten käsitysten kanssa, ne eivät sisällä ristiriitaisuuksia muiden aiheeseen liittyvien käsitystemme kanssa, selityksistämme puuttuvat epäolennaiset ja tarpeettomat väittämät ja käsityksemme ovat sopuoinnussa vallitsevien tieteellisten käsitysten kanssa. Kun opiskelijat selvästikin pystyvät ilmaisemaan väittämiään ja tietämiään asioita omin sanoin eikä heidän selityksissään ole merkkejä virhekäsityksistä, opiskelijoiden vastaukset ilmentäisivät siten ennemminkin ilmiön ja sen selityksen ymmärtämistä kuin ulkoa oppimista. (Vrt. Mintzes ym.2000, 42; Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, 169.)

² Opiskelijan mielestä demonstraatiolla ei ollut juurikaan vaikutusta hänen oppimiseensa, mutta tähän palataan tarkemmin työtavan oppimisvaikutusta käsittelevässä luvussa.

Edellä esitetyissä yhdeksässä vastauksessa keskitytään hapen liittymiseen ja sen merkitykseen tasapainon muutoksia aiheuttavana tekijänä. Seitsemän muun (30 %) ryhmän I opiskelijan vastaukset poikkeavat edellä käsitellyistä vastauksista.

Hannan ja Siirin vastaukset muistuttavat edellä esitettyjen Tiinan (1), Marin (2) ja Elinan (3) vastausta, mutta ovat sisällöllisesti tulkinnanvaraisempia. Opiskelijat toteavat massan kasvavan palaessa, mutteivät mainitse raudan reagoivan hapen kanssa.

10. Hanna (R1): "Rautasäikeiden palaessa sen massa kasvaa."

11. Siiri (R1): "Kun rautasäikeet palavat sen massa kasvaa."

Se, että opiskelijat yhdistävät palamisen rautavillatupon sijaan yksittäisiin rautavillasäikeisiin, saattaa merkitä opiskelijoiden demonstraatiosta tekemiä näköhavaintoja. Toisaalta käsitteen valinta voi johtua opiskelijoiden taipumuksesta selittää ilmiötä molaarisen ja molekulaarisen tason väliin sijoittuvalla mallilla. Käsitteen valintaa voidaan selittää myös sillä, että opiskelijat toistavat tehtävänannon terminologiaa. Vastausten lyhyden vuoksi opiskelijoiden ymmärryksen tasosta ei voida tehdä kovin varmoja päätelmiä. Ulkoa oppiminen on tässä tapauksessa kuitenkin melko todennäköistä. Myös demonstraation vaikutusta vastauksiin on vaikea arvioida. Vastausten rakenne voi tosin johtua demonstraation näkemisestä, toisin sanoen, opiskelijat tyytyvät kertomaan vain sen, minkä kokeessa olivat havainneet.

Samin vastaus poikkeaa kaikista edellä esitetyistä. Hän kuvittelee, että happi yhtyy molempiin rautakappaleisiin.

12. Sami (R1): "Koska rautojen palaessa niihin sitoutuu yhtä paljon happea."

Mintzesin ynnä muiden (2000, 42) ymmärtämisen kriteerien mukaan tarkasteltuna Samin ajattelussa on puutteellisuuksia. Vastaus sijoitettiin kuitenkin tähän luokkaan siksi, että ilmiön kuvailu on teoreettiselta perustelultaan asianmukainen ja ajattelun virheellisyys liittyy ennemminkin proseduraaliseen kuin deklarativiseen tietoon. Vastauksen sisältö voidaan tulkita myös toisin, sillä kurssin lopussa suoritetuissa haastatteluissa selvisi vastaajan tienneen etukäteen raudan massan kasvavan palaessa. Kokeessa ajatteluprosessi oli kuitenkin ajautunut sivuraiteille; hän selittää molempien aineiden palavan reaktiossa. Haastattelussa ilmeni myös, että hapen liittymiseen perustuva palamiskäsitys on "iskostunut" hänen ajatteluunsa. Pfundt (1981) ja Nussbaum (1985) ovat havainneet oppilaiden pitävän itsepintaisesti kiinni aikaisemmista käsityksistään, vaikka heillä opetuksen perusteella olisi tietoa käsityksensä tieteellisemmästä perustelusta. Myös Osborne ja Freyberg (1985, 12) ovat huomanneet

oppilaiden konservatiivisuuden ja sitkeyden aikaisempien käsitysten ylläpitämisessä, josta myös Samin tapauksessa saattaa olla kysymys. Käsityksestä näyttää tulleen myös hänen ajatteluaan rajoittava tekijä tämän reaktion osalta.

Kaksi opiskelijaa liittyy rautavillan palamisen ruostumisilmiöön.

13. Nelli (R1): “Koska rautasäikeissä tapahtuu ruostumisreaktio ja sen massa kasvaa.”

14. Vesa (R1): “Rautasäikeiden pinnalla tapahtuu ruostumista ja koska ohuet langat palavat paremmin tulee enemmän ruostetta ja sitä kautta paino lisääntyy.”

Opiskelijoiden vastauksen keskittyminen ruostumisilmiöön on selitettävissä siten, että demonstraation aikana raudan palaminen ja ruostuminen kytkettiin toisiinsa useassa kohdassa. Kun opiskelijoilta orientaatiovaiheessa kysyttiin, mitä heille tulee mieleen sanoista hapettuminen ja pelkistyminen, niin yksi esikäsityksistä oli nimenomaan ruostuminen. Toisen kerran ruostumisilmiötä käsiteltiin opiskelijoiden esittämien hypoteesien yhteydessä. Kolmannen kerran ilmiö kiinnitettiin ruostumisilmiöön silloin, kun rautavillan palaminen kytkettiin ilmiön teoreettisiin perusteluihin ja palamistuotteen kemialliseen kaavaan.

Jäljellä olevissa kahdessa vastauksessa esiintyy elektronin käsite. Kimmo ja Niko kuvittelevat elektronien aiheuttavan havaitut massan muutokset.

15. Kimmo (R1): “Palaessaan rauta hapettuu eli sitoo hapen elektroneja itseensä → massa lisääntyy.”

16. Niko (R1): “Koska rautavilla hapettuu palamisessa ja kerää itseensä elektroneja, jotka tuovat lisää painoa.”

Yksi mahdollinen selitys elektronin käsitteen käytölle on se, että opiskelijat sekoittavat hapettumis-pelkistysilmiön yleisen tapauksen (redox-ilmiö elektronin siirtymisenä) ja erityistapauksen (redox-ilmiö hapen liittymisenä). Kimmon tapauksessa tulkinan oikeellisuudelle saatiin lisänäyttöä, mutta tähän palataan tarkemmin työtavan oppimisvaikutusta käsittelevässä luvussa 8.1.4.1. Elektronien siirtymistä ei voi kokeen yhteydessä konkreettisesti havainnollistaa, joten valitut sanamuodot eivät ole seurausta demonstraation näkemisestä. Sen sijaan demonstraatio-opetuksen prosessi on voinut vaikuttaa käsitteen valintaan, koska menetelmässä pyrittiin lähentämään ilmiön konkreettia ilmenemismuotoa sen teoreettisiin perusteluihin. Mintzesin ynnä muiden (2000, 42) ymmärtämisen kriteerien mukaan tarkasteltuna opiskelijan ajattelussa on puutteita, mutta ne ovat edellisiin vastauksiin verrattuna hieman toisen tyyppisiä. Tässä tapauksessa opiskelijat käyttivät tieteellisempiä ja selvästi opetuksesta

omaksuttuja käsitteitä (kuten elektroni ja elektronin siirtyminen), mutta niiden käyttötapa ilmentää virheitä ilmiön teoreettisten perusteluiden hahmotuksessa (vrt. Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, 169).

Ryhmässä 2, jossa ei ollut esitetty raudan palamisen demonstraatiota, kolmen opiskelijan (19 %) vastaus voitiin sisältönsä perusteella asettaa kemiallisten ilmiöiden luokkaan (tarkemmin alaluokkaan 4). Kukin opiskelija oli tunnistanut hapen keskeisen merkityksen ja sen liittymisen aiheuttamat seuraukset. Sisällöllisesti monipuolisimman vastauksen tuotti Valtteri, jonka vastauksesta voidaan päätellä, että hän käsittää asian vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti. Laurin vastaus on puolestaan merkityksellinen sen takia, että hän oli valinnut a-kohdassa väärän vastausvaihtoehdon (i = kallistuu punnuksen puolelle), joka b-kohdan vastauksen sisällön perusteella voidaan uskoa olleen ennemminkin huolimattomuusvirhe kuin sisällöllinen virhe.

17. Lauri (R2): “Teräsvilla yhtyy happeen. Koska teräsvillaa ei katoa minnekään, sen massa kasvaa hapen ansiosta.”

18. Seija (R2): “Koska raudan palaessa siihen sitoutuu happea, mikä tekee siitä painavamman.”

19. Valtteri (R2): “Kun rauta palaa, syntyy kiinteää rautaoksidia (Fe_2O_3) joka ei siis haihdu kupista mihinkään. Eli siis kun oikeaan kuppiin tulee lisäksi happea, joka yhtyy palavaan teräsvillaan, lisääntyy oikean kupin sisällön massa. Tällöin vaaka kallistuu oikealle.”

Opiskelijat ovat ymmärtäneet ilmiön syy-seuraussuhteen oikein ja vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti. Opiskelijoille ei ollut näytetty ilmiötä havainnollistavaa demonstraatiota, joten vastausten sisällöt ilmentävät ennen muuta ilmiön kemiallisten perusteluiden ymmärtämistä. Valtterin vastauksesta ilmenee selvimmin molaarisen tason muutosten linkittyminen molekulaarisen tason tapahtumiin (“syntyy kiinteää”, “ei haihdu” → “tulee lisäksi happea”, “happi yhtyy teräsvillaan”).

Opiskelijoiden vastauksia voidaan luonnehtia Pentin vastauksen tapaan kemialliseen teoriaan tukeutuviksi. Vastauksien taustassa on myös toinen yhtäläisyys: kukaan heistä ei ollut nähnyt ilmiötä havainnollistavaa demonstraatiota. Tästä voidaan päätellä, että nämä muutamat opiskelijat ovat ymmärtäneet palamisilmiön teoreettiset perustelut niin hyvin, ettei demonstraatiolla olisi ollut juurikaan vaikutusta heidän vastauksiinsa.

Kokonaisuutta tarkastellen demonstraation vaikutuksesta ryhmän I opiskelijoiden oppimiseen saatiin tukea. Suhteellisesti useampi ryhmän I opiskelija kykeni selittämään ilmiössä tapahtuvan muutoksen vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti ja he kykenivät selittämään myös ilmiön syy-seuraussuhteita korrektisti. Suhteellisesti useampi ryhmän I

opiskelija kertoi raudan ja hapen reagoivan ilmiössä keskenään, tarkensi muutoksen aiheuttajaksi rautaan sitoutuvan hapen ja perusteli vaa'an kallistumista näiden tietojen perusteella reaktiotuotteen suuremmalla massalla. Vaikka epätäydelliset vastaukset hylättäisiinkin, ryhmän 1 voitaisiin todeta menestyneen suhteellisesti paremmin kuin ryhmän 2. Ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksissaan käyttämät käsitteet ja ajattelun johdonmukaisuus kertovat omalta osaltaan ilmiön teoreettisen selityksen omaksumisesta. Toisaalta muutaman ryhmän 1 opiskelijoiden vastaukset ovat luonteeltaan toteavia, minkä aiheutti se, että opiskelijat kertoivat vain siitä, mitä olivat kokeen aikana nähneet. Demonstraation vaikutukset eivät kuitenkaan olleet aina myönteisiä, sillä yhdessä tapauksessa saatiin viitteitä siitä, että demonstraatio oli vahvistanut väärän ajattelumallin juurtumista entistä tiukemmin opiskelijan ajatteluun.

8.1.2.2 Fysikaalisen ja kemiallisen muutoksen sekoittuminen

Yhteensä neljä (16 %) ryhmän 1 opiskelijan vastauksista sijoitettiin fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön sekoittumista kuvaavaan luokkaan. Ensimmäisessä esimerkkivastauksessa on tieteellisesti oikean perustelun lisäksi muita perusteluja.

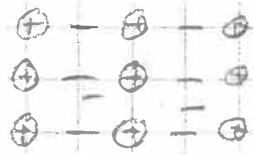
20. Taina (R1): "Muistaakseni massa kasvaa, mutta ainemäärä ei tietenkään muutu. Rauta palaessaan yhtyy hapen kanssa, massa kasvaa tilavuus pysyy samana tai pienenee."³(i)

Opiskelijan vastauksessa on itse asiassa selitys kaikille monivalintatehtävän vaihtoehdoille. Rautavillan massan kasvun puolesta argumentoi opiskelijan muistikuva ja maininta rautaan liittyvän hapen aiheuttamasta massan kasvusta. Tasapainon säilymistä ennallaan opiskelija selittää sillä, ettei ainemäärä muutu kokeessa. Hän on kuitenkin päätenyt vaihtoehtoon, että palaneen rautavillan massa on pienempi, sillä rautavillan tilavuus pysyy korkeintaan samana tai ehkä jopa pienenee. Opiskelijan vastausta voidaan selittää sillä, että opiskelijalle on jäänyt rautavillan palamista havainnollistavasta kokeesta mieleen etenkin massan kasvaminen. Opetusprosessin vaikutus ilmenee havaittujen muutosten liittymisessä ilmiön teoreettisiin perusteluihin, mutta aineen ja energian säilymlaki sekä tilavuuden muutokset sekoittavat opiskelijan ajatuksia. Demonstraatio on ilmeisesti käynnistänyt opiskelijan käsityksen muutosprosessin, mutta se on selvästi vielä keskeneräinen.

³ Joissakin vastauksissa sitaattien jälkeinen merkintä osoittaa opiskelijan monivalintatehtävän vastauksen; iii on oikea vaihtoehto.

Päivin vastauksessa ilmenee vastaavan tyyppinen tilavuuden käsitteeseen liittyvä sekaannus.

21. Päivi (R1): “Kallistuu oikealle koska palaessa teräsvillan massa kasvaa, koska se on niin ‘hataraa’ sen väleihin mahtuu vielä lisää ioneja (opiskelija oli täydentänyt vastaustaan oheisen kuvan mukaisella piirustuksella).”(iii)



Opiskelija olettaa vaa’an kallistuvan vasemmalle, koska tietää rautavillan massan kasvavan palaessa. Massan kasvun perimmäinen syy kytkeytyy vastauksessa kuitenkin tiheyden ja ionien käsitteisiin. Looginen selitys Päivin vastaukseen on se, että hänelle on muodostunut demonstraation avulla mielikuva massan kasvamisesta, mutta tässä tapauksessa opetusmenetelmän muilla vaiheilla ei ole onnistuttu auttamaan häntä luomaan yhteyttä luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille. Sen vuoksi opiskelijan konstruktioprosessi on vielä kesken ja käsitteiden välillä esiintyy virheellisiä kytkentöjä. Tämä ilmenee virheellisenä tiheyden ja ioneihin perustuvana selityksenä. Demonstraatio-opetuksen vaikuttavuutta pohdittaessa on kuitenkin hyvä kysyä, olisiko opiskelija suoriutunut tehtävästä näinkään hyvin ilman demonstraation näkemistä.

Teijan vastaus on puolestaan hyvin lähellä oikeaa, mutta jostain syystä hän kuvittelee massan pienenevän reaktiossa. Vastaus sijoitettiin tähän luokkaan sisäisten ristiriitaisuuksiensa takia, vaikkei vastauksessa ilmene selvää fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön sekoittumista.

22. Teija (R1): “Vaaka kallistuu vasemmalle, koska teräsvillan palaessa osa sen sisältämästä aineista yhtyy ilmassa olevaan happeen, jolloin teräsvillan paino pienenee ja vaaka kallistuu vasemmalle.”(i)

Ensinnäkin opiskelija kuvittelee vain osan aineesta palavan. Toiseksi vastauksessa ilmenee aineen poistumisesta koskeva virhekäsitys. Osittaiseen palamiseen liittyvä käsitys voi johtua demonstraatiosta tehdyistä havainnoista: kokeessa osa villasta jäi palamatta. Tältä osin opiskelijan havainnot vastaisivat todellisuutta. Massan pienenemistä voidaan yrittää selittää siten, että opiskelija on ehkä kuvitellut raudan yhtyvän ilmaan. Virhekäsitys voisi siten liittyä aikaisemmissa tutkimuksissa todettuun kaasumaisiin reaktiotuotteisiin liittyvään (yleiseen) virhekäsitykseen. Käsitteiden takana voi myös olla hiilen ja hapen väliseen reaktioon perustuva virhekäsitys: kiinteä hiili yhtyy kaasumaiseen happeen muodostaen kaasumaista hiilidioksidia. Demonstraatio-opetuksen keinoin ei ole kyetty auttamaan opiskelijaa luomaan aivan oikeaa

mallia reaktiosta. On kuitenkin syytä huomata, että vastauksessa on myös tieteellisesti oikeaa selitysmalliin viittaavia ilmauksia.

Martti puolestaan keskittyy erityisesti massan muutoksiin ja käsittelee ilmiötä lähinnä molaarisella tasolla. Tässäkään vastauksessa ei esiinny fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön sekoittumista. Se kuitenkin asetettiin tähän luokkaan pääasiallisesti siksi, ettei lukija voinut olla täysin varma siitä, tarkoittaako opiskelija viimeisen lauseen alussa teräsvillalla palanutta vai palamatonta teräsvillaa.

23. Martti (R1): “Palaessa teräsvillan massa nousee. Näin alussa 5 grammaa painanut teräsvillakerä saattaa painaa polttamisen jälkeen jopa 10 grammaa. Teräsvillan massa on enemmän kuin 5 grammaa, joten vaaka kallistuu teräsvillan puolelle.”(iii)

Opiskelija on erityisen vakuuttunut siitä, että massa kasvaa palamisilmiössä. Tarkasteltaessa vastausta kokonaisuudessaan voidaan massan kasvamisen ilmiön todeta selvästi ylikorostuvan. Demonstraatioissa tehdyt havainnot antavat loogisen selityksen opiskelijan varmuudelle massan kasvamisesta. Massan kasvamisen korostaminen voi olla seuraus myös lopputuloksen yllätyksellisyydestä.

Tästä voidaan varovaisesti päätellä, että opiskelijan esikäsitys on ollut päinvastainen ja hän on saattanut olettaa massan pienenevän kokeessa. Tässä tapauksessa demonstraatio toimisi oppimisprosessin käynnistäjänä ja loogis-tiedollisten ristiriitojen luojana.

Ryhmän 2 opiskelijoista vain Leenan (6 %) vastaus sijoitettiin tähän luokkaan, mutta siinä ilmenee hyvin fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön sekoittuminen.

24. Leena (R2): “Rauta voi muuttaa olomuotoaan ja reaktiosta voi syntyä energiaa lämpönä, mutta paino ei muutu! Muita reaktiotuotteita ei ole, joka voisivat lisätä painoa. Käsitteykseni on, ettei palaminen muuta raudan olomuotoa.”(ii)

A-kohdan vastauksen perusteella opiskelija olettaa, ettei aineen massa muutu reaktiossa. B-kohdan vastauksesta selviää opiskelijan oletuksen perustuvan siihen, että ilmiössä tapahtuu olomuodon muutoksia massan muutosten sijaan. Raudan palaminen edustaa hänelle ennen muuta olomuodon muutoksen prosessia, johon saattaa sisältyä lämpötilan muutoksia. Fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön sekoittuminen ilmenee selvimminkin siten, että vaikka opiskelija tukeutuu olomuodon muutokseen, hän kuvailee prosessia ikään kuin kemiallista reaktiota, jossa on lähtöaineita ja reaktiotuotteita. Leenan ajattelumalli saa uusia piirteitä, kun tarkastellaan hänen vastaustaan c-kohtaan, jossa kysytään raudan palamisen reaktioyhtälöä.

25. Leena (R2): “ $\text{Fe} + \text{O} \rightarrow \text{FeO} + \text{lämpö}$. Näyttää epäilyttävän yksinkertaiselta reaktioyhtälöltä, mutten näe mitään järkeä lisätä numeroita siihen, sillä rauta on toisesta pääryhmästä ja happi, jonka kanssa se palaessaan reagoi, on kuudennesta pääryhmästä, eli kun ne reagoivat saavat kumpikin oktetin ilman mitään numeron tai määrän sotkuja.”

Opiskelijalla näyttää olleen riittävät teoreettiset tiedot ratkaista tehtävä oikein. Hän on tiennyt raudan palamisen olevan nimenomaan raudan ja hapen välinen eksoterminen reaktio, muttei ole kyennyt soveltamaan tietojaan b-kohdan tapauksessa. B- ja c-kohdan vastausten ristiriitaisuutta voidaan selittää siten, ettei opiskelijan tietorakenteessa ole vielä yhteyksiä konkreetin makroskooppisen ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välillä. Toisaalta opiskelijan ajattelussa on monia elementtejä, joiden perusteella hänellä voidaan katsoa olevan hyvät mahdollisuudet ilmiön ymmärtämiseksi vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti. Voi hyvinkin olla, että uudentyypin demonstraatio-opetuksen avulla olisi voitu lähentää opiskelijan selitysmallia tieteellisen selitysmallin suuntaan.

Tarkasteltaessa vastausluokkaa kokonaisuudessaan huomio kiinnittyy ensinnäkin siihen, että luokkaan sijoittuu suhteellisesti enemmän ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksia. Selittävänä tekijänä voidaan pitää ilmiön näkemistä, jonka perusteella opiskelijat ovat mieltäneet ilmiön kemialliseksi reaktioksi, mutta puutteellisten ja jäsentymättömien tietojensa takia sekoittaneet fysikaalisten ilmiöiden periaatteita. Toisaalta ryhmässä 1 opiskelijoiden fysikaalisten ilmiöiden perusteluiden käyttäminen ei ole aivan yhtä ilmeistä kuin ryhmässä 2. Ryhmien välistä sisällöllistä eroa voidaan selittää sillä, että ryhmän 1 opiskelijat ovat kyenneet demonstraation avulla luomaan mielikuvan raudan palamisesta kemiallisena reaktiona, mutta opetusmenetelmän muilla vaiheilla ei ole kyetty luomaan eheää kokonaiskuvaa luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisistä suhteista. Tämän vuoksi opiskelijoiden vastauksissa ilmenee ennemminkin lukion ensimmäisen vuoden fysiikan kuin kemian kursseihin liittyviä käsitteitä, kuten tiheys ja tilavuus. On kuitenkin todennäköistä, etteivät tähän luokkaan sijoittuvat ryhmän 1 opiskelijat olisi suoriutuneet tehtävästä näin hyvin ilman demonstraation näkemistä.

Ryhmän 1 opiskelijoiden vastausten perusteella vaikuttaa siltä, että demonstraatio-opetus oli käynnistänyt käsityksen muutosprosessin ja toiminut loogis-tiedollisten ristiriitojen luojana. Näin voidaan päätellä sen perusteella, että kaikki ryhmän 1 opiskelijat olivat kuitenkin ainakin jollain tavalla tiedostaneet massan kasvavan ilmiössä, toisin kuin ryhmän 2 opiskelijat.

8.1.2.3 Olomuodon ja tiheyden muutos selittäjänä

Kolmannen sisällöllisesti yhtenäisen vastausluokan muodostavat fysikaalisiin ilmiöihin tukeutuvat selitykset. Ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksista tähän luokkaan sijoittuu kaksi (8 %) ja ryhmän 2 opiskelijoiden vastauksista seitsemän (44 %).

Ensimmäisenä esimerkkinä on Liisan vastaus. Hän tukeutuu vastauksessa samaan ilmiöön kuin välimuotoisten ilmiöiden luokkaan sijoittunut Leena. Liisan vastaus sijoitettiin kuitenkin tähän luokkaan siksi, että hän tukeutuu selvästi vain fysikaaliseen ilmiöön.

26. Liisa (R1): “Teräsvilla muuttaa vain olomuotoaan.”(ii)

Monivalintatehtävän perusteella opiskelija kuvittelee, ettei ilmiössä tapahtuisi minkään tyyppistä tasapainon muutosta. Tätä hän perustelee b-kohdassa teräsvillan olomuodon muutoksella. Opiskelijan a- ja b-kohdan vastaukset ovat keskenään loogisia, sillä olomuodon muutoksessa ei tapahdu massan muutoksia. Ehkä demonstraation näkeminen olisi voinut vaikuttaa hänenkin käsitykseensä rautavillan palamisesta.

Opiskelijoiden vastausten virheet liittyvät melko usein kaasumaiseen olomuotoon tai reaktiotuotteiden haihtumiseen (vrt. esim. BouJaouden 1991; Hesse & Anderson 1992; Prieto ym. 1992; Watson & Dillon 1996). Esimerkiksi Marianne olettaa vaa’an kallistuvan punnuksen puolelle, koska palamisessa “ilmaan lähtee jotain juttuja.”

27. Marianne (R1): “Koska teräsvilla palaa, siitä lähtee ilmaan joitain juttuja.”(i)

Kokeessa käytetty teräsvilla oli kodin pintojen puhdistukseen käytettävää saippuoitua teräsvillaa. Saippuoitu teräsvilla käsiteltiin saippuan poistamiseksi tehokkaalla vesipesulla, minkä jälkeen se kuivattiin paperisella käsipyyhkeellä ja asetettiin eksikaattoriin kuivumaan yli vuorokaudeksi ennen koetta. Huolellisesta esikäsittelystä huolimatta rautavillan pintaan oli ilmeisesti jäänyt jonkin verran saippuaa tai veteen liukenemattomia puhdistusaineita. Pinnassa oli todennäköisesti myös jotain pinnoitemateriaalia ja kosteuttakin. Sen vuoksi kokeen aluksi voitiin havaita savun/höyryn muodostumista, joka tosin oli hyvin niukkaa ja kesti vain lyhyen aikaa. Tätä taustaa vasten Mariannen vastausta voidaan selittää demonstraatiosta tehdyllä havainnolla ja näköhavainnon perusteella tehdyllä virheellisellä päätelmällä. Selitys herättää kuitenkin lisää kysymyksiä. Miksei useampi opiskelija maininnut havaintoa ja päätynyt sen perusteella samaan päätelmään? Kyse on siis kuitenkin ehkä vain erikoistapauksesta, jossa opiskelijan tekemä havainto on vain vahvistanut aikaisempaa (virhe)käsitystä palamisilmiössä

tapahtuvasta haihtumisesta, eikä demonstraation muilla vaiheilla ole kyetty muuttamaan hänen käsitystään tieteellisempään suuntaan. Selitys on tulkinnanvarainen, koska opiskelijan ajattelusta ja päättelystä ei saatu enempää tietoa. Ilmeisesti kuitenkin pienetkin häiriötekijät koetilanteessa voivat vaikuttaa opiskelijan käsityksiin.

Kahdella ryhmän 2 opiskelijalla on vastaavan tyyppinen kaasumaiseen olomuotoon liittyvä virhekäsitys.

28. Laura (R2): “Teräsvillasta vapautuu jotain hässäkkää ja näin ollen sen massa pienenee.”(i)

29. Miina (R2): “Koska aine kevenee kun siitä lähtee palamisreaktiossa eri aineita.”(i)

Mariannen, Lauran ja Miinan vastauksen samankaltaisuus viittaa siihen, ettei uudentyyppisellä demonstraatio-opetuksella välttämättä ole aina oppimista edistävää vaikutusta.

Arin vastaus poikkeaa käsitteellisesti edellisistä, sillä hän tukeutuu elektronin käsitteeseen. Vastaus sijoitettiin tähän luokkaan pääasiallisesti siksi, että siinä tukeudutaan poistumisilmiöön edellä mainittujen opiskelijoiden tapaan.

30. Ari (R2): “Koska Rauta yhtyy happeen (raudan massa pienenee, koska siitä lähtee pois elektroneja).”(i)

Arin vastaus muistuttaa monelta osin kohdassa 8.1.2.1 esitetyn Kimmon (15) vastausta. Molemmat opiskelijat tunnistavat hapen roolin, käyttävät selityksessä elektronien käsitettä ja selittävät ilmiön syy-seuraussuhteita tukeutumalla elektronien siirtymiseen. Arin perustelu on kuitenkin lähempänä hapettumis-pelkistymisilmiön teoreettista mallia, sillä raudan hapettuessa sen katsotaan luovuttavan elektroneja elektronegatiivisemmalle hapelle. Olennaisin ero selitysmalleissa on kuitenkin se, että Arin mukaan elektronien poistuminen aiheuttaa massan pienenemisen, kun taas Kimmon mukaan elektronien liittyminen aiheuttaa massan kasvamisen.

Sarin vastaus on moniin muihin vastauksiin verrattuna teoreettiselta otteeltaan vakuuttava, mutta siinä on muutamien edellisten vastausten tyyppinen haihtumisilmiöön liittyvä virhekäsitys.

31. Sari (R2): “Palaessaan rauta reagoi hapen kanssa: Rauta itse hapettuu ja happi pelkistyy. Tuloksena on raudan ja hapen yhdiste, FeO, rautaoksidi. Tämä aine on kaasu. Kun rauta lähtee pois, myös möhkäleen massa pienenee. Lopussa kaikki rauta on yhdistynyt happeen (oletetaan, että happea on tarpeeksi saatavilla, eikä tuli sammunut kesken kaiken).”(i)

Vaikka opiskelijan perustelu on monelta osin tieteellisen selitysmallin mukainen, se kertoo myös sen, ettei hän ole täysin ymmärtänyt ilmiön teoreettisia perusteluita. Miksi muuten hän tukeutuu haihtumisilmiöön? Sarin tapauksessa selitysmalli on kuitenkin niin lähellä oikeaa, että demonstraatiolla olisi ehkä voitu muuttaa hänen haihtuviin reaktiotuotteisiin liittyvää virhekäsitystään ja auttaa häntä muodostamaan tieteellisen selityksen mukainen yhteys ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille.

Kolmannessa yleisessä selitysmallissa tukeudutaan aineen tiheyden ja tiivistymisen käsitteisiin. Kaisa olettaa, ettei ilmiössä havaita tasapainon muutoksia ja perustelee sitä rautavillan tihenemisellä.

32. Kaisa (R2): “Palamisessahan palava aine kuluu ja massa muuttuu. Ei raudan massa minnekään hajoa, se painuu vain kokoon. Se on silloin tiheämmässä muodossa, mutta massa on sama.”(ii)

Vastauksen alkuosan perusteella opiskelija siis tiesi palamisreaktioissa tapahtuvan massan muutoksia. Vastauksen loppuosaa ja monivalintatehtävää voidaan selittää sillä, ettei hän ehkä tunnistanut kysymyksessä esitettyä ilmiötä selitysmallinsa mukaiseksi palamisilmiöksi. Vastausta voidaan tulkita myös niin, ettei opiskelija usko raudan voivan palaa ja pyrkii käsittelemään ilmiötä olomuodon muutoksena. Sen vuoksi opiskelijan vastauksen sijoittamisessa päädyttiin tähän luokkaan sen sijaan, että se olisi sijoitettu välimuotoisiin selityksiin. Toisaalta jos opiskelija kuvittelee ilmiön olomuodon muutosta vastaavaksi prosessiksi, selitysmalli on johdonmukainen monivalintatehtävän vastauksen kanssa Liisan tapaan.

Iina ilmoittaa, ettei rauta pala, mutta olettaa “raudan välissä” olevan aineen voivan palaa. Vastaus luokiteltiin kuuluvaksi fysikaalisten ilmiöiden luokkaan, koska vastauksessa tukeudutaan aineen tiiviiden käsitykseen. Välimuotoisten vastausten luokkaan sijoittuvat opiskelijathan sen sijaan olettavat raudan voivan palaa.

33. Iina (R2): “Rauta ei pala, vaan rautasäikeiden välissä oleva "aine" palaa, joten teräsvillasta tulee kevyempi ja tasapaino kallistuu vasemmalle.”(i)

Vastausta voidaan tulkita myös siten, että opiskelija on ehkä kohdannut tehtävänannossa olleen ilmauksen “..ja rautavilla sytytetään palamaan..” ja esikäsitteensä “Rauta ei pala” välillä loogis-tiedollisen ristiriidan. Ristiriidan selvittääkseen hänen on luotava kokeessa uusi

selitysmalli, jotta kykenisi ottamaan kantaa mahdolliseen rautavillan palamiseen.⁴ Muodostettuaan uuden, palamisen selittävän mallin, hän pääättelee “mahdollisen” palamisen seurauksia. Hän tarjoaa selitysmallina palamista, jossa raudan sijaan “säikeiden välissä oleva aine palaa”. Olisi ollut mielenkiintoista demonstroida rautavillan palaminen Iinalle ja seurata hänen käsityksensä muutosta. Hän olisi saattanut tämän jälkeen uskoa raudan voivan palaa, mutta selitysmalli olisi voinut hyvinkin pysyä ennallaan. Tosin selitysmalli olisi saattanut myös muuttua, jos demonstraatio olisi suoritettu uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin mukaisena prosessina.

Viimeisenä esiteltävä ryhmän 2 opiskelijan vastaus on selkeä, sillä hän tukeutuu vastauksessaan vain aineen tiiviysasteeseen.

34. Mira (R2): “Teräsvilla on tehty rautasäikeistä, jonka olemus ei ole tiivis (kuin esim. viereinen punnus). Jos teräsvillan laittaa palamaan, se muuttuu vielä hienojakoisemmaksi ja (?) aineen massa on pienempi kuin punnuksen.”(i)

Opiskelijan tekemät päätelmät tukevat hänen valitsemaansa monivalintatehtävän vastausta, mutta hänellä ei tunnu olevan alkeellistakaan käsitystä rautavillan palamisreaktiosta. Tässä tapauksessa käsityksen muutosprosessi olisi haastava tehtävä, vaikka opetus toteutettaisiinkin uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mukaisesti.

Olenainen puute kaikissa tähän luokkaan sijoittuneissa vastauksissa on, ettei niissä kuvailla hapen merkitystä palamisilmiössä. Yhteistä kaikille vastauksille on myös se, ettei kukaan vastaajista ole valinnut a-kohdan monivalintatehtävässä vastausvaihtoehtoa iii eli sitä, että tasapaino kallistuu palaneen rautavillan puolelle. Keskeisimpänä huomiona esille nousee se, että tähän luokkaan sijoittuu huomattavasti vähemmän ryhmän 1 kuin ryhmän 2 opiskelijoiden vastauksia.

Opiskelijat perustelivat havaittuja tai oletettuja painon muutoksia tukeutumalla pääasiassa fysikaalisiin ilmiöihin. Opiskelijoilla on palamisilmiöstä klassisia virhekäsityksiä: palamisessa jotain katoaa tai haihtuu kaasuna ilmaan (vrt. esim. Meheut 1985; Boujaoude 1991; Hesse & Anderson 1992) ja aine tiivistyy (vrt. esim. Andersson & Renström 1981b). Yksi opiskelija perustelee vastaustaan siten, että ilmiössä tapahtuu vain olomuodon muutos.

Yhden ryhmän 1 opiskelijan vastaus viittaa siihen, ettei uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin mukainen opetus saa automaattisesti aikaan käsityksen muutosta. Toisaalta

⁴ Opiskelijan näkökulmasta on kyse “mahdollisesta” palamisesta, sillä hänen mallissaan rauta ei pala, mutta hänen oletetaan hyväksyneen tehtävänannon mukaisen väittämän raudan palamisesta.

monien ryhmän 2 opiskelijoiden vastauksissa on virhekäsityksiä, joita olisi ehkä voitu poistaa uudentyypisen demonstraatio-opetuksen keinoin. Joissain tapauksissa jo pelkkä ilmiön demonstroiminen olisi voinut muuttaa käsityksiä, mutta syvällisempiin muutoksiin olisi tarvittu uudentyypisen demonstraatio-opetuksen mallin mukaista opetusprosessia.

8.1.2.4 Aineen ja energian säilymislain generoimat virhekäsitykset

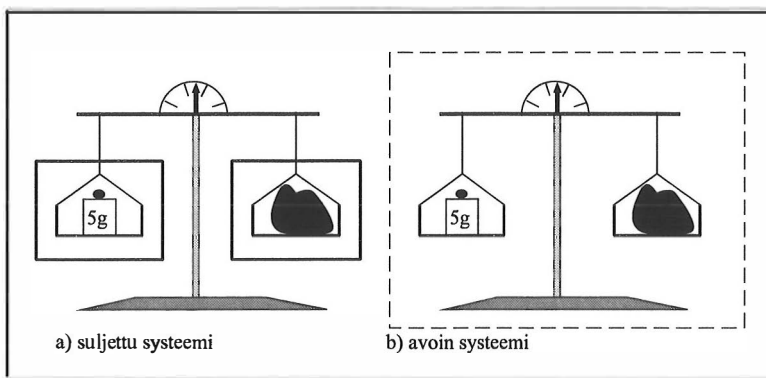
Osa opiskelijoista tukeutuu selityksissään aineen ja energian säilymislakiin, vaikkei ilmoitakaan sitä selväsanaisesti. Vastausluokka ei ole määrällisesti suuri, sillä siihen sijoittuu vain kaksi ryhmän 1 opiskelijaa.

Yhteistä näiden ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksissa on se, että he olivat valinneet a-kohdassa vaihtoehdon "ii" eli massa ei muutu ja perustelevat sitä kemiallisen reaktion kokonaismassan muuttumattomuudella.

35. Miia (R1): "Ainetta on edelleen molemmissa vaakakupeissa saman verran."(ii)

36. Niina (R1): "Koska silti vaakakupissa on sama määrä ainetta, MASSA EI MUUTU."(ii)

Opiskelijoiden ajattelua voidaan tulkita kuvion 28 mukaisella koeasetelmalla. Jos rautavillaa poltetaan suljetun systeemin sisällä (kuvio 28a), mitään tasapainon muutoksia ei havaita, sillä aineen määrä pysyy suljetun systeemin sisällä samana.⁵ Rautavillan massan voitaisiin todeta muuttuneen reaktion aikana vain avaamalla systeemi. Jos rautavillaa poltetaan avoimessa



Kuvio 28. Opiskelijan rautavillan palamisen selitysmallin taustalla voi olla a) suljetun systeemin b) avoimen systeemin mukainen selitysmalli.

⁵ Nykyään tiedämme, että jos käytössämme olisi riittävän herkkä vaaka, kemiallisessa reaktiossa voitaisiin todeta pieniä painonmuutoksia, koska aine voi muuttua energiaksi sekä päinvastoin energia voi muuttua aineeksi. Muutokset ovat kuitenkin niin pieniä, ettei sillä ole mitään käytännön merkitystä.

systemissä (kuvio 28b), tasapainon muutokset havaitaan välittömästi reaktion edetessä. Miian ja Niinan vastauksia voidaan tulkita siten, että he ovat ehkä ajatelleet rautavillan palamista suljetun systeemin tapaisessa koeasetelmassa.

Miian ratkaisua voidaan yrittää selittää myös siten, ettei hän nähnyt palamisilmiötä havainnollistavaa demonstraatiota. Tämä kuitenkin herättää kysymyksen, miksi Niina vastaa samoin, vaikka hän on nähnyt demonstraation. Niinan osalta on siis varsin selvää, ettei demonstraatio-opetuksella päästy ilmiön ymmärtämisen kannalta toivottuun lopputulokseen. Toisaalta opiskelijoiden vastaukset ilmentävät aineen ja energian säilymislain omaksumista, mutta samalla myös sitä, kuinka laista on tullut heidän päättelyään rajoittava tekijä.

Tässä tutkimuksessa taustatietoina käytettävissä tutkimuksissa ei ole pohdittu mainittujen virhekäsitysten syitä. Syy virheellisen ajattelumallin olemassa oloon lienee tutkimuksessa käytetyssä mittarissa, sillä monivalintatehtävän yhtenä vaihtoehtona esitettiin tasapainon säilyminen ennallaan. Tämä puolestaan herättää kysymyksen siitä, ohjasiko kysymyksenasettelu opiskelijoiden ajattelua vai kyettiinkö mittarilla havaitsemaan uudentyyppinen virhekäsityksen syy. Perehtymällä useaan keskeiseen palamisilmiötä käsittelevään tutkimukseen (Andersson & Renström 1981b; Meheut 1985; Andersson 1986, 1990; BouJaoude 1991; Hesse & Anderson 1992; Prieto ym. 1992; Watson ym. 1995;1997; Watson & Dillon 1996) voidaan virhekäsityksen piilossa pysymiseen tutkimuskirjallisuudessa huomata useitakin syitä. Olennainen seikka on se, ettei missään edellä mainituista tutkimuksista ole käytetty tämän tutkimuksen kanssa täsmälleen samanlaista kysymyksenasettelua. Esimerkiksi Watsonin ym. (1995, 1997; vrt. myös Prieto ym. 1992; Watson & Dillon 1996) tutkimuksissa ainemäärän säilymlaki on liitetty toisentyypiseen kontekstiin. Kyseisissä tutkimuksissa on tehty ainemäärän ja massan muuttumattomuuden käsitykseen liittyviä havaintoja, mutta ne on kytketty kaasumaisten reaktiotuotteiden massoihin liittyvään yleiseen ongelmaan.

Toinen syy siihen, ettei virhekäsityksiä tarkastella tutkimuksissa on koeasetelma. Esimerkiksi Schollumin (1981) tutkimuksessa esitettiin massan muuttumattomuuteen viittaava monivalintatehtävän vastausvaihtoehto, mutta kysymyksen mukaisessa koeasetelmassa vaa'an päälle oli asetettu palamaan kynttilä. Koeasetelma johtaa siksi hyvin erityyppisiin päätelmiin, kuin tässä tutkimuksessa käytetty koeasetelma. Myös kokeessa käytetyillä aineilla on olennainen merkitys tulosten kannalta. Esimerkiksi Meheutin (1985; vrt. myös BouJaoude 1991) tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota vain orgaanisten aineiden palamisilmiöön, joten kokeesta tehdyt havainnot poikkesivat selvästi tässä tutkimuksessa käytettyjä aineita koskevista havainnoista.

Tämän tutkimuksen kysymyksenasettelu ja koeasetelma on onnistunut tuottamaan uudentyyppistä tietoa opiskelijoiden palamisilmiötä koskevista käsityksistä. Kysymyksen

mahdollinen johdatteleva luonne ja sen merkitys toimivat ennemminkin uudentyyppisenä työväliseinä, joka paljastaa kohteestaan jotain uutta, kuin muottina, joka pakottaa tai ohjaa kohteen valittuun muotoon.

8.1.2.5 Puuttuvat perustelut

Viimeinen yhtenäinen luokka keskittyy ilmiön puutteelliseen hahmotukseen. Sisällöllisesti tähän luokkaan sijoittuvat vastaukset eivät tuo uutta tietoa. Vastausten lukumäärässä huomio kiinnittyy kuitenkin siihen, että rautavillan palamista havainnollistavan demonstraation nähneen ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksia on tässä luokassa selvästi vähemmän.

On periaatteessa melkein sama, jättääkö opiskelija kokonaan vastaamatta vai vastaako hän esimerkiksi että "massa pienenee palaessa". Kummassakaan tapauksessa vastauksesta ei voi päätellä juuri muuta kuin sen, ettei opiskelija ole joko viitsinyt ajatella koko tehtävää tai että hänellä tosiaankaan ei ole ollut minkäänlaista käsitystä rautavillan palamisesta.

37. Jani (R1): "Massa pienenee palaessa."(i)

38. Tarja (R2): "Palamisreaktiossa aineen massa pienenee."(i)

39. Elli (R2): "Aineen massa vähenee palaessa."(i)

40. Piia (R2): [Ei vastattu.]

41. Minna (R2): [Ei vastattu.]

42. Risto (R2): [Ei vastattu.]

Esimerkiksi Janin olisi voinut olettaa suoriutuvan paremmin ainakin monivalintatehtävässä, sillä hän oli nähnyt raudan palamista havainnollistavan demonstraation. Hänen suoriutumistaan voidaan kuitenkin selittää myös siten, ettei demonstraatio kyennyt herättämään hänen kiinnostusta tutkittavaa ilmiötä kohtaan.

8.1.3 Rautavillan palamisen symbolinen esitystapa

Työhypoteesina tasapainotehtävää tarkasteltaessa oli, että osalla opiskelijoista on riittävät teoreettiset tiedot ongelman ratkaisemiseksi, mutta he päätyvät virheelliseen päätelmään joko monivalintatehtävässä ja/tai oletettujen muutosten perusteluiden selittämisessä. Tätä testattiin

koekysymyksen viimeisessä kohdassa, jossa opiskelijaa pyydettiin tuottamaan palamisilmiötä kuvaava kemiallinen reaktioyhtälö.

Vastausten analyysissä huomioitiin sellaisten opiskelijoiden vastaukset, jotka sijoittuivat ilmiön ymmärtämistä mittaavan b-kohdan kysymyksen perusteella muihin kuin kemiallisten ilmiöiden luokkaan. (Kaikissa kemiallisten ilmiöiden luokkaan sijoittuvissa vastauksissa rautavillan symbolinen esitys oli periaatteessa oikea.)

Suorituksen arvioinnissa ei haluttu puuttua raudan hapetusasteesta johtuvaan erotteluun, vaikka yksi opiskelija pohti tätäkin. Virheitä esiintyi myös reaktion tasapainottamisessa ja reagoivien aineiden merkinnöissä. Muutamissa tapauksissa happi oli lähtöaineiden puolella esitetty yksiatomisena (O). Tämä huomioidaan tarkastelussa, mutta tärkein tarkastelukohde on opiskelijan kokonaissuoritus. Opiskelijalla katsotaan olevan riittävät teoreettiset edellytykset ratkaista esitetty ongelma oikein, jos hän oli esittänyt raudan palamiselle jonkin vaihtoehtoisen kombinaation reaktiosta



Tärkeimpänä symbolisen esityksen elementtinä pidettiin sitä, että lähtöaineiden puolella rauta ja happi esiintyvät erillään ja reaktiotuotteiden puolella yhtyneenä rautaoksidiksi (FeO , FeO_2 , Fe_2O_3 tms.).

Ryhmässä 1 kolmella (12 %) ja ryhmässä 2 tapauksessa neljällä (25 %) näyttää olleen riittävät teoreettiset tiedot tehtävän ratkaisemiseksi. Oikeaan ratkaisuun he olisivat voineet päätyä esimerkiksi päättelemällä analyttisesti c-kohdan vastauksensa avulla. Siihen, mikseivät opiskelijat näin kuitenkaan toimineet, on kolme mahdollista syytä.

Ensinnäkään kukaan opiskelijoista ei valinnut monivalintatehtävässä vastausvaihtoehtoa, jonka perusteella vaaka kallistuisi palaneen rautavillan puolelle. Sen sijaan yhteensä viisi opiskelijaa olettaa palaneen rautavillan painavan vähemmän ja kaksi olettaa, ettei reaktiossa tapahdu mitään massan muutoksia. Monivalintatehtävän valintaperusteita selvittävien b- ja c-kohtien perusteella opiskelijoiden voidaan kuitenkin todeta pohtineen a- ja/tai b-kohtien ja c-kohdan reaktioyhtälön ristiriitaisuutta ainakin jollain tasolla. B-kohdan vastausten analyysi paljastaa neljän opiskelijan selittäneen a-kohdan vastaustaan (kaasumaisen) reaktiotuotteen poistumisella tai haihtumisella. Aineen kaasumaiseen olomuotoon tukeutuminen poistaa ilmeisen ristiriidan tasapainon asettumisen ja reaktiotuotteen massan välisestä suhteesta. Opiskelijat ovat toisin sanoen voineet ymmärtää reaktiotuotteen olevan massaltaan suurempi kuin lähtöaineena olleen raudan, mutta koska reaktiotuote haihtuu pois, vaaka kallistuu punnusten suuntaan. Tällaisessa tapauksessa vastaus on varmasti ollut opiskelijan mielestä

ristiriidaton eikä osakohtien korjaamiseen ole ollut mitään syytä. Yksi syy virheelliseen vastaukseen voi siten olla reaktiotuotteen olomuodon olettaminen kaasumaiseksi.

Yhden vastaajan mukaan teräsvilla on harvempaa ainetta kuin rautapunnus ja palamisen yhteydessä teräsvilla muuttuu vieläkin hienojakoisemmaksi. Opiskelijan mukaan reaktiotuotteen hienojakoisuus merkitsee aineen massan pienenemistä. Ajattelumallin taustalla voi olla arkihavainto eri tiheyksisten aineiden käyttäytymisestä. Tiheyden käsitteen oppiminen kuuluu lukion ensimmäisen vuoden fysiikan kurssien oppisisältöihin, joten opiskelija on saattanut muodostaa käsityksensä jo fysiikan opintojen aikana tehdyistä laboratoriotöistä. Ajattelumallin alkulähdettä tärkeämpää oli kuitenkin löytää osatehtävien välisen ristiriitaisuuden syy, joka tässä tapauksessa liittyi tiheyden käsitteeseen.

Kahden vastaajan mielestä tasapaino ei muuttunut kokeen aikana. Vastausten perusteella opiskelijat tukeutuvat b-kohdassa ainemäärän säilymlakiin, jonka perusteella reaktiossa ei tapahtuisi kokonaismassan muutoksia. Osatehtävien välisen ristiriidan syyksi esitettiin jo kohdassa 8.1.2.4 suljetun systeemin mukainen selitysmalli. Opiskelijan näkökulmasta reaktiossa voi siten tapahtua (paikallisia) massan muutoksia, mutta kokonaisuuden kannalta niillä ei ole merkitystä suljetun systeemin mukaisessa koeasetelmassa.

Edellä kuvatuissa tapauksissa voidaan nimetä kolme mahdollista selittäjää osatehtävien keskinäiselle ristiriidalle. Niiden lisäksi voidaan esittää muutama yleisluonteisempi syy. Ensinnäkin opiskelijat saattavat vastata kysymyksen eri kohtiin niin, kuin ne olisivat erillisiä kokonaisuuksia, eivätkä pohdi vastauksensa merkitystä koko tehtävän kannalta. Toisaalta joissain tapauksissa voi tulla kyseeseen reaktioyhtälön ulkoa opettelu; ts. opiskelijat ovat voineet esittää vastauksenaan oppitunnilta muistamansa reaktioyhtälön ymmärtämättä sen paremmin, mitä reaktioyhtälö merkitsee palamisilmiön tai testikysymyksen esittämän koeasetelman kannalta.

Demonstraatio-opetuksen suoraa vaikutusta c-kohdan vastauksiin on vaikea osoittaa. Aineen kaasumaiseen olomuotoon tukeutuvien ja demonstraation nähneiden ryhmän 1 opiskelijoiden olisi kuitenkin voinut olettaa muistavan edes sen, että kokeessa muodostukin kiinteää reaktiotuotetta. Toisaalta opiskelijoiden huomio kohdistettiin massan kasvamiseen reaktion aikana, joten massan muuttumattomuuteen tukeutuminen olisi vaikuttanut epäloogiselta. On toki mahdollista, että opiskelijoiden havaintojen tekeminen on häiriintynyt jostain syystä eikä heille ole siten muodostunut selkeää mielikuvaa demonstraation aikana tapahtuneista muutoksista. On myös mahdollista, etteivät opiskelijat ole yksinkertaisesti muistaneet, mitä kokeessa tapahtui.

8.1.4 Demonstraation vaikutus ilmiön ymmärtämiseen

Tutkimuksen perusajatuksen on oletus, että demonstraatiolla voidaan vaikuttaa opiskelijan ajatteluun ja luonnontieteellisten käsitteiden omaksumiseen. Päähuomio kiinnittyy siihen, kuinka demonstraatio vaikuttaa ilmiöiden käsitteelliseen omaksumiseen. Sisältöjen oppimisen indikaattoreina pidetään pinta- ja syväoppimisen eri muotoja, kuten virhekäsitysten poisoppimista, uusien käsitysten oppimista vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti tai virhekäsitysten välttämistä sekä ilmiön selitysten ankkuroitumista pitkäkestoiseen muistiin. Tutkimuksessa etsitään myös sellaisia merkkejä, jotka ilmentävät luonnontieteellisen ajattelutavan omaksumista ja oppijan ajattelun aktivoitumista.

8.1.4.1 Käsitteiden muutosprosessi

Yksi uudentyypin demonstraatio-opetuksen tavoitteista on toimia konkreetin luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välisenä siltana. Jollei opiskelija esimerkiksi kykene sisäistämään oppikirjasta lukemaansa tekstiä tai opetustilanteessa kuulemaansa selitystä, demonstraatiosta tehdyt havainnot saattavat poistaa ymmärtämisen esteitä. Seuraavaksi tutustutaan yksityiskohtaisemmin yhden opiskelijan konstruktioopetukseen. Siinä ilmenee uudentyypin demonstraatio-opetuksen hyödyntämisen ristiriitallisuuden merkitys oppimisprosessille.

Kurssin alussa järjestettiin kognitiivinen testi, jossa tiedusteltiin opiskelijoiden yleistä käsitystä palamisilmiöstä. Kimmon vastauksen perusteella hänen käsityksensä ilmiöstä oli vielä yleisellä tasolla ja osittain jäsentymätön. Vastauksessa oli myös viitteitä kemian käsitteiden omaksumisesta. Hän esimerkiksi tiesi, että happi liittyy palamisilmiöön, mutta sen rooli palamisilmiössä oli hänelle vielä epäselvä.

Kysymys: ”Mitä on palaminen?”

43. Kimmo (R1): ”Jokin aine reagoi jotenkin hapen kanssa”

Kun kurssin edetessä päästiin hapettumis-pelkistymisilmiöitä käsittelevään kappaleeseen, opiskelijan esikäsityksen palamisilmiöstä oletettiin olevan kognitiivisen testin mukainen. Sitä alettiin kehittää uudentyypisellä demonstraatio-opetuksella. Olennaista esikäsityksessä oli se, ettei opiskelijalla näyttänyt eksplisiittisesti olevan virhekäsitystä ilmiöstä.

Orientoimisvaiheessa selvitettiin opiskelijoiden palamisilmiöön liittyviä esikäsityksiä. Tuolloin selvisi, että opiskelijat yhdistävät hapettumisen ja pelkistymisen käsitteet palamiseen, ruostumiseen ja energian vapautumiseen.

Seuraavaksi opiskelijoita rohkaistiin muodostamaan hypoteeseja siitä, miten rautavillan massa muuttuisi palamisreaktiossa. Ensimmäisen hypoteesin esitti Sami, ja joka väitti aineen massan kasvavan palaessa.⁶ Koska muita hypoteeseja ei esitetty, hypoteesin testaamiseksi suoritettiin koe eli demonstraatio.

