

Tutkiva kemian opettaja: Kemian käsitteiden ja ilmiöiden opetus sekä oppiminen (osa IV): Historiallinen lähestymistapa kemian opetukseen

Maija Aksela

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

Simo Tolvanen

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto • simo.tolvanen@helsinki.fi

Jan Jansson

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto • jan.jansson@tyk.fi

Veli-Matti Vesterinen

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto • veli-matti.vesterinen@helsinki.fi

Christian Franklin, Milja Helenius, Joonas Hippeläinen, Minna Jääskeläinen, Rajka Kavonius, Topi Kotamäki, Päivi Kousa, Jaakko Liimatta, Vuokko Lipponen, Mervi Mali, Sonja Martikainen, Sonja Meriläinen, Jesse Mikkonen, Sakari Tolppanen, Anna-Sofia Vilhunen & Xingting Zeng

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto

Historiallinen lähestymistapa on yksi tapa tukea kemian käsitteiden ja ilmiöiden oppimista sekä kemian luonteen ymmärtämistä. Tässä artikkelissa esitetään Kemian opetuksen keskeiset alueet II -kurssin opiskelijoiden – tulevien kemian opettajien – projektitöitä eri kemian aiheista (orgaaniset reaktiot ja synteesi, happamat ja emäksiset oksidit, ainemäärä ja mooli, Le Châtelier'n periaate, atomimallit, sähkökemial, kaasulait, jaksollinen järjestelmä). Jokaisesta aiheesta on esitetty ensin yhteenveto historian käytöstä kemian opetuksessa tutkimuskirjallisuuden perusteella suomeksi tai englanniksi ja kustakin aiheesta vielä tapaustutkimuksen tulokset. Useimmissa esitetyissä tutkimuksissa historiallinen lähestymistavan käyttö kemian opetuksessa lisäsi aiheen kiinnostavuutta. Kaikki kehitetyt materiaalit ja tuntisuunnitelmat löytyvät osoitteesta <http://www.luma.fi/materiaalit>. Ne ovat helposti sovellettavissa kemian opetuksessa eri asteilla.

1. Organic reactions and synthesis in an International Baccalaureate class

Christian Franklin & Joonas Hippeläinen

‘So what the giants of science teach us is to see ourselves modestly and not to overrate ourselves. This is a general point.’ – Sir Hans Krebs (1967)

1.1. Introduction

This article describes an investigation carried out to test and develop the historical teaching method in chemistry using organic reactions and synthesis, in particular the Fischer–Speier esterification reaction. The histories of organic chemistry, synthesis as well as Hermann Emil Fischer are also briefly presented to provide background.

As part of the study, a lesson was designed for an International Baccalaureate (IB) class. The epistemological motivations were to teach the process of scientific knowledge development, science as a community endeavour as well as the scientific approach to synthesis. A lesson plan and a Prezi presentation were devised, introducing the students to the methods of organic synthesis via esterification. This content was contextualised within a historic perspective. The students also planned their own syntheses and carried them out.

The second part of the study involved a multiple-choice questionnaire based on the Intrinsic Motivation Inventory (IMI) using a Likert scale with seven options as well as two open-ended short-answer questions. These were used to examine student motivation as defined by self-determination theory and perceptions about how scientists work as well as the value of history in scientific development.

1.2. Nature of science and historical perspective

1.2.1. Nature of science and the historical method in science teaching

The historical method has many uses as a science teaching tool. It not only aids student concept acquisition and development but also provides rich insight into the nature of science and scientific inquiry. Learning experiences mirror the historical development of science and signpost where students may be challenged, giving teachers a way of pinpointing where to focus their work. (Hodson, 2008, 149–155)

Learning about the nature of science is motivating (Wilder, 2006) and may serve to humanise this type of knowledge development. Additionally motivating may be the realisation of the tentative nature of scientific knowledge, that this knowledge requires historical development and the rejection of ideas. This gives students a better acceptance of their own blossoming knowledge with all its inadequacies and may lead to the development

of metacognitive skills. (Hodson, 2008, 150). The general acquisition of scientific literacy requires an understanding of how science works, and this is continuous with the understanding of the wider downstream implications of science (Clough and Olson, 2004) and therefore the potential to meaningfully take part in the debates of the day.

As well as avoiding the development of alternative conceptions (Lin, 1998), the historical method may also better reflect the reality of chemistry work. This also means that the teacher's representation of the content is improved.

The scientific epistemological dichotomy between absolutist realism, whereby science directly expresses the world, and historicist relativism, in which science is a social construct, offer sharply contrasting views. Externally the practice of science can be viewed as a 'direct reflection of economic and social structures'. (Bourdieu, 1991) In education the social aspects of the scientific process contribute to scientific literacy by helping dispel the common idea that science takes place in a 'socio-cultural vacuum' (Hodson, 2008, 160).

According to Hodson (2008, 89), 'each time we prematurely teach a child something he would have discovered for himself, the child is kept from inventing it and consequently from understanding it completely.' Therefore it is vital to let students find out as much of the experimental content as possible themselves, and using a scientific approach to the experimental part of a lesson does just this.

1.2.2. History of organic chemistry and synthesis

Before Justus von Liebig, chemists primarily worked alone. The genealogy given below might represent the beginnings of an organisational structural change within chemistry. Liebig's 'novel idea' of a more communal approach as well as his general laboratory principle of group work and interdisciplinarity (Michealis, 2003) appear to have been productive and fostered the later output and attitudes of chemists like Emil Fischer.

The term 'organic chemistry' was first used by Berzelius in 1806. In its early days, organic chemistry was concerned with the isolation and purification of organic products, notably that of ethanol distilled in Europe as early as the 13th century. (Hudson, 1992, 26) Berzelius mentored Friedrich Wöhler (Kauffman and Chooljian, 2001), who through an act of serendipity synthesised urea in 1828. Famously, this is often given as the experiment that heralded the death of vitalism in chemistry, although Wöhler himself made no such claim. In any case, the cat was now out of the box and it was apparent that organic compounds could be synthesised, from inorganic sources if need be. (Hudson, 1992, 104–105)

In 1860 Berthelot first used the word 'synthesis' and wrote a book on synthetic organic chemistry, which collected the means by which many compounds could be generated from their elements. The field of organic synthesis grew, and in 1877 the Friedel–Crafts reaction was discovered. (Hudson, 1992, 143)

Wöhler worked with Liebig, who was also involved in studying organic chemistry (Kauffman and Chooljian, 2001) and developed the law of the minimum, an idea similar in principle to that of limiting reagents. He also discovered nitrogen's role as a fertiliser. The vapour condensation device he popularised for his research is still known as the Liebig condenser. (Brock, 1995). His lectures also had a major impact on two other organic chemists, Emil Erlenmeyer and August Kekulé (Michealis, 2003). Erlenmeyer worked with alcohols and ketones as well as the hydrolysis of ether to alcohol (Witt, 1911). Kekulé found out that tetravalent carbons could link together. His most famous work was on the structure of benzene. In 1865 Kekulé published a paper suggesting that the structure contained a six-membered ring of carbon atoms with alternating single and double bonds. (Brush, 1999)

Robert Bunsen, the developer of the Bunsen burner, was also influenced by Liebig (Howe, 1899) and shared a doctoral student with Kekulé called Baeyer who was involved in the synthesis of plant dyes (de Meijere, 2005). Baeyer in turn had an assistant and doctoral student called Emil Fischer (Krebs, 1967).

Emil Fischer was influential in organic synthesis during this period. In addition to working on purines and proteins, he synthesised glucose from glycerol in 1890, producing a synthesis that involved isomerism. He worked on synthesis reactions to extend the carbon chains of sugars (Hudson, 1992, 153) as well as many other syntheses, such as caffeine (Kunz, 2002).

1.2.2.1 Modern synthesis

Robert Burns Woodward is regarded as the father of modern organic synthesis. He received the 1965 Nobel Prize for Chemistry for a number of total syntheses. His 1954 synthesis of strychnine, for example, had 29 steps in it. (Woodward, R. B., Cava, M. P., Ollis, W. D., Hunger, A., Daeniker, H. U. and Schenker, K., 1954) He also completed syntheses of quinine, cholesterol, chlorophyll and vitamin B₁₂ and developed many new reactions and techniques that are still used today. Impressively, his synthesis of vitamin B₁₂ (C₆₃H₉₀CoN₁₄O₁₄P) was carried out in partnership by teams in Harvard and Zürich, needing 100 chemists and taking 11 years. (Hudson, 1992, 156)

The design aspect is an important part of organic synthesis: one has to consider issues such as the price and toxicity of the chemicals and processes, amount of waste, time, equipment and yield. The modern way to do synthesis design is through retrosynthetic analysis, for which Elias James Corey won the Nobel Prize in Chemistry in 1990. The idea of retrosynthetic analysis is to reverse the directionality during the planning phase, going backwards from the product to the reagents. (James, 1993)

1.2.2.2. Hermann Emil Fischer (1852–1919)

Fischer was always academically gifted, although his destiny was not always apparent to his parents who tried to get him to join the family timber firm, calling him stupid when he failed in the business. Fischer initially studied physics at the University of Bonn and was awarded his doctorate from the University of Strasbourg, in time becoming a professor of chemistry. For his work in organic chemistry Fischer was awarded the Nobel Prize in Chemistry in 1902. (Hudson, 1992, 153) He was active during World War I and organised chemical production for the Germans. Sadly he lost two of his sons in the war and was struck by depression. He also contracted cancer, possibly from the toxic effects of chemicals used during his work, and ended up committing suicide. (McMurry, 2007)

Emil Fischer and Arthur Speier first wrote about a new type of esterification reaction in 1895. This was later named after them as the Fischer–Speier esterification. Their first esterifications were carried out with methanol and ethanol in the presence of sulphuric acid or hydrochloric acid. (Fischer and Speier, 1895)

1.3. The lesson

1.3.1. Curricular context

The lesson was designed for a class of International Baccalaureate (IB) students. The IB Advanced Higher Level Topic 20 requires that the students learn condensation reactions, and section 20.4 specifically mentions the ester-forming reactions of alcohols with carboxylic acids. In section D1.2 students should become familiar with the stages for the development of pharmaceutical products. (International Baccalaureate Organization, 2007)

This educational level approximately corresponds to the second year of Finnish general upper secondary school education. However, the relevant course in the National Core Curriculum for Upper Secondary Schools is ‘the chemistry of man and of the living environment’ (KE1), which is a first-year course. (Finnish National Board of Education, 2003)

1.3.2. Duration and structure

The lesson took 75 minutes and was taught to an IB class of 13 students. First the students were asked to discuss very briefly in small groups what they knew about esters. Their pre-knowledge was then publicly listed on the blackboard. After this they were introduced to the history and chemistry with the help of a Prezi presentation.

The history was taught using a timeline depicted in a concept map. This visually linked the different chemists and their work together throughout a section of history to illustrate science as a group endeavour. The history covered some general organic chemistry history as well as that of organic synthesis inclusive of synthesis design. The timeline ended with Fischer, whose life story was told in detail, including the invention of the Fischer–Speier esterification with Arthur Speier.

From the chemistry perspective the goal was to rehearse and reinforce the ester functional group. The lesson covered how esters are formed as well as their properties. Some new and more specific information was also given to the students, building on their previous knowledge. A further goal was to introduce the Fischer–Speier esterification and the reaction mechanism.

The students used clues to do small-scale retrosynthetic design for their ester syntheses and in the last part carried out the esterifications they had planned as practical experiments, assaying the fragrances of the ester products by smelling them. In the end they were told what the fragrances were.

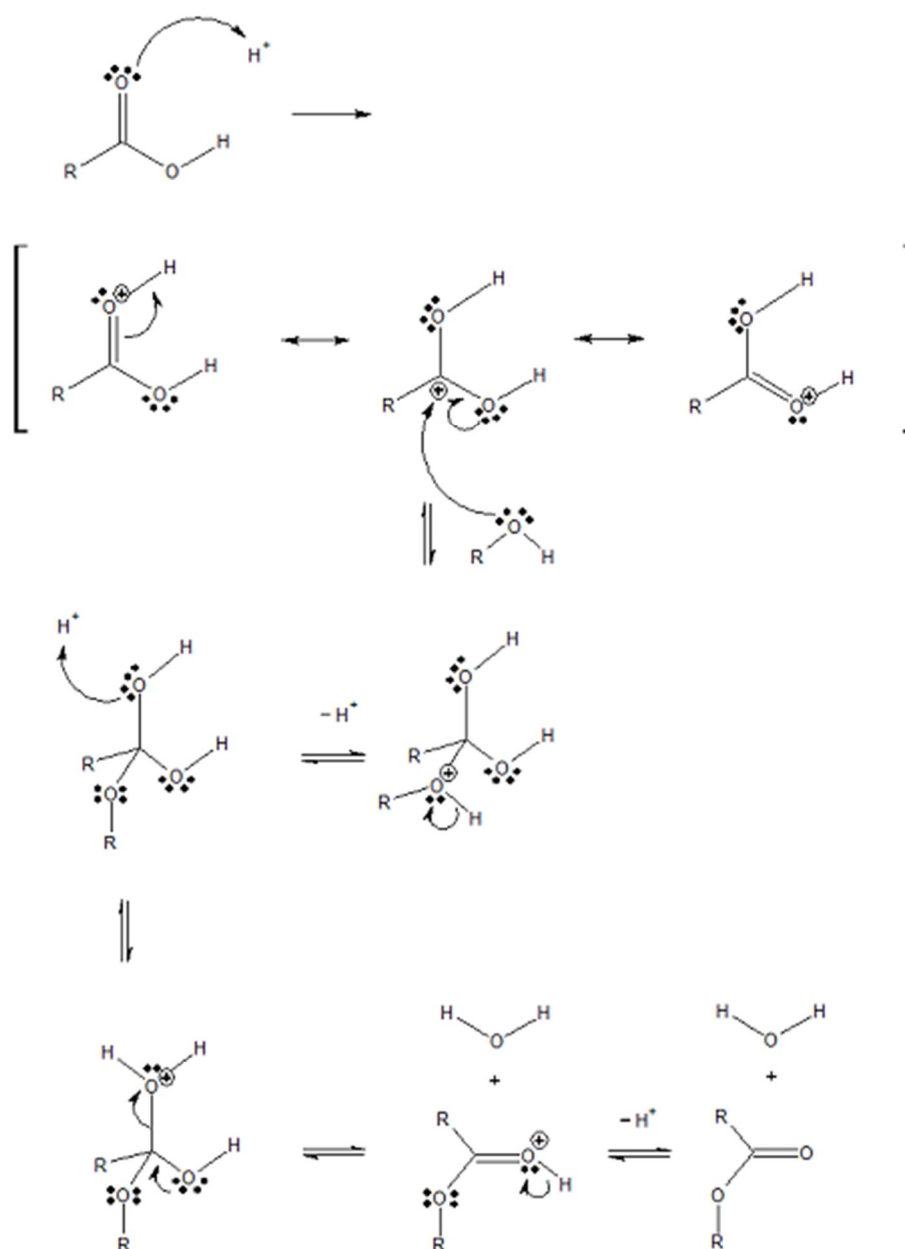


Figure 1.1. Fischer–Speier esterification reaction mechanism.

1.4. Student motivation and perceptions

1.4.1. The Intrinsic Motivation Inventory (IMI)

The Intrinsic Motivation Inventory (IMI) is based upon self-determination theory which, according to Ryan and Deci (2000), provides a framework for understanding the three factors of competence, autonomy and relatedness which lead to self-motivation and healthy

psychological development. The IMI is a multidimensional measurement device intended to assess participants' subjective experience related to a target activity in laboratory experiments (Ryan and Deci 2000). In education motivation may be regarded as a root attribute, and methods of assessing motivation as well as creating the conditions for student self-motivation both save resources and increase education output.

Interest and enjoyment are both internally located and part of intrinsic motivation. Ryan and Deci (2000) explain the relationships between the three factors in that enjoyment and interest is an evolved 'propensity' and as such exists naturally. Intrinsic motivation is mediated by perceived competence and this feeds back positively into motivation if accompanied by autonomy. Extrinsic motivations like relatedness are meaningful if they are valued by others to whom the participant feels allied in some way, and this is a further function of perceived competence.

1.4.2. The questionnaire used

Research was undertaken using a feedback sheet with 12 multiple-choice questions and two open-ended questions. The students answered the questions at the start of their subsequent chemistry lesson.

The IMI questions measured relatedness, perceived competence and two aspects of interest, value-related and feeling-related. The multiple-choice items covered four different aspects of student motivation: interest with regards to enjoyment (1, 5 and 12), relatedness (2, 6 and 9), perceived competence (3, 7 and 10) and interest with regards to value and usefulness (4, 8 and 11). The questions were mixed and were presented before the open response items.

