

Tutkiva kemian opettaja: Kemian käsitteiden ja ilmiöiden opetus sekä oppiminen (osa V): Historiallinen lähestymistapa kemian opetukseen 2

Simo Tolvanen, Maija Aksela, Maija Ahola, Outi Haatainen, Jarkko Huusko, Heli Kannisto, Olavi Käkönen, Ville-Pekka Kääriäinen, Jane Laamanen, Minja Lahdelma, Pauliina Paakkinen, Piia Pakarinen, Anna Palomäki, Heli Rasinperä, Hilla Saarela, Pasi Savolainen, Taina Sirkiä, Heli Vilén

Abstrakti Kevään 2013 Kemian opetuksen keskeiset alueet II -kurssin opiskelijat perehtyivät keskeisten kemian käsitteiden historiaan ja tutkimustietoon historian käytöstä kemian opetuksessa. Kirjallisuuteen perehtymisen pohjalta he kehittivät materiaalia kemian opetukseen yläkoulussa ja lukiossa. Materiaaleissa historiallista lähestymistapaa käytetään kemian käsitteiden ja ilmiöiden opettamisen lisäksi myös käsittelemään kemian luonnetta luonnontieteenä. Alla olevissa artikkeleissa opiskelijat esittävät teoreettista taustaa historialliselle lähestymistavalle ja esittelevät kehittämäänsä materiaaliin liittyvää historiaa. Valmiit opetusmateriaalit löytyvät Kemian opetuksen keskuksen KEMMA:n sivuilta osoitteesta <http://www.luma.fi/kemma>.

1 Historiallinen näkökulma tislaukseen: Tarkastelussa aristoteelinen maailmankuva

Jane Laamanen ja Minja Lahdelma

1 Johdanto

Luonnontieteen luonne eli NOS (engl. Nature of Science) on tieteenfilosofinen tutkimusalue, jossa pyritään kuvailemaan luonnontieteellisen tiedon luonnetta ja tiedon tuottamista. Myös luonnontieteen opetuksen tutkimuksessa on viimeaikoina kiinnitetty huomiota siihen, kuinka NOS esiintyy tiedeopetuksessa ja mitä etua sen opettamisesta voisi olla.

Kemian filosofia pyrkii selittämään kemian luonnetta määrittelemällä ja kuvaamalla kemialle ominaisia käsitteitä, malleja ja selityksiä sekä pohtimalla kemian tutkimukseen liittyviä metodologisia, eettisiä ja esteettisiä kysymyksiä (Vesterinen, 2013). Luonnontieteen luonteen ympärille on luotu monia opetusehdotuksia, mutta yhteys teoreettisen tiedon ja käytännön välillä on edelleen heikko (Aldúriz-Bravo, 2011). Kemian alalla luova ajattelu on keskeistä. Kemistit käyttävät työssään luonnontieteellisiä ja luovia ajatteluprosesseja kehittäessään teorioita, suunnitellessaan koeasetelmia, testatessaan hypoteeseja, tulkitessaan tuloksia ja luodessaan uutta tieteellistä tietoa. (Aksela, 2005) Esitämme tässä luvussa yhden ehdotuksen kemian luonnetta selventäväksi opetusmateriaaliksi. Oppimateriaali perustuu Sandy Stain materiaaliin ”17th-Century French Perfumes”. Olemme pyrkineet tekemään ehdotuksestamme käytännönläheisen ja oppilaille helposti lähestyttävän sitomalla sen historialliseen kontekstiin.

2 Historiallinen lähestymistapa ja luonnontieteen luonne

Historiallisella lähestymistavalla on kemian ja muiden luonnontieteiden opetuksessa monenlaisia etuja. Luonnontieteellisen tiedon muuttuvuutta ja tieteen tekemiseen liittyviä kysymyksiä voi havainnollistaa tutustumalla historiassa esiintyneisiin tapoihin selittää tarkasteltavaa ilmiötä. Myös tiedon kulttuurisidonnaisuus tulee esille historiaa tarkastelemalla, kun tieteellisen metodin ja kemian tiedon havaitaan olevan sidoksissa ihmisiin ja vallitseviin käsityksiin. (Höttecke & Riess, 2009.) Historiallinen näkökulma kemian opetuksessa voi myös auttaa sellaisia oppilaita, joiden on muuten vaikeaa kiinnostua kemian oppisisällöistä, mutta jotka pitävät historiaa mukavana oppiaineena. Kertomuksellisuus sekä oikeisiin menneisyyden henkilöihin ja tapahtumiin tutustuminen voinevat parhaimmillaan auttaa kaikkia oppilaita motivoitumaan ja muistamaan opiskeltuja sisältöjä.

Historiallisen näkökulman avulla voidaan kemian opetuksessa opettaa myös käsitteiden muodostumista, virheiden ja epävarmuuden läsnäoloa tieteen tekemisessä, mielikuvituksen ja luovuuden tärkeyttä ja päättelyketjujen syntyä (Allchin, 2011). Suunnitellessamme opetuskokeiluaamme pyrimme luomaan asetelman, jonka avulla oppilaat saisivat kuvaa siitä, miten ennakkotiedot vaikuttavat tieteen tekijän omiin havaintoihin. Lähempään tarkasteluun valitsimme tislauksen ja sen selittämisen Aristoteleen neljän alkuaineen mallin perusteella.

Kemiallisena erotusmenetelmänä tislauks on tunnettu jo kauan, ja sitä on käytetty esimerkiksi alkoholijuomien valmistuksessa vuosituhansia (esim. Forbes, 1948). Tislauksen taustalla vaikuttavaa kemiaa on ajan saatossa selitetty monin eri tavoin. Selitysmallit ovat heijastaneet sitä, millainen käsitys maailmasta ja sen ilmiöistä on kulloinkin vallinnut. Tarkastelemalla lähemmin yhtä historiallista selitysmallia voidaan korostaa sitä, että tieteellinen tieto on luonteeltaan muuttuvaa ja vahvasti yhteydessä tietentekijöihin.

Aristoteelisen maailmankuvan asema vallitsevana totuutena oli huomattavan pitkäkestoinen ja vahva (esim. Myers, 2006). Tästä syystä valitsimme sen opetuskokeilussamme lähemmän tarkastelun kohteeksi: sen avulla pystyimme havainnollistamaan, kuinka tiedemiehet rakentavat työnsä aiemman tiedon varaan. Se, että tieto myöhemmin osoitetaan vääräksi, ei vähennä aiemman työn arvoa.

3 Historia

3.1 Aristoteleen neljä alkuainetta

Aristoteles (384–322 eaa.) uskoi maailman koostuvan neljästä alkuaineesta: ilmasta, tulesta, maasta ja vedestä. Tämä maailmankuva oli Euroopassa vallitseva totuus lähes 2000 vuotta. Aristoteleen teoria esitteli myös neljä ominaisuutta, joista jokaisella alkuaineella oli kaksi. Alkuaineiden ominaisuudet olivat kylmä, kuuma, kostea ja kuiva. Tuli oli kuuma ja kuiva, vesi sitä vastoin kylmä ja kostea. Maa oli kylmä ja kuiva, ja ilma oli kuuma ja kostea. Jokaisella alkuaineella katsottiin olevan luonnollinen paikkansa maailmassa, ja

ominaisuuksien uskottiin vaikuttavan toisiinsa tiettyjen sääntöjen mukaisesti. (esim. Myers, 2006)

Aristoteleen teorian mukaan aineet olivat erilaisia ja erikoosteisia yhdistelmiä mainittuja alkuaineita. Tästä syystä monet ilmiöt selitettiin alkuaineiden käyttäytymisen avulla. Aristoteleen teoriaa mukaillen esimerkiksi kiehumisen voi selittää kosteuden ja kuumuuden käsitteillä. Kun kosteutta sisältävään aineeseen lisätään kuumuutta, se poistaa kosteuden. Aine alkaa jakautua kahteen rakennusosaan, joista kevyempänä vesi poistuu nousemalla ylöspäin ja jäljelle jää painavampi maa. Lopputulos on alkutilannetta paksumpaa, koska veden määrä aineessa on vähentynyt suhteessa maan määrään. (esim. Myers, 2006)

3.2 Tislauksen historiaa

Tislausprosessin syntypaikasta ja -ajasta on monia näkemyksiä, mutta monet historioitsijat sijoittavat sen synnyn 100-luvun Aleksandriaan. Kuitenkin jo tätä ennen esimerkiksi Aristoteles kuvaili tislausprosessia teoksessaan *Meteorologica* kertoessaan meriveden muuttamisesta makeaksi vedeksi. (Forbes, 1948)

Alkoholin tislauksen arvellaan kehittyneen 1100-luvun Italiassa Salernossa. Alkoholin valmistaminen tislaamalla on mahdollisesti tunnettu jo aikaisemminkin, mutta siitä ei ole löydetty todisteita. Tämä alkoholin valmistusmenetelmä mahdollisti parfyymiteollisuudessa uuden suunnan ottamisen. Suurimmat syyt, miksi alkoholia ei tehty tislaamalla jo paljon aikaisemmin, olivat riittämätön jäähdytys sekä liian pitkä esilämmitysaika. 1100-luvulla tislattavaan liuokseen lisättiin vettä absorboivia aineita, kuten suolaa tai kaliumkarbonaattia, jolloin tisleestä saatiin aikaisempaa huomattavasti väkevämpää. Syntyvä vesi-alkoholiseos sisälsi alle 35 % vettä, joten se oli mahdollista sytyttää palamaan. Tämänkaltaisesta liuoksesta käytettiin nimitystä aqua ardens. Aqua ardensista saatiin valmistettua myös puhdasta alkoholia toistamalla tislausprosessi riittävän monta kertaa. Alkoholista käytettiin nimitystä aqua vitae eli elämän vesi. (Forbes, 1948)

Parfyymi-sana on johdettu latinan termistä per fumum, joka tarkoittaa savulla täyttämistä. Termi lienee lähtöisin suitsukkeen polttamisesta, jota muinaiset egyptiläiset tekivät temppeleissään. Parfyymeja on valmistettu ja käytetty monin tavoin jo vuosituhansia, mutta tislausta alettiin käyttää parfyymien valmistuksessa Euroopassa vasta keskiajalla alkoholin tislauksen myötä. (Pybus & Sell, 1999) Parfyymeja, rohtoja ja erilaisia alkoholijuomia terveystarkoituksiin valmistettiin tislaamalla aluksi pääosin luostareissa, koska niissä oli usein kasvitieteellinen puutarha ja siten myös raaka-aineita kyseisiin valmisteisiin. Dominikaaniluostari Santa Maria Novella Firenzessä aloitti säännöllisen parfyymiteollisuuden pitkien kokeilujen jälkeen. Tislaus ei ollut ainut tapa tuottaa parfyymeja, vaan niiden valmistukseen käytettiin useita menetelmiä rinnakkain pitkään alkoholin tislauksen kehittämisen jälkeenkin (Forbes, 1948).

Parfyymit miellettiin ristiretkien jälkeisessä Euroopassa entistä vahvemmin maalliseksi luksustuotteiksi, ja parfyymiteollisuus sai uutta nostetta. Esimerkiksi 1600-luvun Ranskan hovissa parfyymit muodostuivat tärkeäksi osaksi sosiaalista käyttäytymistä. Taustalla vaikutti huono hygienia: pahoja hajuja peitettiin erilaisilla tuoksuilla, ja parfyymeista tuli yksi aseman osoittamisen keino. Erityisesti 1600-luvun Ranskan kuninkaallisten pyrkimys yliverlaisen asemansa korostamiseen johti siten myös parfyymiteollisuuden kukoistuksen kauteen. (Roudnitska, 2006)

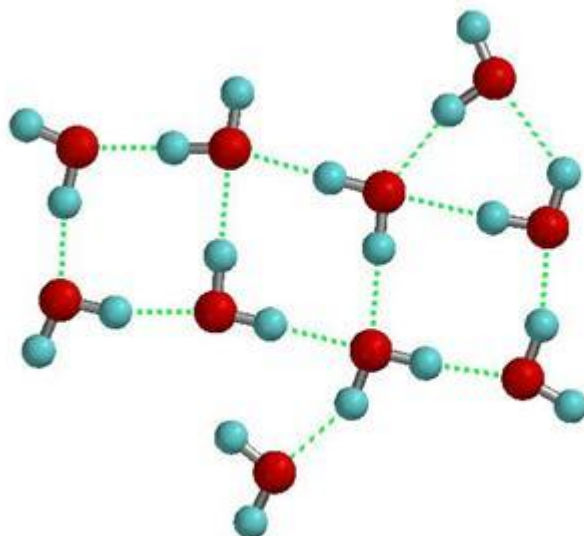
4 Tislauksen kemiaa

Tislaaminen on erotusmenetelmä, joka perustuu aineiden fysikaalisiin olomuodon muutoksiin. Kun kiinteää ainetta lämmitetään, sen hiukkasten liike lisääntyy. Hiukkaset ovat kuitenkin vielä kiinni toisissaan hilarakenteessa, jota pitää koossa rakennehiukkasten väliset vetovoimat. Tarpeeksi korkeassa jokaiselle aineelle ominaisessa lämpötilassa nämä vetovoimat eivät enää pysty pitämään rakennetta kasassa. Säännöllinen rakenne menee rikki ja aine muuttuu nesteeksi. Aineen lämpötila pysyy samana niin kauan kunnes kaikki hiukkaset ovat irronneet säännöllisestä rakenteesta.

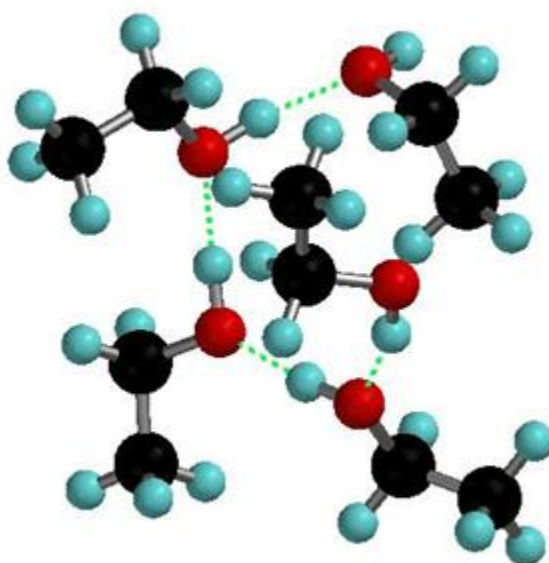
Nesteessä hiukkaset ovat liikkeessä ja pystyvät liikkumaan toistensa ohi. Niiden välillä on yhä vetovoimia, jotka pitävät hiukkaset nesteessä. Kun nestettä lämmitetään, hiukkasten liike kasvaa entisestään ja lopulta hiukkaset karkaavat nesteestä. Aine muuttuu kaasuksi.

Aineen kiehumispisteeseen vaikuttaa atomin tai molekyylin koko. Pienemmät hiukkaset karkaavat usein nesteestä alemmissa lämpötiloissa kuin isot hiukkaset. Aineen kiehumispisteeseen vaikuttavat myös hiukkasten väliset sidokset. Jos sidoksia on paljon ja ne ovat voimakkaita, tarvitaan niiden rikkomiseen enemmän energiaa ja siksi ne siirsirtoavat korkeammassa lämpötiloissa. (Lampiselkä et al., 2004.)

Kuvassa 1 on mallinnettu vesimolekyyliä ja niiden välisiä vetysidoksia. Kuvassa 2 on mallinnettu etanolimolekyyliä ja niiden välisiä vetysidoksia.



Kuva 1 Vesimolekyylien välisiä sidoksia.



Kuva 2 Etanolimolekyylien välisiä sidoksia.

