

Historiallinen lähestymistapa sähkökemian opetuksessa:
Tutkiva oppiminen työtapana

Helsingin yliopisto
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Kemian laitos
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Pro gradu -tutkielma
Minna-Liisa Rantaniemi
12.03.2010

Ohjaaja: Maija Aksela

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos Institution – Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos	
TekijäFörfattare – Author			
Minna-Liisa Rantaniemi			
Työn nimi Arbetets titel – Title			
Historiallinen lähestymistapa sähkökemian opetuksessa :Tutkiva oppiminen työtapana			
Oppiaine Läroämne – Subject			
Kemian opetus			
Työn laji Arbetets art – Level		Aika Datum – Month and year	Sivumäärä Sidoantal – Number of pages
Pro gradu –tutkielma		23.03.2010	66 + 24
Tiivistelmä Referat – Abstract			
Sähkökemian on oppilaitten ja opettajien mielestä yksi vaikeimmista osa-alueista kemian opetuksessa. Esimerkiksi sähkökemiallisen parin toimintaperiaatteen ymmärtäminen tuottaa usein vaikeuksia ja oppilaat ovat alttiina monenlaisille väärinymmärryksille. Perusopetukseen tarvitaan uusia lähestymistapoja sähkökemian opetukseen. Kemian opettamista historian näkökulmasta tukevat useat eri tutkimukset. Tutkimusten mukaan luonnontieteen historia antaa kuvan tieteen kehityksestä, inhimillisyydestä ja vaikutuksesta eri kulttuureihin. Kemian historian opettaminen vaikuttaa opettajan ja sitä kautta myös oppilaan käsitykseen luonnontieteiden luonteesta. Sen on todettu parantavan lukiolaisten asennetta luonnontieteitä kohtaan. Sen avulla voidaan vaikuttaa yläkoululaisten kykyyn ratkaista käsitteellisiä ongelmia. Luonnontieteiden historian avulla voidaan kertoa, milloin ja kuinka tieto on rakentunut; missä historiallisissa ja sosiaalisissa yhteyksissä teoriat ovat kehittyneet ja miten ne ovat vaikuttaneet nykypäivän maailmaan. Historian avulla on mahdollista tuoda esiin tieteen kehityksen jatkuva muutos. Historiallisen näkökulman toteutus on usein haasteellista. Suurin este historian sisällyttämisessä kemian opetukseen on sopivan, tiiviin ja keskeiset asiat sisältävän kemian historian opetusmateriaalin puuttuminen. Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena oli kehittää opetusmateriaalia tutkimuspohjaisesti yläkoulun sähkökemian opetuksen tueksi sähkökemian historian näkökulmasta. Teoriaviitekehystenä käytettiin sähkökemian historiaa, kemian opetusta historian näkökulmasta sekä opetusmateriaalissa tutkivaa oppimista. Kun historialliseen näkökulmaan yhdistetään tutkivan oppimisen työtapaa, oppilaat pääsevät lähelle sitä tilannetta, missä tutkijat ovat keksintöjensä tekemisen äärellä. Verrattuna OECD –maiden keskiarvoon PISA 2006 -tutkimuksen mukaan suomalaiset oppilaat saavat selvästi harvemmin suunnitella omia tutkimuksiaan tai sitä, kuinka tiettyä asiaa voitaisiin tutkia. Tutkivan oppimisen työtapaa laboratoriotyöskentelyssä painottaa selkeää tieteellistä työskentelytapaa, jossa oppilas muodostaa oman hypoteesinsa ja testaa sitä valitsemallaan teoreettisella tai itse suunnittelemaallaan kokeellisella tavalla. Oppilas omistautuu työlleen oikean tutkijan tavoin, jolloin hänelle avautuu luonnontieteellisen työn luonne. Tutkimusta ohjasi kaksi päättämiskysymystä: 1) Miten historiaa on integroitu sähkökemian opetukseen yläkoulun ja lukion oppikirjoissa? ja 2) Miten tutkivaa oppimista voidaan hyödyntää käytettäessä historiaa sähkökemian opetuksen tukena? Näihin kysymyksiin haettiin vastausta kehittämistutkimuksella, jossa oli kaksi vaihetta: 1) Tarveanalyysi ja 2) Opetusmateriaalin kehittäminen. Tarveanalyysi tehtiin yläkoulun ja lukion kemian oppikirjojen sähkökemian osuudesta laadullisena sisällönanalyyseinä. Tarveanalyysin perusteella voidaan sanoa, että yläkoulun oppikirjoista vain toinen tuo esiin sähkökemian historiaa ja vain sähkökemiallisen parin yhteydessä. Lukion kirjasarjat yhtä lukuun ottamatta tuovat esiin sähkökemian historiaa, joskin melko pirstaleisesti. Suurin osa historiasta löytyy sähkökemiallisen parin yhteydestä. Historian integroimisen tavoitteista tärkeimpiä ovat tapahtumien ajankohdan kertominen ja historiallisen prosessin tai menetelmän kuvaaminen. Tärkeänä on pidetty myös keksintöjen yhteyttä nykypäivään. Yläkoulun toisen kirjasarjan opettajan oppaasta löytyy tarkentavaa tietoa sähkökemiallisen parin historiasta, mutta lukion kirjasarjojen opettajan oppaat eivät anna - yhtä tehtävän vastausta lukuun ottamatta - lainkaan opetusmateriaalia sähkökemian historiaan liittyen. Tutkimuksen toisessa vaiheessa kehitettiin tarveanalyysin ja tutkimustulosten pohjalta opetusmateriaali yläkoulun sähkökemian opetukseen. Opetusmateriaalin aiheiksi valittiin sähkökemiallinen pari ja elektrolyysi, koska ne ovat keskeinen osa yläkoulun sähkökemian kurssia. Sähkökemiallinen pari ja elektrolyysi muodostavat yhdessä mielekkään kokonaisuuden, koska sähkökemiallisen parin keksimisestä välittömästi seurasi myös elektrolyysin keksiminen. Tavoitteena on tuoda opetukseen historiallinen näkökulma, jonka on todettu olevan monella tapaa hyödyllinen. Opetusmateriaalin tutkimustyön tavoitteena on yhdessä kokeellisen lähestymistavan kanssa tutkivan oppimisen periaatteita noudattaen tutustuttaa oppilaat luonnontieteen luonteeseen ja herättää oppilaiden mielenkiinto luonnontieteitä kohtaan antamalla heille tilaisuus tutustua historian kertomusten virittäminä kemian tutkimukseen prosessina.			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Sähkökemian historia, tutkiva oppiminen, kemian opettaminen, kokeellisuus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Helsingin yliopisto, Kemian laitos			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			
Tarkastajat: Majja Aksela ja Markku Sundberg			