During my participation in this <u>science inquiry</u> activity ...	not at all true		somewhat true			very true	
1. I thought that this activity was an exciting one.	1	2	3	4	5	6	7
2. I felt really close to my peers while doing this activity.	1	2	3	4	5	6	7
3. I thought that I was pretty good at this activity.	1	2	3	4	5	6	7
4. I believe this activity had some value for me.	1	2	3	4	5	6	7
5. I enjoyed this activity very much.	1	2	3	4	5	6	7
6. I felt I could really trust my peers participating in this activity.	1	2	3	4	5	6	7
7. After working at this activity for a while I felt pretty competent.	1	2	3	4	5	6	7
8. I thought this activity was important to do because it could help my learning.	1	2	3	4	5	6	7
9. I'd like to interact with my peers participating in this kind of activity more often.	1	2	3	4	5	6	7
10. I was satisfied with my performance in this activity.	1	2	3	4	5	6	7
11. I would be willing to do similar activities more often because they have value for me.	1	2	3	4	5	6	7
12. This activity held my attention very much.	1	2	3	4	5	6	7

Figure 1.2. The multiple-choice questionnaire used in the first part of the study.

The second part had two open questions: ‘Describe briefly how scientists work’ and ‘Is history important in science? Explain briefly why or why not.’ These were added to provide respondents with the opportunity to freely construct their answers.

The multiple-choice items help channel the focus of the inquiry while the open-ended items are less constraining in their character. Our logic in including both in our investigation was that, firstly, this might provide us with a better view of the student opinions and, secondly, that providing divergent approaches might be more fitting for different types of student.

1.4.3. Results

The sample size was 12, with only 11 for one of the multiple choice questions. Although the results are in no way conclusive, they do provide a snapshot into the students’ thinking and feelings.

1.4.3.1. Multiple-choice questionnaire results and assessment

Student responses to the IMI categories of ‘interest with regards to enjoyment’ ranged from 4 to 7 (mean = 5.89), ‘interest with regards to value and usefulness’ from 3 to 7 (mean = 5.67), ‘perceived competence’ from 3 to 7 (mean = 5.33) and ‘relatedness’ from 4 to 7 (mean = 5.51).

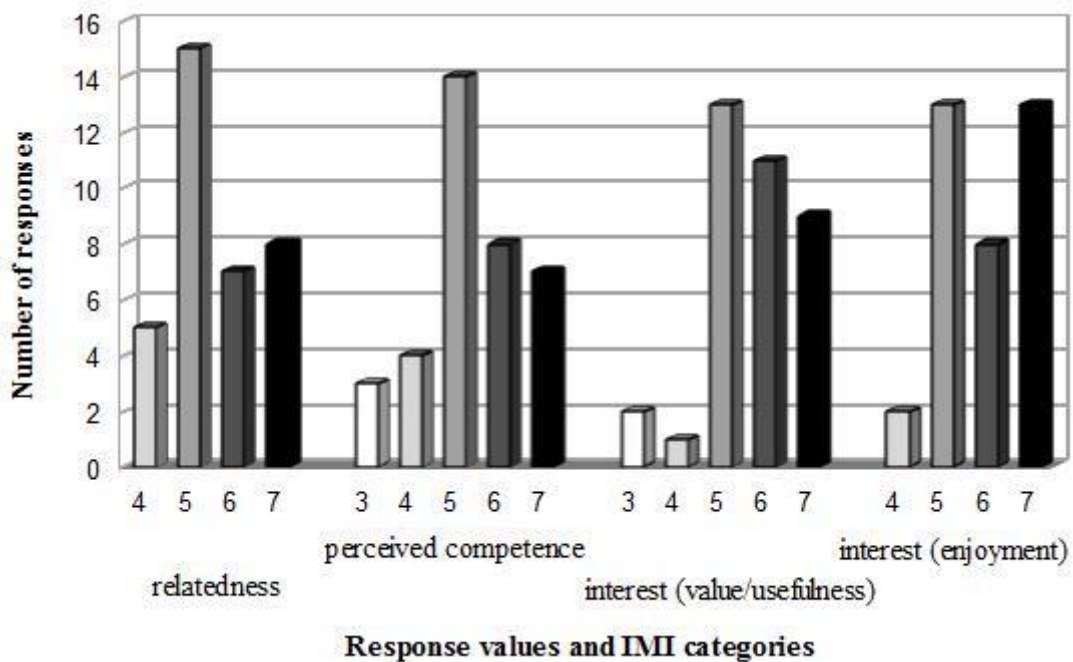
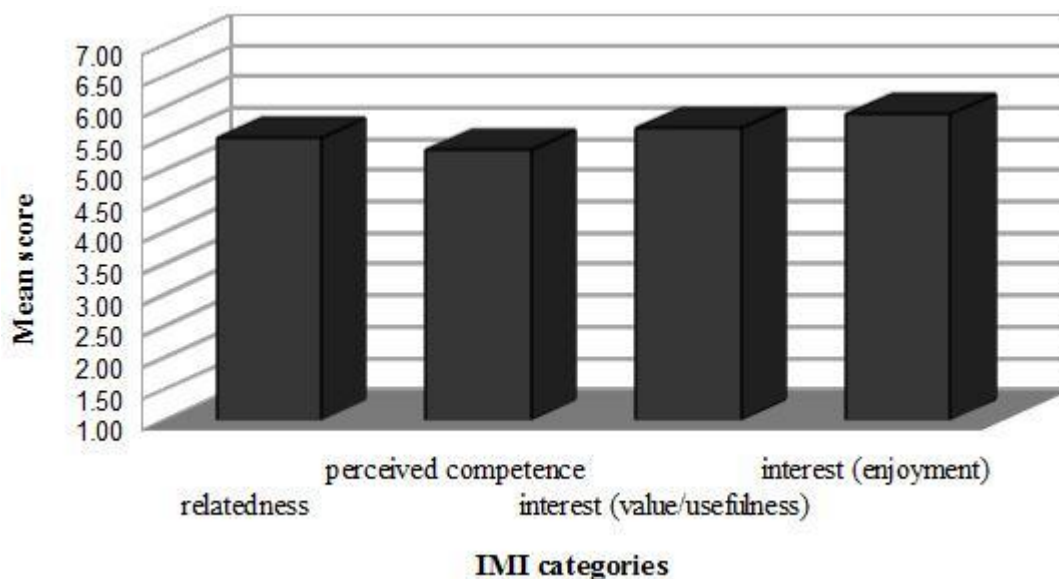


Figure 1.3. Distribution of responses to the different IMI categories of the questionnaire.**Figure 1.4.** Mean average scores for the four IMI categories.

None of the students selected 1 or 2 in the questionnaire, and two of the categories did not even have any 3s selected. Therefore all the mean averages were high: the lowest was 5.33 and the highest 5.89. Overall we would tentatively suggest that the teaching was successful with respect to the IMI categories and that the historical method in chemistry teaching works well as regards the IMI categories used.

The mean average for interest with regards to enjoyment peaked at 5.89, with none of the answers even slightly negative. Our results may therefore show concordance with Wilder (2006) in that this kind of teaching was considered to be motivating. This was also reflected in the lesson as all the students concentrated very well, the Prezi presentation seemed to maintain interest and time flew by during the experiment. The students seemed to particularly enjoy smelling pure butyric acid. The design part seemed to be challenging, which may have led to some frustration, thus lowering the scores.

The difficulties during the design part were likely to have contributed to competence having the lowest mean average. These difficulties may be partly explained by time constraints. The score of 5.33 is, however, quite reasonable for competence. It may be due to the experimental part going very smoothly and the students feeling that they could recognise the ester fragrances quite well.

Interest with regards to value and usefulness had the second-highest mean average at 5.67. Two answers were on the negative side, but these were both given by the same student. Other students seemed to be more positive about the value and usefulness of the lesson. Overall the respondents found the historical method, scientific approach to experiments and the chemistry content as having value and use, in line with Hodson (2008,

150) as well as Clough and Olson (2004). Exactly which part of the lesson the students thought had value and was useful was beyond the scope of this investigation.

The mean score for relatedness was 5.51, with no negative answers given. This was an accurate reflection of the lesson as the students were very open and worked well together during the experimental part. The whole ambience in the class seemed relaxed and positive, as was reflected in the IMI scores.

1.4.3.2. Open-ended question results and assessment

The responses to the first open-ended question were broadly categorised according to whether the students mentioned the following: hypothesis testing, experimentation and scientific community. The idea of a scientific community was underrepresented, with only two of the students referring to any type of scientific community. This result seems to be in line with the ideas of Hodson (2008, 160), whereby ideas about the social nature of science are generally underrepresented in the minds of students. In general the work done by scientists was represented well among all but one of the respondents.

All of the respondents except for two thought that history was an important aspect in science. They gave some indication of an appreciation of the development of science in terms of problem-solving and accumulation of knowledge. One respondent wrote that there could be a negative side to it as progress could be ‘repressed’ as ‘flogiston did in its time’. This is interesting as the student appears to balance both negative and positive viewpoints with respect to the history of science and yet might not fully appreciate the nature of scientific revolutions. This may indicate that students would benefit from learning about the overall framework of the scientific method, for example the testing of competing ideas.

1.4.4. Conclusions

The students did not answer the questionnaire directly after the lesson but, instead, at the start of their next chemistry lesson. As such their responses can be viewed as having had some sort of retentional value. By which part of the lesson and to what extent this memory trace may have been formed is beyond the scope of this investigation.

Our multiple-choice questionnaire results provide an indication of the students’ feelings within the categories defined from self-determination theory as interest with regards to enjoyment, relatedness, perceived competence and interest with regards to value and usefulness. However, a potential shortcoming of our results is that they only provide a snapshot and, as there were different phases to our lesson, it is not clear which specific part the students may be referring to in their answers. This leads us to assume that the results represent only a general flavour of the categories with respect to the lesson. On the whole

the students viewed the lesson very positively from the perspective of self-determination theory.

The open-ended response items show that the student conceptual landscape concerning how chemists work consisted mainly of individualistic features about the actual doing of the science. A smaller number of the respondents did mention the communal aspect of scientific endeavour, but whether this is as a result of our lesson is difficult to say, although it seems likely. This indicates that the idea of the communal nature of chemistry may be underrepresented in the student conceptual landscape despite being a prominent feature of our lesson.

Student conceptions may be deep-rooted (Duit and Treagust, 2003) and resistant to change (Anderson et al, 2002). According to Lin (1998) conceptual development should be increased by the historical teaching method. Increasing student exposure to different methods of perceiving, understanding and participating in the communal nature of chemistry practice will hopefully erode alternative conceptions and help redefine student conceptual ecology, allowing a better appreciation of the communal aspect of chemistry work.

The open response item on the importance of history in science seemed to overwhelmingly show that the students appreciated and to some extent understood the role of history in the development of science, in line with Hodson (2008, 150). It is our hope that this is at least in part due to our efforts during the class.

1.5. Lesson plan

For a copy of the lesson plan visit <http://www.luma.fi/files/Esterit.pdf>.

References

- Anderson, D. L., Fisher K. M. & Norman G. J. (2002). Development and Evaluation of the Conceptual Inventory of Natural Selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 952–978.
- Bourdieu, P. (1991). The Peculiar History of Scientific Reason. *Sociological Forum*, 6(1): 3–26.
- Brock, W. H. (1995). Justus von Liebig. Gatekeeper of Chemistry. *Chemical Society Reviews*, 24(6), 383–389.
- Brush, S. G. (1999). Dynamics of Theory Change in Chemistry: Part 1. The Benzene Problem 1865–1945. *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, 30(1), 21–79.
- Clough, M. P. & Olson J. K. (2004). The Nature of Science Always Part of the Science Story. *Science Teacher*, 71(9), 28–31.
- de Meijere, A. (2005). Adolf von Baeyer: Winner of the Nobel Prize for Chemistry 1905. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(48), 7836–7840.
- Duit, R. & Treagust, D. (2003). Conceptual Change: a Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.
- Finnish National Board of Education. (2003). *National Core Curriculum for Upper Secondary Schools 2003* (pp. 156–157). Helsinki: Opetushallitus.

- Fischer, E. and Speier, A. (1895). Darstellung der Ester. *Chemische Berichte*, 28(3), 3252–3258.
- Hodson, D. (2008). Towards scientific literacy: A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science (pp. 89, 149–155 and 160). Rotterdam: Sense Publishers.
- Howe, J. L. (1899). Robert Wilhelm Bunsen. *Science*, 10(248), 447–451.
- Hudson, J. (1992). *The History of Chemistry*. 1st edition (pp. 26, 104–105, 143, 153 and 156). London: Macmillan.
- International Baccalaureate Organization. (2007). *IBO Diploma Programme Chemistry Guide*. Cardiff: International Baccalaureate Organization.
- James, L. K. (1993). *Nobel Laureates in Chemistry 1901-1992*. Washington, DC: American Chemical Society and Chemical Heritage Foundation.
- Kauffman, G. B. & Chooljian, S. H. (2001). Friedrich Wöhler (1800–1882), on the Bicentennial of His Birth. *The Chemical Educator*, 6(2), 121–133.
- Krebs, H. A. (1967). The Making of a Scientist. *Nature*, 215, 1441–1445.
- Kunz, H. (2002). Emil Fischer—Unequaled Classicist, Master of Organic Chemistry Research, and Inspired Trailblazer of Biological Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition*, 41(23), 4439–4451.
- Lin, H. (1998). The Effectiveness of Teaching Chemistry Through the History of Science. *J. Chem. Educ.*, 75(10), 1326.
- McMurry, J. E. (2007). *Organic Chemistry*. 7th edition (p. 795). Belmont, CA: Brooks Cole.
- Michaelis, A. R. (2003). Justus von Liebig, FRS: Creator of the World's First Scientific Research Laboratory. *Interdisciplinary Science Reviews*, 28(4), 280–286.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Self-determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-being. *The American Psychologist*, 55(1), 68–78.
- Self determination theory. *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)*.
<http://www.selfdeterminationtheory.org/questionnaires/10-questionnaires/50>, accessed 9.4.2012.
- Wieder, W. (2006). Science as Story Communicating the Nature of Science Through Historical Perspectives on Science. *The American Biology Teacher*, 68(4), 200–205.
- Witt, O. N. (1911). Emil Erlenmeyer, 1825–1909. *J. Chem. Soc. Trans.* 99, 1650–1651.
- Woodward, R. B., Cava, M. P., Ollis, W. D., Hunger, A., Daeniker, H. U. & Schenker, K. (1954). The Total Synthesis of Strychnine. *J. Am. Chem. Soc.* 76(18), 4749–4751.

2. Happamat ja emäksiset oksidit Lavoisierin teorioiden avulla Milja Helenius & Vuokko Lipponen

2.1. Johdanto

Koulun oppitunnit alkavat helposti noudattaa samaa opettajan aina käyttämää kaavaa, jos tämä ei aktiivisesti etsi vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa opetusta. Kemian opetuksen keskeiset alueet II -kurssillamme oli tavoitteena suunnitella ja toteuttaa hieman poikkeuksellinen ja erilainen kemian oppitunti, josta voimme kehittää muille opettajille valmiin, sellaisenaan toteuttamiskelpoisen tunnin. Käytimme oppitunnilla historiallista lähestymistapaa yhdistettynä kokeellisuuteen.

2.2. Historiallinen lähestymistapa ja luonnontieteiden luonne

Historiallisessa lähestymistavassa opittavaa aihetta lähdetään lähestymään historian ja sen henkilöahmojen ja tarinoiden kautta. Näin opittavaan kemian aiheeseen saadaan lisää mielenkiintoa sellaisillekin opiskelijoille, jotka eivät ole kovin kiinnostuneita kemiasta, mutta saattavat olla kiinnostuneempia historiasta. Historiallista lähestymistapaa voi hyödyntää esimerkiksi vain kertomalla aiheeseen liittyviä pieniä ja hauskoja historiallisia anekdootteja, tai historian käyttöä voi laajentaa ja kertoa esimerkiksi tieteentekijän elämästä ja saavutuksista, tietyn tieteellisen teorian kehityskaaresta, tai kemiallisen mallin tai käsitteen historiasta. Historiaa on hyvä tuoda esiin mielenkiintoisesti; tarinamuotoinen kertomus puree yleisöön aina paremmin kuin tylsä luento. Historian kautta voi kuin huomaamatta tuoda ilmi tärkeää kemian faktatietoa tarinan seassa.