Veden molekyylikoosta ja -painosta voisi kuvitella, että sen kiehumispiste olisi alempi kuin etanolin. Näin ei kuitenkaan ole, sillä vesimolekyylit pystyvät muodostamaan vetysidoksia neljään eri suuntaan jolloin syntyy laaja, kolmiulotteinen, vetysidosverkosto (kuva 1). Näiden vetysidosten rikkomiseen kuluu paljon energiaa joten vesi kiehuu vasta sadassa asteessa. Etanolimolekyylit muodostavat toistensa kanssa pääasiassa rengas- ja

ketjurakenteita, joiden rikkomiseen ei mene niin paljon energiaa. Etanolin kiehumispiste on noin 78 °C. (Streitweiser, Heathcock, Kosower, 1992)

Vaikka etanolin ja veden kiehumispisteet eroavat selkeästi toisistaan, niitä ei voida täysin erottaa toisistaan. Etanoli ja vesi muodostavat lopulta niin sanotun aseotrooppisen seoksen joka kiehuu aina vakiokoostumuksessa. Tislaamalla on mahdollista tuottaa 96% etanoli-vesiseosta. Tällöin pitää suorittaa useita perättäisiä tislauksia. (Lehtiniemi, Turpeenoja, 2009)

Tislattaessa erotettavat aineet laitetaan tislaukolviin, jota kuumennetaan. Kaikkein matalimman kiehumispisteen omaava aine höyrystyy ensimmäisenä. Kaasu kerääntyy laitteiston yläosaan ja tiivistyy takaisin nesteeksi jäädyttimessä. Jäädyttimestä aine tippuu keräysastiaan. Tislaus siis perustuu aineiden erilaisiin molekyyliarakenteisiin ja niistä johtuviin eri kiehumispisteisiin.

Tislausta voidaan koulussa käyttää esimerkiksi hajuveden valmistukseen, kuten tässä opetuskokeilussa tehtiin. Hajuvettä valmistettaessa kiinteitä tuoksuvia aineita (esim. kukkien terälehtiä) murskataan, jotta tuoksuvat aineet saataisiin ulos soluista. Murskaamisen jälkeen kiinteä aines liuotetaan vesi-etanoli seokseen. Seos siirretään tislaukolviin, jota lämmitetään bunsenlampulla tai öljyhauteella. Seoksen lämpötilan noustessa siitä erottuvat ensin alhaisimmissa lämpötiloissa kiehuvat aineet, joita ovat esimerkiksi tuoksuvat esterit ja aldehydit.

Lähteet

- Aksela, M. (2005). *Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach*. Helsinki: Helsingin yliopisto, Kemian laitos. <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/kemia/vk/aksela/supporti.pdf>
- Alduriz-Bravo, A. (2011). A proposal to teach the Nature of Science (NOS) to science teachers: The Structuring theoretical fields of NOS. Universidad de Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. (3.6.2013) Haettu <http://www.pantaneto.co.uk/issue41/bravo.htm>
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95, 518–542.
- Forbes, R. J. (1948). *A Short History of the Art of Distillation*. Hayward, CA: White Mule Press.
- Höttecke, D. & Riess, F. (2009). Developing and Implementing Case Studies for Teaching Science with the Help of History and Philosophy: Framework and Critical Perspectives on “HIPST” - a European Approach for the Inclusion of History and Philosophy in Science Teaching. *Paper presented at the Tenth International History, Philosophy and Science Teaching Conference*.
- Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., & Mäkelä, R. (2004). *Kemisti 1- Ihmisen ja elinympäristön kemia*, 1.painos, Werner Söderström Osakeyhtiö: Porvoo.
- Lehtiniemi, K., & Turpeenoja, L. (2009). *Mooli 1- Ihmisen ja elinympäristön kemia KE1*, 1-5 painos, Kustannusosakeyhtiö Otava: Keuruu
- Myers, R. L. (2006). *The Basics of Physics*. Connecticut: Greenwood Publishing Group.
- Pybus, D., & Sell, C. (1999). *The Chemistry of Fragrances*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Roudnitska, E. (2006). Le parfum - Synopsis based on the 6th edition. (3.6.2013) Haettu http://www.scentedpages.com/pdf/le_parfum.pdf

- Stai, S. 17th-Century French Perfumes. (18.2.2013) Haettu
<http://www1.umn.edu/ships/modules/chem/perfumes.htm>
- Streitweiser, A. Heathcock, C. H., & Kosower, E. M. (1992) *Introduction to Organic Chemistry*, Upper Sanddle River, Prentice Hall.
- Taylor, F. S. (1945). The Evolution of the Still. *Annals of Science*, 5(3), 185-202
- Vesterinen, V-M. (2013). *Nature of Science for chemistry education – Desing of chemistry teacher education course*. Helsinki: Helsingin yliopisto, Kemian laitos.
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37277/natureof.pdf?sequence=1>

2 Historiallista alkuainetutkimusta

Outi Haatainen ja Pauliina Paakkinen

1 Johdanto

Tässä artikkelissa esittelemme suunnitteleamme historiallisen kemian oppitunnin alkuaineiden kemian opetukseen. Suunnittelimme ja testasimme tuntisuunnitelmaa yläkoulun 7. luokan oppilaille 45 minuutin tuntina. Tuntimme tavoitteena on kemian oppisisällön lisäksi tuoda esille kemian luonnetta kokeellisena tieteenä historiallisen näkökulman kautta.

Kokeellisuudella on merkittävä rooli kemian opetussuunnitelmissa (2004). Kokeellisen työskentelyn tärkeyttä painotetaan sekä voimassa olevissa opetussuunnitelmissa että uusissa luonnoksissa. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (2004) on tavoitteena mainittu oppilaiden kemian tietämyksen lisäksi kemiallisen tiedon luonteen laajempi ymmärrys sekä keskeiseksi opetusmenetelmäksi kokeellisuus, jonka tulee auttaa oppilasta hahmottamaan muun muassa luonnontieteen luonnetta. Kokeellisuuden tehtävänä on edistää uusien asioiden omaksumista, kehittää kokeellisen työskentelyn taitoja sekä parantaa opiskelijoiden valmiuksia ryhmätyöskentelyyn. Innostaminen ja motivointi ovat myös kokeellisuuden tärkeitä päämääriä (Hodson, 2008).

Keskeisin osuus oppitunnista on kokeellinen alkuainetutkimus, joka perustuu 1600-luvun loppupuolella tunnettujen aineiden ominaisuuksien tutkimiseen. Varakas englantilainen kemisti ja luonnontieteilijä Robert Boyle palkkaa koko luokan avukseen tunnistamaan erilaisia mahdollisia alkuaineita ominaisuuksien perusteella. Boylen laboratoriossa työskenteli todellisuudessa useita apulaisia tekemässä kokeita (Shapin, 1989). Oppilaat tutkivat aineiden ominaisuuksia ja kirjaavat havaintojaan ylös ja pyrkivät päättämään mitä alkuainetta aine on. Kun kaikki ovat saaneet omat tulkintansa aineista valmiiksi, tarkastellaan alkuaineita uudelleen lisäinformaation kanssa. Tarkoituksena on, että oppilaat saavat tilaisuuden tarkastella kokeeseen perustuvaa alkuperäistä olettamustaan lisätiedon valossa ja mahdollisuuden muuttaa tulkintojaan. Tutkimuslomakkeeseen on tarkoitus kirjata aineiden koostumukseen liittyviä ominaisuuksia, kuten väri ja rakenne. Opettajan tehtävänä on opastaa ja kannustaa kemian käsitteiden käyttöön esimerkiksi lisäämällä olomuodon ja tiiviiden kuvauksia sekä

kemiallisia merkkejä. Lisäksi tutkitaan liekkikokeen liekin väri ja sähkönjohtavuus. Sähkö ei käsitteenä ollut tunnettu 1600-luvulla, mutta tässä teimme poikkeuksen, sillä magneettisuudella ei saataisi mitään tuloksia.

Historiallinen lähestymistapa ei tarkoita vain historiallisen kehyksen liimaamista kokeellisen työn ympärille, vaan tarkoitus on työn päätteeksi koota tulokset yhteen ja linkittää se yleisesti siihen miksi tieteellisiä tutkimuksia tehdään ja siihen miten alkuaine käsitys on muuttunut ajan ja kokeellisen tutkimuksen myötä. Tässä artikkelissa tarkastelemme tarkemmin tunnin kemian oppisisältöä eli alkuaineiden kemiaa. Lisäksi annamme perusteita sille, miksi kokeellisuus sekä historiallinen näkökulma meidän mielestä istuu hyvin tämän kemian aiheen opetukseen.

2 Alkuaineiden kemia

Kemia on ainetta, sen rakennetta, ominaisuuksia sekä aineiden välisiä reaktioita, tutkiva luonnontiede. Kaikki aineet koostuvat alkuaineesta. Alkuainetta ei kemiallisesti voi pilkkoa yksinkertaisemmiksi aineiksi, vaan se koostuu atomeista, joissa kaikissa on sama määrä protoneita. Alkuaine on siten kiistämättä yksi keskeisimmistä kemian käsitteistä, joka määritellään kemian opintojen alussa niin yläkoulussa kuin lukion ensimmäisellä kurssilla.

Alkuaineita on löydetty tähän päivään mennessä 118 kappaletta, joista 94 esiintyy luonnossa ja loppuja 24 valmistetaan synteettisesti. Jo antiikin aikana tunnettiin joitakin luonnossa esiintyviä alkuaineita, kuten hiili, hopea, kupari, rikki, tina, kulta, lyijy, rauta ja elohopea. Näitä alkuaineita käytettiin erittäin paljon tarve-esineissä, kuten työkaluissa ja koruissa. Osa näistä aineista (hiili, rikki ja rauta) ovat kymmenen maailman yleisimmän alkuaineen joukossa.

Alkuaineet jaotellaan muuttuvien ominaisuuksien mukaan ja koska alkuaineiden ominaisuudet muuttuvat jaksollisesti (säännöllisesti), niin on jaottelu tapaa alettu kutsumaan myös jaksolliseksi järjestelmäksi. Nykyaikaisen kaltaisen jaksollisen järjestelmän loi ensimmäisenä Dimitri Mendelejev 1869. Mendelejev osoitti, että alkuaineiden ominaisuudet riippuvat sen atomipainosta. Hän myös pystyi osoittamaan oman järjestelmänsä avulla, että oli olemassa ainakin kolme puuttuvaa alkuainetta, joiden ominaisuuksia hän pystyi kuvailemaan. Mendelejevin jaksollinen järjestelmä hyväksyttiin virallisesti 1880. (Aroluoma, 2010)

Nykypäivänä alkuaineita on pystytty tutkimaan melko tarkkaan ja ollaan jopa pystytty selvittämään miten alkuaineet ovat syntyneet. Alkuaineista vety ja helium ovat syntyneet alkuräjähdyksen yhteydessä, mutta muut alkuaineet ovat syntyneet tähdissä. Rautaa raskaammat alkuaineet voivat syntyä vain supernova räjähdyksessä, josta ne leviävät ympäröivään avaruuteen. (Linnaluoto, 2000)

Alkuaineilla on jokaisella omat ominaispiirteensä, joilla ne voi erottaa muista. Alkuaineiden erottelu onnistuu yksinkertaisillakin välineillä, esimerkiksi koulussa voidaan tutkia alkuaineiden väriä, rakennetta, sähkönjohtavuutta ja liekin väriä. Näin ei saada

kuitenkaan koskaan täysin varmoja tuloksia. Tarkempia tuloksia alkuaineiden ominaisuuksista saadaan mm. hiukkaskiihdyttimellä.

3 Luonnontieteen kokeellinen luonne ja historiallinen näkökulma alkuaineiden kemian opetuksessa

Luonnontieteen luonteella tarkoitetaan näkemyksiä siitä mitä tiede on. Millaisia arvoja ja uskomuksia on tieteen tekemisen taustalla ja kuinka tutkijat toimivat ja tekevät tiedettä. Siitä, mitä luonnontieteen luonteeseen sisältyy, ei olla täysin yksimielisiä, mikä on ymmärrettävää kun ajattelee kuinka laajasta ja monimutkaisesta ilmiöstä tieteessä on kysymys. Huolimatta määrittelyn vaikeudesta koetaan ymmärrys tieteen luonteesta keskeiseksi tieteen opetuksessa. (Lederman, 2002) Tieteen opetukseen suositeltavia luonnontieteen luonnetta käsitteleviä sisältöjä ovat muun muassa tieteen sosiologiassa ja filosofiassa esitetyt näkemykset tieteellisestä tiedosta luovuutta vaativana sosiaalisena ihmismielen tuotoksena, tieteen havaintoihin ja mittauksiin perustuva empiirinen luonne sekä tieteellisten teorioiden ja lakien erilaisuus ja lisäksi historiallinen tieteellisten käsitteiden muuttuminen ja kehitys (McComas, 2004).

Kehittämämme tuntisuunnitelma pohjautuu pitkälti tutkimukselliseen oppimiseen, oppilaiden omaan aktiivisuuteen aineiden tutkimisessa pareittain tai ryhmässä. Täten juuri kokeellisuus osana luonnontieteen tekemistä nivoutuu luontevasti tuntisuunnitelmamme sisältöön ja tätä luonnontieteen aspektia pyrimme tuomaan tietoisesti esille tuntisisällössämme. Kokeellisuuden tehtävänä kouluissa on edistää uusien asioiden omaksumista, kehittää kokeellisen työskentelyn taitoja sekä parantaa opiskelijoiden valmiuksia ryhmätyöskentelyyn. Innostaminen ja motivointi ovat myös kokeellisuuden tärkeitä päämääriä. (Hodson, 2008)

Samalla tavalla, kuin oppilaat tutkivat yhdessä, luodaan myös tieteellistä tietoa. Tieteellinen tieto pohjautuu perusteltuihin, raportoituihin ja toistettavissa oleviin tutkimuksiin, mikä erityisesti kemiassa tarkoittaa usein laboratoriossa tehtävää kokeellisuutta ja saatujen tuloksien arviointia. Näin ei ole aina ollut. Kemian juuret ovat 1600-luvun maailmassa, jolloin kemiaa tieteenä ei ollut ja tieteellinen tieto syntyi vielä puhtaasti ajattelemalla. Kokeellisuus kuului tuolloin vain alkemisteille.

Historiallinen näkökulma tuo hyvin esiin tieteen muuttuvana ja kehittyvänä. Katseltaessa vanhentuneita tieteellisiä ajatuksia ne näyttävät helpommin oman aikansa tuotteilta, kuin nykyiset ajatukset ja tutkimustieto. Tämä tulee hyvin esille tarkasteltaessa ajatuksia alkuaineista antiikista nykyaikaan. Lisäksi teknologian vaikutus tieteen kehitykseen tulee myös esille: mitä on kyetty tutkimaan ja millaista tietoa on voitu saada tutkimuksien avulla. Historiallinen näkökulma alkuaineiden kemian opetukseen soveltuu hyvin tuomaan esille tieteen kehitystä ja ajatusten sidonnaisuutta omaan aikaansa. Historiallisia oppimateriaaleja alkuaineiden kemian opetukseen on etenkin Mendeleevin ja jaksollisen järjestelmän opetuksesta tarjolla. Täten nostimme tuntimme keskiöön 1600-

luvulla eläneen englantilaisen tiedemiehen Robert Boylen, joka pääteoksessaan ”The Sceptical Chymist” (1661) eli vapaasti suomentaen epäilevä kemisti, puhui kokeellisen tieteellisen testauksen puolesta ja epäili tuolloin vallalla olevia näkemyksiä alkuaineista. Aineiden tutkimisessa oletettiin valtava harppaus eteenpäin, kun puhtaan pohdinnan sijaan aineita ja alkuaineita ryhdyttiin tutkimaan laboratoriossa.