Sisällys

1. Johdanto	1
2. Sähkökemian historiaa	4
2.1 Johdanto	4
2.2 Sähköön liittyviä keksintöjä ennen Voltan pylvästä	4
2.2.1. Leidenin pullo - ensimmäinen kondensaattori	4
2.2.2 Voltan elektrofori ja kondensaattorielektroskooppi	6
2.3 Luigi Galvani – eläinsähkön tutkija	7
2.3.1 Eläinsähkö	8
2.4 Alessandro Volta - pariston keksijä	11
2.4.1 Voltan kritiikki Galvanin kokeisiin	11
2.4.2 Voltan pylväs	12
2.4.3 Galvanin ja Voltan välisestä väittelystä	15
2.5 Sähkökemian tutkimuksen alkuvaiheita	16
2.5.1 Pariston keksimisen vaikutus kemian tutkimukseen 1800-luvun alussa	16
2.5.2 Pariston kehityksestä	16
2.5.3 Veden elektrolyysi	17
2.5.4 Uusia alkuaineita elektrolyysi avulla	18
2.5.5 Elektrolyysilait	20
3. Historiallinen lähestymistapa kemian opetuksessa	21
3.1 Peruskouluopetuksen opetussuunnitelman perusteet	21
3.2 Aikaisempi tutkimustieto kemian opetuksesta historian näkökulmasta	22
3.3 Historian opetuksen didaktiikka	26
3.3.1 Historian integrointi kemian opetukseen	27
3.4 Kokeellisuus ja historiallinen näkökulma	28
3.4.1 Luonnontieteen luonne	30
4. Tutkiva oppiminen työtapana	32
4.1 Opettajan rooli tutkivassa oppimisessä	36
5. Kehittämistutkimus	38
5.1 Tutkimuskysymykset	38
5.2 Kehittämistutkimuksen toteutus	39