Historiallisen lähestymistavan muita etuja ovat opiskelijoiden motivoiminen ja erilaisten ajatusmallien tarjoaminen. Opiskelijoiden virhekäsitykset kemiasta saattavat olla samankaltaisia kuin varhaisemmat historialliset mallit, ja näin opiskelijat ymmärtävät, etteivät heidän mallinsa ole aivan järjettömiä, vaikka eivät nykytiedon mukaisia olekaan. Toisaalta tämä auttaa opiskelijoita myös ymmärtämään, että entisajan tiedemiehet eivät olleet tyhmiä ajatellessaan asioista eri tavalla kuin nyt, vaan mallit ovat vähitellen kehittyneet ja kehittyvät edelleen. Valmiiden mallien ajattelu ei myöskään ole luonnollista tieteelliselle ajattelulle, ja historialla voidaan perustella mallien kehittyminen sellaisiksi kuin ne ovat nykyään. Historiallisen lähestymistavan avulla opiskelijat voivat oivaltaa, että myös tiedemiehet tekevät virheitä ja etteivät nämä ole täydellisiä. Lisäksi historiaa voidaan käyttää myös monikulttuurisuuden edistämiseen ja rasismin vastaiseen opetukseen, jos kerrotaan myös muista kuin länsimaisista tieteentekijöistä. Tieteen historian avulla voi myös edistää oppiaineiden välistä opetusta. (Hodson, 2008)

Historiallisella lähestymistavalla voidaan opettaa myös luonnontieteiden luonnetta. Luonnontieteiden luonnetta kuvaa muun muassa se, että tieteellinen tieto perustuu empiiriseen tutkimukseen, eikä siten ole välttämättä pysyvää, vaan alati muutoksessa. Muita tärkeitä luonnontieteiden luonteen ominaisuuksia ovat se, että tieteen tekemisessä tarvitaan luovuutta, tiede ei voi vastata kaikkiin kysymyksiin, ja että tieteen tekemiseen vaikuttavat sekä kulttuurilliset, sosiaaliset että historialliset seikat. (McComas, 2004)

Kun yritetään opettaa historiallisella lähestymistavalla jotakin luonnontieteiden luonteesta, on tärkeää, että opetettavat asiat rajataan tarkasti: mitä kemian teoriaa ja mitä luonnontieteiden luonteen sisältöä halutaan opettaa, ja missä historiallisessa kehyksessä. On hyvä valita vain yksi luonnontieteiden luonteen osa-alue opetettavaksi kerrallaan, ja osata jättää pois oppimisen tai tarinan kannalta turhat yksityiskohdat. Jos historialliselle tarinalle saa jonkin yhteyden nykypäivään, tulee tarinasta ja opetuksesta paremmin samaistuttava. Tietoa pitäisi hahmottaa käsitellyn aikakauden tasolla, eikä nykypäivän tietopohjaa mukaan. (Forato, Martins & Pietrocola, 2012)

2.3. Oppitunti historian siivin

Tuotimme historiaan perustuvan oppituntikokonaisuuden lukion KE4 Metallit ja materiaalit -kursseille. Lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaan kyseisen kurssin keskeisiin sisältöihin kuuluvat metallit ja epämetallit sekä niiden happiyhdisteet eli oksidit (Opetushallitus, 2003). Opetussuunnitelman perusteiden tavoitteina on myös tukea opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä osana monipuolista yleissivistystä (Opetushallitus, 2003), mikä on helppoa toteuttaa historiallisen lähestymistavan avulla.

Laatimamme oppitunnin aikana toinen opettajista näytteli Antoine Lavoisieria, 1700-luvun kemistiä, ja esitti happamuusteorian hänen mukaansa. Lavoisieria ennen tieto happamuudesta koostui ainoastaan havainnoista happojen ominaisuuksista. 1600- ja 1700-luvuilla oli vallalla myös palamiseen liittyvä flogiston-teoria, jonka mukaan metalleissa on ainetta nimeltä flogiston, jota tarvitaan palamiseen. Flogiston vapautuu metallin palaessa, ja jäljelle jää metallin kalkkia. 1770-luvulla Lavoisier kumosi tämän teorian löytämällä hapen, jonka kuitenkin päätteli virheellisesti olevan myös happamuuden aiheuttaja. (Ahonen, 2005) Lavoisier perusti päätelmänsä mm. typpi- ja rikkihapon valmistusprosesseihin, joissa molemmissa poltetaan happojen ns. kanta-aineita. Lavoisier ajatteli, että kaikki oksidit olisivat happamia ja että kaikki hapot olisivat oksideja. (Berg, 2008)

Toinen opettajista esiintyi nykytietämyksen omaavana assistenttina. Tunnilla mitattiin kokeellisesti metalli- ja epämetallioksidien vesiliuoksien happamuutta ja pohdittiin monisteen avulla mistä erot johtuvat. Lopuksi perehdyttiin assistentin johdolla oksidien

teoriaan nykytiedon mukaan, sekä kerrottiin, miten Sir Humphrey Davy kumosi Lavoisierin teorian vuonna 1810. Davy osoitti, että suolahappo koostuu kloorista ja vedystä, eikä sisällä happea (Berg, 2008). Lavoisieria esittävä opettaja pysyi roolissaan koko oppitunnin ajan ja tarjosi kontrastin nykytietämykselle. Oppilaiden piti myös yrittää selittää Lavoisierille tämän elinajan käsitteitä ja tietoa hyödyntäen, miksi tämän teoria ei pidä paikkaansa.

Käsittelimme tunnin aikana myös luonnontieteiden luonnetta. Valitsimme aiheeseen liittyen teemaksi sen, että tieteellinen tieto on Lavoisierin happamuusteorian tavoin usein kestävä, mutta epävarmaa.

2.4. Tutkimustuloksia

Testasimme kehittämäämme oppituntia Martinlaakson lukiossa. Ryhmässä oli vain kahdeksan opiskelijaa, joten tutkimuksemme otos jäi melko suppeaksi. Suoritimme tutkimuksen seuraamalla opiskelijoiden keskusteluita ja analysoimalla heidän täyttämäänsä tutkimuslomakkeita.

Tavoitteenamme oli selvittää oivaltavatko opiskelijat näytelmän ja lomakkeen avulla happamien oksidien olevan epämetallioksideja ja emäksisten oksidien olevan metallioksideja, ilman opettajan suoraa selitystä. Halusimme myös selvittää, miten hyvin opiskelijat ymmärtävät tunnin jälkeen entisajan maailmankuvaa.

Seitsemän opiskelijaa kahdeksasta oli oivaltanut oksidien metalli–epämetalli-jaon tavoitteemme mukaisesti. Yhdessä paperissa mainittiin jopa elektronegatiivisuusarvot. Viisi opiskelijaa oli selvästi ymmärtänyt, että heidänkin maailmankuvansa olisi erilainen, jos he olisivat eläneet 1800-luvun alussa sen ajan kemiallisilla tiedoilla. Vastauspapereista ja keskusteluista kävi hyvin ilmi, miten monet nykyään itsestään selvät ja arkipäiväiset asiat vaikuttaisivat ihmeellisiltä ja selittämättömiltä. Viimeisenä kysymyksenä tutkimuslomakkeellamme oli, miten opiskelija olisi itse tutkinut happamuutta Lavoisierin ajan tiedoilla. Viidessä paperissa oli mainittu kekseliäitä ja entisajan tiedot huomioivia ehdotuksia happamuuden tutkimiseksi, esimerkiksi maistamista, haistamista ja maitoon sekoittamista.

2.5. Tulosten arviointia

Kehittämämme oppitunti toteutti hyvin asettamamme tavoitteet. Lähes kaikki opiskelijat oivalsivat oksidien metalli–epämetalli-jaon tavoitteemme mukaisesti ja suurin osa oppi myös jotakin kemian historiasta ja luonnontieteiden luonteesta. Seuraamalla opiskelijoiden työskentelyä huomasimme, että he olivat alkujäykkyyden jälkeen selvästi motivoituneita opiskelemaan aihetta historiallisen lähestymistavan kautta.

Havaitsimme asettaneemme tutkimuslomakkeen kysymykset hyvin, sillä niihin vastaaminen vaatii opitun tiedon soveltamista, mikä kehittää korkeamman tason ajattelutaitoja.

Mikäli aikaa olisi ollut käytössä enemmän, kokeellinen osuus olisi kannattanut toteuttaa demonstraation sijaan oppilastyönä, jolloin myös tekemällä oppivat opiskelijat olisivat mahdollisesti oppineet paremmin. Mikäli luokassa on riittävän hyvä varustelu kokeellisuuden toteuttamiseen, veteen liuotettavat oksidit kannattaa valmistaa itse polttamalla esimerkiksi puutikkua ja magnesiumnauhaa. Happamuuden toteamiseen voisi käyttää pH-paperin sijaan indikaattoriliuoksia autenttisemmän vaikutelman antamiseksi.

Oletimme etukäteen, että opiskelijoille olisi ollut vaikeampaa keksiä oksidien metalli-epämetallijakoa, mutta helpompaa hahmottaa historiallista kontekstia. Koska joillekin opiskelijoille tuotti vaikeuksia ymmärtää miten vähän Lavoisierin aikaan ymmärrettiin kemiasta, olisi ollut hyvä käyttää hieman enemmän aikaa aikakauden yleisen tietämyksen kuvailuun.

Lähteet

- Ahonen, T. (2005). *Historiaan pohjautuva lähestymistapa kemian opetuksessa*. Pro gradu - tutkielma, Helsingin yliopisto.
- Berg, K. (2008). Tin oxide chemistry from Macquer (1758) to Mendeleeff (1891) as revealed in the textbooks and other literature of the era. *Science & Education*, 17, 265–287.
- Forato, T., Martins, R., Pietrocola, M. (2012). History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies. *Science & Education*, 21(5), 657–682.
- Hodson (2008). Towards scientific literacy: a teacher's guide to the history, philosophy and sociology of science (luku 8). Rotterdam: Sense Publishers.
- McComas, W. (2004). Keys to Teaching the Nature of Science. *The Science Teacher*, 71(9), 24–27.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Helsinki: Opetushallitus.

3. Historiallinen lähestymistapa ainemäärän ja moolin opetuksessa **Minna Jääskeläinen & Rajka Kavonius**

3.1. Johdanto

Ainemäärä ja mooli kuuluvat kemian peruskäsitteisiin, jotka liittyvät muun muassa stoikiometriaan, kemiallisiin kaavoihin ja ilmiöiden matemaattiseen käsittelyyn. Ainemäärä kuuluu lukion kemian ensimmäisen kurssin keskeisiin sisältöihin (Opetushallitus, 2003). Yleisesti kemian opetukselle on ominaista kokeellisesti saatujen tietojen tulkitseminen ja arvioiminen sekä niiden esittäminen muille. Oppilaan on siis hallittava ainemäärän suhde muihin suureisiin, ja osattava hyödyntää laskukaavoja tulosten käsittelyssä.

Opetuskokeilumme tavoitteena oli esitellä ainemäärän ja moolin käsitteiden kehitystä, sekä luonnontieteiden luonnetta ja historiallista lähestymistapaa hyödyntäen korostaa sitä, että hiukkaset reagoivat kappalemäärittäin. Tästä lähtökohdasta johdattelimme oppilaat ainemäärän, massan ja partikkelien lukumäärän yhdistäviin kaavoihin. Tavoitteena oli, että oppilaat osaisivat oppitunnin jälkeen käyttää kaavoja ja tunnistaisivat niissä esiintyvät eri suureiden symbolit.

3.2. Historiallinen lähestymistapa

Padilla ja Furio-Mas (2008) ovat tutkineet historiallista lähestymistapaa ainemäärän ja moolin käsitteiden opetuksessa. Ainemäärä on abstrakti ja vaikea käsite, jonka merkitys on muuttunut historian kuluessa. Historian tuntemus syventää opettajan aineenhallintaa ja auttaa ymmärtämään ainemäärän käsitteen oppimisen ongelmakohtia. Oppilaiden ongelmat voivat olla samankaltaisia käsitteeseen aikoinaan liittyvien väärinkäsitysten kanssa.

Hodsonin (2008) mukaan historiallinen lähestymistapa voi rohkaista ja innostaa oppilaita. Tieto siitä, että tiedemiehet ovat olleet väärässä ja tehneet virheitä, inhimillistää tiedettä. Historian kautta voidaan myös tukea luonnontieteiden luonteen ymmärtämistä. McComas (2004) on artikkelissaan luetellut luonnontieteiden luonteen ydinasiat, jotka käsittelevät sitä, mitä tieto on, miten sitä hankitaan ja mitkä asiat vaikuttavat sen tulkintaan. Bell (2009) esittää, että luonnontieteiden luonteen opetus on tehokasta ja mielekästä, kun se käsitellään eksplisiittisesti ja kontekstiin liitettynä.

3.3. Ainemäärän ja moolin historia

1700-luvun lopulla Jeremias Richter huomasi, että samassa reaktiossa reagoivien lähtöaineiden massa on aina vakio. Hän teki kokeita hapoilla ja emäksillä ja tutki, missä massasuhteissa niitä pitää yhdistää, jotta saadaan neutraali liuos. 1802 Ernst Fischer esitti,

että ekvivalenttimassat voitaisiin taulukoida ja asettaa vertailuarvoksi rikkihappo, jolle annettiin arvo 1000. (Padilla & Furio-Mas, 2008)

John Dalton kehitti atomiteorian 1800-luvulla ja väitti, että kaikki saman alkuaineen atomit ovat keskenään samanlaisia. Hän myös ehdotti, että saman alkuaineen atomeilla on sama massa, koska ne ovat samanlaisia. Eri aineiden atomien massat ovat erilaiset. Dalton julkaisi ensimmäisen atomipainojen taulukon vuonna 1805. Hänen taulukossaan vedyn paino määriteltiin yhdeksi. Hieman myöhemmin Jöns Jakob Berzelius suoritti omia tarkkoja mittauksiaan ja julkaisi taulukkonsa vuosina 1814, 1818 ja 1826. Berzelius käytti ensimmäisenä happea mittajärjestelmän standardina ja hänen viimeisimmässä taulukossaan hänen arvonsa ovat hyvin lähellä nykyisiä arvoja, tosin hän käytti hapelle arvoa 100 nykyisen 16 sijasta. Joseph Louis Gay-Loussac oli ensimmäinen, joka huomasi, että alkuaineet eivät aina ole yhdisteissä 1:1 vaan saattavat muodostaa yhdisteitä eri suhteissa. (Padilla & Furio-Mas, 2008)

Vuonna 1811 Amadeo Avogardo esitti hypoteesin, jonka mukaan samat tilavuudet eri kaasuja sisältävät saman määrän osasia, jos lämpötila ja paine ovat vakiot. Hän myös väitti, että saman alkuaineen atomitkin voivat yhdistyä ja muodostaa molekyylin. Tämä ehdotus ei kuitenkaan ollut suosittu, kunnes Stanislao Cannizzaro toi sen esille Karlsruhen kongressissa 1860 ja se hyväksyttiin. Karlsruhen kongressissa palautettiin vety takaisin atomimassataulukoihin standardiksi arvolla 1. Wilhelm Ostwald oli ensimmäinen, joka käytti sanaa mooli ja esitteli kirjassaan myös termin ainemäärä, mutta hän viittasi näillä aina massoihin tai massojen suhteisiin. (Padilla & Furio-Mas, 2008)

Massaspektrometrian kehittyminen johti siihen, että happi otettiin atomimassojen standardiksi. Kemisteillä ja fyysikoilla oli erimielisyyksiä hapen atomimassan tarkasta arvosta, sillä kemistit käyttivät isotooppien 16, 17 ja 18 keskiarvoa, mutta fyysikot happi-16:aa. Vuosina 1959–1960 IUPAC:n hyväksymän määritelmän lähtökohta on, että 12,0000 grammaa C-12 isotooppia on yksi mooli. (Padilla & Furio-Mas, 2008)

3.4. Oppituntikokeilu ja tutkimuksen suoritus

Halusimme käyttää historiallista lähestymistapaa, jotta oppilaat ymmärtäisivät, miten moolin ja ainemäärän käsitteet ovat kehittyneet. Historian kronologinen seuraaminen mahdollisti tällaisen tarkastelun. Teimme alussa ekvivalenttimassoilla kokeellisen työn, jotta oppilaat ymmärtäisivät, ettei reagoivien aineiden massoilla ole merkitystä. Olemme huomanneet joillain lukiolaisilla virhekäsityksen, että suoraan massoista voisi laskea kuluvien aineiden määrän.

Esittelimme atomiteorian, jonka avulla esitimme, että yksittäisten reagoivien kappaleiden lukumäärä määrä paljonko reagoivia aineita kuluu. Tavoitteenamme oli myös, että oppilaat oppisivat itse laskemaan ainemäärälaskuja. Teetimme tehtävän, jossa heidän

piti itse punnita vettä ja laskea, kuinka monta vesimolekyyliä dekanterilasissa on. Oppilaat käyttivät esitetyä kaavaketta (Liite: Vesimolekyylikaavake), jonka vasemmalla puolella oli tyhjiä aukkoja vastauksia varten ja jonka oikealle puolelle he laskivat laskunsa ja esittivät ajatuksenkulkuaan. Oppilaat tekivät tehtävän mahdollisimman itsenäisesti, lähinnä yritimme antaa ohjaavia neuvoja, esimerkiksi pyysimme pohtimaan vastausten mielekkyyttä. Keräsimme Vesimolekyylikaavakkeet ja arvioimme niiden pohjalta, kuinka moni oli saanut laskettua laskun ja miten hyvin he olivat ymmärtäneet opetetut käsitteet.