Kimmon käsitys täsmentyi demonstraation aikana, mikä voitiin todeta demonstraatiopäiväkirjamerkinnän perusteella. Esimerkiksi “[rauta] reagoi jotenkin hapen kanssa” oli muuttunut täsmällisempään muotoon “palaessa [rautaan] sitoutuu happea”.

44. Kimmo ja Martti (R1): “...[Demonstraatio] oli aika selkeä, yksinkertainen ja totta kai aiheeseen liittyvä. Demossa nimittäin pidettiin rautahässäkkää [rautavillaa] vaa’alla ja [opettaja] tuikkasi sen tulee, jolloin sen palaessa siihen sitoutui happea ja kaikkien ihmetykseksi paino nousi”; “Demo oli erittäin hyvä ja mieleenpainuva...”.

Päiväkirjamerkinnässä käytetyn sanamuodon perusteella opiskelija oli kuitenkin kohdannut kognitiivisen ristiriidan, kun reaktiossa paino oli lisääntynyt oletetun vähenemisen sijaan.⁷ Opiskelijan kommentti antoi uutta tietoa myös hänen esikäsityksestään. Päiväkirjamerkinnän perusteella vaikuttaa nimittäin siltä, että opiskelijan esikäsitys olisikin ollut virheellinen (palamisessa aineen massa aina vähenee), toisin kuin kurssin alussa suoritetun kognitiivisen testin perusteella oletettiin. Todennäköisin syy siihen, miksei virhekäsitys selvinnyt jo orientaatiovaiheessa, on se, ettei opettaja rohkaissut opiskelijoita riittävästi hypoteesien tekemiseen.

Opetusmenetelmän viimeisessä vaiheessa tukeuduttiin voimakkaasti ilmiön teoreettisiin perusteluihin. Oppitunnilla tämä tarkoitti sitä, että opettaja kytki esimerkkien avulla demonstraatiosta tehdyt havainnot ilmiön teoreettisiin perusteluihin. Ensin hän esitti demonstroidun ilmiön reaktioyhtälön, jossa hapettuminen yhdistettiin konkreettisesti ja teoreettisesti hapen liittymiseen ja pelkistyminen kuvattiin tälle vastakkaisena prosessina. Seuraavaksi esitettiin kurssin alkuosassa demonstroidun kuparin ja rikin välisen reaktion

⁶ Tämä selvisi kurssin lopussa toteutetussa haastattelussa, jossa opiskelija totesi palamisilmiöstä mm. seuraavaa: “...olen aina käsittänyt, että palaminen on aineen yhtymistä happeen...”, “...isoveli iskosti mieleen, että palamistuote on raskaampi...”.

⁷ Päiväkirjan kirjoittajia oli kaksi, mutta sanamuodon perusteella käsitys oletetaan kertojille yhteiseksi eli kummallakin kirjoittajalla on sama käsitys.

reaktioyhtälö ja se rinnastettiin edellä esitetyn raudan ja hapen väliseen reaktioon. Esimerkkien avulla käsitteet hapettuminen ja pelkistyminen liitettiin elektroninsiirtymisprosesseihin. Demonstraation pohdiskeluvaiheessa opettajan olisi pitänyt vielä tehdä yhteenveto, mutta se jäi tekemättä.

Opiskelijoiden palamiskäsitystä selvitettiin kurssin lopussa samalla mittarilla kuin kurssin alussa. Kimmon vastauksen perusteella hän on tunnistanut hapen keskeisen roolin ja selittää palamisen lyhyesti hapettumisena. Epäselväksi tässä vaiheessa jää kuitenkin vielä se, tarkoittaako hän hapettumisella aineen ja hapen välistä reaktiota vai elektronin siirtymisprosessia.

Kysymys: "Mitä on palaminen?"

45. Kimmo (R1): "Hapettumista"

Kurssikokeessa opiskelijan oma käsitys asetetaan koetukselle, koska hän joutuu selittämään rautavillan palamisilmiötä. Opiskelija muistaa massan kasvavan ja vastaa oikein massan muutoksia koskevaan kysymyksen. (Tämä olikin oletettavaa, sillä päiväkirjamerkinnän perusteella massan kasvaminen oli ollut yllättävää ja jäänyt siten oletettavasti hyvin mieleen.) Käsitteen muutosprosessin keskeneräisyys paljastuu, kun Kimmoa pyydettiin selittämään, miksi tasapaino asettuu hänen väittämällään tavalla. Kimmon selitysmallin mukaan massa kasvaa ja rauta hapettuu, mutta lisääntyneen hapen sijaan massan muutoksen saavatkin aikaan hapen saamat lisäelektronit.

Kysymys: b) "Miksi tasapaino asettuu väittämälläsi tavalla?"

46. Kimmo (R1): "Palaessaan rauta hapettuu eli sitoo hapen elektroneja itseensä → massa lisääntyy."

Kimmo osallistui haastatteluun, joka järjestettiin heti kurssikokeen jälkeen. Haastattelussa selvisi, ettei elektronien siirtymiseen pohjautuva käsitysmalli ollut vielä vallitseva, vaan Kimmo tukeutui pääosin hapen liittymiseen perustuvaan malliin.

Opiskelijaa pyydetään kommentoimaan kognitiivisen testin vastaustaan:

47. Kimmo (R1): "[hapettuminen on sitä, että]...tähän palavaan aineeseen sitoutuu happee. Elikkä siis aivan se, että se hapettuu..."

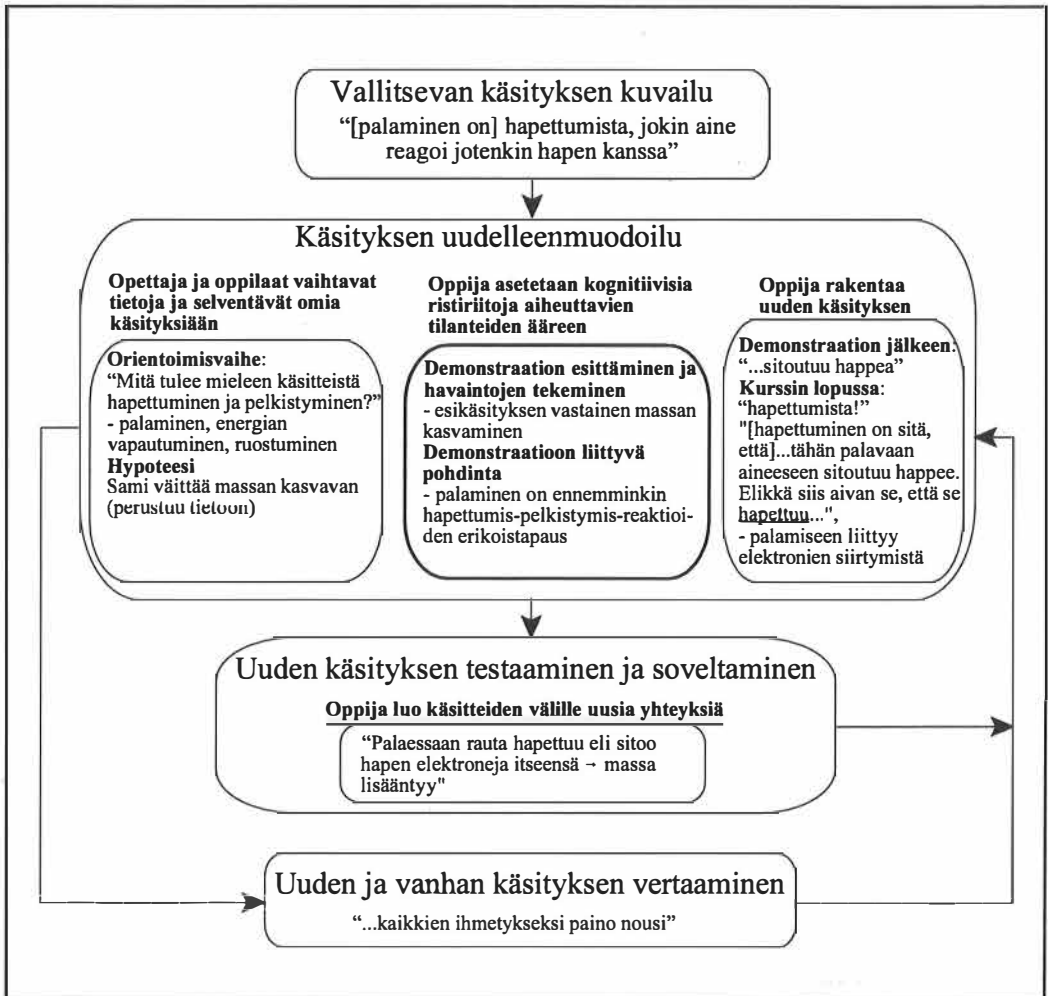
Oppijan konstruktioprosessi on selvästi vielä kesken, vaikka palamiskäsitys onkin lähentynyt vallitsevaa tieteellistä käsitystä. Keskeisimpänä edistymisen indikaattorina tässä vaiheessa on se, että alkuperäinen selitysmalli “reagoi jotenkin” on muuttunut täsmällisempään muotoon “[rautaan] sitoutuu happea” ja opiskelija on liittänyt selitysmalliinsa elektronin käsitteen. Haastatteluvastauksen perusteella opiskelijan käsitys perustuu ensisijaisesti hapen liittymiseen ja vähäisemmässä määrin elektronin siirtymisprosessiin. Opiskelijalle on muodostunut alkeellinen selitysmalli siitä, kuinka massan muutoksia voidaan kuvata happeen perustuvalla mallilla, mutta epäselvää on vielä se, kuinka tätä mallia voidaan täydentää elektronien siirtymiseen perustuvalla mallilla.

Kun Kimmon käsityksen muutosprosessia tarkastellaan Krajcikin (1991) mallin näkökulmasta huomataan, että oppimisprosessi on selvästikin käynnistynyt, muttei ole vielä päätyntä vaiheeseen, jossa uusi käsitys korvaa aikaisemman (kuvio 29). On varsin todennäköistä, että opiskelijan vastaukset, hänen uuden tiedon luomisen prosessinsa ja palamisilmiöön liittyvä käsityksensä olisivat olleet perin toisenlaisia ilman demonstraation näkemistä. Itse asiassa on varsin mahdollista, että Kimmon olisi kuvitellut raudan massan pysyvän muuttumattomana tai pienenevän kokeessa monien ryhmän 2 opiskelijoiden tapaan.

Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin tavoite on pyrkiä lähentämään konkreettia luonnonilmiötä ja sen teoreettisia perusteluita. Tässä tapauksessa päästiin varsin tyydyttävään tulokseen, sillä aikaisemmat käsitteet tarkentuivat ja opiskelija otti käyttöön uusia käsitteitä. Opiskelijan vastauksista ilmenee se, että kurssin loppuun mennessä opiskelija korosti hapen keskeistä roolia ja hänen selitysmalliinsa liittyivät uutena käsitteenä elektronit sekä ilmiönä elektronin siirtymisprosessi. Tynjälän (1999, 77) mukaan tässä yhteydessä voitaisiin puhua oppimisen ilmiöön liittyvien yksittäisten käsitteiden merkityksiin liittyvistä muutoksista.

Demonstraatioon vaikutusta ilmentää myös opiskelijan koevastauksen loogisuus ja johdonmukaisuus. Monillakaan rinnakkaisryhmän opiskelijoilla ei vastaavaa todettu, ja vain harvat “vääriin” selitysmalleihin tukeutuvat opiskelijat kykenivät johdonmukaiseen päättelyyn. Opetusmenetelmä on siten todennäköisesti ohjannut opiskelijoiden ajattelua luonnontieteellisemmäksi, vaikkei tätä voida kiistattomasti osoittaa. Ei kuitenkaan liene sattumaa, että sellainen opiskelija, joka selitysmalli oli puutteellinen, kykeni näinkin johdonmukaiseen päättelyyn.

Toisaalta Kimmon ja Martin päiväkirjamerkintä (44) viittaa konstruktivistisen oppimisen teorian perusolettamukseen, jonka mukaan opiskelijoilla on luonnonilmiöistä ennakkokäsityksiä, mutta myös siihen, että niiden muuttaminen on mahdollista. Demonstraatio-opetuksella oletetaan olleen keskeinen merkitys Kimmon käsityksen muutosprosessin käynnistäjänä.



Kuvio 29. Kimmon käsityksen muutosprosessin tarkastelu Krajckin (1991) mallin mukaan.

8.1.4.2 Empiiriset havainnot luovat käsitteille merkityksiä

Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallissa oppimisprosessi alkaa omien käsitysten kuvailulla ja etenee kohti luonnonilmiötä kuvaavien teoreettisten käsitteiden omaksumiseen ja niiden merkityksen ymmärtämiseen. Ilmiön perushahmotuksessa havainnot jäsentyvät opiskelijan luontaisen hahmottamismallin mukaisesti olioiksi, ilmiöiksi ja niiden ominaisuuksiksi, joihin liitetään pysyvyyden, muuttumisen, keskinäisen riippuvuuden, aiheuttamisen sekä vaikuttamisen jäsentäviä ja luokittelevia mielikuvia. Kurki-Suonion ja Kurki-Suonion mukaan (1994, 160, 170) tämä merkitsee luonnonilmiöstä saadun välittömän elämyksen tulkintaa, jäsentyneen mielikuvan muodostumista siitä, “mitä ilmiössä tapahtuu”, ja siirtymistä elämyksiä kuvaavista, oppijoiden ja opettajan omakielisistä toteamuksista fyysisen (kirj. huom. myös kemiallisen) kielen ensimmäiselle tasolle, jossa nämä mielikuvat on kielellistetty.

Seuraavaksi tarkastellaan demonstraation merkitystä ilmiön perushahmotuksessa. Tarkastelu rajataan opiskelijoiden tiedonhankinnan ja ongelmaratkaisukyvyyn näkökulmiin, koska niillä katsotaan olevan olennaisin merkitys opiskelijan suoriutumiselle tämän tutkimuksen viitekehyksessä.

Haastatteluaineiston perusteella Samin, yhden tutkimukseen osallistuneen opiskelijan, todettiin tienneen ennakolta, mikä raudan ja sen palamistuotteen massojen suhde tulee olemaan. Samin tapauksessa demonstraatiolla on siis ollut ehkä vain aikaisempaa käsitystä vahvistava vaikutus, kun taas Kimmon konstruktio-prosessista kuvastuu aikaisemman käsityksen ja havainnon välinen ristiriita (“...kaikkien ihmetykseksi paino nousi”). Tästä näkökulmasta tarkasteltuna Kimmon voidaan olettaa oppineen demonstraatiosta jotain sellaista, jonka Sami jo tiesi. Toisaalta Samin haastatteluvastauksen perusteella tuli ilmeiseksi ns. informaalin oppimisen merkitys, toisin sanoen oppimista tapahtuu myös muualla kuin oppitunnilla.

Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin tavoitteena on vaikuttaa opiskelijan (arki)käsityksen muutosprosessiin ja teorian muodostukseen oppimisen kohteena olevasta ilmiöstä. Vaikutusta tavoitellaan induktiivisesti lisääntyvällä tiedonhankinnalla. Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen malli muistuttaa siten monelta osin keksivän oppimisen mallia (vrt. Domin 1999), joten keksivään oppimiseen kohdistettu kritiikki koskee myös tässä sovelletun mallin mukaista opetusta. Keksivän oppimisen yhtenä ongelmana on vuorovaikutustilanteen luonne. Dominin mukaan on epärealistista olettaa koko ryhmän keksivän kokeen avulla samaan aikaan esimerkiksi ilmiön noudattavan jotain tiettyä periaatetta. Päinvastoin yhden opiskelijan keksiessä luonnonilmiön noudattavan tiettyä periaatetta tieto “jaetaan” muille opiskelijoille. Dominin mukaan muiden opiskelijoiden henkilökohtainen tiedonmuodostuksen prosessi tässä tapauksessa häiriytyy, eikä kyse ole ehkä enää uuden käsityksen oppimisesta, vaan ennemminkin tiedon “jakamisesta” ja aikaisemman käsityksen vahvistamista.

Tässä tutkimuksessa kuitenkin ilmeni, että tämä kritiikki voidaan kyseenalaistaa. Sami esitti hypoteesin, että rautavillan massa kasvaa palaessa, jolloin muiden opiskelijoiden voidaan olettaa saaneen tiedon. Tästä huolimatta Kimmo ja Martti kirjoittivat päiväkirjaansa “... kaikkien ihmetykseksi paino nousi”. Päiväkirjamaininnan perusteella vaikuttaa siltä, ettei Samin “jakamalla” tiedolla olisi ollut vastaavan tyyppistä todistusvoimaa aikaisempien käsitysten muuttamiseksi kuin luokassa esitetyllä demonstraatiolla. Päiväkirjamerkintää voidaan selittää tietenkin myös siten, etteivät opiskelijat tienneet Samin esittämän hypoteesin perustuvan tietoon eivätkä siten uskoneet väittämän todenperäisyyteen. Toisaalta opettajan Samin hypoteesista esittämät kommentit olivat sellaisia, että opiskelijat ovat voineet niiden perusteella päätellä hypoteesin olevan tosi.

Keksivän oppimiseen kohdistettua kritiikkiä voidaan tarkastella kuvaillun opetustilanteen kautta. Tiedon “jakamista” pitää tarkastella myös suhteessa viestin lähettäjän sosiaaliseen asemaan ja vuorovaikutustilanteen luonteeseen. Opiskelijat ovat todennäköisesti valmiimpia kyseenalaistamaan vertaisryhmään kuuluvan henkilön kuin ekspertin väittämän, joten Samin väittämään ei ehkä suhtauduttu kovin vakavasti. Toisaalta opettaja ei ehkä ilmaissut väittämän paikkansapitävyyttä riittävän selvästi, joten opiskelijoilla on voinut ollut vaikeuksia päättää pitkö väittäjä paikkansa vai ei.

Luonnonilmiön toimintaperiaatteen demonstroiminen voidaan siten nähdä oppimistilannetta tasa-arvoistavana. Kullakin opiskelijalla oli mahdollisuus tehdä havaintoja itsenäisesti ja samaan aikaan. (Käytännössä tämä tietenkin edellyttää sitä, että opiskelijat seuraavat demonstraatiota ja heillä on esteetön näkyvyys havaintokohteeseen.) Opiskelijat pystyvät näkemänsä perusteella arvioimaan sekä esitetyn hypoteesin että oman käsityksensä paikkansapitävyyttä. Uudentyyppisessä demonstraatio-opetuksen mallissa arviointiprosessia pyrittiin myös tukemaan eri keinoin. Ensinnäkään opettajat eivät aloittaneet opetuskeskustelua heti havaintojen tekemisen jälkeen, vaan pyrkivät antamaan aikaa opiskelijoiden ajattelulle. Toiseksi, opettajat eivät “tyrkyttäneet” oikeaa vastausta, vaan pyrkivät kysymyksiin selvittämään opiskelijoiden näkemyksiä siitä, kuinka hypoteesi voitiin tulkita tehtyjen havaintojen pohjalta.

Opiskelijahaastatteluiden perusteella demonstraation näkeminen on vaikuttanut opiskelijoiden tehtävästä suoriutumiseen ja siten välillisesti myös heidän suoritusmotivaatioonsa. Esimerkiksi Päivin mielestä oli ollut hyvä ratkaisu sisällyttää kurssikokeeseen sellaisia kysymyksiä, jotka käsittelivät tunnilla esitettyjä demonstraatioita. Hän koki vastaamisen demonstraatioita käsitteleviin koekysymyksiin helpoksi siitä syystä, että hän kykeni nähdyn perusteella muistamaan, minkä suuntaisia muutoksia kokeessa oli tapahtui.

48. Päivi (R1): ”...se oli ihan hyvä, kun siinä [kurssikokeessa] oli niitä [niistä] demoista suoraan niitä kysymyksiä, niitä silleen muisti, että miten siinä kävi...”

Haastattelija: ”...Elikkä [sinulle] on jäänyt siitä demonstraatiosta selkeä mielikuva...?”

49. Päivi (R1): ”...joo, kyllä mulle jäi ja äänikin. Ja just ku sitä rautavillan polttamista, että se massa kasvaa...”

Vastaavan toteavat muutkin haastatteluista opiskelijoista. Esimerkiksi Martin mukaan hänen oli ollut helppo valita monivalintatehtävässä oikea vastausvaihtoehto, koska hän muisti, kuinka vaa’an lukema oli kasvanut reaktion edetessä.

50. Martti (R1): “Se [palamiskysymys] oli mun mielestä kaikkein helpoin [kysymys] koko kokeesta. Koska mä muistan ku[n]...eiks se noussut se..massa? ...Kun sitä [rautavillaa] ruvettiin polttaa, niin.... nous vaan vaa’assa lukema.... niin siitä mä just sen muistin ja varmaan helpoin koko hommasta.”

51. Pentti (R1): ”...tossa kokeessakin varmaan tulee pisteitä ihan noitten demonstraatioiden takia...et siitä tuli suoraan ihan pari niistä, mitä tunnilla tehtiin niitä demonstraatioita...”

Päivin ja Martin vastausten painoarvoa lisää se, ettei kumpikaan heistä ollut valmistautunut kokeeseen lukemalla tai kertaamalla aiemmin opittuja asioita. He pitivät demonstraatiopäiväkirjaa koko kurssin ajan, mikä oli sovittu kurssikokeen kanssa vaihtoehtoiseksi asioiden oppimisen osoittamiseksi. Päivi ja Martti osallistuivat siis kurssikokeeseen täysin vapaaehtoisesti ja omien sanojensa mukaan ilman ennakovalmistautumista ja silti kokivat kysymyksiin vastaamisen helpoksi.

Oppimisesta tai ilmiön teoreettisten perusteluiden ymmärtämisestä ei voida puhua vielä silloin, kun opiskelija kykenee palauttamaan muististaan demonstraatiosta tekemänsä havainnot. Atkinsonin (1990, 128) tutkimusten mukaan kokeen muistaminen kuitenkin vaikuttaa myös opiskelijoiden kykyyn muistaa ilmiön teoreettisia perusteluita. Atkinsonin tutkimustuloksia tulkiten opiskelijat ovat kokeneet vastaamisen helpoksi ehkä juuri siitä syystä, että he ovat kyenneet palauttamaan muististaan havaintojen lisäksi ilmiöön liittyvän teorian. Teorian muistaminen ei silti tarkoita sitä, että opiskelijat ymmärtäisivät sen merkityksen ilmiön kannalta. Tämän puolesta puhuu se, että haastatteluun osallistuneista opiskelijoista vain yksi kykeni selittämään rautavillan palamisessa tapahtuvan massan muutoksen tieteellisesti oikein. Toisaalta kaikki haastatellut opiskelijat kykenivät vastaamaan oikein monivalintatehtävään, jossa tiedusteltiin reaktiotuotteen painoa. Tämä viittaisi siihen, että ilmiön perushahmotus olisi muodostunut tieteellisen käsityksen mukaiseksi, vaikka sen teoreettisten perusteluiden ymmärtämisessä olikin vielä puutteita.

Oppimista ja ymmärrystä tarkastellaan usein suhteessa siihen, miten hyvin yksilö osaa käyttää hyödykseen tietojaan esimerkiksi ongelmanratkaisussa (vrt. White 1989, 49). Järvilehto (1994, 165) on puolestaan todennut, että todellista oppimista ja ymmärtämistä voi tapahtua vain silloin, kun siitä ei ole mitään välitöntä hyötyä. Whiten tuloksiin viitaten haastateltujen ja kurssikokeessa heikosti menestyneiden opiskelijoiden demonstraatiosta omaksumat tiedot eivät merkittäisi käsitteiden oppimista ja ilmiön ymmärtämistä. Järvilehtoa mukaillen opiskelijoiden muistiin varastoituneilla tiedoilla tulisi kuitenkin olemaan todennäköisesti ratkaiseva merkitys myöhemmin, esimerkiksi silloin, kun opiskelijat kohtaavat ilmiön tai sen variaation uudestaan myöhemmässä opetuksessa.

Uudentyyppinen demonstraatio-opetus siis tehostaa muistijälkien muodostumista ja vaikuttaa siten myös opiskelijan tiedonhankinnan tehokkuuteen. Lisäksi uudentyyppisen demonstraatio-opetukseen kohdistuva induktiiviseen tiedonhankinnan malliin ja teorianmuodostukseen kohdistettu kritiikki voidaan tämän tutkimuksen valossa asettaa osin kyseenalaiseksi. Pedagogisesti asianmukainen demonstraatio luo pohjan ilmiön perushahmotukselle ja on siten askel ilmiön syvälliseen ymmärtämiseen.

8.1.5 Empiiristen havaintojen vaikutus oppimisen tehokkuuteen

Rautavillan palamista havainnollistavaan demonstraatio-opetukseen osallistuneet ryhmän 1 opiskelijat menestyivät selvästi toista koeryhmää paremmin. Ryhmän 1 opiskelijat menestyivät paremmin sekä määrällistä tietoa mittaavassa monivalintatehtävässä että syvällisempää aineenhallintaa ja ilmiön ymmärtämistä mittaavassa tehtävässä. Joidenkin opiskelijoiden osalta ilmeni, etteivät he kyenneet hyödyntämään teoreettisia tietojaan ongelmien ratkaisemiseksi.

36 % ryhmän 1 ja 19 % ryhmän 2 opiskelijoista hahmotti raudan palamisen vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti, ts. hapen liittymisellä rautaan. Loput 24 % ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksista sisälsivät eritasoisia käsitteellisiä virheitä, kuvasivat tapahtumaa ennemminkin molaarisen tason prosessina tai olivat määritelmän luontoisia fraaseja.

Opiskelijoiden vastauksista kyettiin tunnistamaan virhekäsitys, joka liittyy aineen ja energian säilymislain periaatteeseen. Tätä virhekäsitystä voitiin selittää siten, että opiskelijat ehkä olettivat rautavillan palamisen tapahtuvan suljetun systeemin mukaisessa koeasetelmassa, jossa muutokset tulisivat havaittaviksi vastasta systeemin avautuessa.

Tulokset osoittavat myös, ettei opiskelijan konstruktioprosessi välttämättä häiriinny siitä, että hän saa ennakkoon tietoonsa tutkimushypoteesin oikean tuloksen. Vasta ilmiön demonstroiminen ja nähdyn liittyminen opiskelijan tietorakenteeseen riittää muuttamaan aikaisemman käsityksen. Tältä osin tutkimus toi tietoa induktiivisen tiedonhankinnan toimivuudesta.

Haastattelujen perusteella todettiin, että demonstraatio-opetus on vaikuttanut ilmiön perushahmotukseen ja muistikuvaan siitä, mitä ilmiössä tapahtui. Eräs opiskelija esimerkiksi kuvaili vielä kolme viikkoa kokeen näyttämisen jälkeenkin innostuneesti massan muuttumista kokeen aikana. Monet opiskelijat kykenivät kuvailemaan myös muutokseen johtaneita tekijöitä omin sanoin ja melko yksityiskohtaisestikin. Lisäksi opiskelijat mielsivät demonstraatiot luonnontieteellisiksi kokeiksi, joilla oli luettua tekstiä vahvistava merkitys. Toisaalta kvantitatiivisen selittämisen tasolla todettiin myös puutteita. Opiskelijoilla saattoi olla tieteellisen

käsityksen mukainen perushahmotus massan kasvamisesta reaktion aikana, mutta he eivät kyenneet ilmaisemaan perusteluita teoreettisella tasolla täysin oikein.

Kokonaisuutena tarkastellen uudentyypinen demonstraatio-opetuksen malli vaikuttaa toimivalta opetusmenetelmältä raudan palamisilmiön opettamisessa, koska sillä voidaan vaikuttaa havaintojen ankkuroitumiseen oppijan ajatteluun. Toisaalta tulokset osoittavat, että demonstraatiolla on keskeinen merkitys käsityksen muutosprosessissa, ja myös sen, etteivät demonstraatiot saa automaattisesti aikaan käsityksen muutosprosessissa.

8.2 Demonstraation vaikutus kidevedellisen kuparisulfaatin reaktion ymmärtämiseen

Palamisilmiön tapauksessa kokeen nähneet opiskelijat suoriutuivat oppimista mittaavassa kokeessa laadullisesti ja määrällisesti paremmin. Kuparisulfaatin reaktioiden osalta ilmiö demonstroitiin molemmille ryhmille uudentyypisen demonstraatio-opetuksen keinoin. Menettelyllä haluttiin selvittää mahdollisen ryhmien tasoeron vaikutusta.

Epäorgaanisten aineiden reaktioiden tasapaino on voimakkaasti reaktiotuotteiden puolella, minkä vuoksi reaktioiden mekanismi kuvataan yleensä vain yhteen suuntaan eteneväksi. Toisaalta reaktiot saattavat olla myös sellaisia, etteivät tuotteet ole helposti palautettavissa alkuperäisiksi esimerkiksi ulkoisia olosuhteita muuttamalla. Kidevedellisen kuparisulfaatin osalta tilanne on toinen, sillä se luovuttaa kidevetensä helposti ja veden liittyminen anhydraattiin on huoneen lämpötilassa spontaani prosessi. Ominaisuuksiensa perusteella ainetta käytetään usein havainnollistamaan kemiallisten reaktioiden palautuvaa luonnetta.

Ilmiö demonstroitiin molemmille ryhmille saman tyyppisessä koeasetelmassa, samassa kohdassa kurssia ja samalla opetusmenetelmällä. Opettajat pyrkivät toteuttamaan opetuksensa mahdollisimman tarkoin annetun mallin mukaisesti.

Kummankin opettajan opetuksesta pystyi erottamaan opiskelijoiden orientoimiseen, demonstraation esittämiseen ja pohdiskeluun liittyvät opetusvaiheet. Yhteistä oli myös se, että orientaatiovaiheessa tutustuttiin lähtöaineen ulkosiin ominaisuuksiin ja sen kemialliseen kaavaa sekä siihen, miten ne liittyvät toisiinsa. Esitysvaiheessa kiinnitettiin huomio veden muodostumiseen ja värin muutokseen, mutta käänteisessä prosessissa ilmenevä veden sitoutuminen jäi molemmissa ryhmissä vähäisemmälle huomiolle. Periaatteen määrittämisen vaiheessa opettajat tekivät yhteenvedon siitä, kuinka demonstraatioissa tehdyt havainnot liittyvät esitettyyn reaktioyhtälöön, sekä päinvastoin, kuinka reaktioyhtälöllä voidaan

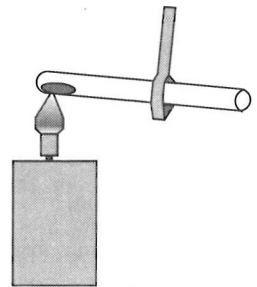
selittää havaittuja ilmiöitä. Pohdintavaiheessa ilmiö kuvailtiin vain yhdeksi esimerkiksi monista palautuvista reaktioista.

Ryhmässä oli eroja hypoteesien tekovaiheessa. Ryhmässä 1 opiskelijat muodostivat hypoteeseja, kun taas ryhmässä 2 ne muodosti opettaja. Ryhmässä 2 esitettiin hypoteesi myös palautuvasta reaktiosta, mitä ryhmässä 1 ei tehty. Kokeen kertaaminen toteutettiin hieman eri tavoin, sillä ryhmässä 1 tehtiin yhteenveto ja kirjoitettiin muistiinpanoja, kun taas ryhmässä 2 esitettiin ilmiöön liittyviä uusia hypoteeseja.

Opiskelijoiden käsitystä kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioista ja demonstraation vaikutusta ilmiöiden ymmärtämiseen mitattiin oheisella kysymyksellä kurssikokeen yhteydessä.

Koeputkessa olevaa sinistä kidevesipitoista kuparisulfaattia ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) lämmitetään bunsenlampun liekissä pitäen koeputkea vähän alaspäin suunnattuna. Kaksisuuntaisen reaktion reaktioyhtälö on $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$.

- Mitä voit havaita lämmittämisen aikana?
- Lopetat lämmittämisen ja annat koeputken jäähtyä. Lisäät koeputkeen tilkan vettä, mitä tapahtuu?
- Miksi ilmiöt tapahtuvat?



Kahteen ensimmäiseen kysymykseen pystyy vastaamaan tukeutumalla demonstraatiosta tehtyihin havaintoihin. Viimeisessä kohdassa opiskelijoita pyydetään selittämään ilmiön syy-seuraussuhteita, joten he joutuvat tukeutumaan ilmiön teoreettisiin perusteluihin.

Seuraavaksi analysoidaan yksityiskohtaisesti opiskelijoiden vastauksia koekysymyksiin. Työhypoteesina oli, että ryhmät suoriutuisivat tehtävästä määrällisesti ja laadullisesti yhtä hyvin samantyyppisen opetuksen vuoksi.

Ilmiöitä havainnollistava demonstraatio esitettiin molemmille ryhmille noin kuukausi ennen kurssikoetta.

8.2.1 Opiskelijoiden havainnot reaktioiden aikana

A-kohdan kysymyksellä selvitettiin opiskelijoiden havaintoja kuumennuksen ja b-kohdan kysymyksillä veden lisäämisen aiheuttamista ilmiöistä. Vastaukset luokiteltiin pääasiallisesti vastausten sisällön perusteella, mutta apuna käytettiin aikaisempia tutkimuksia (Pfundt 1982; Brožek 1996; Clark ym. 2000).

8.2.1.1 Havainnot lämmittämisen aikana

Kokeessa noin teelusikallinen kuparisulfaattia asetettiin koeputkeen, ja koeputkea kuumennettiin kaasupolttimen liekissä. Kuumennuksessa kidevesi irtaantui kidehilasta ja jäähtymisen vuoksi tiivistyi koeputken sisäpintaan vedeksi. Koska lähtöainetta oli kohtuullisen paljon, myös tiivistyvää vettä muodostui melko paljon, ja se valui pisaroina kallistetun koeputken suusta. Veden poistuminen sai aikaan myös sen, että aineen väri muuttui sinisestä valkoiseksi ja aineen rakenne muuttui kiteisestä pulverimaiseksi.

Osa opiskelijoista kiinnitti huomionsa sekä a) veden muodostumiseen että b) värin ja c) rakenteen muuttumiseen, osa vain joihinkin näistä. Oman joukkonsa muodostavat vastaukset, joiden perusteella d) opiskelijalla ei näyttänyt olevan selvää käsitystä ilmiöstä tai he mainitsivat epäolennaisia havaintoja. Seuraavassa luokkien tarkempi kuvailu.

a) Veden muodostuminen

Opiskelija mainitsee kokeessa havaittavan konkreettista veden muodostumista. Veden muodostuminen saatetaan kuvailla vain yhdeksi monista havaituista ilmiöistä. Luokkaan sijoittuvat myös ne vastaukset, joissa kuvaillaan nesteen muodostumista, valumista tai tippumista. Joissakin vastauksissa kuvaillaan kaasun muodostumista, jonka tulkittiin tarkoittavan vettä tai vesihöyryä. Luokkaan ei sisällytetty vastauksia, joissa kuvaillaan veden haihtumista tai poistumista. Tämän ei katsottu merkitsevän konkreettista veden muodostumista samalla tavoin kuin esimerkiksi vesihöyryn muodostumisen kuvailemisessa.

b) Värin muuttuminen

Opiskelija mainitsee kokeessa havaittavan värin muuttumista ja karakterisoi eri aineiden värejä. Toisinaan värin muuttuminen kuvaillaan vain yhdeksi monista havaituista ilmiöistä. Luokkaan hyväksyttiin myös vastaukset, joissa ilmoitetaan värin muuttuvan, ilman että lähtöaineen ja reaktiotuotteen värit on karakterisoitu, koska värin muuttumista ei voi olettaa pelkän reaktioyhtälön perusteella.

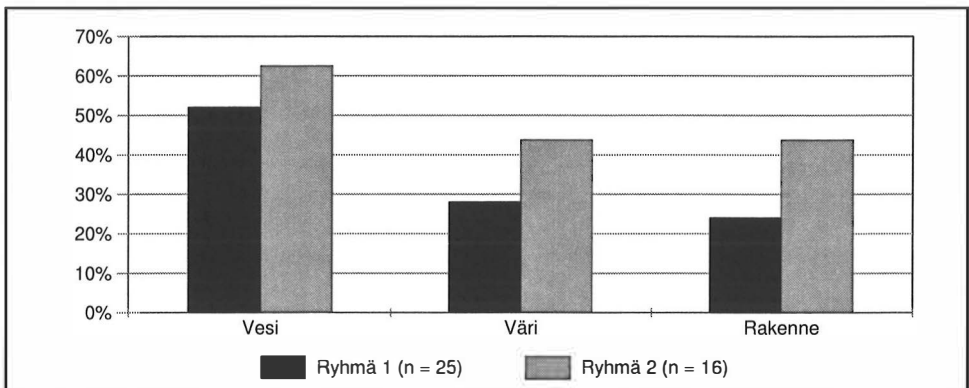
c) Rakenteeseen liittyvät kommentit

Opiskelija yleensä vain kommentoi aineen rakenteen/koostumuksen/olomuodon muuttumista/muuttumattomuutta. Opiskelija mainitsee kokeessa esimerkiksi aineen olomuodon säilyvän kiinteänä. Joissain tapauksissa rakenteen muuttuminen mainitaan vain yhdeksi monista havaituista ilmiöistä.

d) Ei ymmärrystä

Ei vastausta; opiskelija toistaa annettua tietoa tai mainitsee irrelevantteja havaintoja.

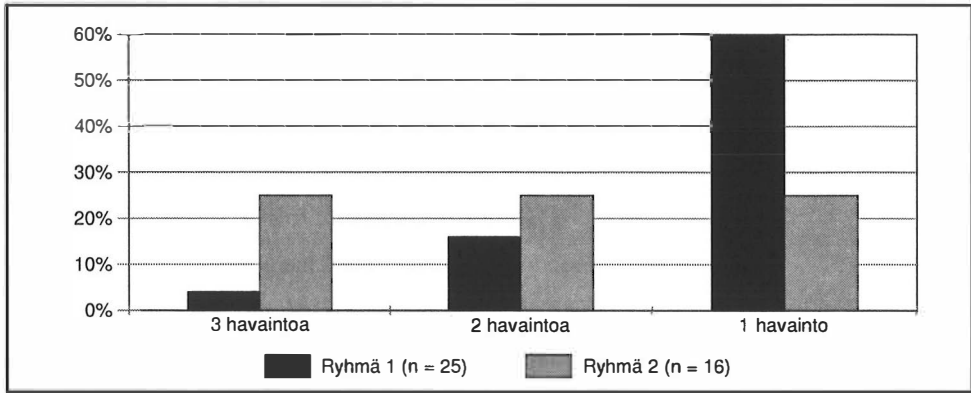
Oppilaiden vastaukset a-kohdan kysymykseen jakautuvat kuvion 30 mukaisesti. Suurin osa molempien ryhmien opiskelijoista mainitsee joitain ilmiöihin liittyviä havaintoja. Ryhmän 1 opiskelijoista 52 % mainitsee veden muodostumiseen liittyviä havaintoja, 28 % väriin ja 24 % rakenteen muuttumiseen liittyviä havaintoja. Ryhmässä 2 63 % kuvailee konkreettista veden muodostumista, 44 % värin ja yhtä moni aineen rakenteen muutoksia. Vain harva opiskelija on jättänyt vastaamatta tai esittänyt irrelevantteja havaintoja, joten luokan tutkimuksellinen arvo on hyvin vähäinen. Havaintojen kokonaissumma ylittää 100 % siksi, että osa opiskelijoista on maininnut useamman kuin yhden havainnon.



Kuvio 30. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin sen mukaan, mihin ilmiöön he kiinnittivät huomionsa lämmitysprosessissa. (Esim. Vesi = opiskelija kuvailee veden muodostumista.)

Molempien ryhmien vastauksissa on sisällöllistä vaihtelua siten, että osa opiskelijoista kuvailee tarkkaan veden olomuodon muutoksia tai toisaalta määrittelee täsmällisesti, mitkä olivat lähtöaineiden ja reaktiotuotteiden värit.

Selkein ero ryhmien välillä on se, että suhteellisesti suurempi osa ryhmän 2 opiskelijoista mainitsee useamman kuin yhden havainnon (kuvio 31). Ryhmän 1 tapauksessa yksi (4 %) opiskelija mainitsee kaikkiin kolmeen tekijään liittyviä, neljä opiskelijaa (16 %) kahteen ja 15 (60 %) opiskelijaa yhteen tekijään liittyviä havaintoja. Ryhmässä 2 neljä opiskelijaa (25 %) mainitsee kolmeen muuttujaan liittyviä kommentteja ja yhtä moni opiskelija kahteen tai yhteen tekijään liittyviä havaintoja.



Kuvio 31. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin mukaan, kuinka moneen tekijään he kiinnittivät huomionsa lämmitysprosessissa. (Esim. Kolme havaintoa = vastauksessa kuvataan veden muodostumista sekä värin ja rakenteen muuttumista.)

Suhteellisia eroja voidaan selittää opettajien demonstroimiseen liittyvällä toiminnalla. Ryhmän 2 opettaja kuljetti koeputkea opiskelijoiden silmien edessä, kun taas ryhmän 1 opettaja vain kommentoi reaktiotuotteen olevan vaalea eikä kuljettanut koeputkea opiskelijoiden silmien edessä. Ryhmän 2 opiskelijoilla oli siten paremmat edellytykset eri muutosten toteuttamiseen.

Ryhmässä 1 demonstraatio-opetuksen prosessi epäonnistui siltä osin, että suurin osa opiskelijoista teki vain yhden havainnon. On kuitenkin oletettavaa, ettei kummassakaan ryhmässä läheskään yhtä moni opiskelija olisi maininnut konkreettista veden muodostumista tai kyennyt määrittämään reaktiotuotteen väriä, jollei koetta olisi demonstroitu. Näin voi päätellä sen perusteella, että palamisilmiön tapauksessa empiiriset havainnot tehostivat ilmiön muistamista.

8.2.1.2 Havainnot veden lisäämisen aikana

B-kohdan kysymys kartoitti opiskelijoiden tekemiä havaintoja veden lisäämisen aiheuttamista muutoksista. Kun valkoiseen kidevedettömään kuparisulfaattiin lisättiin vettä, vesi sitoutui takaisin kidevedeksi, ja samalla aineen alkuperäinen sininen väri ja kiteinen rakenne palautuivat.

Osa opiskelijoista kiinnitti huomiota a) veden liittymiseen, ja he kuvaavat prosessia veden imeytymisenä. Myös b) aineen värin ja c) rakenteen muutoksia havaittiin, joskin aineen rakenteen palautumiseen viittaavat maininnat ovat harvinaisempia. Monissa vastauksissa keskitytään vain yhteen ilmiöön. Oman luokkansa muodostavat vastaukset, joiden perusteella d) opiskelijoille ei ollut muodostunut selvää kuvaa tutkittavista ilmiöistä. Alla luokkien tarkempi kuvailu

a) Veden sitoutuminen

Opiskelija kiinnittää huomionsa ensisijaisesti veden sitoutumiseen ja kuvailee esimerkiksi veden sitoutumista tai imeytymistä takaisin. Tähän luokkaan sijoitettiin myös sellaiset vastaukset, joissa ilmaistaan lähtöaineen palaavan ennalleen, samalla kun a-kohdassa oli kuvaillaan veden muodostumista.

b) Väriin muuttuminen

Opiskelija kiinnittää huomionsa aineen alkuperäisen väriin palautumiseen. Luokkaan sijoitettiin myös vastaukset, joissa ilmaistaan lähtöaineen palaavan ennalleen, samalla kun a-kohdassa kuvaillaan väriin muuttumista. Luokkaan hyväksyttiin myös vastaukset, joissa mainitaan väriin muuttuvan ilman, että lähtöaineen tai reaktiotuotteen värejä mainitaan.

c) Rakenteeseen liittyvät kommentit

Opiskelija kiinnittää huomionsa alkuperäisen rakenteen palautumiseen. Luokkaan sijoitettiin myös vastaukset, joissa ilmaistaan lähtöaineen palaavan ennalleen, samalla kun a-kohdassa oli kuvailtu rakenteen muuttumista. Luokkaan hyväksyttiin lisäksi vastaukset, joissa kuvaillaan jollain muulla tavoin aineen rakenteen tai olomuodon muutoksia, kuten “kuparisulfaatti jähmettyy kylmetessään”

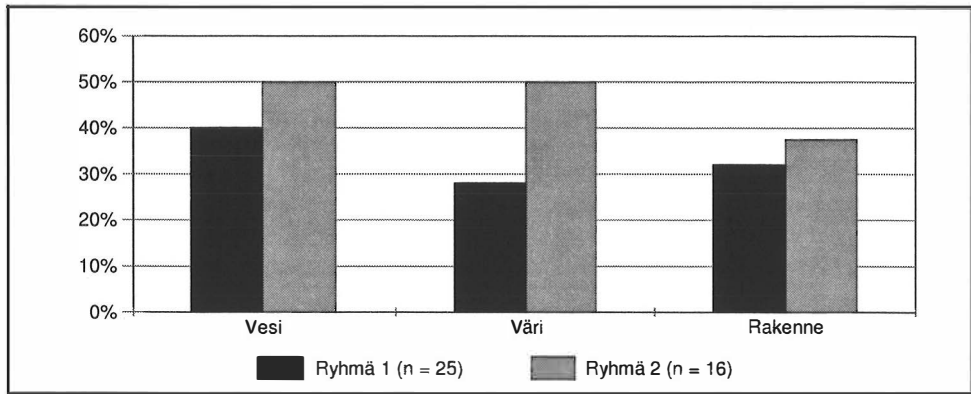
d) Ei ymmärrystä

Ei vastausta; opiskelija toistaa annettua tietoa tai mainitsee irrelevantteja havaintoja.

Oppilaiden vastaukset jakautuvat kuvion 32 mukaisesti. Ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksista 40 %:ssa on veden sitoutumiseen viittaavia kommentteja, 28 %:ssa väriin kuvaillaan palautuvan alkuperäisekseen ja 32 %:ssa esitetään jonkin tyyppisiä aineen rakenteeseen liittyviä havaintoja. Ryhmässä 2 50 % kuvailee veden sitoutumista, yhtä moni väriin muuttumisen ilmiötä ja 38 % aineen rakenteen muutoksia. Vain muutama opiskelija sijoittuu luokkaan “ei vastattu”; tähän luokkaan sijoittuvissa vastauksissa ei ole tutkimusongelmien kannalta olennaista tietoa.

Kokonaisuutta tarkastellen huomataan veteen liittyviä havaintoja olevan suhteellisesti vähemmän kuin lämmittämiprozessissa veden muodostumista koskevia havaintoja. Ryhmän 2 osalta väriin liittyvät havainnot ja ryhmän 1 osalta rakenteeseen liittyvät havainnot lisääntyivät.

Veteen liittyvien havaintojen määrän vähentymistä voidaan selittää esimerkiksi sillä, että lämmittämiprozessin vuoksi opiskelijat tiesivät veden olevan keskeisessä roolissa ja olivat veden lisäämisen prosessissa ehkä kiinnittäneet huomionsa enenevässä määrin muihin tekijöihin. Sama tekijä on voinut vaikuttaa väriin ja rakenteeseen liittyvien havaintojen määrän lisääntymi-



Kuvio 32. Opiskelijoiden havaintojen jakaantuminen ryhmittäin sen mukaan, mihin ilmiöön he kiittivät huomionsa veden lisäämisprosessissa. (Esim. Vesi = opiskelija kuvailee veden sitoutumista.)

seen. Toisaalta ryhmän 1 rakenteeseen liittyvien havaintojen lisääntymistä voidaan selittää myös olomuodon muutoksiin liittyvien kommenttien lisääntymisellä.

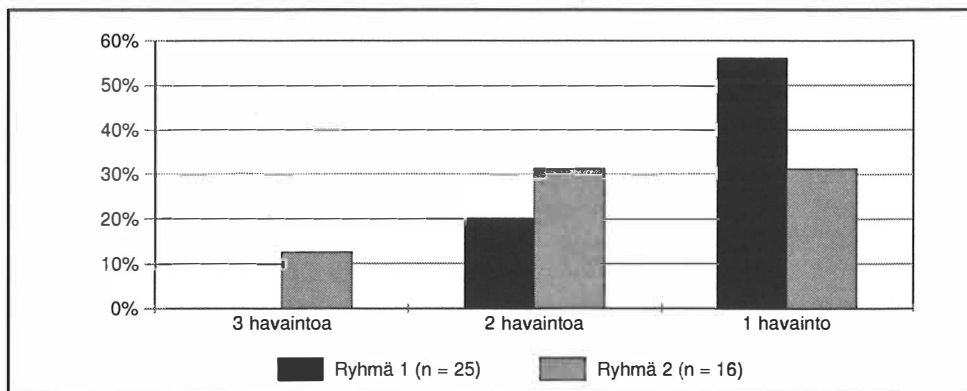
Sisällöllisiä eroja ilmenee muun muassa siinä, että osa opiskelijoista kommentoi aineen palaavan alkuperäiseen tilaansa/muotoonsa/rakenteeseensa, kun taas osa kuvailee selvästi esimerkiksi sinisen värin palautumisen. Toisaalta jos opiskelija a-kohdassa korostaa veden muodostumista, hän vastaavasti yleensä korostaa b-kohdassa veden sitoutumista.

Selkein ero ryhmien välillä ilmenee värin muuttumista koskevassa vastausluokassa. Eroa voidaan selittää ryhmän 1 opettajan demonstraation teknisellä toteutuksella. Opettaja pudotti vahingossa valkoiseksi kuivatun anhydraatin keitinlasiin, jossa oli kideveden vapautumisen seurauksena muodostunutta vettä. Ryhmän 1 opiskelijoille jäi siten vähemmän aikaa todeta hydraatin ja anhydraatin värieroja kuin ryhmän 2 opiskelijoille.

Toinen selkeä ero ryhmien välillä ilmenee tehtyjen havaintojen lukumäärissä (kuvio 33). Viidennes ryhmän 1 opiskelijoista mainitsee kahden tekijän muuttuvan ja 56 % yhden. Ryhmässä 2 puolestaan kaksi opiskelijaa (13 %) mainitsee kolmeen tekijään liittyviä kommentteja, viisi (31 %) kahteen ja viisi (31 %) yhden tekijän muuttumiseen liittyviä havaintoja.

Ihanteellisessa tapauksessa kaikki opiskelijat olisivat kuvailleet sekä veden sitoutumisen että värin ja rakenteen muuttumisen, mutta todellisuudessa tällaisten vastausten lukumäärä oli pieni. Demonstraatio-opetus epäonnistui tältä osin, vaikka ryhmän 1 osalta yksi selittävä tekijä voi tosin olla opettajan tekemä työvirhe.

Opiskelijat mainitsevat lämmittämisen ja veden lisäämisen prosesseihin liittyviä havaintoja prosentuaalisesti lähes yhtä paljon a- ja b-kohdassa. Ryhmien välistä eroa voidaan selittää opettajien hieman erilaisilla käytännön toimenpiteillä. Huomio kiinnittyy myös veteen liittyvien havaintojen suhteellisen suureen lukumäärään muihin nähden.



Kuvio 33. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin sen mukaan, kuinka moneen tekijään he kiittivät huomionsa veden lisäämisprosessissa. (Esim. Kolme havaintoa = mainittu veden sitoutuminen sekä värin ja rakenteen muuttuminen.)

Opiskelijan näkökulmasta molempia reaktioita dominoivat siis veden määrän muutokset. Jälkikäteen on helppo arvioida, että demonstraatio-opetuksessa olisi ollut syytä korostaa värin ja rakenteen muuttumista.

8.2.2 Opiskelijoiden perusteluja ilmiöissä tapahtuville muutoksille

Tässä osassa kuvataan yksityiskohtaisesti sitä, minkä tyyppisiä selityksiä opiskelijat antoivat havaitsemilleen ilmiöille. Huomiota kiinnitetään erityisesti siihen, minkä tyyppisiä selityksiä opiskelijat tuottavat veden muodostumiselle/sitoutumiselle sekä värin ja rakenteen muuttumiselle.

Seuraavassa kappaleessa esitetään opiskelijoiden vastaukset kokonaisuudessaan. Opiskelijan vastauksesta on kursivoitu ne kohdat, joiden perusteella vastaus luokiteltiin kyseiseen luokkaan. Myöhemmissä luvuissa vastauksia ei enää kursivoida, vaan vastauksista esitetään tällöin vain luokittelun perusteena olevat osat.