Tarkasteltaessa 1600-luvun pohdintoja alkuaineesta on unohdettava mitä nykyään tiedetään aineesta, jotta vanhat ajatukset eivät tuntuisi täysin typeriltä. Jos tieteen historiaa tuo tunneille vain irrallisina nippelitietoina ja yksityiskohtina on vaarana se, että oppilaille jää siitä kuva turhana ja vääränä tietona sekä aiemmista tutkijoista kuva tyhmänä. Luomalla perusteellisemmin historiallista kontekstia, eli taustoittamalla sekä tutkijaa henkilönä että yhteiskuntaa, jossa hän on asunut, pääsevät oppilaat paremmin käsiksi 1600-luvun tutkijoiden poikkeavalta tuntuviin näkemyksiin. Näin voidaan myös luoda kuva tutkijoista toisaalta erehtyvinä ja toisaalta järkevästi ajattelevina ihmisinä, vaikka ajatusmaailma olisi kaukainen ja outo nykyoppilaan näkökulmasta. Lisäksi henkilöt ja tarinat luovat mielenkiintoa, mikä saattaa lisätä myös oppilaiden motivaatiota kemian opiskeluun. (Hodson, 2008) Lisäksi historiallisten mallien ja käsitysten esiintuonti tunnilla voi auttaa oppilaita käsitteen muodostuksessa heidän nähdessään etteivät käsitteet ole syntyneet valmiina tyhjästä, vaan ne ovat ajansaatossa kehittyneet nykyiseen muotoonsa. Oppilaalle ominainen virhekäsitys saattaa hyvinkin olla asia, jota aiemmat tutkijat ovat myös pähkäilleet ja historiallinen aikaisempien näkemysten esiintuonti voi auttaa oppilasta eteenpäin ja muodostamaan virheettömämmän kuvan käsiteltävästä ilmiöstä. (Hodson, 2008)

4 Alkuaineiden kemia 1600-luvun tieteen parissa

Varsinainen kemia ja moderni tiede, sellaisena kuin me sen tunnemme, oli vasta syntyneessä 1600-luvulla. Ei ollut olemassa yhtenäistä näkemystä alkuaineista. Näkemykset aineen olemuksesta ylipäätään pohjautuivat antiikista ja mystinen alkemia, joka tavoitteli kultaa ja ikuista elämää oli vallalla. Erityisesti Aristoteleen ajatukset aineesta elivät vielä 1600-luvulla vahvasti (Hudson, 2002).

Aristoteles kuvasi aineen rakennetta 4 perustan eli alkuaineen kautta: tuli, maa, vesi ja ilma, joista kaikki muu aine koostui erilaisina yhdistelminä. Hänelle alkuaineet poikkesivat monien muiden antiikin filosofien näkemyksistä siinä, että ne pystyivät muuttumaan toisikseen. Aristoteleelle alkuaine ei siten ollut niinkään kemiallisesti puhdas aine, vaan pikemminkin olomuoto kiinteä, neste ja kaasu. Alkuaineet koostuivat yhteisestä pysyvästä perusaineesta sekä muuttuvasta muodosta. Perusaine tai muoto ei yksinään voinut olla olemassa ja mainitut neljä alkuainetta olivat aineen ja muodon yksinkertaisimmat yhdistelmät. Teoriassa siis muuttamalla alkuaineen muotoa voitiin alkuaine muuttaa toiseksi alkuaineeksi. (Hudson, 2002)

Ajatus aineen muuttumisesta toiseksi kiehtoi 1100-luvulta alkaen Euroopassa suosioon nousseen alkemian harrastajia heidän pyrkiessään muuttamaan materiaa kullaksi. Osa

erityisesti myöhäisemmistä alkemisteista, joista tunnetuin lienee Paracelsius (1493-1524), keskittyi transmutaation sijaan kehittämään lääkkeitä. Paracelsius 4 alkuaineen teoriasta poiketen tulkitsee aineiden koostuvan kolmesta pysyvästä periaatteesta, jotka ovat rikkimaisuus, elohopeamaisuus sekä suolamaisuus. Alkemioita pidetään erityisesti nykyään tieteen vastakohtana, taikauskona ja huijauksena, mutta juuri alkemian myötä kehittyi laboratoriotekniikka. Alkemistit muun muassa suodattivat, liuottivat, kiteyttivät ja tislasivat, siis käyttivät menetelmiä, jotka sisällytettiin moderniin kemiantutkimukseen ja siten alkemistit ovat ansainneet paikkansa kemian historiassa. (Hudson, 2002)

1500- ja 1600-luvuilla tapahtui tieteen parissa monia murroksia antiikin ajatuksiin nähden. Vuonna 1543 ilmestyi Nikolaus Kopernikuksen teos, jossa hän kritisoi maakeskeistä maailmankuvaa ja puhui aurinkokeskeisen maailman puolesta. Tämän puolesta puhuivat myös Tycho Brahe, Johannes Kepler sekä Galilei, jota vallalla ollut katolinen kirkko hyvin voimakkaasti vastusti. Sir Isaac Newton oli 1600-luvun merkittävimpiä tiedemiehiä, joka osaltaan oli murtamassa vanhoja maagisia ja aristoteleellisiä näkemyksiä. Näistä uusista ajatuksista on käytetty termiä mekaaninen filosofia, jossa maailmaa voisi kuvata suurena mitattavana koneistona, jota muuttumattomat luonnonlait ohjaavat. Tämä uusi filosofia, joka sisälsi luonnon kokeellista tutkimista osaltaan johti modernin tieteen syntyyn. (Hudson, 2002)

5 Robert Boyle

Brittiläinen Robert Boyle (1627-1691) oli keskeinen mekaanisen luonnonfilosofian edustaja, jota voidaan pitää yhtenä ensimmäisistä kemisteistä kahdesta syystä. Ensinnäkin hän peräänkuulutti kokeellista lähestymistapaa ja toisekseen Boyle oli siten osaltaan vaikuttamassa siihen, että kemiasta tuli yksi merkittävistä moderneista luonnontieteistä ja että vuonna 1660 perustetun Royal Societyn toimintaperiaatteisiin kuului kokeellinen tutkimus. Tähän vaikutti myös vuonna 1661 Robert Boylen julkaisema teos *The Sceptical Chymist*, jossa hän kritisoi näkemyksiä tieteen tekemisestä puhtaasti pohtien. Boyle halusi tuoda tieteellisen ja kokeellisen kemian esille erillisenä muusta ajan pohdintaan pohjautuvasta luonnonfilosofiasta kuten myös erillisenä epätieteellisestä kokeellisesta alkemiasta. Tässä teoksessa Boyle peräänkuuluttaa tieteellistä tietoa, joka on testattu toistettavissa olevilla kokeilla ja jonka on vahvistanut luotettavat todistajat. (Levere, 2001) Näkemys joka on hyvin linjassa nykykäsityksen kanssa tieteellisestä tiedosta.

The Sceptical Chymist kritisoi myös muutaman alkuaineen teorioita, sillä kokeiden avulla ei voitu todistaa että olisi olemassa yleistä kaikesta materiaalista löytyvää alkuainetta. Esimerkkinä hän käytti mm. kullalla tehtyjä kokeita. Kuumentamalla kultaa metalli ei muutu. Lisäksi sekoittamalla kultaa ja hopeaa saadaan kahden metallin seos, josta nämä metallin on eroteltavissa aqua fortiksen (konsentroitunut typpihappo) avulla. Missään vaiheessa kullasta ei saada ulos maata, vettä, tulta tai ilmaa, joten kokeiden perusteella kullasta ei voida esittää muodostuvan muusta kuin kullasta. (Levere, 2002).

Boyle on hyvä esimerkki tutkijasta joka on elänyt tieteen murroskautta aikana jolloin kemian perusteita luotiin. Siten hänen ajatustensa ja pohdintojensa kautta saattaa oppilaille helpommin avautua se miten aiemmin on ajateltu alkuaineista ja miten alkuainekäsite ja kemia tieteenä ovat kehittyneet. Boyle mekaanisista kemian ajatuksistaan huolimatta uskoi elämänsä loppuun asti monien aikalaistensa tavoin alkemistien tavoittelemaan transmutaatioon (Levere, 2001). Hän kritisoi jyrkästi alkemistien ja Aristoteleen näkemyksiä alkuaineista, koska ajan kokeelliset tutkimukset eivät tukeneet niitä. Missään vaiheessa Boyle ei kuitenkaan esittänyt vaihtoehtoista teoriaa kritisoimansa muutaman alkuaineen teorialle.

Monet Boylen näkemykset alkuaineista ovat nykynäkemyksien kannalta lähempänä kuin Aristoteleen näkemyksen. Boyle uskoi vakaasti, että alkuaineita on enemmän kuin vain muutama ja hän määritteli alkuaineen jakamattomaksi aineen perusosaksi, joiden yhdistelmistä muut aineet koostuvat. Hän ei liittänyt alkuaineen käsitettä atomin käsitteeseen nykykäsityksen mukaisesti, vaikkakin hän uskoi atomiteoriaan eli siihen, että alkuaineet rakentuvat pienistä hiukkasista. Boylelle alkuaineiden ominaisuudet selittyivät niiden muodostavien hiukkasryhmien koon, muodon ja liikkeen avulla. (Hudson, 2001)

Lähteet

- Aroлууoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T., Vakkilainen, K.-M. (2010). *Kemisti 1*. Juva: WSOY
- Boyle, R. (1661) *The Sceptical Chymist*. (29.4.2013) Haettu <http://www.gutenberg.org/files/22914/22914-h/22914-h.htm>
- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy: a teacher's guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Hudson, J. (2002). *Suurin tiede*. Helsinki: Art House Oy
- Lederman, N. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 497-521
- Levere, T.H. (2001) *Transforming matter. A history of chemistry from alchemy to the buckyball*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Linnaluoto, S. (2000) *Kosmos* (29.4.2013). Haettu <http://www.ursa.fi/extra/kosmos/a/alkuaineet.html>
- McComas, W. (2004). Keys to teaching the nature of science. *The Science Teacher*, 71(9), 24–27.
- Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*. Vammala: Opetushallitus
- Vesterinen, V.-M. (2012). *Nature of science for chemistry education, design of chemistry teacher education course*. (väitöskirja). Helsinki: University of Helsinki.

3 Hapot ja emäkset läpi historian

Olavi Käkönen ja Pasi Savola

1 Johdanto

Olemme arjessamme jatkuvasti tekemisissä happamien ja emäksisten aineiden kanssa, mutta käsitteet happamuus ja emäksisyys ovat, varsinkin yläkouluikäiselle, kovin abstrakteja käsitteitä. Osana Kemian opetuksen keskeiset alueet II -kurssia tehtävänämme oli pitää 8. luokan oppilaille opetusharjoittelutunti, jonka puitteissa lähestymme kemian opetusta kemian historian avulla. Historian käytöllä tarkoituksena oli erityisesti tuoda esiin luonnontieteille ominaisia piirteitä, ns. luonnontieteiden luonnetta (nature of science, NOS), mutta myös liittää historian avulla näitä abstrakteja käsitteitä lähemmäs oppilaiden arkea.

2 Happojen ja emästen kemia koulutasolla

Hapot ja emäkset määritellään yleisimmin kemiassa joko Brønsted-Lowry-happoina ja -emäksinä yhdisteiksi, jotka luovuttavat tai vastaanottavat vetyionin eli protonin, tai tarkemmin ja laajemmin Lewisin-happoina ja -emäksinä yhdisteiksi, jotka vastaavasti vastaanottavat tai luovuttavat elektroniparin.

Yläkoulussa käytetään yleisemmin Brønsted-Lowryn happo-emästeoriaa sen hieman yksinkertaisemman muodon takia. Suurin rajoite teorialle on, että hapon on sisällettävä vety, jonka se voi vetyionina eli protonina luovuttaa. Näin toki suurimmassa osassa happoja asia onkin, joten teoria riittää yläkoulun kemian oppimäärään.

Yhdisteiden happo- tai emäsluonnetta voikin käytännössä lähestyä myös pH-asteikon kautta: happo on yhdiste, jonka vesiliuoksen pH on alle seitsemän. Etuna pH:n käsitteelle on se, että sitä voidaan lähestyä hyvin konkreettisesti – mittaamalla. Voidaan määrittää onko yhdiste mahdollisesti happo tai emäs mittaamalla sen vesiliuoksen pH esimerkiksi pH-paperilla. Näin saadaan abstraktiin käsitteeseen liitettyä oppilaiden omakohtaisia käytännön kokemuksia.

pH ei käsitteenä ole kuitenkaan yksinkertainen, sillä vaikka happamuuden käsitteeseen kaikki oppilaat ovat arjessaan vaikkapa elintarvikkeiden tai virvoitusjuomien kautta tutustuneet, kysymykseen ”mitä happamuus kuvaa” on silti vaikeaa vastata. pH on luonteeltaan kohtuullisen matemaattinen käsite ja yläkoulussa pH:n tarkempaa määritelmää, liuoksen vetyioniaktiivisuuden kymmenkantaisen logaritmin vastalukua, ei ole järkevää käsitellä. pH käsitteenä redusoidaan käytännössä liuoksen ominaisuudeksi, joka kuvaa sen happamuutta.

Pitämämme oppitunnin aikana käsitelimme myös happo-emäsindikaattoreita. Indikaattorit ovat yleisesti heikkoja happoja tai heikkoja emäksiä jotka happo- ja emäsmuodoissaan (protonoituneessa ja deprotonoituneessa muodossa) muodostavat erivärisen yhdisteen. Värimuutos ei tapahdu yhtäkkisesti tietyssä pH-arvossa, vaan vaiheittaisesti pH-alueella joka riippuu yhdisteen happo- tai emäsvakiosta. Henderson-

Hasselbach-yhtälön avulla yleisesti määritellään värinmuutosalueeksi $pK_a \pm 1$. Oppitunnilla indikaattoreita sivuttiin lähinnä niiden historiallisten käyttötarkoitusten kautta, sekä esimerkkinä tavoista määrittää pH-arvoa.

3 Perusteita historiallisen lähestymistavan käytölle

Historiallinen lähestymistapa kemian opetuksessa saatetaan toisinaan virheellisesti nähdä vain tavaksi keventää oppitunnin tai oppikirjan sisältöä anekdoottimaisilla henkilökuvauksilla. Historian käyttö osana opetusta on kuitenkin hyödyllistä huomattavasti laajemmalla skaalalla. Derek Hodson esittelee luonnontieteiden opettajille suunnatussa kirjassaan *Towards scientific literacy* kahdeksan hyötynäkökulmaa historialliselle lähestymistavalle opetuksessa:

1. Historiallinen lähestymistapa auttaa tieteen käsitteiden oppimisessa
2. Tieteen historian esilletuominen inhimillistää tiedettä ja tiedeopetusta
3. Tieteen historia voi auttaa muodostamaan sillan luonnontieteiden ja humanististen tieteiden välille
4. Tieteen historia tarjoaa näkemyksen luonnontieteiden luonteesta ja luonnontieteellisestä tutkimuksesta
5. Historiallisia tapaustutkimuksia voidaan käyttää osana STSE-opetusta (Science, Technology, Society, Environment)
6. Tieteen historia monikulttuurisuuden ja rasminvastaisen koulutuksen osana
7. Historiallinen näkökulma aineidenvälisen opetuksen tukena
8. Tieteen historiallisuuden ymmärtäminen on osa tieteellistä lukutaitoa

Kaikki kuvaukset kemian tai tieteen historiasta eivät toki tavoita kaikkia yllämainittuja hyötyjä, mutta huomattavaa on, että historian käytön hyödyt eivät rajoitu vain motivaation ja mielekkyyden parantamiseen. Merkittävää on erityisesti se, että historiallinen lähestymistapa voi auttaa myös käsitteiden oppimisessa. Käsitteiden historiallisen kehityksen esittäminen saattaa auttaa oppilasta ymmärtämään käsitteen paremmin, sillä historialliset virhekäsitykset ovat usein samoja, joita oppilailla on. Näin käsitteen tieteellisen tarkentumisen esittäminen nostaa esille oppilaiden mahdollisia vääriä käsityksiä ja auttaa oppilaita pääsemään niistä yli.