3.4.1. Tulosten arviointi

Arvioimme oppitunnin tavoitteiden toteutumista seuraamalla oppilaiden työskentelyä ja analysoimalla lomakkeet, jotka oppilaat täyttivät vesimolekyylien lukumäärän määrityksen yhteydessä. Aika loppui hieman kesken, joten kaikki opiskelijat eivät saaneet lopullista vastausta laskettua. Tehtävän välivaiheista kuitenkin näki, että ratkaisumenetelmä oli ymmärretty.

Kaikille oppilaille oli selvää, mitä kaavoja laskuissa tarvitaan ja miten kaavoja käytetään. Oppilaat, jotka eivät tienneet, mikä symboli kuvaa vesimolekyylien määrää, olivat kuitenkin ratkaisseet tehtävän oikein. Yhteen tällaiseen raporttiin oli kirjoitettu ”N = hiukkasten lukumäärä”, kuten olimme taululle kirjoittaneet. Havaitimme, että symbolin N merkitys voi olla vaikea ymmärtää. Opetuksessa on painotettava, että N kuvaa tarkasteltavan systeemin perusosasia, jotka voivat siis olla atomeja, molekyyliä tai ioneja tapauksesta riippuen.

Esitimme oppituntikokeilumme ja tutkimuksemme Kemian opetuksen päivillä Oulussa 13.4.2012. Pajassa käyneistä opettajista osa oli sitä mieltä, että ainemäärän opettamiseen tarvitaan uusia ideoita. Heidän mielestään historialähtöinen lähestymistapa tekee aiheesta kiinnostavamman. Toisaalta osa opettajista oli huolissaan siitä, oppivatko oppilaat tunnin aikana halutut asiat. Kaikki oppilaat eivät todennäköisesti sisäistäneet ainemäärän ja moolin käsitteitä yhden oppitunnin aikana, mutta hekin saivat perusvalmiudet ainemäärälaskujen ratkaisemiseen.

Lähteet

- Bell, R. L. (2009). Teaching the Nature of Science: Three Critical Questions. Teoksessa *National Geographic: Best Practices in Science Education*. Carmel, CA: Hampton Brown.
http://www.ngsp.com/Portals/o/downloads/SCL22-0449A_AM_Bell.pdf, luettu 31.12.2012.
- Hodson, D. (2008). Towards scientific literacy: a teacher's guide to the history, philosophy and sociology of science (s. 149–171). Rotterdam: Sense Publishers.
- McComas, W. (2004). Keys to Teaching the Nature of Science. *The Science Teacher*, 71, 24–27.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Helsinki: Opetushallitus.
- Padilla, K., Furio-Mas, C. (2008). The Importance of History and Philosophy of Science in Correcting Distorted Views of 'Amount of Substance' and 'Mole' Concepts in Chemistry Teaching. *Science & education*, 17, 403-424.

Liite 3.1: Vesimolekyylikaavake

Tutkimusraportti

Vesimolekyylien määrä lasillisessa vettä

Punnitsimme vettä (kemiallinen kaava: _____)

_____ g.

Veden moolimassa on _____ g/mol

Määrittääksemme vesimolekyylien määrän vesilasillisessa tarvitsemme seuraavia kaavoja:

Näissä kaavoissa molekyylien lukumäärää kuvaa

symboli _____.

Lukumääräksi saimme _____ kpl.

Tee laskut välivaiheittain tähän tilaan. Raportoi myös pohdintaasi ja perustelee laskutoimituksesi.

4. Historiallisen lähestymistavan hyödyt ja haasteet, esimerkkinä Le Châtelier'n periaate

Topi Kotamäki & Jesse Mikkonen

4.1. Johdanto

Kemiallista tasapainoa esiintyy kaikkialla ympärillämme ja käsitys kemiallisesta reaktiosta on suuressa roolissa kemiallisen tasapainon ymmärtämiseen. Suoritimme opetuskokeilun, jossa lähestyimme kemian opetusta historiallisesta näkökulmasta. Aiheena oli Le Châtelier'n periaatteen opettaminen historiallisella lähestymistavalla. Tutkimme myös historiallisen lähestymistavan mielekkyyttä ja tehokkuutta opetuksessa oppilaiden näkökulmasta. Tutkimuksen suoritimme kyselytutkimuksena.

Opetussuunnitelman perusteet on pohja kemiallisen tasapainon opettamiselle. Le Châtelier'n periaate kuuluu lukion Reaktiot ja tasapaino -kurssille, jossa tarkastellaan reaktiotasapainoa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Opetushallitus on lukion opetussuunnitelman perusteissa asettanut kurssin tavoitteiksi, että opiskelija ymmärtää miten reaktion tasapainotila muodostuu ja sen merkityksen. Oppilaan on ymmärrettävä myös reaktio tasapainotilaan liittyvät laskennalliset tasapainosovellukset sekä osattava tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen kemialliseen tasapainoon liittyviä ilmiöitä. (Opetushallitus, 2003)

4.2. Historiallisen opetusmenetelmän oppimisen ja opetuksen haasteita

Monilla oppilailla saattaa olla aluksi negatiivinen käsitys historiallisesta opetusmenetelmästä, sillä se on uusi ja vieras asia. Asenteet uutta asiaa kohtaan eivät muutu hetkessä ja opettajan tehtäväksi jääkin löytää uusi mielekäs tapa, jolla motivoida oppilaita sekä vaikuttaa näiden asenteisiin.

Historiallisen opetusmenetelmän haasteena voidaan pitää sopivan opetusmateriaalin puuttumista (Wandersee & Baudoin Griffard, 2002). Oppimateriaalit ovat suuressa osassa opetusta, eikä oppikirjojen tekijät anna juurikaan painoarvoa historialliselle lähestymistavalle. Opetushallitus määrittelee myös tarkat määrätyt sisällöt sille mitä opetetaan ja miten. Opettajat voivat pitää haasteena sisällyttää opetukseensa uutta opetuskokeilua, joka voi viedä aikaa niiden käsitteiden opettamiselta, jotka opetussuunnitelma on määrittänyt.

Le Châtelier'n periaatteen suomalaiset lukiolaiset osaavat hyvin (Inkala, 2005). Kuitenkin opiskelijoilla on monia virhekäsityksiä itse kemiallisesta reaktiosta, mikä vaikuttaa myös kemiallisen tasapainon ymmärtämiseen. Opettajan on opetuksessaan huomioitava nämä mahdolliset virhekäsitykset, jotta opiskelijoiden oppimisesta tulisi syvällisempää.

Taulukko 1. Kemiallisen tasapainon ymmärtämiseksi tarvittavat käsitteelliset muutokset kemiallisesta reaktiosta (Van Driel 1998).

Käsitys kemiallisesta reaktiosta	Tasapainon ymmärtämiseen vaadittava käsitys
Kemiallinen reaktio on yksisuuntainen prosessi, jossa lähtöaineet muuttuvat tuotteiksi.	Useat reaktiot ovat käänteisiä eli tuotteet voivat muuttua takaisin lähtöaineiksi.
Kemiallinen reaktio etenee aina loppuun saakka. Tuotteita syntyy kunnes jokin lähtöaineista loppuu.	Tasapainotilassa reaktio ei etene loppuun saakka. Tuotteita ja lähtöaineita on olemassa yhtä aikaa systeemissä.
Kemialliseen reaktioon kuuluu jokin havaittava muutos makrotasolla.	Kemiallisessa tasapainossa ei havaita muutosta makrotasolla. Systeemissä tapahtuu yhtä aikaa kaksi reaktiota, jotka kumoavat toisensa.

4.3. Historiallisen opetusmenetelmän hyötyjä opetuksessa

Historiallisella lähestymistavalla ei ole suoraa yhteyttä opetussuunnitelman perusteisiin, mutta sen avulla pystyy lähestymään monia opetussuunnitelman perusteissa esiintyviä tavoitteita. Esimerkiksi opetussuunnitelman (Opetushallitus, 2003) tavoitteina on tarjota oppilaalle kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan. Lisäksi kemian opetuksen tarkoituksena on tukea opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä osana monipuolista yleissivistystä.

Oppilas voi laajentaa kokonaiskäsitystä kemiasta tutustumalla kemian historiaan. Henkilökuvat ja kemian kehitykseen liittyvät kertomukset antavat opiskelijoille tietoa kemian sovellusten kehittymisestä ja näin motivoivat ja innostavat opiskelijoita. Historiallisen opetusmenetelmän avulla opiskelijat saavat syvällisemmän käsityksen, kuinka käsitteet ja teoriat muokkautuvat jatkuvasti. (Ahtee & Pehkonen, 2000) Historiallinen näkökulma avaa tieteen kehittymistä ja muutosta, mikä auttaa opiskelijoita sisäistämään, että teoriat voivat muuttua tieteen kehittyessä.

4.4. Luonnon tieteellisen luonteen kuvaaminen opetuksessa

Kemian historian esiintuominen opetuksessa on osoittautunut hyödylliseksi ja tärkeäksi. Historiallisella lähestymistavalla voi oppilaille tuoda esille millainen on luonnontieteiden luonne. (Justi & Gilbert, 1999) Luonnontieteiden luonnetta tuotiin opetuksessa esille Le Châtelier'n periaatteen kehittymisen avulla. Le Châtelier'n periaatetta ei kehitetty hetkessä, vaan se oli pitkällisen vuosikymmeniä jatkuneen tieteellisen tutkimuksen tulos (Quilez, 2006).

Kuvaamalla kemian tutkimuksen kehittymistä ja tutkimuksen valjastamista teollisuuden käyttöön oppilaat voivat saada kuvan tieteen kehittymisestä. Esimerkiksi Le Châtelier'n periaatteen tärkeimmän sovelluksen, ammoniakkisynteesin, kehittämiseen vaikuttivat monet tekijät. Synteesin kehittäjä Fritz Haber sanoi että aiheen tutkimisen tärkeimpänä motivaattorina oli saada pelloilta sadonkorjuun yhteydessä katoava tyyppi palautettua peltoon. Näin sadot saataisiin paranemaan ja kansa ruokittua. Toinen Haberin motivaation lähde oli halu luoda raaka-ainetta saksalaiselle räjähdeteollisuudelle, sillä hän oli patriootti. (Erisman et al., 2008)

4.5. Tutkimus

Tutkimuksessamme halusimme selvittää opiskelijoiden asenteita historiallista lähestymistapaa kohtaan sekä lähestymistavan tunnettavuutta. Tutkimuksen suoritimme Eiran aikuislukiossa ja aineiston keräsimme yksinkertaisella kyselylomakkeella. Kysymykset olivat monivalintakysymyksiä ja niissä oli vastausvaihtoehdot asteikolla 1–4. Yksi tarkoitti *Täysin samaa mieltä* ja neljä tarkoitti *Täysin eri mieltä*.

Vastauksia tutkimukseen saimme 17 kpl, joista miehiltä 4 kpl ja naisilta 12 kpl. Yksi vastaajista ei ilmoittanut sukupuoltaan. Vastaajien keski-ikä oli 21 vuotta ikähaarukan ollessa 18–27 vuotta. Kaksi vastaajaa ei ilmoittanut ikäänsä.

Ensimmäinen kysymys kuului: *Historiallinen lähestymistapa on minulle tuttu*. Kysymykseen saimme vastauksia 16 kpl. Vastaukset saivat keskiarvoksi 2,38 mediaanin ollessa 3. Lähestymistapa oli siis monelle vieras, tosin neljä ilmoitti että se on heille tuttu (4kpl *Täysin samaa mieltä*).

Toinen kysymys oli: *Historiallinen lähestymistapa on minulle mielekäs*. Tähän kysymykseen vastasivat kaikki 17 vastaajaa. Vastausten keskiarvo oli 2,65 ja mediaani 3. Opiskelijat siis suhtautuvat menetelmään hieman varauksella. Tosin negatiivisia (*Täysin eri mieltä*) oli 2 kappaletta ja positiivisiakin (*Täysin samaa mieltä*) kaksi kappaletta.

Kolmannessa kysymyksessä haluttiin opiskelijoiden mielipiteitä opetusmenetelmän tehokkuudesta. Siinä kysyttiin, että onko *Historiallinen lähestymistapa tehokas oppimismenetelmä*. Tässä kysymyksessä vastausten keski-arvo oli 2,59 ja mediaani 3. Tässäkin ilmeni sama kuin muissa, oppilaat eivät olleet varmoja kannoistaan ja *Täysin eri mieltä* vastauksia oli kaksi kappaletta ja *Täysin samaa mieltä* kaksi kappaletta.

4.5.1. Johtopäätökset

Vaikka otos on hyvin niukka, ainakin otantaryhmä suhtautuu historialliseen lähestymistapaan varauksella. Molemmista suhtautumista mitanneessa kysymyksessä (*Historiallinen lähestymistapa on minulle mielekäs ja Historiallinen lähestymistapa on tehokas oppimismenetelmä*) vastausten keskiarvo oli selvästi yli 2. Kuitenkin eniten oli juuri vastauksia arvoilla 2 ja 3, eli opiskelijat eivät kuitenkaan olleet täysin varma kannoistaan. Tästä kertoo myös että vastauksia 1 ja 4 ilmeni hyvin vähän. Toisaalta negatiivisuus saattoi johtua myös siitä, että lähestymistapa ei ollut heille erityisen tuttu (keskiarvo 2,38) ja heillä ei ollut kokemusta sen toimivuudesta. Mielekkyyteen varmasti vaikutti myös lukion ylioppilaskirjoituskeskeisyys, joka ajaa opiskelijat opiskelemaan vain opetussuunnitelman mukaisia sisältöjä pärjätäkseen paremmin ylioppilaskirjoituksissa.

Historiallinen lähestymistapa ei siis ollut erityisten tuttu (vastausten keskiarvo 2,38). Kuitenkin sen myönsi tutuksi (4 kpl *Täysin samaa mieltä*) useampi kuin täysin vieraaksi (1 kpl *Täysin eri mieltä*). Hajonta luultavammin johtui erittäin heterogeenisestä otantaryhmästä, olihan kyseessä aikuislukio. Toisaalta kaikki eivät välttämättä olleet ymmärtäneet että kyse oli historiallisesta lähestymistavasta luonnontieteiden opetuksessa, sillä eräässä vastauksessa oli lisätty kirjaus *Tuttu historian tunneilta*. Lähestymistavan tuntemattomuus ei tullut yllätyksenä, sillä sen käytössä on omat haasteensa opettajalle. Omilta kouluajoiltamme emme ainakaan muista käyneemme mitään aiheita historiallisella lähestymistavalla, ainoastaan joitain historiallisia anekdootteja mainittiin oppitunneilla.

Lähteet

- Ahtee M. & Pehkonen E. (2000). *Johdatus matemaattisten aineiden didaktikkaan*. Helsinki: Edita.
- Erisman, J. W., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z. & Winiwarer, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature geoscience* 1(10): 636–639.
- Inkala, T. (2005). *Lukiolaisten virhekäsityksiä kemiallisesta tasapainosta*. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto.
- Justi, R. & Gilbert, J. (1999). History and Philosophy of Science through Models: The Case of Chemical Kinetics. *Science & Education*, 8(3), 287–307.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Helsinki: Opetushallitus.
- Quilez, J. (2006). From Chemical Forces to Chemical Rates: A Historical/Philosophical Foundation for the Teaching of Chemical Equilibrium. *Science & Education*, 18(9), 1203–1251.
- Van Driel, J., De Vos, W. & Verloop, N. (1998). Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 20(4), 379–392.
- Wandersee J.H. & Baudoin Griffard P. (2002). The History of Chemistry: Potential and Actual Contributions to Chemical Education. Teoksessa J.K. Gilbert et al. (toim.), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (s. 29–46). Dordrecht: Kluwer.

5. Atomimallit opetuksessa: historiallinen lähestymistapa

Päivi Kousa, Xingting Zeng

5.1. Johdanto

Oppikirjoissa kemian historia on usein esitetty oheislukemistona teorian lomassa. Opettajat jättävät historiallisen osuuden yleensä käsittelemättä oppitunneilla, koska katsovat sen olevan täytettyä, joka vie aikaa varsinaiselta opetukselta. Historiallisen näkökulman tärkeys kemian opetuksessa huomattiin jo 1920-luvulla. American Chemical Society's Division of the History of Chemistry'n perustajajäsenet olivat huomanneet, että historiallinen lähestymistapa tuo kemian lähemmäksi arkielämää ja luonnontieteiden luonnetta (Nature of Science eli NOS). Järjestön jäsenet toivoivat, että historiallisesta ja filosofisesta näkökulmasta tulisi punainen lanka, joka jatkuisi oppikirjoissa ja opetuksessa vuosiluokasta toiseen. Luonnontieteiden luonteen huomioonottaminen historiallista lähestymistapaa käytettäessä auttaa sekä opettajaa että oppilasta ymmärtämään paremmin teorioiden ja tiedemiesten suorittamien kokeiden välisen yhteyden. Se myös lisää kiinnostusta kemiaa kohtaan (Rodriguez & Niaz, 2002).