8.2.2.1 Veden muodostumisen selitykset

Lähinnä vallitsevaa tieteellistä selitysmallia ovat ne vastaukset, joissa veden vapautumista tarkastellaan a) yleisen energiaperiaatteen näkökulmasta tai toisaalta b) veden muodostumisen katsotaan olevan seurausta lämmittämisen aiheuttamasta kuparisulfaatin ja vesimolekyylien välisen sidoksen katkeamisesta. Sidoksen katkeamisen ilmiötä ei välttämättä vastauksissa kuvailla näin selväsanaisesti, mutta vastaajien näkökulmasta kyse on kuitenkin kahden toisiinsa sitoutuneen hiukkasen irtoamisesta. Sitoutuneiden vesimolekyylien mallin ohella vastauksissa

ilmenee c) sitoutumattomien vesimolekyylien malli. Tämän mallin mukaan lämmittäminen vapauttaa vesimolekyylit kuparisulfaatin ja veden muodostamasta seoksesta, eikä kyse ole niinkään kemiallisen sidoksen katkeamisesta. Neljäs on edellisiä konkreettisempi selitysmalli, jossa d) opiskelijat kuvaavat veden muodostumista haihtumisena tai höyrystymisenä. Viides vastausluokka muodostuu e) aineen transmutaation käsityksen ympärille. Vastaajat kuvailevat esimerkiksi kuparisulfaatin muuttuvan vedeksi. Muut vastaukset edustavat hyvin puutteellista käsitystä ilmiöstä; tällöin opiskelija ei ole vastannut lainkaan tai hän ei ole kiinnittänyt huomiota veden muodostumiseen (f). Seuraavassa luokkien tarkempi kuvailu.

a) Energiatarkastelu

Opiskelija tarkastelee veden muodostumista energiaperiaatteen näkökulmasta. Lämmittämisen vuoksi vesi irtoaa hilasta, koska rakenneyksiköt saavuttavat näin energieettisesti edullisemman aselman vallitsevissa olosuhteissa. Hilasta poistuvat vesimolekyylit muodostavat konkreettisesti havaittavan veden.

b) Sitoutuneet vesimolekyylit vapautuvat

Lämmittäminen aiheuttaa kuparisulfaatin ja vesimolekyylien välisen sidoksen katkeamisen, jolloin vesimolekyylit irtoavat/erottuvat hilasta ja muodostavat tiivistyessään vettä. Luokkaan hyväksyttiin vastaukset, joissa kuvaillaan esimerkiksi kuparisulfaatin luovuttavan kidevetensä tai kuparisulfaatista irtoavan vettä/vesimolekyylejä.

c) Sitoutumattomat vesimolekyylit vapautuvat

Lämmittämisen vuoksi kuparisulfaatin ja vesimolekyylien muodostaman seoksen komponentit erottuvat toisistaan. Seoksesta erottuva vesi muodostaa tiivistyessään kokeen aikana havaittavan veden. Luokkaan sijoitettiin myös ne vastaukset, joissa kuvaillaan esimerkiksi kuparisulfaatin ja veden erottuvan toisistaan tai aineiden alkavan lämmitettäessä erottua erilleen.

d) Veden haihtuminen

Lämmittäminen aiheuttaa veden haihtumisen/höyrystymisen kuparisulfaatin joukosta. Selitysmallissa on yhtäläisyyksiä sitoutumattomien vesimolekyylien malliin, mutta selityksissä tukeudutaan selvemmin arkielämän yhteydestä tuttuun haihtumisen/höyrystymisen käsitteeseen ja sen aikana havaittaviin ilmiöihin, kuten höyryn muodostumiseen.

e) Aineen transmutaatio

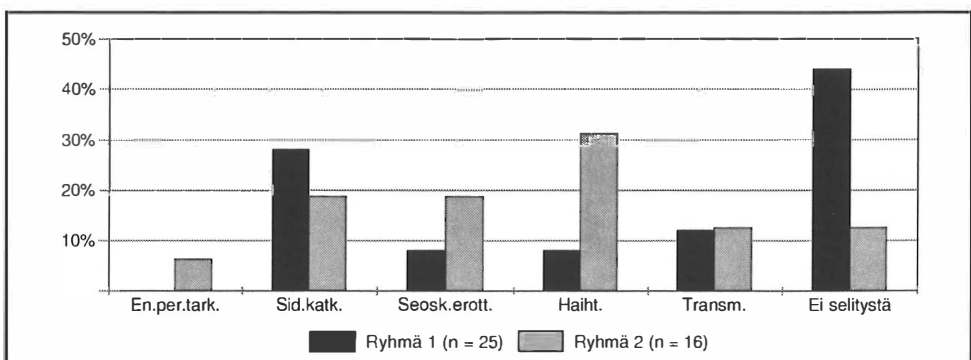
Opiskelijan kuvailun perusteella muodostuu mielikuva, että reaktiossa aine muuttuu toiseksi aineeksi. Opiskelija selittää esimerkiksi, että kuparisulfaatti muuttuu vedeksi tai kiinteä lähtöaine muuttuu (suoraan) nestemäiseksi reaktiotuotteeksi.

f) Ei ymmärrystä

Ei vastatusta; opiskelija toistaa annettua tietoa, antaa irrelevantteja perusteluja tai ei kiinnitä huomiota veden muodostumiseen eikä siten anna ilmiölle mitään selitystä.

Ilmiöiden syy-seuraussuhteita tiedusteltiin vain kysymyksen c-kohdassa, mutta myös a- ja b-kohdan vastaukset huomioitiin luokittelussa. Syy menettelyyn on se, että moni opiskelija esitti ilmiöiden syy-seuraussuhteita käsitteleviä perusteluja jo havaintoja kuvaillaan. Luokittelun perustaminen vain c-kohdan vastauksiin olisi siten johtanut virheellisiin päätelmiin opiskelijoiden suoritustasosta. Luokat eivät ole tarkkarajaisia, ja jotkin vastaukset olisi voitu sisällyttää useampaan eri luokkaan.

Opiskelijoiden perustelut sille, miksi lämmittämisen aikana muodostui vettä, jakautuvat kuvion 34 mukaisesti. Ryhmän 1 opiskelijoista seitsemän (28 %) selittää veden muodostumisen johtuvan kuparisulfaattiin sitoutuneen veden vapautumisesta, kaksi (8 %) kuparisulfaatin ja veden muodostaman seoksen komponenttien erottuessa toisistaan, kaksi (8 %) veden haihtuessa kuparisulfaatista ja kolme (12 %) kuvittelee kuparisulfaatin muuttuvan lämmittämisen seurauksena vedeksi. Ryhmän 2 opiskelijoista yksi (6 %) selittää veden muodostumisen energiaperiaatetta hyödyntämällä, kolme (19 %) perustelee veden muodostuvan kuparisulfaattiin sitoutuneen veden vapautuessa, kolme (19 %) kuparisulfaatin ja veden seoksen erottuessa



Kuvio 34. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin sen mukaan, millä he perustelivat veden muodostumista lämmitysprosessi. (En.per.tark = rakenneyksiköt saavuttavat erotessaan energieettisesti edullisemman asetelman vallitsevissa olosuhteissa. Sid.katk. = vettä muodostuu, koska lämmitettäessä rakenneosien väliset sidokset katkeavat. Seosk.erott. = vettä muodostuu, koska lämmitettäessä seoskomponentit erottuvat. Haiht. = vettä muodostuu, koska lämmittäminen aiheuttaa veden haihtumisen yhdisteestä. Transm. = vettä muodostuu, koska lähtöaine muuttuu vedeksi.)

toisistaan, viisi (31 %) veden haihtuessa kidevedellisestä kuparisulfaatista ja kaksi (13 %) opiskelijaa tukeutuu aineen transmutaatioon. Ryhmässä 1 suhteellisen suurimman ryhmän muodostaa "Ei perusteluja" -luokka, johon sijoittuu 11 opiskelijan vastausta (44 %). Ryhmässä 2 samaan luokkaan sijoittuu vain kaksi (13 %) vastausta. Transmutaation ja Ei perusteluja -luokkaan kuuluvissa vastauksissa esiintyy selviä virhekäsityksiä.

Ryhmien välillä on selviä painotuseroja, mutta lähes yhtä paljon tieteelliseltä perustelultaan riittävän oikeaksi katsottuja vastauksia. Ryhmässä 1 28 % opiskelijoista kuvailee lämmittämisen aiheuttavan kuparisulfaatin ja vesimolekyylien välisten sidosten katkeamisen, ja ryhmän 2 opiskelijoista yhteensä 25 % esittää vastaavan tai tieteellisemmän perustelun. Ryhmän 1 opiskelijat esittävät selvästi vähemmän seoskomponenttien erottumisen ja veden haihtumisen selitysmalleja. Toisaalta selvästi suurempi osa ryhmän 1 opiskelijoista ei esittänyt minkään tyyppistä perustelua veden muodostumiselle.

Seuraavaksi analysoidaan laadullisesti opiskelijoiden esittämiä perusteluita. Samalla etsitään oppimistuloksia selittäviä tekijöitä ja pyritään määrittämään demonstraation vaikutusta oppimiseen.

Energiatarkastelu

Rakenneosien energia-asetelmia tarkasteleva vastausluokka on suhteellisen pieni. Siihen sijoittuu vain yksi ryhmän 2 opiskelijan vastaus. kyseisen opiskelijan, Valtterin, havainto oli ollut se, että koeputkeen muodostuu vesihöyryä. Ilmiön selityksessä hän tukeutuu kiteen energiatilaan suhteessa vallitseviin ulkoisiin olosuhteisiin. Opiskelija mieltää lämmittämisen systeemille tehdyksi työksi, jolla veden muodostuminen saadaan aikaan.

52. Valtteri (R2): "a) Koeputkeen muodostuu vesihöyryä, sininen väri häviää kiteistä, ne muuttuvat valkoiseksi jauheeksi."

b) "Valkoinen jauhe muuttuu taas siniseksi kiteiseksi, lisätty vesi näyttää 'katoavan'".

c) "*CuSO₄:lle on energeettisesti edullista olla kidemuodossa veden kanssa. Siksi täytyy tehdä työtä (bunsenlampun liekki antaa energiaa), että tämä rakenne saadaan rikottua. Kun vettä taas lisätään, jauheeseen muodostuu jälleen kiteitä, jotka siis ovat energeettisesti edullisia.*"

Opiskelija kuvaa syy-seuraussuhteita huolellisesti ja johdonmukaisesti ja hän kykenee taitavasti hyödyntämään energiaminimin periaatetta. Ryhmän 2 opettaja ei ollut selittänyt ilmiötä tältä näkökannalta. Valtteri oli omaksunut tiedon oppitunnin ulkopuolelta. Hän osasi selittää

rautavillan palamisen vastaavalla abstraktitasolla, joten demonstraatio-opetuksen vaikutus ulottuu hänen osaltaan ehkä vain empiiristen havaintojen tekemiseen.

Sitoutuneet vesimolekyylit vapautuvat

Yhteensä seitsemän (28 %) ryhmän 1 ja kolme (19 %) ryhmän 2 opiskelijaa kuvaa kuparisulfaatin ja vesimolekyylien sitoutuvan toisiinsa. Aineen lämmittäminen saa puolestaan aikaa näiden sidosten katkeamisen. Opiskelijoiden selitysten perusteella prosessin seurauksena on vesimolekyylien vapautuminen ja edelleen konkreettisesti havaittava veden muodostuminen.

Antin perustelu on esimerkki monista muista vastauksista, joissa ei mainita selvästi veden muodostumista.

53. Antti (R1): a) ”*Kidevesi irtoaa CuSO_4 :sta ja valuu koeputkesta ulos. CuSO_4 :n väri muuttuu veden hävittyä.*”

b) ”*Koska reaktio on kaksisuuntainen, veden lisääminen aiheuttaa sen, että vesi imeytyy uudestaan CuSO_4 :n kidevedeksi. CuSO_4 :n väri palautuu ennalleen.*”

c) ”*Ilmiöt tapahtuvat, koska reaktio on kaksisuuntainen. CuSO_4 :n ominaisuudet saavat aikaan sen, että kuumennettaessa kidevesi irtoaa CuSO_4 :sta. Veden joutuminen uudestaan kidehilaan johtuu myös ko. aineiden ominaisuuksista. CuSO_4 :n ionien välillä on ionisidoksia joiden väliin vesi pääsee.*”

Opiskelija kuvailee ilmiössä tapahtuvan valumista, joka tulkittiin havainnoksi konkreetista veden muodostumisesta. Toisaalta aineen ominaisuuksiin ja rakenneosien sitoutumiseen tukeutuvaa selitysmallia voidaan pitää hyväksyttävänä kun huomioidaan se, ettei demonstraatioissa ollut esitetty näinkään yksityiskohtaista mallia havaituista ilmiöistä.

Niko puolestaan mainitsee veden muodostumisen ja esittää selityksenä kideveden vapautumisen kuparisulfaatista.

54. Niko. (R1): a) ”*Koeputkesta alkaa valumaan vettä ja kiteet muuttuvat valkoisiksi.*”

b) ”*Kun vesi koskee kiteeseen sen väri muuttuu taas siniseksi.*”

c) ”*Vesi on sitoutunut kuparisulfaattiin ja kun sitä lämmitetään vesi vapautuu. Kun se jäähtyy ja vettä kaadetaan sen päälle väri palaa takaisin koska kiteet imevät tätä vettä.*”

Vastaus on johdonmukainen, ja syy-seuraussuhteet kytketään oikein veden määrän muutoksiin. Tässä tapauksessa opiskelija myös käyttää selityksessään sitoutumisen käsitettä.

Niina ja Jani lisäävät ilmiöiden tarkasteluun molekulaarisen tason. Niina kuvailee lisäksi molaarisen tason tapahtumia, ja Jani hyödyntää kemiallista merkkikieltä.

55. Niina (R1): a) *“Lämmittämisen aikana koeputken päästä tippuu vettä. Siis kuparisulfaatista vapautuu vesimolekyylejä.”*

b) *“Vesi ”imeytyy” takaisin kuparisulfaatti kiteisiin.”*

c) *“Aluksi vesimolekyylit ovat kiinnittyneet kuparisulfaattiin kuumennettaessa vesimolekyylit irtoavat kuparisulfaatista.”*

56. Jani (R1): a) *“CuSO₄ ja H₂O erkaantuvat toisistaan.”*

b) *“Aineet palaavat alkuperäiseen olomuotoon, koska reaktio on käänteisreaktio.”*

c) *“Veden molekyylit reagoivat kuparisulfaatin kanssa, jolloin ne menevät CuSO₄:n kidehilojen sisään. Kuumennettaessa ne vapautuvat.”*

Molemmat kytkevät syy-seuraussuhteet oikein ja kuvailevat reaktion molekulaarisen tason tapahtumia edellisiä vastaajia selvemmin. Janin vastauksen luokittelussa huomioitiin myös päinvastaisen prosessin selitys, koska lämmittämisen prosessin muutokset kuvattiin tälle vastakkaiseksi tapahtumaksi. Tainan vastauksessa molaarisen tason havainnot kytkeytyvät vastaavan tyyppisesti molekulaarisen tason selityksiin.

57. Taina (R1): a) *“Kuparisulfaatista irtoaa vesimolekyyli ja ne tippuvat putkesta ja jälkeen jää harmaata kuparisulfaatti mömmöä eli vesi haihtuu kuparisulfaatista.”*

b) *“Kun lisätään vettä, muuttuu kuparisulfaatti ennalleen.”*

c) *“Ilmiöt tapahtuvat, koska kuparisulfaatti on kiderakenteinen, kun vesi haihtuu kuivuu kidehila kokoon ja vettä lisättäessä se palautuu ennalleen (vesimolekyylit ympäröivät kuparisulfaatti-atomit) tapahtuu hydratoituminen.”*

A-kohdan vastauksesta ilmenee molaarisen ja molekulaarisen tason käsitysten jäsentymättömyys. Tainan selityksen mukaan kuparisulfaatista vapautuu (yksittäinen) vesimolekyyli, mutta se edustaa hänelle myös konkreettisesti havaittavaa nestemäistä vettä. C-kohdan perusteella vastaus olisi voitu luokitella myös muihin luokkiin. Valittuun luokitukseen päädyttiin kuitenkin a-kohdassa esitetyn tieteellisemmän selitysmallin perusteella, vaikka c-kohdan vastaus paljastaa puutteita ilmiön käsitteellisessä hallinnassa. Demonstraation avulla on ilmeisesti kyetty tukemaan sillanrakennusta molaarisen tason havaintojen ja molekulaarisen tason selityksen välille. Käsityksen muutosprosessi on kuitenkin vielä keskeneräinen, sillä se rakentuu vielä

kolmen toisistaan poikkeavan käsityksen varaan (sidoksen katkeamisen, veden haihtumisen ja kiteen kuivumisen selitysmalleihin).

Eeron vastauksen rakenne on pääpiirteittäin sama kuin monissa muissa tähän luokkaan sijoittuneissa vastauksissa, mutta opiskelija on selvästi epävarmempi sitoutumisen luonteesta.

58. Eero (R1): a) “*kun sitä lämmittää niin kuparisulfaatti ja vesi ‘erottuvat’ toisistaan ja lämmittämisen aikana koeputken päästä valuu vettä.*”

b) “kun lisää tilkan vettä niin se imeytyy kuparisulfaattiin.”

c) “koska reaktio on kaksisuuntainen kun se *ensiksi luovuttaa vettä* niin käänteisessä reaktiossa se imee vettä.”

Eero kuvailee, kuinka lämmittämisen aikana koeputken päästä valuu vettä ja selittää tämän veden “erottumisena” alkuperäisestä yhdisteestä. Hän ei kuitenkaan käytä esimerkiksi yhdisteen käsitettä, ja c-kohdan perusteluissa hän kuvailee kuparisulfaatin luovuttavan vettä. Myös Eeron käsityksen muutosprosessi on lähtenyt liikkeelle, mutta on vielä keskeneräinen.

Tiina kuvailee, kuinka lämmittäminen saa aikaan kuparisulfaatin ja veden erottumisen sekä liittää selityksen molaarisen tason havaintoihin. Toisaalta a-kohdan vastaus on hyvä esimerkki monista sellaisista vastauksista, joissa havainto (“koeputkesta tipahtelee vettä”) ja päätelmä (“kidevesipitoinen kuparisulfaatti luovuttaa kidevetensä”) esitetään samassa vastauksessa.

59. Tiina (R1): a) “*Kidevesipitoinen kuparisulfaatti luovuttaa kidevetensä = koeputkesta tipahtelee vettä.*”

b) “Vesi ‘imeytyy’ kuparisulfaattiin hyvin.”

c) “Koska reaktio on kaksisuuntainen eli tapahtuu kumpaankin suuntaan.”

Opiskelijan vastausta voidaan tulkita siten, että ilmiö ja sen selitys ovat kytkeytyneet toisiinsa opiskelijan ajattelussa. Tulkinnan perusteluna on se, että Tiina määrittelee ikään kuin “matemaattisesti” havainnot eksplisiittisesti samaksi asiaksi kuin ilmiön molekulaarisen tason selityksen. Matemaattisten symbolien käyttö saattaa tosin olla hänelle ominainen ilmaisutapa, kuten vastauksessa ilmenevä matemaattisten merkkien hyödyntäminenkin. Toisaalta uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallissa pyritään konkreetti luonnonilmiö ja sen teoreettiset perustelut kytkemään toisiinsa. Opiskelijan tiedon rakentamisen prosessia pyritään tukemaan luomalla demonstraation avulla mielikuva konkreetin molaarisen tason havainnon ja sen abstraktin molekulaarisen/symbolisen tason selityksen välille. On siten mahdollista, että

opetusmalli on vaikuttanut opiskelijan vastauksen muotoon ja ehkä metakognitiivisella tasolla myös hänen ajattelutapaansa. Vastaavaa on jo havaittu palamisilmiön selityksissä (vrt. 8.1.2.1).

Ryhmän 2 opiskelijat esittivät vastaaventyypisiä selityksiä. Esimerkiksi Lauri tukeutuu selvästi veden ja kuparisulfaatin väliseen sitoutumisen malliin ja rakenneosien välisen sidoksen purkaantumiseen

60. Lauri (R2): a) “Kiderakenne hajoaa. *Vesi valuu putkesta pois.*”

b) “Vesi ja kuparisulfaatti muodostavat kiderakenteen.”

c) “*Lämmittäminen hajottaa veden ja kuparisulfaatin välisen sidoksen, joka syntyy aineiden poolisuuden takia.*”

Vastauksessa mainitut sidoksen ja poolisuuden käsitteet sekä niiden oikea käyttötapa kuvastavat ilmiön teoreettisen perustan hallintaa. Opiskelija kykenisi todennäköisesti kuvailemaan veden muodostumisen ilmiötä molaarisella tasolla ryhmän 1 opiskelijoiden tapaan, mutta hän on keskittynyt selittämään sidoksen muodostumista hieman teoreettisemmin. Käytettyjen käsitteiden ja teoreettisten perusteluiden hallinnan tasolla Laurin perustelu voidaan rinnastaa lähinnä Janin (56) ajattelussa ilmenevään abstraktisuuden tasoon.

Tarjan vastauksessa ilmenee muutamien muiden ryhmän 1 opiskelijoiden vastausten tapainen havaintojen ja selitysten kytkeytyminen toisiinsa.

61. Tarja (R2): a) “*Kuparisulfaatti menettää kidevetensä lämmityksen aikana, eli putken sisäpinnalle muodostuu vesihöyryä.*”

b) “Kuparisulfaatti kiteyttää veden takaisin.”

c) “*Reaktio on kaksisuuntainen. Kun reaktiossa syntyy lähtöaineita, pyrkivät ne reagoimaan keskenään ja muodostamaan taas kidevesipitoista kuparisulfaattia.*”

A-kohdan vastauksen osalta se muistuttaa selvästi Tiinan (59) vastausta. Toisaalta Tiina kykenee selittämään myös palamisilmiötä tieteellisesti oikein ja hänen vastauksensa rakenne on looginen. Tarjan palamisilmiön liittyvä selitys on sen sijaan selvästi virheellinen, eikä siinä ole myöskään minkäänlaista päättelyketjua. Veden muodostumisen selityksissä eri ryhmien opiskelijoiden vastaukset muistuttavat toisiaan sekä sisällöllisesti että rakenteellisesti. Ehkä tämä johtuu opetusmallien samankaltaisuudesta.

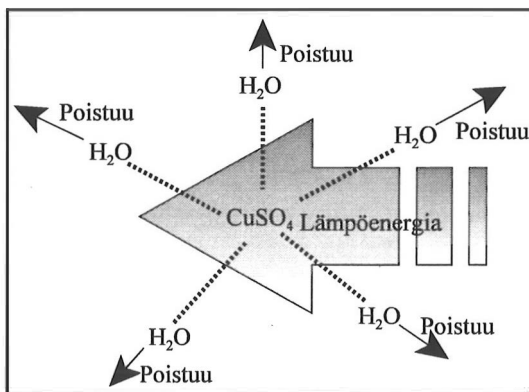
Miinan vastaus on edellisiä yleisluonteisempi eikä sitoutuneiden vesimolekyylien selitysmalli ole mitenkään ilmeinen.

- 62. Miina** (R2): a) “Kuparisulfaattista *valuu vesi pois* ja kuparisulfaatti muuttuu valkoiseksi ‘tuhkaksi’ jauhoksi.”
- b) “Kuparisulfaatti muuttuu takaisin alkuperäiseen olomuotoonsa eli siniseksi.”
- c) “*Koska kun kuparisulf. lämmitetään reaktio nopeutuu ja aineen alkavat erottua erilleen.*”

Opiskelija mainitsee lämmittämisen aiheuttavan konkreettista veden muodostumista ja selittää sitä ilmiön aineiden (rakenneosien) erottumisella toisistaan. Miinan vastaus muistuttaa puolestaan Eeron (58) vastausta, jossa oli Miinan vastauksen tapaan hieman epävarmuutta aineiden sitoutumisen luonteen ja sidoksen olemassa olon suhteen.

Kaikki tähän luokkaan sijoittuneet opiskelijat kykenivät muodostamaan yhteyden konkreetin molaarisen tason ilmiön ja sen abstraktin molekulaarisen tason selityksen välille. Tämä ilmenee havaintojen kuvailemisena ja niiden kemialliseen teoriaan tukeutuvina selityksinä. Yksi vastauksia yhdistävä piirre on se, että opiskelija esittää ensin ilmiön teoreettisen perustelun ja vasta sen jälkeen kuvailee konkreetteja havaintojaan. Opiskelijoiden vastausten taustalla oleva ajatteluprosessi tulkittiin teoreettis-deduktiiviseksi. Tästä tehtiin muutamia päätelmiä. Ensinnäkin, opetusstrategian hyödyntämä induktiivisen tiedonhankinnan malli ei ilmeisesti siirry opiskelijoiden ajatteluun mitenkään automaattisesti tai kateederimaisesti. Toiseksi, teoreettisen lähestymistavan (teoriasta kokeisiin tai käsitteistä havaintoihin etenevän prosessin) käyttäminen edellyttää opiskelijalta valmiutta abstraktiin ajatteluun, joka on mahdollista vasta sitten, kun peruskäsitteistö on luotu ja on edetty riittävän monen ilmiön kautta teorian hierarkiatasolle (K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994, 254). Kurki-Suonion ja Kurki-Suonion näkemyksen perusteella vastausten luonne kuvastaa siis ilmiön perushahmotuksen muodostumista oikein. Uuden mallinen demonstraatio-opetus olisi siten toteuttanut perustehtävänsä.

Opiskelijoiden vastausten perusteella konstruointiin hypoteettinen malli (kuvio 35), jossa



Kuvio 35. Sitoutuneiden vesimolekyylien selitysmalli. Mallin mukaan lämpöenergia saa aikaan rakenneosien välisten sidosten katkeamisen.

pyritään kuvaamaan opiskelijoiden muodostamaa käsitystä veden muodostumisen prosessista. Olennaista mallissa on se, että rakenneosat ovat sitoutuneet toisiinsa ja lämmittäminen saa aikaan sidoksen katkeamisen. Vesimolekyylit vapautuvat ja muodostavat konkreettisesti havaittavan veden. Malli vastaa tietyin puuttein ja rajoituksin vallitsevaa tieteellistä mallia. Opiskelijoiden tulkittiin siten konstruoineen lähtökohdiltaan oikeantyyppisen selitysmallin.

Sitoutumattomat vesimolekyylit vapautuvat

Osa opiskelijoista selittää veden muodostumisen prosessiksi, jossa kuparisulfaatin ja vesimolekyylien muodostaman seoksen komponentit erottuivat toisistaan lämmittämisen vuoksi.

Miian (ryhmä 1) vastauksesta ilmenee selvästi sitoutumattomaan veteen tukeutuva selitysmalli.

63. Miia (R1): a) *“Kidevesi höyrystyy ja valuu/nousee pois kuparisulfaatista nesteenä tai kaasuna. Kuparisulfaatti muuttaa väriään, mutta säilyttää olomuotonsa.”*

b) *“Kuparisulfaatti muuttuu takaisin alkuperäisen väriksi.”*

c) *“Reaktio on kaksisuuntainen. Alkuperäisessä lähtölaineessa on vettä, mutta se ei ole mitenkään sitoutunut. Kuparisulfaatin reaktiossa se höyrystyy pois, mutta kuparisulfaatti itse ei ‘katoa’ minnekään. Siihen on helppo lisätä vettä, jotta päästään takaisin alk. per. olomuotoon.”*

Opiskelija on ilmeisesti pohdiskellut kuparisulfaatin ja kideveden välisen sidoksen olemassa oloa, mutta päätenyt virheelliseen päätelmään (“..ei ole mitenkään sitoutunut”). Opiskelija on kuitenkin tehnyt relevantteja veteen liittyviä havaintoja ja selittää lisäksi veden olomuodon muutoksia, mutta kokonaisuutta tarkasteltaessa yhteys lämmittämisen ja veden muodostumisen välillä on jäänyt demonstraatio-opetuksen jälkeenkin puutteelliseksi.

Teijan vastauksessa sitoutumattomien vesimolekyylien malli ei ole aivan yhtä ilmeinen.

64. Teija (R1): a) *“Lämmittäessä kuparisulfaattia, kidevesipitoista, kuparisulfaatista alkaa erota vettä.”*

b) *“Kun seos on jäähtynyt, vesi ja kuparisulfaatti muuttuu alkuperäiseen kidepitoiseen kuparisulfaattimuotoon, jos seokseen lisätään vettä.”*

c) *“Lämmittäessä seosta, seoksen reaktionopeus kasvaa jolloin vesi erkanee muusta seoksesta. Veden lisääminen kiteyttää veden ja muun seoksen takaisin alkuperäiseen muotoon.”*

A-kohdassa opiskelija kuvailee veden muodostumisen prosessia veden erottumisena edellisen selitysluokan tapaan, mutta c-kohdassa hän kuitenkin toteaa lämmittämisen johtavan veden ja muun seoksen (komponenttien) eroamiseen toisistaan. Taijan vastaus sijoitettiin tähän luokkaan pääasiallisesti siksi, että hän esittää seoskäsitteeseen tukeutuvan selityksen nimenomaan ilmiöiden perusteluja tiedustelevassa kysymyksessä.

Ryhmässä 2 hieman useampi opiskelija tukeutuu sitoutumattomien vesimolekyylien malliin. Inan vastaus on näistä selkein, sillä hän kuvailee prosessia seoskomponenttien erottumisena.

65. Ina (R2): a) *“Vesi irtoaa lämmittämisen aikana.”*

b) *“Vesi sitoutuu takaisin kuparisulfaattiin.”*

c) *“Seoksista pystyy erottelemaan aineita, esim. lämmittämällä, joten tässä tapauksessa vesi irtoaa. Lämpötila vaikuttaa reaktionopeuteen. Jäähdytettäessä vesi sitoutuu kuparisulfaattiin, koska se on kaksisuuntainen reaktio, eli reaktion tapahduttua se pyrkii takaisin lähtöpisteeseen.”*

A-kohdassa opiskelija tosin kirjoittaa veden irtoamisesta, mutta vastaus päätettiin sijoittaa tähän luokkaan c-kohdan vastauksessa käytetyn seoksen käsitteen perusteella. Opiskelijan vastausta voidaan tulkita myös siten, että hän ehkä olettaa kuparisulfaatin ja veden muodostavan vastaavan tyyppisen seoksen kuin esimerkiksi vesi ja siihen liuotettu suola. Veden ja suolan muodostaman liuoksen komponentit voidaan tunnetusti erottaa toisistaan haihduttamalla, mihin ilmiöön tutustutaan yleensä jo perusasteen opetuksessa. Opiskelijalla siten voinut olla sekä käytännön kokemusta että teoreettista tietoa tämän tyyppisestä prosessista. Hän yrittää ymmärtää ja selittää havaittuja ilmiöitä haihtumisilmiön avulla. Vastaus voi siten ilmentää synteettisen selitysmallin muodostumista. Synteettinen malli syntyy, kun intuitiivista mallia pyritään muokkaamaan ja sovittamaan yhteen esimerkiksi opetuksessa esitettävän tieteellisen mallin kanssa (vrt. Vosniadou 1994).

Leenan vastauksessa ilmenee melko hyvin havainnon ja selityksen välinen yhteys. Opiskelija kuvailee kideveden irtoamista kuparisulfaatista, joka havaitaan molaarisella tasolla konkreettina veden muodostumisena.

66. Leena (R2): a) *“Kidevesi irtoaa kuparisulfaatista, jolloin koeputkesta alkaa tippua vettä. Kuparisulfaatti muuttaa värinsä valkoiseksi ja se on muutenkin eri näköistä.”*

b) *“Kuparisulfaatti muuttaa värinsä takaisin siniseksi ja se ottaa veden kidevedekseen uudelleen.”*

c) "Reaktio on vain sellainen, joka toimii kumpaankin suuntaan. *Lämmittäessä aineet erkanevat toisistaan ja aineen jäädyttyä se on taas valmis ottamaan veden takaisin. Se koostumus on tiheä, jolloin vesi on jäänyt se 'väliin' hilaan kidevedeksi. Lämmittäessä hiukkaset rupeavat liikkumaan enemmän, jolloin vesi pääsee välistä pois.* Jäähtyessä se taas reagoi veden kanssa jättämällä sen kidehilaansa."

A-kohdassa opiskelija on kytenyt lämmittämisen ja veden muodostumisen syy-seuraussuhteet oikein, mutta c-kohdassa ilmenee sitoutuneiden vesimolekyylien mallin rinnalla toinenkin selitysmalli. Tämä malli hyödyntää aineen tiiviysasteen käsitystä, ja lukijalle muodostuu mielikuva lomittain olevista hiukkasista, joista toinen (vesi) poistuu lämmittämisen vuoksi. Selitysmallin katsottiin muistuttavan kokonaisuudessa enemmän sitoutumattomien kuin sitoutuvien vesimolekyylien mallia. Lisäksi Leena kuvailee ainetta ennemminkin seokseksi kuin yhdisteeksi.

Miran vastaus on tulkinnanvarainen, mutta sijoitettiin tähän luokkaan veden muodostuksen perusteluissa ilmenevän aineen tiheyteen viittaavan ilmauksen kanssa.

67. Mira (R2): a) "*Lämmittämisen aikana vesi alkaa 'tulla pois', irtaantua kuparisulfaattista, vesi valuu pois, jos koeputki on alaspäin.*"

b) "*Lämmittämisen jälkeen, jos kaadan vettä putkeen, kuparisulfaatin joukkoon, se imeytyy uudelleen CuSO_4 :iin.*"

c) "*Ilmiö on käänteisreaktio. Lähtöaineista muodostuu reaktiossa reaktiotuotteita ja käänteisreaktiossa ne muuttuvat takaisin lähtöaineiksi (esim. Ammoniakin teko). Lämmitettäessä aineiden olomuoto muuttuu (tiivisty...) jolloin vesi (tässä tapauksessa) lähtee pois ja tavallisessa lämpötilassa se imeytyy uudelleen.*"

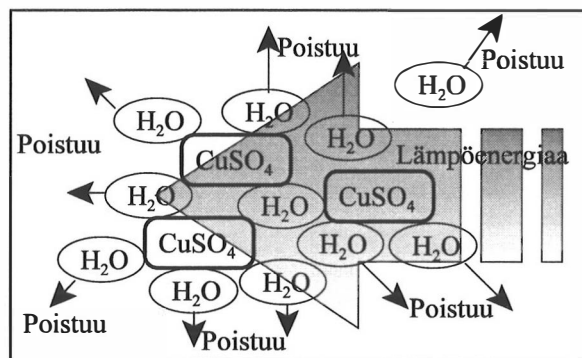
Miran ja Leenan vastauksia voidaan tulkita myös siten, että he ovat pyrkineet kuvailemaan veden muodostumisen prosessia liuottimen haihtumisilmionä. Lisäksi molemmat opiskelijat tukeutuivat ennemminkin tiheyden ja seoksen kuin rapautumisen ja kemiallisen sidoksen käsitteisiin.

Kokonaisuutena voidaan todeta opiskelijoiden tehneen veden muodostumiseen liittyviä havaintoja, mutta havaintojen selitykset on luotu ilmeisesti aikaisempien käsitysten perusteella osin puutteellisesti ja virheellisesti. Näillä opiskelijoilla demonstraatio-opetuksella ei ole ollut vastaavaa opetusvaikutusta oppimiseen kuin edelliseen luokkaan kuuluvilla opiskelijoilla.

Tähän luokkaan sijoittuneiden vastausten perusteella konstruointiin hypoteettinen malli, jossa kidevesi ja kuparisulfaatti ovat omina aineenaan sekoittuneet toistensa joukkoon, eivät niinkään sitoutuneena toisiinsa (kuvio 36). Seoksen lämmittäminen aiheuttaa vesimolekyylien

liikkeen lisääntymisen ja tietyssä lämpötilassa niiden vapautumisen seoksesta. Vapautuvat vesimolekyylit muodostavat tiivistyessään konkreettisesti havaittavaa vettä. Vesimolekyylien poistuminen aiheuttaa sen, että jäljelle jäävät kuparisulfaattit joutuvat lähemmäs toisiaan eli molaarisella tasolla tarkasteltuna aine “tiivistyy”.

Selitysmallissa on monia puutteita vallitsevaan tieteelliseen selitysmalliin verrattuna, mutta rakenneosien liikkeen kasvaminen ja siitä aiheutuvat vesimolekyylien erottuminen muusta seoksesta vastaa tietyin rajoituksin tieteellistä selitysmallia kidevedellisen kuparisulfaatin kiderakenteen muutoksista sitä lämmitettäessä. On todennäköistä, että opettajan esittämä lyhytkin selitys aineen rakenteen molekulaarisen tason muutoksista demonstraatio-opetuksen yhteydessä olisi muuttanut näiden opiskelijoiden käsityksen tieteellisemmäksi.



Kuvio 36. Veden ja kuparisulfaatin muodostaman seoksen selitysmalli. Mallin mukaan lämpöenergia saa aikaan seoskomponenttien erottumisen.

Veden haihtuminen

Kolmas selitysmalli rakentui veden haihtumis- ja höyrystymisilmiöihin liittyviin käsityksiin. Tässä tapauksessa eri ryhmien opiskelijoiden vastaukset muistuttivat niin paljon toisiaan, että ne voidaan kuvata yhdessä.

68. Hanna (R1): a) “Vettä haihtuu pois lämmön ansiosta. Aineen koostumus muuttuu.”

b) “Aine palautuu samanlaiseksi kuin alussa.”

c) “Lämpö aiheuttaa reaktion jossa vesi haihtuu. Reaktio nopeuskin johtuu lämmöstä.”

69. Pentti (R1): a) “Kuparisulfaatin kidevesi kiehuu pois ja CuSO_4 :n väri muuttuu kauniin sinisestä keltavaaleanruskeaksi.”

b) “ CuSO_4 ottaa veden kidevedekseen jolloin se jälleen palaa alkuperäiseen tilaansa. Todistaakseen tämän, CuSO_4 , muuttuu jälleen siniseksi.”

c) “Selvitys edellä.”

70. Sari (R2): a) “*Kiteestä poistuu kaasua, joka muuttuu nesteeksi ja valuu ulos koeputkesta. Tämä aine on vettä. Kun vettä poistuu kuparisulfaatti vaihtaa värinsä valkoiseksi ja kiderakenne hajoaa.*”

b) “*CuSO₄ muuttuu jälleen siniseksi ja kiteeksi.*”

c) “*Reaktio on kaksisuuntainen. Tämä tarkoittaa sitä, että reaktiotuotteilla on taipumus pyrkiä takaisin lähtöaineiksi.*”

71. Piia (R2): a) “*Vesi höyrystyy pois, putkeen jää kökkööntynyt kuparisulfaatti.*”

b) “*Reaktio kääntyy "takaisin". Putkessa on jälleen sinistä kidevesipitoista kuparisulfaattia.*”

c) “*(ei vastattu).*”

72. Seija (R2): a) “*Sinien väri muuttuu vaalean harmaaksi ja koeputken sisäpinnalle tiivistyy vesihöyryä, joka valuu lopulta pois putkesta.*”

b) “*Vettä lisättäessä sininen väri palaa.*”

c) “*Kuumennettaessa kidevesi haihtuu ja poistuessaan 'vie' sinisen värin. Vettä lisättäessä siitä tulee jälleen kidevettä, jonka väri on sininen.*”

73. Laura (R2): a) “*Kuparisulfaattisysteemi alkaa kiteytyä, koska vesi haihtuu. Ja se vaihtaa väriä.*”

b) “*Väri palautuu ja entinen olomuoto kanssa.*”

c) “*Tämänlainen toiminta kuuluu sinisen kidevesipitoisen kuparisulfaatin toimenkuvaan.*”

74. Elli. (R2): a) “*Reaktio on kaksisuuntainen. Aineet pyrkivät takaisin lähtöaineisiinsa/ tilanteisiin.*”

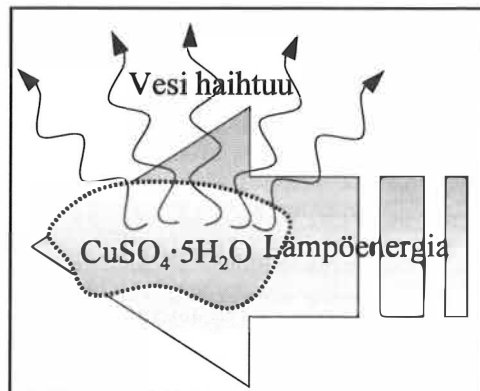
b) “*Kuparisulfaatti kiteytyy muoto hajoaa takaisin nestemäisempään.*”

c) “*Neste haihtuu lämmittämisen aikana ja kun sitä lisätään aine on jälleen kidevesipitoista.*”

Muutamilla opiskelijoilla on puutteita ilmiötä kuvaavien käsitteiden omaksumisessa (esim. Lauralla ja Ellillä), mutta heidän vastauksissaan tukeudutaan selvästi haihtumisilmiöön. Haihtumisen tai höyrystymisen käsitteisiin tukeutumista voidaan selittää ilmiöihin liittyvillä arkihavainnoilla. Myös savun tai sumun muodostumiseen liittyvät arki-ilmiöt ovat voineet johtaa höyrystymiskäsitteeseen nojautumiseen. Arki-ilmiöt, joihin liittyviä havaintoja ja ymmärrystä opiskelijat saattaisivat tässä yhteydessä soveltaa, ovat esimerkiksi puun palamisessa tapahtuva savuaminen tai toisinaan järven jään pinnalla havaittava sumun muodostuminen. Molempiin ilmiöihin liittyy kiinteä aine ja lämpöilmiö, jotka aiheuttavat pinnan läheisyydessä havaittavan kaasumaisen aineen muodostuminen. Arki-ilmiöiden yhteys kidevedellisen kuparisulfaatin lämmittämiseen koeputkessa on selkeä, joten opiskelijoiden selitysten liittyminen höyrystymiseen ei ole suuri yllätys. Olennaista höyrystymiseen tai haihtumiseen perustuvassa selitysmallissa on myös se, ettei haihtumis-/höyrystymiskäsitteen käyttöä voida pitää täysin

virheellisenä. Haihtuminen ja höyrystyminen merkitsevät aineen kaasumaisen olomuodon olemassaoloa ja olomuodon voi päätellä esiintyneen kokeessa, koska koeputken yläpintaan tiivistyi vettä.

Opiskelijoiden vastausten perusteella konstruointiin hypoteettinen malli (kuvio 37), joka eroaa edellisistä siten, ettei kuparisulfaattia ja vettä mielletä toisiinsa sitoutuneiksi tai sekoittuneiksi, vaan ennemminkin konkreetiksi aineeksi. Lämmittäminen puolestaan aiheuttaa kideveden poistumisen vastaavan tyypisenä ilmiönä, kuin vesi haihtuu liuoksen pinnalta. On varsin todennäköistä, etteivät opiskelijat olleet vielä tutustuneet esimerkiksi kiinteän aineen höyrönpaineen käsitteeseen, jolla veden muodostumisen ilmiötä olisi voinut selittää tieteellisemmin. Sen sijaan suurin osa opiskelijoista oli todennäköisesti tutustunut sublimoitumisen käsitteeseen, jonka käyttö tässä yhteydessä olisi vastannut paremmin erottumisprosessin todellista selitysmallia.



Kuvio 37. Haihtumisilmiöön perustuva selitysmalli. Mallin mukaan lämpöenergia saa aikaan veden haihtumisen aineesta.

Opiskelijoiden perushahmotus liittyy konkreetin molaarisen tason havaintoihin edellisen luokan vastaajia selvemmin. Tämä ilmenee muun muassa siten, että veden muodostumisilmiön selityksessä käytetään konkreetin molaarisen tason käsitteitä, kuten haihtumista tai höyrystymistä. Eräs syy haihtumis- ja höyrystymiskäsitteiden käyttöön saattaa olla opiskelijoiden pyrkimys selittää ilmiötä heidän mielestään sille analogisen arki-ilmiön avulla. Opiskelijoiden vastaukset paljastavat puutteita ilmiötä kuvaavien käsitteiden omaksumisessa, mutta toisaalta heidän käsityksensä vaikuttavat kehityskelpoisilta. Opiskelijoiden ajattelussa ei ilmennyt selviä virhekäsityksiä, joiden poisoppimisen olisi tarpeen ennen, kuin he voisivat ymmärtää ilmiön syy-seuraussuhteita vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti. Kokonaisuutta tarkastellen demonstraatio-opetuksella saavutettiin työtavan tavoitteen suuntaisia oppimistuloksia, vaikkakin perushahmotus jäi reaali maailman tasolle.

Aineen transmutaatio

Neljäs vastausluokka rakentuu aineen transmutaation käsityksen pohjalta. Vastauksille yhteistä on veden muodostumisen selittäminen siten, että lähtöaine muuttuu prosessissa suoraan havaittavaksi nestemäiseksi reaktiotuotteeksi so. vedeksi. Esimerkiksi Martti kuvailee kiinteiden kuparisulfaattikiteiden muuttuvan lämmittämisen aikana kuparisulfaattiliuokseksi.

75. Martti (R1): a) *“Koeputkessa oleva kiinteät kuparisulfaatti kiteet muuttuvat lämmittämisen kuluessa kuparisulfaattiliuokseksi. Putken toisesta päästä tulee kaasua.”*

b) *“Koeputken jäähtyessä aine palaa taas kiinteään muotoon eli kuparisulfaatti kiteiksi. Kun koeputkeen lisätään vettä, rupeavat kiteet liukenemaan siihen, jos vettä on tarpeeksi, syntyy taas kuparisulfaattiliuosta.”*

c) *“Tämä kaikki johtuu kuparisulfaatin ominaisuuksista.”*

Opiskelijan selityksessä on yhtäläisyyksiä olomuodon muutoksen ilmiöön. Hänen mukaansa kiteet muuttuvat liuokseksi, mikä vastaa ilmiönä hyvin esimerkiksi jään sulamista vedeksi. On siten mahdollista, että Martti on yrittänyt ymmärtää veden muodostumista kiinteän aineen sulamiselle analogisena ilmiönä. Vaikka vastaus saa luontevan selityksen aineen olomuodon muutosten selitysmallin soveltamisesta, sen ratkaisevin puute on siinä, ettei malli tarjoa selitystä koeputkeen jäävälle kiinteälle reaktiotuotteelle (eli anhydraatille). Koska opiskelija on tulkinut kokeessa muodostuvan veden lähtöaineen nestemäiseksi muodoksi, vastaus luokiteltiin aineen transmutaatioon tukeutuviin selityksiin. On myös todennäköistä, ettei opiskelija ole tiedostanut käsityksensä virheellisyyttä.

Myös Kimmon vastauksessa ilmenee olomuodon muutoksen ja aineen transmutaation käsityksen sekoittuminen. Hän kuvailee vastauksessaan, kuinka kuparisulfaatti muuttuu nestemäiseksi aineeksi, joka valuu putkea pitkin.

76. Kimmo (R1): a) *“Kuparisulfaatti muuttuu nestemäiseksi ja valuu putkea pitkin paidalle.”*

b) *“Kuparisulfaatti jähmettyy kylmetessään. Vesi toimii indikaattorina ja nopeuttaa reaktiota.”*

c) *“Kuparisulfaatti pystyy kaksisuuntaiseen reaktioon...”*

Vastauksen taustalla lienee edellisen vastaajan tapaan olomuodon muutoksen selitysmalli. Tähän viittaa myös b-kohdan vastaukseen liittyvät kuvailut aineen jähmettymisestä sen kylmetessä. Tässä tapauksessa opiskelija kuitenkin rinnastaa kuparisulfaatin ja koeputkessa valuvan nesteen (eli veden) toisiinsa edellistä vastaajaa selvemmin.

Samin vastauksesta ilmenee selvästi aineen transmutaation käsitykseen perustuva selitysmalli. Opiskelija ilmoittaa täsmällisesti lähtöaineen ja reaktiotuotteen, eli kuinka kuparisulfaatti muuttuu vedeksi. Syy-seuraussuhteiden selitys on epäolennainen.

77. Sami (R1): a) *“Kuparisulfaatti alkaa höyrystymään vedeksi.”*

b) *“Kuparisulfaattia jää koeputken pohjalle ja päällä on vettä.”*

c) *“Koska se luonnon laki. Jumalamme on sen niin säätänyt. Herramme on ajatellut meitä kaikkia ja sen suunnitelma on toimiva.”*

Selitysmallissa ei ole merkkejä aineen olomuodon muutokseen tukeutuvasta selitysmallista kahden edellisen vastaajan tapaan, joten käsitys voidaan pitää pohjimmiltaan aineen transmutaation käsityksenä.

Rinnakkaisryhmän opiskelijan Arin vastauksessa on yhtäläisyyksiä Kimmon selityksen kanssa. Molemmat kuvailevat, kuinka lähtöaine muuttuu nestemäiseksi lopputuotteeksi.

78. Ari (R2): a) *“Lämmittämisen aikana sininen kidevesipitoinen kuparisulfaatti muuttuu läpinäkyväksi nesteeksi.”*

b) *“Koeputkessa oleva neste muuttuu takaisin siniseksi kidevesipitoiseksi kuparisulfaatiksi.”*

c) *“Koska lämmittämisen aikana vesi haihtuu kuparisulfaatista pois (ilman vettä kiteytyy) ja kun vettä kaadetaan jäähtyneeseen koeputkeen se muuttuu jälleen siniseksi kidevesipitoiseksi kuparisulfaatiksi.”*

Opiskelija kuvailee c-kohdan vastauksessa, kuinka lämmittäminen aiheuttaa kideveden haihtumisen kuparisulfaatista, joten tältä osin vastaus olisi voitu luokitella myös aikaisempiin luokkiin. Vastauksesta puuttuu myös olomuodon muutokseen liittyvä selitysmalli. Toisaalta opiskelija kirjoittaa a-kohdassa vesipitoisesta aineesta, muttei ole selvästikään sisäistänyt käsitteen merkitystä. Opiskelijan vastauksen tulkittiin siten edustavan aineen transmutaation tukeutuvaa selitysmallia.

Kaisan selitysmalli edustaa puolestaan selvemmin olomuodon muutokseen tukeutuvaa selitysmallia. Opiskelijan näkemyksen mukaan aineen lämmittäminen aiheuttaa sen sulamisen.

79. Kaisa (R2): a) *“Lämmittämisen aikana koeputken päästä alkaa tippumaan nestettä.”*

b) *“Se muuttui takaisin kiteiseen muotoonsa.”*

c) Kohdassa a *tuli sulatti kidemuotoa nestemäisempään muotoon*. Kohdassa b vesi sai aikaan aineen uudelleen kiteytymisen. Eli tämä reaktio on kaksisuuntainen, jossa vesi on se joka vaikuttaa.”

Vastaus sijoitettiin tähän luokkaan siksi, että kokeessa nestemäisessä olomuodossa esiintyvä aine eli vesi edustaa opiskelijalle lähtöainetta, ja toisaalta korkeammassa lämpötilassa myös sen uutta olomuotoa.

Kokonaisuutena tarkastellen tähän luokkaan sijoitetut opiskelijat ovat yrittäneet ymmärtää ja selittää veden muodostumista niiden tietojen avulla, joita heillä on aineen olomuodon muutoksesta. Opiskelijoiden tekemä ratkaisu on helppo ymmärtää, sillä olomuodon muutoksia aikaan saavat ja muutosta seuraavat molaarisen tason ilmiöt ovat monelta osin saman tyyppisiä kokeessa havaittujen muutosten kanssa, esimerkiksi veden olomuodon muutokset kiinteästä jäästä vesihöyryksi ja cdcllccn höyryn kondensoituminen nesteeksi. Muutamien opiskelijan selitysmallin taustalta paljastui perushahmotuksen ongelmia. Selvimmin tämä tulee esille Arin (78) vastauksessa, jossa hän määrittelee lähtöaineen vesipitoiseksi aineeksi, mutta tästä huolimatta kuvittelee ja kuvailee lähtöaineen muuttuvan itse nestemäiseksi reaktiotuotteeksi eli vedeksi. Vastauksen taustalla tulkittiin olevan alkeellinen aineen transmutaation käsitykselle analoginen käsitys, että lähtöaine voi muuttua perusluonteeltaan toiseksi aineeksi. Opiskelijoiden havainnot liittyvät nestemäiseen olomuotoon, mutta syy-yhteyksien selvittäminen olomuodon muutokseen tukeutuvalla mallilla on saanut heidät konstruoimaan aineen transmutaatiota muistuttavan selitysmallin. Malli selittää veden muodostumisen prosessin toisaalta fysikaalisena ilmiönä, aineen sulamisena, ja toisaalta kemiallisena ilmiönä lähtöaineineen ja reaktiotuotteineen. Esimeriksi Andersson (1986, 1990) on todennut vastaavan tyyppisiä virhekäsityksiä palamisilmiön yhteydessä.

Havaittu virhekäsitys on esimerkki siitä, kuinka opiskelijat tulkitsevat tekemänsä havainnot virheellisesti aikaisempien tietojensa perusteella. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, ettei ilmiö ole opiskelijoille entuudestaan tuttu ja he yrittävät ymmärtää ilmiötä sitä läheisesti muistuttavan ilmiön periaatteiden avulla. Toisinaan tämä johtaa tietorakenteen täsmentymiseen tai laajentumiseen, kuten rautavillan palamista tarkasteltaessa, mutta toisinaan se tuottaa virhekäsityksiä. Virhekäsitysten syntyyn voi olla syynä se, ettei opiskelijoilla ole ilmiöluokkaan liittyvää aikaisempaa käsitystä ja uutta ilmiötä yritetään selittää analogisesti jonkin toisen ilmiön pohjalta. Toisaalta Wellingtonin (1989) (ks. myös Lavonen & Meisalo 2003b) mukaan opiskelijan ennakkokäsitykset ohjaavat hänen havaintojensa tekemistä. Jos opiskelijoilla on ennakkokäsityksiä, havainnot voivat johtaa erilaisiin tulkintoihin samasta ilmiöstä.

Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin näkökulmasta tämä korostaa aikaisempien käsitysten selvittämisen tärkeyttä.

Ei ymmärrystä

Ryhmän 1 opiskelijoista 11:llä (44 %) ja ryhmän 2 opiskelijoista kolmella (13 %) oli puutteellinen käsitys veden muodostumisen syy-seuraussuhteista. Osa ryhmän 1 opiskelijoista ei maininnut ollenkaan veden muodostumista. Noin puolet ryhmän 1 ja kaikki ryhmän 2 tähän luokkaan sijoittuneet opiskelijat jättivät vastaamatta kysymykseen.

Esimerkiksi Elinan (ryhmä 1) vastaamatta jättämistä voidaan ehkä selittää sillä, ettei hän ollut nähnyt kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioita havainnollistavaa demonstraatiota. Sen sijaan hän oli nähnyt rautavillan palamista havainnollistavan demonstraation ja menestyi kurssikokeessa tältä osin hyvin.

Elinan suoritusta analysoitiin aikaisemmin kuvatun Tiinan (59) ja Tarjan (61) vastausten sisällönanalyysin avulla. Tiina, joka oli nähnyt rautavillan havainnollistavan kokeen, kykeni myös selittämään ilmiön tieteellisesti oikein, ja hänen vastauksensa rakenteen todettiin olevan looginen. Tarjan, joka ei ollut nähnyt rautavillan palamista havainnollistavaa koetta, selitys on sen sijaan selvästi virheellinen, eikä siinä myöskään ole loogista päättelyketjua. Kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioita havainnollistettiin Tiinalle ja Tarjalle uudentyyppisen demonstraatio-opetusmallin mukaisesti. Veden muodostumisen selityksissä näiden eri ryhmien opiskelijoiden (Tiinan ja Tarjan) vastaukset muistuttavat toisiaan sekä sisällöllisesti että rakenteellisesti. Tämän otaksutaan johtuvan opetusmallien samankaltaisuudesta.

Elinan suoriutuminen muistuttaa käänteisesti Tarjan suoriutumista. Elina oli nähnyt rautavillan palamista havainnollistavan kokeen ja kykeni kokeessa selittämään ilmiön tieteellisesti riittävän oikein. Elina ei sen sijaan ollut nähnyt kidevedellisen kuparisulfaatin havainnollistavaa koetta eikä myöskään kyennyt selittämään ilmiötä kokeessa.

On oletettavaa, että Elina olisi osannut luonnehtia joitain ilmiöön, todennäköisimmin veteen, liittyviä havaintoja sekä kyennyt antamaan jonkintyyppisen selityksen havaituille ilmiöille, mikäli hän olisi osallistunut kyseisen oppitunnin opetukseen. Kokonaisuutta tarkastellen Tiinan, Tarjan ja Elinan käsitys tutkimuksen kohteena olevista ilmiöistä näyttää riippuvan siitä, olivatko he nähneet ilmiötä havainnollistavan demonstraation vai eivät. Demonstraatioefektiin viittaa myös se, ettei ilmiötä koskevan teorian käsittelyllä vaikuttanut olevan yhtä keskeistä merkitystä Tiinan tai Tarjan suoritustasoon. Heidän suorituksensa poikkeavat selvästi toisistaan, vaikka opetus oli ollut teoreettiselta otteeltaan ja käytännön toteutukseltaan demonstraatiota lukuun ottamatta hyvin samanlaista.