Historian käytöllä opetuksessa on myös mahdollista tuoda esille kemian ja yhteiskunnan välisiä vuorovaikutuksia. Kemia on ollut historiallisesti merkittävä yhteiskunnallinen tekijä, mutta myös ympäröivä yhteiskunta on vaikuttanut kemian kehitykseen tieteenä. Esimerkiksi suuri osa kemian historiaa kuuluu alkemian aikakauteen, jolloin kemian yhtenä päätavoitteena oli uudenlaisen vaurauden saavuttaminen. Toisaalta tämän tavoitteen johdosta kemian tutkimusta rahoitettiin voimakkaasti ja kemian työ- ja tutkimusmenetelmät kehittyivät voimakkaasti. Historiasta on siis kenties helpompi löytää

yksiselitteisempiä esimerkkejä kemian yhteiskunnallisesta merkityksestä, sillä nykyään suuri osa tieteen kehityksestä tapahtuu eri tieteenalojen yhteistyönä.

4 Happojen ja emästen historia

Hapot ja emäkset eivät ole tieteelle uusi käsite. Jo muinaiset egyptiläiset ja kreikkalaiset luokittelivat erilaisia aineita happamiksi ja emäksisiksi. Emäkset olivat liukkaita, polttamisesta saatuja aineita, kun taas happamat luokiteltiin happamiksi niiden väkevän maun vuoksi, kuten etikka. Esimerkiksi etikkahappo on jo kauan sitten tunnettu happo, sillä sitä syntyi viinin eli etanolin hapettumisessa. Saippuankin alkeellinen valmistus tunnettiin varhaishistoriassa. Ilmeisesti typpihappo löydettiin jo 300–400 luvulla, sillä Olympiodoros mainitsee eräänlaisen nitronöljyn joka liuottaa metalleja. Typpi- ja rikkihapon valmistusmenetelmän valmistuksen tai julkitulemisen tarkkaa ajankohtaa ei tiedetä, mutta on löydetty lähteitä siitä, että ne olisi keksitty 1200-luvulla. Toiset lähteet taas viittaavat aikaisempaan ajankohtaan, jopa 700–800 luvuille.

Historiasta löytyy myös paljon esimerkkejä siitä, kuinka olemme hyödyntäneet kemiaa paljon ennen sen ymmärtämistä. Esimerkiksi vaatteiden värjääjät hyödynsivät kasviuuteindikaattoreita satoja vuosia ennen kuin Robert Boyle selvitti sen mekanismin 1600-luvulla. Vaatteiden värjäyksestä ei kuitenkaan tiedetä kovin paljoa, sillä vaatteiden värjääminen oli tarkoin varjeltu salaisuus.

Nykyään happoja ja emäksiä hyödynnetään kaikkialla arjessa. Vaikkapa typpihappoa valmistetaan kymmeniä miljoonia tonneja vuodessa. Yläkoulussa oppilaille kuitenkin opetetaan happojen ja emästen teoria melko suurpiirteisesti. Tärkeää on, että oppilas huomaa kemian tärkeyden jokapäiväisessä elämässään.

On tärkeää muistaa, että oppitunti ei ole historian tunti, vaan kemian tunti jossa on historiaa. Siksi valitaan teorian taustalle mukaan murusia kemian historiasta, ja syvennytään yhteen historian henkilöön tai tapahtumaan perusteellisemmin vaikkapa kokeellisuuden kautta, esimerkiksi toistamalla Boylen kasviuuteindikaattoritutkimus. Pyrkimys on, että oppilaille tulee tutkiva opiskelu tutuksi, ja että he huomaavat tieteen inhimillisyyden oman toiminnan kautta.

5 Tunnin oppimistavoitteet

Tunnilla hyödynnetty historia tuo mukanaan monia tarkastelumahdollisuuksia. Oppilaat saattavat ajatella tutkijoiden olevan suuria läpimurtoja tekeviä henkilöitä. Historia on otollinen työkalu kuvaamaan oppilaille että tiede on pitkällä aikavälillä saatu tulos. Tiedettä on siis viety eteenpäin vaikka sitä olekaan ymmärretty täydellisesti. Tunnilla voi mainita kuinka vuosisatojen varrella tehtiin virheellisiä tulkintoja, tai kuinka nykypäivän valossa vanhat tulokset ovat vähintään puutteellisia. Historia tarjoaa oppilaille myös palan tieteen inhimillisyyttä.

Yläkoulussa on tärkeää sitoa opetettava asia arkeen. Hapot ja emäkset ovat tässä mielessä kiitollinen aihe, sillä tunnille on helppo ottaa mukaan oppilaille kotoa tuttuja

aineita, ja kerätä heiltä ennakkokäsityksiä tunnin aluksi tai sen aikana. Lisäksi oppilaille on helppo näyttää kuinka hapot ja emäkset ovat tärkeitä jokapäiväisessä elämässä esimerkkien kautta. He saavat huomata hyödyntävänsä happoja ja emäksiä tiedostamattakin. Tällä tavoin oppilaat huomaavat kemian olevan osa arkea, eikä vain laboratoriotiede.

Historiallinen lähestymistapa näyttää myös, kuinka hapot ja emäkset ovat olleet tärkeitä yhteiskunnalle kautta historian, ja kuinka niiden merkitys on vain kasvanut ajan myötä. Olisi hyvä, että oppilaille jää käsitys siitä, että heille opetettava aihe on tärkeä ja ajankohtainen. Tämän voi saavuttaa liittämällä tunnilla esiintyvät asiat arkeen sekä kertomalla miten valtavasti nyky-yhteiskunta hyödyntää happo- ja emästeollisuutta.

Lähteet

- Nurminen, E. (2011). *Kemian historia -kurssimoniste* 1. painos. Turku: Turun yliopiston kemian laitos
- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy: a teacher's guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Hudson, J. (1995) *Suurin tiede - Kemian historia*. Jyväskylä: Art House Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*
- Petrowsky, J. (2009). *The origins of Acids and Alkalis*. Haettu www1.umn.edu/ships/modules/chem/acids.doc

4 Sähkökemiallisen parin opetus lähtökohtana Galvanin ja Voltan tutkimukset

Taina Sirkiä ja Heli Vilén

1 Historiallinen lähestymistapa ja opetussuunnitelman perusteet

Historiallisessa lähestymistavassa kemian sisältöjä lähestytään historiallisen kontekstin kautta. Tämä voi olla esimerkiksi tarina historiallisten henkilöiden elämästä, jonkin kuuluisan keksinnön syntyprosessin kuvaaminen tai historiallisen kokeen toistaminen. Historiallisen lähestymistavan etuja ovat opiskelijoiden motivoiminen ja sen käytön monipuoliset mahdollisuudet. Historian avulla kemiasta saadaan mielenkiintoisempaa myös niille oppilaille, jotka eivät koe luonnontieteitä kiinnostavana, mutta pitävät esimerkiksi historiasta. (Hodson, 2008)

Lukion opetussuunnitelman perusteissa sähkökemian opetetaan KE4 kurssilla. Opetussuunnitelman perusteissa ei mainita suoraan historiallista lähestymistapaa, mutta tämän avulla voidaan tehokkaasti opettaa kemian sisältöjä ja muun muassa seuraavia opetussuunnitelman yleisiä opetuksellisia tavoitteita (Opetushallitus, 2003):

- Tukee oppilaan luonnontieteellistä ajattelua (s. 152)
- Antaa oppilaille kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan (s. 152)

- Antaa tietoa kemian yhteyksistä jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin. (s. 152)

Historiallinen lähestymistapa on myös yksi keino opettaa luonnontieteiden luonnetta (NOS), jota käsitellään tarkemmin luvussa kolme. Historian avulla voidaan muun muassa laajentaa oppilaiden mielikuvaa kemiasta ja muokata oppilaiden käsityksiä luonnontieteistä, kehityksestä ja niiden rakenteesta. Historian avulla voidaan tuoda esille tieteellisen tiedon muuttuvuus ja synty, tutkimuksen teon pitkäjänteisyys ja tieteellisen tiedon kehittäminen sekä, miten tieteellinen tieto ja sen kehitys ovat vaikuttaneet nykymaailmaan. (Solbes & Traver, 2003)

2 Sähkökemiallisen parin keksimiseen johtaneet tapahtumat

Italialainen lääketieteen tohtori Luigi Galvani alkoi tutkia 1770-luvun lopussa sähkön vaikutuksia sammakon lihaksiin (Encyclopedia Britannica, 2013). Vuonna 1780 Galvani oli jo vakuuttunut eläinsähkön olemassa olosta, sillä kosketettaessa sammakon lihasta sähköä johtavalla esineellä sähköstaattisia purkauksia muodostavan koneen ollessa päällä sammakon lihas saatiin supistelemaan. Kuuden vuoden tutkimusten jälkeen hän todisti, että myös salamointi saa samoin järjestelyin aikaan sammakon lihaksen supistelemisen. (Pavian yliopisto, 2013) Tutkimusten jatkuessa Galvani kuitenkin huomasi, että lihassupistuksen aikaansaamiseksi ei tarvita lainkaan ulkoista sähköä: Ripustaessaan sammakon kuparikoukussa selkäytimestä roikkuen rautakaiteeseen hän huomasi, että sammakon jalan osuessa kaiteeseen lihas alkaa supistella (Encyclopedia Britannica, 2013).

Yli kymmenen vuotta kestäneiden tutkimusten jälkeen Galvani julkaisi vuonna 1791 tutkimustuloksensa eläinsähköstä – yhdestä sähkön muodosta, joka on elämälle välttämätön (Encyclopedia Britannica, 2013). Pavian yliopiston fysiikan professori Alessandro Volta oli epäileväinen tutustuttuaan Galvanin tutkimuksiin. Hän ryhtyi toistamaan Galvanin kokeita ja vakuuttui tuloksista. Kuitenkin jatkaessaan tutkimuksiaan Volta havaitsi, ettei sähkö ollut lähtöisin eläimestä vaan kahden metallin kosketuksesta. (Pavian yliopisto, 2013) Hän myös havaitsi lihassupistuksen voimistuvan metallien erilaisuuden myötä (Encyclopedia Britannica, 2013). Voltan ja Galvanin ristiriita kesti useamman vuoden, ja se jakoi kyseisen asian osalta Euroopan tiedeyhteisön kahtia. Molemmat tahoillaan jatkoivat tutkimuksiaan saadakseen lisänäyttöä omalle kannalleen, ja viimein vuonna 1796 Volta pystyi todistamaan kantansa rakentamallaan laitteella. Tämä oli lähtölaukaus sähkökemiallisen parin synnylle, ja vuonna 1800 Volta julkaisi nykyään Voltan pylväänä tunnetun laitteen – pariston prototyypin. (Pavian yliopisto, 2013)

3 Luonnontieteiden luonne

Oppilailla on usein hyvin pelkistynyt, jopa virheellinen, käsitys luonnontieteistä: Oppitunneilla tehtävät kokeelliset työt eivät anna todellista kuvaa luonnontieteellisen tutkimuksen tekemisestä, koska oppilastöillä on tavallisesti vain yksi, entuudestaan tiedetty

lopputulos (Hodson, 2008, 24). Koulussa opittuja asioita pidetään myös muuttumattomina faktoina kyseenalaistamatta niiden totuutta (Irwin, 2000). Jotta oppilaat ymmärtäisivät paremmin tieteellisen tiedon syntyä, kehitystä ja muuttuvuutta sekä, kuinka tieteellistä tutkimusta tehdään, on NOS:n opetus oleellista.

NOS:n opetus tulisi olla kontekstisidonnaista, mutta myös eksplisiittistä (Bell, 2009). Irwin (2000) on havainnut, että luonnontieteiden historian opetus auttaa oppilaita ymmärtämään luonnontieteiden luonnetta. Tuntisuunnitelmassa käsiteltävät NOS-aiheet tuodaankin ensin eksplisiittisesti esiin kertomalla oppilaille suoraan, mitä NOS-aiheita tullaan käsittelemään. Tämän jälkeen niitä käsitellään historiakontekstissa Luigi Galvanin ja Alessandro Voltan henkilöhistorioiden kautta. Aluksi tutustutaan Galvaniin ja hänen monen vuoden tutkimustyöhönsä eläinsähkön parissa. Galvanin julkaisemien tutkimustulosten myötä siirrytään Voltaan, joka paneutui Galvanin tuloksiin huolella ja asettui lopulta eläinsähkön olemassaolon vastustajaksi. Galvanin ja Voltan väittely eläinsähköstä jatkui useamman vuoden ajan ja se jakoi tiedeyhteisöä kahtia. Lopulta Volta voitti taistelun kehittämällä Voltan pylvään – pariston prototyypin – joka siivittää tunnin aiheeseen eli sähkökemialliseen pariin. Galvanin ja Voltan avulla pystytään siis konkretisoimaan tieteellisen tutkimuksen teon pitkäjänteisyyttä, tieteellisen tiedon muuttuvuutta sekä tiedeyhteisön toimintaa.

4 Sähkökemiallisen parin paperinen malli

Sähkökemiallisen parin paperinen malli on vaikea ja abstrakti aihe opettaa. Sähkökemialliseen pariin liittyy paljon hankalia ennako- ja virhekesityksiä. Erityisesti sähkökemiallisen parin mikrotason ilmiöt ovat usein hankalia oppilaille: elektronien liike ja sijainti sekä itse mallin toimintaperiaate ovat tutkimusten mukaan vaikea ymmärtää (Sanger & Greenbowe, 1997). Cullen ja Pentecost (2011) ovat kehittäneet paperisen mallin, joka tutkimuksen mukaan auttaa oppilaita oppimaan sähkökemiallisen parin toimintaperiaatetta ja korjaamaan aiheeseen liittyviä ennako- ja virhekesityksiä. Mallin avulla oppilaat saavat itse havainnoida sähkökemiallisen parin toimintaa mikrotasolla. Oppilaiden tulee tutkimuksessa sijoittaa elektronit ja käytettävissä olevat ionit sähkökemiallisen parin kennokaavioon ja pohtia näin sähkökemiallisen parin toimintaperiaatetta. Mallin käyttöä tukee saman teorian läpikäynti makrotasolla (kokeellinen työ) ja symbolitasolla (esimerkiksi kennokaavio ja puolireaktiot). Oppitunnilla käytetty sähkökemiallisen parin paperinen malli on esitelty tarkemmin tuntisuunnitelmassa.

Paperinen malli auttaa oppilaita ymmärtämään sähkökemiallisen parin ilmiöitä ja käsitteitä. Tämän etuja ovat myös sen ekologisuus ja toteutettavuus. Työ ei vaadi lainkaan kemikaaleja eikä vetokaappia tai muita suojavälineitä. Malli tuo sähkökemian mikrotason opetuksen mahdolliseksi kaikkialla ja kaikille resursseista riippumatta.

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. (26.4.2013)
Haettu http://www.ngsp.com/Portals/0/downloads/SCL22-0449A_AM_Bell.pdf
- Cullen, D. M., & Pentecost, T. C. (2011). A model approach to the electrochemical cell: An inquiry activity. Michigan: Department of Chemistry, Grand Valley State University.
- Luigi Galvani. (2013). Teoksessa *Encyclopædia Britannica*. (26.4.2013).
<http://www.britannica.com.libproxy.helsinki.fi/EBchecked/topic/224653/Luigi-Galvani>
- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy: a teacher's guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Irwin, A. R. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84, 5-26.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet*. (26.4.2013). Haettu
http://www.oph.fi/download/47345_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2003.pdf
- Pavian yliopisto (26.4.2013). Haettu <http://ppp.unipv.it/volta/Pages/ePage1.html>
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1997). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 377-398.
- Solbes, J., & Traver, M. (2003). Against a negative image of science: History of science and the teaching of physics and chemistry. *Science & Education*, 12, 703-717.