5.2. Historiallisen lähestymistavan tavoitteet opetustuokiossa

Niels Bohr (s. 1885) ja Gilbert Newton Lewis (s. 1875) ovat merkittävimpiä kemiallisten atomimallien kehittäjiä. Bohrin atomimallia käytetään edelleen oppikirjoissa yläasteelta lukioon, vaikka malli itsessään on vanhentunut, eikä saavuttanut edes oman aikansa tiedemiesten konsensusta (Kragh 2011). Kuitenkin malli, jossa elektronit ovat asettuneet tietyille kuorille, on yksinkertaisuudessaan auttanut monia oppilaita ymmärtämään esimerkiksi oktettisäännön. Lewisin atomimallia ei juuri käytetä peruskoulu- tai lukio-opetuksessa (Clark, 2002).

Käytimme historiallista lähestymistapaa atomimallien opetuksessa Helsingissä sijaitsevan yläasteen kahdeksannen luokan kemian tunnilla. Tunnilla esiteltiin oppilaille keksityn tarinan ja dialogin avulla kaksi tiedemiestä, jotka esittivät oppilaille omat atomimallinsa. Tavoitteena oli tarkastella miten historiallinen lähestymistapa auttaa ymmärtämään atomimallia ja motivoi oppilaita tekemään oman mallinsa.

5.2.1. Opetustuokion kulku

Tunnin alussa luokassa oli kaksi tiedemiestä, Lewis ja Bohr, jotka olivat saapuneet aikakoneella menneisyydestä kertomaan itsestään ja omista atomimalleistaan. Luokan 13 oppilasta jaettiin kahteen ryhmään. Ryhmiä kehoitettiin tarkkailemaan joko Bohria tai

Lewisiä sekä tekemään muistiinpanoja kuulemistaan asioista. Bohr ja Lewis esittivät dialogissaan atomimallinsa yksityiskohtaisesti ja väittelivät, kumpi malli selittäisi paremmin atomin rakenteen.

Dialogin jälkeen oppilaat saivat vapaat kädet askarrella omat atomimallinsa vesimolekyylistä joko Bohrin tai Lewisin mallin mukaan ryhmästä riippuen. Materiaalina oli pahvia, massa- ja ilmapalloja, värikyniä, karvatikkuja ja värikkästä paperia. Tarkoitus oli, että tehtävänannon lisäksi oppilaiden suunnittelua ei ohjeistettaisi tarkemmin. Kuitenkin jo alussa huomattiin, että Lewisin mallin hahmottaminen tuotti oppilaille suuria vaikeuksia ja mallia jouduttiin hieman selventämään piirtämällä havainnollistava kuva natriumkloridista taululle. Lisäksi ilmoitettiin, että niin sanottu ”mikkihiirimalli” vesimolekyylistä ei vastannut Bohrin atomimallia. Oppilaita kannustettiin ennakkoluulottomaan ja innovatiiviseen toteutukseen.

Lopuksi jokainen esitteli mallinsa ja mallien hyvistä ja huonoista puolista keskusteltiin. Oppikirjamallit myös esiteltiin taululla. Oppilaille kerrottiin, että ainoaa, oikeaa tapaa esittää malleja ei ole, vaan kirjojen mallit perustuvat tiedeyhteisön konsensukseen ja yleiseen käsitykseen atomimalleista. Oppilaiden värikkäät atomimallit kuvattiin ja laitettiin kemian luokan seinälle (Kuva 5.1).



Kuva 5.1. Oppilaiden tekemiä atomimalleja vesimolekyylistä.

5.3. Tulokset

Bohrin ryhmässä kolme paria teki atomimallit, jotka olivat lähes oppikirjan mallin kaltaisia. Lewisin ryhmässä vain yksi pari sai tehtyä Lewisin mallin mukaisen molekyylin. Kaksi paria teki mielikuvitusmallit, koska eivät osanneet askarrella mallia vesimolekyylistä.

5.4. Johtopäätökset

Bohrin atomimalli oli helpompi hahmottaa ja askarrella kuin Lewisin. Tähän saattoi olla syynä oppikirjojen runsaasti käyttämä ja entuudestaan tuttu Bohrin malli ja toisaalta Lewisin mallin tuntemattomuus. Hahmottamiseen saattoi vaikuttaa myös dialogin selkeys ja oppilaiden aikaisemmat kemian tiedot ja taidot.

Vähäinen opetuskokemuksemme pohjalta teimme johtopäätöksen, että vaihtoehtoisten opetusmenetelmien, kuten askartelun tai dialogin, käyttö historiallisessa näkökulmassa voisi tarjota vaihtelua ja lisätä kiinnostusta oppitunnin aiheeseen. Lisäksi se voisi auttaa oppilaita ymmärtämään paremmin käsiteltävää asiaa. Oppilaiden on mielestämme tärkeää ymmärtää, että kemiallisia ilmiöitä on havaittu ja niistä tehty johtopäätöksiä ja keksintöjä jo satoja vuosia sitten, ja osa näistä keksinnöistä on käytössä tänäkin päivänä.

Tutkimusten mukaan opettajat kokevat ajan puutteen esteeksi käsitellä kemiaa historiallisesta näkökulmasta (Rodriguez & Niaz, 2002). Kemian opetuksen päivillä Oulussa saimme samanlaista palautetta meitä kuulemaan tulleilta opettajilta, kun tiedustelimme voisiko esittämämme malli toimia arkielämässä. Aikapulan mukanaan tuomia haasteita voisi minimoida tuomalla historiallista lähestymistapaa sujuvasti teoreettisen opetuksen joukkoon ja ottamalla esimerkiksi askartelun luontevaksi tavaksi hahmottaa vaikeita asioita. Atomimallin tekeminen askartelun avulla edistää myös luonnontieteen luonteen mukaista luovuutta ja innovatiivisuutta, joka kehittää oppilaan metakognitiivisia taitoja.

Lähteet

- Clark, R. (2002). Toward a dynamic Lewis notation. *Chemical Educator*, 7, 249–257.
- Kragh, H. (2011). Conceptual objections to the Bohr atomic theory – do electrons have "free will"?. *The European Physical Journal*, 36, 327–352.
- Rodriguez, M. & Niaz, M. (2002). How in spite of the rhetoric, history of chemistry has been ignored in presenting atomic structure in textbooks. *Science & Education*, 11, 423–441.

6. Voltan pylväs – historiallinen lähestymistapa sähkökemian opetuksessa

Jaakko Liimatta & Sonja Martikainen

6.1. Johdanto

Niin oppilaat kuin opettajat pitävät sähkökemian yhtenä vaikeimmista osa-alueista kemian opetuksessa (Griffiths, 1994). Historiallista lähestymistapaa sähkökemian opetuksessa on tutkittu (Rantaniemi, 2010) ja opetusmateriaalejakin aiheen käsittelyyn on tehty. Sähkökemian kannalta keskeisiä sisältöjä perusopetuksen opetussuunnitelmassa ovat sähkökemialliset ilmiöt, sähköpari, elektrolyysi ja niiden sovellukset. Fysiikan opetussuunnitelmassa keskeisiä työhön liittyviä sisältöjä ovat energian säilyminen ja muuntuminen, sekä virtapiiri ja kytkennät. (Opetushallitus, 2004)

Opetuskokeilussamme Voltan pylväs opettavana aiheena antaa oppilaille käsityksen luonnontieteiden luonteesta ja tuo opetukseen kemian historiallisen näkökulman. Tunnin aikana oppilas pääsee oman toimintansa kautta tekemään havaintoja, jotka tukevat niin kemian kuin fysiikankin teoriaa, sekä opetussuunnitelmassa mainittujen tavoitteiden täyttymistä ja keskeisten käsitteiden oppimista. Parityöskentelynä suoritettava kokeellinen työ, sekä nykyaikaisten ja historiallisten sovellusten vertailu, antaa oppilaille käsityksen tieteen muuttumisesta. Toisaalta he toteavat myös tieteen muuttumattomuuden jännitesarjan teorian suhteen.

6.2. Historiallinen lähestymistapa ja luonnontieteiden luonne (NOS)

Luonnontieteiden luonteen opetusta voidaan toteuttaa muun opetuksen ohessa tai erillisenä (Abd-El-Khalick, 2012). Tutkimusten mukaan luonnontieteiden luonteen opetus lisää kiinnostusta opetettavaa ainetta kohtaan. Lisäksi luonnontieteiden luonteen opettaminen antaa tietoa tiedeyhteisön toiminnasta ja auttaa ymmärtämään paremmin koko yhteiskuntaa. Luonnontieteiden luonteen opettaminen antaa informaatiota tieteen vahvuuksista ja rajoituksista, sekä kehittää oppilaan luonnontieteellistä lukutaitoa (Bell, 2009). Luonnontieteiden luonteen opettamista on perusteltu seuraavasti:

Miksi luonnontieteiden luonnetta tulisi opettaa?

- Tukee sisältöjen oppimista
- Tukee tieteellisen tiedon ymmärtämisestä
- Tukee oppilaiden kiinnostusta
- Tukee päätöksentekoa
- Tukee opetusta

Luonnontieteiden luonteen opettaminen lisää ymmärrystä tieteestä yhteiskunnan kokonaisvaltaisena osana, joka on yhteydessä moneen eri tahoon. Tutkijoiden toimintaan

vaikuttavat niin sosiaaliset, taloudelliset, poliittiset kuin kulttuurisetkin tekijät, kuten rahoitus, poliittiset intressit ja yhteiskunnan arvomaailma (Abd-El-Khalick, 1997). Tästä huolimatta tieteellinen tutkimus tähtää objektiivisuuteen ja itsekorjautuvuuteen. Luonnontieteellinen malli rakennetaan havaintojen, hypoteesien ja tutkijoiden välisen yhteistyön yhdistelmänä, jolloin vertaisarviointi on tärkeää (Abd-El-Khalick, 1997).

Oppilaan kiinnostus opetettavaa aihetta kohtaan voidaan luokitella tilannekohtaiseen kiinnostukseen ja sisäiseen kiinnostukseen. Tilannekohtainen kiinnostus voi syntyä kiinnostavassa opetustilanteessa kun taas henkilökohtainen kiinnostus on usein pidempiaikaisen prosessin tulos. Joissakin tapauksissa tilannekohtainen kiinnostus voi muuttua sisäiseksi kiinnostukseksi. Kiinnostuksen on tutkittu lisäävän oppimisen määrää ja laatua. (Krapp, 1992) Luonnontieteissä kiinnostuksen vaikutus oppimisen laatuun on suuremmassa roolissa kuin muissa oppiaineissa (Ainley, 2002). Kemian historian tuomista mukaan opetukseen tukevat aikaisemmat tutkimukset. Historianäkökulman kautta oppilaat ymmärtävät tieteen olevan muuttuvaa, tutkimuksellista ja siten myös inhimillistä (Holton, 2003). Usein tieteellinen tutkimus ja sitä kautta tieteellinen tieto kehittyy tutkijan yrityksen ja erehdyksen kautta. Tämän ymmärtäminen voi mielestämme kannustaa oppilaita vaikeiden käsitteiden opiskelussa ja lisätä kiinnostusta luonnontieteisiin.

6.3. Sähkökemian perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa

Sähkökemian kannalta keskeisiä sisältöjä perusopetuksen opetussuunnitelmassa ovat sähkökemialliset ilmiöt, sähköpari, elektrolyysi ja niiden sovellukset. Sähkökemian yhteydessä opetettavista käsitteistä tärkeitä ovat myös reaktioyhtälöiden tulkitseminen ja yksinkertaisten reaktioyhtälöiden tasapainottaminen (Opetushallitus, 2004). Opetussuunnitelmassa on mainittu myös alkuaineiden ja yhdisteiden ominaisuudet, sekä rakenteiden selvittäminen atomimallilla. Sähkökemiassa on oleellista, että oppilas ymmärtää millainen on atomi ja miten se esimerkiksi eroaa ionista. Myös palaminen ja energianlähteet liittyvät sähkökemiaan ja jännitesarjaan. Esimerkkeinä tästä mainittakoon paristot ja hidas palaminen. Myös jaksollinen järjestelmä on oleellista tietoa opiskeltaessa sähkökemialla.

Ainakin seuraavat opetussuunnitelmassa esiintyvät arvioitavat käsitteet liittyvät sähkökemiaan: korroosio, korroosiolta suojautuminen, jalot ja epäjalot metallit, kemialliset sidokset, metalliteollisuus, alkuaineiden ominaisuudet, kemialliset mallit, aineen olomuodon muutokset ja sähkönjohtokyky (Opetushallitus, 2004). Vuonna 2011 tehdyssä seminaarityössä oli arvioitu oppilaiden omaa käsitystä kemian osaamisesta eri osa-alueittain. Sähkökemialla oli tutkimuksen perusteella koettu keskimääräistä vaikeammaksi osa-alueeksi sekä tyttöjen että poikien osalta (Liimatta & Vilhunen, 2011).

Kemian perusopetuksen tehtävänä on laajentaa oppilaan tietämystä kemiasta ja sen luonteesta, sekä ohjata luonnontieteelliseen ajatteluun, tiedonhankintaan ja tietojen soveltamiseen arkiympäristössä. Kemian perusopetus antaa oppilaan persoonan kehittymisen ja nykyaikaisen maailmankuvan kannalta välttämätöntä tietoa ja auttaa opiskelijaa ymmärtämään kemian ja teknologian merkityksen jokapäiväisessä elinympäristössä. Kemian perusopetus antaa oppilaalle valmiuksia tehdä jokapäiväisiä valintoja, ja taitoja keskustella energian tuotannosta, ympäristöstä ja teollisuudesta. Opetuksessa tukeudutaan kokeelliseen lähestymistapaan, jonka avulla pyritään tutkimaan ja ymmärtämään elinympäristössä tapahtuvia ilmiöitä. Kokeellisuuden avulla edetään ilmiöiden selittämiseen, ymmärtämiseen ja kuvaamiseen erilaisten mallien avulla. Kokeellisuuden tehtävänä on auttaa oppilasta ymmärtämään luonnontieteen luonnetta ja omaksumaan luonnontieteellisiä käsitteitä, lainalaisuuksia ja malleja, sekä kehittää kokeellisen työskentelyn taitoja. Perusopetuksen opetussuunnitelmassa painotetaan myös yhteistyötaitojen merkitystä, sekä innostetaan opiskelijaa kemian opiskeluun. (Opetushallitus, 2004)

6.4. Kokeellisuuden merkitys kemian opetuksessa

Kemia on kokeellinen luonnontiede eli kemian ymmärtämisen lähtökohtana ovat luonnossa tapahtuvat ilmiöt ja niistä tehtävät havainnot. Havaintojen pohjalta pyritään luomaan ja käyttämään ilmiötä selittäviä malleja. Toimivan mallin pohjalta voidaan lisäksi tehdä hypoteeseja uusista ilmiöistä.

Luonnontieteellisen tiedon syvällinen ymmärtäminen edellyttää, että opiskelija ymmärtää kemian kolme tasoa, makro-, mikro- ja symbolisen tason, sekä niiden yhteyden toisiinsa (Gabel, 1999). Makrotasolla tarkoitetaan silmillä tehtäviä havaintoja, kuten esimerkiksi sokerin liukenemista veteen, eli usein kokeellista osuutta oppimisessa. Mikrotasolla tarkoitetaan esimerkiksi sokerin liukenemisen molekyylitason ilmiöitä, joita liukenemisessä tapahtuu sokeri- ja vesimolekyylien välillä. Mikrotason kemiaa voidaan ymmärtää hyvin esimerkiksi tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen avulla. Symbolista tasoa taas kuvaa reaktioyhtälö.

Kokeellinen työskentely on keskeinen osa kemian opiskelua myös perusopetuksen opetussuunnitelman näkökulmasta. Kokeellisuus kemian opetuksessa on eräs kemian ymmärtämisen tukemisen, kiinnostuksen herättämisen ja sen ylläpitämisen kulmakiviä. Kokeellinen työskentely tukee korkeamman tason ajattelutaitoja, varsinkin jos kokeellisen työn yhteydessä käytetään tehtäviä, joissa oppilaat pääsevät suunnittelemaan, tekemään hypoteeseja, tulkitsemaan tuloksia ja arvioimaan tulosten luotettavuutta (Aksela, 2005).

Kokeellisten töiden teettämisen on todettu lisäävän oppilaiden vastuuta omasta oppimisestaan sekä kehittävän oppilaan taitoja suunnitella, ohjata ja arvioida omaa oppimistaan. Toisin sanoen kokeellinen työskentely kehittää oppilaan metakognitioita.