6. Tulokset.....	42
6.1 Sähkökemian historia yläkoulun ja lukion opetuksessa.....	42
6.1.1 Kemian sisällöt.....	43
6.1.1.1 Sähkökemiallinen pari.....	43
6.1.1.2 Elektrolyysi	43
6.1.2 Materiaali	45
6.1.2.1 Johdanto	45
6.1.2.2 Tehtävät.....	46
6.1.2.3 Kokeelliset työt	46
6.1.2.4 Lisämateriaali.....	46
6.1.3 Sähkökemian historian integrointi	47
6.1.3.1 Yhteenveto tuloksista.....	47
6.1.3.2 Elementit	47
6.1.3.3 Tavoitteet.....	48
6.1.4 Opettajan oppaat.....	48
6.2 Opetusmateriaali	49
7. Johtopäätökset ja pohdinta	52
7.1 Tarveanalyysi	52
7.2 Opetusmateriaali	54
7.3 Tutkimuksen merkitys.....	56
LÄHTEET	59
LIITTEET	66
Liite 1: Tutkitut oppikirjat.....	67
Liite 2: Oppikirja-analyysin tulokset taulukoituna	68
Liite 3: Opetusmateriaali.....	73

Sivistys on tietoisuutta ympäröivästä todellisuudesta, kulttuurista, historiasta sekä niiden viljelyä, koulunkäyntiä, tarvetta tietoon muustakin kuin ammattiasioista.

- Akateemikko Kirsi Kunnas, Suomen Kuvalehti 4/2010.

1. Johdanto

Sähkökemia on oppilaitten ja opettajien mielestä yksi vaikeimmista osa-alueista kemian opetuksessa (Griffiths, 1994). Esimerkiksi sähkökemiallisen parin toimintaperiaatteen ymmärtäminen tuottaa usein vaikeuksia, ja oppilaat ovat alttiina monenlaisille väärinymmärryksille (Sanger & Greenbowe, 1997). Perusopetuksessa tarvitaan uusia lähestymistapoja sähkökemian opetukseen.

Useat tutkimukset tukevat historiallista näkökulmaa kemian opetuksessa. Historia voi avata sähkökemian opetukseen näkökulman, joka keventää aiheen teoreettisuutta ja lisää mielenkiintoa kemiaa kohtaan. Kemian historiaan tutustuminen laajentaa oppilaan kokonaiskuvaa kemiasta. Historiallisen lähestymistavan kautta oppilaat saavat syvällisemmän käsityksen siitä, kuinka käsitteet ja teoriat muokkautuvat jatkuvasti (Ahtee & Pehkonen, 2000, 66). Tuomalla historia osaksi kemian opetusta voidaan muokata mielikuvaa luonnontieteistä ja luonnontieteitten kehityksestä. Luonnontieteen historian avulla voidaan kertoa, kuinka tieteellinen tieto on rakentunut, missä historiallisissa ja sosiaalisissa yhteyksissä teoriat ovat kehittyneet ja miten ne ovat vaikuttaneet nykypäivän maailmaan. (Solbes & Traver, 2003; Justi, 2000, 210; Osborne et al. 2002)

Historiallisen näkökulman toteutus on usein haasteellista. Opettajat ajattelevat usein, että arvokasta opetusaikaa tuhlaantuu perusopetuksesta tai että kemian historia on oppilaitten mielestä tylsää. Suurin este historian sisällyttämisessä kemian opetukseen on kuitenkin sopivan, tiiviin ja keskeiset asiat sisältävän kemian historian opetusmateriaalin puuttuminen. (Wandersee & Baudoin Griffard, 2002)

Kun historialliseen näkökulmaan yhdistetään tutkivan oppimisen työtapaa, oppilaat pääsevät lähelle sitä tilannetta, missä tutkijat ovat keksintöjensä tekemisen äärellä. Verrattuna OECD-maiden keskiarvoon PISA 2006 -tutkimuksen mukaan suomalaiset oppilaat saavat selvästi harvemmin suunnitella omia tutkimuksiaan tai sitä, kuinka tiettyä asiaa voitaisiin tutkia (Lavonen, J (2008).