8.2.2.2 Lähtöaineen värin kuvittelemisen veden ominaisuudeksi

Kidevedellisen kuparisulfaatin lämmittäminen aiheutti kideveden irtoamisen kidehilasta. Hilan muutokset johtivat siihen, että aine reagoi sähkömagneettiseen säteilyyn muuttui. Molaarisella tasolla tämä havaittiin aineen värin muuttumisena sinisestä valkoiseksi.

Vajaa kolmannes ryhmän 1 ja hieman alle puolet ryhmän 2 opiskelijoista käsittelee vastauksissaan värin muuttumista ja vain osa heistä yrittää selittää ilmiötä jollain tavalla. Selitykset ryhmiteltiin neljään luokkaan. Osa opiskelijoista perustelee värin muuttumisen sillä, että a) vesi poistui kiteestä. Muutama opiskelija puolestaan kuvailee värin muuttumisen riippumattomaksi veden poistumisesta. Opiskelijoiden vastaukset sijoitettiin tähän luokkaan siinä tapauksessa, että värin muuttuminen esimerkiksi kuvaillaan eri virkkeessä kuin veden muodostuminen. Kolmas vastausluokka liittyy aineen transmutaation selitysmalliin. Neljänteen vastausluokkaan sijoittuu vain yksi vastaus, jonka mukaan kuparisulfaatin väri muuttui siksi, että aine paloi. Kolme viimeksi mainittua vastausluokkaa liitettiin yhteiseksi b) "Muut selitykset" - vastausluokaksi, koska näillä opiskelijoilla katsottiin olevan hieman puutteellisempi käsitys värin muodostumisen syy-yhteydestä kuin ensimmäisenä luokkaan sijoitetuilla opiskelijoilla. Oman luokkansa muodostavat ne vastaukset, joissa c) ei osoiteta alkeellistakaan ymmärrystä värin muuttumisen ilmiöstä. Alla yhteenveto vastausluokista.

a) Vesi poistuu yhdisteestä

Luokkaan sijoitettiin vastaukset, joissa veden muodostuminen ja värin muuttuminen kuvaillaan samanaikaiseksi tai toisiaan seuraaviksi tapahtumiksi. Opiskelija kuvailee esimerkiksi, että "aineen väri muuttuu, koska vesi poistuu yhdisteestä".

b) Muut selitykset

Väri muuttuu riippumatta veden poistumisesta

Luokkaan sijoitettiin vastaukset, joissa veden muodostuminen ja värin muuttuminen kuvaillaan eri lauseissa tai virkkeissä. Ilmiöt saatetaan kuvailla samanaikaisiksi, muttei selvästi toisistaan riippuviksi. Opiskelija toteaa esimerkiksi, että "koeputkeen muodostuu vesihöyryä, sininen väri häviää kiteistä".

Tapahtuu aineen transmutaatio

Opiskelija kuvailee, kuinka kuparisulfaatti muuttuu nesteeksi, joten kuparisulfaatin värikin muuttuu 'veden väriksi'. Opiskelija kuvailee esimerkiksi, kuinka kuparisulfaatti muuttuu läpinäkyväksi nesteeksi.

Aine palaa

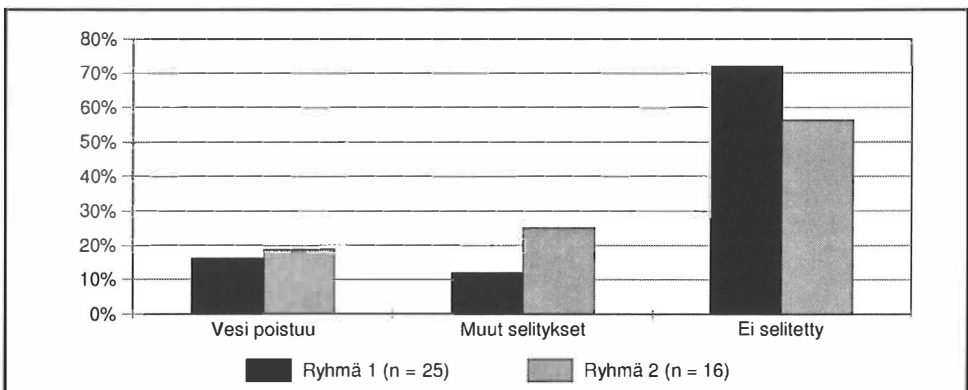
Opiskelija mielestä aineen väri muuttuu siksi, että aine palaa.

c) Ei selitetty

Ei vastausta; opiskelija toistaa annettua tietoa, antaa irrelevantteja perusteluja tai ei kiinnitä huomiota värin muodostumiseen eikä siten anna ilmiölle mitään selitystä.

Opiskelijoiden vastausten luokittelussa huomioitiin c-kohdan vastauksen lisäksi myös heidän a- ja b-kohdan vastauksensa, koska moni opiskelija esitti ilmiöiden syy-seuraussuhteita käsitteleviä perusteluja jo havaintoja kuvaillessaan. Luokittelun perustaminen vain c-kohdan vastauksiin olisi siten voinut johtaa opiskelijan osaamisen virheelliseen arviointiin. Luokat eivät ole tarkkarajaisia, ja jotkin vastaukset olisi voitu sisällyttää useaan luokkaan. Ilmiön puutteellista ymmärtämistä kuvastavaa luokkaa "Ei selitetty" ei jäljempänä kuitenkaan esitellä, sillä sen tieteellinen anti on vähäinen.

Värin muuttumisesta esitetyt selitykset jakautuvat kuvion 38 mukaisesti. Ryhmän 1 opiskelijoista neljä (16 %) selittää värin muuttumisen johtuvan veden poistumisesta kiteestä, yhden (4 %) mukaan värin muuttuminen tapahtuu riippumatta veden poistumisesta, yksi (4 %) olettaa kuparisulfaatin värin muuttuvan veden väriksi ja yksi (4 %) selittää värin muutoksen johtuvan aineen palamisesta. Ryhmän 2 opiskelijoista kolme (19 %) selittää värin muuttuvan veden poistuttua, kolmen (19 %) mielestä värin muuttumisella ja veden poistumisella ei ilmeisesti ole selvää syy-yhteyttä ja yksi (6 %) kuvittelee värin muuttumisen selittyvän aineen transmutaatiolla. Valtaosa molempien ryhmien opiskelijoista ei selitä värin muuttumista ollenkaan.



Kuvio 38. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin sen perusteella, millä he selittivät värin muuttumista lämmitysprosessissa. (Esim. Vesi poistuu = väri muuttuu siksi, että vesi poistuu.)

Ryhmässä 1 on suhteellisesti hieman vähemmän vastauksia, joissa opiskelija kuvailee veden muodostumisen ja värin muuttumisen toisistaan riippumattomiksi tapahtumiksi. Vastausten vähäisen lukumäärän vuoksi ryhmien eroista ei voida kuitenkaan tehdä luotettavia päätelmiä.

Seuraavaksi tarkastellaan yksityiskohtaisemmin opiskelijoiden esittämiä perusteluita aineen värin muuttumiselle. Samalla etsitään selittäviä tekijöitä opiskelijoiden oppimistuloksiin ja pyritään määrittämään työtavan vaikutusta oppimiseen. Opiskelijoiden vastauksista esitetään vain ne kohdat, joiden perusteella vastaukset luokiteltiin, sillä vastaukset on esitetty kokonaisuudessaan kohdassa 8.2.2.1.

Vesi poistui yhdisteestä

Molemmissa ryhmissä on muutamia vastauksia, joissa veden poistuminen ja värin muuttuminen määritellään toisistaan riippuviksi tapahtumiksi. Tässä tapauksessa riippuvuussuhteen ilmentymäksi on katsottu riittävän myös se, että havainnot ja selitykset on ilmoitettu samassa lauseessa.

Ryhmän 1 opiskelijat kuvailevat keskenään melko samalla tavalla värin muutoksia. Opiskelijoiden mielestä aineen väri muuttuu, koska kuparisulfaattista poistuu vettä.

80. Pentti (R1): ”Kuparisulfaatin kidevesi kiehuu pois ja CuSO_4 :n väri muuttuu kauniin sinisestä keltavaaleenruskeaksi.”

81. Niko (R1): ”koeputkesta alkaa valumaan vettä ja kiteet muuttuvat valkoisiksi.”

82. Taina (R1): ”Kuparisulfaattista irtoaa vesimolekyyli ja ne tippuvat putkesta ja jälkeen jää harmaata kuparisulfaatti mömmöä eli vesi haihtuu kuparisulfaattista.”

83. Antti (R1): ” CuSO_4 :n väri muuttuu veden hävittyä.”

Vastauksissa ilmenee pieniä sisällöllisiä eroja, sillä esimerkiksi kolme ensimmäistä vastaajaa täsmentää reaktiotuotteen värin, mitä neljäs ei tee. Selvimmin veden poistumisen ja värin muuttumisen syy-seuraussuhde ilmenee Antin vastauksessa. Ryhmän 2 opiskelijat esittävät hyvin samantyyppisiä selityksiä.

84. Miina (R2): ”Kuparisulfaattista valuu vesi pois ja kuparisulfaatti muuttuu valkoiseksi ‘tuhkaksi’ jauhoksi.”

85. Seija (R2): ”Kuumennettaessa kidevesi haihtuu ja poistuessaan ‘vie’ sinisen värin.”

86. Sari (R2): ”Kiteestä poistuu kaasua, joka muuttuu nesteeksi ja valuu ulos koeputkesta. Tämä aine on vettä. Kun vettä poistuu kuparisulfaatti vaihtaa värinsä valkoiseksi ja kiderakenne hajoaa.”

Opiskelijoiden vastauksissa on sisällöllisiä eroja. Miina olettaa aineen palavan ja siksi muuttavan väriä, sillä hän käyttää tuhkan käsitettä. Toisaalta hän käyttää myös jauhon käsitettä, joten käsitteiden tulkittiin edustavan opiskelijalle ennemminkin aineen fysikaalisia ominaisuuksia kuin olevan merkki palamisesta. Seijan vastauksesta ilmenee, että hän kuvittelee värin olevan enemmän veden ominaisuus, koska vesi “vie” poistuessaan sinisen värin. Opiskelija ei kuitenkaan tiedosta selitysmallinsa puutteellisuutta, vaikka reaktiossa muodostui “väritöntä” vettä. Seijan vastaus olisi voitu luokitella myös aineen transmutaatioon tukeutuvien vastausten luokkaan. Vastauksen sisältö tulkittiin kuitenkin edustavan käsitystä, jonka mukaan vesi on värin muutoksen aiheuttaja, kuin että se olisi veden ominaisuus.

Kokonaisuudessaan vain muutaman opiskelijan perushahmotukseen liittyy veden poistumisen aiheuttama värin muuttumisilmiön selitys. Nekin opiskelijat, jotka ovat havainneet syy-yhteyden, kuvailevat relaatiota pääasiallisesti molaarisen tason käsittein. Värin muuttumisen mekanisme ei juuri pyritä selittämään, vaan ennemminkin sen vain todetaan tapahtuvan. Molemmissa ryhmissä on yksi vastaus, jonka perusteella opiskelijan käsitys näyttää olevan hieman lähempänä tieteellistä selitysmallia. Toinen opiskelija kuvailee vesimolekyylien irtoamista ja toinen kiderakenteen hajoamista yhdessä värin muuttumisen ilmiön kanssa. Kokonaisuutta tarkastellen demonstraatio-opetuksella ei tässä tapauksessa saavutettu määrällisesti tai laadullisesti kuin välttävä oppimistulos.

Muut selitykset

Muutamien vastausten perusteella voidaan päätellä, että opiskelijat käsittävät veteen ja väriin liittyvät ilmiöt jossain määrin toisistaan erillisiksi tapahtumiksi. Vastausten luokittelun perusteeksi riitti tosin jo se, että opiskelija mainitsee veden muodostumisen ja värin muuttumisen ilmiön eri lauseissa.

Ryhmässä 1 yksi (4 %) ja ryhmässä 2 kolme (19 %) opiskelijaa kuvailee lämmitettäessä tapahtuvan veden muodostumista/vapautumista, mutta värin muuttuminen todetaan ikään kuin tästä riippumattomaksi prosessiksi.

87. Miia (R1): ”Kidevesi höyrystyy ja valuu/nousee pois kuparisulfaatista nesteenä tai kaasuna. Kuparisulfaatti muuttaa väriään, mutta säilytä olomuotonsa.”

- 88. Laura (R2):** ”Kuparisulfaattisysteemi alkaa kiteytyä, koska vesi haihtuu. Ja se vaihtaa väriä.”
- 89. Valteri (R2):** ”koeputkeen muodostuu vesihöyryä, sininen väri häviää kiteistä, ne muuttuva valkoiseksi jauheeksi.”
- 90. Leena (R2):** ”Kidevesi irtoaa kuparisulfaatista, jolloin koeputkesta alkaa tippua vettä. Kuparisulfaatti muuttaa värinsä valkoiseksi ja se on muutenkin eri näköistä.”

Näiden opiskelijoiden osalta ei ehkä kannata puhua virhekäsityksistä, vaan ennemminkin löyhästi toisiinsa kytkeytyneistä käsityksistä. Opiskelijat ovat selvästi tunnistaneet kaksi eri ilmiötä, mutta niiden välinen syy-yhteys on vielä hatara. Demonstraatio-opetuksessa ilmiöiden välisen syy-yhteyden näkemistä olisi voitu tehostaa esimerkiksi toteamalla selvemmin, kuinka väri muuttuu samaan aikaan, kun vesi poistuu yhdisteestä. Nyt opiskelijat kuvaavat prosessit ehkä pikemminkin peräkkäisiksi kuin rinnakkaisiksi.

Osa opiskelijoista arvelee veden muodostumisen johtuvan kidevedellisen kuparisulfaatin muuttumisesta itse reaktiossa havaituksi vedeksi. Muutaman opiskelijan vastauksessa aineen transmutaation selitysmalli liittyy värin muutosten selityksiin siten, että reaktiossa havaitun nesteen (eli veden) väri tulkitaan kuparisulfaatin väriksi korkeammassa lämpötilassa.

- 91. Kaarin (R1):** a) ”Kuparisulfaatti muuttaa väriään sinisestä värittömäksi.”
c) ”Kupari on sinistä vain veden vaikutuksesta.”

- 92. Ari (R2):** ”Lämmittämisen aikana sininen kidevesipitoinen kuparisulfaatti muuttuu läpinäkyväksi nesteeksi.”

Molemmat vastaukset ilmentävät puutteita ilmiöiden perushahmotuksessa, joka johtuu ilmeisesti havaintojen syy-yhteyksien virheellisestä tulkinnasta. Arin kokonaissuorituksesta on jo aiemmin (78) todettu hänen olettavat veden muodostumisen prosessia aineen transmutaationa. Tämä päätelmä sai siis lisätukea. Sama koskee Kaarinin vastausta.

Päivi puolestaan arvelee kidevedellisen kuparisulfaatin värin muuttuvan, koska aine palaa.

- 93. Päivi (R1):** ”Kuparisulfaatin väri muuttuu sen palaessa sinisestä kellertäväksi.”

Palamisilmiön näkökulmasta tarkasteltuna opiskelijan vastaus on johdonmukainen, sillä aineen palaessa sen väri yleensä muuttuu. Toisaalta opiskelija on maininnut oikean tyyppisiä väriin liittyviä havaintoja, mutta värin muutosten selittäminen aineen palamisena viittaa selvästi virhekäsitykseen. Vaikuttaa siltä, että opiskelija oli tulkitsee virheellisesti demonstraation

tekniseen toteutukseen liittyviä tekijöitä. Ainetta oli kuumennettu koeputkessa kaasupolttimen liekissä, ja opiskelija on voinut päätellä tästä, että aine syttyi reaktiossa palamaan. Vastausta voidaan siten tulkita myös opiskelijan yrityksenä soveltaa palamisilmiöön liittyvää käsitystään tässä yhteydessä.

Muutamit opiskelijat kykenivät muodostamaan hieman läheisemmän syy-yhteyden veden poistumisen ja värin muuttumisen ilmiöille empiiristen havaintojensa ja ilmiöön liittyvän teoriaopetuksen avulla. Toisaalta raja implisiittisen ja eksplisiittisen syy-yhteyden ilmaisun välillä on tulkinnanvarainen. Mikäli molemmat näkemykset tulkitaan riittävän vertailukelpoisiksi, voidaan ryhmän 1 opiskelijoista todeta viiden (20 %) ja ryhmän 2 opiskelijoista kuuden (44 %) muodostaneen yhteyden veden poistumisen ja värin muuttumisen ilmiöiden välille. Tämänkin jälkeen voidaan kuitenkin todeta suhteellisesti suurimmalla osalla opiskelijoista olevan selvästi puutteellinen tai virheellinen käsitys ilmiöiden välisestä syy-seuraussuhteesta. Kokonaisuutta tarkastellen demonstraatio-opetuksen vaikutusta ryhmän 1 opiskelijoiden käsityksiin voidaan pitää korkeintaan välttävänä, ryhmässä 2 tyydyttävänä.

Ryhmän 1 huonompaa kokonaissuoritusta voidaan selittää demonstraation tekniseen toteutukseen liittyvillä tekijöillä. Ryhmän 1 opettajan havainnollistaessa anhydraatin väriä hän pudotti anhydraatin epähuomiossa keitinlasiin, jossa oli hieman vettä. Aineiden välillä tapahtui välittömästi palautuva reaktio, joten opiskelijoille jäi vain niukasti aikaa havainnoida kidevedellisen kuparisulfaatin ja sen anhydraatin välisiä värieroja. Toinen mahdollisesti vaikuttava seikka oli opiskelijoiden ryhmittely. Ryhmän 1 opiskelijat seurasivat demonstraatiota enimmäkseen omilta paikoiltaan, kun taas ryhmän 2 opettaja pyysi opiskelijat aivan demonstraatiopöydän viereen tekemään havaintoja. Ero johtui kuitenkin lähinnä käytännön syistä, sillä luokkatilat poikkesivat toisistaan. Ryhmän 1 opetuksessa käytettiin laboratorioluokkaa, kun taas ryhmän 2 opetuksessa käytettiin ns. tavanomaista luokkahuonetta. Toisaalta ryhmän 1 opetuksessa koelaitteisto oli projisoitu tv-vastaanottimelle, jonka kuvaruudulta opiskelijat pystyivät seuraamaan kokeen etenemistä. Joka tapauksessa suuremmalla osalla ryhmän 1 opiskelijoista oli ainakin jossain määrin heikommat edellytykset omakohtaisten empiiristen havaintojen tekemiseen kuin ryhmän 2 opiskelijoilla.

8.2.2.3 Rakenteen muuttumisen selittäminen olomuodon muutoksella

Kidevedellisen kuparisulfaatin lämmittäminen aiheuttaa kideveden vapautumisen kidehilasta. Kideveden vapautuminen liittyy siten molaarisen tason havaintoihin sekä veden muodostumisen että värin ja rakenteen muuttumisen ilmiössä.

Opiskelijoiden vastauksista etsittiin sellaisia merkkejä, joiden perusteella heidän voitiin tulkita hahmottaneen kideveden poistumisen vaikutuksen aineen rakenteen muutokseen vastaavan tyypillisesti, kuin osa opiskelijoista oli hahmottanut kideveden poistumisen vaikutuksen aineen värin muutokseen. Olennaista oli roisin sanoen veden muodostumisen ja rakenteen muutoksen ilmiöiden kytkeminen toisiinsa. Joissain tapauksissa rakenteen muuttumiseen liittyvä havainto (esim. muodostuu jauhetta) ja sitä koskeva selitys (esim. kiderakenne hajoaa) esitettiin samassa lauseessa. Vastausten analyysissä kiinnitettiin huomiota kokonaissuoritukseen, ja tilanteen mukaan vastausten luokittelussa huomioitiin esimerkiksi sekä a-kohdan havaintoja koskevaan että c-kohdan ilmiöiden syy-seuraussuhteita koskevaa kysymykseen esitetty vastaus.

Vastaukset luokiteltiin kahteen pääluokkaan. Toisen luokan muodostavat vastaukset, joissa a) opiskelijat toteavat aineen rakenteen muuttuvan kideveden poistumisen vuoksi. Toisen vastausluokan muodostavat b) muut aineen rakenteen muutosten kuvailuun keskittyvät vastaukset, joissa kuitenkin kideveden vapautumista ja aineen rakenteen muuttumista ei selvästi kytketä toisiinsa. Oman luokkansa muodostavat ne vastaukset, joissa c) ei selitetä mitenkään rakenteen muuttumisen ilmiötä. Alla luokkien tarkempi kuvailu.

a) Vesi poistuu yhdisteestä

Aineen lämmittäminen aiheuttaa kideveden poistumisen kidehilasta, joten aineen (kide)rakenne muuttuu.

b) Muut selitykset

Aineen rakenne muuttuu, koska tapahtuu kemiallinen reaktio tai koska lämmitettäessä tapahtuu olomuodon muutos. Luokkaan sijoitettiin myös vastaukset, joissa kuvaillaan aineen rakenteen muutoksia, mutta havaintoja ja selityksiä ei selvästi kytketä toisiinsa.

c) Ei selitetty

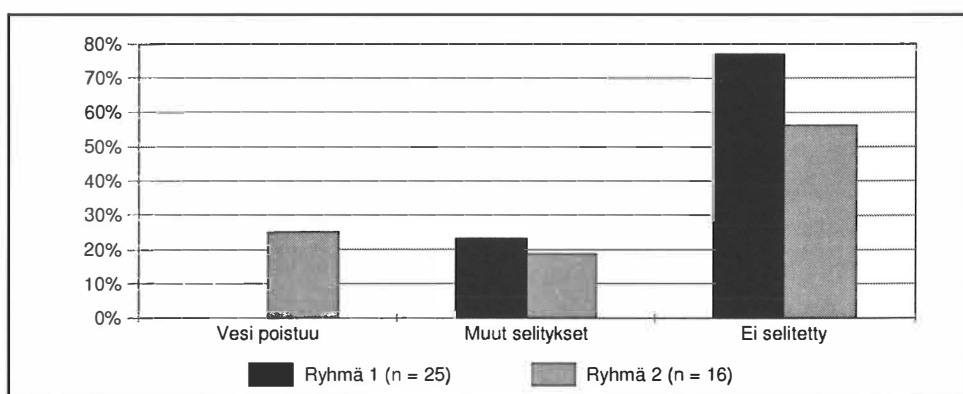
Ei vastausta; opiskelija toistaa annettua tietoa, esittää irrelevantteja perusteluja tai ei kiinnitä huomiota aineen rakenteen muuttumiseen.

Vastausten tarkastelussa huomioitiin kaikkiin kolmeen osatehtävään annetut vastaukset. Ilmiön puutteellista ymmärtämistä kuvastavaa luokkaa "Ei selitetty" ei jäljempänä kuitenkaan esitellä, sillä sen tieteellinen anti on vähäinen.

Opiskelijoiden selitykset aineen rakenteen muuttumiselle lämmittämisen aikana jakautuvat kuvion 39 mukaisesti. Kaikki ryhmän I opiskelijoiden vastaukset, joissa kuvaillaan aineen

rakenteen muutoksia tai toisaalta yritetään selittää niitä, sijoittuvat ryhmään Muut selitykset. Sen sijaan ryhmässä 2 neljällä (25 %) opiskelijalla näyttää olevan alkeellinen käsitys siitä, että aineen rakenteen muutoksilla ja kideveden poistumisella on jokin syy-yhteys. Toisaalta kolme (19 %) opiskelijaa esittää myös jonkin muun tyyppisiä perusteluja. Valtaosa ryhmän 1 (19kpl/76 %) ja ryhmän 2 (9kpl/56 %) opiskelijoista ei selitä tai kommentoi aineen rakenteen muuttumista millään tavalla.

Seuraavaksi tarkastellaan yksityiskohtaisemmin opiskelijoiden esittämiä perusteluita sille, miksi aineen rakenne muuttui lämmittämisen aikana. Opiskelijoiden vastauksista esitetään vain ne kohdat, joiden perusteella vastaukset luokiteltiin, koska vastaukset on esitetty kokonaisuudessaan luvussa 8.2.2.1.



Kuvio 39. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin sen mukaan, mikä tekijä heidän mielestään aiheutti aineen rakenteen muuttumisen lämmittämisen prosessissa. (Esim. Vesi poistuu = aineen rakenne muuttuu, koska vesi poistuu.)

Vesi poistuu yhdisteestä

Neljä ryhmän 2 opiskelijaa yhdistää aineen rakenteen muutokset kideveden poistumiseen.

94. Valtteri (R2): ”Koeputkeen muodostuu vesihöyryä, sininen väri häviää kiteistä, ne muuttuvat valkoiseksi jauheeksi; CuSO_4 :lle on energeettisesti edullista olla kidemuodossa veden kanssa. Siksi täytyy tehdä työtä (bunsenlampun liekki antaa energiaa), että tämä rakenne saadaan rikottua.”

95. Miina (R2): ”Kuparisulfaattista valuu vesi pois ja kuparisulfaatti muuttuu valkoiseksi ‘tuhkaksi’, jauhoksi.”

96. Iina (R2): ”Kuparisulfaattisysteemi alkaa kiteytyä, koska vesi haihtuu.”

97. Sari (R2): ”Kun vettä poistuu kuparisulfaatti vaihtaa värinsä valkoiseksi ja kiderakenne hajoaa.”

Kaksi ensimmäistä vastaajaa kuvailee havaintoja jauhon/jauheen käsitteen kautta ja selittää rakenteen muutoksen johtuvan kideveden poistumisesta. Kokeessa kiteinen yhdiste muuttui valkoiseksi pulverimaiseksi yhdisteeksi, joten jauho/jauhe-käsitteen käyttäminen selittyy luontevasti havainnoilla. Tämän käsitteen käyttö voi myös johtua arkielämästä tuttujen aineiden fysikaalisten ominaisuuksien liittämisellä reaktiotuotteen ominaisuuksiin.

Muutama ryhmän 2 opiskelija on kyennyt muodostamaan mielikuvan aineen rakenteen muutoksista ja sen syy-seuraussuhteista. Suurin syy siihen, miksei useamman opiskelijan vastaus sijoittuu tähän luokkaan, on se, etteivät opettajat juurikaan kommentoineet aineen rakenteen muutoksia tai sen syy-seuraussuhteita demonstraatio-opetuksen aikana.

Muut selitykset

Opiskelijoiden esittämät muut selitykset liittyvät aineen olomuodon tai kiderakenteen muutoksiin. Osa selityksistä on luonteeltaan toteavia, eikä niiden perusteella voida tehdä pitkälle meneviä päätelmiä.

Ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksissa toistuu olomuodon muutoksen selitysmalli. Opiskelijoiden selitysten perusteella tämä saattaa olla seuraus lämmittämisestä, mutta myös aineiden reagoimisesta keskenään. Toisaalta muutaman opiskelijoiden mielestä aineen olomuodossa ei tapahtunut muutosta.

98. Miia (R1): ”Kidevesi höyrystyy ja valuu/nousee pois kuparisulfaatista nesteenä tai kaasuna. Kuparisulfaatti muuttaa väriään, mutta säilyttää olomuotonsa. Kuparisulfaatin reaktiossa [vesi] höyrystyy pois, mutta kuparisulfaatti itse ei katoa minnekään.”

99. Nelli (R1): ”Aineen olomuoto ei muutu”

100. Hanna (R1): ”Aineen koostumus muuttuu”

101. Vesa (R1): a) ”Kuparisulfaatti kiteytyy lämmittämisen aikana.”

c) ”Lämpö aiheuttaa niiden olomuodon muutokset”

102. Kari (R1): ”Aineet reagoivat keskenään ja muuttavat olomuotoa.”

103. Lari (R1): ”Aineet reagoivat keskenään ja muuttavat olomuotoa.”

Miia ja Nelli kuvailevat aineen olomuodon pysymistä ennallaan, mikä oli totta kokeen havaintojen mukaan. Hannan vastaus on abstraktimpi, sillä hän kuvailee aineen koostumuksen muutosta. Vesa, Kari ja Lari sen sijaan väittävät kokeessa tapahtuvan olomuodon muutoksia. Vaikka Miia, Nelli ja Hanna kuvailevat oikean tyyppisiä kokeeseen liittyviä havaintoja, ainoastaan Miian vastauksesta on tunnistettavissa implisiittinen yhteys aineen rakenteen

muutoksen ja veden poistumisen välillä. Poikien vastauksia voidaan tulkita siten, että ehkä he yhdistävät kokeessa havaitun veden muodostumisen tässä yhteydessä virheellisesti aineen rakenteen muutokseen. Myös muutama ryhmän 2 opiskelija kuvaa aineen rakenteen muutoksia.

104. Leena (R2): a) ”Kidevesi irtoaa kuparisulfaattista, jolloin koeputkesta alkaa tippua vettä. Kuparisulfaatti muuttaa värinsä valkoiseksi ja se on muutenkin eri näköistä.”

c) ”Lämmittäessä aineet erkanevat toisistaan ja aineen jäähtyttyä se on taas valmis ottamaan veden takaisin. Se koostumus on tiheä, jolloin vesi on jäänyt se ”väliin” hilaan kidevedeksi. Lämmittäessä hiukkaset rupeavat liikkumaan enemmän, jolloin vesi pääsee välistä pois.”

105. Lauri (R2): ”Kiderakenne hajoaa.”

106. Piia (R2): ”Vesi höyrystyy pois, putkeen jää kökkööntynyt kuparisulfaatti.”

Leena kykenee käsittelemään aineen rakenteen muutoksia melko hyvin abstraktilla molekulaarisella tasolla. Tähän tulokseen päädyttiin vastauksessa käytettyjen käsitteiden (mm. hila, hiukkaset, tiheys) ja ilmaisun monitasoisuuden perusteella. Vastauksesta kuvastuu opiskelijan yritys kytkeä molekulaarisen tason muutokset molaarisen tason havaintoihin yrityksen onnistumatta kuitenkin kovin hyvin. Ensinnäkin a-kohdassa hän kuvailee kideveden irtoamista ja rakenteen muuttumista eri lauseissa sekä käyttää muuttuneen rakenteen kuvailuun melko epämääräistä arki-ilmaisua (“..on muutenkin eri näköisiä”). C-kohdassa hän puolestaan keskittyy kiteen rakenteen ja kideveden irtoamisprosessin molekulaarisen tason kuvailemiseen, ja yhteys molaariselle tasolle jää kuvailematta.

Laurin vastauksen taustalla olevaa ajatteluprosessia on hankala tulkita, sillä vastauksessa kiderakenteen hajoamista ei kytketä molaarisen tason havaintoon. Opiskelijan vastaus olisi voinut alkaa esimerkiksi siten, että ”kokeessa muodostuu vettä, koska *kiderakenne hajoaa*” tai yhtä hyvin ”aineen ulkonäkö muuttuu, koska *kiderakenne hajoaa*”. Opiskelijan vastausta voidaan tulkita siten, että hän on tehnyt kokeen aikana havainnon ilmiöstä, jonka selitys hänen mielestään on kiderakenteen hajoaminen. Eri vastauskohtien kokonaisvaltainen tarkastelu paljastaa opiskelijan liittävän kiderakenteen muutoksen implisiittisesti pääasiallisesti veden muodostumisen ilmiöön (ks. 8.2.2.1). Piian kuvailut aineen rakenteesta pitäytyvät puolestaan vain havaintojen tasolle ja ovat luonteeltaan toteavia.

Kovin moni opiskelija ei mainitse aineen rakenteeseen liittyviä molaarisen tason muutoksia. Molekulaarisen tason kuvailua ilmenee jonkin verran useammin. Molaarisen tason havaintojen vähäistä lukumäärää voidaan selittää ilmiön puutteellisella käsittelyllä demonstraatio-opetuksen yhteydessä. Tämä on johtanut rakenteen muutosten suhteen puutteelliseen tiedon saantiin, joka puolestaan merkitsee ilmiön perushahmotuksen jäämistä tältä

osin puutteelliseksi. Demonstraatio-opetuksella ei siten kyetty rakentamaan tässä tapauksessa eheää kokonaiskuvaa tutkittavista ilmiöistä. Syynä kuitenkin lienevät enemmän opettajan opetuksessa havaitut kuin kehitetyssä työtavassa olevat puutteet. Toisaalta havainto vahvistaa näkemystä, jonka mukaan noviisi jättää helposti huomiotta sellaisia seikkoja, joihin hänen huomiotaan ei erityisesti kohdisteta (vrt 3.2).

8.2.2.4 Selitykset veden lisäämisen aiheuttamille muutoksille

Kun kidevedellistä kuparisulfaattia oli kuumennettu jonkin aikaa, yhdiste muuttui valkoiseksi pulverimaiseksi jauheeksi eli vedettömäksi kuparisulfaatiksi. Kun vedettömään kuparisulfaatin joukkoon lisättiin muutama pisara vettä, vesimolekyylit liittyivät takaisin kidehilaan ja muodostivat alkuperäistä kidevedellistä kuparisulfaattia. Molaarisella tasolla aine näytti palautuneen fysikaalisilta (kuten väri) ja kemiallisilta (kuten rakenne/koostumus) ominaisuuksiltaan ennalleen. Prosessi havainnollisti reaktion palautuvaa luonnetta.

Melko moni opiskelija tukeutui selityksessään pääosin a) reaktion kaksisuuntaisuuteen tai ilmiöiden palautuvaan luonteeseen. Toisaalta muutamien opiskelijoiden vastauksia voidaan tulkita siten, että hekin tukeutuvat implisiittisesti reaktion kaksisuuntaisuuteen, mutta kuvailevat veden reaktiota eksplisiittisesti jossain tietyssä yksityiskohtaisemmassa kontekstissa. Jottei vastausluokkien lukumäärä olisi kohonnut tarpeettoman suureksi, muille kuin eksplisiittisesti reaktion kaksisuuntaisuuteen tukeutuville selitysmalleille annettiin oma b) "Muut selitykset" - vastausluokka. Oman luokkansa (c) muodostavat ne vastaukset, joissa ei huomioida veden sitoutumisen ilmiötä. Ohessa luokkien tarkempi kuvailu

a) Reaktion kaksisuuntaisuuteen tukeutuvat selitykset

Opiskelijan mielestä vesi sitoutuu anhydraattiin pääasiallisesti siksi, että reaktio on kaksisuuntainen. Toisin sanoen, koska kidevesi voidaan poistaa, tulee sen reaktion käänteisyyteen nojautuen olla myös palautettavissa takaisin kidevedeksi. Joissain vastauksissa veden liittymisen merkitys kuvataan eksplisiittisesti, joissakin implisiittisesti.

b) Muut selitykset

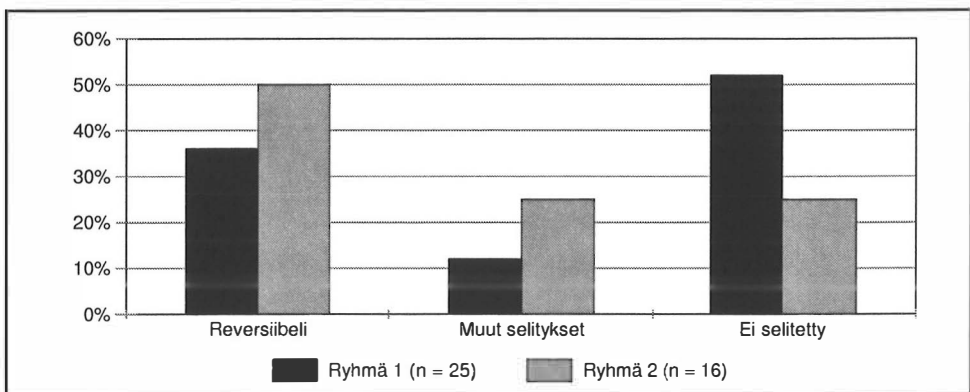
Muut kuin eksplisiittisesti reaktion palautuvaan luonteeseen liittyvät selitykset. Vesi sitoutuu takaisin, koska tapahtuu kiteytymistä, tai koska veden ja kuparisulfaatin kiderakenne on energeettisesti edullinen, tai koska tapahtuu kiteen hydratoituminen, tai koska kuivunut aine imee vettä, tai jokin muu selitys.

e) Ei selitetty

Vastauksissa ei kiinnitetä huomiota veden sitoutumiseen, tai opiskelija mainitsee irrelevantteja havaintoja tai perusteluja.

Vastausten luokittelussa huomioitiin kaikki osatehtävien vastaukset, jotta opiskelijan osaamisesta saatiin luotettava analyysi. Opiskelijoiden vastaukset jakaantuvat kuvion 40 mukaisesti. Ryhmän 1 opiskelijoista yhdeksän (36 %) tukeutuu pääosin reaktion kaksisuuntaisuuteen, kolme (13 %) esittää jotain muita perusteluja ja loput 13 (52 %) ei selitä veden sitoutumista. Ryhmän 2 opiskelijoista kahdeksan (50 %) tukeutuu reaktion kaksisuuntaisuuteen, muita selityksiä esitetään neljä (25 %) ja neljä opiskelijaa (25 %) kuvailee irrelevantteja havaintoja, esittää epäolennaisia perusteluja tai ei kommentoi veden sitoutumista mitenkään.

Reaktion kaksisuuntaisuuteen tukeutuviissa selityksissä ei ilmene juurikaan eroja ryhmien välillä. Toisaalta muut selitykset ovat keskenään hyvin eri tyyppisiä. Kokonaisuutta tarkastellessa voidaan ryhmän 1 opiskelijoista 12 (48 %) ja ryhmän 2 opiskelijoista 12 (75 %) katsoa yrittäneen selittää veden liittymistä takaisin anhydraattiin. Suhteellisesti suurin ero ryhmien välillä ilmenee Ei ymmärrystä -vastausluokassa.



Kuvio 40. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin sen mukaan, millä he perustelivat veden liittymistä anhydraattiin. (Esim. Reversiibeli = vesi sitoutuu anhydraattiin, koska veden liittyminen on reversiibeli prosessi.)

Samantyyppisesti toteutetun demonstraatio-opetuksen tapauksessa ryhmien välisen eron ei olisi odottanut muodostuvan aivan näin suureksi, joten on tärkeää tutustua yksityiskohtaisemmin opiskelijoiden esittämiin selityksiin.

Veden sitoutuminen konkretisoi reaktion käänteisyyden

Noin kolmannes ryhmän 1 opiskelijoista selittää kideveden sitoutumisen reaktion kaksisuuntaisuuteen tukeutumalla. Toisaalta opiskelijat esittävät yleisesti myös muita perusteluita, ja jotkut opiskelijat kuvailivat kideveden liittymistä molekulaarisella tasolla varsin yksityiskohtaisesti.

106. Antti (R1): b) ”Koska reaktio on kaksisuuntainen, veden lisääminen aiheuttaa sen, että vesi imeytyy uudestaan CuSO_4 :n kidevedeksi.”

c) “...Veden joutuminen uudestaan kidehilaan johtuu myös ko. aineiden ominaisuuksista. CuSO_4 :n ionien välillä on ionisidoksia joiden väliin vesi pääsee.”

108. Jani (R1): b) ”Aineet palaavat alkuperäiseen olomuotoon, koska reaktio on käänteisreaktio.”

c) “Veden molekyylit reagoivat kuparisulfaatin kanssa, jolloin ne menevät CuSO_4 :n kidehilojen sisään.”

109. Miia (R1): c) “Reaktio on kaksisuuntainen...Siihen on helppo lisätä vettä, jotta päästään takaisin alk. per. olomuotoon.”

110. Tiina (R1): c) “Koska reaktio on kaksisuuntainen eli tapahtuu kumpaankin suuntaan.”

111. Eero (R1): c) ”Koska reaktio on kaksisuuntainen \Rightarrow kun se ensiksi luovuttaa vettä niin käänteisessä reaktiossa se imee vettä.”

112. Lari (R1): b) ”Aineet reagoivat mutta vesitilkan tipauttamisen jälkeen aineet palaavat alkuperäisiin muotoihin lämmön palautuessa normaaliksi.”

c) “Reaktio on kaksisuuntainen tietyn lämpötilan jälkeen aineet reagoivat mutta taas aineiden jäähtyessä reaktio tapahtuu toiseen suuntaan.”

113. Teija (R1): b) ”Kun seos on jäähtynyt vesi ja kuparisulfaatti muuttuu alkuperäiseen kidepitoiseen kuparisulfaattimuotoon, jos seokseen lisätään vettä.”

114. Pentti (R1): b) “ CuSO_4 ottaa veden kidevedekseen jolloin se jälleen palaa alkuperäiseen tilaansa.”

115. Mari (R1): b) “Siitä tulee taas kidevesipitoista CuSO_4 :tia.”

Antin ja Janin vastaukset poikkeavat muista niissä käytettyjen käsitteiden abstraktisuuden tason perusteella. Seuraavat kuusi vastausta ovat keskenään hyvin samantyyppisiä. Marin vastaus poikkeaa kaikista muista yleisluonteisuudellaan.

- 116. Iina** (R2): c) “Jäähdytettäessä vesi sitoutuu kuparisulfaattiin, koska se on kaksisuuntainen reaktio, eli reaktion tapahduttua se pyrkii takaisin lähtöpisteeseen.”
- 117. Kaisa** (R2): c) “Eli tämä reaktio on kaksisuuntainen, jossa vesi on se joka vaikuttaa; vesi sai aikaan aineen uudelleen kiteytymisen; se muuttui takaisin kiteiseen muotoonsa.”
- 118. Leena** (R2): b) “se [anhydraatti] ottaa veden kidevedekseen uudelleen.”
c) “Reaktio on vain sellainen, joka toimii kumpaankin suuntaan. Lämmittäessä aineet erkanevat toisistaan ja aineen jäähdyttyä se on taas valmis ottamaan veden takaisin. “
- 119. Tarja** (R2): c) “Reaktio on kaksisuuntainen. Kun reaktiossa syntyy lähtöaineita, pyrkivät ne reagoimaan keskenään ja muodostamaan taas kidevesipitoista kuparisulfaattia.”
- 120. Mira** (R2): c) ”Ilmiö on käänteisreaktio; Lähtöaineista muodostuu reaktiossa reaktiotuotteita ja käänteisreaktiossa ne muuttuvat takaisin lähtöaineiksi (esim. Ammoniakin teko). “
- 121. Sari** (R2): c) “Reaktio on kaksisuuntainen. Tämä tarkoittaa sitä, että reaktiotuotteilla on taipumus pyrkiä takaisin lähtöaineiksi.”
- 122. Piia** (R2): b) ”Reaktio kääntyy ‘takaisin’.; Putkessa on jälleen sinistä kidevesipitoista kuparisulfaattia.”
- 123. Elli.** (R2): c) “Neste haihtuu lämmittämisen aikana ja kun sitä lisätään aine on jälleen kidevesipitoista.”

Ellin vastauksen sijoittamisesta tähän luokkaan oltiin epävarmoja opiskelijan kokonaissuorituksen heikon tason perusteella (ks. 8.2.2.1).

Reaktion palautuvaan luonteeseen tukeutuviissa vastauksissa ei juuri ole sisällöllisiä eroja ryhmien välillä. Opiskelijoiden vastausten sisällölliset ja ryhmien väliset erot tulevat esiin lähinnä joidenkuiden opiskelijoiden esittämän kuvailun yksityiskohtaisuudessa ja käytettyjen käsitteiden abstraktisuuden tasossa. Muutamissa tapauksissa opiskelijat selittävät veden irtoamisen ja liittymisen samassa lauseessa. Näitä vastauksia voidaan tulkita myös siten, etteivät opiskelijat ehkä edes halunneet erottaa toisistaan veden liittymisen ja sitoutumisen prosesseja, koska ne yhdessä ilmensivät reaktion palautuvaa luonnetta.

Demonstraatio-opetuksen tavoitteena oli perushahmotuksen muodostaminen tutkittavasta ilmiöstä. Tavoitteena oli auttaa opiskelijoita tunnistamaan ilmiön peruspiirteitä ja jäsentämään niiden keskinäisiä suhteita. Tässä tapauksessa ryhmän 1 opiskelijoista hieman yli kolmanneksen (36 %) ja ryhmän 2 opiskelijoista puolen (50 %) ovat ymmärtäneet perusasiat reaktion kaksisuuntaisuudesta veden reaktioiden perusteella. Ryhmässä 1 uudentyypin demonstraatio-opetuksen mallin mukaisen opetuksen vaikutus on lukumääräisesti samaa luokkaa kuin

palamisilmiötä käsittelevän kysymyksen osalta.⁸ Sen sijaan ryhmässä 2 osaaminen on huomattavan erilainen palamisilmiön ja palautuvan reaktion perushahmotuksen osalta.⁹ Palamisilmiön tapauksessa selitykseltä edellytetty tieteellinen taso on kuitenkin vaativampi kuin palautuvan reaktion tapauksessa, joten eri tehtävien suoritustason vertailuun kohdalla tulee suhtautua kriittisesti. Ryhmän 2 suorituksen parantumista voidaan kuitenkin luontevasti selittää palautuvan reaktion opettamisella uudentyyppisen demonstraatio-opetusmallin mukaisesti. Se on ainoa selkeä ero ilmiöiden opettamisen käytännön toteutuksessa.

Muut selitykset

Muuhun kuin reaktion kaksisuuntaisuuteen tukeutuvia selityksiä oli jonkin verran ja vastaukset ovat sisällöltään rikkaita. Toisaalta vastaukset eroavat usein selvästi toisistaan, ja aika monen vastauksen perusteella olisi voitu muodostaa oma vastausluokka. On varsin todennäköistä, että vastaavan tyyppisiä selityksiä olisi ilmennyt enemmänkin, mikäli vastaajien lukumäärä olisi ollut suurempi.

Ensimmäisenä esimerkkinä Muut selitykset -luokasta on seuraavassa Tainan vastaus. Hän tukeutuu reaktion kaksisuuntaisuuden lisäksi hydratoitumiseen.

124. Taina (R1): b) “Kun lisätään vettä, muuttuu kuparisulfaatti ennalleen.”

c) ”Ilmiöt tapahtuvat, koska kuparisulfaatti on kiderakenteinen, kun vesi haihtuu kuivuu kidehila kokoon ja vettä lisättäessä se palautuu ennalleen (vesimolekyylit ympäröivät kuparisulfaattiatomit) tapahtuu hydratoituminen.”

Opiskelija kuvailee b-kohdassa lyhyesti kokeen teknistä puolta ja toteaa veden lisäämisen vaikutuksen. Kuvailu on tässä vaiheessa vielä melko epämääräistä molaarisen tason havaintojen luonnhdintaa. C-kohdassa opiskelijan selitys siirtyy abstraktimmalle tasolle, sillä hän tukeutuu selityksessään kidehilan, molekyylin, atomin ja hydratoitumisen käsitteisiin, jotka kaikki ovat molekulaarisen tason käsitteitä. Opiskelijan selityksen mukaan kidehila on olio, jolle muutokset tapahtuvat, ja vesimolekyylit ovat muutosagentteja. Hän selittää molekulaarisen tason muutosta hydratoitumisilmiönä, ja selitystä voidaan pitää lukion ensimmäisen vuoden opiskelijan kemian tietoihin nähden hyvänä. Demonstraatio on todennäköisesti auttanut ilmiöiden välisten

⁸ 36 % ryhmän 1 opiskelijoista perustelee palamisilmiössä havaittua massan kasvamista tieteellisesti riittävän oikein eli raudan ja hapen väliseen kemialliseen reaktioon tukeutumalla

⁹ 13 % ryhmän 1 opiskelijoista kykenee selittämään raudan palamisen tieteellisesti riittävän oikein

riippuvuussuhteiden hahmottamista, ja hydratoitumisen liittäminen selitysmalliin on katsottava opiskelijan ansioksi. Toisaalta uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen merkitys nähdään ns. ensimmäisenä askeleena syvällisemmän ymmärtämisen tiellä. Tainan vastaus on siten esimerkki siitä, kuinka opiskelijan oppimisprosessi voi edetä syvällisemmän ymmärryksen tasolle demonstraatio-opetuksen tukemana. Demonstraatio-opetuksen yhteydessä ilmiöitä ei liitetty hydratoitumisilmiön kontekstiin, vaan opiskelija on tehnyt päätelmän itse.

Kaksi muuta tähän luokkaan sijoittunutta vastausta poikkeavat edellisestä niissä käytettyjen käsitteiden abstraktisuuden perusteella. Edellinen vastaaja esimerkiksi tukeutuu selityksessään selvästi hydratoitumiseen, joka on abstrakti molekulaarisen tason käsite, kun taas seuraavat kaksi tukeutuvat veden imeytymiseen, joka on konkreetin molaarisen tason käsite.

125. Niko (R1): c) “Vesi on sitoutunut kuparisulfaattiin ja kun sitä lämmitetään vesi vapautuu kun se jäähtyy ja vettä kaadetaan sen päälle väri palaa takaisin koska kiteet imevät tätä vettä.; Kun vesi koskee kiteeseen sen väri muuttuu taas siniseksi.”

126. Niina (R1): b) “Vesi ‘imeytyy’ takaisin kuparisulfaatti kiteisiin.”

Imeminen ja imeytyminen ovat arkikokemusten perusteella tuttuja ilmiöitä, joiden lisäksi niitä käsitellään sekä fysiikan että kemian kouluopetuksen yhteydessä. Vastauksia voidaan siis tulkita niin, että opiskelijat pyrkivät selittämään aikaisemmin oppimallaan imeytymisen käsitteellä. Veden takaisinimeytymiseen tukeutuvia selityksiä ilmeni myös Pfundtin (1982) tutkimuksen osallistuneiden oppilaiden vastauksissa. Pfundtin tutkittavat kuitenkin yhdistivät käsitteet kuivuminen ja imeytyminen toisiinsa, mitä tässä tutkimuksessa ei ilmennyt eksplisiittisesti muissa kuin Tainan vastauksessa. Pfundtin tutkittavat vertasivat kokeessa havaittuja kuparisulfaatin fysikaalisia (ja kemiallisia) muutoksia maan kuivumisen ja kastelun aiheuttamiin muutoksiin. Tämän tutkimuksen opiskelijat ovat kuitenkin Pfundtin tutkittavia (11–12 vuotiaita) vanhempia. Lisäksi heillä on todennäköisesti myös laajemmat aineopinnot, joten tässä tapauksessa opiskelijat ovat kyenneet selittämään ilmiötä abstraktimmin. Toisaalta esimerkiksi Niina kuvailee veden muodostumisen prosessia abstraktina molekulaarisen tason prosessina, kun taas veden liittyminen edustaa hänelle pääasiassa konkreetin molaarisen tason prosessia (vrt. 8.2.2.1).

Ryhmässä 2 ilmenee näiden lisäksi muitakin selitysmalleja. Valtteri tukeutuu selityksessään jo edellisissä kohdissa ilmenneeseen energiaminimin periaatteeseen.

127. Valtteri (R2): b) "...Lisätty vesi näyttää 'katoavan'."

c) "...Kun vettä taas lisätään, jauheeseen muodostuu jälleen kiteitä, jotka siis ovat energeettisesti edullisia."

Omaksuttuaan energiaminimin periaatteen opiskelija käyttää sitä johdonmukaisesti ja systemaattisesti eri ilmiöiden selittämiseksi. Valtterin vastauksessa tulee myös ilmi hänen kykynsä erottaa toisistaan havainto ja selitys. Kaikki opiskelijat eivät suinkaan pysty tähän.

Laurin vastauksen lyhyden vuoksi on hankala muodostaa kokonaiskuva hänen todellisesta osaamisestaan. Hän tukeutuu vastauksessaan aineen kiderakenteen muodostumiseen, mutta toisaalta ei kommentoi ilmiön palautuvaa luonnetta mitenkään.

128. Lauri (R2): b) "Vesi ja kuparisulfaatti muodostavat kiderakenteen."

Opiskelija selittää lisäksi c-kohdassa lämmittämisen aiheuttavan veden ja kuparisulfaatin välisen poolisen sidoksen katkeamisen, minkä perusteella hänen todettiin hallitsevan ilmiöihin liittyvää teoriaa melko hyvin. Opiskelijan osaamista tarkasteltiin siten suhteessa hänen kokonaissuoritukseen nähden. Tämän perusteella hänen oletettiin ymmärtäneen alkuperäisen kiderakenteen palautumisen mahdollisuuden, vaikkei hän täsmennäkään vastaustaan tällä tavoin. On varsin todennäköistä, että hän hahmottaa ilmiöiden palautuvan luonteen yleisemmässäkin kontekstissa, mutta jostain syystä hänen vastauksissaan korostuvat aineen rakenteen molekulaarisen tason muutokset.

Arin ja Seijan vastauksissa ilmenee puolestaan aikaisemmista yhteyksistä tuttu aineen transmutaation selitysmalli.

129. Ari (R2): b) "Koeputkessa oleva neste muuttuu takaisin siniseksi kidevesipitoiseksi kuparisulfaatiksi."

c) "Koska lämmittämisen aikana vesi haihtuu kuparisulfaatista pois (ilman vettä kiteytyy) ja kun vettä kaadetaan jäähtyneeseen koeputkeen se muuttuu jälleen siniseksi kidevesipitoiseksi kuparisulfaatiksi."

130. Seija (R2): b) "Vettä lisättäessä sininen väri palaa."

c) "...Vettä lisättäessä siitä tulee jälleen kidevettä, jonka väri on sininen."

Opiskelijoiden vastauksissa on reaktion palautuvaa luonnetta luonnehtivia ilmauksia, kuten "kun vettä kaadetaan...se muuttuu jälleen..". Ari mainitsee b-kohdassa lämmittämisen aiheuttavan nesteen muodostumisen, jota hän selittää lähtöaineen muuttumisena vedeksi. Opiskelijan

näkökulmasta on siten ollut ilmeisen luontevaa selittää käänteinen prosessi veden muuttumisena kidevedelliseksi kuparisulfaatiksi. Tässä tapauksessa selitysmallin käyttämistä pidettiin opiskelijan näkökulmasta katsottuna loogisena ja johdonmukaisena ratkaisuna.

Seijan osalta tilanne on toinen. Hänen vastauksessaan alkeellinen aineen transmutaation selitysmalli liittyy todennäköisesti lähemmin vain käänteiseen reaktion kontekstiin. Tämä voitiin todeta tarkastelemalla hänen kokonaissuoritustaan (vrt. 8.2.2.1.2). Aineen transmutaation selitykseltä vaikuttava malli voi olla myös seuraus huolimattomasta käsitteiden käyttämisestä.