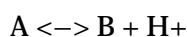
5 A. I. Virtanen ja voisuolakeksintö happamuuden opetuksessa

Anna Palomäki

1 Tuntisuunnitelmassa käytetyn kemian teoria

1.1 Happamuus

Brönsted-Lowryn määritelmän mukaan happo on aine, joka voi luovuttaa vetyionin eli protonin ja emäs vastaavasti aine, joka voi vastaanottaa protonin. Happoja ja emäksiä kutsutaan myös protolyyteiksi. (Saarinen & Lajunen, 2004)



happo \leftrightarrow emäs + protoni

Protonit eivät kuitenkaan esiinny vesiliuoksessa sellaisenaan, vaan useimmiten ne kuvataan sitoutuneina vesimolekyylisiin. Tällöin siis veden happamuuden aiheuttavat oksoniumionit H_3O^+ . (Saarinen & Lajunen, 2004)

pH-asteikko on tapa ilmaista liuoksen happamuutta. Liuoksen pH-arvon voi määrittää, jos tunnetaan oksoniumionikonsentraatio:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

Koska pH-asteikko on logaritminen, niin 1 pH-yksikön muutos vastaa 10-kertaista muutosta oksoniumionikonsentraatioissa. Yleisesti (25 °C) voidaan todeta, että kun pH on alle 7, liuos on hapan ja jos pH on yli 7, niin kyseessä on emäksinen liuos. Neutraalin liuoksen pH on 7. (Tro, 2008)

1.2 Happamuus opetussuunnitelmissa

Happamuus on yksi niistä keskeisistä käsitteistä, joita kemian opetuksessa halutaan tuoda esille. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa mainitaan, että opetuksessa tulisi muiden aiheiden ohella olla esillä ”vesi ja veden ominaisuudet, kuten happamuus ja emäksisyys”. (Opetushallitus, 2004, s.196) Happamuuden opetusta on siis jo peruskoulun puolella, vaikkakin sen käsittely on vielä aika yleisellä tasolla aineen ominaisuutena.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa happamuus liittyy pariinkin kurssiin. KE1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia -kurssissa yhtenä sisältönä ovat protoninsiirtoreaktiot, joissa mennään jo syvemmälle siihen, mitä happamuus ja emäksisyys oikeastaan tarkoittavat. Kurssissa KE5 - Reaktiot ja tasapaino tutustutaan yhä enemmän happoihin ja emäksiin. Aiheina ovat esimerkiksi happo-emästasapaino sekä puskuriliuokset ja niiden merkitys. (Opetushallitus, 2003)

2 Tuntisuunnitelmassa käytetty historiallinen tausta

2.1 Artturi Ilmari Virtanen

Artturi Ilmari Virtanen (1895-1973) on yksi merkittävistä suomalaisista kemisteistä. Virtanen toimi Valion laboratorion johdossa vuosina 1921-1970, Teknillisen korkeakoulun sekä Helsingin yliopiston professorina ja myöhemmin vielä Suomen Akatemian jäsenenä. Virtanen ehti uransa aikana paljon, hänen omassa tutkimustyössään syntyi monia keksintöjä, mutta hän ehti myös opettaa ja kouluttaa tulevia biokemianalan ammattilaisia. Tunnetuin A. I. Virtasen keksintö lienee AIV-rehu, joka oli yksi niistä syistä, joiden vuoksi hänelle myönnettiin kemian Nobel-palkinto vuonna 1945. (Heikonen, 1990)

AIV-rehuun, kuten eräisiin muihinkin Virtasen keksintöihin liittyy happamuus hyvin olennaisella tavalla. Virtasen avulla ei suoranaisesti pysty opettamaan sitä, mitä happamuus on, mutta Virtanen on osannut nerokkaalla tavallaan hyödyntää pH:n vaihtelua keksinnöissään. Virtasen keksinnöt ovat hyvä käytännön esimerkki siitä, mikä merkitys sellaisella ominaisuudella kuin happamuus on. (Heikonen, 1990) AIV-rehu voisi toimia hyvänä kontekstina happamuuden käsittelylle, mutta itse päädyin erääseen toiseen mielenkiintoiseen keksintöön: voisuolaan.

2.2 Virtasen voisuola

Osuusmeijerit perustivat Valion vuonna 1905 voinvientiliikkeeksi. Valion tehtävänä oli jäsenmeijerien valmistaman voin myynti sekä laadun valvominen ja parantaminen. Jotta

Valio pystyisi kilpailemaan kansainvälisesti suomalaisilla meijerituotteilla, tarvittiin paljon työtä. (Heikonen, 1990)

Kun Virtanen tuli Valiolle, oli edessä monien ongelmien selvittäminen. Suomalaista voita moitittiin Euroopassa, sillä se ei yltänyt laadussaan muiden maiden tasolle. Meijerien toimintaa yhtenäistettiin. Neuvonnan ja ohjeistuksen avulla suomalaisen voin laatua parannettiin, mutta yksi suuri ongelma oli jäljellä. Hapan voi pilaantui pitkän säilytyksen aikana. Voi olisi pitänyt saada markkinoille talvella, jolloin hinta olisi ollut korkeimmillaan. Kuitenkin talveen mennessä voi oli ehtinyt jo muuttua maultaan öljyiseksi varastoissa, eikä se kelvannut enää elintarvikkeeksi. (Heikonen, 1990)

Muualla maailmassa oli tiedossa myös happaman voin ongelma. Esimerkiksi ruotsalaiset työskentelivät saman asian parissa ja ehdottelivat jo luopumista kokonaan happaman voin valmistuksesta. Mielenkiintoista on se, että kaikki osaset voin säilyvyysongelman ratkaisemiseksi olivat kyllä tiedossa, mutta kukaan ei oikein tuntunut osaavan yhdistää näitä tietoja. Tiedettiin esimerkiksi, että pH vaikuttaa biologisiin ilmiöihin. (Heikonen, 1990)

Useiden tutkimusten ja testien jälkeen Virtanen löysi hyvin yksinkertaisen ratkaisun. Jos hapan voi pilaantuu, niin mitä tapahtuisi, jos pH:ta nostetaan voin kirnuamisen jälkeen? Virtasen laboratoriossa lisättiin kirnuttuun voihin tavallinen voisuola, johon oli lisätty emäksisiä suoloja pH:ta nostamaan. Virtasen kertomana (Heikonen, 1990):

Näissä kokeissa osoitettiin sitovasti, että jos voin pH on yli 6, mieluummin 6,5-7, ei öljyistä makua koskaan synny. Tämä on luonnon laki, joka pitää aina paikkansa. Tämä oli emäksisen voisuolan keksimishistoria. (s.70)

Yhtäkkiä suomalainen voi oli markkinoiden paras säilyvyyden suhteen. Voin laadun paraneminen oli erittäin merkittävä edistysaskel, sillä voin vienti vastasi lopulta kymmenesosaa koko Suomen viennin arvosta 1900-luvun alkupuolella. Vaikka Virtasen voisuola perustui hyvin yksinkertaiseen keksintöön, pysyi se silti salaisuutena 14 vuoden ajan. (Heikonen 1990)

3 Luonnontieteiden luonteen osa-alueet tuntisuunnitelmassa

Tuntisuunnitelmani tarkoitus oli tuoda esille erityisesti yhtä luonnontieteiden luonteen osa-aluetta ja välillisesti toista. Ensisijainen tarkoitukseni oli opettaa oppilaille kemian ja yhteiskunnan vuorovaikutuksesta. Toissijaisesti pidetty oppitunti on mahdollisesti inhimillistänyt sitä kuvaa, joka oppilailla oli tiedemiehistä ja itse tieteestä.

Tiede ei toimi omassa maailmassaan, vaan se on osa sitä yhteiskuntaa, jossa me elämme. Tieteellä on tietysti omat toimintatapansa ja -mallinsa, mutta se on aktiivisessa vuorovaikutuksessa ympäröivän maailman kanssa. (Hodson, 2008) Virtasen elämässä ja työssä on nähtävissä selkeä yhteys sen ajan yhteiskuntaan. Voisi jopa sanoa, että kemia oli osa yhteiskuntaa Virtasen työskennellessä Valion laboratoriossa.

Tieteen keksinnöt ja edistysaskeleet ovat hyödyksi yhteiskunnalle, ja yhteiskunnan suunnalta voi joillekin tutkimuskohteille olla suuri tarve. (Hodson, 2008) Virtasen ollessa keskustelun kohteena voimme havaita tämän kemian ja yhteiskunnan yhteyden siitä, että voisuolan keksiminen vaikutti Suomen viennin arvoon merkittäväällä tavalla.

Voisuolan kehittämishistoria avaa näkökulmia siihen, miten tiede edistyy ja kuinka tiedemiehet ovat tavallisia ihmisiä erehdyksineen (Hodson, 2008). Erilaisten tietojen, tutkimustulosten ja kokeiden jälkeen Virtanen päätyi lopulta nerokkaaseen keksintöönsä. Merkittävää on huomata, että periaatteessa keksintö olisi voitu tehdä muuallakin, jossa hapan voi oli ongelma. Virtasen ja hänen työtovereidensa työskentely kuitenkin tuotti tuloksen ensimmäisenä. (Heikonen, 1990)

4 Perusteita historiallisen lähestymistavan käytölle

Historiallista lähestymistapaa luonnontieteiden opetuksessa voidaan perustella monella tapaa. Opettajan on hyvä muistaa, että oppilaat ovat erilaisia. Siksi olisi hyvä, että opettaja suunnittelisi oppitunnit monipuolisesti, jotta mahdollisimman monenlaiset opiskelijat tulisivat huomioiduiksi. Historiallinen lähestymistapa on yksi keino, jolla on mahdollista saada oppilaita innostumaan kemian opiskelusta. Esimerkiksi Lukion opetussuunnitelman perusteet (2003) kannustaa kemian opetuksen toteuttamista monipuolisin työtavoin, jotta oppilaan tiedot ja taidot karttuisivat. Lisäksi OPS:ssa todetaan, että opiskelijan tulisi kemian opetuksen kautta saada kokemuksia, joiden kautta kiinnostus kemiaa kohtaan voisi lisääntyä.

Peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa todetaan kemian kohdalla, että kemian opetuksen tulisi ”laajentaa oppilaan tietämystä kemiasta ja kemiallisen tiedon luonteesta sekä ohjata luonnontieteille ominaiseen ajatteluun” (Opetushallitus 2004, s.195). Historiallisen lähestymistavan kautta on mahdollista tuoda esiin ja opettaa luonnontieteiden luonnetta. Tutustuttaessa kemistien elämään ja työhön, on oppilaiden mahdollista oppia esimerkiksi tieteen ja yhteiskunnan suhteesta sekä siitä, miten tiede edistyy yritysten ja erehdyksen kautta. (Hodson, 2008)

Lisäksi kemian historian opettamisella voidaan inhimillistää tieteentekijöitä: he ovat aivan tavallisia ihmisiä, jotka omistautuvat työlleen ja tekevät myös virheitä. Tiedemiehet tulevat lähemmäs tavallista arkea, he eivät ole enää kaukaisia superälykkäitä neroja. Inhimillistymisen ohella oppilas voi havaita, ettei hän itse ole typerä ajatellessaan jostain asiasta virheellisesti, jos kerran kemistitkin ovat välillä väärässä tutkimiensa asioiden suhteen. Tämä saattaa kannustaa oppilasta, jos hänestä tuntuu, ettei hän ole riittävän viisas opiskellakseen luonnontieteitä. (Hodson, 2008)

Palaan vielä hieman lukion opetussuunnitelman perusteisiin. Kemian osuuden aivan alussa opetussuunnitelmassa todetaan, että oppilaan luonnontieteellisen ajattelun kehittyminen on osa monipuolista yleissivistystä. (Opetushallitus, 2003) Kuten edellä jo totesin, on perusteltua, että jo pelkästään historiallisen lähestymistavan käyttö edistää luonnontieteellisen ajattelun kehittymistä. Lisäksi on mielestäni osa yleissivistystä tietää

edes vähän kemian historiasta, eritoten suomalaisista kemisteistä. Vaikka esimerkiksi lukion kemian kursseissa ei erityisesti vaadita kemian historian opettamista, on se näkemykseni mukaan hyödyllistä oppilaan kannalta. Pelkkää historiaa kemian opetus ei tietenkään voi olla, mutta sopivasti valittuna historiallinen konteksti voi edistää monia eri asioita.

Lähteet

- Heikonen, M. (1990). *AIV: Keksintöjen aika*. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy: A teacher's guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet*. Helsinki: Opetushallitus.
- Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*. Helsinki: Opetushallitus.
- Saarinen, H., & Lajunen, L. H. J. (2004). *Analyttisen kemian perusteet*. Oulu: Oulun yliopistopaino.
- Tro, N. J. (2008). *Chemistry: A molecular approach*. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, cop.

6 Kemian historia ja luonnontieteen luonne orgaanisen kemian opettamisessa yläkoulussa

Heli Kannisto, Piia Pakarinen ja Heli Rasinperä

1 Johdanto

Opetuksen tavoitteita ja sisältöjä ohjaa opetussuunnitelma. Opetussuunnitelma nähdään usein vain opetusta rajoittavaksi tekijäksi. Opetussuunnitelma ottaa kantaa ainesisältöihin, oppimiskäsitykseen ja yleisiin oppimisen tavoitteisiin. Kemian historian ja luonnontieteen luonteen opettaminen voidaan nähdä yhdeksi osaksi kemian opetusta myös peruskoulussa opetussuunnitelman perusteella. Tavoitteenamme on ollut luoda opetussuunnitelmaa kunnioittava tuntikonaisuus, jossa olemme pyrkinet huomioimaan erilaisia opetus- ja oppimistapoja yhdistäessämme karboksylihapojen opetukseen yläasteella kemian historiaa ja luonnontieteen luonteen teemoja.

2 Opetussuunnitelman perusteiden yleiset tavoitteet

Kemian historian ja luonnontieteen luonteen ottamisen osaksi kemian opetusta voidaan perustella opetussuunnitelman perusteilla. Seuraavassa muutamia poimintoja opetussuunnitelman perusteiden yleisistä tavoitteista, jotka tukevat luonnontieteen luonteen ja kemian historian opettamista.

Ihminen ja teknologia -aihekokonaisuuden keskeisissä sisällöissä mainitaan, että oppilaan tulisi tuntea teknologian kehitystä ja siihen vaikuttavia tekijöitä eri kulttuureissa, eri elämänalueilla eri aikakausina. Osallistuva kansalaisuus ja yrittäjäyys -aihekokonaisuuden tavoitteissa todetaan, että oppilas pystyy muodostamaan oman

kriittisen mielipiteen erilaista asiantuntijuutta hyödyntäen. Viestintä ja mediataito -aihekokonaisuudessa korostetaan myös kriittistä ja monipuolista tekstien tulkintaa, hallintaa ja hankintaa. Kulttuuri-identiteetti ja kansainvälisyys -aihekokonaisuuden tavoitteissa esitetään, että oppilas oppii tuntemaan ja arvostamaan omaa henkistä ja aineellista kulttuuriperintöään. Tämän aihealueen keskeisissä sisällöissä mainitaan myös tapakulttuurien merkityksen oppiminen. (POPS, 2004 (s.38–39))

3 Historiallinen lähestymistapa

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden (2004) mukaan yläkoulun kemian opetuksen yhtenä tavoitteena on ”laajentaa oppilaan tietämystä kemiasta ja kemiallisen tiedon luonteesta sekä ohjata luonnontieteille ominaiseen ajatteluun”. Historiallisen lähestymistavan käyttö kemian opetuksessa antaa oppilaille konkreettisia esimerkkejä siitä miten ja miksi kemiallinen tieto syntyy ja muuttuu sekä miten tiedeyhteisö toimii (Hodson, 2008; Wandersee & Baudoin Griffard, 2002). Tämä auttaa oppilaita paitsi ymmärtämään ja sisäistämään kemian käsitteitä, myös hahmottamaan luonnontieteen luonnetta. Oppilaat oppivat huomioimaan yhteiskunnalliset, poliittiset, taloudelliset, moraaliset ja eettiset tekijät, jotka tieteellisen tiedon syntyyn vaikuttavat (Hodson, 2008).