Tutkivan oppimisen työtapaa laboratoriotyöskentelyssä painottaa selkeää tieteellistä työskentelytapaa, jossa oppilas muodostaa oman hypoteesinsa ja testaa sitä valitsemallaan teoreettisella tai itse suunnittelemallaan kokeellisella työtavalla. Oppilas omistautuu työlleen oikean tutkijan tavoin, jolloin hänelle avautuu luonnontieteellisen työn luonne. (Green et al., 2004) Kemian käsitteen oppiminen kokeellisesti tapahtuu tehokkaammin tutkivan oppimisen menetelmällä kuin perinteisellä kokeellisella menetelmällä (Minner et al., 2009).

Tutkiva oppiminen on osoittautunut kaikkein tehokkaimmaksi opetustavaksi, kun halutaan lisätä oppilaiden mielenkiintoa luonnontieteitä kohtaan. Työtavan on myös todettu motivoivan opettajia. Tutkivan oppimisen vahvuus on siinä, että se on sovellettavissa tehokkaasti kaikenikäisten oppijoiden kanssa käytettäväksi. Lisäksi tutkivan oppimisen on todettu lisäävän tyttöjen kiinnostusta luonnontieteisiin. Muun muassa näistä syistä Euroopan unionin asettama asiantuntijaryhmä suosittelee raportissaan, että tutkiva oppiminen olisi otettava osaksi käytettäviä opetusmetodeja ja että opettajille olisi tarjottava koulutusta tutkivasta oppimisesta työtapana. Lisäksi tulisi tukea opettajia yhteistyöverkostojen luomisessa. Asiantuntijatyöryhmän tavoitteena oli pohtia keinoja sen tosiasian korjaamiseksi, että mielenkiinto matematiikkaa ja luonnontieteitä kohtaan on 2000-luvulla laskenut huomattavasti eurooppalaisissa kouluissa. (Rocard et al., 2007)

Tämän kehittämistutkimuksen tavoitteena on tuottaa tutkimuspohjaisesti opetusta varten opetusmateriaalia, jonka avulla sähkökemian voidaan lähestyä historiallisesta näkökulmasta. Kehittämistutkimuksen lähtökohtana on sähkökemian opetuksesta tehty tarveanalyysi, jonka avulla saadaan selville sähkökemian historian opetuksen nykytilanne peruskoulun yläluokilla ja lukiossa.

Luvuissa 2, 3 ja 4 esitetään tutkimuksen teoreettinen viitekehys. Luvussa 2 kerrotaan kehittämistutkimuksen näkökulmasta ne keskeiset sähkökemian historian tapahtumat ja tutkimuksen vaiheet, jotka johtivat sähkökemiallisen parin keksimiseen sekä pariston keksimisestä alkaneen sähkökemian historian alkuvaiheita. Luvussa 3 tarkastellaan, kuinka sähkökemian opettaminen historiallisesta näkökulmasta yhdistyy peruskoulun opetussuunnitelman perusteisiin ja mitä historian opetuksen didaktiikasta voidaan ammentaa siltä osin kuin se sivuaa tässä tutkimuksessa kehitetyn opetuspaketin hyödyntämistä. Luvussa 3 esitellään myös viimeisintä tutkimustietoa siitä, mitä etuja on mahdollista saavuttaa kemian opetuksella historiallisesta näkökulmasta ja miten historiaa on integroitu opetukseen Espanjassa. Luonnontieteellisen tutkimuksen mallia ja kokeellisen työn merkitystä kemiassa on niin ikään tarkasteltu luvussa 3. Koska tutkimuksen edetessä ilmeni, että työn teoriataustassa nousi esiin vahvasti ja toistuvasti käsite ”luonnontieteen luonne”, koettiin tarpeelliseksi selvittää myös sitä, miten se nykykäsityksen ja perusopetuksen tasolla voidaan määritellä. Luku 4 käsittelee tutkivaa oppimista työtapana tarkastellen myös opettajan roolia tutkivassa oppimisessa.