Muut kuin Ari ja Seija kykenivät siis selittämään veden sitoutumisen prosessia tieteellisesti riittävän tyydyttävästi. Laurin päätelmien oikeellisuudesta oltiin epävarmempia. Joidenkuiden opiskelijoiden todettiin ilmeisesti hahmottavan reaktion kaksisuuntaisuuden periaatteen, mutta silti keskittyvän selittämään ilmiötä jonkin yksityiskohdan näkökulmasta.

Muiden selitysten luokan yhteydessä on selvästi vähemmän veden imeytymisilmiötä tai imeytymisen käsitettä hyödyntäviä selityksiä kuin reaktion kaksisuuntaisuuteen tukeutuviissa luokassa. Toisaalta muutamalle ryhmän 1 opiskelijalle veden imeytyminen edustaa ainoaa selitystä. Veden imeytymisen käsitteen käytön analyysi on kuitenkin hankalaa, sillä joillekuille opiskelijoille se edustaa havaintoa, jota selitettiin tieteellisimmillä käsitteillä, ja joillekuille selitystä veden katoamiselle. Jälkimmäisen tyyppiseen ratkaisuun päädytään ilmeisesti siinä tapauksessa, ettei opiskelijalla ole tarjottavana ns. tieteellisempää selitystä. Kokonaisuutta tarkastellen veden imeytymisen käsitteen hyödyntämisen katsottiin ilmentävän molemmissa tapauksissa opiskelijan pyrkimystä käsitellä ilmiötä aikaisemmista yhteyksistä tutulla käsitteellä.

Ei selitystä

Yhteensä 13 (52 %) ryhmä 1 ja 4 (25 %) ryhmän 2 opiskelijaa esittää vastauksessaan irrelevantteja havaintoja tai perusteluja, tai ei kommentoi veden sitoutumista mitenkään. Suurin osa näistä vastauksista jätetään esittämättä tässä yhteydessä, koska niiden tieteellinen anti on hyvin vähäinen. Muutamaa ryhmän 1 opiskelijan vastausta on kuitenkin syytä tarkastella hieman yksityiskohtaisemmin.

131. Vesa (R1): b) “Kidettä liukenee veteen ja vesikin vaihtaa "väriään" siniseksi.

c) “Lämpö aiheuttaa niiden olomuodon muutokset.”

132. Martti (R1): b) “Koeputken jäähtyessä aine palaa taas kiinteään muotoon eli kuparisulfaatti kiteiksi. Kun koeputkeen lisätään vettä, rupeavat kiteet liukenemaan siihen, jos vettä on tarpeeksi, syntyy taas kuparisulfaattiliuosta.”

c) “Tämä kaikki johtuu kuparisulfaatin ominaisuuksista.”

133. Sami (R1): b) “Kuparisulfaattia jää koeputken pohjalle ja päällä on vettä.”

Vesan ja Martin vastausta yhdistää anhydraatin liukenemiseen liittyvä havainto. Havaintoa voidaan selittää sillä, että veden lisäämisen yhteydessä ainetta tosiaan liukeni veteen. Tämä puolestaan johtui siitä, että ryhmän 1 opettaja oli lisännyt koeputkeen ylimäärin vettä, ts. enemmän kuin sitä pystyi anhydraattiin sitoutumaan. Prosessin seurauksena oli kiteiden liukeneminen.

Samin mukaan aineiden välillä ei tapahdu reaktiota, vaan vesi kerrostuu anhydraatin päälle. Selitys on looginen, sillä kaikki anhydraatti ei liukene “silmänräpäyksessä”, vaan prosessiin menee jonkin verran aikaa. Opiskelija on ehkä muistanut kokeesta juuri tämän vaiheen.

Huomionarvoista on siis se, että melko vähäisetkin häiriötekijät demonstraatioissa voivat ilmeisesti generoida virhekäsityksiä. Edellä esitettyjen opiskelijoiden osalta ei ehkä ole syytä puhua vielä virhekäsityksistä, sillä opiskelijoiden tekemät havainnot ovat tosia kokeen tapahtumien suhteen. Perushahmotuksen virheestä voidaan kuitenkin puhua, sillä kiteiden liukeneminen ei kuulunut tässä tapauksessa havainnollistettavien ja selitettävien ilmiöiden joukkoon. Perushahmotuksen virhelähde on tässä tapauksessa kuitenkin demonstraation teknisessä suorituksessa.

8.2.2.5 Värin palautuminen seurausta ilmiön käänteisyydestä

Vajaa kolmannes ryhmän 1 ja noin puolet ryhmän 2 opiskelijoista mainitsevat jonkintyyppisiä aineen värin muuttumiseen liittyviä havaintoja. Osa opiskelijoista tukeutuu a) eksplisiittisesti reaktion palautuvaan luonteeseen myös tässä tapauksessa. Muut opiskelijat tukeutuvat reaktion palautuvaan luonteeseen korkeintaan implisiittisesti tai b) arvelee aineen värin olevan vedelle kuuluva ominaisuus. Suuri osa opiskelijoista c) ei kuitenkaan mainitse mitään väriin liittyviä havaintoja. Opiskelijan vastaukset luokiteltiin sisältöjensä perusteella oheisiin luokkiin.

a) Reaktion kaksisuuntaisuuteen tukeutuvat selitykset

Opiskelija ilmaisee eksplisiittisesti, että ilmiö on käänteinen myös värin muuttumisen osalta. Luokkaan sijoitettiin myös vastaukset, joissa opiskelija mainitsee värin muuttumisen ilmiön liittyvän käänteiseen prosessiin, muttei tukeudu reaktion kaksisuuntaisuuteen selväsanaisesti.

b) Aineen väri on veden ominaisuus

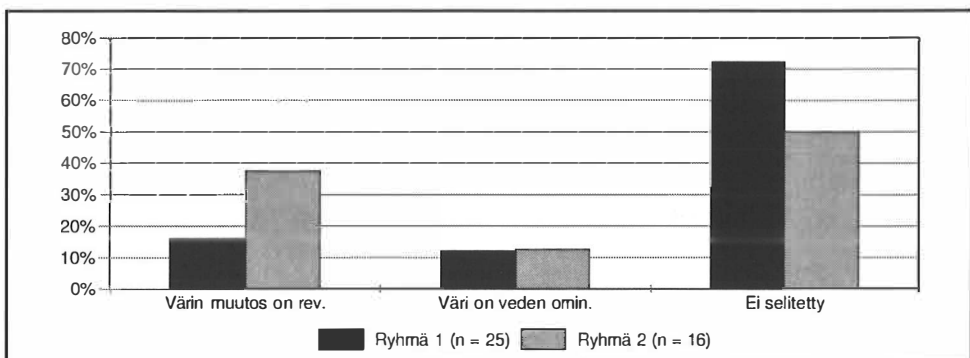
Luokkaan sijoitettiin vastaukset, joissa opiskelija selittää aineen olevan sinistä vain veden vaikutuksesta, tai sininen väri on veden ominaisuus.

c) Ei selitetty

Luokkaan sijoitettiin vastaukset, joissa ei kiinnitä huomiota värin muuttumiseen, tai opiskelija mainitsee irrelevantteja havaintoja tai perusteluja.

Opiskelijoiden vastaukset jakautuvat kuvion 41 mukaisesti. Ryhmässä 1 neljä (16 %) opiskelijaa tukeutui selityksessään värin muuttumisen ilmiön palautuvaan luonteeseen. Kaksi heistä perustaa vastauksensa selväsanaisesti reaktion kaksisuuntaisuuteen, toiset kaksi puolestaan tuovat asian esiin implisiittisemmin. Kolme (12 %) opiskelijaa kuvittelee värin olevan vedelle kuuluva ominaisuus. Suhteellisesti suurin osa (72 %) opiskelijoista ei käsittele värin muuttumisen ilmiötä ollenkaan. Ryhmässä 2 puolestaan kuusi opiskelijaa (38 %) tukeutuu selityksissään reaktion kaksisuuntaisuuteen, kaksi (13 %) kuvittelee värin olevan veden ominaisuus ja noin puolet (50 %) ei käsittele värin muuttumisen ilmiötä lainkaan.

Sisällöltään eksplisiittisesti reaktion palautuvaan luonteeseen tukeutuvat vastaukset ovat sekä keskenään että eri ryhmien välillä melko samanlaisia, samoin implisiittisesti reaktion kaksisuuntaisuuteen tukeutuvat vastaukset. Toisaalta vastauksissa, jossa tukeudutaan veden värillisyyden selitysmalliin, esiintyy muutamia selkeitä eroja. Selitysmalleihin tutustutaan yksityiskohtaisemmin seuraavissa kohdassa.



Kuvio 41. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin sen mukaan, millä he perustelivat aineen värin palautumista ennalleen. (Esim. Värin muutos on rev. = aineen väri muuttuu alkuperäiseksi, koska myös värin muuttumisen ilmiö on reversiibeli prosessi.)

Myös värin muuttumisen ilmiö on palautuva

Ryhmän 1 opiskelijoista Antti, Pentti ja Miia sekä ryhmän 2 opiskelijoista Sari ja Leena tukeutuvat muihin tähän luokkaan sijoittuneisiin vastauksiin verrattuna hieman eksplisiittisemmin veden sitoutumisen ja värin muuttumisen syy-yhteyteen.

134. Antti (R1): b) “Koska reaktio on kaksisuuntainen, veden lisääminen aiheuttaa sen, että vesi imeytyy uudestaan CuSO_4 :n kidevedeksi.”

c) “Ilmiöt tapahtuvat, koska reaktio on kaksisuuntainen; CuSO_4 :n väri palautuu ennalleen.”

135. Pentti (R1): b) “ CuSO_4 ottaa veden kidevedekseen jolloin se jälleen palaa alkuperäiseen tilaansa. Todistaakseen tämän, CuSO_4 , muuttuu jälleen siniseksi.”

136. Miia (R1): b) “Kuparisulfaatti muuttuu takaisin alkuperäisen väriksi.

c) “Reaktio on kaksisuuntainen. Alkuperäisessä lähtölaineessa on vettä, mutta se ei ole mitenkään sitoutunut. Kuparisulfaatin reaktiossa se höyrystyy pois, mutta kuparisulfaatti itse ei katoa minnekään. Siihen on helppo lisätä vettä, jotta päästään takaisin alk. per. olomuotoon.”

137. Sari (R2): b) “ CuSO_4 muuttuu jälleen siniseksi ja kiteeksi.”

c) “Reaktio on kaksisuuntainen. Tämä tarkoittaa sitä, että reaktiotuotteilla on taipumus pyrkiä takaisin lähtöaineiksi.”

138. Leena (R2): b) “Kuparisulfaatti muuttaa värinsä takaisin siniseksi ja se ottaa veden kidevedekseen uudelleen.”

c) “Reaktio on vain sellainen, joka toimii kumpaankin suuntaan. Lämmittäessä aineet erkanevat toisistaan ja aineen jäähtyttyä se on taas valmis ottamaan veden takaisin. Se koostumus on tiheä, jolloin vesi on jäänyt se ‘väliin’ hilaan kidevedeksi. Lämmittäessä hiukkaset rupeavat liikkumaan enemmän, jolloin vesi pääsee välistä pois. Jäähtyessä se taas reagoi veden kanssa jättämällä sen kidehilaansa.”

Opiskelijoiden ilmaisutavat poikkeavat hieman toisistaan, mutta reaktion palautuva luonne edustaa opiskelijoille veden liittymisilmiön lisäksi myös värin muuttumisen ilmiötä. Parhaiten tämä ilmenee Antin ja Sarin vastauksissa. Muissa tähän luokkaan sijoittuneissa vastauksissa tukeudutaan implisiittisesti reaktion palautuvaan luonteeseen.

139. Taina (R1): b) “Kun lisätään vettä, muuttuu kuparisulfaatti ennalleen. (a-kohdassa mainittu väri).”

c) “Ilmiöt tapahtuvat, koska kuparisulfaatti on kiderakenteinen, kun vesi haihtuu kuivuu kidehila kokoon ja vettä lisättäessä se palautuu ennalleen (vesimolekyylit ympäröivät kuparisulfaattiatomit) tapahtuu hydratoituminen.”

140. Valtteri (R2): b) “Valkoinen jauhe muuttuu taas siniseksi kiteiseksi, lisätty vesi näyttää ‘katoavan’.”

c) “CuSO₄:lle on energeettisesti edullista olla kide muodossa veden kanssa. Siksi täytyy tehdä työtä (bunsenlampun liekki antaa energiaa), että tämä rakenne saadaan rikottua. Kun vettä taas lisätään, jauheeseen muodostuu jälleen kiteitä, jotka siis ovat energeettisesti edullisia.”

141. Piia (R2): b) “Reaktio kääntyy ‘takaisin’. Putkessa on jälleen sinistä kidevesipitoista kuparisulfaattia.”

142. Miina (R2): b) ”Kuparisulfaatti muuttuu takaisin alkuperäiseen olomuotoonsa eli siniseksi.”

143. Iina (R2): b) “Väri palautuu ja entinen olomuoto kanssa.”

c) “Tämänlainen toiminta kuuluu sinisen kidevesipitoisen kuparisulfaatin toimenkuvaan.”

Näiden opiskelijoiden kohdalla on kyse enemmänkin aineen värin muuttumiseen liittyvän havainnon raportoinnista kuin yrityksestä selittää ilmiötä jollain mallilla tai “teorialla”. Opiskelijat kuitenkin kuvailevat havaintojaan sellaisin ilmauksin kuin “muuttuu ennalleen” ja “muuttuu takaisin”, joiden tulkittiin edustavan opiskelijan ajattelussa palautuvan reaktion peruseräiteiden omaksumista. Toisaalta esimerkiksi Piian käyttää vastauksessaan selväsanaisesti ilmaisua “reaktio kääntyy takaisin”, mutta hänen käyttämiensä sitaattien perusteella se tulkittiin luonteeltaan epävarmemmaksi kuin edellä esitetyt eksplisiittisesti reaktion palautuvaan luonteeseen tukeutuneet vastaukset.

Suuri osa opiskelijoista ei kuitenkaan kommentoinut värin muuttumista ollenkaan, joten kokonaisuutta tarkastellen demonstraation vaikutus oppimiseen värin muuttumisen ilmiön palautuvan luonteen osalta on jäänyt vähäiseksi. Seuraavaksi tutustutaan muutaman opiskelijan vastaukseen, jossa värin muuttumiseen liittyvät havainnot on tulkittu virheellisesti.

Aineen väri on veden ominaisuus

Muutamit opiskelijat olivat arvelevat kidevedellisen kuparisulfaatin värin olevan vedelle kuuluva ominaisuus sen sijaan, että se johtuisi kuparista tai kuparisulfaatista.

144. Kaarin (R1): b) ”Aine muuttuu taas siniseksi.”

c) “Kupari on sinistä vain veden vaikutuksesta”

145. Niko (R1): b) ”Kun vesi koskee kiteeseen sen väri muuttuu taas siniseksi.”

c) “Vesi on sitoutunut kuparisulfaattiin ja kun sitä lämmitetään vesi vapautuu kun se jäähtyy ja vettä kaadetaan sen päälle väri palaa takaisin koska kiteet imevät tätä vettä.”

146. Vesa (R1): b) ”Kidettä liukenee veteen ja vesikin vaihtaa ‘väriään’ siniseksi.”

147. Ari (R2): b) “Koeputkessa oleva neste muuttuu takaisin siniseksi kidevesipitoiseksi kuparisulfaatiksi.”

c) “Koska lämmittämisen aikana vesi haihtuu kuparisulfaatista pois (ilman vettä kiteytyy) ja kun vettä kaadetaan jäähtyneeseen koeputkeen se muuttuu jälleen siniseksi kidevesipitoiseksi kuparisulfaatiksi.”

Opiskelijoiden selitysmallit eivät ole samanlaisia. Osa eroista johtuu selvästi demonstraation tekniseen suoritukseen liittyvistä tekijöistä.

Kaarinin mukaan aine muuttuu takaisin siniseksi, koska kupari on sinistä vain veden vaikutuksesta. Nikolla on melko saman tyyppinen käsitys. Hänen mukaansa värin muuttuminen edellyttää, että vesi koskee kiteeseen. Toisaalta Vesan havainto pitää yhtä kokeessa tapahtuneiden ilmiöiden kanssa. Ryhmän 1 demonstraation aikana anhydraatti putosi vettä sisältävään keitinlasiin ja osa kiteistä liukeni ylimäärään vettä saaden aikaan sinisen vesiliuoksen. Kuparin vesiliuokset ovat tunnetusti usein sinisiä, mutta Vesa tulkitsee värin veden ominaisuudeksi. Syy hänen vastaukseensa on helppo tunnistaa, mutta periaatteessa kyse on samasta virhekäsityksestä.

Arin vastauksessa ilmenee aiemmista yhteyksistä tuttu aineen transmutaation selitysmalli, joka tässä tapauksessa kytkeytyy veden värillisyyden selitysmalliin. Hänen mukaansa aineen väri muuttuu takaisin siniseksi, koska koeputkeen lisätty vesi muuttuu siniseksi kidevesipitoiseksi kuparisulfaatiksi.

Opiskelijoiden vastauksissa ilmenee, Vesan vastausta lukuun ottamatta, reaktion palautuva luonne. Opiskelijoiden havainnoille antamat selitykset ovat sen sijaan epätieteellisiä ja virheellisiä, joten demonstraatio on tässä tapauksessa vaikuttanut vain ilmiöiden laadulliseen omaksumiseen ja reaktion palautuvan luonteen perushahmotukseen.

8.2.2.6 Rakenteen muuttuminen vailla huomiota palautuvassa reaktiossa

Mitä pidemmälle tehtävässä edetään, sitä harvalukuisemmiksi opiskelijoiden selitykset käyvät. Tämä käy selvimmin ilmi aineen käänteiseen reaktioon liittyvien rakenteen muutosten selityksissä.

Lämmittämisen prosessissa aineen rakenteen muuttumista ei vastauksissa ole kyetty juuri selittämään vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisesti. Tulos on yhtä heikko käänteisen reaktion osalta. Toisaalta monet vastaukset sisältävät aineen rakenteen tarkastelua, mutta vain muutamissa vastauksissa molaarisen tason havainnot on yritetty selittää molekulaarisen tason malleilla. Ohessa muutama esimerkki.

148. Sari (R2): b) “CuSO₄ muuttuu jälleen siniseksi ja kiteeksi.”

c) “Reaktio on kaksisuuntainen. Tämä tarkoittaa sitä, että reaktiotuotteilla on taipumus pyrkiä takaisin lähtöaineiksi.”

Sarin havainto veden lisäämisen vaikutuksista on se, että anhydraatti muuttuu veden lisäämisen jälkeen siniseksi ja kiteiseksi. Aineen rakenteen palautumista hän ei selitä sen yksityiskohtaisemmin, vaan nojautuu kokonaisvaltaisesti reaktion kaksisuuntaisuuteen. Myös Jani tukeutuu reaktion kaksisuuntaisuuteen. Myös hän kuvailee melko yksityiskohtaisesti veden liittymistä takaisin kidehilaan.

149. Jani (R1): b) “Aineet palaavat alkuperäiseen olomuotoon, koska reaktio on käänteisreaktio.”

c) “Veden molekyylit reagoivat kuparisulfaatin kanssa, jolloin ne menevät CuSO₄:n kidehilojen sisään. Kuumennettaessa ne vapautuvat.”

Janin malli on hyvä, mutta sitä heikentää aineen rakenteen muuttumisen kuvaaminen olomuodon muutokseksi. Lukijalle jää epäselväksi, tarkoittaako hän olomuodon muuttumisella aineen rakenteen vai koostumuksen muuttumista. Aikaisemmissa luvuissa on todettu opiskelijoiden sekoittavan aineen kemialliseen luonteeseen viittaavan koostumuksen-käsitteen ja aineen rakenteeseen liittyvän olomuodon-käsitteen toisiinsa sekä käyttävän niitä ikään kuin toistensa synonyymeinä.

Muina selitysmalleina esiintyvät aikaisemmista esimerkeistä tutut minimienergian ja aineen transmutaation selitysmallit.

Vain harvat ovat edes yrittäneet selittää aineen rakenteen muutoksia veden lisäämisen prosessissa. Vähäistä määrää voidaan selittää sillä, ettei demonstraatio-opetuksessa juuri kiinnitetty huomiota aineen rakenteen muutoksiin sen paremmin molaarisella kuin molekulaarisellakaan tasolla.

8.2.3 Havaintojen merkitys ilmiön perushahmotuksen luomisessa

Palamisilmiön tapauksessa opiskelijoilla voitiin olettaa olevan ilmiöön liittyviä virhekäsityksiä, joihin uudentyypisen demonstraatio-opetuksen mallin mukaisella opetuksella pyrittiin vaikuttamaan. Kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioiden osalta tilanne oli toisenlainen, koska opiskelijoiden käsityksiä kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioista on tutkittu varsin vähän.

Demonstraatio-opetuksen tavoitteena oli auttaa opiskelijoita tunnistamaan ja muistamaan palautuvan reaktion peruseriaatteita, toisin sanoen muodostamaan ilmiön perushahmotusta. Pelkkä tunnistaminen ja muistaminen ei kuitenkaan vielä riittänyt, vaan opiskelijoilta edellytettiin omaksuttujen käsitteiden ja periaatteiden käyttämistä havaintojen kuvaamiseksi ja selittämiseksi. Samalla pyrittiin selvittämään myös sitä, minkälaisia selitysmalleja opiskelijat ilmiöistä luovat, kun opetuksessa hyödynnetään uudentyyppistä demonstraatio-opetuksen mallia.

Suurin osa opiskelijoista mainitsee yhden tai useamman tekijän (vesi, väri, rakenne) muuttumisen sekä lämmittämisen että veden lisäämisen prosessien aikana. Ryhmässä 2 on suhteellisesti hieman enemmän sellaisia tapauksia, joissa opiskelija mainitsee kahden tai kolmen tekijän muuttuvan, kun taas suurin osa ryhmän 1 opiskelijoista mainitsee vain yhden tekijän muuttuvan. Suhteellisesti eniten tehdään veteen liittyviä havaintoja reaktion molemmissa suunnissa. Tämä onkin varsin oletettavaa, sillä vesi on prosessien muutosagentti. Myös väriin liittyviä havaintoja oltiin tehtiin melko paljon, kun taas rakenteen muutoksiin liittyviä havaintoja vähiten.

Havaintojen epäsuhtaista jakaantumista eri ilmiöiden kesken voidaan selittää informaation prosessoointiteorialla. Muistaminen on tulos, joka ilmenee siinä, miten opitut asiat säilyvät mielessä ja miten ne otetaan käyttöön. Kidevedellisen kuparisulfaatin ominaisuudet muuttuivat kolmella eri tavalla sekä etenevässä että palautuvassa reaktiossa. Kun havainnointikohteiksi lisätään näiden muuttujien lisäksi kuumentamisen ja veden lisäämisen prosessi sekä opetuskeskustelu, voidaan opiskelijoiden informaationprosessoinnin olettaa toimineen lähes ääri rajoillaan. Toisaalta pitkäkestoisen muistin sisältö vaikuttaa opiskelijan tarkkaavaisuuden suuntautumiseen sekä informaation vastaanottamiseen ja prosessointiin. Novisiin eli opiskelijan näkökulmasta koc on siten ollut todennäköisesti hyvin monimutkainen ja sisältänyt monta yksittäistä osakokonaisuutta. Kokonaisuudesta ei ole välttämättä hahmottunut yhtenäistä kuvaa. Toisaalta vesi- ja väri-ilmiöt olivat molaarisella tasolla selvimmin havaittavissa. Novisi saattaa tällaisessa tilanteessa jättää muut huomiotta epäolennaisina (vrt. White 1989, 129–130; myös Bransford ym. 2000). Tutkimustulokset tukevat siten näkemystä, että opettajan on demonstraatio-opetuksessa tarpeen kohdentaa opiskelijoiden tarkkaavaisuus kaikkiin olennaisiin muuttujiin.

Ryhmien välisiä eroja voidaan selittää demonstraation teknisellä toteutuksella. Ryhmän 1 opiskelijoilla pääteltiin olleen kokonaisuudessaan hieman heikommat edellytykset empiiristen havaintojen tekemiseen.

Ryhmä 1 opettajan havainnollistaessa palautuvaa reaktiota osa kiteistä liukeni lisättyyn veteen, mikä sai aikaan sinisen vesiliuoksen muodostumisen. Ilmeisesti juuri tämän vuoksi muutama ryhmän 1 opiskelija kuvaili havaintona sinistä liuosta ja esitti ilmiöiden selitykseksi

liukenemista. Prosessin todettiin generoivien virhekäsityksiä käänteisen reaktion perushahmotuksessa. Virhelähteeksi tässä tapauksessa todettiin kuitenkin pääasiallisesti demonstraation teknisen toteutuksen puutteet, ei opetustavan puutteet.

Kidevedellisen kuparisulfaatin kuumentaminen aiheutti kiteiden rapautumista, joka puolestaan sai aikaan korvin kuultavia rasahduksia. Veden lisääminen anhydraattiin aiheutti veden kiehumisen, koska hydratoitumislämpö oli riittävän suuri. Veden kiehumisen taas sai siten aikaan sihinää muistuttavaa ääntä. Selkein ero Pfundtin (1982) tutkittavien tekemiin havaintoihin on se, ettei kukaan tähän tutkimukseen osallistuneista opiskelijoista kuvaile ilmiöihin liittyviä ääniä. Äänimaailman huomioiminen olisi voinut auttaa opiskelijoita ymmärtämään paremmin vesimolekyylien irtautumisen kidehilasta, koska se aiheutti kiderakenteen muutoksen ja tässä tapauksessa myös korvin kuultavaa ääntä. Vastaavan tyyppinen ääni voitaisiin todeta päinvastaisessa prosessissa, mutta siinä kiehumisesta johtuva sihinä vaikeuttaa käänteisen prosessin hilanmuutoksiin liittyvien äänien tunnistamista. Ilmiöiden oppimisen kannalta olisi tarpeen tutkia myös äänimaailmaa, jotta sen merkitys ymmärrettäisiin.

Noin neljännes molempien ryhmien opiskelijoista kykeni demonstraatio-opetuksessa omaksuttuja käsitteitä ja periaatteita käyttämällä kuvailemaan ja selittämään yhden tai useamman ilmiön syy-seuraussuhteita. Ryhmän 1 opiskelijoista 28 % kuvailei lämmittämisen aiheuttamaa kuparisulfaatin ja veden välisen sidoksen katkeamista, ja ryhmän 2 opiskelijoista yhteensä 25 % esitti saman tai tieteellisemmän perustelun. Ryhmän 1 opiskelijoista 36 % ja ryhmän 2 opiskelijoista 50 % selitti veden liittymisen anhydraattiin vetoamalla ilmiön käänteiseen luonteeseen. Kokonaisuutta tarkasteltaessa ryhmät 1 opiskelijat menestyivät määrällisesti hyvin ja ryhmän 2 opiskelijat erinomaisesti kideveden poistumisen ja liittymisen selittämisessä. Lisäksi selitysten sisällölliset erot luokittain olivat hyvin pieniä.

Uudentyyppisellä demonstraatio-opetuksella pyrittiin siihen, että opiskelijat konstruoisivat ilmiöiden selitysmalleja, jotka poikkeaisivat vain vähän tai eivät ollenkaan vallitsevasta tieteellisestä selitysmallista. Tätä pyrittiin tukemaan muun muassa siten, että opetuksessa edettiin induktiivisesti konkreeteista ilmiöistä abstrakteihin käsitteisiin, yksinkertaisesta monimutkaiseen. Opiskelijoiden vastausten perusteella laadittiin hypoteettisia mentaalimalleja, joita he hyödynsivät veden irtoamista selittäessään. Mallit perustuivat tiettyyn luokkaan sijoittuneiden opiskelijoiden vastauksien sisällöllisiin yhdenmukaisuuksiin. Ne perustuivat molempien ryhmien opiskelijoiden vastauksiin.

Mentaalimallien perusteella todettiin osan opiskelijoista kyenneen muodostamaan yhteyden molaarisen tason ilmiön ja sen molekulaarisen tason selityksen välille. Koska demonstraatio-opetuksen yhteydessä ei ollut esitetty molekulaarisen tason selitysmalleja, vastausten taustalla olevia mentaalimalleja voitiin pitää puutteistaan ja rajoituksistaan huolimatta

hyvinä ja kehityskelpoisina. Mentaalimallit myös selvensivät perushahmotuksen eroja siten, että esimerkiksi osa opiskelijoista selitti veden eroamisen hilasta rakenneosien välisen sidoksen katkeamisprosessiksi, kun taas osa selitti sen kuparisulfaatin ja veden muodostaman seoksen komponenttien erottumiseksi. Kokonaisuutta tarkastellen yli kolmasosa opiskelijoista oli kyennyt muodostamaan mielikuvan siitä, mitä aineelle tapahtui mikrotasolla lämmittämisen aikana, ja siirtymään elämyksiä kuvaavista toteamuksista ilmiön selittämiseen kemian käsittein.

Muutamat opiskelijat olivat tulkinneet lämmittämisprosessissa syntyvän veden sulaksi (kidevedelliseksi) kuparisulfaatiksi. Käänteisen reaktion kohdalla lisättävän veden selitettiin puolestaan muuttuvan kidevedelliseksi kuparisulfaatiksi. Demonstraation orientaatiovaiheessa opiskelijoilta oli kysytty tiesivätkö he yhtään reaktiota, joka etenisi molempiin suuntiin, mihin yhtenä esimerkkinä ehdotettiin sulamista. Toisaalta hypoteesien yhteydessä selvisi, että opiskelijat olettivat kuparisulfaatin alkavan sulaa sitä lämmitettäessä. Olomuodon muuttumisen prosessin liittäminen kuparisulfaatin reaktioiden yhteyteen ei tullut siten yllätyksenä. Tulosta voidaan tulkita niin, että kemiallisen reaktion ja fysikaalisen olomuodon muutoksen prosessit olivat sekoittuneet opiskelijoiden ajattelussa ja seurauksena oli alkeellinen aineen transmutaation selitysmallin muodostuminen.

Muita kuumennusvaiheeseen liittyviä hypoteeseja oli se, että aineen oletettiin syttyvän tuleen, sen oletettiin muuttavan väriä ja sen oletettiin alkavan poreilla, kiehua tai savuta. Muutamat opiskelijat tekevät havaintoja, joiden perusteella opiskelijoiden voidaan tulkita tukeutuneen “hypoteesien mukaisiin” ilmiöihin tai käsitteisiin, vaikkei niitä kokeessa esiintynytäkään (esim. palaminen).

Demonstraatioilla näyttää olevan tässäkin tapauksessa selvä muistamista tehostava vaikutus. Aika demonstraation esittämisestä kurssikokeeseen oli lähes neljä viikkoa, mutta siitä huolimatta monet opiskelijat kykenivät kuvailemaan kokeeseen liittyviä muutoksia melko yksityiskohtaisestikin. Ryhmän 1 osalta sama havainto tehtiin jo palamisilmiötä tarkasteltaessa. Olisi mielenkiintoista tutkia lisää esimerkiksi sitä, missä määrin ja miten opiskelijoiden tekemien havaintojen määrä ja laatu muuttuu ajan kuluessa.

Ryhmän 1 opiskelijoiden menestyivät palamisilmiön ymmärrystä mittaavassa testissä ryhmää 2 paremmin. Selittävänä tekijänä on uudentyypin demonstraatio-opetuksen käyttö opetuksessa, mutta tuloksessa lienee jonkin verran ryhmäeroista johtuvaa mittausvirhettä. Kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioiden kuvailun ja ilmiöiden ymmärtämisen analyysin perusteella voidaan kuitenkin päätellä, ettei ryhmien välillä ollut eroja esimerkiksi päättely- tai ajattelutaidoissa siinä määrin, että niillä voitaisiin selittää ryhmän 2 heikompa menestystä palamisilmiötä käsittelevän kysymyksen osalta. Ilmeisesti demonstraatio-opetus oli tehostanut myös ryhmän 2 opiskelijoiden oppimista siinä määrin, ettei ryhmien osaamisessa ollut

merkittäviä laadullisia tai määrällisiä eroja kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioiden ymmärtämisessä. Itse asiassa nekin erot, jotka havaittiin, osoittivat ryhmän 2 opiskelijoiden oppimistulosten olleen kautta linjan hieman parempia.

Demonstraatio-opetuksen vaikutuksen puolesta argumentoi myös se, että ryhmien sisällä oli selviä osaamisen tason heilahteluja sellaisilla opiskelijoilla, jotka olivat osallistuneet vain toisen ilmiön demonstraatio-opetukseen. Esimerkiksi Elina (ryhmä 1) oli nähnyt rautavillan palamista havainnollistavan kokeen ja kykeni mittaustilanteessa selittämään ilmiötä tieteellisesti riittävän oikein. Sen sijaan hän ei ollut nähnyt kidevedellisen kuparisulfaatin havainnollistavaa koetta eikä myöskään kyennyt selittämään ilmiötä mittaustilanteessa. Elinan suoriutuminen muistuttaa käänteisesti Tarjan (ryhmän 2) suoriutumista.

Tutkittavien vastaukset eroavat monin tavoin Pfundtin (1982) tutkittavien vastauksista. Erot selittyvät sekä ilmiön demonstroimisen menetelmällä, Pfundtin tutkittavia laajemmilla kemian tiedoilla että kyvyllä näistä syistä käsitellä kemiallista tietoa abstraktimmalla tasolla.

Selvittämättömäksi ongelmaksi sekä tässä että Pfundtin tutkimuksessa jää se, ettei opiskelijoille todistettu lämmittämisen aikana syntyvän reaktiotuotteen luonnetta. Opiskelijoiden oli vain luotettava opettajan antamaan tietoon. Missään työvaiheessa ei erikseen todistettu reaktiotuotteen olevan vettä, esimerkiksi erottamalla se alkoholista, etikasta tai asetonista hajun perusteella. Epäsuorana todistuksena veden muodostumiselle toimi kuitenkin se, että alkuperäinen olomuoto voitiin palauttaa lisäämällä opiskelijoille tuttua vesijohtovettä. Opiskelijat saattoivat näin päätellä alkuperäisen poistuvankin aineen olleen vettä. Käänteinen reaktio olisi syytä toteuttaa myös jollakin muulla aineella kuin vedellä, mutta ongelmana on se, että muissa aineissa (kuten alkoholissa) saattaa olla mukana vettä, joka aiheuttaa reaktion ja johtaa siten väärin päätelmiin.

8.2.4 Käänteisen reaktion osalta kyse uuden oppimisesta

Kidevedellisen kuparisulfaatin lämmittämisen ja veden lisäämisen aikana aineelle tapahtui monenlaisia muutoksia. Ilmiöt havainnollistettiin ja yhdistettiin niiden teoreettisiin selityksiin uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin mukaisella opetuksella.

Kokonaisuutta tarkastellen molempien ryhmien opiskelijat selittivät lämmitysprosessiin liittyviä ilmiöitä tarkemmin kuin veden lisäämisen prosessiin liittyviä ilmiöitä. Veden muodostumista selitettiin muun muassa rakenneosien välisen sidoksen katkeamisena, kun taas käänteisessä prosessissa rakenneosien välisten sidosten muodostumista ei juuri kuvailtu. Siitä voi päätellä, että opiskelijat kykenivät muodostamaan rakenneosien erottumiseen johtavasta

reaktiosta tieteellisemmän käsityksen kuin niiden liittymiseen johtavasta käänteisestä reaktiosta. Edellistä moni opiskelija kykeni käsittelemään abstraktilla molekulaarisella tasolla, kun taas jälkimmäistä kuvailtiin usein konkreetilla molaarisella tasolla “veden imeytymisenä”. Syy tähän lienee siinä, että rakenneosien erottaminen tai aineen hajottaminen pienemmiksi osiksi lämmittämällä (eli krakkaantuminen) oli entuudestaan tuttu prosessi. Toisaalta opiskelijoilla saattoi olla myös käytännön kokemusta näistä prosesseista. Sen sijaan reaktion palautumisen mahdollisuus oli mitä ilmeisemmin suurimmalle osalle opiskelijoista uusi ilmiö, eikä heillä olisi siten ollut skeemaa tämän tyyppisten ilmiöiden prosessoinnille.

8.3 Opiskelijoiden yleinen käsitys kemiallisesta reaktiosta

Tutkimuksella pyrittiin selvittämään myös onko uudella demonstraatiotavalla vaikutusta opiskelijoiden yleiseen käsitykseen kemiallisesta reaktiosta. Tietoa kerättiin kurssin alussa ja lopussa kognitiivisella testillä, jossa opiskelijoiden piti vapaamuotoisesti selittää, mitä heidän mielestään tarkoittaa ilmaisu “kemiallisessa reaktiossa aine muuttuu toiseksi aineeksi”.

Opiskelijoiden vastauksista etsittiin ilmaisuja, jotka viittaisivat a) suoraan tehtyihin demonstraatioihin. Tämän lisäksi etsittiin mainintoja tai esimerkkejä, jotka viittasivat johonkin b) muuhun koeasetelmaan, mutteivät suoraan demonstroituihin. Loput vastauksista luokiteltiin sellaisiksi, joissa c) ei viitattu minkään tyyppiseen koeasetelmaan.

a) Demonstraatioesimerkki

Opiskelija pyrkii selventämään sanomaansa käyttämällä esimerkkinä jotain kurssilla tehtyä demonstraatiota.

b) Muut koe-esimerkit

Opiskelija käyttää havainnollistavana esimerkkinä jotain koeasetelmaa tai kemiallista reaktiota, joka on esiintynyt kurssin oppisisällöissä tai jolla oli implisiittinen yhteys kurssilla esitettyjen demonstraatioiden oppisisältöihin, muttei suoraan kyseiseen demonstraatioon.

c) Ei mainintaa kokeellisesta työstä

Opiskelija kuvailee lähinnä kemiallisen reaktion määritelmän teoreettista puolta eikä mainitse minkään tyyppistä koeasetelmaa tai pyri selventämään vastaukseen johtaneita ajatuksiaan millään kokeella tai reaktioyhtälöllä.

Kurssin lopussa vain yksi opiskelija molemmista ryhmistä pyrki määritelmään “kemiallisen reaktion” hyödyntämällä jotain tunnilla esitettyä demonstraatiota.

150. Tiina (R1): ”No, rauta (Fe) ei tavallaan muutu, mutta Fe ja S ovat ominaisuuksiltaan erilaisia kuin FeS (tämä demonstroitiin!). Aine on muuttunut erilaiseksi, toiseksi.”

151. Vilma (R2): ”Kun aineet reagoivat keskenään esim. sellainen aine joka haluaa yhden elektronin saa sen sellaiselta, joka on valmis sen luovuttamaan saavuttaakseen oktetin. Näin tapahtuu reaktio, ja aine muuttuu vaikka kuparisulfaatiksi kuparista.”

Muissa vastauksissa selitystä täydennettiin muilla kuin demonstraatioihin liittyvillä esimerkeillä tai määritelmää selitettiin abstraktilla teoreettisella tasolla.

Kurssin lopussa ei esiintynyt fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön sekoittamista yhtä usein kuin kurssin alussa. Esimerkiksi kurssin alussa ryhmässä 1 neljä opiskelijaa (18 %) esitti veden olomuodon muutoksen kemiallisen reaktion esimerkkinä ja ryhmässä 2 kolme (10 %) opiskelijaa, mutta kurssin lopussa molemmissa ryhmissä vain yksi opiskelija (R1: 4 %, R2: 3 %) käytti sitä esimerkkinä olomuodon muutoksesta. Toisaalta yksi ryhmän 1 opiskelija esitti vastauksessaan myös toisen esimerkin, joka liittyi lähemmin kemiallisen reaktion kontekstiin.

152. Kimmo (R1): “Aineet saattavat joko muuttaa olomuotoaan (**esim. Vesi→vesihöyry**) tai yhdistyä joksikin yhdisteeksi (esim $H_2O+NaCl$ →Suolaliuosta).”

Opiskelijoiden selitykset olivat monesti yleisluonteisia Tästä on esimerkkinä Antin vastaus.

153. Antti (R1): ”Aineen atomit järjestyvät uudelleen (yhdistyvät tai irtoavat toisistaan) ja nämä muodostavat näin uusia aineita.”

Kurssilla opittujen asioiden omaksuminen ilmeni siten, että opiskelijoiden käyttämät käsitteet täsmentyivät ja muuttuivat teoreettisemmiksi. Esimerkiksi Saimin vastaus täsmentyi elektronin käsitteen osalta ja Valterin käsitys muuttui teoreettisemmaksi

154. Saimi (R1)

Kurssin alussa: ”Aineen proteiini ja elektroniketjut muuttuvat.”

Kurssin lopussa: ”Aine saa toisen muodon saatuaan joko yhden tai useamman elektronin joltain toiselta aineelta tai luovuttaa ne toiselle aineelle elektroneja. Näin aine muuttuu toiseksi aineeksi.”

155. Valtteri (R2):

Kurssin alussa: “Esim. on vaikka happimolekyylejä (O_2) ja jotain hiilivetyä (esim. öljy) kun nämä yhdistyvät kemiallisessa reaktiossa, tässä tapauksessa palamisessa, syntyy hiilidioksidia (CO_2) sekä vettä (H_2O).”

Kurssin lopussa: ”Sitä, että atomien väliset sidokset rikkoontuvat, ja syntyy uusia sidoksia. tällöin aineiden ominaisuudet muuttuvat (esim. olomuoto, maku, väri, tiheys, jne.).”

Toisaalta vastauksista pystyi tunnistamaan konservatiivisuutta, eli opiskelijat esittivät usein hyvin samantyyppiset selitykset kurssin alussa ja lopussa. Jos esimerkiksi kurssin alussa oli käytetty havainnollistavana esimerkkinä palamista, niin samaa esimerkkiä käytettiin kurssin lopussakin.

156. Lauri (R2)

Kurssin alussa: “Kun aine reagoi jonkin toisen aineen kanssa se muodostaa uusia yhdisteitä.”

Kurssin lopussa: “Aineen reagoidessa toisen aineen kanssa muodostuu uusia yhdisteitä, joilla on omat ominaisuutensa.”

157. Sami (R1)

Kurssin alussa: “Esimerkiksi sekoittamalla magnesiumia ja suolahappoa saadaan reaktio tuotteena vetyä. Eli eri aineiden reaktiotuotteista syntyy eri aineita.”

Kurssin lopussa: “Jos sekoitat kahta toisiinsa reagoivaa ainetta toisiinsa syntyy yleensä jonkinlainen reaktiotuote. Esim. suolahaposta ja magnesiumista saadaan vetyä reaktiotuotteena.”

158. Paula (R2)

Kurssin alussa: “Sitä kun joku kemiallinen reaktio tapahtuu, niin aine jossa tapahtuu muuttuu eriksi... esim. kun puu palaa tulee siitä hiiltä.”

Kurssin lopussa: “Kun esim. poltetaan puuta tulee siitä hiiltä...”

Puun palaminen ja veden syntyminen hapestä ja vedystä olivat selvästi yleisimmät opiskelijoiden käyttämät esimerkit kemiallisista reaktioista. Jälkimmäisen käyttämistä voidaan pitää edellistä

parempana indikaattorina kemian tiedon omaksumisesta, sillä vedyn palaminen ei ole samalla tavalla arkipäiväinen ilmiö kuin puun palaminen. Sisältöjen oppimiseen viittaa myös se, että vedyn palamista käytettiin kemiallisen reaktion esimerkkinä suhteellisesti useammin kurssin lopussa kuin alussa.

Melko monet opiskelijat pyrkivät jäsentämään ajatuksiaan jonkin tietyn reaktion tai koeasetelman kontekstissa. Jotkut opiskelijat puolestaan esittivät kurssin alussa ja lopussa lähes samanlaisen vastauksen, vaikka mittausilanteiden väliin mahtui viisi viikkoa kemian opiskelua. Kummassakin ryhmässä vain yksi opiskelija pyrki luonnehtimaan määritelmää tukeutumalla suoraan johonkin kurssilla esitettyyn demonstraatioon. Opiskelijat eivät siis omaksuneet kurssilla tehtyjä demonstraatioita kemiallisen reaktion selitysmalliinsa kovinkaan hyvin.

Demonstraation opetusvaikutus rajautunee vielä melko kapealle alueelle ja mahdollisesti vain kyseisten ilmiöiden kontekstiin. Opiskelijat ovat pääosin tunnistaneet demonstroidut ilmiöt kemiallisiksi reaktioiksi, mutteivät esitä demonstroituja kokeita juurikaan kemiallisen reaktion yleisenä esimerkkinä. Tässä yhteydessä on syytä huomauttaa, että edellisessä on kyse pääasiallisesti luokitteluun perustuvasta kemiallisen reaktion käsitteen omaksumisesta ja jälkimmäisessä teoreettis-deduktiivisesta omaksutun käsitteen soveltamisesta. Ehkä ongelma onkin juuri siinä, että opiskelijat pyrkivät selittämään kemiallisen reaktion määritelmää sen esimerkin avulla, joka on heille tutuin tai jonka he tuntevat parhaiten hallitsevansa. Opiskelijan näkökulmasta liikutaan tällöin ns. varmallalla pohjalla. Kemiallisen reaktion määritelmät olisivat todennäköisesti olleet toisenlaisia, jos opiskelijoita olisi kehoitettu tarkastelemaan määritelmää jonkin koeasetelman kontekstissa.

8.4 Demonstraatioefektin ja palamisilmiön ymmärtämisen tason tarkentuminen

8.4.1 Opetuskokeilun vaikutukset

Tässä tutkimuksessa uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin toimivuutta verrattiin kenttäolosuhteissa ns. tavanomaiseen opetukseen. Tutkimusten aikana oltiin yhteydessä Jyväskylän kaupungin ja maalaiskunnan lukioihin, mutta vain muutaman koulun kurssijärjestykset sopivat tutkimuksen aikatauluun. Tutkimusta päästiin kuitenkin toteuttamaan yhdessä kaupungin ja yhdessä maalaiskunnan lukiossa, joista kummastakin saatiin yksi

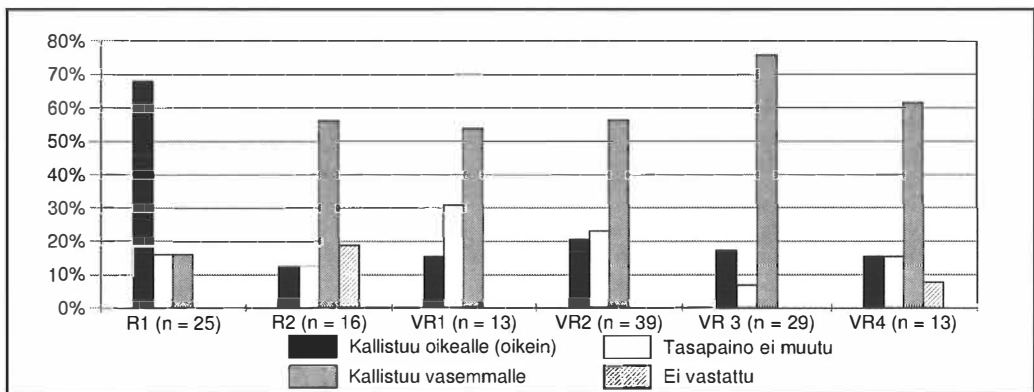
vertailuryhmä. Vertailuryhmiä saatiin siten yhteensä neljä: kaksi tutkimusyhteistyökoulusta ja kaksi sen ulkopuolisista kouluista. Vertailuryhmille esitettiin samat palamista koskevat kysymykset kurssin alussa ja lopussa kuin testiryhmille 1 ja 2 oltiin esitetty.

Vertailuryhmän opettajille annettiin ohje toteuttaa opetustaan normaaliin tapaan. Ainoat muutokset arkipäivän rutiineihin olivat tutkimuslomakkeiden täyttö, muutamien opiskelijoiden ja opettajan pitämä oppimispäiväkirja sekä kurssin lopussa suoritettut haastattelut. Tutkittavaksi ilmiöksi valittiin rautavillan palaminen.

Ensimmäisen vertailuryhmän opetuksessa rautavillan palaminen havainnollistettiin ruostumisilmiön kontekstissa ja opiskelijoiden huomio kohdistettiin ilmiössä tapahtuvaan massan kasvuun. Toisessa ryhmässä raudan palamisen esimerkkinä näytettiin tähtisädetikun palaminen, muttei kiinnitetty erityistä huomiota raudan palamisessa tapahtuvaan massan muutokseen. Kolmannessa ja neljännessä vertailuryhmässä ei esitetty minkään tyyppistä rautavillan palamista havainnollistavaa demonstraatiota.

Ryhmiä monivalintatehtävän vastaukset jakaantuivat kuvion 42 mukaisesti. Ryhmässä 1 on ylivoimaisesti eniten oikean vaihtoehdon valinneita opiskelijoita. Muiden ryhmien suoriutuminen näyttää olevan keskenään hyvin samankaltaista.

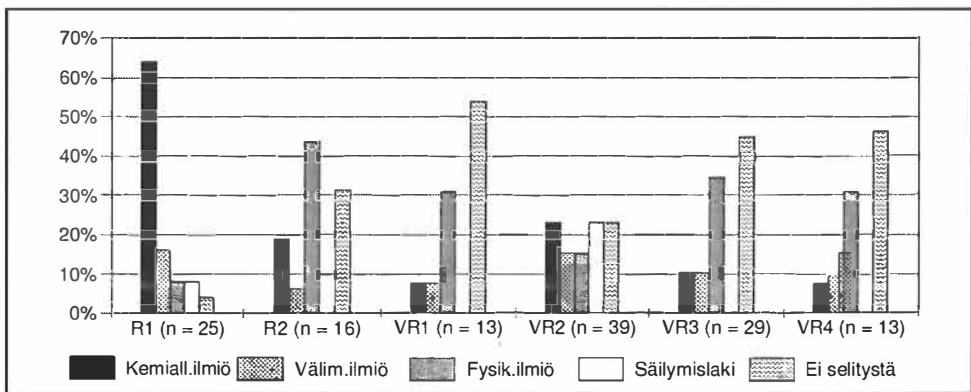
Vertailuryhmän 1 opetuksessa oli esitetty rautavillan palamista havainnollista demonstraatio ja opiskelijoiden huomio oli kiinnitetty ilmiössä tapahtuvaan massan kasvuun. Tästä huolimatta vain vähemmistö opiskelijoista oli osannut valita monivalintatehtävässä oikean vaihtoehdon. Mittaustulosta voidaan kuitenkin selittää demonstraation esittämällä ja ehkä myös sen toteuttamistavalla. Raudan palaminen oli havainnollistettu arkipäivästä tutun ruostumisilmiön kontekstissa, ja esimerkiksi Gomez (1995) ynnä muut ovat todenneet kemiallisen reaktion periaatteiden oppimisen olevan hankalampaa arkielämän esimerkin kontekstissa.



Kuvio 42. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin ja vaihtoehdoittain kysyttäessä, miten vaa'an tasapaino muuttuu rautavillan palaessa

A-kohdan vastausjakaumien perusteella palamisilmiön selvästi erilaisella kokeellisella ja/tai teoreettisella käsittelytavoilla ei näytä juurikaan olleen vaikutusta opiskelijoiden suorituksiin. Esimerkiksi puutteellinen teoreettinen käsittely ei voi olla selittävänä tekijänä, koska vertailuryhmien 3 ja 4 tapauksessa raudan palamista ei käsitelty ollenkaan hapettumis-pelkistymisilmiön yhteydessä, mistä huolimatta nämä ryhmät saavuttivat muiden ryhmien osaamisen tason.

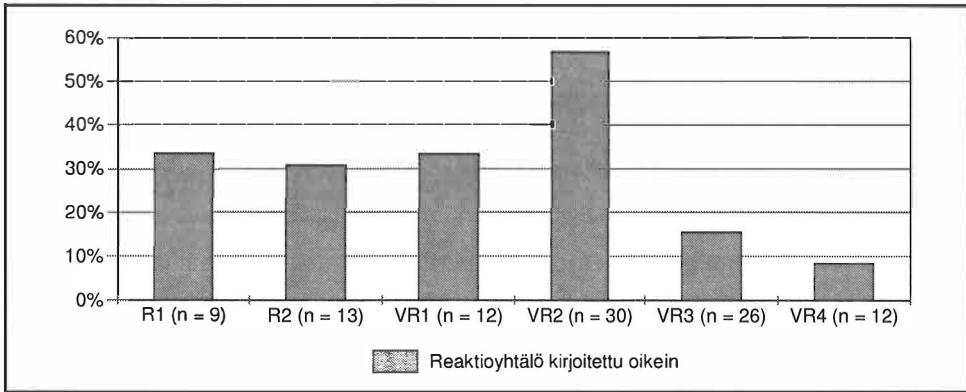
Vertailuryhmien opiskelijoiden b-kohdan vastaukset luokiteltiin aikaisemmin esitettyjen luokitteluperiaatteiden mukaisesti (kuvio 43). Oikeaa vastausta selitettiin vertailuryhmissä hyvin samantyyppisin perusteluin kuin varsinaisissa tutkimusryhmissäkin. Suurin osa tähän luokkaan sijoittuvista vertailuryhmän opiskelijoista ja perusteli vastaustaan raudan ja rautaoksidin erilaisilla massoilla. Kemiallisissa selityksissä vedottiin yleensä siihen, että palamisessa tapahtuva hapen sitoutuminen rautaan tuo vaaditun lisäpainon aiheuttaen vaa'an kallistumiseksi oikealle. Huomio kiinnittyy myös siihen, että suhteellisen suuri joukko vertailuryhmä 2 opiskelijoita oli olettanut, ettei tasapaino muutu kokeen aikana. He tukeutuivat selityksissään lähes yksinomaan aineen häviämättömyyden lakiin. Havainto vahvisti aiemmin tehtyä olettamusta siitä, että kyseisen lain sisällöllä saattaa olla opiskelijan ajattelua kahlitseva vaikutus.



Kuvio 43. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen ryhmittäin ja luokittain sen mukaan, mikä tekijä heidän mielestään selitti rautavillan palamisen jälkeisen tasapainoaseman. (Esim. Kemiallinen ilmiö = tasapaino kallistuu palaneen rautavillan puolelle siksi, että rautaan yhdistyy happea.)