Historiallisen lähestymistavan käyttö luonnontieteiden opetuksessa on tutkimusten mukaan perusteltua monesta eri syystä (Hodson, 2008; Justi, 2000). Aiempien kemistien töihin ja kokeisiin tutustuminen auttaa opettajaa sopivien kokeiden suunnittelussa ja kysymysten asettelussa. Historiallisten kokeiden läpikäynti on hyvä vaihtoehto myös silloin, kun kokeellisuutta on oppitunnilla vaikea toteuttaa. Kemian historian merkittävien kokeellisten töiden avulla oppilas pohtii ratkaisua samoihin kysymyksiin kuin aikanaan ilmiötä tutkineet kemistit, ja auttaa oppilaita ymmärtämään, että oppikirjoissa esitetty tieto ei aina ole ollut yhtä itsestään selvää. Kemian historian hyödyntäminen opetuksessa ei ole ainoastaan oppilaiden motivaatiota ja kiinnostusta lisäävä sekä opetusta virkistävä ja monipuolistava lähestymistapa, vaan myös osa tieteellistä yleissivistystä. Kemian historian ymmärtäminen laajentaa näkemystä ja sen avulla nykyisen tiedon ja tutkimustulosten arviointi on helpompaa (Laugksch, 2000). Lisäksi luonnontieteiden historia on oiva apukeino, jonka avulla koulussa voi ylittää esimerkiksi luonnontieteiden ja uskonnon, historian ja draaman välisiä ainerajoja (Hodson, 2008).

Historiallinen lähestymistapa sopii useimpien kemian aihepiirien käsittelyyn, mutta sen käyttöä rajoittaa usein aika ja oppimateriaalien puute (Rodriguez & Niaz, 2002; Wandersee & Baudoin Griffard, 2002). Monet opettajat kokevat, että eivät osaa kemian historiaa tarpeeksi hyvin hyödyntääkseen sitä opetuksessa ja osa epäilee historiallisen lähestymistavan vaikuttavan negatiivisesti oppilaisiin peläten näiden alkavan aliarvioida tieteen merkitystä ja tieteellisen tiedon luotettavuutta (Hodson, 2008).

4 Luonnontieteen luonne

Voidaan ajatella, että tiede on järjestelmällistä eri muodoissaan olevan tiedon kokoamista suorien ja epäsuorien havaintojen kautta. Tiede on myös tiedon testaamista, joka sisältää kokeellisuutta - ei kuitenkaan ainoastaan siihen rajoittuen. Ymmärtääkseen luonnontieteen luonnetta on tärkeää huomioida, että tieteellinen tieto on samaan aikaan sekä luotettavaa että epävarmaa. Tieteellinen tieto ei ole pysyvää, vaan se muuttuu ja kehittyy jatkuvasti ja vanhoista käsitteistä luovutaan tai niitä muokataan ja täydennetään uusien todisteiden myötä. Tieteellisiin kysymyksiin, tehtyihin havaintoihin ja johtopäätöksiin vaikuttaa jossain määrin jo olemassa oleva tieteellinen tieto, tutkijan sosiaalinen ja kulttuurillinen tausta sekä havainnoijan omat kokemukset ja odotukset. (National Science Teachers Association, 2000)

McComas (2004) pitää luovuutta olennaisena tekijänä tieteellistä tietoa tuottaessa. Hänen mielestään oppilaat ajattelevat kuitenkin usein, että tiede on vain joukko faktoja ja päätelmiä. McComasin mukaan opettajan olisi tärkeää tarjota oppilaille riittävä käsitys myös tieteen luovasta luonteesta ja korostaa, että tiede on dynaaminen ja jännittävä prosessi, joka johtaa uuden tiedon syntyyn.

Tiede on inhimillistä toimintaa, joten eräs sen aspekti on luonnollisesti subjektiivisuus. Kahden tutkijan tarkastellessa samaa tietoa he saattavat tulkita tietoa eri tavalla aiempien kokemustensa ja odotustensa perusteella. Tämä ei toki tee tieteestä epätäsmällistä. Erilaisia ideoita ja johtopäätöksiä käydään läpi yhteistyössä muiden asiantuntijoiden kanssa ja tämän prosessin tarkoituksena on taata objektiivinen lopputulos. (McComas, 2004)

5 Historia ja luonnontieteen luonne osana karboksyylihappojen opetusta

Tunnin aikana pyrimme tuomaan esiin luonnontieteen luonnetta ja kemian historiaa oppilaille jaetun lyhyen orgaanisen kemian synnystä ja kehityksestä kertovan tekstin kautta. Tosielämän tiedetarinoiden avulla opettaja voi kuvata tutkijoiden työn luonnetta ja siihen liittyviä tunteita ja ilmiöitä kuten turhautumista, työn palkitsevuutta ja tutkimusprosessien pitkäkestoisuutta. Tieteen historia tekee kemiasta myös inhimillisempää ja helpommin lähestyttävää, mikä on opetuksen näkökulmasta tärkeä lisäarvo (Hodson, 2008). Aluksi oppilaat lukivat tekstin itsenäisesti ja etsivät sanaruudukosta tekstissä esiintyvien kemistien nimiä vihjeiden avulla. Ruudukkoa tarkastettaessa pohdittiin opettajajohtoisesti, mitä saavutuksia kemisteillä oli, mitä merkitystä kemistien välisellä vuorovaikutuksella oli ja miksi he olivat merkittäviä orgaanisen kemian kehityksen kannalta. Keskusteluun kannustamalla oli tarkoitus saada oppilaat kiinnittämään huomiota tutkimuksen ja tiedon kehittymiseen sekä tutkijayhteisöjen käyttäytymiseen. Uusia ideoita hyväksytään harvoin yksittäisten tutkimustulosten pohjalta; tarvitaan siis useita todisteita ja tutkimuksia. Tärkeää on myös ymmärtää se, että tieteen edistysaskeleet ovat tapahtuneet ja tapahtuvat usein yrityksen ja erehdyksen kautta.

Orgaanisen kemian historiasta kertovan tekstin sekä siihen liittyvän sanaruudun ajatuksena oli toimia pitkäköinä johdantona päivän aiheeseen, joka oli karboksyylihapot. Emme käyneet karboksyylihappojen kemiaa läpi suoraan kirjasta, vaan keskeisimmät asiat käytiin läpi taululla opettajajohtoisesti. Karboksyylihappojen rakenteen runkona on hiilivety, johon on liittyneenä yksi tai useampi karboksyyli-ryhmä, -COOH . Karboksyylihapoista on oleellista oppia niiden nimeäminen: nimen alkuosa saadaan hiiliketjun hiiliatomien lukumäärän mukaan ja loppuun tulee happo-pääte. Tieteellisen nimen lisäksi monella karboksyylihapolla on esiintymispaikkaan tai ominaisuuteen perustuva puhekielessä yleisesti käytetty nimi (esim. muurahaishappo, etikkahappo, voi-happo). Karboksyylihapot ovat heikkoja happoja. Tarkastelimme myös muutaman esimerkin kautta hieman monimutkaisempia karboksyylihappoja, kuten bentsoehappoa, joka mainitaan alkutunnin orgaanisen kemian historiaa käsittelevässä tekstissä. Bentsoehappo on yksi neljästä orgaanisesta haposta, jotka tunnettiin jo ennen vuotta 1780.

Tunnin lopussa pelattiin peliä, jossa kaksi paria pelaa toisiaan vastaan. Pelissä oli tavoitteena saada rakennettua bentsoehapon rakennekaava pelikorttien avulla. Pelissä pari vastaa kysymyksiin yhdessä ja ollessaan eri mieltä oikeasta vastauksesta oppilaat joutuvat perustelemaan toisilleen omaa kantaansa sekä toisaalta myös arvioimaan vastapelaajien vastauksia. Tarkoituksena oli, että oppilaat huomaisivat käytännössä sen, että kun tietoa jaetaan ja yhdistetään, on mahdollisuus saavuttaa parempi lopputulos. Alkutunnin orgaanisen kemian historiaa käsittelevässä tekstissä kerrottiin, kuinka kemistit joutuivat perustelemaan mielipiteitään toisten epäillessä ja vastustaessa, ja kuinka pitkän prosessin oikean lopputuloksen saavuttaminen saattaa vaatia. Tekstin ja erityisesti sen pohjalta syntyneen keskustelun kautta pyrimme tuomaan esiin eksplisiittisesti luonnontieteiden luonnetta: tiedon kehittymistä ja tutkijayhteisön käyttäytymistä.

Tunnin rakenteessa on pyritty ottamaan huomioon opetussuunnitelman käsitys oppimisesta yksilöllisenä ja yhteisöllisenä tietojen ja taitojen rakennusprosessina. Oppiminen tapahtuu tavoitteellisena opiskeluna erilaisissa tilanteissa itsenäisesti, opettajan ohjauksessa, vuorovaikutuksessa opettajan ja vertaisten kanssa. Opittavana on uuden tiedon ja uusien taitojen lisäksi oppimis- ja työskentelytavat, jotka ovat elinikäisen oppimisen välineitä. Vastavuoroisessa yhteistyössä tapahtuva oppiminen tukee yksilöllistä oppimista. (POPS, 2004 (s.18–19))

Lähteet:

- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy : A teacher's guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Justi R. (2000). Teaching with historical models. Toim. Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84, 71-94.
- McComas, W. F. (2004). Keys to Teaching the Nature of Science. *National Science Teachers Association*. (25.4.2013) Haettu <http://www.nsta.org/publications/news/story.aspx?id=49929>
- National Science Teachers Association. (2000). The Nature of Science. (25.4.2013) Haettu <http://www.nsta.org/about/positions/natureofscience.aspx>

Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*. Helsinki: Opetushallitus.

Tynjälä, P. (1999). *Oppiminen tiedon rakentamisena: Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita*. Helsinki: Kirjayhtymä.

Wandersee J. H., & Baudoin Griffard P. (2002). The history of chemistry: potential and actual contributions to chemical education. Toim. Gilbert, J. *Chemical education: Towards research-based practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

7 Historiallinen lähestymistapa proteiinien opetuksessa

Jarkko Huusko & Ville-Pekka Kääriäinen

1 Historiallinen lähestymistavan hyödyt

Historiallisen lähestymistavan käytölle opetuksessa on olemassa monta eri perustetta. Parhaana argumenttina voidaan pitää sitä, että historian kautta voi oppia muuta sisältöjä. Opetussuunnitelmien sisältö on jo ennestään valtava, joten historian käytön tarkoituksena ei tule olla lisäsisällön tuominen. Sen sijaan historian avulla voidaan tukea, parantaa ja auttaa oppimista. Esimerkiksi tieto siitä, kuinka tiedemiehet ovat päättelleet teorian ja mitkä vaikeudet he ovat joutuneet kohtaamaan, helpottaa oppilaita ymmärtämään tieteellistä sisältöä ja samalla heidän ongelmanratkaisukykyänsä paranevat. (Hodson, 2008)

Tiedeopetuksen yleisesti hyväksytty tavoite on ollut opettaa oppilaille luonnontieteiden luonnetta (Nature of Science), mutta ainakin osa oppimistavoitteista on jäänyt saavuttamatta. Historiallinen lähestymistapa olisi erittäin hyvä työkalu luonnontieteiden luonteeseen liittyvien sisältöjen opettamiseen. Historian kautta oppilaat voivat muun muassa huomata, ettei tiede ole staattista, vaan muuttuu jatkuvasti ja ettei tiedettä kehity ilman eri osapuolten väittelyä. Historia korjaa myös oppilaiden käsityksiä siitä, että tiede olisi immuuni yhteiskunnalle ja kulttuurille. (Hodson, 2008)

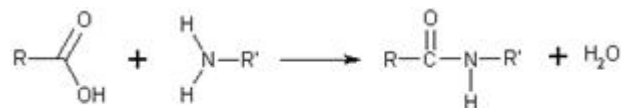
Oppikirjat eivät ole juuri seuranneet muutosta, vaikka luonnontieteiden luonne on noussut tärkeäksi sisällöksi. Oppikirjat esittävät usein tieteellisen tiedon itsestään selvinä faktoina selittämättä, miten olemassa oleva tieto on syntynyt. Oppikirjat eivät esimerkiksi kerro sitä, kuinka tieto on syntynyt erehdyksen ja yrityksen kautta. Joskus oppikirjoissa saattaa löytyä historiallista sisältöä, mutta ne eivät kuitenkaan tue luonnontieteen luonteen opetusta. Oppikirjojen historialliset tarinat ovat usein samaa kaava noudattavia suurmiestarinoita. Niissä korostetaan tieteen tekoa kehitystarinana, josta on jätetty pois tutkijoiden tekemät väärinkäsitykset ja heidän kohtaamansa ongelmat (Clough, 2011). Puutteellisen oppimateriaalin takia yritimme tehdä kirjoitelman proteiinien historiasta, jossa yritetään välttää perinteiset virheet ja korostaa luonnontieteen luonteeseen liittyvää sisältöä. Inhimillistämällä tiedettä nostamme oppilaiden mielenkiintoa ja motivaatiota tiedeopetusta kohtaan (Hodson, 2008; Clough, 2011). Kun tieteellinen tutkimus näyttäytyy humanimpana, oppilaat voivat itsekkin innostua urasta tieteen parissa (Hodson, 2008; Clough, 2011). Oppituntimateriaalissa yritämme kuvata tieteen pitkää kehitystä, sillä usein historiallisissa kertomuksissa korostetaan lyhyttä periodia. Oppilaalle saattaa olla

hyvinkin yllättävää se, kuinka pitkät juuret tieteellä on, eikä kaikki ole tapahtunut vain 1900–2000-luvuilla. Kun oppilas ymmärtää, että nykyisissä oppikirjoissa on vain tiedeyhteisön voimassa oleva mielipide, hän oppii ajattelemaan kriittisemmin ja osaa kyseenalaistaa myös oppikirjassa esitettyjä väittämiä (Hodson, 2008).

2 Proteiinit

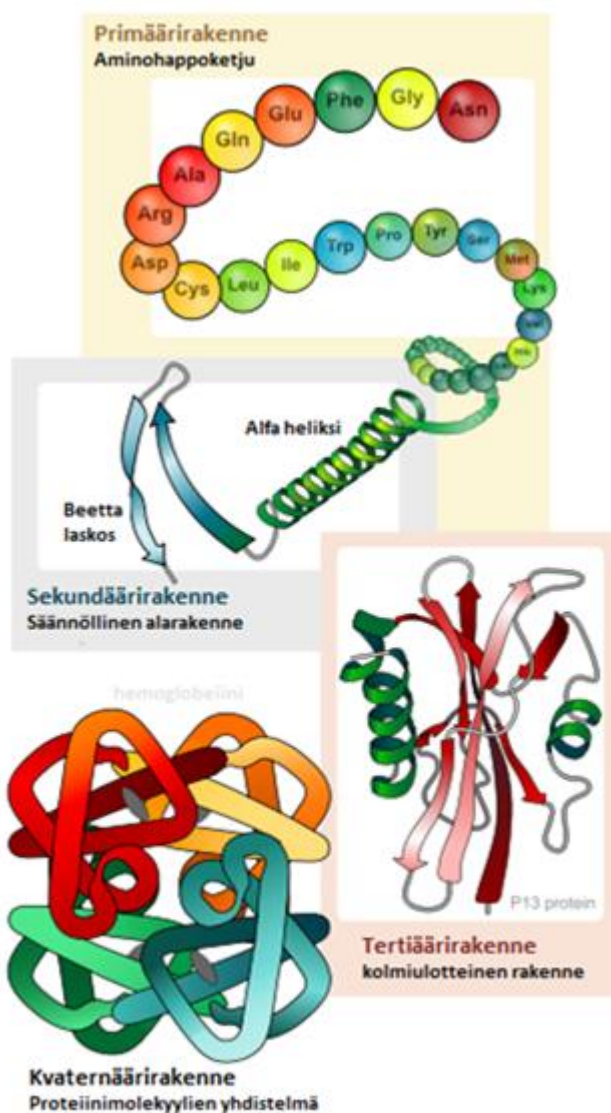
Opetushallituksen (2004) laatiman peruskouluopetuksen opetussuunnitelman mukaan proteiinit tulee käsitellä yläkoulun kemiassa kurssilla Elollinen luonto ja yhteiskunta. Kurssin keskeisissä sisällöissä mainitaan lyhyesti, että proteiineista tulee käsitellä niiden koostumus, merkitys ravintoaineena ja teollisuuden raaka-aineena. Laatimassamme tuntisuunnitelmassa proteiinien teoriaa käsitellään proteiineja juuri ravinnon kautta. Ihmiskehon tarvitsemat proteiinit voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään. Toiseen ryhmään kuuluvat proteiinit, jotka toimivat kehon rakennusaineena kuten lihaksina. Toinen ryhmä koostuu entsyymeistä, jotka säätelevät elimistössä tapahtuvia reaktioita toimimalla biokatalyytteinä. Ravinnosta puhuttaessa oppilaille olisi tärkeä painottaa, että proteiineja saa muualtakin kuin liha- ja maitotuotteista.