Luvussa 5 esitellään kehittämistutkimusta ohjaavat tutkimuskysymykset, selostetaan kehittämistutkimuksen toteuttaminen ja opetusmateriaalin laatiminen. Luvussa kuusi tarkastellaan tehdyn tutkimuksen tuloksia teoreettisessa viitekehyksessä. Johtopäätökset käsitellään luvussa 7. Tutkielman liitteenä on luettelo tarveanalyysissä tutkituista oppikirjoista, tarveanalyysin tulokset taulukoituna sekä kehitetty opetusmateriaali ohjeineen opettajalle ja oppilaalle.

2. Sähkökemian historiaa

Tässä luvussa kerrotaan kehittämistutkimuksen kannalta sähkökemian historiasta keskeisiä tapahtumia ja tutkimuksen vaiheita, jotka johtivat lopulta sähkökemiallisen parin keksimiseen. Lisäksi luvussa käsitellään pariston keksimisestä alkaneen sähkökemian historian alkuvaiheita.

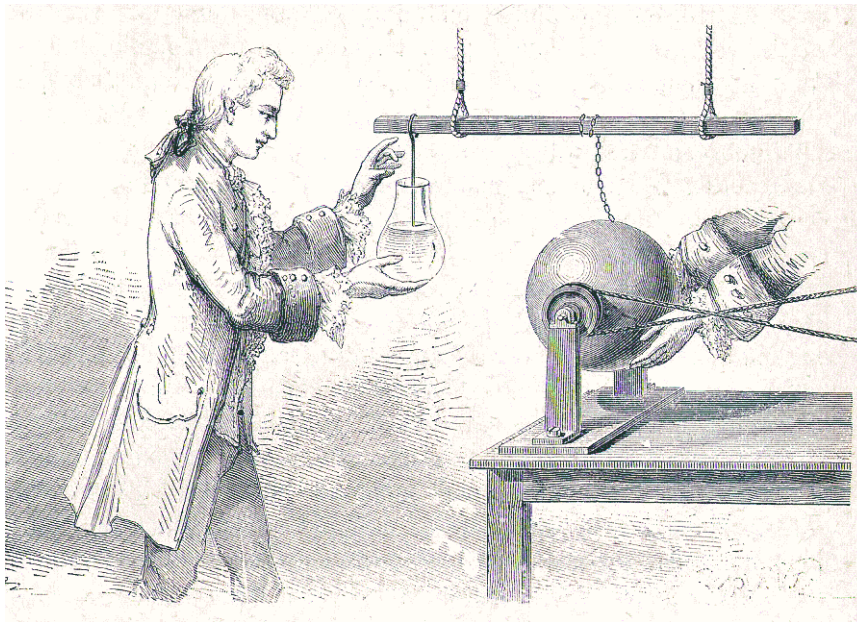
2.1 Johdanto

Ennen sähkökemiallisen parin keksimistä oli sähköä tutkittu jo noin 200 vuotta enemmän tai vähemmän tieteellisin menetelmin (Lindell, 1994). Voltan tutkimusten julkaiseminen aiheutti lähes välittömästi tutkimusten ryöpyn, joka johti paitsi uusien parempien paristojen syntyyn, myös ensimmäisiin sähkökemiallisiin tutkimuksiin. Voltan pylväk avasi tien elektrolyysille, yhdisteiden hajottamiselle ja sitä kautta uusien alkuaineiden löytymiselle. Pariston kehittäminen 1800-luvun alkuvuosikymmeninä oli kiivasta, minkä takia siitä voidaan tämän työn puitteissa esitellä vain pääasiat.