Tasapainotehtävän työhypoteesina oli se, että osalla opiskelijoista on hallussaan teoreettinen tieto ongelman ratkaisemiseksi, mutta tästä huolimatta he päätyvät virheellisiin päätelmiin. Tätä testattiin koekysymyksen viimeisellä kohdalla, jossa opiskelijaa pyydettiin tuottamaan palamisilmiötä kuvaava kemiallinen reaktioyhtälö. Myös huomattavan suurella osalla vertailuryhmän opiskelijoista voitiin todeta olevan riittävät teoreettiset taidot ratkaista tehtävä oikein (kuvio 44). Vertailuryhmien 3 ja 4 suoritusta voidaan selittää siten, ettei palamisilmiön teoreettisia perusteluita ollut opetettu näille ryhmille, joten opiskelijoiden ei siten voinut

olettaakaan menestyvän kovinkaan hyvin teoreettista tietoa mittaavassa kysymyksessä. Joka tapauksessa oli huolestuttavaa huomata opiskelijoiden osaavan soveltaa teoreettisia tietojaan näin heikosti.



Kuvio 44. Raudan palamista kuvaavan reaktioyhtälön oikein kirjoittaneiden opiskelijoiden osuus ryhmittäin

Ryhmän 1 voitiin todeta olleen edelleen määrällisesti ja laadullisesti suhteellisesti menestynein ryhmä. Muiden ryhmien monivalintatehtävän tuloksia voitiin selittää luontevasti ilmiöön liittyvillä väärillä tai puutteellisilla tiedoilla. Yleisimmät virhekäsitykset liittyivät fysikaalisen ja kemiallisen ilmiön sekoittumiseen. Vastausluokkien validiteetin kannalta oli olennaista myös se, ettei vertailuryhmien vastauksia luokiteltaessa tarvinnut ottaa käyttöön uusia luokkia.

Ryhmien tulosten vertailussa on syytä olla varovainen, sillä opettajien käytänteistä ja opiskelijoiden taustasta aiheutuvia mittausvirheitä ei kyetty eksplisiittisesti tunnistamaan. Hyvin moni tekijä viittasi kuitenkin siihen, että uusi demonstraatio-opetus vaikutti siihen, että varsinaisten kokeiluryhmien opiskelijat suoriutuivat vertailuryhmiä paremmin.

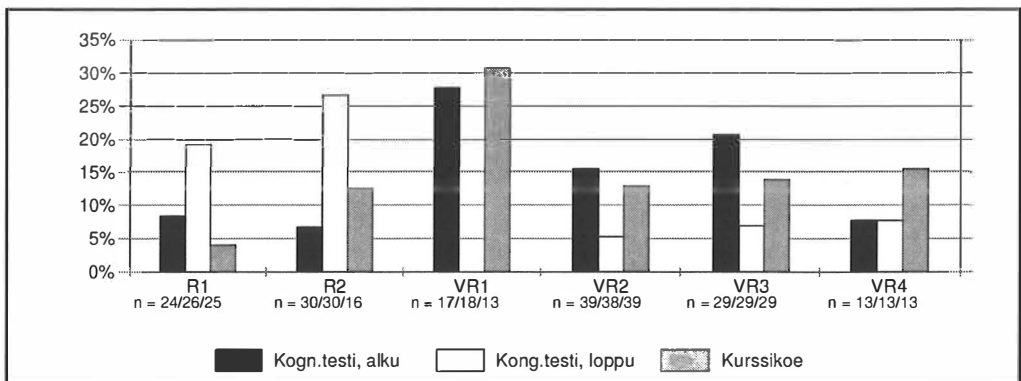
8.4.2 Orgaanisen ja epäorgaanisen aineen palamisen sekoittaminen

Kemiassa aineet jaetaan perinteisesti orgaanisiin ja epäorgaanisiin aineisiin. Orgaanisten yhdisteiden palaessa syntyy yleensä erityyppisiä hiilen sekä vedyn, typen ja rikin happiyhdisteitä, kun taas epäorgaanisten yhdisteiden palaessa syntyy hiilen ja hapen yhdisteitä vain erityistapauksessa. Lukion kemian opetuksessa erityistapauksia esitetään harvemmin. Kouluopetuksessa käytettävien esimerkkikokeiden pohjalta voidaan karkeasti yleistää orgaanisten aineiden täydellisessä palamisessa syntyvän usein kaasumaisia reaktiotuotteita. Vastaavasti epäorgaanisten aineiden, etenkin metallien, palaessa syntyy yleensä kiinteitä

reaktiotuotteita. Ilmiöiden tunnuspiirteiden melko jyrkkä poikkeamien toisistaan on omiaan luomaan stereotypioita. Tämä puolestaan vaikuttaa opiskelijoiden käsitykseen palamisilmiöstä sekä yleisellä että spesifillä tasolla. Tutkimuksessa tämä seikka on jäänyt selvästi puutteelliselle huomiolle.

Tässä tutkimuksessa kiinnitettiin huomio opiskelijoiden yleisiin ja spesifeihin käsityksiin palamisilmiöstä. Samalla etsittiin indikaattoreita siitä, johtuvatko opiskelijoiden virhekäsitykset mahdollisesti orgaanisen ja epäorgaanisen aineen palamisilmiön yleisimpien tunnuspiirteiden sekoittumisesta. Tarkastelussa otettiin huomioon sellaiset vastaukset, joissa esiintyi orgaanisten yhdisteiden palamisreaktiolle tunnusomaisia lähtöaineita ja reaktiotuotteita, kuten hiili, hiilidioksidi, vety ja vesi. Tarkastelussa ei otettu huomioon sellaisia vastauksia, joissa orgaanisen yhdisteen palaminen esitettiin tarkoituksenmukaisesti palamisilmiön erityisenä esimerkkinä.

Kurssin alussa suoritettussa kognitiivisessa testissä eri ryhmissä 7 %–28 % ja kurssin lopussa vastaavassa testissä 0–28 % opiskelijoista toi esiin vastauksessaan orgaanisten aineiden palamiseen liittyviä tekijöitä (kuvio 45). Kurssin lopussa kurssikokeen kysymyksessä vastaavasti 4 %–31 % opiskelijoista toi esiin rautavillan palamiseen orgaanisten aineiden palamisilmiölle tunnusomaisia tekijöitä. Ryhmässä 1 ja 2 orgaanisen aineen palamiseen viittaavien kommenttien määrä lisääntyi, vertailuryhmien 1, 2 ja 3 väheni ja ryhmä 4 pysyi mittauskertojen suhteen samana. Kurssikokeen osalta ilmeni suurta vaihtelua ryhmien välillä.



Kuvio 45. Opiskelijoiden vastausten jakaantuminen mittareittain ja ryhmittäin sen mukaan, miten heidän vastauksissaan ilmeni orgaanisen ja epäorgaanisen aineen palamiseen liittyvien käsitysten sekoittumista. (Esim. Kogn.testi, alku = kurssin alussa pidetyssä kognitiivisessa testissä opiskelija kertoo puhtaassa palamisessa syntyvän hiilidioksidia.)

Opiskelijat vastasivat kysymykseen “Mitä on palaminen?” esimerkiksi siten, että

159. “Palaminen on kemiallinen reaktio, jossa happi muuttuu hiilidioksidiksi ja palava aine hiileksi.”

160. “Puhtaassa palamisessa syntyy hiilidioksidia ja vettä. palamiseen tarvitaan happea.”

161. “Palaminen on kemiallinen reaktio. Palamisessa vapautuu vettä, hiilidioksidia ja jotain muuta.”

Tarkastelussa ei otettu huomioon sellaisia vastauksia, joissa orgaanisen yhdisteen palaminen esitettiin tarkoituksenmukaisesti palamisilmiön erityisenä esimerkkinä, kuten seuraavassa vastauksessa:

Kysymys: “Mitä on palaminen?”:

162. ”Hapestaa aiheutuvaa materiaalin kulumista ja hajoamista. Esimerkkinä puun polttaminen on palamista, kuten myös metallin ruostuminen ja rikkaruohojen hajoaminen kompostissa.”

163. “Palaminen on hiilen ja hapen reagoitua keskenään.

Esimerkit kuvaavat hyvin monia muitakin vastauksia. Opiskelijat puhuvat palamisesta kemiallisena reaktiona, jossa syntyy hiilidioksidia ja vettä määrittelemättä tarkemmin, mitä poltetaan.

Sama tendenssi tuli ilmi myös kurssikokeen rautavillan palamista käsittelevässä tehtävässä, jossa ei lainkaan viitattu orgaanisen aineen palamiseen. Eri ryhmissä 4 %–31 % opiskelijoista liitti rautavillan palamiseen orgaanisten yhdisteiden palamisreaktioon liittyviä tunnusmerkkejä (kuvio 45).

Yksi tapaus selittyi sillä, että opiskelija oli tarkastellut teräksen palamista. Teräs sisältää jonkin verran hiiltä valmistustavan ja laadun mukaan, minkä opiskelija ilmeisesti otti huomioon. Sama tuli esiin myös raudan palamista kuvaavan reaktioyhtälöä koskevassa kysymyksessä.

Opiskelijoiden vastauksia kysymykseen “Kirjoita raudan palamista kuvaava reaktioyhtälö.”

164. “ $F + C + 2O_2 \rightarrow FO_2 + CO_2 + E$ (E = lämpö).” (F = Fe, kirj.huom.)

165. “ $Fe + O_2 \rightarrow CO_2 + O.$ ”

166. “ $Fe + O_2 \rightarrow Fe + CO_2.$ ”

Ohessa yksi mielenkiintoisimmista vastauksista. Virhekäsityksen luonne ilmenee siitä eksplisiittisesti:

167. a) “i (kallistuu punnuksen puolelle).”

b) “Jos teräsvilla palaa siinä täytyy olla jotain orgaanista ainetta. Palaminen on aineen yhtymistä happeen ja sen tuotteena ilmaan haihtuu hiilidioksidia ja vettä. → Teräsvillasta haihtuu vettä ja hiilidioksidia → massa pienenee.”

c) “ $\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ → rauta ei pala (siinä ei ole hiiltä eikä vetyä).”

Vastausten perusteella joillakuilla opiskelijoilla on aineen palamiseen liittyviä virheellisiä yleistyksiä. Yleisin päätelmä voidaan tiivistää seuraavasti: “Rauta ei pala, sillä siinä ei ole hiiltä eikä vetyä”. Syynä tähän voi olla se, että kouluopetuksessa palamisen yleisenä esimerkkinä on liian usein esitetty orgaanisten yhdisteiden palaminen. Syy voi olla myös arkihavainnoissa, sillä onhan esimerkiksi puun palaminen hyvin tuttu luonnonilmiö. Mutta eikö yksi kouluopetuksen tarkoituksista ole juuri laajentaa opiskelijan maailmankuvaa? Yksi tämän tutkimuksen olennaisimpia tuloksia on tämän näkökulman korostaminen. Aikaisemmissa tutkimuksissa tähän on kiinnitetty vain vähän huomiota. Kokonaisuutta tarkastellen opiskelijoiden vastauksia voidaan selittää sillä, että ilmiön perushahmotus on vielä melko yksityiskohtaista tiettyyn palamisilmiöön liittyvää erikoistietoa, jota opiskelijat käyttävät muita palamisilmiöitä selittäessään. Tältä osin tämän tutkimuksen tulokset vahvistavat BouJoaude (1991) tutkimuksen tuloksia.

Tutkimustuloksen perusteella voidaan esittää muutamia opetusta koskevia suosituksia. Ensinnäkin, oppikirjojen tulisi tarjota palamisilmiöstä nykyistä eheämpi kokonaiskuva ja tarkastella orgaanisen ja epäorgaanisen aineen palamista rinnakkain. Toiseksi, oppikirjojen ongelmat voivat johtua myös nykyisen lukion opetussuunnitelman rakenteesta, jossa ei kovin eksplisiittisesti ohjata eheään käsittekokonaisuuden rakentamiseen. Kolmanneksi, virhekäsitysten syynä voivat olla myös opettajan vakiintuneet käytänteet. Opettajahan saattaa tiedostamattaan suosia orgaanisten aineiden palamista käsitteleviä kokeita ja tarjota palamisesta näin varsin yksipuolisen kuvan. Neljänneksi, palamisilmiö voidaan sen tuttuuden vuoksi saattaa mieltää helpommaksi ilmiöksi opettaa, kuin se todellisuudessa onkaan. Varsin uskottavan selityksen tarjoaa myös opiskelijoiden arkihavaintojen perusteella luoma intuitiivinen malli. Opiskelija muodostaa esikäsitteensä jo varhain, ja koulussakin ilmiön opetus aloitetaan vasta monien vuosien päästä. Käsitteytutkimukset ovat osoittaneet intuitiiviset käsitykset pysyviksi, ja kouluopetuksella niihin voidaan tunnetusti vaikuttaa vain rajallisesti.

8.4.3 Päiväkirjojen merkitys oppimiselle

Demonstraatioiden tavoitteena on opiskelijan oppimisen tukeminen. Tässä tutkimuksessa työtapaa pyrittiin integroimaan olennaiseksi osaksi opiskelijan oppimisprosessia ja samalla tukemaan hänen luonnontieteellisten käsitteiden ja periaatteiden kehitysprosessiaan. Demonstraatio-opetuksella on siis erilaisia vaikutuksia opiskelijan oppimiseen. Demonstraatio-opetusta voidaan käyttää opiskelijoiden ajattelun johdattelamiseen ilmiön teoreettisiin perusteluihin, mutta se auttaa opiskelijoita myös ymmärtämään oppikirjasta lukemaansa tekstiä.

Kysymys: "Mikä demonstraatioissa auttaa oppimista?"

168. Laura (R2): "Se selkeyttää sen asian niin ku...jos sitä lukee kirjasta sillee, niin ei sitä välttämättä tajuu, et mitä siellä on takana..."

Kysymys: "Helpottiko demonstraatiot oppimista?"

169. Pentti (R1): "Joo...ja muutenkin tietysti sitten tajuamaan niitä asioita, mitä niissä sitten tapahtuu. Näkee, ettei vain jotain reaktioyhtälöitä tarvii katella..."

Kysymys: "Syntyikö demonstraation avulla yhteys luonnonilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille?"

170. Martti (R1): "Näki, miten se tapahtuu. Ei tarvinnut vai uskoa/lukea; Näkee kun tapahtuu. Se on kaikkein parasta siinä."

Kysymys: "Mitä hyvää demonstraatio-opetuksessa on?"

171. Martti (R1): "Ite sai silmin havaita, mitä tapahtu."

Opetuksessa edettiin konkreeteista havainnoista kohti abstrakteja käsitteitä, mutta opiskelijoiden kommenttien perusteella vuorovaikutustilanteen luonne voi edetä myös päinvastaiseen suuntaan. Demonstraatiot voivat myös tehdä abstrakteista kemian käsitteistä ja käsitejärjestelmistä konkreettisimpia.

Luonnontieteelliseen tiedonhankintaan kuuluu olennaisena osana tutkimustulosten raportointi. Raportoinnilla on tieteellisissä kokeissa olennainen rooli, ja esimerkiksi mittauspöytäkirjan perusteella voidaan tunnistaa kokeen onnistumiseen johtaneet tekijät. Mittauspöytäkirjojen käytöllä pitkät perinteet, ja yksi sen toteutusmuodoista on tutkimuspäiväkirja.

Tässä tutkimuksessa tutkimuspäiväkirja liitettiin demonstraatio-opetukseen niin, että muutama opiskelija (ks. kohta 6.3) kustakin tutkimusryhmästä sai mahdollisuuden osoittaa kurssisisältöjen omaksumistaan tuntipäiväkirjaa pitämällä. Opiskelijoiden oli määrä kirjata päiväkirjaan havaintojaan ja ajatuksiaan omasta oppimisestaan, oppitunneilla suoritetuista kokeista ja niiden merkityksestä oppimiseensa.

Oppimispäiväkirjaa pitäneet opiskelijat kokivat sen merkityksen oppimiselle tärkeäksi. Demonstraatioiden raportointi päiväkirjaan auttoi muun muassa muistamaan ne.

172. Päivi & Saimi (R1): “Kaikkein selvimmin sai kuitenkin käsityksen demonstraatioista, jotka tehtiin tunnilla. Niitä olisi saanut olla vaan enemmän. – Mää olen aivan samaa mieltä. Varsinkin kun niistä joutui aina kirjoittamaan, niin ne demot säily hyvin mielessä ja kirjoittaessaan niitä ylös tällainen syy-yhteys-seuraus juttu selkeni ja tajusi, että tätähän se ope sillä demolla ajoi takaa; Päiväkirjan pidon perusteella monet käytännön asiat ja useat demotkin ‘avautuivat’.” (Päiväkirjamerkintöjä.)

173. Päivi (R1): ”Ehkä ne [demonstraatiot] muistaa sitten paremmin, kun niistä joutu aina kirjottamaan sen [muistiinpanot oppimispäiväkirjaan]; Ne [demonstraatiot] jäi varmaan sit paremmin mieleen.” (Haastattelu.)

174. Kimmo (R1): ”...se oli kyllä erittäin hyvä siinä kokeessa ku oli... tai siinä tuntipäiväkirjassa, ku oli se demonstraatio juttu, ku sitä kun kirjotti, niin tuli aina palautu sitten hyvin mieleen ne, ja kun oli vihkoon laittanut siinä tuli sitten se kerrattua hyvin...” (Haastattelu.)

Päiväkirjatoiminnan tiedostettiin myös tehostavan oppimisprosessia, mikä ilmeni esimerkiksi Kimmon ja Martin esittämästä kommentista:

175. Kimmo & Martti (R1): “Vaikkakin työpäiväkirjaa [oppimispäiväkirjaa] pitämällä säästy kokeelta ja kokeeseen lukemiselta uskomme silti, että oppimisemme on tehostunut työpäiväkirjaa pitämällä, koska on päiväkirjaa kirjoittaessa jatkuvasti joutunut kertailemaan tunnilla käytyjä asioita.” (Päiväkirjamerkintä.)

Päivin ja Saimin (173) päiväkirjamerkinnän perusteella he ovat kokeneet ns. “ahaa”- elämyksiä, jotka usein mielletään oppimisprosessin edistymisen merkiksi. Esimerkiksi Whiten ja Gunstonen (1996, 12–14) mukaan nämä ovat tilanteita, jolloin opiskelija ymmärtää ymmärtävänsä.

Ilmiöiden ymmärrystä mittaavissa koekysymyksissä ei kuitenkaan todettu selvää eroa sellaisten opiskelijoiden välillä, jotka pitivät demonstraatiopäiväkirjaa ja jotka eivät sitä pitäneet. Epävarman vaikutusmekanisminsa vuoksi päiväkirjan pitoa ei sisällytetty uudentyypin demonstraatio-opetuksen malliin, mutta sen opetuskäyttöä voidaan silti suositella.

Kaikki opiskelijat eivät kokeneet demonstraatioita olennaiseksi oppimisprosessiaan edistävänä tekijänä. Esimerkiksi Pentti totesi demonstraatioiden olleen mielenkiintoisia, mutta koki oppivansa paremmin ns. perinteisellä opetuksella sekä itse kokeilemalla.

Kysymys 2: ”Oletko kokenut käytetyt kokeellisen opetuksen muodon tai muodot tarpeelliseksi? Jos olet niin minkä kannalta olet ja jos et niin miksi et?”

176. Pentti (R1): ”En juurikaan, koska opin paremmin ‘normaali opetuksella’ + itse kokemalla.”

Opiskelija täydentää vastaustaan haastattelussa sitten, että

177. Pentti (R1): ”...sitä oon tässä tarkoittanut, että kyllä sen asian varmaan olisi oppinut ilmankin niitä demonstraatioita, mutta oli ne ihan mielenkiintoisia...”

Kysyttäessä Pentin mielipidettä siitä, mitä huonoja puolia demonstraatio-opetuksessa on, hän vastaa:

178. Pentti (R1): ”...Huonoja puolia taas jos lähettäis hakemaan niin..ehkä se että toisaalta siin vois olla sitä...jos nää demot jätettäis pois niin, emmä usko että kurssiarvosana ainakaan mulla siitä laskis ja toisaalta siin ois enemmän aikaa ihan opetukselle ja käyä uusia asioita enemmän ja...työskennellä lisää tunnilla...”

Edellä on todettu (ks. 8.1.2.1) Pentin tukeutuneen teoreettisiin tietoihinsa selittäessään esimerkiksi rautavillan palamista. Näin hänen kommenttinsa vahvistavat aiempaa tutkijan tulkintaa Pentin oppimistyylin teoreettisesta otteesta ja kyvykkyydestä hypoteettis-deduktiiviseen ajatteluun. Tästä voidaan päätellä, että uudentyypin demonstraatio-opetusmallin mukainen opetus saattaa olla hyödyllisempää kokeellis-induktiivista ajattelua suosivien oppimisen tukemiseen kuin hypoteettis-deduktiiviseen ajattelua suosivien oppijoiden oppimisen tukemiseen. Tähän päätelmään tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti, sillä se perustuu tutkijan intuitiiviseen näkemykseen eikä systemaattiseen aineiston analyysiin.

8.5 *Demonstraatio-opetus lukio-opetuksen työtavaksi*

Tutkimustehtävänä oli selvittää opiskelijoiden käsityksiä palamisesta ja reversiibelistä reaktiosta sekä määrittää uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen vaikutusta ilmiöiden ymmärtämiseen ja käsitteiden haltuunottoon.

Rautavillan palaminen havainnollistettiin uudentyyppisellä opetuksella ryhmälle 1. Ryhmän 2 opiskelijoille ilmiötä ei demonstroitu, mutta sisältöopetus pyrittiin toteuttamaan samalla tavalla kuin ryhmässä 1. Vertailuryhmissä opetusta toteutettiin tavanomaiseen tapaan. Kun ryhmän 1 opiskelijoiden tuloksia verrattiin kokeilu- ja vertailuryhmien tuloksiin, ryhmän 1 opiskelijoiden todettiin menestyneen määrällisesti ja laadullisesti selvästi muita paremmin. He menestyivät paremmin monivalintatehtävässä ja suhteellisesti useampi opiskelija kykeni selittämään rautavillan palamiseen liittyviä ilmiöitä tieteellisesti riittävän oikein.

Selittäväksi tekijäksi ryhmän 1 menestymiselle nousi ilmiön demonstrointi uuden mallin mukaisella opetuksella. Todennäköisin syy muiden ryhmien demonstraatio-opetuksen vaikutuksen vähäisyyteen olivat demonstraation konteksti ja demonstraation toteutustavan poikkeaminen uudesta mallista. Ryhmän 2 opiskelijat suoriutuivat tehtävistä hyvin samantasoisesti neljän vertailuryhmän opiskelijoiden kanssa, vaikka osalle vertailuryhmistä ei ollut opetettu hapettumis-pelkistymisilmiöiden teoriaa juuri ollenkaan.

Palautuvan reaktion periaatteita opetettiin molemmille koeryhmille uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin mukaisesti. Niiden opintomenestys oli laadullisesti ja määrällisesti hyvin saman tasoinen. Kokonaisuutta tarkastellen enemmistö molempien ryhmien opiskelijoista kykeni muodostamaan veden reaktioiden avulla peruskäsityksen palautuvan reaktion periaatteista.

Opiskelijat osasivat selittää veden muodostumisen prosessin yksityiskohtaisemmin ja abstraktimmalla tasolla kuin veden liittymisen. Selityksenä tähän lienee se, että rakenneosien erottuminen ja aineen hajottaminen osiksi lämmittämällä oli opiskelijoille entuudestaan tuttu prosessi, kun taas reaktion palautumisen mahdollisuus oli ilmeisesti suurimmalle osalle uusi asia. Opiskelijoilla on siis voinut ollut jo aiempia selitysmalleja veden muodostumisesta, muttei sen liittymisestä. Lämmitysprosessin osalta oli siis kyseessä ennemminkin opitun vahvistaminen, kun taas veden liittymisen prosessin tapauksessa uuden oppiminen.

Tutkimus osoittaa varsin selvästi myös sen, ettei havaintojen perusteella muodostettuja virhekäsityksiä voida ehkäistä opettajajohtoisessa työtavassa. Virhekäsitykset ilmenivät epäorgaanisen ja orgaanisen palamisilmiön tunnusomaisten piirteiden sekoittamisena ja kidevedellisen kuparisulfaatin muutosten selittämisenä aineen trasmutaatioksi.

Tutkimus osoittaa demonstraation merkityksen oppimisprosessin käynnistäjä ja erityisesti sen, kuinka sillä voidaan kontrolloidusti aiheuttaa loogis-tiedollisia ristiriitoja. Jo ilmiön havainnointi riitti muuttamaan opiskelijoiden käsityksiä luonnonilmiön syy-seuraussuhteista. Opiskelijat kokivat demonstraatiot aitoina luonnontieteellisinä eksperimentteinä, jotka todistivat opettajan tai oppikirjan esittämää teoriaa. Demonstraatiolla todettiin olevan myös muistamista helpottava ja tehostava vaikutus.

Pienetkin erot demonstraation teknisessä suorituksessa vaikuttivat opiskelijoiden vastausten sisältöihin. Esimerkiksi reaktioastian kuljettaminen opiskelijoiden silmien lähellä näytti lisäävän opiskelijoiden tekemien havaintojen määrää. Toisaalta kuparisulfaatin kokeiden osalta tekninen työvirhe on todennäköinen syy havaintojen määrän vähenemiseen ja palautuvan reaktion periaatteiden ymmärtämisen kannalta epäolennaisten havaintojen kuvaamiseen.

Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin mukaisessa opetuksessa pyritään etenemään loogisesti ilmiöistä tehdyistä havainnoista abstrakteihin käsitteisiin. Työtavan vaikutus ilmeni tältä osin muun muassa opiskelijoiden esittämien vastausten rakenteessa, sillä kokeiluopetuksessa mukana olleet opiskelijat pyrkivät selityksissään johdonmukaisuuteen. Johdonmukaisuudella tässä yhteydessä tarkoitetaan pääasiallisesti havaintojen ja käsitteiden liittämistä toisiinsa matemaattisen merkkien avulla.

Kokeiluryhmien ja neljän ns. tavanomaista opetusta saaneen opiskelijaryhmän rautavillan palamiskäsityksien vertailu vahvisti tutkijan luottamusta uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin oppimista edistävään vaikutukseen. Tämän tutkimuksen mittareiden mukaan esimerkiksi ilmiön teoreettisten perusteluiden erilaisella käsittelyllä (yksityiskohtainen käsittely vs. ei käsitelty juuri ollenkaan) ei näyttänyt olevan vaikutusta ilmiön ymmärtämiseen. Sen sijaan ilmiön uudentyyppinen demonstrointi paransi kokeiluopetuksessa mukana olleen ryhmän suoritustasoa sekä määrällisesti että laadullisesti.

Tulokset osoittavat opiskelijoilla olevan epäorgaanisen ja orgaanisen aineen palamiseen liittyviä virheellisiä yleistyksiä yhtä lailla kokeilu- kuin vertailuryhmissäkin. Tämä tuli selvimmän esille rautavillan palamista käsittelevässä kysymyksessä. Virhekäsitykset johtuvat todennäköisesti joko arkihavaintojen pohjalta luodun intuitiivisen käsityksen virheellisestä soveltamisesta tai kouluopetuksen painottumisesta orgaanisten aineiden palamisen käyttämiseen palamisilmiön yleisenä esimerkkinä.

Demonstraatio-opetukseen yhdistetty päiväkirjan pito vaikuttaa lisäävän opiskelijoiden ymmärrystä suoritettujen kokeiden merkityksestä. Joissain tapauksissa ilmeni myös merkkejä opiskelijoiden itsereflektiivisyyden lisääntymisestä. Toisin sanoen päiväkirjan pito sai opiskelijat pohtimaan demonstraatioiden merkitystä myös heidän kirjoittaessaan päiväkirjaa. Vaikka päiväkirjaa pitäneet opiskelijat eivät menestyneetkään kurssikokeessa sen paremmin kuin muut

opiskelijat, sen käyttöönottoa uudentyypisen demonstraatio-opetuksen mallin yhteyteen voidaan kuitenkin suositella. Jo pienikin mahdollisuus opiskelijoiden itsereflektiivisyyden lisääntymiseen on syytä hyödyntää, joten päiväkirjan pidon implementoimista kehitettyyn malliin olisi syytä tutkia yksityiskohtaisemmin.

Konstruktivistisen oppimisteorian mukaan käsityksen muutokseen tähtäävässä opetuksessa tulisi aina selvittää opiskelijoiden ennakkokäsitykset. Tämä tutkimuksen tulosten näkökulmasta vaatimus on perusteltu. Eheän kokonaiskuvan muodostamiseksi opiskelijoille on kuitenkin suotava aikaa ja mahdollisuuksia eri ilmiöiden tunnistamiseen ja luokitteluun sekä niiden keskinäisten suhteiden jäsentämiseen.

8.6 Keskeiset tulokset

Työssä tarkastellaan opiskelijoiden käsityksiä kahden eri luonnonilmiön kontekstissa ja pyritään hahmottamaan uudentyypisen demonstraation vaikutusta opiskelijoiden käsityksen muutosprosessiin.

Tutkimuksessa selvisi palamisilmiön virhelähteiksi kaksi uutta syytä. Ensinnäkin, aineen ja energian säilymisen laki voi generoida virhekäsityksiä. Periaatteen ajattelua ohjaava vaikutus voi olla niin voimakas, että se kumoo empiiristen havaintojen todistusvoiman. Se voi ilmetä myös siten, ettei opiskelija kykene abstraktilla tasolla hahmottamaan ilmiön perusluonnetta ja hapen roolia ilmiöiden muutosagenttina. On todennäköistä, että aineen ja energia säilymisen laki vaikuttaa vastaavan tyyppisesti myös muiden ilmiöiden ja oppiaineiden oppimisessa. Täsmällisemmän vaikutusmekanismin määrittämiseksi ja opetussuositusten laatimiseksi tarvitaan kuitenkin lisätutkimusta.

Toiseksi, opiskelijat sekoittavat orgaanisen ja epäorgaanisen aineen palamisilmiön yleisiä tunnuspiirteitä toisiinsa. Pahimmillaan tämä johtaa käsitykseen, jonka mukaan aine ei pala ellei se sisällä hiiltä. Opetuksessa tämän tyyppisten virhekäsitysten syntymistä voitaisiin ehkäistä siten, että käsityksen muutosprosessia tuetaan useilla toisistaan vain hieman poikkeavilla kokeilla. Koesarja tulisi valita siten, että se ilmentää kaikille tapauksille yhteisen periaatteen lisäksi myös kunkin ilmiön tai ilmiöjoukon erityisluonnetta. Tavoitteena on tukea opiskelijan tiedonmuodostuksen prosessia siten, että hän kykenee itsenäisesti tunnistamaan, luokittelemaan ja liittämään käsitejärjestelmäänsä uusia ilmiötä.

Kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioita koskevia opiskelijoiden käsityksiä analysoitaessa havaittiin, että palautuvan reaktion osalta kyse on uuden oppimisesta. Näin ollen opiskelijoille on

suotava hieman enemmän aikaa ja mahdollisuuksia palautuvan reaktion periaatteiden ymmärtämiseksi. Toiseksi, muutamien opiskelijoiden ajattelua ohjasi implisiittisesti alkeellinen aineen transmutaation selitysmalli. Tämä tulee todennäköisesti esiin monien muidenkin kemiallisten reaktioiden osalta, sillä Andersson (1990) on jo tehnyt saman havainnon palamisilmiön tapauksessa. Tutkimustuloksilla on olennainen merkitys perusopetuksen alaluokkien luonnontieteiden opetukselle. Sen yhdeksi keskeiseksi tavoitteeksi olisi otettava tämäntyyppisten virhekäsitysten poisoppiminen ja kemiallisen reaktion perusluonteen kirkastaminen. Se edellyttää harkittua ja määrätietoista demonstraatioiden, laboratorioskokeiden, luonnontutkimustehtävien tms. valintaa (vrt. Watson 1997).

Tutkimustulosten perusteella vaikuttaa siltä, että sekä perus- että lukioasteen opetuksessa olisi syytä korostaa orgaanisen ja epäorgaanisen palamisen yhtäläisyyksiä ja eroja. Opiskelijoiden käsitykset palamisesta näyttävät vääristyvän arkikäsitysten ja mahdollisesti myös kouluopetuksen epäsuhtaisten painotusten johdosta. Opettajilta on syytä edellyttää entistä määrätietoisempaa ja monipuolisempaa palamisilmiön opettamista. Esimerkiksi raudan palamista tarkasteltaessa olisi tuotava selkeästi esille ainakin seuraavat seikat: 1) rautavilla voi palaa, 2) rautavillan palaminen on kemiallinen ilmiö ja 3) rautavillan massa kasvaa palaessa. Vastaavasti kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioita käsiteltäessä opiskelijoille olisi tuotava veden reaktioiden lisäksi selvästi esille sekä väriin että rakenteeseen liittyvät seikat. Joissakin tapauksissa voi olla aiheellista esittää koe kolmeen kertaan, jolloin opiskelijoiden huomio kiinnitetään kuhunkin kohtaan erikseen.

Aiemmin vain vähäiselle huomiolle jäänyt on palamisilmiön suomenkieliseen terminologiaan liittyvä ongelma. Englannissa on erikseen ilmaistut "burning" ja "combustion", joista edellinen on luonteeltaan yleisempi kuin jälkimmäinen. Edellistä käytetään kuvailemaan palamista sen empiirisen ilmenemismuodon perusteella, toisin sanoen "hydrogen gas burning in air to form water" merkitsee vastaavan tyyppistä palamista kuin "sodium burning in chloride", vaikka jälkimmäisessä tapauksessa reaktioon ei osallistukaan happea. "Combustion"-termiä puolestaan käytetään rajattaessa palaminen aineen ja hapen väliseen reaktioon tai puhuttaessa abstraktista molekulaarisen tason palamisesta sekä liitettäessä palaminen hapettumis-pelkistymis-ilmiöön ja -reaktioon. Suomen kielessä ei vastaavan tyyppistä erottelua tehdä, mikä lienee syynä esimerkiksi hapettumis-käsitteen ymmärtämisen ongelmiin. Opetuksessa on siten tärkeää korostaa konkreetin molaarisen ja abstraktin molekulaarisen tason palamisen yhtäläisyyksiä ja eroja. Samalla hapessa tapahtuva palaminen voidaan määrittää vain yhdeksi tyyppiä monista konkreetilla molaarisella tasolla "palamiselta näyttävistä" reaktioista ja abstraktilla molekulaarisella tasolla hapettumis-pelkistymis-ilmiöistä.

Opetuskokeilun perusteella voidaan todeta, että jo vähäisetkin tekniset erot tai virheet demonstraatio-opetuksen toteuttamisessa saattavat johtaa epäolennaisten tekijöiden havainnointiin ja siten myös virhekäsityksiin. Tämä korostaa opiskelijoiden tarkkaavaisuuden ohjaamisen merkitystä. Kokonaisuudessaan kehitetty työtapa vaikuttaa kuitenkin toimivalta. Työtappaa suositellaan yhdeksi luonnontieteiden opetuksen työtavoista ja sen toivotaan vähitellen syrjäyttävän perinteisen demonstraatio-opetuksen. Tämän toteutumiseksi tutkimuksen toivotaan tavoittavan mahdollisimman monta lukijaa niin opettajankoulutus-, täydennyskoulutus kuin ainelaitoksillakin.

9 Tutkimuksen kokoava tarkastelu

Tässä luvussa vastataan aluksi tiivistetystä tutkimusongelmiin. Tämän jälkeen keskitytään menetelmällisten ratkaisujen tarkasteluun. Osana tutkimusmenetelmien kuvausta tarkastellaan myös tutkimuksen luotettavuutta. Luotettavuustarkastelussa pyritään määrittämään tutkimustulosten pätevyys- ja sovellusalueet. Tutkimusongelmien tarkastelun yhteydessä esitetään tuloksista tehtävät päätelmät ja opetussuositukset sekä arvioidaan uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin mahdollisuuksia kemian oppimisen, opettajankoulutuksen ja opetussuunnitelman kehittämisessä. lopuksi esitetään tutkijan näkemyksiä mahdollisista jatkotutkimuksista

9.1 Tutkimuksen luotettavuus

Reliabiliteetilla ja validiteetilla mitataan tutkimuksen luotettavuutta. Validiteetilla tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin tutkimustulos vastaa asioiden tilaa todellisuudessa tai sitä kuinka hyvin mittari mittaa sitä, mitä sen on tarkoitus mitata. Korrespondenssissa validiteetin käsite pohjautuu ajatukseen tosiasioiden ja väitteiden vastaavuudesta. Reliabiliteetilla puolestaan tarkoitetaan sitä, kuinka samana tutkimustulos pysyy, jos tutkimus toistetaan uudelleen tai sitä kuinka hyvin mittari kattaa tutkittavan ilmiön (ks. esim. Eskola & Suoranta 1998, 209–235).

Tutkimuksen luotettavuutta voidaan parantaa triangulaation tai kyllästyneisyyden keinoin. Triangulaatiolla tässä yhteydessä tarkoitetaan sitä, että tietoa kerätään mahdollisimman monipuolisesti käyttämällä erilaisia aineistonkeruumenetelmiä ja eri menetelmillä hankittujen tietojen yhtäpitävyyttä vertaillaan keskenään. Aineiston kyllästyneisyydellä tarkoitetaan yleensä sitä, että tiedon hankintaa jatketaan niin kauan, kunnes käytetyillä menetelmillä ei saada ilmiöstä enää uutta tietoa. (Morse 1994; Syrjälä ym. 1994, 48.)

Validiteetin käsite perustuu lähtökohdaltaan ajatukselle, että on olemassa erikseen tutkija, joka esittää väitteen ulkoisesta todellisuudesta. Totuuden kysymys ratkaistaan tällaisessa

tapauksessa korrespondenssiteorian varassa. Tiedon pätevyys riippuu ajallisesta ja paikallisesta asiayhteydestä, tutkijan ja tutkimuskohteen välisestä suhteesta. Tieto on kontekstista riippuvaa, ja intervention avulla hankittu tieto on pätevää siinä ajan ja paikan määrittämässä hetkessä, jossa se on saatu. Uudella demonstraatio-opetuksella saavutetut tulokset pätevät parhaiten testattujen ilmiöiden opetuksen kontekstissa. Jatkotutkimukset ovatkin välttämättömiä pätevyysalueen laajentamiseksi. (Huttunen ym. 1999)

Tässä tutkimuksessa pätevyuden arviointia voidaan tarkastella myös yhteisön toiminnan kehittymisen pohjalta. Tämän tutkimuksen viitekehyksessä se tarkoittaisi esimerkiksi sitä, miten opetuksen käytänteen muutos vaikuttaa oppimiseen. Onnistunut tutkimus merkitsee järkevämpää uutta käytäntöä, joka osoittautuu toimivaksi. Tällainen näkemys on pragmatistinen: totta on se, mikä toimii (Huttunen ym. 1999). Tutkimuksen voidaan arvioida olevan validi silloin, kun tutkimuksen tavoitteet on saavutettu joko kokonaan tai osittain. Jotta tiedeyhteisö vakuuttuisi validiteetista, tutkimuksessa on pyrittävä kertomaan yksityiskohtaisesti kaikki, mikä helpottaa tutkimuksen itsenäistä arviointia.

Tutkimuksessa kokeiltiin uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen soveltuvuutta lukion kemian opetukseen ja sen toimivuutta opetuksessa. Näitä seikkoja arvioitiin kohdejoukolta kerätyn palautteen, haastatteluainciston ja mitattujen oppimistulosten perusteella. Tutkimukseen sisältyi vahva opetuksellinen interventio, jossa kemian opetus toteutettiin tutkijan johdolla tavanmukaisista opetusmenetelmistä olennaisesti poikkeavalla tavalla. Tutkimuksen luotettavuutta pyrittiin parantamaan siten, että siihen sisällytettiin myös oppimistulosten vertailu tavanmukaista opetusta saaneisiin ryhmiin.

Tutkimus sai alkunsa käytännössä havaitusta ongelmasta. Lukion opiskelijat eivät ymmärrä demonstraatioiden ja oppilastöiden keskeistä merkitystä kemian opiskelun osana. Käsitys tieteellisen tiedon syntytavasta ja kokeellisuuden merkityksestä luonnontieteellisen tiedon kehittämisessä jää epäselväksi. Kokeellisen opetuksen tulisi kuitenkin olla olennainen osa luonnontieteellisen tiedon ja ajattelun kehittymistä koulussa. Ei kuitenkaan ole itsestään selvää, millä oppimista tukevalla metodilla kokeellinen ajattelu kehittyy (vrt. Hodson 1996a, b). Perinteisellä demonstraatiolla ja oppilastöillä onnistutaan vain harvoin rakentamaan riittävä yhteys ilmiöiden teoreettisten perusteluiden ja lukio-opiskelijoille ominaisten ajattelu- ja havaitsemismallien välille.

Opetuskokeilu on tutkimusmenetelmänä mahdollistanut tutkijan toiminnan koulussa sekä tutkijan että opettajan roolissa. Tällä tavoin on voitu kokeilla demonstraation vaikutusta oppimistuloksiin, kehittää demonstraatiota opetusmenetelmänä ja etsiä oikeutusta demonstraation käyttöön kokeellisen opetuksen työmuotona.

Tutkimuksen luotettavuus on pyritty varmistamaan monipuolisella ja autenttisella tutkimusaineistolla. Mittareiden laadinta on tehty kollegiaalisesti: siihen ovat osallistuneet yhteistyökoulujen opettajat, tutkimuksen vastuulliset ohjaajat sekä tutkija. Tutkittavat eivät osallistuneet mittareiden laadintaan.

Lukija voi arvioida tämän tutkimuksen validiteettia sen perusteella, löytyykö tutkimuksesta

- systemaattinen selvitys aineiston kokoamisesta,
- aineiston tarkistusmenettely, esim. monimenetelmällisyys,
- arvio tutkijan tai muiden seikkojen vaikutuksesta tutkimustilanteisiin ja sitä kautta tuloksiin,
- taustatiedot tutkittavista ja tutkimustilanteista,
- kuvaus tutkimusaineistosta ja suoria lainauksia vastauksista,
- tulkintaa sekä yksittäisistä vastauksista että yleisestä tutkimuksen kuvauksesta ja tutkimuksen teoreettista pohdintaa,
- kattava ja tarkoituksenmukainen esitys alan aikaisemmasta tutkimustiedosta sekä
- teoriataustan ja käytännön osuuden yhteensopivuus.

Jotta tutkimus olisi validi, sen täytyy myös olla reliabeeli. Kerätty aineisto on reliabeeli, kun se ei sisällä ristiriitaisuuksia ja satunnaisvirhettä. Aineiston reliabiliteetti ei takaa aineiston validiteettia, sillä esimerkiksi systemaattinen valehtelu tuottaa reliabelin aineiston, muttei ole validi. Tutkimuksen viitekehys tarjoaa keinon arvioida tutkimuksen luotettavuutta ja siinä kerätyn tiedon yleistettävyyttä. (Lavonen 1996, 24–25; Grönfors 1985, 178–179, 185–187.)

Tutkimuksen vastuullinen tutkijan toimi toisen kokeiluopetusryhmän opettajana. Syrjälän ym. (1996, 52–55) mukaan ajatus tutkijasta oman työnsä tutkijana on epäilyttänyt monia kasvatustieteilijöitä. Kritiikki kohdistetaan yleensä siihen, ettei oman työn tutkimista voida pitää tutkimuksena, koska sen tulokset eivät ole yleistettävissä, metodologia on puutteellista ja yhteydet teoriaan jäävät heikoiksi. Tämäntyyppisten tutkimusten heikkouksiksi on esitetty myös seuraavia seikkoja: epäselvästi määritellyt tavoitteet ja metodi, tutkijan ja tutkittavien välinen suhde, teorian ja käytännön suhde sekä poliittiset muutokset.

Lähestymistavan puolustajat taas toteavat, että kokonaisvaltainen ymmärtäminen on tärkeämpää kuin yleistäminen. Yleistäminen ei myöskään ole vain kirjoittajan vaan myös lukijan ongelma. Työtään tutkiva opettaja on perillä tunteistaan ja pyrkimyksistään syvällisemmin kuin ulkopuolinen havainnoija, hänellä on pitkältä ajalta ensikäden tietoa tutkittavista tilanteista, hänellä on jo toimivat suhteet tutkittaviin ja hän on keskeinen vaikuttaja tutkittavassa tilanteessa,

joten hänellä on paremmat edellytykset testata teoreettisia ideoitaan käytännössäkin ulkopuolisella tutkijalla.

Hammersley (1993) kritisoi kuitenkin mainittuja perusteluja seuraavasti: Ihmiset voivat pettää itseään, ja ymmärtäminen edellyttää tutkittavan ilmiön näkemistä laajemmissa yhteyksissä, mikä voi olla omaa työtään tutkivalle vaikeaa. Tieto, jota opettaja saa käytännöstä, on sidoksissa hänen rooliinsa. Lisäksi myös ihmissuhteet voivat rajoittaa tutkijana toimimista, ja tutkimuksen ja opetuksen asettamat vaatimukset voivat olla ristiriidassa keskenään (ks. myös Syrjälä ym. 1994, 55)

9.2 Tutkimusongelmien ratkaiseminen

Demonstraatio on yksi yleisimmin käytetyistä kokeellisen opetuksen työtavoista. Tästä huolimatta demonstraatiopedagogiikka on jäänyt tutkimuksissa vähälle huomiolle (Clermont ym. 1994). Vähäinen kiinnostus on vaikuttanut myös siihen, että demonstraatio-opetus on leimautunut vanhanaikaiseksi, staattiseksi ja autoritääriseksi työtavaksi. Demonstraatio-opetukseen keskittyvälle tutkimukselle on ollut ilmiselvä tarve.

Kun ainedidaktinen tutkimus 80- ja 90-luvulla lisääntyi, oppijoiden ennakkokäsitysten vaikutus oppimiseen nousi esiin ja yhä useammat tutkijat suuntasivat tutkimusintressinsä tälle alueelle. Tutkimusintressin kohdistuminen oppijoihin vaikutti myös siten, että kiinnostus opettajajohtoisiin työtapoihin väheni. Lisäksi demonstraatio-opetus miellettiin virheellisesti opettajakeskeiseksi työtavaksi (Kansanen 1991). Watsonin ynnä muiden (1995) tulokset synkistivät edelleen uskoa demonstraation mielekkääseen toteuttamiseen kouluissa

Kemian opetuksen kehiteltyjä demonstraatio-opetuksen malleja juurikaan ole. Millerin (1993) ja Kyyrösen (1999) tutkimus ovat harvinaisia poikkeuksia. Esimerkiksi fysiikan opetuksessa tilanne on toinen (ks. esim. Taylor 1988; K. Kurki-Suonio & R. Kurki-Suonio 1994; Roth ym. 1997). Oli siis tarpeen kehittää myös kemian opetuksen demonstraatiomalleja, sillä kemian peruskäsitteiden abstrakti luonne asettaa kouluopetukselle erityisiä vaatimuksia, joita muissa luonnontieteissä ei niin usein kohdata (Erätuuli & Meisalo 1985, 42; Gabel 1998).

Ensimmäinen ongelma: *Minkälainen demonstraatio-opetuksen malli tavoittaisi konstruktivistisen oppimisen teoreettiset perusteet?*

Oppimispsykologian, konstruktivistisen tietoteorian ja ainedidaktisen tutkimustiedon perusteella konstruointiin hypoteettis-teoreettinen uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli, joka pyrkii vastaamaan modernien oppimis- ja opettamiskäsitysten asettamiin haasteisiin. Esiteltävä malli on ensisijaisesti tieto- ja prosessikeskeinen työtapa.

Konstruktivistinen oppimisteoria asettaa demonstraatio-opetukselle monia haasteita: opetus on ankkuroitava oppijan arkitodellisuuteen, tutkimusten mukaan nimittäin parhaiten opitaan ongelmasta, jotka heräävät tai onnistutaan herättämään oppijalle läheisellä ainealueella ja jotka hän itse ratkaisee. Oppijan omalla aktiivisuudella on keskeinen merkitys oppimisessa. Konstruktivistien oppimisen teorian asettamien haasteiden lisäksi on huomioitava demonstraatioissa käytettävän päättelyn suunta ja sallittava mahdollisuus intuitiivisille päätelmille. Uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli vastaa näihin haasteisiin, kun demonstraatio käsitetään aiempaa laajempaa menetelmällisenä kokonaisuutena ja oppimisprosessina.

Perinteisesti demonstraatio on mielletty vain kokeen näyttämiseksi ja havaintojen teoksi. Demonstraatioon valmistautuminen ja sitä seuraava pohdinta on jäänyt vähälle huomiolle. Uudessa mallissa huomioidaan konstruktivismin haasteet kiinnittämällä huomio oppijoiden ennakkokäsityksiin, heidän luonnontieteellisen ajattelunsa kehittymiseen ja kemian kokeelliseen luonteeseen.

Uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli rakentuu seuraavista vaiheista: orientaatio, hypoteesien teko, havainnointi, hypoteesien testaus, periaatteen määrittäminen, yleistäminen ja tulosten kokoaminen. Orientaatio vaiheessa opettaja esittää tarkasteltavaan ilmiöön liittyviä kysymyksiä, joiden tarkoituksena on demonstroitavan ilmiön ja sen kontekstin sitominen oppijan arkielämään. Seuraavaksi oppijoita rohkaistaan hypoteesien tekoon orientaatiovaiheessa heränneiden ajatusten pohjalta. Kolmannessa vaiheessa suoritetaan havainnointi ja hypoteesien testaus. Havaintojen pohjalta käydään opetuskeskustelu, jonka tavoitteena on vahvistaa tai kumota hypoteesi tai määrittellä esimerkiksi ilmiöön liittyvä käsite. Opetuskeskustelun jälkeen opiskelijoita rohkaistaan yleistysten tekemiseen ja tietojen soveltamiseen. Lopuksi opettaja kertaat hypoteesit ja havainnot sekä tekee yhteenvedon opetettavasta asiasta. Yhteenvedon tarkoitus on kohdentaa oppijoiden ajatukset siihen, mitä ilmiötä demonstraatiolla havainnollistettiin ja miten se liittyi opetettuun asiaan.

On loogista, että uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli muistuttaa luonnontieteellisen tiedonhankinnan mallia. Molempien päämäärä on uuden oppiminen. Lisäksi malli on syklinen luonnontieteellisen tiedonhankinnan mallin tapaan.

Toinen ongelma: *Miten uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli vaikuttaa opitun asian määrään?*

Opitun asian määrä liitetään tässä yhteydessä pääasiallisesti opiskelijoiden tekemiin havaintoihin ja niistä kertomiseen, propositionaaliseen logiikkaan opiskelijoiden esittämien väittämien tai määritelmien muodossa ja matemaattisiin algoritmeihin ongelmanratkaisustrategiana. Määrällinen tieto saattoi ilmetä myös opiskelijoiden vastauksissa fakta-tyyppisten väittämien ja määritelmien esittämisenä, tai siten, että opiskelija noudatti tai hyödynsi jonkintyyppistä ongelmanratkaisulogiikkaa oikeaan lopputulokseen pääsemiseksi. (Ks. luku 6.)

Demonstraatio vaikutti selvästi opitun asian määrään. Palamisilmiön tarkastelussa hypoteesina oli, että ryhmän 1 opiskelijat suoriutuisivat monivalintatehtävästä paremmin kuin ryhmän 2 opiskelijat, koska he olivat nähneet ilmiötä havainnollistavan demonstraation. Yli kaksi kolmasosaa (68 %) ryhmän 1 opiskelijoista valitsikin oikean vaihtoehdon rautavillan palamista koskevassa kysymyksessä, kun taas muissa ryhmissä oikeiden vastausten määrä oli 13 %-21 %. Kun kidevedellisen kuparisulfaatin reaktiot havainnollistettiin molemmille koeryhmille, ryhmien välillä ei ilmennyt selviä eroja tehtyjen havaintojen kokonaislukumäärässä. Sen sijaan sisällöllisiä painottumiseroja ilmeni. Ryhmässä 2 esimerkiksi esiintyi suhteellisesti enemmän sellaisia vastauksia, joissa opiskelija mainitsi kahden tai kolmen tekijän muuttuvan, kun taas valtaosa ryhmän 1 opiskelijoista mainitsi vain yhden tekijän muuttuvan. Ilmiö johtunee eroista demonstraation teknisessä toteutuksessa.

Opiskelijat hyödynsivät matemaattisia merkkejä sekä palamisilmiötä että kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioita selittäessään. Muutamissa tapauksissa opiskelijat kytkivät konkreetin molaarisen tason havainnon ja siihen liittyvän abstraktin molekulaarisen tason selityksen toisiinsa matemaattisin symbolein (esimerkiksi \rightarrow , $<$ ja $=$). Tämän ilmentänee demonstraatio-opetuksen tavoittelemaa johdonmukaisen ajattelutavan vahvistumista. Tutkimustulos ei kuitenkaan ole kiistaton, ja työtavan vaikutusmekanismin ja laajuuden selvittäminen edellyttää lisätutkimuksia.

Rautavillan palamisen symbolista esitystä analysoitaessa oletettiin, että osa opiskelijoista vastaa virheellisesti monivalintatehtävään ja/tai sen perusteluihin, vaikkakin osaa kirjoittaa ilmiötä kuvaavan reaktioyhtälön oikein. Hypoteesi osoittautui oikeaksi, mutta kokeiluopetusta ja ns. tavanomaista opetusta saaneiden opiskelijoiden välillä ei ollut tässä merkittäviä eroja. Osin tutkimustuloksia voidaan selittää ilmiöön liittyvillä virhekäsityksillä, mutta toisaalta havainto viittaa reaktioyhtälön ulkoa oppimiseen.

Uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli siis vaikuttaa positiivisesti opitun asian määrään lisäämällä havaintojen lukumäärää.

Kolmas ongelma: *Miten uudentyyppinen demonstraatio-opetuksen malli vaikuttaa opitun asian laatuun?*

Opitun asian laadulla viitataan tässä yhteydessä pääasiallisesti yksittäisten fakta-tyyppisten tietojen laajempaa hallintaa, eli siihen, miten yksittäiset tiedonpalaset kytkeytyvät toisiinsa ja muodostuvat laajemman tietorakenteen. Laadullinen osaaminen liittyi siten havaintojen selityksiin, väittämien tai määritelmien perusteltuun käyttöön ja suunnitelmalliseen matemaattisten algoritmien käyttöön. Opetuksen vaikutus opitun asia laatuun arvioitiin mm. niiden selitysten perusteella, joita opiskelijat esittivät havaitsemiensa luonnonilmiöiden syy-seuraussuhteista, joten osaaminen saattoi siten ilmetä esimerkiksi vastauksen merkityksen analyysinä. (Ks. luku 6.)