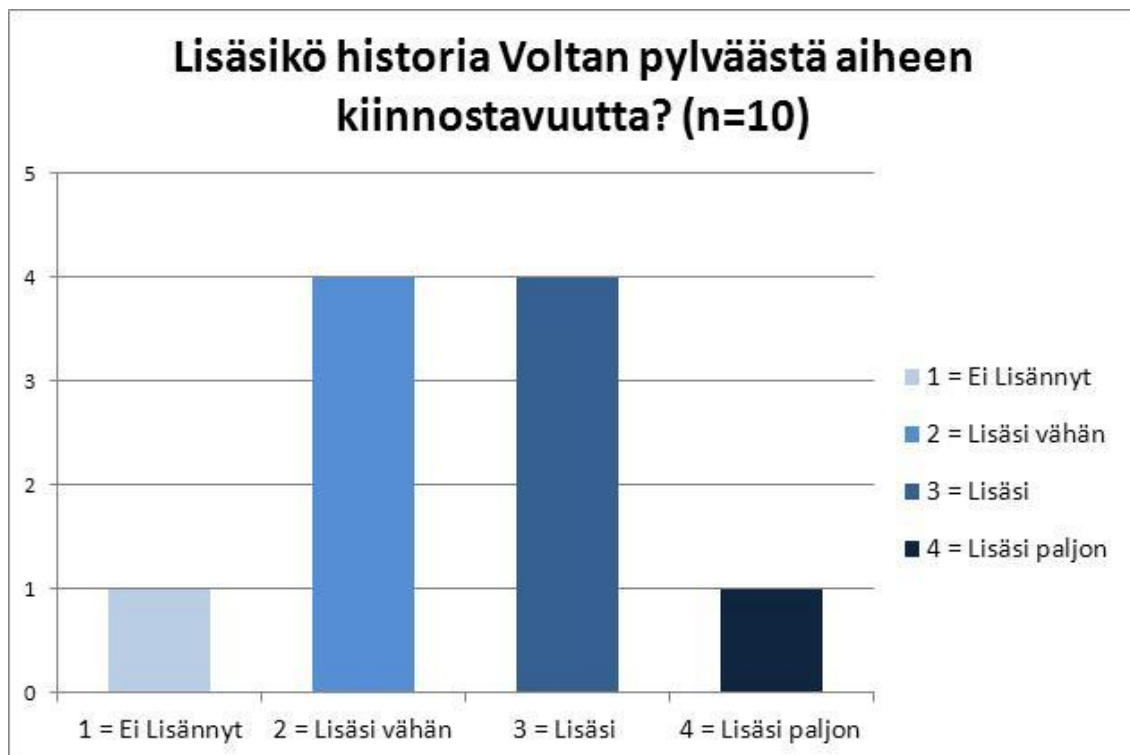
Metakognitiivisia tietoja ovat oppilaan tiedot omista strategioistaan, tehtävän kognitiivisista vaatimuksista sekä tietoa oppilaan omista heikkouksista ja vahvuuksista. (Aksela, 2005) Metakognitiivisten tietojen avulla oppimisesta voi tulla oppilaalle itseohjautuva prosessi, jossa oppilas ottaa vastuuta omasta oppimisestaan ja tulee vähemmän riippuvaiseksi opettajasta.

6.5. Tutkimus ja johtopäätökset

Historiallista lähestymistapaa toteuttaneelle sähkökemian tunnille osallistui 10 oppilaan ryhmä 9.-luokkalaisia. Oppitunti aloitettiin tarinamuotoon kirjoitetulla historiakatsauksella. Tarinan pääosassa olivat Luigi Galvanin (1737–1798) ja Alessandro Voltan (1745–1827) sähköön liittyvät kokeet, joilla oli merkittävä rooli sähkökemian tieteen kehittämisessä. Kestoltaan noin 15 minuutin tarina luettiin oppilaille ääneen ja tarinaa visualisoitiin samanaikaisen kuvaesityksen avulla. Tunnin aiheen pariin johdattaneen tarinan jälkeen oppilaat pääsivät työohjeen mukaisesti toistamaan kokeellisen työn, Voltan pylvään kokoamisen, kupari ja rautalevyillä. Pylvään jännitettä mitattiin nykyaikaisella jännitemittarilla. Työohjeen ulkoasussa oli myös pyritty tuomaan mukaan historiallisen työohjeen tuntua.

Oppilaat ($n = 10$) vastasivat Voltan pylvästä käsitelleen oppitunnin jälkeen lyhyen kyselylomakkeeseen (Liite 1), jossa oli kaksi monivalintakysymystä sekä kolme avointa kysymystä tuntiin liittyen. Tutkimuksessa tarkastelimme vain monivalintakysymysten vastauksia, sillä avointen kysymysten vastaukset olivat melko suppeita ja osa oppilaista ei ollut vastannut kaikkiin kysymyksiin.

Vastausten keskiarvon perusteella historian tuominen mukaan opetukseen lisäsi aiheen kiinnostavuutta ainakin jossain määrin (Kuva 6.1). Oppilasryhmän keskiarvon perusteella työ lisäsi selkeästi kemian ja fysiikan välisen yhteyden ymmärtämistä. Tutkimusten mukaan kiinnostus lisää oppimisen määrää ja laatua (Krapp, 1992).



Kuva 6.1. Kyselytutkimuksen mukaan historia lisäsi oppilaiden mielestä aiheen kiinnostavuutta (ka = 2,5).

Pääsääntöisesti oppilaat ymmärsivät, että metallilevyjen lisääminen ja vähentäminen vaikuttaa jännitteen suuruuteen. Suurin osa oppilaista ymmärsi, että työn voi tehdä muillakin metalleilla. Oppilaat osasivat myös mainita tapoja, miten sähköä saatiin ennen ja nyt: yleisin esimerkki oli Voltan pylväk ja sormiparisto.

Pitämäämmme historiallisen lähestymistavan opetuskokeiluun osallistunut ryhmä oli pieni ($n = 10$), eikä tutkimustuloksista voi näin ollen tehdä yleistyksiä 9.-luokkalaisten kiinnostuksesta kemian historiaan tai sen vaikutuksista oppimiseen. Oma kokemuksemme kuitenkin on, että oppilaat olivat kiinnostuneita tunnille tuodusta kemian historiallisesta lähestymistavasta sekä historiaa mukailleesta kokeellisesta työstä.

Lähteet

- Aksela, M., (2005). *Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach*. Akateeminen väitöskirja, Helsingin yliopisto.
- Aksela, M. (2007). *Kokeellisuus kemian opetuksessa I*. Luentokalvot, Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Kemian laitos, Kemian opettajankoulutusyksikkö.
- Abd-El-Khalick, F. & Bell, B. (1997). The Nature of Science and Instructional Practice: Making the Unnatural Natural. *International Journal of Science Education*, 11, 401–415.
- Ainley, M., Hidi, S. & Berndorff, D. (2002). Interest, Learning, and the Psychological Processes That Mediate Their Relationship. *Journal of Educational Psychology*, 94(3), 545–561.
- Bell, R. L. (2009). Teaching the Nature of Science: Three Critical Questions. Teoksessa *National Geographic: Best Practices in Science Education*. Carmel, CA: Hampton Brown.

http://www.ngsp.com/Portals/o/downloads/SCL22-0449A_AM_Bell.pdf, luettu
31.12.2012.

- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548–554.
- Griffiths, A. K. (1994). A Critical Analysis and Synthesis of Research on Students' Chemistry Misconceptions. Teoksessa H.-J. Schmidt (toim.), *Problem solving and misconceptions in chemistry and physics: Proceedings of the 1994 international seminar, University of Dortmund, Germany* (s. 70–99). Hong Kong: ICASE.
- Holton, G. (2003). What Historians of Science and Science Educators Can Do for One Another? *Science & Education*, 12, 603–616.
- Hudson, J. (1995). *Suurin tiede – Kemian historia*. Suomentaja Kimmo Pietiläinen. Helsinki: Art House.
- Krapp, A., Hidi, S. & Renninger, K. A. (1992). Interest, Learning, and Development. Teoksessa: K. A. Renninger, S. Hidi, & K. Krapp (toim.), *The Role of Interest in Learning and Development*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Liimatta, J. & Vilhunen, A.-S. (2011). *Peruskoulun päättävien oppilaiden kokemus kemian osaamisestaan*. Seminaarityö, Helsingin yliopisto.
- Opetushallitus. (2004). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004. Helsinki: Opetushallitus.
- Rantaniemi, M-L. (2010). *Historiallinen lähestymistapa sähkökemian opetuksessa: Tutkiva oppiminen työtapana*. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Kemian laitos, Kemian opettajankoulutusyksikkö.

Liite 6.1: Kyselylomake

KYSELYLOMAKE

Valitse kysymyksissä 1 ja 2 mielestäsi sopivin vaihtoehto rastittamalla.

1 = ei lisännyt, 2 = lisäsi vähän, 3 = lisäsi, 4 = lisäsi paljon

1. Lisäsikö historia Voltan pylvästä mielestäsi aiheen kiinnostavuutta? 1 2 3 4

2. Lisäsikö työ kemian ja fysiikan välisen yhteyden ymmärtämistä? 1 2 3 4

Vastaa kysymyksiin 3, 4 ja 5 niin hyvin kuin osaat.

3. Miten metallilevyjen lisääminen tai vähentäminen vaikutti jännitteeseen?

4. Voisiko työn toistaa joillakin muilla metalleilla? Anna esimerkki. Voit käyttää apuna metallien jännitesarjaa.

5. Miten kemiallisesta energiasta saatiin sähköä ennen ja nyt?

7. Draama kaasulakien opetuksessa

Mervi Mali & Sonja Meriläinen

7.1. Johdanto

Kaasujen yleinen tilanyhtälö $pV = nRT$ on jokaisen Suomen lukiolaisen taulukkokirjassa, mutta yhtälön tunteminen ei takaa sen taustalla olevan asian ymmärtämistä.

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda toimiva materiaali kemian opettajille kaasujen yleisen tilanyhtälön opettamiseksi historiallisen näkökulman kautta ja tutkia sen toimivuutta käytännössä. Lisäksi materiaalin tavoitteena oli esittää oppilaille kemian mallien kehittyminen ajan myötä useiden tutkijoiden yhteistyönä. Opetusmetodiksi valitsimme draaman, sillä erilaisten työtapojen monipuolisella käytöllä voidaan oppilaita motivoida tai herättää heidän kiinnostuksensa opiskeluun (Lavonen & Meisalo, 2010). Halusimme tutkia myös draaman käytön soveltumista kemian opetukseen. Rohkenemme väittää, että draama ei ole kovinkaan usein kemian oppitunneilla käytetty opetusmetodi.

Alkuperäistä materiaalia muokattiin sekä oppilailta että opettajalta saamamme palautteen pohjalta, minkä lisäksi lisäsimme siihen vielä parannuksia omien huomioidemme pohjalta.

7.2. Kaasujen tilanyhtälö lukion opetussuunnitelmassa ja kirjoissa

Lukion opetussuunnitelman perusteet antavat kaasujen yleisen tilanyhtälön yhdeksi viidestä lukion kolmannen kurssin keskeisistä käsitteistä (Opetushallitus, 2003). Lisäksi kaasulakien kehittymiseen liittyvien henkilöiden värikäs henkilöhistoria ja maailmanhistorian käännteisiin liittyvät tapahtumat voivat toimia hyvänä pohjana myös lukion yleissivistävän tehtävän täyttämässä. Historiallisen näkökulman avulla voidaan päästä myös moniin muihin lukion opetussuunnitelmassa kemian opetukselle annettuihin tavoitteisiin. Tältä pohjalta aihetta voisi luulla käsiteltävän laajaltikin oppikirjoissa.

Kävimme läpi kolme lukionkolmannen kurssin kirjasarjaa. Kirjat olivat Kemisti 3, Mooli 3 ja Reaktio 3. Yleisesti ottaen lukion kemian oppikirjoissa ei esitetä lainkaan kaasuteorioiden kehityskaarta, tai niistä esitetään vain irrallisia osia. Kehitykseen osallistuneiden henkilöiden nimiä tai heidän kehittämäänsä kaasulakeja voidaan mainita, mutta niiden liittäminen kaasujen yleiseen tilanyhtälöön jää heikoksi. Muutoinkin usein näissä oppikirjoissa laskukaava tuntui olevan korostetun tärkeässä osassa ehkä siksi, että aihetta käsitellään tarkemmin fysiikassa. Kemian valinnaisten kurssien valitseminen ei kuitenkaan merkitse fysiikan kurseista kiinnostumista, jolloin kaasujen yleisen tilanyhtälön ymmärtäminen voi jäädä kemiaan keskittyviltä oppilailta pintapuoliseksi.

7.3. Historiallinen lähestymistapa

Tutkimusten mukaan ainutlaatuisen teorian kehityskaaren, tai mallin muuttumisen vastaamaan todellisuutta yhä paremmin ja paremmin, kuvaaminen antaisi hyvän mahdollisuuden selittää oppilaille myös kemian mallien luonnetta ja tieteellisen teorian kehittymistä. Kemian käsitteiden keksimisen ja kehittymisen historiaan tutustuminen voi auttaa myös kemian käsitteiden oppimisessa. Emme opi vain omista virheistämme vaan myös muiden tekemien virheiden kuvailuista. Luonnontieteen lait eivät ole syntyneet itsestään jossain kaukaisessa menneisyydessä, vaan niiden takana ovat tietyt historian henkilöt. Näillä henkilöillä oli omana aikanaan omia ongelmia, tarpeita ja mielenkiinnon kohteita. Kertomalla näistä henkilöistä teorioineen ja kokeineen voidaan johdattaa oppilaita ymmärtämään miksi, miten ja mitä luonnontieteilijät tekevät ja näin myös motivoida opiskelemaan luonnontieteitä. (Hodson, 2008)

Vuoden 1999 Kemian opetus tänään -tutkimuksen mukaan opettajat pitivät oppilaiden asenteiden kemiaa kohtaan negatiivisina eikä näitä tunnu kiinnostavan nykyinen teoreettinen opetus (Aksela & Juvonen, 1999). Yhtenä vastauksena oppilaiden asenteisiin voisikin olla historiallisen lähestymistavan käyttö, joka auttaa oppilaita näkemään teorioiden ja käsitteiden jatkuvan muokkautumisen uutta tietoa saataessa. Oppilaat saavat yleissivistävää tietoa oppiaineensa kehityshistoriasta ja siihen liittyvistä henkilöistä, samalla kun heidän motivaationsa ja innostuksensa kemian opiskeluun kasvaa (Ahte & Pehkonen, 2000).

Opettaja voi myös kokea, että historiallinen lähestymistapa vie arvokasta opetusaikaa pois perinteiseltä opetukselta ja kokeellisilta töiltä. Voidaan kuitenkin väittää, että historialliseen lähestymistapaan kuluva aika ei ole pois oppilaiden oppimisesta keskimäärin, vaikka perinteinen teorian opetus tai kokeellisuus jouduttaisiinkin tekemään lyhyemmässä ajassa (Irwin, 1997).

7.4. Draama opetuksessa

Asian esittäminen suullisesti parantaa asian ymmärtämistä siten, että oppilas pystyy sen pohjalta ymmärtämään paremmin myöhemmin lukemaansa uutta saman alan tekstiä (Harvard-Project-Zero, 2001). Tämän valossa suullinen esittäminen näytelmän muodossa ei ehkä tunnukaan niin erikoiselta kuin luulisi ja näytelmän käyttöä onkin tutkittu luonnontieteiden opetuksessa jo 80 -luvulta alkaen (Dorion, 2009).

Kiinnostus tätä opetusmetodia kohtaan on kasvanut kansainvälisesti. Käytetyn draaman on havaittu olevan useimmiten improvisoituja roolipelejä eikä vuorosanojen kirjoitettuja esityksiä. Draaman on todettu myös kasvattavan oppilaiden opiskelumotivaatiota. (Odegaard, 2003)

Odegaard (2003) jakaa tunnilla käytettävän draaman neljään ulottuvuuteen, jotka ovat spontaani, rakennettu, opiskelijajohtoinen ja opettajajohtoinen. Riippuen käsiteltävästä

aiheesta, opettaja päättää käytettävän draaman luonteesta ja siitä kuinka paljon näitä kutakin ulottuvuutta otetaan mukaan. Tavoitteena olisi kuitenkin jokaisessa tapauksessa optimoida oppilaiden spontaanisuus ja luovuus, jotta mahdollistetaan heidän syvempi ymmärtämisensä. Vaikka näissä näytelmissä esiinnyttäen, ei näyttelemistaito ole suorituksessa oleellista (Odegaard, 2003).

Valitsimme draaman esittämistavaksi kuvitteellisen haastattelutilanteen. Tilanteeseen oli luotu työpohjat, joihin oppilaat saivat itse keksiä kysymykset ja vastaukset, mutta aihepiirit olivat valmiina. Aihepiireinä olivat lapsuus, nuoruus, opiskeluaika, kaasulain syntyminen, muut tärkeimmät saavutukset ja muuta mielenkiintoista. Tällainen osittain ohjeistettu draamatilanne oli tarpeen, sillä aikaa tuotoksen tekemiseen ja esittämiseen oli rajoitetusti.