2.2 Sähköön liittyviä keksintöjä ennen Voltan pylvästä

2.2.1. Leidenin pullo - ensimmäinen kondensaattori

Ennen Leidenin pullon keksimistä sähköä tuottamiseen tarkoitetuilla laitteilla saatiin tuotettua sähkö vain hetkellisesti, juuri meneillään olevaa koetta varten. Leidenin pullo oli ensimmäinen laite, jolla voitiin varastoida sähköä myöhempää käyttöä varten. Koska sähköä oletettiin olevan ikään kuin nestettä ("electric fluid") ja se saatiin siirtymään johdinta pitkin, heräsi ajatus varastoida sitä pulloihin. Tässä onnistui ensimmäisenä pommerilainen juristi ja prelaatti Ewald Georg von Kleist (1700-1748), joka yritti vuonna 1745 varastoida sähköä elohopeaa täynnä olevaan pulloon naulan välityksellä (kuva 1). Hollannissa teki Musschenbroek (1692-1761) samanlaisia kokeita muutamaa kuukautta myöhemmin. Musschenbroek teki ammatikseen tieteellisiä laitteita ja sai ensimmäisenä julkisuuteen täsmälliset ja selkeät käyttöohjeet laitteesta niin, että sen käyttö oli muiden toistettavissa. Niinpä hänen nimensä yleensä yhdistetään Leidenin pulloon sen keksijänä. Leiden on sen kaupungin nimi, jossa laite keksittiin (Leidenin yliopisto). (Bernal, 1954, 433; Lindell, 1994, 22)

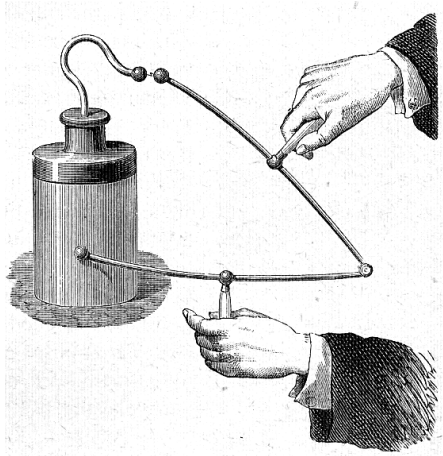


Kuva 1. Sähkön johtaminen Leidenin pulloon.(La Cour & Appel, 1906, 315)

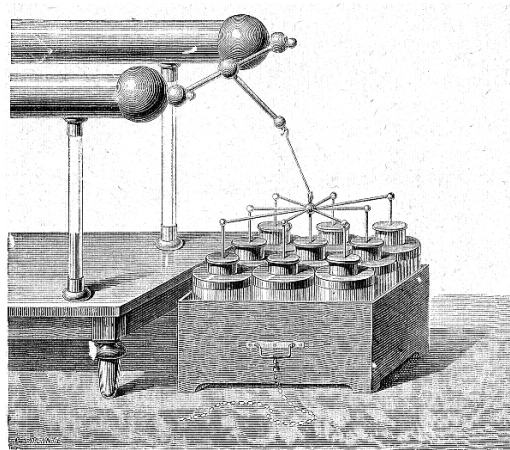
Leidenin pullosta kehitettiin lukuisia eri versioita, mutta sen rakenne oli periaatteessa varsin yksinkertainen. Kyseessä oli lasipurkki, joka oli päällystetty ohuella metallikalvolla sekä sisä- että ulkopuolelta, ei kuitenkaan aivan kaulaan saakka. Purkissa oli kansi, jonka läpi kulki metallinupilla varustettu metallisauva. Sähkö johdettiin sähkögeneraattorista nupin välityksellä sauvaan ja siitä roikkuvaa ketjua pitkin purkin sisäpinnan metallikerrokseen. Samanaikaisesti ulkokerros, joka oli maadoitettu, varautui yhtä suurella, mutta vastakkaismerkkisellä varauksella lasikerroksen estäessä näiden kontaktin. Varaus saatiin purettua järjestämällä johto sisä- ja ulkopinnan välillä. (Florida State University). Kuvassa 2 on tätä tarkoitusta varten muotoiltu metallitanko eristävin kädensijoin.