Seurattaessa yhden opiskelijan konstruktioprosessia kurssin alusta sen loppuun havaittiin, että demonstraation vaikutus palamisilmiöön liittyvien käsitteiden omaksumiseen oli ratkaiseva. Rautavillan palamista havainnollistava demonstraatio oli aktivoinut opiskelijan ajattelua ja samalla myös edistänyt ilmiön syvällisempää ymmärtämistä.

Rautavillan palamista havainnollistava demonstraatio esitettiin uuden mallin mukaisesti vain toiselle opetuskokeilussa olleista ryhmistä (ryhmä 1). Ryhmän 1 opiskelijoiden vastauksia analysoitaessa havaittiin, että ryhmän 1 opiskelijat kykenivät esittämään huomattavasti useammin ilmiön syy-seuraussuhteista vallitsevan tieteellisen käsityksen mukaisen perustelun kuin muut ryhmät. Kun kidevedellisen kuparisulfaatin reaktiot havainnollistettiin molemmissa koeryhmissä uuden mallin mukaisesti, ryhmien suoritustasossa tai vastausten laadussa ei juuri ilmennyt merkittäviä eroja. Avoimeksi jää kuitenkin se kysymys, missä määrin ns. perinteisellä menetelmällä toteutettu demonstraatio olisi vaikuttanut koe- tai vertailuryhmän oppimisen määrään ja laatuun. Tämän tutkimuksen resurssein ei tähän ollut mahdollisuutta vastata. Toisaalta, tutkimuksesta riippumatta yhden vertailuryhmän opettaja kuitenkin demonstroi rautavillan palamisen perinteisellä tavalla ja kiinnitti opiskelijoiden huomion ilmiössä tapahtuvaan massan kasvamiseen. Tämä vertailuryhmä kuitenkin menestyi muiden vertailuryhmien tasoisesti ja selvästi uutta mallia kokeillutta ryhmää heikommin. Lisäksi rautavillan palamista näkemättömän opetusryhmän ja eri vertailuryhmien suoritustaso oli hyvin samanlainen: esimerkiksi opettajan opetustavalla tai ilmiöön liittyvän teorian käsittelyn perusteellisuudella ei näyttänyt juurikaan olevan vaikutusta näiden ryhmien osaamiseen.

Kidevedellisen kuparisulfaatin reaktiot havainnollistettiin molemmissa koeryhmissä uudentyyppisen demonstraatio-opetusmallin mukaisesti. Enemmistö molempien ryhmien opiskelijoista kykeni muodostamaan peruskäsityksen palautuvan reaktion periaatteista. Noin kolmannes molempien ryhmien opiskelijoista kykeni selittämään veden irtoamisen prosessia

abstraktilla molekulaarisella tasolla, vaikkei opetuksessa esitetty molekulaarisen tason mallia. Opiskelijoiden vastausten perusteella konstruointiin hypoteettisia selitysmalleja, joiden mukaan opiskelijoiden käsitykset todettiin osin puutteellisiksi, mutta kehityskelpoisiksi. Esimerkiksi selkeitä virhekäsityksiin viittaavia selityksiä esiintyi hyvin vähän.

Opiskelijoiden todettiin kykenevän selittämään kideveden irtoamisprosessia abstraktilla molekulaarisella tasolla suhteellisesti useammin kuin päinvastaista veden liittymisen prosessia. Selitys tähän on se, että edellisessä olisi ennemminkin kyse aiemmin opitun käsityksen soveltamisesta, kun taas jälkimmäisessä uuden käsityksen muodostamisesta. Tämä todennäköisesti vaikutti opiskelijoiden vastausten laatuun.

Tutkimus osoitti selvästi myös sen, ettei virhekäsitysten muodostumisen mahdollisuutta voida estää edes niitä nimenomaan välttämään pyrkivällä työtavalla. Opiskelijat tulkitsevat havaintonsa helposti väärin ja työtapa saattaa jopa vahvistaa virhekäsityksiä. Opettajalta edellytetäänkin herkkyyttä opiskelijoiden käsitysten arvioinnissa.

Havainnot saivat tutkijan vakuuttumaan siitä, että uudentyyppinen demonstraatio-opetus auttaa opiskelijoita muodostamaan jäsenyneen mielikuvan ilmiöstä ja prosessista. Uusi malli auttaa opiskelijoita konkreettisten havaintojen tekemisessä ja niitä selittävien abstraktien käsitteiden omaksumisessa. Vaikutus näyttää olevan paljon tehokkaampi kuin ns. perinteisessä demonstraatio-opetuksessa. Kun vielä havaittiin se, etteivät parhaiten menestyneet opiskelijat olleet toistuvasti samoja, demonstraation vaikutusta oppimiseen voidaan pitää luotettavana.

Tutkimuksen aikana tehtiin myös kaksi uutta löytöä. Ensinnäkin opiskelijoiden käsitykset epäorgaanisen ja orgaanisen aineen palamisen yhtäläisyyksistä ja eroista havaittiin jäsentymättömiksi. Toiseksi kuparisulfaatin palamisilmiön tapauksessa opiskelijoiden vastauksista tunnistettiin alkellinen aineen transmutaatioon tukeutuva käsitys.

9.3 Johtopäätökset ja pedagogiset suositukset

9.3.1 Demonstraatio-vaikutusten yksilöllisyys

Tutkimukseen osallistuneet opettajat eivät onnistuneet toteuttamaan opetustaan täysin tutkimuksessa kehitetyn hypoteettis-teoreettisen demonstraatio-opetuksen mallin mukaisesti. He eivät ehtineet täysin omaksua uuden mallin mukaista työtapaa, joten toteutus oli yhdistelmä perinteistä ja uudentyyppistä demonstraatio-opetusta. Toisaalta uuden työtavan kaavamainen

toteuttaminen on harvoin mielekästä tai tarkoituksenmukaista, sillä opetustilanne on dynaaminen ja opetuskeskustelujen eteneminen on vaikeasti ennakoitavissa.

Uusi demonstraatio-opetuksen malli yhtyy joiltain osin *Prediction-Observation-Explanation* (White & Gunstone 1996, 44–64) ja *Demonstration-Exploration-Discussion* (Miller 1993) -malleihin. Malleja yhdistää keksivän oppimisen periaate. Uutta tässä tapauksessa on opiskelijan aikaisempien käsitysten kartoittamiseen ja opitun kertaamiseen liittyvien opetusvaiheiden painottuminen edellisiä selvemmin. Aikaisempien käsitysten kartoittamisen tärkeyttä voidaan perustella oppimisteorioilla, joiden mukaan opiskelijan käsitykset rakentuvat aikaisempien käsitysten varaan. Kertaamisen merkitys puolestaan korostuu siksi, että opiskelijoiden ajattelussa voi jäädä uudenlaisen demonstraatio-opetuksen jälkeenkin jäänteitä vaihtoehtoisista/aikaisemmista selitysmalleista, joiden poisoppiminen tulisi tapahtua viimeistään kertaamisen yhteydessä. Aina tämä ei välttämättä onnistu silloinkaan. Kertausvaihe myös vahvistaa jo opittuja asioita ja kiinnittää havainnot opiskelijan ajatteluun ja muistiin.

Uusi demonstraatio-opetuksen malli näyttää vaikuttavan oppimiseen eri tavoin sen mukaan, millaista luonnontieteellisen tiedonmuodostuksen prosessia opiskelija itse suosii. Esimerkiksi hypoteettis-teoreettista ajattelumallia suosiva opiskelija ei mieltänyt demonstraatioita kovin merkittäviksi osaksi omaa tiedonmuodostuksen prosessiaan, vaan hän koki sen lähinnä hyvänä lisänä opetukseen.

Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin mukainen opetus vaikuttaa sekä muistamiseen että sisältöjen oppimiseen. Tutkimuksen tulokset ovat siten ainakin osittain ristiriidassa Watsonin ym. (1995) tutkimuksen kanssa. Ristiriita voidaan selittää siten, että demonstraatio-opetuksessa on olennaista nimenomaan demonstraation toteutustapa eikä demonstraatioiden määrä. Näin tulkittuna tämän tutkimuksen tulokset vahvistavat Watsonin näkemystä siitä, ettei ole missään mielessä merkityksetöntä, miten kokeellista opetusta käytännössä toteutetaan.

9.3.2 Lukio-opetuksen kehittäminen demonstraation avulla

Tutkimuksessa oletettiin, että valtaosa opettajista käyttää demonstraatiota pääasiallisesti Trowbridgen (2000, 215–221) kuvaileman ns. perinteisen demonstraatio-opetuksen mallin tapaan. Kokeet olisivat siten lyhyitä ja pelkistettyjä eksperimenttejä eikä opetusprosessissa kartoitettaisi opiskelijoiden aikaisempia käsityksiä tai laadita hypoteeseja kokeiden tuloksista.

Tässä tutkimuksessa haluttiin luoda uusi, laajempi ja eheämpi kuva demonstraatiosta. Uudentyyppisen demonstraation on tarkoitus olla ensisijaisesti koko luokan yhteinen projekti ja

asiantuntijan ohjaama interventio luonnonilmiöiden maailmaan luokkatilanteessa. Opettaja toimii eräänlaisena ”eräoppaana” luontoon, jossa oppijoilla on vapaus tehdä havaintoja ja tulkintoja, mutta opettaja arvioi niitä kriittisesti ja tarvittaessa ohjaa opiskelijat takaisin ”oikealle polulle”.

Opettajan tulee siten hallita ilmiöön liittyvät luonnontieteelliset periaatteet, tuntea konstruktivistisen oppimisen periaatteet sekä kyetä yhdistämään nämä pedagogiseksi sisältötiedoksi. Tällöin opettaja kykenee orientoimaan opiskelijat havainnoimaan demonstraatiota, osaa valita oikeantyyppisen demonstraation ilmiötä havainnollistamaan, kykenee ohjaamaan oppimisprosessia ja osaa tehdä ilmiön ymmärtämisen kannalta olennaisia kysymyksiä. Tieteellisten käsitteiden omaksumisjärjestyksellä sekä opettajan ja opiskelijan välisellä dialogilla on ratkaiseva merkitys, kun yritetään rakentaa yhteys luonnontieteellisen ilmiön ja sen teoreettisten perusteluiden välille. Hallittu demonstraation valinta ja käyttö on parhaimmillaan tehokas keino siihen, että oppijan ja opettajan näkemykset kohtaavat.

Koska demonstraatio on vuorovaikutustilanne, demonstraation esittäjän on huomioitava opiskelijoiden ennakkokäsitysten merkitys heidän oppimiselleen. Havainnoitsija tulkitsee demonstraatiossa tapahtuvia muutoksia aikaisempien tietojensa perusteella ja pyrkii ymmärtämään tapahtumia niihin tukeutuen. Tästä syystä demonstraation esittäjän on selvitettävä itselleen, mitä hän demonstroi, miten hän aikoo demonstroida ja miksi hän on valinnut juuri tämän demonstraation ilmiön havainnollistamiseksi. Oppijan aikaisempien käsitysten selvittäminen helpottaa päätöksentekoa ja auttaa myös demonstraatiotyypin valintaa ja opetuksen organisointia.

Uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen malli siis tarjoaa opiskelijoille perinteiseen demonstraatio-opetukseen verrattuna entistä paremmat edellytykset kemiallisen tiedon sisällön, syntyvän ja ominaisuuksien ymmärtämiselle.

9.3.3 Opettajankoulutuksen kehittämistarpeet

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää monin tavoin opettajien perusopetuksessa ja työssä toimivien opettajien täydennyskoulutuksessa. Täydennyskoulutuksen haasteena ovat opettajan vuosien varrella omaksumat vakiintuneet työtavat. Uuden työtavan omaksuminen onnistuu parhaiten omakohtaisten kokemusten kautta, jolloin opettaja huomaa itse uudentyyppisen työtavan edut. Pelkkä työtavan etujen havaitseminen ei kuitenkaan aina riitä, joten työtavan implementoituminen jokapäiväiseksi toiminnaksi vaatii pidempikestoista täydennyskoulutusta. Näin opettajat joutuvat systemaattisesti arvioimaan uuden työtavan etuja suhteessa aikaisempiin kokemuksiinsa demonstraatio-opetuksesta.

Tässä tutkimuksessa kehitetty ja testattu työtapo voi monipuolistaa ja rikastuttaa opettajankoulutusta sekä luo uskoa demonstraatio-opetuksen järkevään ja perusteltuun käyttöön opetuksessa.

Tutkimus tuo uutta tietoa opiskelijoiden käsityksistä palamisilmiön ja palautuvan reaktion käsitteistä. Näiltä osin tutkimusta voidaan soveltaa opettajaksi opiskelevien koulutuksessa, opettajien kouluttajien koulutuksessa ja jo työssä toimivien opettajien koulutuksessa. Tietoa voidaan niin ikään hyödyntää monin tavoin kemian oppimisen laadun kohottamiseksi niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin. Tulosten raportointi myös artikkeleina ja seminaariesityksinä on siksi tärkeää. Tutkimuksessa pidetään tärkeänä tulosten nopeaa hyödyntämistä. Tämä on jo aloitetukin esittelemällä tutkimuksen tuloksia sekä opettajille ja opettajankouluttajille että erilaisissa seminaareissa ja konferensseissa.

9.3.4 Opetussuunnitelman uudistaminen

Luonnontieteen opetuksen työtapo voidaan ymmärtää tieksi, jota pitkin opettajan ja opiskelijoiden yhteinen työskentely etenee inhimillisen vuorovaikutuksen, luonnon kanssa tapahtuvan vuorovaikutuksen ja työskentelyyn liittyvän loogisen ajatteluprosessin keinoin kohti asetettuja tavoitteita (Erätuuli & Meisalo 1985, 82). Demonstroiminen on yksi luonnontieteen opetuksen monista työtavoista.

Kokeet ja mittaukset ovat keskeinen osa perehtymistä luonnontieteellisen tiedon syntytapaan perehtymistä ja kokeellista opetusta. Lukiokoulun työtavoiksi ovat vakiintuneet mm. historiallinen, induktiivinen, projektimainen ja itsenäisen työskentelyn työtapo (vrt. Erätuuli & Meisalo 1985; Sahlberg 1989a & b), mutta rinnalle on tuotu myös modernimpia työtapoja (vrt. Aksela & Juvonen 1999). Samalla kun opettajien työnkuva on muuttunut kateederi opettajasta kohti oppimisprosessin tukijaa, on opettajan työtapoja kohtaan osoitettu kasvavaa kiinnostusta.

Ei ole kuitenkaan itsestään selvää, millä metodilla kokeellista opetusta tulisi toteuttaa. Esimerkiksi lukion opetussuunnitelman perusteissa esitetty kokeellisen opetuksen määritelmä on tulkinnanvarainen (vrt. LOPS 1994, 81). Toisaalta opiskelijoiden tekemät kokeet voivat muodostua itsetarkoitukseksi, ja kokeellisuus saatetaan ymmärtää kirjaimellisesti vain kokeiden tekemiseksi (Hodson 1996a; ks. myös Hodson 1996b). Onkin aiheellista kysyä, onko painotuksen siirtyminen kohti opiskelijoiden suorittamia erityyppisiä laboratorioskokeita vaatinut suhteettomasti tilaa opettajajohtoiselta demonstraatio-opetukselta.

Konstruktivistinen oppiminen korostaa opiskelijan aktiivista tiedon hankintaa. Muun muassa kognitiivisilla ristiriidoilla pyritään saamaan aikaan oppimista edistävä prosessi.

Ristiriitoja pyritään herättämään esimerkiksi niillä alueilla, joilla opiskelijoilla tiedetään yleisesti olevan virhekäsitys tai naiivi empirinen maailmakuva. Usein tämä ilmenee opiskelijan vaikeutena nähdä yhteys luonnonilmiön ja sitä kuvaavan suureen välillä. Monet virhekäsitykset johtuvat juuri siitä, että yhteys on luotu joko intuition varassa tai oppimisen tuloksena virheellisesti.

Demonstraatio tarjoaa mahdollisuuden tarkkailla oppimisprosessia. Kognitiiviset ristiriidat voidaan tällöin aiheuttaa ja havaita helpommin kuin esimerkiksi opiskelijoiden itse suorittamissa laboratoriokokeissa. Oppilastyö on itsenäistä ja siten alttiimpi tilanteille, joissa oppiminen on kohtuuttoman suurelta osin opiskelijan omalla vastuulla. Tästä näkökulmasta uudentyyppinen opettajajohtoinen demonstraatio-opetuksen malli on hyvä vaihtoehto kemian opetuksessa.

Nykyisin kouluissa tehdään ehkä liikaakin oppilastöitä, ja samalla on hukattu jotain oleellista kokeellisen työskentelyn tarkoituksesta. Voidaan kriittisesti kysyä, haluammeko opiskelijoiden oppivan ymmärtämään luonnontieteitä vai halummeko opettaa heille mittaustekniikoita. Oppilastöillä saavutetaan parhaimmillaan laadukasta oppimista, mutta huonosti toteutettuna se on tuloksiltaan jopa luento-opetusta heikompaa. Pahimmillaan projektityyppisen oppilastyöskentelyn tuloksena saamme asiantuntijaopiskelijoita, joista yksi ryhmä tietää yhdestä alueesta paljon, mutta muista alueista ei juuri mitään.

Demonstraatio-opetus on jäänyt taka-alalle, kun kouluissa ollaan keskitytty yhä enenevässä määrin opiskelijakeskeisiin työtapoihin. Demonstraatio-opetusta on pidetty opettajakeskeisenä, vaikkei näin suinkaan tarvitse olla. Demonstraatio-opetus voi olla opettajajohtoista, mikä ei tarkoita samaa kuin opettajakeskeisyys. Parhaimmillaan opettajajohtoinen demonstraatio on erittäin opiskelijakeskeinen työtapo.

Kehitetty opetusmalli tarjoaa monia mahdollisuuksia kemian opetuksen kehittämiseksi. Mallin virheellinen soveltaminen voi kuitenkin johtaa siihen, että esimerkiksi ennakkokäsitysten selvittämistä ja kertauksen merkitystä aletaan väheksyä. Uhkana on työtavan muuntuminen perinteiseksi demonstraatio-opetuksiksi.

Uusi demonstraatio-opetuksen malli ei yksinään riitä luonnontieteellisen tiedonhankinnan muodoksi ja tiedonmuodostuksen tukijaksi. Yksipuolinen demonstraatio-opetuksen toteuttaminen johtaa vääjäämättä siihen, että opiskelijat kyllästyvät työtapaan ja pahimmillaan myös itse oppiaineeseen. Tämänsuuntaista kehitystä on pyrittävä käytännön opetustyössä aktiivisesti torjumaan, mitä auttaa luonnontieteen tiedonhankintatapojen monipuolinen käyttö.

Tutkimus antaa viitteitä siitä, ettei kehitetty opetusmalli saa automaattisesti aikaan käsityksen muuttumista tieteellisen selityksen mukaiseksi. Toisaalta työtapo voi myös lujittaa virhekäsityksiä. Nämä ongelmat ovat kuitenkin yhteisiä myös muille kokeellisen opetuksen

työtavoille. Uudentyyppisen demonstraatio-opetusmallin mahdollisuuteen vaikuttaa yksilön oppimisprosessiin on siis suhteuduttava realistisesti.

9.4 Tutkimuksen merkitys

Tutkimuksen tuloksista nousee esiin monia mahdollisuuksia vaikuttaa sekä käytännön opetustyöhön että teoreettiseen tiedonmuodostukseen. Opettajalle tutkimus tarjoaa uudentyyppisen työtavan, jolla on mahdollista päästä aikaisempaa parempiin kemian oppimistuloksiin. Akateemiselle tiedeyhteisölle tutkimus tuottaa uutta tietoa eräitä keskeisiä luonnonilmiöitä koskevien käsitysten muodostumisesta ja mahdollisuudesta vaikuttaa niihin opetuksen keinoin. Tutkimuksessa saatiin uutta tietoa opiskelijoiden käsityksistä palamisilmiöstä ja palautuvasta kemiallisesta reaktiosta. Tuloksia hyödyntämällä opiskelijoiden kemian tietämystä voidaan ohjata oikeaan suuntaan ja saada aikaan entistä laadukkaampaa oppimista. Tutkimuksen merkitys eri toimijoille yhdistyy opettajien koulutuksessa.

Uusi työtapa tarjoaa opettajille entistä kokonaisvaltaisemman ja eheämmän kuvan demonstraation käyttömahdollisuuksista luonnontieteen selittämisen mallina. Opettajan näkökulmasta tarkasteltuna työtapa toimii tieteellisen kemian tiedon ja opiskelijoiden arkitiedon välisenä siltana. Opettajat saavat käyttöönsä työvälineen, jolla he pystyvät aiempaa tehokkaammin muuntamaan tieteellistä tietoa koululaisille ymmärrettävään muotoon. Kehitetty työtapa vastaa modernin oppimiskäsityksen haasteisiin hyödyntämällä demonstraatiota perinteisestä poikkeavalla tavalla.

Tutkimus tuottaa myös uutta tietoa opiskelijoiden tiedonmuodostuksesta ja siihen sisältyvistä virhekäsityksistä. Epäorgaanisen ja orgaanisen aineen palamisen molaarisen tason tunnuspiirteiden sekoittaminen on indikaattori niin kouluopetuksen kuin aineenopettaja-koulutuksenkin puutteista. Kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioihin liittyvän virhekäsityksen, aineen transmutaation selitysmallin laajentaminen, on tärkeä löytö.

Tässä tutkimuksessa luonnontieteellinen ja kasvatustieteellinen paradigma integroitiin toimivaksi kokonaisuudeksi. Paradigmojen integrointi kemian opetuksen tutkimuksen kontekstissa on varsin uutta, joten tutkimus voi toimia mallina ja katalysaattorina muille, jotka haluavat uudistaa luonnontieteiden didaktiikkaa.

Vastaavia eri paradigmoja integroivia tutkimuksia on tehty vielä valitettavan vähän (vt. Näsäkkälä 1999), vaikka lähestymistapa avaa monia uusia mahdollisuuksia uudistaa

luonnontieteiden opetusta. Tämä saattaa johtua integratiivisen lähestymistavan vaativuudesta ja työläydestä.

Tutkimuksen tärkeimmät sovellusalueet tulevat olemaan kemian ja sen lähitieteiden opettajankoulutuksessa sekä opettamisen ja opiskelun kehittämisessä. Tämän tutkimuksen sovellukset ovat luonteva osa opettajaksi opiskelevien ammatillista kehittymistä. Ainedidaktinen tutkimus myös korostaa aineenopetuksen ja opettajakoulutuksen integraation tärkeyttä ja suorastaan edellyttää niiden entistä tiiviimpää yhteistyötä.

Tämäntyyppisten tutkimusten menestyksellinen soveltaminen kuitenkin edellyttää aineenopettajien sisällöllisen ja pedagogisen koulutuksen rakentamista toimivaksi kokonaisuudeksi. Tutkimuksen avulla pyritään siis myös käynnistämään keskustelua kemian opetuksen ja opettajankoulutuksen uudistamistarpeista ja -mahdollisuuksista.

9.5 Jatkotutkimusten tarve

Kemian vähäinen suosio kouluissa, sen vieroksuminen elämälle vieraana alueena, tyttöjen aktiivinen kemian opiskelun välttely ja uhkaava opettajapula ovat vakavia indikaattoreita kouluopetuksen ongelmista. Toisaalta kemian kouluopetuksen laatu on noussut entistä keskeisempään rooliin suomalaisen yhteiskunnan menestystekijänä. Teollisuuden ja talouden asiantuntijat korostavat, että tasokas koulutus on innovatiivisen huippuosaamisen, mutta myös teollisuuden perustehtävien riittävän hallinnan välttämätön edellytys. Menestyksemme määräytyy 2000-luvulla pitkälti siitä, millaiset taidot, valmiudet ja tietorakenteet uuden vuosituhaten peruskoulu, lukio ja ammatillinen koulutus kykenevät nuorille luomaan. Kemian ennustetaan olevan avainasemassa yhä useampien tulevaisuuden ammattien hallinnassa.

Tutkimuksen tuloksien toivotaan innoittavat uusiin tutkimuksiin myös palamisilmion ja palautuvaan reaktioon liittyvien käsitysten osalta. Olisi mielenkiintoista tarkastella esimerkiksi opiskelijoiden käsitysten muuttumista kurssin aikana tätä tutkimusta tarkemmin. Näin voitaisiin saada entistä eheämpi kuva muun muassa ilmiöiden opettamisen ja oppimisen hankaluuksista.

Demonstraatioon vaikutusta oppimiseen olisi myös syytä tutkia lähemmin. Käytännössä tämä tarkoittaisi laajempaa vertailututkimusta, jolloin voitaisiin saada erilaisiin kouluihin ja olosuhteisiin paremmin yleistettäviä tuloksia. Toisaalta olisi aiheellista tutkia uudentyyppisen demonstraatio-opetuksen mallin vaikutusta monien muidenkin kemiallisten ilmiöiden ymmärtämisen kontekstissa.

Myös kehitetyn opetusmenetelmän implementointitutkimukseen olisi syytä paneutua syvemmin. Olisi ensiarvoisen tärkeää tietää, millä ehdoilla ja edellytyksillä käytännön opetustyössä olevan opettaja kykenee sitoutumaan tai haluaa sitoutua uudentyyppisen työtavan käyttöön. Tällainen tutkimus mahdollistaisi samalla myös tässä tutkimuksessa kehitetyn uuden työtavan edelleen kehittämisen.

Lähdeluettelo

Abraham, M. R., Grzybowski, E., Renner, J. & Marek, E. 1992. Understandings and Misunderstandings of Eight Graders of Five Chemistry Concepts Found in Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 105–120.

Adey, P., Shayer, M & Yates, C. 1992. Thinking science: the curriculum materials of the cognitive acceleration through science education (CASE) project. Walton-on-Thames: Nelson.

Aebli, H. 1991. Opetuksen perusmuodot. (Suom. Unto Sinkkonen). Porvoo: WSOY.

Ahtee, M. & Sahlberg, P. 1989. Ajattelun kehittäminen. Teoksessa P. Sahlberg (toim.) *Luonnontieteiden opetuksen työtapoja 2*. Helsinki: Valtion painatuskeskus, 23–30

Ahtee, M. 1994. Yläasteen oppilaiden käsityksiä liukenemisesta ja palamisesta. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 136. Helsinki: Yliopistopaino.

Ahtee, M. 1998. Arkitieto ja tieteellinen tieto luonnontieteiden opetuksessa. *Kasvatus*, 29(4), 358–362.

Allo, M. 2000. Tiede on pulassa! *Yliopisto*, 48(12), 22–23.

Aksela, M. & Juvonen, R. 1999. *Kemian opetus tänään*. Opetushallitus. Moniste 27/99. Helsinki: Edita.

Andersson, B. 1986. Pupils' Explanations of Some Aspects of Chemical Reactions. *Science Education*, 70(5), 549–563.

- Andersson, B. 1990. Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12–16). *Studies in Science Education*, 18, 53–85.
- Andersson, B & Renström, L. 1979. Temperature och värme: Kokning. EKNA-rapport nr 3. Mölndal: Göteborgs Universitet..
- Andersson, B & Renström, L. 1981a. Materia: Några frågeställningar. EKNA-rapport nr 6. Mölndal: Göteborgs Universitet.
- Andersson, B & Renström, L. 1981b. Oxidation of steel-wool. EKNA-rapport nr 7. Göteborgs Universitet.
- Anon. 1995. Koulutuksen ja tutkimuksen tietostrategia. Helsinki: Opetusministeriö.
- Anon. 1998a. LUMA-projekti tiedottaa 1. Helsinki: Opetushallitus
- Anon. 1998b. LUMA-projekti tiedottaa 3: Toimintakatsaus. Helsinki: Opetushallitus.
- Anon. 1999. LUMA-projekti tiedottaa 5: Indikaattorit 2. Helsinki: Opetushallitus.
- Anon. 2000. LUMA-projekti tiedottaa 6: Indikaattorit 3. Helsinki: Opetushallitus.
- Aroluoma, I. 2001. "Tunnilla ei tympäse". LUMA-talkoot opetuskäytäntöiden muuttajina 1996 - 1999. Jyväskylä: Koulutuksen tutkimuslaitos.
- Atkins, P. W. & Jones, L. 1999. *Chemical principles: the quest for insight*. New York: Freeman, cop.
- Atkins, P. W. & de Paula, J. 2002. *Atkins' Physical Chemistry*, 7ed. Oxford: Oxford University Press.
- Atkinson, E. P. 1990. *Learning Scientific Knowledge in the Student Laboratory*. Teoksessa E. Hegarty-Hazel (toim.) *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. London: Routledge, 128.

- Baker, D. R. & Piburn, M. D. 1997. *Constructing Science in Middle and Secondary School Classrooms*. Boston: Allyn and Bacon.
- Barker, V. & Millar, R. 2000. Students' reasoning about basic chemical thermodynamisc and chemical bonding: what changes occur during a context-base post-15 chemistry course. *International Journal of Science Education*, 22 (11), 1171–1200.
- Barnard, A. K. 1965. *Theoretical Basis of Inorganic Chemistry*. New-York: McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Basili, P. A. 1989. Science Teaching: A Matter of Changing Minds. *Journal of College Science Teaching*, 18 (5), 324–326.
- Batt, R. H. 1980. A Piagetian Learning Cycle for Intrudoctury Chemical Kinetics. *Journal of Chemical education*, 57(9), 634–635.
- Batts, B., Fogliani, C. L & Townsend, I. T. 1977. Demonstrations simple kinetic theory of reversible reactions. *Education in Chemistry*, 14 (6), 182–184.
- Beasley, W. 1982. Teacher Demonstrations: The effect on Student Task Involvement. *Journal of Chemical Education* 59 (9), 789–790.
- Bennett, J. & Kennedy, D. 2001. Practical work at the upper high school level: the evaluation of a new model of assessment. *International Journal of Science Education* 23 (1), 97–110.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. & Silberstein, J. 1987. Students' visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24(4), 117–120.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. & Silberstein, J. 1988. Theories, principles and laws. *Education in Chemistry*, 25(3), 89–92.
- Bergquist, W & Heikkinen, H. 1990. Student ideat regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 70 (2), 140–144.

- Bernheim, R. A. 1976. Chemistry in 1876: the way it was. *Chemical & Engineering News*, 54(15), 38–51.
- Birk, J. P. & Lawson, A. E. 1999. The Persistence of the Candle-and-Cylinder Misconception. *Journal of Chemical Education*, 76 (7), 914–916.
- Bloom, B. S. (toim.) 1974. *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals (9. painos)*. New York: David McKay Company, Inc.
- Boo, H. K. 1996. Consistency and Inconsistency in A Level Students' Understandings of a Number of Chemical Reactions. *Research in Science and Technological Education*, 14(1), 55–66.
- Boo, H. K. 1998. Students' Understandings of Chemical Bonds and the Energetics of Chemical Reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569–581.
- BouJaoude, S. B. 1991. A Study of the Nature of Students' Understandings about the Concept of Burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 689–704.
- BouJaoude, S. 1994. Students' systematic errors when solving kinetic and chemical equilibrium problems. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, GA., April 15-19, 1993.
- Boyd, R. K. 1978. Some Common Oversimplifications in Teaching Chemical Kinetics. *Journal of Chemical Education*, 55(2), 84–89.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (toim.). 2000. *How people learn: brain, mind, experience, and school (expanded edition)*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Brożek, C. M. 1996. Simple and Attractive Demonstration of the Reversibility of Chemical Reactions. *Journal of Chemical Education*, 73(9), 837.
- Brown, T. M. & Dronsfield, A. T. 1991. The phlogiston theory revisited. *Education in Chemistry*, 28(2), 43–45.

- Butts, B & Smith, R. (1987) HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in science education*, 17, 192–201.
- Cervellati, R., Montuschi, A., Perugini, D., Grimmellini-Tomasini, N. & Balandi, B. P. 1982. Investigation of Secondary School Students' Understandings of the Mole Concept in Italy. *Journal of Chemical Education*, 59(10), 852–856.
- Cervellati, R, Conciallini, V., Innosta, G & Perugini, D. 1984. Chemical knowledge of Student entering a first-year university chemistry course in Italy. *European Journal of Science Education*, 6(3), 263–270.
- Champagne, A., Gunstone, R. & Klopfer, L. 1983. Naïve knowledge and science learning. *Research in Science and Technological Education*, 1, 173–123.
- Chang, R. 1991. *Chemistry* (4. painos). New York: McGraw-Hill.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D. & Leeuw, N. 1994. From things to process: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27–43.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. 1998. An Empirical Test of a Taxonomy of Responses To Anomalous Data in Science. *Journal of Research in Science Teaching* 35(6), 623–54.
- Clark, R. L., Clough, M. P. & Berg, C. A. 2000. Modifying Cookbook Labs. *Science Teacher*, 67(7), 40–43.
- Clermont, C. P., Borko, H. & Krajcik, J. S. 1994. Comparative Study of the Pedagogical Content Knowledge of Experienced and Novice Chemical Demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching* 31(4), 419–441.
- Clough, E. E. & Driver, R. A Study of Consistency in the Use of Students' Conceptual Frameworks Across Different Task Contexts. *Science Education*, 70(4), 473–496.
- Coffey, A. & Atkinson, P. 1996. Making sense of qualitative data: complementary research strategies. Thousand Oaks: Sage, 26–53.

Coll, R. K. & Taylor, N. 2001. Alternative Conceptions of Chemical Bonding Held by Upper Secondary and Tertiary Students. *Research in Science and Technological Education*, 19(2), 171–191.

Creswell, J. W. 1994. *Research Design: qualitative & quantitative approaches*. Thousand Oaks: Sage.

Dagher, Z. R. 1994. Does the Use of Analogies Contribute to Conceptual Change? *Science Education*, 78(6), 601–614.

Domin, D. S. 1999. A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543–547.

Dreyfus, A., Jungwirth, E. & Eliovitch, R. 1990. Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change: Some Implications, Difficulties, and Problems. *Science Education*, 74(5), 555–569.

van Driel, J. H., de Vos, W. & Verloop, N. 1998. Relating Students' Reasoning To the History of Science: The Case of Chemical Equilibrium. *Research in Science Education*, 28(2), 187–198.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. & Scott, P. 1994. Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5–12.

Driver, R. & Ericson, G. 1983. Theories in action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, 37–60.

Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. 1985. *Children's Ideas and the Learning of Science*. Teoksessa R. Driver, E. Guesne, E. & A. Tiberghien (toim.) *Childrens' ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press, 1–9.

Duit, R., & Kesidou, S. 1988. Students' understanding of basic ideas of the second law of thermodynamics. *Research in Science Education*, 18, 186–195.

Duit, R & Treagust, D. F. 1998. Learning in Science - from Behaviorism Towards Social Constructivism and Beyond. Teoksessa B. J. Frasier & K. G. Tobin (toim.) International handbook of Science Education. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 3–25.

Eisen, Y. & Stavy, R. 1989. Development of a New Science Study Unit Following Research on Students' Understandings about Photosynthesis: A Case Study. Teoksessa P. Adley, J. Bliss, J. Head & M. Shayer (toim.) Adolescent Development and School Science. New York: The Falmer Press, 295–302.

Enquist, K. 2000 Fysiikan maailmanselitys. Tiedepolitiikka, 25(1), 15–20.

Erätuuli, M. & Meisalo, V. 1985. Fysiikan ja kemian didaktiikka. Helsinki: Otava.

Eskola, J. & Suoranta, J. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Vastapaino.

Eysenck, M. W. & Keane, M. T. 1996. Cognitive Psychology: A Student's Handbook (3rd edition). Hove: Lawrence Erlbaum Associates, cop.

Fontana, A. & Frey, J. H. 1994. Interviewing: The Art of Science. Teoksessa N. K. Denzin ja Y. S. Lincoln (toim.) Handbook of Qualitative Research. Thousand Oaks: Sage, 361–376.

Gabel, D. 1998. The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching. Teoksessa B. J. Frasier & K. G. Tobin (toim.) International Handbook of Science Education. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 233–248.

Gabel, D. L., Samuel, K. V. & Hunn, D. 1987. Understanding the Particulate Nature of Matter. Journal of Chemical Education, 64(8), 695–697.

Garnett, P. J. & Tobin, K. 1988. Teaching for understanding: exemplary practice in high school chemistry. Journal of Research in Science Teaching, 26(1), 1–14.

Gilbert, J., Osborne, R. & Fensham, P. 1982. Childrens' science and it's consequences for teaching. Science Education, 66(4), 623–633.

- Gilbert, J. & Watts, M. 1983. Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in a Science Education. *Studies in Science Education*, 10, 61–98.
- Gillespie, R. J. 1997. The Great Ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 862–864.
- Gillespie, R. J., Eaton, R. D., Humphreys, D. A. & Robinson, E. A. 1994. *Atoms, molecules, and reactions: an introduction to chemistry*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, cop.
- von Glaserfeld, E. 1998. Cognition, Construction of knowledge, and Teaching. Teoksessa M. R. Matthews (toim.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 11–30.
- Gott, R & Duggan, S. 1996. Practical work: its role in the Understandings of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791–806.
- Griffits, A. K. & Barry, M. 1991. Secondary School Students' Understanding of the Nature of Science. *Research in Science Education*, 21, 141–150.
- Griffits, A. K. & Grant, B. A. C. 1985. High school students' understanding of food webs: Identification of a learning hierarchy and related misconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 421–436.
- Griffiths, A. K. & Preston, K. R. 1992. Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611–628.
- Gunstone, R. F. 1994. The Importance of Specific Science content in the Enhancement of Metacognition. Teoksessa P. J. Fensham, R. F. Gunstone & R. T. White (toim.) *The Content of Science*. London: The Falmer Press, 131–146.
- Gussarsky, E. & Gorodetsky, M. 1990. On the Concept "Chemical Equilibrium": The Associative Framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 197–204.

- Haaparanta, L. & Niiniluoto, I. 1990. Johdatus tieteelliseen ajatteluun. Helsinki: Helsingin yliopisto.
- Haapasalo, L. 1994. Oppiminen, tieto & ongelmanratkaisu. Vaajakoski: Medusa.
- Hackling, M. W. & Garnet, P. J. 1985. Misconceptions in chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7(2), 205–214.
- Hammersley, M. 1993. On the teacher as researcher. *Educational Action Research*, 1, 425–445.
- Hashweh, M. 1988. Descriptive studies of students' conceptions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 121–134.
- Hesse, J. J., III & Anderson, C. W. 1992. Students' Conceptions of Chemical Change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277–299.
- Hewson, P. W., Beeth, M. E. & Thorley, N. R. 1998. Teaching for Conceptual Change. Teoksessa B. J. Fraser & K. G. Tobin (toim.) *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 199–218.
- Hewson, P. W. & Hewson, M. G. A. B. 1992. The status of students' conceptions. Teoksessa R. Duit, F. Goldberg & H. Neidderer (toim.) *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an International Workshop at the University of Bremen, March 4.-8., 1991*, 59–73.
- Hirsjärvi, S. ym. 1998. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Hodson, D. 1996a. Practical work in school science: exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, 18(7), 755–760.
- Hodson, D. 1996b. Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115–135.
- Hodson, D. 1998. Mini-Special Issue: Taking practical work beyond the laboratory. *International Journal of Science Education*, 20(6), 629–632.

- Hodson, D. & Hodson, J. 1998. From constructivism to social constructivism: a Vygotskian perspective on teaching and learning science. *School Science Review*, 79(289), 33–41.
- Holtzclaw, H. F. Jr, Robinson, W. R. & Odom, J. D. 1991. *General Chemistry*. Lexington: D. C. Heath and Company.
- Huddle, P. A. & Pillay, A. E. 1996. An In-Depth Study of Misconceptions in Stoichiometry and Chemical Equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 65–77.
- Hudson, J. 1995. *Suurin tiede: kemian historia*. (Suom. Kimmo Pietiläinen.) Helsinki: Art House.
- Huttunen, R., Kakkori, L. & Heikkinen, H. L. T. 1999. Toiminta, tutkimus ja totuus. Teoksessa, H. L. T. Heikkinen, R. Huttunen & P. Moilanen (toim.) *Siinä tutkija missä tekijä: Toimintatutkimuksen perusteita ja näköaloja*. Jyväskylä: Atena, 111–133.
- Irvin, A. 1997. Theories of burning: a case study using historical perspective. *School Science Review*, 78(285), 31–38
- Janesick, V. J. 1994. The Dance of Qualitative Research Design: Metaphor, Methodolatry, and Meaning. Teoksessa N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (toim.) *Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks: Sage, 214–215.
- Jensen, W. B. 1998. Logic, History, and the Chemistry Textbook: Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75(6), 679–687.
- Jóna, E. & Šramko, T. 1976. Heterogeneous reactions of solid nickel(II) complexes, XII: Problems in correlating the structures and the stepwise thermal decomposition reactions of coordination compounds. *Journal of Thermal Analysis*, 12(1), 91–95.
- Johnstone, A. H. 1983. Facts, Findings, and Consequences. *Journal of Chemical Education*, 60(11), 968–971.
- Johnstone, A. H. 1991. Why Is Science Difficult to Learn? Things Are Seldom What They Seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83.

- Johnstone, A. H. 1997. Chemistry teaching - Science or Alchemy? *Journal of Chemical Education*, 60 (11), 968–971.
- De Jong, O., Ahtee, M. Goodwin, A., Hatzinikita, V. & Koulaidis, V. 1999. An International Study of Prospective Teachers' Initial Teaching Conceptions and Concerns: The Case of Teaching "Combustion.". *European Journal of Teacher Education*, 22 (1), 45–59.
- Joyce, B. & Weil, M. 1986. *Models of Teaching* (3rd edition). Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 40–54.
- Järvilehto, T. 1994. *Ihminen ja ihmisen ympäristö: systeemisen psykologian perusteet*. Oulu: Pohjoinen.
- Kansanen, P. 1991. Opettajakeskeisyyden dilemma. *Kasvatus*, 22(1), 7–15.
- King, E. L. 1986. The Rate Laws for Reversible Reactions. *Journal of Chemical Education*, 63(1), 21–24
- Krajcik, J. S. 1991. Developing Students' Understandings of Chemical Concepts. Teoksessa S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (toim.) *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 117–147.
- Krnel, D. & Glazar, S. 2001. "Experiment with a Candle" without a Candle. *Journal of Chemical Education*, 78(7), 914.
- Kuhn, T. S. 1970. *The structure of scientific revolutions* (2ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Kupari, P. 1999. *Laskuharjoittelusta ongelmanratkaisuun. Matematiikan opettajien matematiikkauskomukset opetuksen muovaajina*. Jyväskylän yliopisto. Koulutuksen tutkimuslaitoksen tutkimuksia 7. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino.
- Kurki-Suonio, K., Kervinen, M. & Korpela, R. 1984. *Kvantti: fysiikan laaja oppimäärä (osa 3a)*. Espoo: Weilin + Göös.

- Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994. Fysiikan merkitykset ja rakenteet. Helsinki: Limes ry.
- Kurki-Suonio, K. 2000. Modernin fysiikan perushahmojen synty. *Dimensio*, 64(2), 32–26.
- Kyyrönen, L. 1999. Demonstraation ja sokraattisen dialogin yhdistäminen lukion kemian opetuksessa. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 199. Helsinki: Hakapaino.
- Lampiselkä, J., Nevanpää, T., Hirvonen, P. & Lehtelä, P.-L. 2001. Opetuksen tutkimusta kesäkoulussa. *Dimensio*, 65(4), 30–33.
- Lampiselkä, J. 2002. Demonstraatio lukion kemian opetuksessa. Teoksessa V. Meisalo (toim.) *Aineenopettajakoulutuksen vaihtoehdot ja tutkimus 2002. Ainedidaktiikan symposiumi*. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 241. Helsinki: Hakapaino, 325–343
- Langfelderová, Linkešová, Serátor, M. & Gazo, J. 1979. On the relationship between the structures of copper(II) complexes and their chemical transformations. I. Stoichiometry of the thermal decomposition of copper(II)sulfate pentahydrate and the structures of the intermediates formed. *Journal of Thermal Analysis*, 17(1), 107–114.
- Lavonen, J. 1996. Fysiikan opetuksen kokeellisuus ja mittausautomaatio. Helsingin yliopisto. Fysiikan laitos. Report Series in Physics HU-P-D64. Helsinki: Edita.
- Lavonen, J. & Meisalo, V. 2003a. Oppilaiden ennakkokäsitykset. Haettu 25.8.2003 Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitoksen www-sivulta:
<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/ennakko/main.htm>
- Lavonen, J. & Meisalo, V. 2003b. Havaitseminen ja mittaaminen. Haettu 25.8.2003 Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitoksen www-sivulta:
<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/havaits/>
- Lawson, A. E. 1989. Research on advanced reasoning, concept acquisition and a theory of science instruction. Teoksessa P. Adey (toim.) *Adolescent development and school science*. London: The Falmer Press, 11–36.

- Lee, K.-W. L. 1999a. Particulate Representation of a Chemical Reaction Mechanism. *Research in Science Education*, 29(3), 401–415.
- Lee, K.-W. L. 1999b. A Comparison of University Lecturers' and Pre-service Teachers' Understandings of a Chemical Reaction at the Particulate Level. *Journal of Chemical Education*, 76(7), 1008–1012.
- Leino, A. L. & Leino, J. 1990. *Oppimistyö: teoriaa ja käytäntöä*. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Leino, R. 2000. Nobelistiopettajan terveiset: Perustutkimus on kannattava investointi. *Tekniikka ja Talous*, 40(23), 22.
- Levävaara, H. 1997. Opettajan ja oppilaan käsitysten kohtaaminen: avoin tutkimus peruskoulun valo-opin opetuksessa. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 174. Helsinki: Yliopistopaino.
- LOPS 1994. Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Matthews, M. R (toim.). 1998. *Constructivism in science education: a philosophical examination*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers
- Meheut, M., Saltiel, E. & Tiberghien, A. 1985. Pupils' (11–12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83–93.
- Meisalo, V. & Lavonen, J. 1994. *Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmassa: Teoriasta käytäntöön opetuksen uudistamiseksi*. Helsinki: Opetushallitus.
- Miller, T. L. 1993. Demonstration-Exploration-Discussion: Teaching Chemistry with Discovery and Creativity. *Journal of Chemical Education*, 70 (3), 187–189.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. W. & Novak, J. D. 2000. *Assessing science understanding: a human constructivist view*. San Diego: Academic Press.
- Mistrell, M. 1982. Explainin "et ust" condition of an object. *The Physics Teacher*, 10, 10–14.

- Morse, J. M. 1994. Design Funded Qualitative Research. Teoksessa N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (toim.) Handbook of Qualitative Research. Thousand Oaks: Sage, 230.
- Nakleh, M. B. & Krajcik, J. S. 1994. Influence of Levels of Information as Presented by Different Technologies on Students' Understanding on Acids, Bases and pH Concepts. Journal of Research in Science Teaching, 31(10), 1077–1096
- Neisser, U. 1976. Cognition and reality: principles and implications of cognitive psychology. San Francisco: W. H. Freeman & co.
- Niaz, M. 1995. Cognitive Conflict as a Teaching Strategy in Solving Chemistry Problems: A Dialectic-Constructivist Perspective. Journal of Research in Science Teaching, 32(9), 959–970.
- Nicoll, G. 2001. A Report of Undergraduates' Bonding Misconceptions. International Journal of Science Education, 23(7), 707–730 .
- Nielsen, H. & Thomsen, P. V. 1985. Physics in upper secondary schools in Denmark. European Journal of Science Education, 7(1), 95–106.
- Novick, S. & Nussbaum, J. 1981. Pupils' Understandings of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study. Science Education, 65(2), 187–196.
- Nurrenbern, S. C. & Pickering, M. 1987. Concept Learning versus Problem Solving: Is There a Difference? Journal of Chemical Education, 64 (6), 508–510.
- Nussbaum, J. 1985. The particulate nature of matter in the gaseous phase. Teoksessa R. Driver, E Guesne ja A. Tiberghien (toim.) Children's ideas in science. Milton Keynes: Open University Press, 124–144.
- Näsäkkälä, E. 1999. Introducing simulation models into chemistry classrooms: A Study in a Finnish Secondary School with an International Baccalaureate Section. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 201. Helsinki: Hakapaino.
- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I. & McGillicuddy, K. Explaining science in the classroom. Buckingham: Open University Press.

Ojala, J. 1997. Kirjoittamaton kirja, kirjoitettu kirja ja luonnonkirja : planetaariset ilmiöt teksteinä ja kuvina peruskoulun ja lukion oppikirjoissa. Jyväskylän yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Väitöskirja.

Oldroyd, D. R. 1972. Quantitative aspects of the phlogiston theory. *School Science Review*, 53, 696–704.

Osborne, R. & Cosgrove, M. 1983. Common misconceptions among college science student. *Journal of Research in College Science Teaching*, 20, 825–830.

Osborne, R. & Freyberg, P. 1985. *Learning in science: the implications of children's science*. Birkenhead: Heinemann.

Palmer, D. 1993. How consistently do Student use their alternative frameworks? *Research in Science Education*, 23, 228–235.

Palmer, D. H. 2001. Investigating the Relationship between Students' Multiple Conceptions of Action and Reaction in Cases of Static Equilibrium. *Research in Science and Technological Education*, 19(2), 193–204.

Parkash, B. & Kumar, A. 1999. Chemical kinetics illustrated by an improvised experiment. *School Science Review*, 80 (292), 114–117.

Palmer, B & Treagust, D. F. 1996. Physical and Chemical Change in Textbooks: An Initial View. *Research in Science Education*, 26(1), 129–140.

Patton, M. Q. 1990. *Qualitative evaluation and research methods*. Newbury Park: Sage.

Pauling, L. 1953. *General Chemistry: An Introduction to Descriptive Chemistry and Modern Chemical Theory*. San Francisco: W. H. Freeman & co..

Pfundt, H. 1981. The Atom - The Final Link in the Division Process or the First Building Block? *Cimica Didactica*, 7, 75–94.

- Pfundt, H. 1982. Pre-Instructional Conceptions about Transformations of Substances. *Chimica Didactica*, 8, 1–25.
- Peterson, R. F. & Treagust, D. F. 1989. Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 301–314.
- Piaget, J. 1977. *The development of thought: Equilibration of cognitive structures*. (Translated by A. Rosin). Oxford: Blackwell.
- Pilbrow, J. R. 1990. *Transition ion electron paramagnetic resonance*. Oxford: Clarendon Press.
- POPS 1994. *Lukion opetussuunnitelman perusteet*. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. 1982. Accommodation of a Scientific Conception: Towards a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Prawatt, P. S. 1996. Constructivism, modern and postmodern. *Educational Psychologist*, 31(3/4), 215–225.
- Prieto, T. Watson, J. R. & Dillon, J. S. 1992. Pupils' Understanding of Combustion. *Research in Science Education*, 22, 331–340.
- Quílez-Pardo, J. & Solaz-Porolés, J. J. 1995. Students' and Teachers' Misapplication of Le Chatelier's Principle: Implications for the Teaching of Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(9), 939–957.
- Rahayu, S. & Tytler, R. 1999. Progression in Primary School Children's Conceptions of Burning: Toward an Understanding of the Concept of Substance. *Research in Science Education*, 29(3), 295–312.
- Ramsden, R. S. 1988. *Studying Learning: Improving Teaching*. Teoksessa P. Ramsden (toim.) *Improving Learning: New Perspectives*. London: Kogan Page, 13–31.

- Rayner-Canham, G. 1996. Descriptive inorganic chemistry. New York: Freeman.
- Remy, H. 1956. Treatise on Inorganic Chemistry (volume II). (Kään. J. S. Andersson.) Amsterdam: Elsevier Publishing Company.
- Rickey, D. & Stacy, A. M. 2000. The Role of Metacognition in Learning Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 7(77), 915–920.
- Riedel, M. (toim.). 2000. Book of Abstracts. 16th International conference on chemical education, Budapest.
- Roadruck, M. D. 1993. Chemical demonstrations. *Journal of Chemical Education*, 70(12), 1025–1028.
- Rodríguez, E. & Vicente, M. A. 2002. A Copper-Sulfate-Based Inorganic Chemistry Laboratory for first-year University Student That Teaches Basic Operations and Concepts. *Journal of Chemical Education*, 79(4), 486–488.
- Roth, W.-M., Campbell, J. M., Lucas, K. B. & Boutonne, S. Why May Students Fail to Learn from Demonstrations? A Social Perspective on Learning Physics. *Journal of Research in Science teaching*, 34(5), 509–533.
- Ross, K. 1993. There is no energy in food and fuels - but they do have fuel value. *School Science Review*, 75, 39–47.
- Russell, J. B. 1992. General chemistry. New York: McGraw-Hill.
- Sahlberg, P (toim.) 1989a. Luonnontieteiden opetuksen työtapa 1. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Sahlberg, P (toim.) 1989b. Luonnontieteiden opetuksen työtapa 2. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Sanger, M. J. 2000. Using Particulate Drawing to Determine and Improve Students' Conception of Pure Substance and Mixtures. *Journal of Chemical Education*, 77(6), 762–766.

- Schollum, B. W. 1981. Chemical change. Working paper No. 27. Learning in Science Project. Hamilton: University of Waikato.
- Scott, P. H., Asoko, H. M. & Driver, R. 1991. Teaching for Conceptual Change: A Review of Strategies. Teoksessa R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (toim.) Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Kiel: IPN at the University of Kiel, 310–329.
- Seinälä K. 1987. Kokeellis-induktiivisen menetelmän toimivuus lukion ensimmäisen luokan fysiikan opetuksessa: Piaget'n teoriaan perustuva tutkimus. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 47. Helsinki: Yliopistopaino
- Selwood, P. W. 1965. Chemistry. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Shepherd, D. L. & Renner, J. W. 1982. Student Understandings and Misunderstandings of States of Matter and Density Changes. *School Science and Mathematics*, 82(8), 650–665.
- Shriver, D. F., Atkins, P. W. & Langford, C. H. 1994. Inorganic Chemistry. Oxford: Oxford University Press.
- Silber, H. B. 1972. The Stoichiometry of Hydrated Copper Sulfate: A general chemistry laboratory experiment. *Journal of Chemical Education*, 49(9), 586.
- Silberberg, M. 1996. Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change. St. Louis: Mosby.
- Silberman, R. G. 1983. A General Chemistry Demonstration: Student Observations and Explanations. *Journal of Chemical Education*, 60(11), 996–997.
- Solomon, J. 1984. Prompts, cues and discrimination: The utilization of two separate knowledge systems. *European Journal of Science Education*, 6(3), 227–284.
- Solomon, J. 1993. The social construction of children's scientific knowledge. Teoksessa P. J. Black & A. M. Lucas (toim.) Children's informal ideas in science. London: Routledge, 85–101.
- Solomon, J. 1996. Large-Scale Exploration of Pupils' Understanding of the Nature of Science. *Science Education*, 80(5), 493–508.