Kun proteiinit on liitetty oppilaiden arkeen ravinnon kautta, on helpompi siirtyä käsittelemään niiden rakennetta. Proteiinien monimutkaista rakennetta opettaessa kannattaa huomioida, että oppilaat saavat käsityksen proteiinin rakenteen eri tasoista. Proteiinin yksittäinen rakennusosa on aminohappo, jonka funktionaaliset ryhmät ovat amino- ja karboksyyli-ryhmä. Aminohapot muodostavat ketjun, jossa aminohapot ovat sitoutuneet toisiinsa peptidisidoksilla (Kuva 1).



Kuva 1. Peptidisidoksen muodostuminen

Tämän primäärirakenteen lisäksi kuvilla voidaan havainnollistaa proteiinien sekundaari-, tertiääri- ja kvaternäärirakennetta (Kuva 2). Korkeampien tasojen rakenteen osaaminen ei ole välttämätöntä yläkoulussa, mutta toisaalta rakennekuvien avulla proteiinien monimutkainen rakenne on kuitenkin helpompi ymmärtää. Kun oppilailla on jokin käsitys proteiinien rakenteesta, on heidän helpompi ymmärtää, että tämä herkkä rakenne voi myös tuhoutua. Denaturoitumisen ja koaguloitumisen kautta oppilas voi laajemmin ymmärtää proteiinien merkitystä arkipäiväisissä asioissa. Oppilaan jokapäiväistä elämää lähellä ovat esimerkiksi kananmunan hyytyminen ja korkean kuumeen vaarallisuus.



Kuva 2. Proteiinin rakenteet.

Proteiinien lähteiden ja rakenteen lisäksi on hyvä selvittää oppilaille, kuinka proteiinit kiertävät elimistössä. Ruuansulatus pilkkoo ravinnosta saadun proteiinin aluksi aminohapoiksi ja rakentaa niistä elimistön tarvitsemia uusia proteiineja. Elimistö tarvitsee DNA:n muistia, jotta se osaa tehdä aminohappoketjun oikeassa järjestyksessä. DNA ylittää yläkoulussa vaadittavan oppimäärän, mutta se voi kiinnostaa oppilaita, koska DNA on suosittu aihe mediassa ja populaarikulttuurissa.

3 Proteiinien pitkä historia

Proteiini käsitteen historiaa tutkittaessa on hyvä pohtia hieman myös aikaa ennen kuin proteiinit oli tunnistettu ja määritelty omaksi ryhmäkseen. Ennen orgaanisen kemian syntyä ja vakiintumista ihmiset uskoivat, että kaikessa elollisessa on jokin erikoinen voima, joka erottaa sen muusta aineesta. Tätä jo antiikin aikana esiintynyttä teoriaa kutsutaan vitalismiksi ja sen mukaan jokaisessa elollisessa oliossa on voima nimeltä visvitalis. Vitalismin mukaan tiede ei pysty selittämään miten elolliset oliot toimivat ja mikä niissä ylläpitää elämää. (Hudson, 1992/1995.)

1700-luvulla eläimistä ja kasveista oli jo eristetty proteiineja kuten munanvalkuainen ja veriplasma, mutta niiden välistä yhtenäisyyttä ei täysin tiedetty (Kiple, 2000). Vielä voimassa ollut vitalismi selitti elämän voiman siirtyvän ravinnon mukana kasveista eläimiin (Tanford&Reynolds, 2001). Tämän käsityksen ongelmana oli se, ettei kasveja vielä laskettu elollisten piiriin samalla tavalla kuin nykyään. Tästä johtuen olikin merkittävä löytö, kun 1728 Jacopo Beccari eristää vehnä jauhosta gluteiinin, joka muistutti aiemmin eristettyjä eläinperäisiä yhdisteitä. Vaikka yhdisteiden välillä löydettiin samankaltaisuuksia, ei niitä vielä yleisesti kutsuttu proteiineiksi, vaan ne oli jaettu moneen eri ryhmään kuten fibriineihin ja albumiineihin. Näiden ryhmien välistä samankaltaisuutta tutkittaessa ensimmäisiin havaintoihin liittyi hyytyminen kuumennettaessa (denaturoituminen) ja se, että ne kaikki sisälsivät tyypeä. Tyypeä ei ollut hiilihydraateissa tai rasvoissa, joten sen luultiin tekevän elottomasta aineesta elollista. (Kiple, 2000.)

Proteiinien historiaan liittyy vahvasti modernin kemian kehitys. Mitään yhtä monimutkaista kuin proteiini, ei pystytty tutkimaan ennen, kuin oli selvitetty nykyisin itsestäänselvyyksinä pidettävät kemian perusteet. 1800-luvun vaihteessa syntynyt moderni kemia selitti muun muassa kaiken koostuvan atomeista, jotka sitoutuvat muodostaen yhdisteitä. Nämä yhdisteet jaettiin ominaisuuksiensa perusteella kahteen ryhmään, orgaanisen ja epäorgaanisen kemian yhdisteisiin. Orgaanisen kemian haara tutki elollisen luonnon yhdisteitä ja epäorgaaninen elottomia yhdisteitä. (Tanford&Reynolds, 2001; Kiple, 2000)

1830-luku oli proteiinien historian kannalta erityisen tärkeä vuosikymmen. Yhteistyössä ruotsalainen Berzelius ja hollantilainen Mulder luokittelevat ja nimesivät proteiinin omaksi yhdistetyypikseen. Berzeliuksen kannustamana Mulder ryhtyi tutkimaan aiemmin löydettyjä eläin- ja kasvipäisiä yhdisteryhmiä, joiden välillä uskottiin olevan yhteys. Mulderin piti aluksi tutkia vain yhdisteiden tyyppitoisuuksia, mutta hän törmäsi tutkimuksissaan mielenkiintoiseen huomioon. Hän huomasi eri lähteistä olevien eläin- ja kasviyhdisteiden muistuttavan empiirisiltä kaavoiltaan lähes tismalleen toisiaan. Tätä ei ollut voitu tutkia aikaisemmin, koska ei ollut olemassa sopivaa kokeellista tutkimusmenetelmää yhdisteiden rakenteiden selvittämiseksi. Berzelius innostui Mulderin löydöksistä ja yhdisteet nimettiin proteiineiksi. Proteiini tulee kreikan kielen sanasta

proteios. Sana tarkoittaa ensisijaista tai elintärkeää, mikä kuvaamaan hyvin proteiinien tärkeyttä. (Tanford&Reynolds, 2001)

Elämän mysteeri tuntui siis selvinneen ja aluksi luultiin, että luonnossa on vain yksi kasvien valmistama proteiini, joka sitten kiertää eliöiden välillä. Ilo yhden elämän eliksiiri löytymisestä oli lyhytikäinen, sillä pian huomattiin kaikilla eläinlajeilla olevan omanlaisensa proteiinit. Niinpä yhdestä eliksiiristä siirryttiin käsitykseen, että proteiineja oli olemassa lähes rajaton määrä. Lisäksi mysteerinä säilyi yhä, kuinka eläimet ja kasvit muuttivat ravinnosta saatuja proteiineja elimistön tarpeita vastaaviksi. Berzelius ja Mulderin tutkimukset paljastivat proteiinien koostuvan aminohapoista. Jälleen proteiinitutkimusten kehitys seurasi modernin kemian yleistä kehitystä. Ilman tiettyjä perustietoja ja työskentelytapoja kaikkia eri aminohappoja ei voitu tunnistaa. (Tanford&Reynolds, 2001.)

Kun aminohapot oli löydetty, tutkimuksen kohteeksi muodostui kysymys siitä, miten aminohapot muodostavat ketjun ja missä järjestyksessä aminohapot ovat eri proteiineissa (primäärirakenne). Teoria peptidisidoksista luotiin jo 1900-luvun alussa, mutta käytännön todistus onnistui vasta 1950-luvulla, kun englantilainen kemisti Frederick Sanger selvitti aminohappojen välisen peptidi-sidosrakenteen. Sanger kehitti myös tavan, jolla voidaan määrittää proteiinien primäärirakenne. Sanger sai tutkimuksistaan Nobelin palkinnon vuonna 1958. Hän oli myös mukana 30-vuotisessa projektissa, jossa selvitettiin, miten elimistö osaa valmistaa monimutkaisia proteiineja. Tutkimuksissa selvisi solujen sisältävän DNA:na olevan eräänlainen muisti, joka määrää proteiinien muodostumisen. DNA tutkimusten ansiosta Sanger pääsi osalliseksi toiseen Nobelin palkintoon ja on yksi harvoista, jotka ovat saaneet tunnustuksen kahdesti. (Tanford&Reynolds, 2001.) DNA:n avulla elämän viimeiset mysteerit ovat alkaneet avautua geenitutkimuksen muodossa. Toisaalta proteiinien ja sitä kautta geenien tutkimus jatkuu yhä, eikä meillä ole vielä selvyttä, kuinka esimerkiksi ensimmäiset eliöt ovat muodostuneet. Tavallaan vitalistit olivat ehkä oikeassa väittäessään, ettei tiede pysty täysin selittämään kaikkea.

4 Luonnontieteellinen tutkimusmenetelmä

Luonnontieteen luonnetta kuvattaessa yleensä esitellään tärkeimmät siihen liittyvät aihealueet, jotka nähdään käytännöllisimmiksi kouluopetuksessa ja hyödyllisimmiksi luonnontieteellisen yleistiedon kehittämisen kannalta (Lederman et al. 2002). Luonnontieteelliseen yleistietoon kuuluu kyky ymmärtää tieteellistä tekstiä, sen kehityskaarta ja ennen kaikkea kyky tulkita sekä hyödyntää sitä omassa arkipäivässä. Bellin mukaan tärkeimmät luonnontieteen luonteen osa-alueet ovat: tieteen epävarmuus, pohjautuminen empiiriseen aineistoon, havainnoinnin ja päättelyn suhde, lain ja teorian ero, tieteellinen tutkimusmenetelmä, luovuus tieteen teossa sekä objektiivisuuden ja subjektiivisuuden määrittäminen. Yhtenä tärkeimmistä aihealueista mainittu luonnontieteellinen tutkimusmenetelmä korostaa, ettei ole olemassa yhtä universaalista tapaa suorittaa

tieteellistä tutkimusta. Tutkimukseen vaikuttavat monet inhimilliset tekijät, joiden kohtaaminen on väistämätöntä. Uutta tieteellistä tietoa luodaan havainnoinnin, päättelyn ja kokeellisuuden kautta. Näihin työtapoihin liittyy paljon epävarmuustekijöitä, jolloin tutkimustulokset saattavat antaa hyvinkin ristiriitaisia tietoja. (Bell, 2009.) Valitettavasti myös oppikirjat usein esittävät virheellisiä kaavioita, joissa tieteellisestä tietoa luodaan askel askeleelta etenevässä järjestyksessä ja sama kaavio pätee joka tutkimukseen, vaikka todellisuudessa jokainen tutkimus on ainutlaatuinen (Abd-El-Khalick et al. 2008.)

Historiallisella lähestymistavalla voidaan siis opettaa tieteellisen tutkimuksen olevan muutakin kuin askel kerrallaan etenevä prosessi. Mielikuva kaikkien tutkijoiden kaavamaisesta työskentelystä, jättää paljon oleellista huomioimatta. Historiallisessa lähestymistavassa esimerkkinä voidaan käyttää jonkin tietyn aihealueen kehittymistä, jolloin tutkimusprosessiin liittyvät inhimilliset tekijät havaitaan selkeästi. Esimerkin kautta on myös helpompi nähdä, kuinka luonnontieteellinen tutkimus on pitkäkestoinen prosessi, joka tuottaa välillä myös teorioita, jotka myöhemmin todistetaan vääriksi. Proteiinien historia on oiva esimerkki siitä, kuinka tieteellinen prosessi tapahtuu pitkällä aikavälillä ja useiden eri ihmisten työpanoksen kautta. Tarinan kautta oppilas saa kuvan yhteistyössä toimivasta tiedeyhteisöstä stereotyyppisen erakotutkijan sijaan.

Proteiinien historiasta kertovaa kirjoitusta voidaan käyttää muiden luonnontieteen luonteen teemojen opetukseen. Opettaja voi korostaa siitä juuri niitä osa-alueita, jotka sopivat parhaiten hänen oppitunnilleen. Kirjoitelmasta voi esimerkiksi korostaa vaikka tieteen epävarmuutta tai käsitteenmuutosta. Kun kirjoitelma on kerran luettu, voi opetuksessa myös palata myöhemmin siihen ja opettaa sen avulla jotain toista luonnontieteen luonteen osa-alueita. Painotusta voi muuttaa joko vaihtamalla kirjallisia tehtäviä tai laittamalla oppilaat keskustelemaan ja pohtimaan jotain tiettyä osa-alueita. Luonnontieteellistä luonnetta opiskellessa oppilaille on myös syytä selittää, ettei siitä keskustellessa ole olemassa absoluuttisesti oikeita ja yksinkertaisia ratkaisuja, vaan jokaisen tulisi esittää rohkeasti myös omia mielipiteitään.

Lähteet

- Abd-El-Khalick, F., Waters, M., & Le, A-P. (2008). Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 835–855.
- Bell, R. L. (2009). Teaching the nature of science: Three critical questions. *Best Practices in Science Education*. (26.4.2013). Haettu http://www.ngsp.com/Portals/0/downloads/SCL22-0449A_AM_Bell.pdf
- Clough, Michael P. (2011). The Story Behind the Science: Bringing science and scientists to life in post-secondary science education. *Science & Education*, 20, 701-717.
- Hodson, Derek. (2008). *A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Hudson, John. (1995). *Suurin tiede – Kemian historia*. Jyväskylä: Art House.
- Kiple, K. F. (2000). *The Cambridge world history of food*. Cambridge: University Press.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire (VNOS): Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 497-521.

Tanford, C., & Reynolds, J. (2001). *Nature's robots: A history of proteins*. Oxford: University Press.

Opetushallitus. (2004). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

8 Historiallinen lähestymistapa suklaan kemian opetuksessa

Maija Ahola ja Hilla Saarela

1 Tuntisuunnitelmaan liittyvää kemiaa

Metropolia AMK:n elintarvikekemian kurssin OPS:in tavoitteena oli, että kurssin jälkeen opiskelija osaa nimetä elintarvikkeiden pääravintoaineet ja lisäksi hän tietää elintarvikkeiden tyypillisimpiä kemiallisia (ja fysikaalisia) reaktioita, joita voi tapahtua esimerkiksi valmistuksen tai säilytyksen aikana.

Opintojaksosuunnitelman mukaisesti meidän opetettavaksemme valikoituivat elintarvikkeiden sisältämät rasvat ja rasvojen tärkeimpien fysikaalisten ilmiöiden esittely (Fennema, 1996). Tunnilla kerrattiin rasvojen perusrakenteet ja käsiteltiin rasvojen ryhmittelyä eri elintarvikelähteiden mukaan. Rasvojen eri kidemuodot, kiteytyminen ja siihen vaikuttavat tekijät käytiin läpi suklaaesimerkin ja kaupallisen suklaan historian avulla.