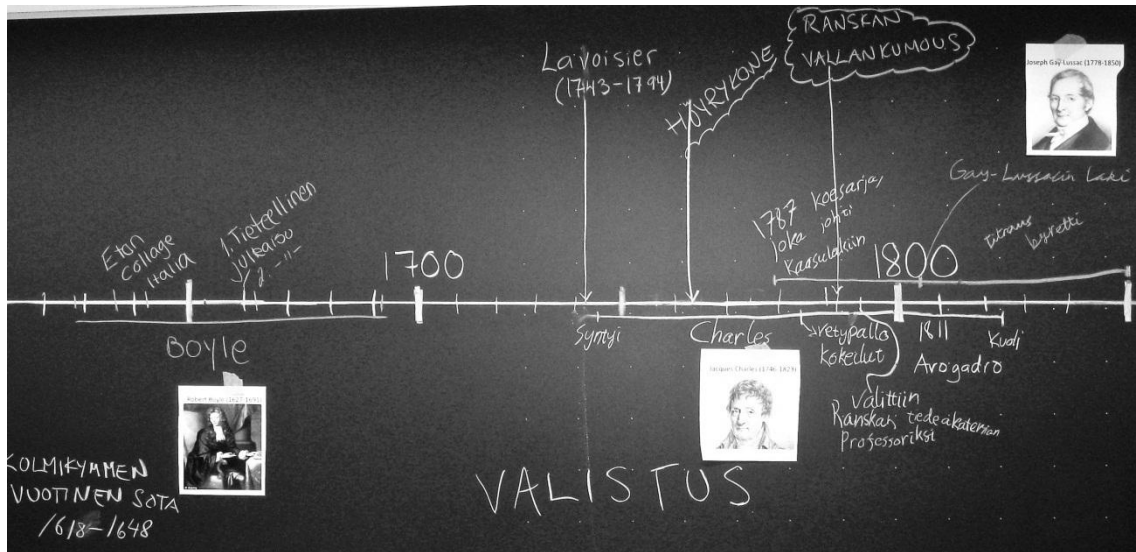
7.5. Tutkimukseen käytetyn oppitunnin kuvaus

Tunnin alussa käytettiin 5 minuuttia alustukseen, jossa esitettiin kuvia kaasujen tilanyhtälön kehittymiseen liittyvistä historiallisista henkilöistä, käytössä olleista laboratoriotiloista ja -välineistä sekä heidän tekemistään kokeista.

Tämän jälkeen luokka jaettiin kolmeen ryhmään ja jokaiselle oppilaalle annettiin luettavaksi 6-sivuinen materiaalipaketti, jonka olimme itse koonneet eri tietolähteistä. Lisäksi oppilailla oli apuna Terhi Ahosen suunnittelema www-pohjainen kemian historian aikajana (Ahonen, 2005). Oppilaat saivat avukseen myös haastattelutyöpohjat. Ryhmät suunnittelivat kukin yhden henkilön: Boylen, Charlesin tai Gay-Lussacin kuvitteellisen haastattelun. Tähän suunnitteluun ja tietopakettiin tutustumiseen oli varattu aikaa 30 min, minkä jälkeen ryhmät esittivät suunnittelemansa haastattelun muille. Oppilaat saivat itse jakaa roolinsa siten, että mukana oli historiallinen henkilö, tämän tulkki, kaksi haastattelijaa, sekä kirjuri. Kirjurin tehtävänä oli esityksen aikana lisätä taululla olleelle aikajanelle ryhmän mielestä henkilön elämän oleellisimmat tapahtumat ja niihin liittyvät vuosiluvut.

Tietopaketti oli tarkoituksella laaja, sillä halusimme sen luovan oppilaille vapautta valita siitä heitä kiinnostavia yksityiskohtia haastatteluunsa vastauksiksi. Samalla pystyimme tuomaan mukaan enemmän tietoa ajankuvasta ja maailmanhistorian tapahtumista eli sitomaan tarinaan yleissivistystä.

Esitysten jälkeen oli tarkoitus käydä läpi taulun aikajanaa yhdessä oppilaiden kanssa tunnin koontina ja miettiä Englannin restauraation, Ranskan vallankumouksen ja teollisen vallankumouksen vaikutusta hahmojen elämään ja saavutuksiin. Emme kuitenkaan ehtineet tätä tehdä kuin hyvin pintapuolisesti. Lopuksi katsoimme 10 min. kestäneen animaation, jossa eri kaasulakien pohjalta vedettiin yhteen kaasujen yleinen tilanyhtälö.



Kuva 7.1. Oppitunnin kuluessa tehty aikajana kaasulakien kehittäjien elämästä historiallisessa kontekstissa.

7.6. Tutkimus ja tulokset

Tutkimus suoritettiin lukion kemian kurssin kolmen 75 minuutin pituisella oppitunnilla keväällä 2012. Tutkimukseen osallistui 14 oppilasta.

Tutkimuskysymykset olivat:

- Onko oppimateriaalimme toimiva kaasujen yleisen tilanyhtälön opettamiseksi historiallisen lähestymistavan ja draaman kautta?
- Oppivatko oppilaat draaman ja historiallisen lähestymistavan avulla, miten kemian kaasulait kehittyivät?

Tutkimukseen tarvittavan aineiston saimme haastattelutyöpohjista, äänitetyistä haastattelutilanteista sekä seuraavalla oppitunnilla suoritetusta kirjallisesta kyselystä, joka tehtiin sekä opettajalle että oppilaille. Vaikka oppilaat eivät olleet ennen kokeneet tällaista opetusmetodia kemiassa, kaikki luokan oppilaat suhtautuivat asiaan myönteisesti. Draaman käyttö oli selvästi oppilaita innostava valinta opetusmetodiksi, sillä lopputuloksena syntyivät hauskat haastattelutilanteet leikkiranskaa puhuvan kaasulain kehittäjän, tulkin ja haastattelijoiden välillä. Kuten Lavonen ja Meisalo (2010) ovat tutkimustulostensa perusteella todenneet, vain työtapojen monipuolisella käytöllä voidaan motivoida oppilaita opiskelemaan tai herättää heidän kiinnostuksensa opiskella. Heidän mukaansa oppilaita pitäisi ohjata työskentelemään pienessä ryhmässä ja käsittelemään tietoa itsenäisesti. Haastattelutyöpohjiin oppilaat olivat löytäneet tietopaketaista oleellisimmat asiat kaasulakien kehittäjien elämästä ja tutkimuksista. Tämä kirjallinen osio tunnista oli tiedon käsittelyä ja jäsentelyä. Samalla syntyi draaman käsikirjoitus, mikä helpotti haastattelutilanteen esittämistä muille. Haastattelujen äänitykset vastasivat oppilaiden kirjoitettuja työpohjia, joten niitä ei erikseen analysoitu.

Kirjallisen kyselyn perusteella lähes kaikki oppilaat osasivat kirjoittaa kaasujen yleisen tilanyhtälön tai muutoin ilmaista ymmärtäneensä sen. Kyselystä selvisi myös, että yhdeksän 14:sta oppilaasta ilmaisi kemian mallien syntyvän pidemmän ajan kuluessa eri tutkijoiden työpanoksen seurauksena. Näin ollen he olivat ymmärtäneet jotakin kemian luonnontieteellisestä luonteesta. Tätä Hodson (2008) myös kirjassaan korostaa. Oppilaista viisi mainitsi historiallisen kontekstin auttaneen ymmärtämään yleistä kaasujen tilanyhtälöä paremmin. Yli puolet vastanneista koki kemian tunnin historiallisen lähestymistavan hyvänä tai mielenkiintoisena. Tutkimuksemme perusteella historiallinen lähestymistapa oli onnistunut sekä oppimisen että opettamisen kannalta. Näin saimme Ahteen ja Pehkosen (2000) kanssa yhteneviä tuloksia. Myös opettajan mielipide oli myönteinen tunnin metodia kohtaan. Kokeellinen osuus ja kaasulakien kaavojen kuvaajat lisättiin tietopakettiin opettajan toiveiden pohjalta. Samoin osa oppilaista ilmaisi toiveensa saada tietopakettiin enemmän kemiaa. Huomasimme, että osa kaasukokeista on suhteellisen helppoja havainnollistaa luokassa käyttäen apuna esimerkiksi virvoitusjuomapulloja tai ilmapalloja. Tämän vuoksi lisäsimme haastattelutyöpohjaan kysymyksen siitä, miten koetta voitaisiin havainnollistaa.

Suurin kompastuskivi tunnissa oli tietopaketin lukemiseen kulunut aika, sillä osalla oppilaista siihen kului yllättävän kauan aikaa, minkä takia aikajanan yhteenvetoon varattua aikaa jouduttiin lyhentämään. Kokemamme perusteella tietopaketti kannattaisi luetuttaa ennen tunnin alkua esimerkiksi kotitehtävänä. Kuvailun kaltainen oppitunti voisi toimia pohjana myös ainerajat ylittävälle yhteistyölle opettajien kesken. Tällöin ajankäyttö kohtuullistuisi ja eri opettajat voisivat osallistua omien vahvuusalueidensa mukaan.

Lähteet

- Ahonen, T. (2005). *Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa*.
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/loytoretki/main.html>, luettu 31.12.2012
- Ahtee, M. & Pehkonen, E. (2000). Johdatus matemaattisten aineiden didaktiikkaan. Helsinki: Edita.
- Aksela, M. & Juvonen, R. (1999). *Kemian opetus tänään*. Helsinki: Opetushallitus.
- Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T., Vakkilainen, K. (2005). *Kemisti 3 lukion kemia: Reaktiot ja energia*. Helsinki: WSOY.
- Dorion, C. (2009). Science through drama: a multiple case exploration of the characteristics of drama activities in secondary science lessons. *International Journal of Science Education*, 31(16), 2247–2270.
- Harvard-Project-Zero. (2001) The arts academic improvement: What the evidence shows. *Translations: From Theory to Practice*, 10(1), 1–3.
- Hodson, D. (2008). Towards scientific literacy: A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science (luku 8). Rotterdam: Sense Publishers.
- Irwin, A. R. (1997). Historical Case Studies: Teaching the Nature of Science in Context. *Science Education*, 84(1), 5–26.

- Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., Pihko, P. (2006). *Reaktio 3 lukion kemia: Reaktiot ja energia*. Helsinki: Tammi.
- Lavonen, J. & Meisalo, V. (2010). Millä tavalla oppilaat haluavat opiskella? http://www.edu.fi/perusopetus/fysiikka_ ja_kemia/luonnontieteiden_opetuksen_tyotavat/milla_tavalla_oppilaat_haluavat_opiskella, luettu 31.12.2012.
- Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., Vaskuri, J. (2005). *Mooli 3 lukion kemia: Reaktiot ja energia*. Helsinki: Otava.
- Odegaard, M. (2003). Dramatic science: A critical review of drama in science education. *Studies in Science Education*, 39, 75–102.
- Opetushallitus. (2003). Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Helsinki: Opetushallitus.

8. Historiallinen lähestymistapa jaksollisen järjestelmän opetuksessa Sakari Tolppanen & Anna-Sofia Vilhunen

8.1. Johdanto

Oppilaat eivät usein tiedosta, että tiede syntyy tutkijoiden keskinäisestä vuorovaikutuksesta ja että se on muuttuvaa (Hodson, 2008). Tässä työssä on hyödynnetty Nature of Science (NOS) -tutkimusta sekä siihen vahvasti linkittyvää historiallista lähestymistapaa opetettaessa jaksollista järjestelmää yläkoulussa. Valitsimme historiallisen opetustavan, sillä se sopii hyvin jaksollisen järjestelmän opettamiseen ja koska historiallisen lähestymistavan on tutkittu auttavan tieteen käsitteiden oppimisessa. Tieteen historian esille tuominen myös inhimillistä opetusta (Hodson, 2008).

8.2. Historiallinen lähestymistapa osana luonnontieteiden luonteen opetusta

Luonnontieteiden luonne (NOS) on noussut yhdeksi tärkeäksi luonnontieteiden opetuksen osaksi. Vaikka luonnontieteiden luonnetta ei varsinaisesti suomalaisessa opetussuunnitelmassa mainita nimeltä, on se silti otettava opetuksessa huomioon. Ympäri maailmaa luonnontieteiden luonteen opetus on merkittävin jo osaksi opetussuunnitelmia (Matthews, 1994).

Luonnontieteiden luonteen käsittelyllä opetuksessa pyritään siihen, että oppilaat ymmärtävät esimerkiksi tutkijoiden työskentelytapaa eli tiedon syntymistä ja luonnontieteiden jatkuvaa muutosta. Tarkoitus on opettaa, että luonnontieteellinen tieto on muuttuvaa ja kehittyvää. Totta kai maailmassa on olemassa jo tietoa ja teorioita, jotka eivät suurella todennäköisyydellä tule enää muuttumaan, mutta paljon muutoksia tieteellisiin teorioihin ja malleihin syntyy, kun tieto ja tekniikka kehittyvät. (NSES, 1996) Historiallisen lähestymistavan osana luonnontieteiden luonteen opetusta on tutkittu ohjaavan oppilasta ymmärtämään tieteen muuttuvuutta (Hodson, 1986).

Historiallinen lähestymistapa on yksi tapa opettaa luonnontieteiden luonteesta. Historiallisen lähestymistapaa osana luonnontieteitä on tutkittu viime vuosikymmeninä paljon, ja sen on tutkittu olevan hyödyllinen tapa opettaa luonnontieteitä. Historiallisen lähestymistavan hyöty on, että se parantaa luonnontieteiden käsitteiden oppimista, parantaa oppilaiden mielenkiintoa sekä motivaatiota, johdattaa tieteen filosofiaan, parantaa asennetta luonnontieteitä kohtaan sekä lisää ymmärrystä luonnontieteiden sosiaalisesta merkityksestä. (Solomon, Duveen & Scot, 1992)

8.3. Jaksollisen järjestelmän historia

Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä on kehittynyt nykyiseen muotoonsa monen vaiheen kautta. Jo antiikin kreikassa mietittiin, mistä kaikki koostuu, ja tiettävästi ensimmäinen, joka tähän tarjosi ehdotuksen, oli Empedokles (490–430 eaa.), joka uskoi kaiken koostuvan neljästä aineesta: vedestä, tulesta, maasta ja ilmasta. Platon (428–348 eaa.) lisäsi Empedoklesin ajatuksiin, että eetteri tulisi lisätä viidenneksi aineeksi. Platon oli myös tiettävästi ensimmäinen, joka puhui ”alkuaineista” (element). (Engels & Nowak, 1992)

Antiikin historian aikana myös monia muita luokituksia esitettiin ympäri maailmaa, mutta Euroopassa antiikin Kreikan uskomukset säilyttivät vahvan aseman. Vasta 1600-luvun loppupuolella Boyle (1627–1691) onnistui horjuttamaan vanhanaikaisia uskomuksia suosittamalla kemisteille kvantitatiivisten käytännön kokeiden käyttöä, sen sijaan, että nämä uskoisivat mystiikkaan ja filosofointiin. Boylen ansiosta tunnettujen alkuaineiden määrä alkoi kasvaa ja tieteellinen kemia sai suuremman jalansijan.

Varsinainen muutos pois antiikin ajatuksista tuli kuitenkin vasta noin sata vuotta myöhemmin kun Antoine Lavoisier (1743–1794), modernin kemian isähahmo, kokeellisesti kumosi joitain vanhanajan uskomuksia. Hän mm. osoitti, että palaminen tarvitsee happea ja kumosi ajatuksen siitä, että vesi muuttuu maaksi. Lavoisier’n vakuuttavien tutkimustulosten ansiosta kemistit alkoivat pikkuhiljaa hylätä flogistonin, eli palavan aineen, teorian. Uuteen teoriaan pohjautuen Lavoisier ja hänen työkumppaninsa alkoivat nimetä tunnettuja aineita uudestaan. Aluksi aineista ei puhuttu elementteinä, eli alkuaineina, mutta pari vuotta myöhemmin vuonna 1789 Lavoisierin julkaisemassa oppikirjassa alkuaineista puhuttiin. (Hudson, 2002)

Kirjassaan Lavoisier järjesti alkuaineet ryhmitelmiin niiden hapen kanssa muodostaman yhdisteen mukaan. Pian Lavoisierin jälkeen tehtiin myös muita luokituksia, joista yksi oli Amperen ehdotus, että alkuaineet luokitellaan samantapaisesti kuin kasvit; aineiden samankaltaisten kemiallisten ominaisuuksien mukaan (ikään kuin samaan sukuun). (Hudson, 2002)

Seuraava askel nykyistä luokittelua kohti tuli, kun Dalton (1766–1844) määritteli suhteellisen atomimassan ottamalla vedyn perusmitaksi. Vedyn avulla hän luokitteli muiden atomien suhteelliset painot ja jo vuoteen 1818 mennessä tiedemiehet olivat määrittäneet 45 alkuaineen suhteellisen massan. (Strathern, 2000)

Vuonna 1829 tiedemies nimeltä Döbereiner (1789–1849) luokitteli osan alkuaineista kolmen ryhmiin, eli triadeihin. Luokittelun perusteena olivat sekä samankaltaiset kemialliset ominaisuudet että riippuvuus atomien massojen välillä. Riippuvuus määriteltiin siten, että keskimmäisen atomin atomimassa oli kahden muun keskiarvo atomin massojen keskiarvo. (Havonen & al., 2002)

Newlands oli ensimmäinen, joka järjesti alkuaineet taulukkoon niiden atomimassan mukaan (Partington, 1989). Hän myös huomasi, että atomien samankaltaiset ominaisuudet toistuvat kahdeksan alkuaineen välein ja käytti tätä, niin kutsutta oktaavilakia, hyväkseen taulukkoa laatiessaan (Engels & Nowak, 1992). Hänen taulukkonsa suurin puute oli, että

atomimassaltaan suurempien alkuaineiden kemialliset ominaisuudet eivät täsmänneet samassa vaakarivissä olleiden kevyempien alkuaineiden ominaisuuksien kanssa (Strathern, 2000).