Leidenin puollon keksimisellä oli valtava vaikutus. Kaikki ihmiset halusivat kokea sähköiskun tai nähdä sen vaikutuksen muihin. Kerrotaan, että silloinen Ranskan kuningas järjesti sähköiskun kokonaiselle prikaatille sotilaita, jotka hyppivät samaan aikaan Leidenin pullo –patterista saatujen sähköiskujen vaikutuksesta. (Bernal, 1954, 433)

William Watson (1715-1787), Englannin huomattavin sähköllä kokeilija 1700-luvun puolivälissä keksi virtapiirin käsitteen 1747. Jotta sähköisku välittyy, sillä pitää olla ympäri kiertävä kulkutie. Sana piiri tarkoittikin alun perin ihmisistä muodostettua rengasta. Watson keksi myös, että suuremman varauskyvyn aikaansaamiseksi Leidenin pulloja voi kytkeä rinnakkain patteriksi (Kuva 3).(Lindell, 1994, 51)



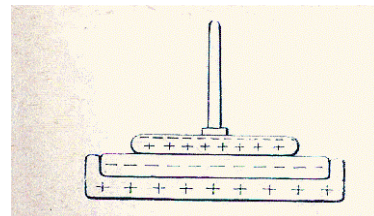
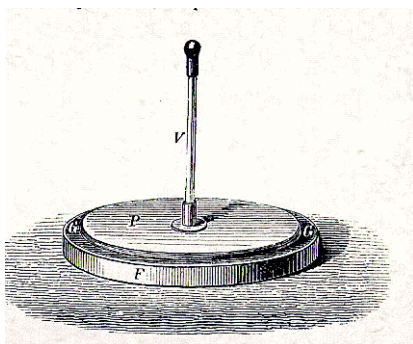
Kuva 2. Leidenin pullo.
(La Cour & Appel, 1906, 317)



Kuva 3. Leidenin pulloja kytkettynä rinnakkain.
(La Cour & Appel, 1906, 322)

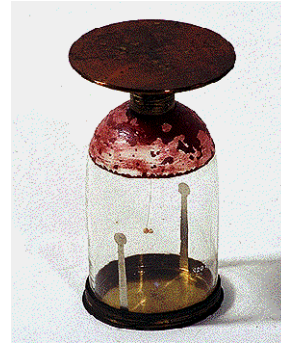
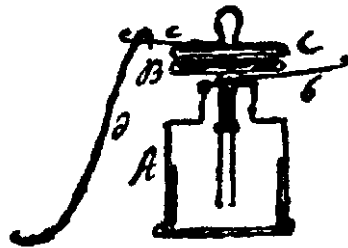
2.2.2 Voltan elektrofori ja kondensaattorielektroskooppi

Vuonna 1775 Volta keksi elektroforin (perpetual electrophorus), jolla pystyttiin helposti tuottamaan ja tallettamaan pieniä määriä staattista sähköä. Sen toiminta perustui siihen, että varattu kappale indusoi lähellä olevan johdekappaleen pintaan vastakkaismerkkisen varauksen. Kun neutraalin kappaleen erimerkkiset sähkövaraukset erotetaan toisistaan induktion avulla, ja toinen niistä poistetaan maadoittamalla levy (esim. sormen kosketuksella), jää kappale varattuun tilaan. Tämä varaus voitiin edelleen siirtää Leidenin pulloon ja toistamalla siirto kasvattaa sähkön määrää Leidenin pullossa. Elektrofori levisi nopeasti kaikkiin Euroopan sähköä tutkiviin laboratorioihin korvaten lasisauvan sähkön lähteenä. (Lindell, 1994, 67,98) Kuvassa 4 on esitetty elektrofori ja varauksen jakautuminen sen levyissä.



Kuva 4. Voltan elektrofori ja varauksen jakautumisen periaatekuva. (La Cour & Appel, 1906, 359)

Toinen merkittävä keksintö oli kondensaattori- eli tiivistäjäelektroskooppi joka on esitetty kuvassa 4. Sen avulla voitiin mitata hyvin pieniä varauksia, joiden oli ensin annettu kerääntyä kondensaattoriin. Vasta Galvanin sammakonjalka oli herkempi sähkön tunnistin. (Lindell, 1994, 90)



Kuva 5 . Voltan alkuperäinen luonnos kondensaattorielektroskoopista. (Pavian yliopisto)