Sulan tai nestemäisen rasvan kiteytyminen on kemiallisesti monimutkainen prosessi, jossa rasvamolekyylit ensin pakkautuvat toistensa lähelle ja sitten orientoituvat niin, että ne muodostavat erittäin järjestäytyneitä kideytimiä. Kideytimien muodostumista voidaan edesauttaa sekoituksella tai lisäämällä jäähtyvään nesteeseen halutunlaisia kideytimiä. Kideytimien muodostumista seuraa niiden kasvu, joka riippuu pääosin lämpötilasta ja jäähdytyksestä. (Fennema, 1996)

Polymorfisiksi kidemuodoiksi sanotaan kemialliselta koostumukseltaan samanlaisia, mutta avaruudelliselta rakenteeltaan erilaisia kidemuotoja. Polymorfiset kidemuodot sulavat samanlaisiksi nesteiksi ja voivat muuttua toisikseen sulamatta välillä. Ajan mittaan kiteet muuttuvat stabiileimpaan muotoon. Elintarvikkeissa kidemuoto vaikuttaa lämpökäyttäytymiseen/morfologiaan ja siten elintarvikkeen fysiokemiallisiin ja aistinvaraisiin ominaisuuksiin. (Fennema, 1996)

Kaakaovoilla on kuusi erilaista kidemuotoa, joilla on eri sulamis- ja kiteytymislämpötilat (Hopia, 2008; Tannenbaum, 2004). Kun nestemäinen kaakaovo viilennetään, läsnä voi olla useampaa eri kidemuotoa (Tannenbaum, 2004). Kidemuodoista ihanteellisimman rakenteen suklaalle antaa kide V eli beta2 (Hopia, 2008; Tannenbaum, 2004), jonka sulamispiste on 34 astetta, eli hyvin lähellä ihmisen ruumiinlämpöä. Huoneenlämmössä suklaa siis pysyy kovana, mutta suussa sulaa täydellisesti. Jos sulamislämpötila olisi alhaisempi, suklaa sulaisi sormiin ja jos se olisi ruumiinlämpötilaa korkeampi, suklaasta jäisi talinen kelmu suuhun. (Hopia, 2008)

Kun sulan suklaan lämpötila laskee alle 26 asteen, esimerkiksi jääkaappijäädätyksessä, rasvamolekyylit järjestäytyvät nopeasti muodostuviksi, mutta helposti hajoaviksi kiteiksi I, II ja III, joiden sulamispiste on 17–26 astetta. Yli 26 asteessa jäädyttämällä syntyy kidemuotoja IV ja V. IV-kiteiden sulamispiste on 28 astetta, joten ne sulavat pois yli 30 asteessa. Temperointi tarkoittaa suklaamassan ohjaamista lämpötilaohjelman avulla kiteytymään halutunlaisiksi kiteiksi. Suklaamassa alkaa kiteytyessään toistaa siellä jo olevaa tai sinne ilmaantuvaa kidemuotoa. (Hopia, 2008) Siksi kotikonstein temperoitaessa suklaamassaan voi lisätä V-kiteiden alkioiksi suklaarouhetta kuten Hopian (2008) ohjeessa.

Epävakaampien kidemuotojen muuttuessa vakaammiksi vapautuu lämpöä. Suklaan pinnalle ilmestyvä rasvakukka johtuu siitä, että ylimääräinen rasva työntyy tämän lämmön vaikutuksesta suklaan pinnalle. Vakaan V-kidemuodon saavuttaminen estää kukkimista. (Tannenbaum, 2004) Vakain kidemuoto IV tai beta1 muodostuu vain pitkän ajan kuluessa polymorfisessa muutoksessa muista kidemuodoista (Fennema 1996). Siksi myös pitkään säilytetty suklaa voi kukkia.

2 Perusteita historiallisen lähestymistavan käytölle

Historiallisen lähestymistavan käyttö opetuksessa voi esimerkiksi antaa opiskelijoille mahdollisuuden vertailla omia käsityksiään jostain ilmiöstä historiallisiin käsityksiin ja näin rakentaa ymmärrystään siitä (Hodson, 2008), tuoda humanistista näkökulmaa luonnontieteiden opetukseen, tai tuoda esiin sitä, että tieto ei ole pysyvää, vaan nykyään tietämämme asiat on saatu selville kovalla työllä (Clough, 2010). Historiallista lähestymistapaa voidaan käyttää apuna myös opettaessa luonnontieteiden luonteisiin liittyviä eli NOS-teemoja (Clough, 2010).

Oppitunnillamme historiallinen lähestymistapa valottaa sitä, että kaikille tuttu tuote, jonka ominaisuuksia on juuri tutkittu, ei ole aina ollut samanlaista eikä ole kehittynyt nykyisen kaltaiseksi itsestään. 1800-luvun suklaatehtailijoiden rasvaongelman esittely tuo uuden näkökulman tunnilla käsiteltyyn kaakaovoihin.

Historiallista lähestymistapaa käytettäessä huomataan myös, että elintarvikkeita kehitettäessä on ollut aiemminkin ongelmia, joita on tarvinnut ratkaista ja ratkaisu on voinut löytyä kemiallisista menetelmistä. Pohdittaessa rasvaongelmaa 1800-luvulla voi myös miettiä, mitä eroja ja yhtäläisyyksiä on 1800-luvun ja nykypäivän tuotekehittelyllä. Nykyään esimerkiksi rasvan poistoon elintarvikkeista on usein syynä tehdä tuotteista vähemmän lihottavia, kun taas 1800-luvun alussa tätä ei juuri pohdittu.

3 Käytettyä historiaa

Ensimmäiset tunnetut kaakaoviljelmät kuuluivat maya-intiaaneille. Mayat käyttivät kaakaopapuja ravinnon lisäksi myös rahana ja laskemisen apuna. (MacDonald, 2000) Niitä myös uhrattiin jumalille ("The history of chocolate"). Mayoilta kaakaon ryöstivät atsteekit. Myös atsteekit uhrasivat suklaata jumalilleen. Atsteekkien xohoatl oli vaahtoavaa kylmää

juomaa, jota valmistettiin lisäämällä veteen hienoksi jauhettuja kaakaopapuja ja mausteita, esimerkiksi chiliä ja kanelia. (MacDonald, 2000/2001)

Eurooppalaisista suklaan makuun pääsivät ensimmäisenä espanjalaiset. Amerikkaan 1500-luvun alussa purjehtinut Hernan Cortés tutustui suklaaseen atsteekkien kuningas Montezuman hovissa ja toi kaakaopavut Espanjaan. Espanjan hovissa suklaajuoma sai uusia piirteitä. Se juotiin kuumana ja siihen lisättiin sokeria. Juomaan ei enää lisätty chiliä vaan sen sijaan käytettiin esimerkiksi vaniljaa, kanelia ja pähkinöitä. Espanjalaiset uskoivat suklaan tervehdyttävän, auttavan jaksamaan ja edistävän ruoansulatusta. Ainakin se oli syy juoda ylimääräinen kupillinen. (MacDonald, 2000/2001)

Espanja ja Portugali olivat yli sadan vuoden ajan ainoat maat, jotka saivat kaakaopapuja alusmaistaan ja suklaan vieminen muihin maihin oli kielletty (Stampe, 2011). Tästä johtuen suklaa lähti leviämään Eurooppaan vasta 1600-luvulla. Suklaan kehitys jatkui hitaasti ja 1674 ensimmäinen kiinteä suklaa valmistui englantilaisessa kahvilassa. Niin ikään englantilainen tohtori Hans Sloane keksi, että suklaa kannattaa lisätä veden sijasta maitoon. (MacDonald, 2000/2001) Monet merkittävät edistysaskeleet suklaan valmistuksessa tapahtuivat kuitenkin 1800-luvulla, mukaan lukien ne kaksi joihin keskityimme tunnilla.

1800-luvun alussa suklaa oli vielä lähinnä rikkaiden rasvaista juomaa. Suklaata valmistettiin jo tehdastuotannossa ja tuotteet käytettiin suklaajuoman valmistukseen tai leivottiin kakuiksi ja kekseiksi. (MacDonald, 2000/2001) Suklaatehtailijat eivät kuitenkaan olleet onnistuneet ratkaisemaan kaakaopavun suuren rasvapitoisuuden (54%) aiheuttamia ongelmia. Suuren rasvapitoisuutensa takia suklaa oli raskasta ruoansulatukselle eikä sekoittunut hyvin veteen (Tanabe&Hofberger 2005). Lisäksi suklaajuoman pinnalle nousi helposti valkoista limaa (MacDonald, 2000/2001). Ongelmaa oli vuosien saatossa yritetty ratkaista monella tavoin. Yksi tapa oli kuoria rasva suklaajuoman päältä kiehauttamisen jälkeen (Coe & Coe, 1996/2005), toinen lisätä rasvan imeyttämiseksi jotain kiinteää ainetta kuten esimerkiksi jauhoja tai puurohiutaleita (MacDonald, 2000/2001).

Rasvaongelman ratkaisi hollantilainen suklaatehtailija Casparus van Houten. Van Houten patentoi 1828 keksimänsä hydraulisen puristimen, jolla suklaamassan rasvan saattoi melko edullisesti vähentää lähes puoleen. Jäljelle jääneestä ”kakusta” saattoi jauhaa kaakaojauhetta, josta tuli kaikkien kaakaotuotteiden perusta. (”The history of chocolate”)

Casparus van Houtenin poika Coenraad van Houten (”The history of chocolate”) oli suklaatehtailijan lisäksi kemisti (Coe & Coe, 1996/2005). Hän jatkoi suklaan kehittämistä pyrkimyksensä parantaa sen veteen sekoittuvuutta (Coe & Coe, 1996/2005) ja keksi niin sanotun hollantilaismenetelmän, jossa suklaata käsitellään alkalisuoloilla. Käsittely muun muassa nostaa suklaan pH:ta, miedontaa suklaan makua (vähentää happamia makuvivahteita ja vahvistaa suklaisia), parantaa veteen sekoittuvuutta, tehostaa suklaan väriä ja parantaa suklaan laatua mikrobiologisesti. Hollantilaismenetelmä, jota on toki

kehitetty van Houtenin jälkeen, on edelleen laajassa käytössä teollisuudessa, sillä se sallii erilaisten väri- ja makuprofiilien kehittämisen. (de Muijnck, 2005)

Kun van Houtenin patentti vanheni, van Houtenin puristimen ostosta tuli merkittävä askel suklaatehtailijoille ("The history of chocolate"). Vieraista aineista suklaassa ei kuitenkaan päästy eroon hetkessä. 1850 Englannissa tehdyssä tutkimuksessa kaikista tutkituista kaakaonäytteistä löytyi perunatärkkelystä (MacDonald, 2000/2001), jota käytettiin kaakaon jatkamiseen (Coe & Coe, 1996/2005), ja joidenkin näytteiden punaisen värin todettiin olevan peräisin tiilipölystä. Cadburyn veljekset mainostivatkin van Houtenin puristimen ostettuaan, että Cadburyn kaakaotiiviste on "täydellisen puhdasta - sen vuoksi parasta". (MacDonald, 2000/2001)

Van Houtenin puristimen keksiminen oli ensimmäinen askel suklaan 1800-luvun huimassa kehityksessä. Vuonna 1847 brittiläinen J. S. Fry&Sons Ltd. toi markkinoille maailman ensimmäisen suklaapatukan. 1875 sveitsiläinen suklaatehtailija Daniel Peter kehitti maitosuklaan kokeiluissaan maitojauheen sekoittamisesta suklaaseen. (MacDonald, 2000/2001; "The history of chocolate") 1879 Rodolphe Lindt keksi "conheerauksena" tunnetun menetelmän, joka pienensi suklaamassan hiukkaskokoa ja teki siitä tasaista karkean ja rakeisen sijaan (Coe & Coe, 1996/2005). Suklaan tuotannon kasvaminen 1800-luvulla toi suklaan yhä useampien saataville. 1900-luvulla suklaata muokattiin yhä uusiin muotoihin ja monet yhä edelleen olemassa olevat brändit syntyivät. (MacDonald, 2000/2001)

4 Luonnontieteiden luonne

Nature of science, luonnontieteiden luonne, eli NOS – termiä käytetään kuvaamaan sitä, mitä tiede on, kuinka se toimii, tieteen epistemologisia ja ontologisia perusteita tieteen takana, tieteilijöiden toimintaa ryhmänä ja sitä, miten yhteiskunta vaikuttaa tieteeseen ja tiede yhteiskuntaan (Clough, 2006). Toimme tunnilla esiin tieteen sosiaalisesta ja yhteiskunnallisesta merkityksestä sitä, miten talous vaikuttaa keksintöihin.

Keksintöjen voidaan ajatella syntyvän keksijän sisäisestä tarpeesta luoda tiedettä. Usein taustalla on kuitenkin taloudellisia intressejä ja määriteltä ongelmia. Van Houteneilla oli liikeyritys ja he kehittivät suklaata saadakseen tuotteestaan paremman ja näin ollen enemmän myyvän. Heidän keksintönsä syntyivät siis tarpeesta poistaa tuotteessa olevia ongelmia. Van Houtenien esittäminen liikemiehinä vähentää vaaraa esittää heidät myyttisinä yli-ihmisinä, minkä Clough (2010) listaa yhdeksi vaarallisista kerronnallisista elementeistä käsiteltäessä NOS-teemoja. Toisaalta kahden suklaan kehittäjän esiin nostaminen saattaa edistää kuvaa heistä "suklaan sankareina".

Van Houtenin puristimen leviäminen suklaatehtaisiin kertoi rasvaa vähentävän keinon tarpeesta ja sen menestyksestä markkinoilla. Puristimen avulla valmistettu suklaa oli parempaa ja sitä saattoi sellaisena myös markkinoida. Näin ollen sitä oli helpompi saada enemmän kaupaksi.

Tuotteen myymisessä myös ulkoasulla on suuri merkitys. Tiilipölyesimerkki kertoo siitä, että suklaan ulkonäköä manipuloitiin myös ennen kemiallisten keinojen keksimistä ja siksi hollantilaismenetelmän aiheuttama värin tehostuminen ei suinkaan ollut tai ole merkityksetön seikka, vaikka van Houten ei ensisijaisesti tavoitellutkaan värin parantamista.

Lähteet

- Clough, M. P. (2006). Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, 15, 463-494.
- Clough, M. P. (2010). The story behind the science: Bringing science and scientists to life in post-secondary science education. *Science & Education*, 20, 701-717
- Coe, S. D., & Coe, M. D. (2005). *Suklaan historia*. Kerava: Sitruuna.
- de Muijnck, L. (2005). Cocoa. Teoksessa: Charles Onwulate (toim.), *Encapsulated and powdered food* (pp. 451-473). CRC Press.
- Fennema, O. R. (1996). *Food Chemistry*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Hodson, D. (2008). *Towards Scientific Literacy: A teachers guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam. Sense Publishers.
- Hopia, A. (2008). *Kemiaa keittiössä*. Keuruu. Nemo.
- MacDonald, A. (2001). *Karmea totuus suklaasta*. Jyväskylä. Gummerus. (Alkuteos julkaistu 2000)
- Stampe, P. Kaakao: Jumalten juoma. (15.8.2011) Haettu <http://www.historianet.fi/arkielaemae/kaakao-jumalten-juoma>
- Tanabe, N. A., & Hofberger, R. (2005). Chocolate. Teoksessa: *Handbook of food science, technology and engineering volume 4* (pp.149-1011). CRC Press
- Tannenbaum, G. (2004). Chocolate: A Marvelous Natural Product of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 81, 1131-1134
- The history of chocolate (n.d.) Sivulta <http://www.worldstandards.eu/chocolate%20-%20history.html>