Venäläinen kemisti Dimitri Mendelejev (1834–1907) oli ensimmäinen, joka otti taulukossaan huomioon sekä atomimassan että alkuaineiden kemialliset ominaisuudet. Mendelejevin oivallus jaksollisuuden merkityksestä onkin antanut hänelle tittelin nykyisen jaksollisen järjestelmän isänä. Taulukkoa laatiessaan hän piti alkuaineen ominaisuuksia atomimassaa merkittävämpänä asiana, joten jos mikään alkuaine ei sopinut taulukon tiettyyn kohtaan, hän jätti taulukkoon tyhjän kohdan. Taulukon tyhjien paikkojen ansioista Mendelejev päätteli joidenkin alkuaineiden ominaisuuksia, joita silloin ei vielä tunnettu. (Hudson, 2002)

Kun näitä puuttuvia alkuaineita alettiin löytää ja ne olivat ominaisuuksiltaan samanlaisia kuin mitä Mendelejev oli ennustanut, Mendelejevin taulukkoa alettiin pitää ilmiömäisenä ja kemistit innostuivat siitä ympäri maailmaa (Partington, 1989). Nykyiset jaksolliset järjestelmät pohjautuvat pitkälti Mendelejevin v.1869 laatimaan taulukkoon, vaikka niihin onkin tullut monia lisäyksiä ja muutoksia (Strathern, 2000).

8.4. Tutkimuksen kulku

Tutkimusta ohjasi kysymys: *Kuinka oppilaiden käsitys jaksollisesta järjestelmästä kehittyy oppitunnin aikana kun oppitunnilla käytetään historiallista lähestymistapaa?*

Tutkimus toteutettiin kahdelletoista 7.-luokkalaiselle 90-minuuttisen kemian tunnin aikana. Oppilaat eivät olleet aikaisemmin tutustuneet jaksolliseen järjestelmään. Tunnilla käytettiin alkuainepeliä sekä historiakertomusta. Pelin tarkoituksena oli, että oppilaat luokittelevat alkuainepelikortit historiallisen kertomuksen edetessä. Alkuainepelikortit sekä historiakertomus ovat ladattavissa LUMA-sanomien nettisivulta (LUMA, 2012).

Tunnin aluksi oppilaille esiteltiin antiikin Kreikan alkuaineet: maa, vesi, ilma ja tuli. Antiikin Kreikasta tarinassa siirrytään 1600-luvun loppupuolelle ja esitellään Boylen ja Lavoisierin tutkimuksia alkuaineista sekä niiden löytämisestä. Tämän jälkeen oppilaille kerrottiin uusien alkuaineiden löytämisestä seurannut ongelma: miten järjestellä näin suuri määrä uusia alkuaineita?

Tässä vaiheessa jaoin oppilaille alkuainekortit. Oppilaiden tuli kuvitella olevansa 1700-luvun tiedemiehiä ja suunnitella heidän mielestään järkevä tapa luokitella alkuaineita. Kaikki ryhmät luokittelivat alkuaineet metalleihin, epämetalleihin ja puolimetalleihin.

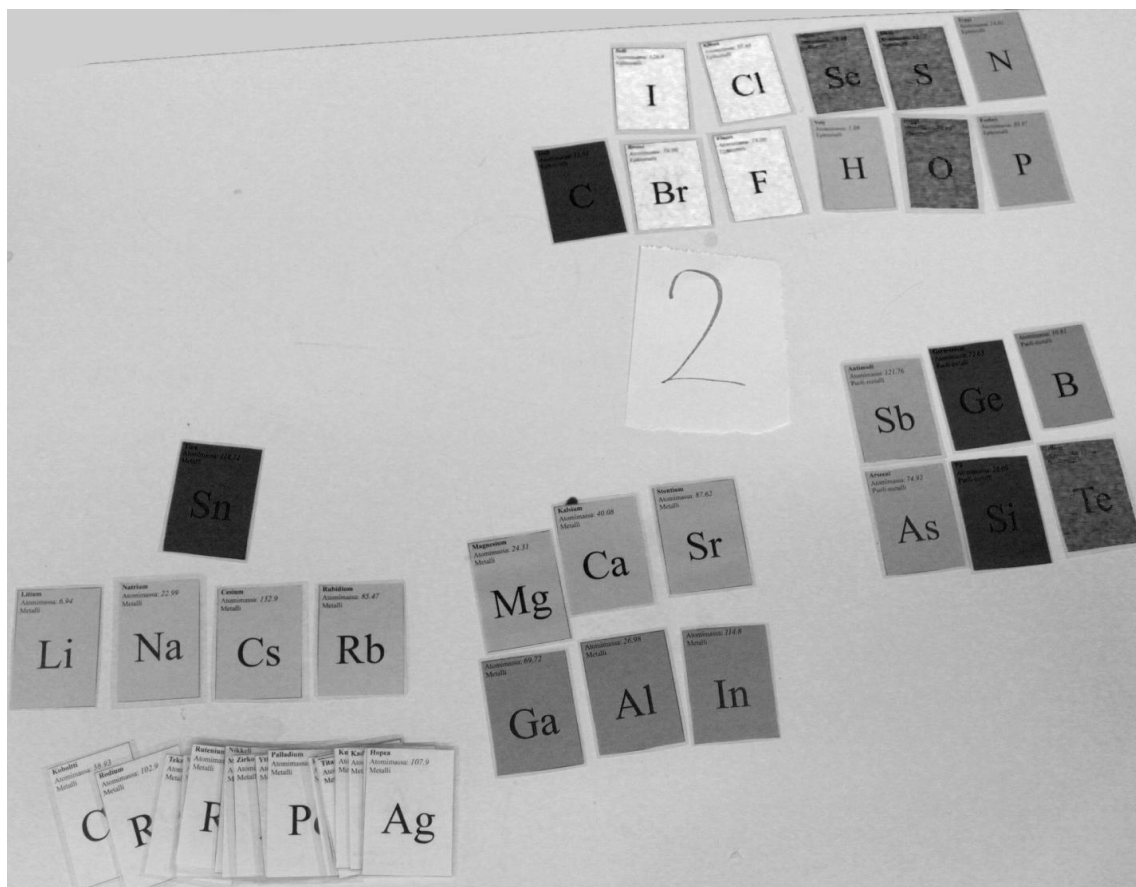
Oppilaiden järjestettyä alkuaineet järjestelmät kuvattiin ja tarina jatkui alkuaineiden samankaltaisuuden sekä massan löytämiseen. Jälleen kerran annoimme oppilaille

alkuainekortit järjestettäväksi. Tällä kertaa oppilaat osasivat jo pienellä avustuksella järjestää alkuaineita sekä ominaisuuksien että massan mukaisesti.

Tunnin loppupuolella jaoin oppilaille jaksolliset järjestelmät paperilla. Näihin jaksollisiin järjestelmiin täytimme sitten yhdessä oppilaiden kanssa ryhmien nimitykset sekä merkkasimme metallit, epämetallit ja puolimetallit. Näin oppilaat saivat hyvän kuvan siitä miltä jaksollinen järjestelmä oikeasti näyttää ja he saivat huomata, että jopa heidän ensimmäiseksi laatimansa järjestys oli hiukan oikeassa suunnassa.

8.5. Tulokset

Oppilaiden tuottamien ensimmäisen ja toisen jaksollisen järjestelmän välillä oli havaittavissa selvä ero. Ensimmäisessä vaiheessa kaikki oppilaat luokittelivat alkuaineet metalleihin, puolimetalteihin ja epämetalleihin (Kuva 8.1).



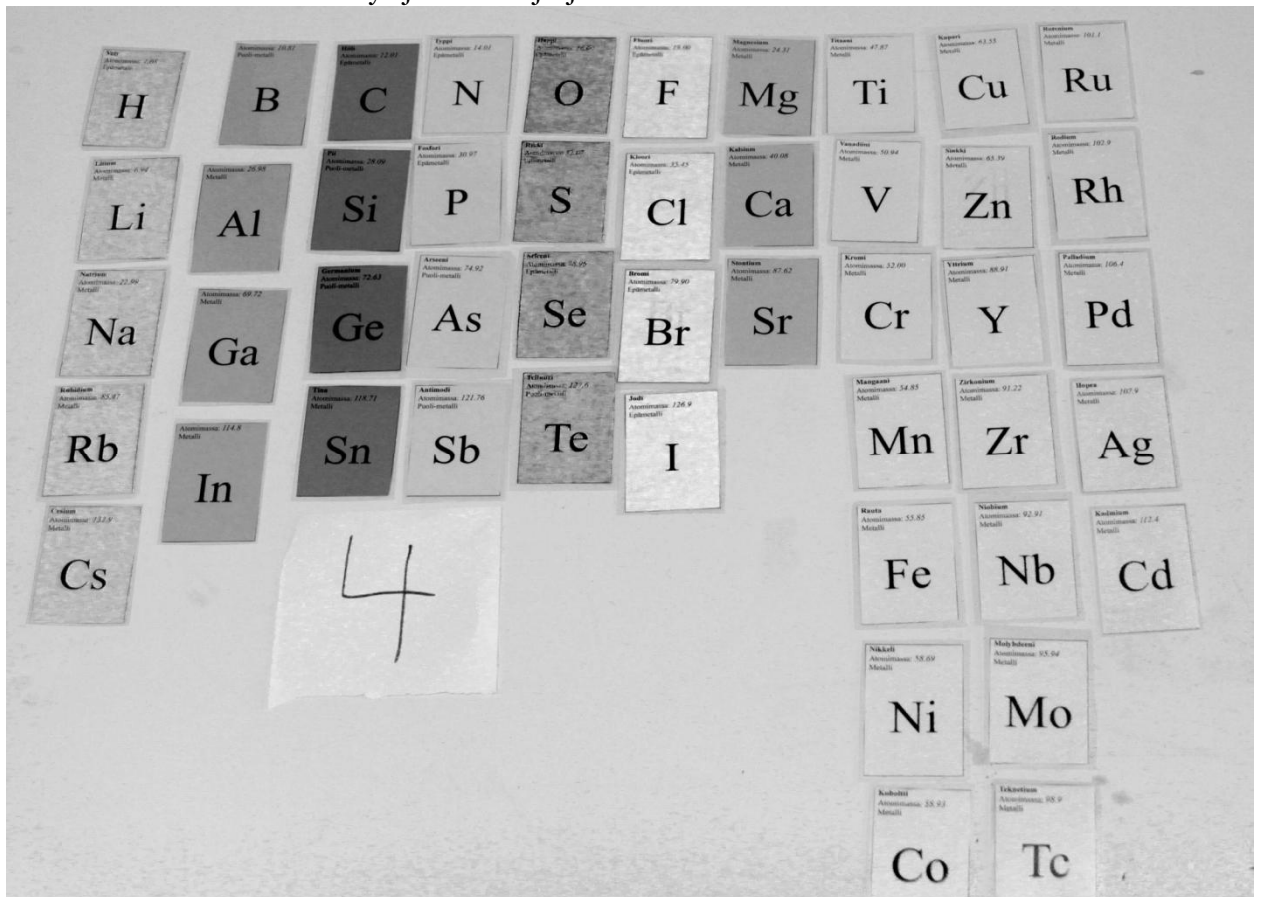
Kuva 8.1. Oppilaiden ensimmäinen luokittelu.

Kuvassa 8.1 oleva esimerkkiryhmä yritti järjestellä myös kortteja värien mukaan, mutta kuten kuvasta huomataan, värien luokittelu on hankalaa kun ryhmät koostuvat metalleista, puolimetalteista ja epämetalleista.

Kun oppilaille kerrottiin tutkimuksen toisessa vaiheessa Newlandsin ja Döbereinerin luokittelutavoista, oppilaat onnistuivat luokittelemaan alkuainekortit nykyistä jaksollista järjestelmää muistuttavalla tavalla. Oppilaat luokittelivat alkuaineet ensiksi samankaltaisuuksien mukaan (korttien värit), jonka jälkeen he luokittelivat kunkin ryhmän alkuaineet massan mukaan. Opettajan kehottaessa oppilaita tarkkailemaan miten ryhmien väliset massat liittyvät toisiinsa, oppilaat alkoivat saada alkuaineita luokiteltua Mendelejevin jaksollista järjestelmää muistuttavalla tavalla (Kuva 8.2).

Kaikissa ryhmissä siirtymämetallit tuottivat ongelmia. Kun opettaja antoi luvan jättää siirtymämetallit huomiotta, prosessi eteni huomattavasti nopeammin.

Koko tunnin aikana oppilaat kommunikoivat hyvin keskenään ja saivat juuri sosiaalisuuden avulla kehitettyä jaksollisia järjestelmiään.



Kuva 8.2. Oppilaiden toinen luokittelu.

8.6. Johtopäätökset ja pohdinta

Tämän tutkimuksen ja pidetyn oppitunnin perusteella historiallinen lähestymistapa toimii hyvin opetuksessa. Alkuainekorttien avulla oppilaat pääsevät kokeilemaan eri tapoja miten alkuaineet voisi järjestellä ja prosessin aikana he huomaavat, mitkä luokittelutavat ovat

parempia kuin toiset. Kokeilun ja erehdyksen kautta oppilaat huomaavat mitkä asiat ovat vaikuttaneet siihen, että alkuaineet on järjestelty Mendelejevin jaksollisen järjestelmän tyyllisesti. Tämän lisäksi oppilaat oppivat, että tiede kehittyy prosessina, johon vaikuttaa tiedemiesten välinen yhteistyö ja kommunikointi. Tämä tukee NOS:n ymmärtämistä. Lisäksi oppitunnilla huomataan, että tiedon muuttumiseen voi mennä pitkiäkin aikoja (Marchlewick & Wink, 2011).

Oppituntia pitäessämme totesimme, että siirtymämetallit olisi hyvä jättää pois alkuainekorteista. Nämä ovat iso irrallinen ryhmä, joka hämmentää oppilaita. Siirtymämetalleista olisikin hyvä puhua vasta oppitunnin lopussa kun oppilaille kerrotaan nykyään käytössä olevasta jaksollisesta järjestelmästä. Vaikka oppitunti on suunniteltu yläkoululaisille, sitä voidaan myös soveltaa lukioon. Alkuainekortteihin on helppo lisätä tietoa ja lisätäkseen historiallista näkökulmaa, opettaja voi tunnin alussa poistaa pakasta joitain alkuainekortteja. Puuttuvat alkuainekortit kuvaavat todellista tilannetta historiasta: Mendelejevin taulukko sai suuren suosion nimenomaan sen takia, että sen avulla pystyttiin ennustamaan vielä siihen aikaan tuntemattomien alkuaineiden ominaisuuksia. Oppilaille voidaan vihjaista, että jotkut kortteista mahdollisesti puuttuu, jolloin he voivat miettiä mihin väleihin alkuaineita tulisi.

Lähteet

- Engels, S. & Nowak, A. (1992). *Kemian keksintöjä: Alkuaineiden löytöhistoria*. Suomentaja Jouko Koskikallio. Helsinki: Gummerus.
- Havonen, T., Kukko, A. & Mannila, L. (2002). *Tabelli: Luonnontieteiden ja matematiikan tietokirja*. Helsinki: Otava.
- Hodson, D. (1986). Philosophy of science and science education. *Journal of Philosophy of Education*, 20(2), 215-225.
- Hodson, D. (2008) *Towards Scientific Literacy*. The Netherlands: Sense Publisher.
- Hudson, J. (2002) *Suurin tiede: Kemian historia*. Suomentaja Kimmo Pietiläinen. Helsinki: Art House.
- LUMA (2012). LUMA-sanomat <http://www.luma.fi/materiaalit/1182>, luettu 31.12.2012.
- Marchlewick, S. & Wink, D. (2011) Using the Activity Model of Inquiry To Enhance General Chemistry Students' Understanding of Nature of Science. *Journal of Chemical Education*, 88(8), 1041-1047.
- Matthews, M.R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- National Science Education Standards (NSES)* (1996). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Partington, J. R. (1989). *A Short History of Chemistry*. 3. painos. New York: Dover Publications.
- Solomon, J., Duveen, J. & Scot, L. (1992). Teaching About the Nature Of Science through History: Action Research in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 409-421.
- Strathern, P. (2000). *Mendelejevin uni: Puuttuvien alkuaineiden etsintä*. Suomentaja Juha Pietiläinen. Helsinki: Terra Cognita.