- Solomon, J., Black, P., Oldham, V. & Stuart, H. 1985. The pupils' view of electricity. *European Journal of Science Education*, 7(3), 281–294.
- Spencer, J. N. 1999. New Directions in Teaching Chemistry: A Philosophical and Pedagogical Basis. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 566–569.
- Stavidrou, H. & Solomonidou, C. 1989. Physical phenomena - chemical phenomena: do Student make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11(1), 83–92.
- Stavy, R. & Berkovitz, B. 1980. Cognitive Conflict as a Basis for Teaching Quantitative Aspects of the Concept of Temperature. *Science Education*, 64(5), 679–692.
- Stavy, R. 1991. Using Analogy to Overcome Misconceptions about Conservation of Matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 305–313.
- Steinfeld, J. I., Francisco, J. S. & Hase, W. L. 1999. *Chemical kinetics and dynamics*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Stylianidou, F. & Boohan, R. 1998. Understandings Why Things Happen: Case-Studies of Pupils Using an Abstract Picture Language to Represent the Nature of Changes. *Research in Science Education*, 28(4), 447–462.
- Swain, J, Monk, M. & Johnson, S. 1999. A comparative study of attitudes to the aims of practical work in science education in Egypt, Korea and the UK. *International Journal of Science Education* 21(12), 1311–1324.
- Syrjälä, L., Ahonen, S., Syrjäläinen, E. & Saari, S. 1994. *Laadullisen tutkimuksen työtapoja*. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Taba, H. 1967. *Teachers' handbook for elementary social studies*. Palo Alto: Addison-Wesley Publishing Company.
- Taber, K. S. (1994). Misunderstanding the ionic bond. *Education in chemistry*, 31(4), 100–103.

- Taylor, C. 1995. *The Art and Science of Lecture Demonstration*. Bristol: Institute of Physics Publishing.
- Thomas, P. L. & Schwenz, R. W. 1998. College Physical Chemistry Students' Conceptions of Equilibrium and Fundamental Thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1151–1160.
- Tommila, E. 1965. *Fysikaalinen kemia* (3. painos). Helsinki: Otava.
- Trowbridge, L. W., Bybee, R. W. & Carlson Powel, J. 2000. *Teaching secondary school science: strategies for developing scientific literacy* (7th ed.). Upper Saddle River: Merrill.
- Tynjälä, P. 1999. *Oppiminen tiedon rakentamisena: konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita*. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Uusikylä, K. 1979. *Miten kuvaan opetustapahtumaa*. Helsinki: Gaudeamus
- Varghese, J. N. & Maslen, E. N. 1985. Electron Density in Non-Ideal Metal Complexes. I. Copper Sulphate Pentahydrate. *Acta crystallographica, Section B: Structural Science*, B41(3), 184–190.
- Viennot, L. 1979. Spontaneous reasoning in elementary mechanics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 203–221.
- Viiri, L. 2000. Vuorovesi-ilmiön selityksen opetuksellinen konstruktio. *Kasvatustieteellisiä julkaisuja* N:o 59. Väitöskirja. Joensuu: Joensuun yliopistopaino.
- Vitz, E. 2000. Paradoxes, Puzzles, and Pitfalls of Incomplete Combustion Demonstrations. *Journal of Chemical Education*, 77(8), 1011–1013.
- Volk, L., Richardson, W., Lau, K. H., Hall, M & Lin, S. H. 1977. Steady State and Equilibrium Approximations in Reaction Kinetics. *Journal of Chemical Education*, 54(2), 95–97
- de Vos, W. & Verdonk, A. H. 1986. A new road to reactions. *Journal of Chemical Education*, 63(11), 972–974.

- Vosniadou, S. 1994. Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69.
- Vygotsky, L. S. 1982. *Ajattelu ja kieli*. (Suom. Helkama, K. & Koski-Jännes, A.). Espoo: Amer-yhtymä Oy Weilin+Göös kirjapaino.
- Watson, R. & Dillon, J. 1996. Progression in Pupils' Understandings of Combustion. Teoksessa G. Welford, J. Osborne & P. Scott (toim.) *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes*. London: The Falmer Press, 243–253.
- Watson, R., Prieto, T. & Dillon, J. S. 1995. The Effect of Practical Work on Students' Understandings of Combustion. *Journal of Research in Science Teaching* 32 (5), 487–502.
- Watson, R., Prieto, T. & Dillon, J. S. 1997. Consistency of Students' Explanations about Combustion. *Science Education*, 81, 425–444.
- Watts, M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18(5), 213–216.
- Weade, G. & Evertson, C. M. 1991. On What Can Be Learned By Observing Teaching. *Theory Into Practice*, 30 (1), 36–45.
- Wheeler, A. E. & Kass, H. 1978. Student misconceptions in Chemical Equilibrium. *Science Education*, 62 (2), 223–232.
- Wellington, J. 1989. Introduction: the book and its contents. Teoksessa J. Wellington (toim.) *Skills and processes in science education: A critical analysis*. London: Routledge, 5–20.
- White, R. T. 1989. *Learning Science*. Oxford: Blackwell.
- White, R. T. 1996. The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, 18(7), 761–774.
- White, R. & Gunstone, R. 1996. *Probing Understandings*. London: The Falmer Press.

von Wright, J. 1992. Oppimiskäsitysten historiaa ja pedagogisia seurauksia. Helsinki: Painatuskeskus.

Yarroch, W. L. 1985. Student Understandings of Chemical Equation Balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 449–459.

Zielinski, T. J. 1995. Promoting Higher-Order Thinking Skills: Uses of Mathcad and Classical Chemical Kinetics To Foster Student Development. *Journal of Chemical Education*, 72(7), 631–638.

Zoller, U. 1999. Scaling-Up of Higher-Order Cognitive Skills-Oriented College Chemistry Teaching: An Action-Oriented Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 583–596.

Zoller, U. & Tsapalis, G. 1997. Higher and Lower-Order Cognitive Skills: The Case of Chemistry. *Research in Science Education*, 27(1), 117–130.

Zumdahl, S. S. 1993. *Chemistry: Instructor's Edition*. Lexington: D. C. Heath and Company.

Liitteet

Tutkimuksessa käytetty kognitiivinen testi (lyhennetty versio)

Lue tehtävät huolellisesti ja vastaa niin hyvin kuin osaat

Kurssin lopussa suoritetaan haastatteluja. Jos ole halukas osallistumaan haastatteluihin, merkitse rasti oheiseen ruutuun

Koulun nimi:

Nimi

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4. Selitä, mitä tarkoittaa ilmaisu *'kemiallisessa reaktiossa aine muuttuu toiseksi aineeksi'* ?

5. Mitä on palaminen?

KIITOS VASTAAMISESTA!

Tutkimuksessa käytetty puolistrukturoitu kyselylomake (tiivistetty versio)

Nimesi

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Koulun nimi

Kurssi on edennyt noin puoleen väliin. Sinulta halutaan tiedustella opetuksen selvyyttä ja oppimisesi edistymistä. Opettaja on mahdollisuuksien mukaan käyttänyt opetuksessaan esim. laboratoriotöitä opetuskyselyjä, ryhmätöitä, demonstraatioita tai pitkäkestoista luonnontutkimustehtävää.*

Kerro muutamain virkkein niistä ajatuksista, jota saamasi opetus on sinussa herättänyt. Pyri vastaamaan ainakin seuraaviin aihealueisiin.

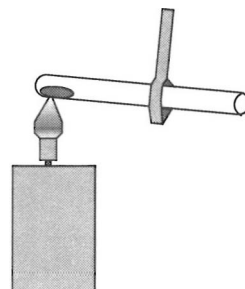
1. Millaista on ollut saamasi opetus? Onko siinä ollut mahdollisesti jotain tavanomaisesta poikkeavaa? Onko se ollut tavanomaista selkeämpää tai hajanaisempaa? Kerro huomioistasi.
2. Oletko kokenut käytetyn kokeellisen opetuksen muodon tai muodot tarpeelliseksi*. Jos olet niin minkä kannalta ja jos et niin miksi et.
3. Mitä tähän mennessä saamastasi opetuksesta ole kokenut erityisen hyödylliseksi? Mitä mielenkiintoiseksi? Onko jotain, mistä haluaisit tietään enemmän?
4. Onko tunnilla esitetty koeasetelma, demonstraatio, oppilaslaborointi tms. selventänyt opetusta? Onko niiden merkitystä oppimisen ja opetuksen kannalta selitetty tarpeeksi ja oletko kokenut ne tarpeelliseksi? Jos mieleesi tulee jokin kovin hyvä esimerkki, niin kerro siitä.
5. Millainen on mielestäsi hyvä laboratoriotyö tai opettajan esittämä demonstraatio? Anna jokin esimerkki. Esimerkin ei tarvitse välttämättä olla kurssin aikana esitetty.
6. Kuinka oppimisesi on edistynyt? Osaisitko opettaa kursilla tähän mennessä käsitellyjä asioita opiskelijatoverillesi?

Kiitoksia vastaamisesta !

Kurssikokeessa esitetyt kysymykset

Tehtävä 7

Koeputkessa olevaa sinistä kidevesipitoista kuparisulfaattia ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) lämmitetään bunsenlampun liekissä pitäen koeputkea vähän alaspäin suunnattuna. Kaksisuuntaisen reaktion reaktioyhtälö on $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$.

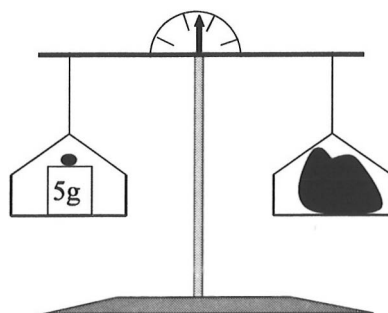


- Mitä voit havaita lämmittämisen aikana?
- Lopetat lämmittämisen ja annat koeputken jäähtyä. Lisäät koeputkeen tilkan vettä, mitä tapahtuu?
- Miksi ilmiöt tapahtuvat?

Tehtävä 8

Vasemmanpuoleisessa vaakakupissa on 5g rautapunnus, jonka massa on yhtä suuri kuin oikeanpuoleisessa vaakakupissa olevien rautasäikeiden ('teräsvillaa') massa.

- Opettaja sytyttää rautasäikeet palamaan ja reaktio etenee loppuun saakka. Muuttuko vaa'an tasapaino, ja jos muuttuu, niin miten? Ympyröi mielestäsi oikea vaihtoehto. (Voit olettaa, ettei kappaleiden asento tai sijoittelu kupeissa vaikuta tasapainoon millään tavalla.)



- kallistuu vasemmalle
 - tasapaino ei muutu
 - kallistuu oikealle
- Miksi tasapaino asettuu väittämälläsi tavalla?
 - Esitä raudan palamista kuvaava reaktioyhtälö

Demonstraatiopäiväkirja kirjoittamisohjeet (opiskelijalle/opettajalle)

Päiväkirja on eräänlainen itseohjatun kyselylomakkeen täyttö avointa vastaustapaa käyttäen. Se voi sisältää oppilaan omia havaintoja tai sarjan vastauksia hyvinkin tarkkoihin kysymyksiin. Tässä tapauksessa oppilasta pyydetään pitämään päiväkirjaa erilaisista tapahtumista, kokemuksista tai opituista asioista.

Demonstraatiopäiväkirjaa tehdessäsi

1. Ajattele päiväkirjaa kyselylomakkeena. Valmistelussa on oltava yhtä huolellinen kuin kyselylomaketta tehtäessä.
2. Yhteistyö on tärkeää. Huolehdi siitä, että päiväkirjan lukijat tietävät, mitä tehtiin, miksi ja milloin.
3. Tiedot ovat luottamuksellisia
4. Muistele tapahtumia ja kuvaile niitä kirjallisesti

Demonstraatiopäiväkirjassa on hyvä olla ainakin seuraavat tiedot: päiväys, oppituntien kesto ja tunnin järjestysnumero. Esim. 1.9.1999, klo 13.10-14.40, tunnit 4 ja 5. Sisällön rungon voi muodostaa esim. kohdat tunnin aihe, tunnin aloitus, oppitunnin kulku, vuorovaikutus sekä onnistuneet ja epäonnistuneet ratkaisut:

1.9.1999, klo 13.10-14.40, tunnit 4 ja 5.

Tunnin aihe:

- mikä on tunnilla käsiteltävä pääaihe

Tunnin aloitus:

- miten olet motivoitunut oppituntiin

Oppitunnin kulku:

- mitä tehdään milloinkin (demonstraatiot, laboratoriotyöt, ryhmätyöt yms.)

Demonstraatio

- mikä oli demonstraation tarkoitus
- mitä opin siitä
- oliko esineet ja välineet selkeästi esillä
- miten opetus eteni

Vuorovaikutus:

- opettajien ja oppilaiden välinen vuorovaikutus (*opiskelijan versiossa*) tai
- opettajan ja oppilaiden välinen vuorovaikutus (*opettajan versiossa*)

Onnistuneet ja epäonnistuneet ratkaisut:

- mitä ymmärsit, mitä et
- mikä oli tylsää, mikä kiinnostavaa

Esimerkkiraportti

1.9.1999, klo 13.10-14.40, tunnit 4 ja 5.

Tunnin aloitus:

Olen tänään väsynyt, enkä siksi oikein jaksa innostua opetuksesta. Opettaja kuitenkin vaikuttaa pirteältä. Saa nähdä, mitä tästäkin tunnista taas tulee

Oppitunnin kulku:

Aluksi tarkastetaan läksyt. Läksyjen tarkastukseen menee liikaa aikaa. Mielestäni opettaja ei selitä tarpeeksi. Tehtävien ratkaisut ovat kuitenkin heppoja.

Tunnin aihe on kemiallinen reaktio. Opettaja laittaa meidät ryhmätyöskentelyyn, jossa tarkoitus on selvittää reaktion nopeuteen liittyviä seikkoja. Työt ovat mielenkiintoisia ja opin niistä paljon. Huomaamme mm. että kemiallisen reaktion nopeuteen vaikuttaa aineen laatu ja kuinka hienojakoista se on. Lopputunti tehdään tehtäviä.

Demonstraatio, oppilastyö, ryhmätyö, luonnontutkimustehtävä:

Mielestäni ryhmätöiden tarkoitus oli tekemällä oppia, mitkä seikat vaikuttavat kemiallisen reaktion nopeuteen. Opin ainakin sen, että vaikuttavia tekijöitä ovat aineiden laatu, niiden hienojakoisuus (eli reagoivien aineiden pinta-ala), lämpötila ja paine (jota ei kuitenkaan testattu). Välineet olivat selkeitä. Olisin halunnut mieluummin työskennellä pareittain tai kokonaan yksin. Luokassa oli liikaa sähläystä.

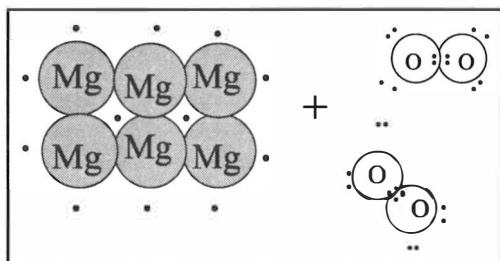
Vuorovaikutus:

Opettaja ei ehtinyt aina neuvomaan, mutta kun oikein monta kertaa pyysi, niin tulihan se. Opettaja jaksoi aina antaa vastauksen vaikeisiinkin kysymyksiin.

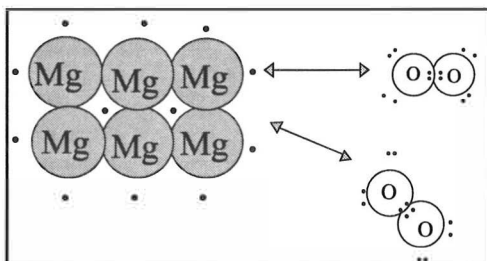
Onnistuneet ja epäonnistuneet ratkaisut:

Ryhmätyöt oli kivoja, vaikka tunnilla oli kiire. Töihin saisi olla enemmän aikaa. Olisi selvempää, jos opettaja näyttäisi kaikille yhteisesti esimerkkimittauksen ennen ryhmätyöskentelyn alkamista.

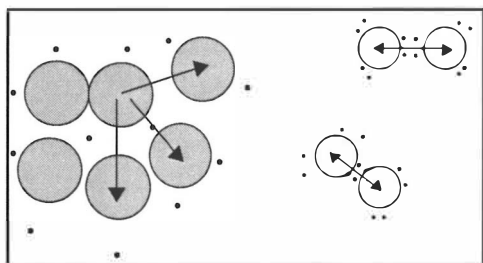
Magnesiumin palamisen molekulaarisen tason prosessia havainnollistettiin kokeiluopetusryhmille oheisten kuvioiden avulla:



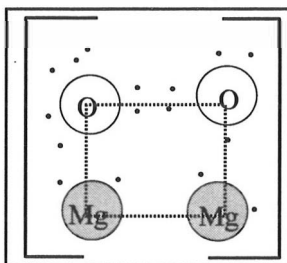
Kuvio 1 (liite 5): Lähtöaineiden molekulaarisen tason mallit.



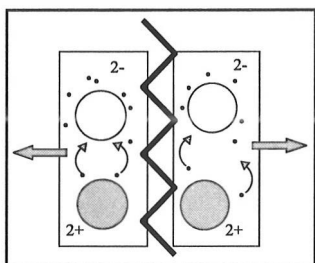
Kuvio 2 (liite 5): Reaktion käynnistyminen. Lähtöaineiden vuorovaikutusta kuvattu nuolilla.



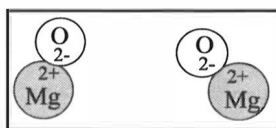
Kuvio 3 (liite 5): Lähtöaineiden sisäisten sidosten katkeaminen.



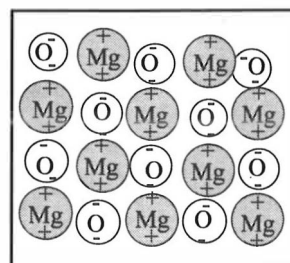
Kuvio 4 (liite 5): Transitiotila.



Kuvio 5 (liite 5): Transitiotilan eteneminen reaktiotuotteiden suuntaan. Elektronien siirtyminen magnesiumilta hapelle kuvattu nuolilla.



Kuvio 6 (liite 5): Reaktiotuotteen ioniluonne.



Kuvio 7 (liite 5): Reaktiotuotteen muodostaman ionihilan malli.

Rautavillan palamisen demonstroiminen ryhmässä 1 uuden demonstraatio-opetuksen mallin mukaisesti.

Demonstraation eteneminen on litteroitu kuvanauhalla. Alleviivatut tekstit ovat kohtia, joissa opettaja on äänenpainoa muuttamalla yrittänyt korostaa sanomaansa. Hakasulkeisiin merkityt kohdat ovat tutkijan lisäyksiä esimerkiksi non verbaaleista tekijöistä

Demonstraatioon valmistautuminen

1. Ennakkokäsitysten kartoittaminen

Opettaja: “Eli jos...mietitte tota, mietitte tota, mitä toi nyt oikeen.... tuo mieleen hapettuminen ja pelkistyminen, niin mikä niinku tulee ensimmäisenä..., semmonen vapaa assosiaatio...?”

Opiskelija1: “Palaminen.”

Opiskelija2: “Palaminen, joo.”

Opettaja: ”Tuleeks mitään muuta? Ei yhtään mitää muuta? Tuleeko kellekään?”

Opiskelija: “Energian vapautuminen.”

Opettaja: “Yyym-y.” [Myönteinen/hyväksyvä äännähdys.]

Opettaja lähtee kiertämään eri puolelle luokkaa kysyen eri opiskelijaryhmiltä.

Opettaja: ”Mitens, tuleeks teille mitään mieleen...hapettuminen ja pelkistyminen.. Mitä se teille tuo, tuo mieleen....hapettuminen?”

Opiskelija: “Ruostuminen.”

Opettaja: “Ruostuminen, joo.”

Opettaja: “Entäs teille?” [Opettaja kysyy eri opiskelijoilta kuin äsken.]

Opiskelija1: “Palaminen.”

Opiskelija2: “Palaminen yleensä.”

Opettaja: “Palaminen yleensä?” [Opettaja elehtii kysyvän oloisesti.]

- Opettaja: “Mitens pelkistyminen?” [Opettaja kysyy eri opiskelijoilta kuin kahdella eri kerralla.]
- Opiskelija: “Niin, se on yksin...yksinkertaistuminen!” [Opiskelija huudahtaa innostuneena/yllättyneenä.]
- Opettaja: “Niin se on vähän niinku yksinkertaistumista, joo.”

[Opettaja palaa takaisin työpöydän luokse.]

- Opettaja: “Eli tota...palaminen on yksi esimerkki näistä hapettumis-pelksitymisreaktioista, mutta ei todell...ei ole sit itseasiassa ainoa. Se on tämmönen niinku tutuin ja...tavallisin ehkä.”

2. Hypoteesien tekeminen

- Opettaja: “Mulla on täällä tämmöstä rautavillaa...jokaiselta varmaan löytyy kotoota tämmöstä pata-pataa... Miten te saatte tämän rautavillan hapettumaan?”
- Opiskelija: “Pistetään veteen.”
- Opettaja: “Pistät veteen. Onkos muita keinoja?”
- Opiskelija: [Epäselvä vastaus.]
- Opettaja: “Mitä?”
- Opiskelija: “...ilmassa.”
- Opettaja: “Niin [myöntävä toteamus]. Eli aika hitaasti käy, jos tän jättää ihan näin ilmaan, ni kyllähän tässä...ilman kosteuden ja sitten hapen vaikutuksesta rupee ruostua. Tosiaan nyt voidaan vähän nopeuttaa tätä...tilannetta sillä tavalla, että...tuikataan ihan tuli tänne alle. Johan rupee hapettumaan ja äkkiä!”, [tauko], “Eliikkä nyt, tota, ni tuolta teevestäkin näkyy toi...paino. Mä laitan tohon [kirjoittaa punnityslukeman taululle]...nyt se on 1,28 grammaa toi...kokonaispaino, tossa [näytöllä; osoittaa vaa’an näyttöä]. No, mitäs te ootte mieltä, että...mitäs tolle... massalle nyt tapahtuu kun sitä ruvetaan polttamaan? Ööö..Sami?”
- Sami: “Paino nousee, kun siihen liittyy happea.”
- Opettaja: “Joo [myöntävä toteamus]...Vaikka tavallaan tuntus arkiko..kokemuksen valossa, vähän että jos puutakin polttaa, niin sehän niinku häviää tai sillai...mutta siinähän häviää se [paino]...osittain kaasuna ilmaan, että jos ne

kaasut pystyttäs punnitsemaan, niin se kyllä tavallaan paino nousis...[Opettajattajan esittämä 'vastahypoteesi']. Noh, pistetäänpäs nytten tota niin..tulet tänne alle, niin katotaan mitä tässä käy....TV:stäkin vähän näkyy [rautavilla sekä vaa'an lukema]..."

Demonstraation esittäminen

3. Havaintojen tekeminen

Opettaja sytyttää rautavillan palamaan. Opiskelijat katsovat vuoronperään palavaa rautavillaa ja TV:n näytöllä olevaa punnitسلukemaa. Kaikki opiskelijat seuraavat hiljaa ja intensiivisen oloisina. Rautavillan palamisen edettyä jonkin aikaa opettaja toteaa seuraavaa:

4. Periaatteen määrittäminen

Opettaja: "Eli...nyt rupeaa ainakin...massa..kasvamaan..." Hetken kulutta hän kommentoi lisää: "Ni rautakin saadaan palamaan näin..." Rautavillan palamisen päätyttyä Opettaja toteaa: "Eli hypoteesinne oli oikea, massa ainakin kasvoi ja...nyt tänne on sitten varmaan...vähä tämmöstä ruskehtavaa näyttää toi olevan...noilta osin, mistä se on palanu..." [Opettaja näyttää palanutta rautavillaa TV:n kuvaruudulla.]

Seuraavaksi opetuksessa edetään ilmiön kemiallisten perusteluiden käsittelyyn:

Opettaja: "No joo. No mitens osaatte kemia kielellä tämän näkemänne ilmiön ilmaista? Tietääks joku mitä on ruoste?" [Opettaja esittää johdattelevan kysymyksen]

Opiskelija: "Hapettunutta rautaa."

Opettaja: "Hapettunutta rautaa." [Toistaa opiskelijan vastauksen; myöntävä toteamus.]

Opettaja kirjoittaa reaktioyhtälön taululle.

Opettaja: ”Kemistit ovat vuosia tutkiessaan tätä ilmiötä, niin [heh heh; naurahtaa], todenneet, että tällaista tämä ruoste...rauta oksidia ja...nimenomaan vielä tällai...siellä on kaksi rauta-atomi ja kolme noita...happi-atomeja.”

Seuraavaksi siirrytään käsityksen laajentamiseen:

Opettaja: ”Mitens sitten ku tota niin...elikkä tässä voidaan sanoa siis, että “rauta on hapettunut”, eiks vaan [osoittaa raudan ja hapen reaktioyhtälöä]...? Rauta hapettuu [toistaa vain äskeisen toteamuksen]. Ja jos tää menis toiseen suuntaa tää reaktio, niin vois sanoa, et tämä systeemi [osoittaa rautaoksidia] vähä niinku pelksityy. Mut mitäs [yskintää]...et tämmönen vaikka se, muistatte sen toisen...alkukurssista niin oli $Fe + S$ [kirjoittaa reaktioyhtälön symbolisen esityksen taululle]... Voiko tästä sanoa, että rauta hapettuu tai pelkistyy?”

Opiskelija1: ”Ei”

Opettaja: ”Eikö?” [Opettaja on kysyvän oloinen.]

Opiskelija2: ”Voi...”

Opettaja: ”Tässön muuten väärin kertoimet tässä ensimmäisessä... Mitens muuten, pitäsköhän ne kertoimet kattoa...? Pitäsköhän kattoa...? Montakohan tulis näitä..?” [Opettaja tarkastelee reaktioyhtälön kertoimia.]

Opettaja merkitsee kertoimet reaktioyhtälöihin:

Opettaja: ”Katotaanpas nytte, mitä täällä oikeen niinku käy. Voisitte...Toivottavasti teillä on siinä vähän tilaa, että....et sopii laittaa tämmössiä nuolia. Elikkä tota, jos kattot tätä yhtä..rauta-atomia tuolla niin [lähtöaineiden puolella], mitä sille oikee niinku elektronitasolla tapahtuu...ja sitten tota ni, yhtä happiatomia täällä [lähtöaineiden puolella], niin mitä sille niinku elektronitasolla tapahtuu...mitä sille atomille tapahtuu? Ja samoin sitten täällä voitais vaikka....tässä jos katsotaan tätä rautaa, niin sillähän on kaikki....ulkoelektronit siellä tallella [lähtöaineiden puolella]. Eli sillä on kaikki mahdolliset elektronit ja kaikki tallella vielä. Mutta tässä yhdisteessä niin tota....tää happi on elektronegatiivisempi, se on riistänyt tältä raudalta ...niitä elektroneja. Eli elektronegatiivisempi ottaa ne elektronit itelleen. Ja täällä samoin, rauta + rikki, tulee tämmönen yhdiste ja tällä on rikki on elektronegatiivisempi ja se on

vienyt niitä elektroneja itelleen. Tästä on nyt ehkä helpompi katsoa, että mitäs te arvelette, että mikälaisena... kummalla on mitäkin...mit..montako tää rikki elektroneja on sieltä napannut tältä raudalta...? Eli kattokaa tuolta jaksollisesta järjestelmästä missä kohtaa on rikki eli se on täällä 6. ryhmässä. Eli kuinka monta elektronia se tarvitsee, että...?

Tiina: ”Kaksi”

Opettaja: ”Kaksi...elikkä voitais laittaa tänne että rikki on vastaanottanut kaksi elektronia [kirjoittaa tämän myös taululle] $2e^-$. Elikkä tää rauta on silloin antanut kaks. Rauta on antanut tolle rikille kaks elektronia ja rikki on vastaanottanut kaks elektronia. Tässä onkin vähän kinkkisempi, kun täällä [osoittaa raudan palamisen reaktioyhtälöä] on tota niin tämmöset nää alaindeksit... Mitähän täällä on käynyt, tässä...montako tää happi ois tämmössessä yhdisteessä ottanut...? Happi on taas täällä 6. Ryhmässä - elektronegatiivinen aine niin se on luultavasti ottanut kaks...Ja puhun niinku yks...yks happiatomi on vastaanottanut kaks elektronia elikkä näitä on täällä itseasiassa kuus (6) kappaletta, niin ne on yhteensä vastaanottanut $6 \cdot 2$ elektronia. Paljonkohan yks rauta-atomi ois antanut niitä elektroneja silloin...? Jos tämmönen yhdiste ja...

Opiskelija: [Epäselvä vastaus.]

Opettaja: ”Joo. Luovuttanut kolme (3). Luovutt... tai ant...antanut...”

Opiskelija: [Epäselvä kommentti.]

Opettaja: ”Onko ihan helpoo...?”

Opettaja: ”Mistä tiedätte että tää on nyt 3 sit...?”

Opiskelija: ”Niitä yks antaa sen verran” [Hieman epäselvä vastaus.]

Opettaja: ”Nii. Elikkä täältäähän tulee yhteensä...rauta on yhdistynyt tässä yhdisteessä, joka kattoo, ni, niitä on kaks kappaletta tässä näin [osoittaa rautaoksidia] ja..ja kukin on antanut sen kolme eli yhteensä 6 elektronia on annettu ja täällä on yhteensä 6 vastaanotettu...täällä on kolme kappaletta näitä...jokaisella on ‘á 2kpl’ elektroneja. Elikkä itse asiassa tässä molemmissa nyt sitten kysymys hapetus-pelkistys reaktioista. Eli tää yleisin ja tutuin arkipäiväsistä on tää ha..palminen, mutta myös muilla...muu...muita reaktioita on, jossa tapahtuu ha...e..ö...elektronien vastaanottamista ja luovuttamista. Ja näille on sitten annettu...annettu tota ni tämmöset määritelmät ja nimet näille...näille elektronien luovuttamiselle ja vastaanottamiselle...eli eli..näissä reaktioissa nyt sitten molemmissa itse asiassa käy niin, että rauta hapettuu....sekä tässä että

tässä...[osoittaa taululla sekä raudan ja hapen että raudan ja rikin reaktioyhtälöitä], mutta happi täällä pelkistyy [osoittaa taululle] ja rikki täällä [osoittaa taululle] pelkistyy. Eli vois määritellä, mitä nää [elektronien siirtymiset] nyt tarkoittaa, et hapettuminen...hapettuminen niin on...mitäs se nyt sitten on...elektronien luovuttamista (kirjoittaa taululle), tai siinä tapahtuu elektronien luovutus. Ja pelkistymisen...pelkistymisen... [kirjoittaa pelkistymisen taululle]

Opiskelija: ”Eiks toi hapettuminen yleensä oo elektronien luovuttamista hapelle...?”

Opettaja: ”Joo. Siis alunperin on tarkotettu sitä, että niinku hapen kanssa, mutta kun itse asiassa on paljon muitakin yh..reaktioita, missä ei oo happi niinku tekemisissä ollenkaan, niin tää asia on määritelty näin.”

Opiskelija: ”Silti se on hapettumista..?”

Demonstraatioon liittyvä pohdiskelu

5. Päätelmien tekeminen

Opettaja: ”Silti se on hapettumista. Elikkä täälläkin niin.. [osoittaa rautasulfidin muodostumisen reaktiota] rauta hapettuu, vaikka se antaa ne elektronit rikille...ei ole kysymys hapestä ollenkaan. Eli tää on ehkä tuolta jostain kaukaa tullut tää nimitys ja se on niinku jäänyt, että...et siinä hapen kanssa välttämättä mitään tekemistä. Ja aina jos joku hapettuu niin jonkun toisen pitää pelkistyä. Elikkä siis nää reaktiot, jos joku antaa niin jonkun pitää ottaa. Ei voi niinku ‘joku vaa antaa’ ...pitää antaa ja jonkun pitää sitten ottaa ne vastaa. Eli nää aina tapahtuu yhtä aikaa hapettuminen ja pelkistymisen. Ja elektronit kulkcc yhtä monta. Annetaan ja otetaan.”

Opetuksessa edetään tämän jälkeen hapetin ja pelkistin käsitteiden määrittelyyn ja käyttöön, mutta opiskelija palaa kysymyksellään vielä aikaisemman aihealueen käsittelyyn.

Opiskelija1: ”Onko hapettimella hapen kanssa mitään tekemistä...?”

Opettaja: ”Voi olla, mutta ei välttämättä. Elikkä nyt tota niin, aikaisemmin ehkä.. Ehkä hapett..hapettuminen on tarkottanut nimenomaan reaktiota hapen kanssa,

mutta..mutta se on tosiaan laajempi käsite niinku oikeesti ja nimitys on jäänyt nyt kuitenkin tämmöseks samaks.”

Opiskelija2: ”Toinen niistä siis luovuttaa ja toinen vastaanottaa..?”

Opettaja: ”Näistä [osoittaa taululla raudan ja hapen reaktioyhtälöä]..?”

Opiskelija2: ”Niin..?”

Opettaja: ”Kumpikohan oli kumpi [hapetin/pelkistin]..?”

Opiskelija2: ”No hapetin...hapetin se tota...luovuttaa....tai sitse alkaa vastaanottamaan...”

Opettaja: ”Eli hapetin on semmonen otus joka hapettaa. Eli se itse pelksityy..Nää on tämmössiä kivoja juttuja, joissa menee hirveen helposti sekaisin...”

6. Työn arviointi

Ei toteutettu selvästi erillisenä kokonaisuutena.

Kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioiden demonstroiminen ryhmässä 1 uuden demonstraatio-opetuksen mallin mukaisesti.

Demonstraation eteneminen on litteroitu kuvanauhalla. Alleviivatut tekstit ovat kohtia, joissa opettaja on äänenpainoa muuttamalla yrittänyt korostaa sanomaansa. Hakasulkeisiin merkityt kohdat ovat tutkijan lisäyksiä esimerkiksi non verbaaleista tekijöistä

Demonstraatioon valmistautuminen

1. Ennakkokäsitysten kartoittaminen

Opettaja: ”Eli mistä voi tietää, että on tapahtunut kemiallinen reaktio? No yleensäkkään, mistä te nyt voitte tietää..? Missä tapauksessa tahansa...? Ymmärretekste tota kysymystä...?”

Opiskelija1: ”En ymmärtänyt.”

Opiskelija2: ”Ei...”, sama opiskelija jatkaa, ”emmä tiä.....onks tää uutta vai vanhaa...?”

Opettaja: ”Tää...tää on niinku tavallaan..tietysti teillä pitäis olla tästä nyt jonkinlaista käsitystä varmaan...eli jos vaikka...No Miia?”

Miia: ”No jos vaikka sen aineen rakenteesta sitten niinku näkee...näe...jos siin on vaik...[epäselvä kohta kuvanauhalla]..joku reaktio tapahtunut..?”

Opiskelijoiden keskustelussa ilmenee: ”...niinku hapen kanssa jotain...” Käydystä keskustelu ei saa kuvanauhalla täysin selvää.

Opettaja: ”Nii-i..nii justiin ...aineen rakenne saattaa muuttua (kirjoitta tämä myös taululle). Eli joskushan se nähdään ihan siis silmillä se, että aineen rakenne muuttuu...No Tiina?”

Tiina: ”Sen ominaisuudet muuttuvat.”

Opettaja: ”Joo [kirjoittaa tämän taululle]. Minkäslaisia..ominaisuuksia..tarkotat?”

Tiina: ”Vaikka sulamispiste ja...”[Lopusta ei saa kuvanauhalla selvää.]

- Opettaja: ”Nii...Sulamis piste ja esimerkiksi väri...niinku tää on tämmönen fysikaalinen ja tää on tämmönen...”
- Opiskelija [Kommentti epäselvä.]
- Opettaja: ”...Joo. Nii. Kyllä. Mistäs muusta vois tietää, että kemiallinen reaktio on tapahtunut...? Miettikääpä jotain kemiallisia reaktiota ja...onko...?”
- Pentti: ”Mitä...?”
- Opettaja: ”...elämässä mitään kemiallista reaktiota olemassa...tai siis te[issä]...”
- Pentti: ”Ihmisessä tapahtuu kemiallisia reaktioita koko ajan.”
- Opettaja: ”Ihmisessä...Yyym-y [myöntävä äännähdys]. Mistäs [sen] voi tietää?”
- Pentti: ”Emmä tiiä...”
- Opettaja: ”Nii-i...Tiina?”
- Tiina: ”Eli ne joskus..kuluttaa ja vapautuu energiaa...”
- Opettaja: ”No nii..Hyvä. Katoittekko kir...? Energiaa voi vapautua tai sitoutua [kirjoittaa nämä taululle...] joo nyt mä otan tästä esimerkin...”

Seuraavaksi esitettiin butaanikaasun palaminen kemiallisen reaktion esimerkkinä. Opiskelijoiden huomio kiinnitettiin siihen, että palamisilmiössä vapautuu energiaa lämpönä ja valona. Opetuskeskustelussa todettiin mm. myös se, ettei butaani enää haise butaanilta palamisen jälkeen ja että palamiseen liittyy liekki-ilmiö. Samalla tunnilla demonstroitiin myös magnesiumin palaminen ja esitettiin sen palamiseen liittyvä kalvosarja reaktion molekulaarisen tason tapahtumista (ks. liite 5). Tämän jälkeen siirryttiin käsittelemään kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioita.

- Opettaja: ”Sitten vielä yks..Mitäs ootte mieltä, meneekö tota nii kaikki reaktio aina vaan yhteen suuntaan?”
- Opiskelija: ”Ei...”
- Opettaja: ”Ei. Tietäkste yhtään reaktiota, mikä menis molempiin suuntiin..?”
- Opiskelija: ”Sulaminen..?”
- Opettaja: ”Nii joo...se [on] tavallaan fysikaalinen reaktio..se on ihan hyvä...hyvä esimerkki...”
- Pentti: ”Mitä sä kysyt..?”
- Opettaja: ”Että tiedättekste reaktioita, jotka menee molempiin suuntiin? Eli tom..toi palaminen esimerkiksi, kun sellanen reaktio kyl, mikä aika lailla näyttäs menevän vaan yhteen suuntaan, mutta hirveen monet luonnonreaktiosta on

sellasia, mitkä meneekin kahteen suuntaa elikkä ne voi niinku palautua myös. Tätähän me ei nyt saada enää täältä magnesiumnauhaks [näyttää palanutta magnesiumia] ihan..ihan helposti, mutta tota niin monestikkii reaktiot saadaan palautumaan tai etenemään. Ja mä näytän nyt esimerkiks yhden sellaisen...sellasen reaktion. Mä laitan tätä tämmöstä kuparisulfaattia eli tää on sitä, te laskitte sen...kotitehtävissä tämän tota niin...molekyylimassan: kuparisulfaatti ja viis kidevettä.”

Opettaja: ”Eli näätte tää on tämmöstä ihan tämmöstä...sinistä tää kuparisulfaatti kidevedellä. Sit jos mä rupeenkin sitä kuumentaa..? Näättekste...kyl te varmaan kaikki näätte..(pöydältä tai televisiosta).”

2. Hypoteesien teko

Opettaja: ”Mitähä te luulette, että rupee tapahtumaa?”

Opiskelija1: ”Sulaa.”

Opettaja: ”Sulaa. Mitäs muita ehdotuksia?”

Opiskelija2: ”Roihahtaa tuleen.”

Opettaja: ”Joo-o. Mitäs te luulette, että tälle tapahtuu tälle siniselle kun mä rupeen kuumentamaan tätä..?”

Opiskelija3: ”Muuttaa väriä”

Opettaja: ”Joo. Mitäs muuta? Ehdo..ehdotuksia...?”

Pentti: ” Varmaan rupee...”

Opiskelija2: ”...Sillee kiehumaan..sille poreilemaan...”

Pentti: ”..Voi semmostakin tekemään..siitä nousee jotain systeemiä...semmosta savua...”

Opettaja: ”Aha. Voi savua...No katotaans, mitä tälle nyt oikee käy.”

Demonstraation esittäminen

3. Havaintojen tekeminen

Opiskelija: ”No ei se ainekaan kiehu...” [Esimerkki opiskelijan ennakkokäsityksen ja kokeen lopputuloksen välisestä ristiriidasta]

Opettaja: ”Näättekste te sieltä kauempaa...voiteks te tulla vähän lähemmäs kattomaan..”

Opiskelija2: ”Lari, pää pois eestä!”, sama opiskelija jatkaa, ”no kerro mitä siellä käy...?”
Opettaja: ”Onks kellään jano...?”, [Opettaja kommentoi näin veden muodostumista. Opettaja myös kallistaa koeputken suuta niin paljon alaspäin, että vettä putoaa pisaroina dekantterilasiin.], ”eiks tää väri nyt aika lailla vaihdu...?” [Opettaja kommentoi värin muutosta.]

Sitten demonstraatioissa tapahtuu tekninen virhe. Opettaja kaataa kuivuneen anhydraatin dekanterilasiin, mutta sen pohjalla oli vesi, joka oli vapautunut kidevetenä. Jouduttuaan kosketuksiin veden kanssa anhydraatti muutti välittömästi värisä alkuperäiseksi. Opettaja yrittää kuitenkin korjata tilanteen seuraavasti:

Opettaja: ”Ooo-ho...Noh ei se mitään...nyt näkee sitten tota ni tänne...tännehan oli tippunut äsken sitä nestettä huomaatteks te ni ...se...niistä kohin, mih...missä toi ..valkonen..osuu tohon nesteeseen, niin se väri rupee taas muuttumaan...nääteks te sen?”

Opiskelija: ”Kyllä...” [Useat opiskelijat vastaavat likimain yhteen ääneen.]

Opettaja: ”Laitetaan vähän vettä, niin se tosiaankin..[muuttaa väriään].”

Opiskelija: ”Vautsi vau...!” [Useat opiskelijat toteavat likimain yhteen ääneen.]
[Opiskelijoiden huudahdukset tulkittiin pääasiallisesti uudentyypin ilmiön toteamisen ihmettelyksi, ja vain vähäisemmässä määrin ennakkokäsityksen ja kokeen lopputuloksen väliseksi ristiriitaisuudeksi.]

Demonstraatioon liittyvä pohdiskelu

4.–5. Periaatteen määrittäminen ja päätelmien tekeminen

Opettaja: ”Eli vedeltä hyvinkin vaikutti tämä...Eli mitä tässä nyt oikeen tapahtu? Kemiallisestihan tää, mitä mä tänne purkk..tänne laitoin on $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Sitten mä kuumensin sitä, niin mitä siinä nyt oikeen tapahtu?”

Opiskelija: ”Mitä toi mäski oli mitä sä poltit?”

Opettaja: ”Se oli tätä: Kuparisulfaattia ja viis kidevettä”, [opettaja osoittaa taulululla olevan kidevedellisen kuparisulfaatin kaavaa], ”No Tiina?”

Tiina: ”Se menetti ton kideveden.”

Opettaja: ”Joo. Elikkä...tänne laitetaan [lisää taululle nuolen $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:n jälkeen ja $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$]. Hmm. Sit tosiaankin tää reaktio menee myös tänne toiseen suuntaan. Niinku huomasitte, niin..työ..me huomataan se väristä, elikkä tää [kidevedellinen] oli...tää oli väriltään sinistä ja toi [anhydraatti] oli, mitäs tää nyt sitten olikaan...sellasta vähän vaalean...Eli...tässä on yksi esimerkki reaktiosta, joka menee molempiin suuntiin...Ja me pystytään vielä ihan näkemään se, ainahan sitä ei pystytä niinku väristä tai sillain näkemään, mutta...tää nyt on ihan selkee...selkee tulee. Semmosta eteen ja taakkepään, tai siis etenevä reaktio ja palautuva reaktio, niin sitä merkitään sit tollei kahella...nuolella. Jeps.”

6. Työn arvointi

Lopputunnin opetus toteutetaan siten, että opiskelijat kirjoittavat vihkoon muistiinpanoja oppimisen kohteena olevista ilmiöistä ja niiden teoreettisista perusteluista. Muistiinpanojen tekeminen liittyy kuitenkin myös muiden asioiden, kuin kuparisulfaatin reaktion käsittelyyn.

Kidevedellisen kuparisulfaatin reaktioiden demonstroiminen ryhmässä 2 uuden demonstraatio-opetuksen mallin mukaisesti.

Demonstraation eteneminen on litteroitu kuvanauhalla. Alleviivatut tekstit ovat kohtia, joissa opettaja on äänenpainoa muuttamalla yrittänyt korostaa sanomaansa. Hakasulkeisiin merkityt kohdat ovat tutkijan lisäyksiä esimerkiksi non verbaaleista tekijöistä

Demonstraatioon valmistautuminen

1. Ennakkokäsitysten kartoittaminen

Opettaja ei kartoita selvästi ennakkokäsityksiä. Hypoteesien tekemiseen edetään oheisen opetuskeskustelun perusteella:

Opettaja: ”Tota...täällä on ollut valtavan hyviä kysymyksiä, ihan valtavan hyviä kysymyksiä [viitaten tunnin muuhun opetukseen], ja tuota...öööö. Mä voisin tässä demonstroida teille nyt yhden asian...elikkä meillä [kirjoittaa taululle CuSO reaktion]...elikkä teillä on siinä oppikirjassa näytettynä tällainen reaktio. Elikkä tässä nyt toi ensimmäinen kuparisulfaatti, missä on kidevettä, niin se on tän näköstä yhdistettä [näyttää koeputkessa olevaa ainetta opiskelijoille]...Tulkaa vaan tänne lähemmäs...[opettaja kehottaa opiskelijoita tulemaan lähemmäs demonstraatiopöytää].”

Valteri: ”Hei...Sä oot kirjottanut ihan ton saman [epäselvä kohta]... saman molekyylin molemmalle puolelle täsmälleen...?”

Opettaja: ”Eikö oo[kin], koska nimenomaan kysymys on siitä, että...”, [epäselvä kohta], “..reaktio voi olla palautuva.”

Valteri: ”Siis...[opiskelija tarkastelee reaktioyhtälöä]... Kupari...kupari... kuparisulfaatti...Miks tossa on kertomerkki..?”

Opettaja ei tarkoituksellisesti vastaa opiskelijan kysymykseen, vaan etenee demonstraation näyttämiseen.

2. Hypoteesien tekeminen

- Opettaja: ”No ni, elikkä tässä on nyt tuota ...Tulkaa vaan kyllä tänne niinku...”, [opettaja pyytää opiskelijoita edelleen tulemaan lähemmäs demonstraatiopöytää havaintoja tekemään], “...Eliikkä täs on tosiaankin tota ainetta, mikä tossa reaktioyhtälön vasemmalla puolella on merkittynä...”, [opettaja liikuttaa koeputkea, jossa on kidevedellistä kuparisulfaattia, opiskelijoiden näkökentässä], “Eliikkä se tarkoittaa, että toi sininen väri mikä tässä on, niin se johtuu tosta kuparista.” [Opiskelijat katsovat vuoronperään koeputken ainetta ja taululla esitettyä reaktioyhtälöä], “Ja sitte tää kide, se on tällasta kidemais..mäistä yhdistettä, vähän niinku...sokeri tai suola. Tää on pikkasen erityyppinen se kide: jos te kattositte, niin ruokasuola on sellainen nelionmallinen ja....tää on sellanen suunnikaan tyyppinen tää kide, mistä tää on muodostunut. Ja nyt oletuksen on se [opettaja tekee hypoteesin], että että tähän on sitoutuneena vettä. Ja jos mä tätä oikeen niinku hellästi tai en niin kovin voimakkaasti lämmitä, niin mä voin saada sen veden irtoamaan niistä kiteistä....”
- Opiskelija: ”Taikuri...” [Vastaus tulkittiin opiskelijan ennakkokäsityksen ja opettajan esittämän hypoteesin väliseksi ristiriitaisuudeksi]
- Opettaja: ”Joo, mutta idea..tai siin on ongelma...eh...ei sinänsä ongelma, vaan kemiallisena ilmiönä siinä on se, että mä voin myös saada sen veden takasin sinne...”
- Opiskelija: ”Häh...?” [Vastaukset tulkittiin opiskelijan ennakkokäsityksen ja opettajan esittämän hypoteesin väliseksi
- Opiskelija2: ”Eihän...” ristiriitaisuudeksi]
- Opiskelija3: ”En usko...”
- Valtteri: ”Sähän paat sinne veteen jätää...”

Demonstraatiön esittäminen

3. Havaintojen tekeminen

- Opettaja: ”Mut jos mä....Katotaan, elikkä nyt jos mä tätä rupeen vähän lämmittelemään, niin tuota...niin niin...”, [opettaja kuumentaa ainetta ja opiskelijat tekevät

havaintoja], "Okei...Huomaako kukaan, mitä tonne... rupes tonne...koeputken sisäpinnalle [muodostumaan]..."

Opiskelija1: "Vesihöyryä..."

Opettaja: "Mitäs sanot...?" [opettaja kohdistaa kysymyksen myös toiselle opiskelijalle.]

Opiskelija2: "Vesi"

Opettaja: "Mitä sinne rupee syntymään?" [opettaja kohdistaa kysymyksen eri opiskelijalle kuin kahdella edellisellä kerralla.]

Opiskelija3: "Lämpö siirtyy..."

Tässä vaiheessa opiskelijat käyvät keskenään keskustelua havaituista ilmiöistä, mutta sen sisällöstä ei saa kuvauhasta selvää:

Opettaja: "Elikkä mitä muuta tähän [on] yhdistynyt? Toisiaankin kun tää vesi poistuu, niin mitä tolle yhdisteelle nyt käy, teijän...siis muutakin...mikä muu siinä...näytt...[loppu epäselvä]"

Opiskelija: "Väri vaihtuu." [Eri opiskelijat toteavat yhteen ääneen.]

Opettaja: "Aivan niin. Elikkä nyt sen väri myös muuttuu samalla kun se vesi poistuu..", [ajatustauko], "...Siitä voit nyt kattoo..." [Opettaja kuljettaa koeputkessa olevaa anhydraattia oppilaiden editse.]

Opiskelija: "Täsmälleen"

Opettaja kuljettaa koeputken aivan lähelle myös muutamia muita opiskelijoita ja kommentoi

Opettaja: "Siit voit kattoo nytte...[Opiskelijat kumartuvat lähemmäksi.] Siis tossa miten sillä on..[loppu epäselvä]"

Opiskelija: "Täsmälleen"

Opiskelija2: "Niin se väri on vaihtunut...[loppu epäselvä]"

Opettaja: "Niin se väri on samalla muuttunut, joo. Elikkä nyt toi mikä on sinistä, niin siinähan on vielä se kidevesi tallella...tallella....tallella...säilynyt [opettaja toteaa saman asian useampaan kertaan, mutta kohdistaa sanomansa kullakin kertaa eri opiskelijalle], mutta tuota....näättekste sen..?" [Opettaja kuljettaa koeputkea eri opiskelijoiden nähtäville.]

Opiskelija: "Hei opettaja..."

Opettaja: "Näättekste miten sen väri on muuttunut..?"

Opiskelija: ”Onks se semmosta, mikä on...[loppu epäselvä]?”
Opettaja: ”Häh..?”
Opiskelija: ”...joo”

4. Periaatteen määrittäminen

Opettaja: ”Elikkä siis...no niin, nyt se lähti onneks liikenteeseen...”, [opettaja heiluttelee koeputkea, jotta pohjalle kovettunut valkoinen anhydraatti näkyisi selvemmin], “Tää on nyt...[muuttunut, kohta epäselvä]..sellaseks valkoseks kiteiseks aineeks...Mutta oletuksena, jos tunnette, koska tää on palautuva prosessi...[opettaja osoittaa taululla olevaa reaktioyhtälöä]..eli tää on sellainen ominaisuus...Jos mä nyt lisään tähän vettä takasin tähän yhdisteeseen...” [Opettaja lisää vettä samaan aikaan hypoteesin esittämisen kanssa.]”

Opiskelija: ”Heh hei....ooooh!!” [Useat opiskelijat hämmästelevät värin palautumista ja ehkä myös sihisevää ääntä; osa opiskelijoista taputtaa ikään kuin merkiksi “hyvästä näytöksestä”.]

[*Opiskelijoiden huudahdukset tulkittiin pääasiallisesti uudentyyppisen ilmiön toteamisen ihmettelyksi, ja vain vähäisemmässä määrin ennakkokäsityksen ja kokeen lopputuloksen väliseksi ristiriitaisuudeksi.*]

Demonstraatioon liittyvä pohdiskelu

5. Päätelmien tekeminen

Opettaja: ”Ja tätä, koska tää on sen tyyppinen reaktio, että tässä voi aina niinku kuumentaa ja sitten taas se vesi haihtuu sieltä pois [koe toistetaan nopeasti uudelleen, siten että edellä havaittu väri muutetaan ‘palautetusta’ sinisestä taas valkoiseksi veden haihtumisen yhteydessä]...Ja kuten huomaatte se alkaa taas tänne tiivistymään se vesi taas ja osahan on siitä ylimäärin [reaktioastiassa] ollutta vettä, mutta...mut kuinka tänne siis tiivistyy tonne koeputken yläpintaan se vesi.”

Opiskelija: ”Nii...”

Opettaja: ”Ja koska tää on sen tyyppinen reaktio, että se etenee..sekä tähän kuivatuksen suuntaa että sitten...öö...veden sitoutumisen suuntaan taas, niin...[opettaja on

lisäävinään taas vettä] tää on...tätä sanotaan...tän tyyppiset reaktio on... Elikäs nyt jos mä kuivatan tän [anhydraatin], jätän tän aineen pöydälle, annan sen olla siinä vaikka viikon, niin hyvin todennäköistä on, että se sitoo tästä ilmasta vesihöyryä itseensä ja vaikka mä oon sen kuinka kuivattanut täs viikon alussa ja jollen mä pidä sitä eristyksissä niin se viikon kuluessa hitaasti kerää sitä vettä taas itseensä ja se on viikon jälkeen taas samanlaista...[kohta epäselvä]..sinistä...[kohta epäselvä]..kiteistä yhdistettä. Nythän me voitais vielä tietysti kokeilla, et jos me torstaina jätetään tää näin, [ja sitten] tullaan viikon päästä maanantaina oppitunnille, et oisko se...[muuttanut väriään].”

6. Työn arviointi

Työn arviointi jää tekemättä, ja opetuksessa siirrytään tarkastelemaan kemialliseen reaktioon vaikuttavia seikkoja.