2.3 Luigi Galvani – eläinsähkön tutkija

Aloisio Luigi Galvani (1737-1798) syntyi 9. syyskuuta 1737 Bolognassa. Hän valmistui Bolognan yliopiston lääketieteen ja kirurgian tiedekunnasta vuonna 1759 ja edelleen lääketieteen tohtoriksi 1762 anatomiassa ja synnytysopissa. Valmistuttuaan hän toimi Bolognan yliopistossa luennoitsijana, anatomian apulaisprofessorina ja lopulta professorina vuodesta 1782. Galvani menetti virkansa 1797 poliittisen tilanteen takia kieltäytyttyään uskonnollisista syistä vannomasta uskollisuutta Napoleonin perustaman Cisalppisen tasavallan hallinnolle. Jo muutenkin heikentyneenä jäätyään leskeksi 1790 Galvani vetäytyi veljensä taloon ja kuoli ”köyhänä ja pettyneenä” 1798. (Lindell, 1994, 81-86)

Luigi Galvani pani alulle tutkimusten ketjun, joka johti lopulta Voltan pylvään ja pariston keksimiseen. Historia on korostanut Galvanin työn merkitystä pääasiassa sähkön kehityksen kannalta, mutta hänen esittämänsä teoria eläinsähköstä loi pohjan myös sähköfysiologialle. Nykypäivänä Galvanin työn tuloksia pidetäänkin merkittävänä neurotieteiden puolella. (Piccolino, 1998)

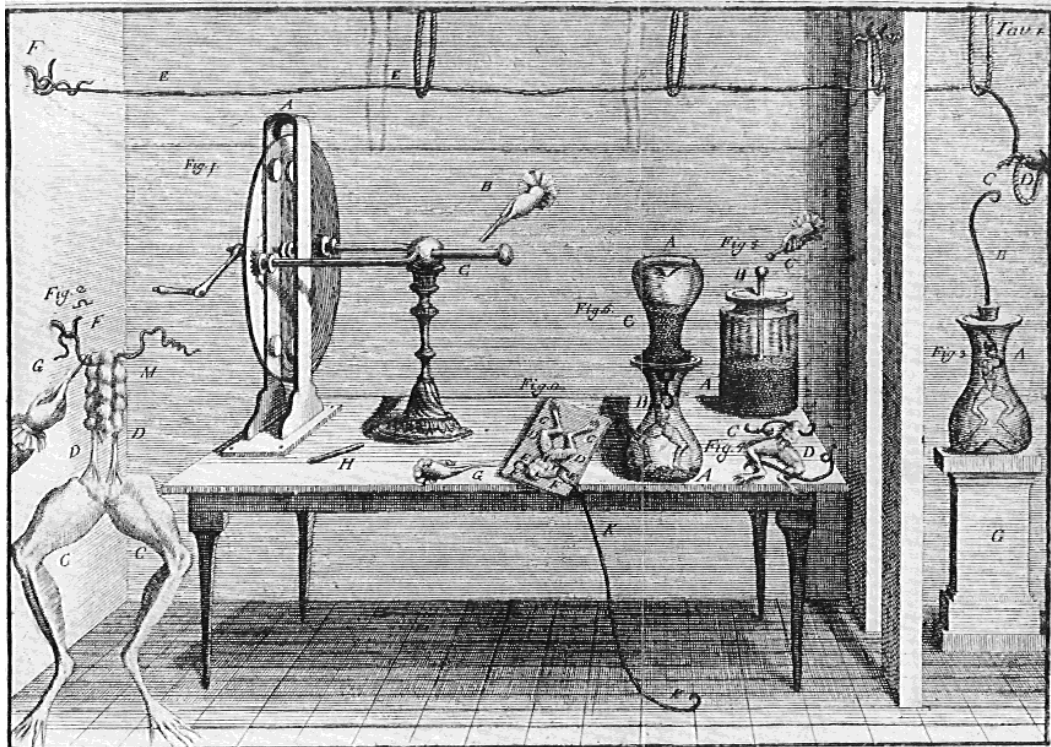
2.3.1 Eläinsähkö

Luigi Galvanin teoria eläinsähköstä julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1791. Kokeet, jotka johtivat Galvanin teoriaan oli aloitettu vuonna 1786. Jo sitä ennen sammakon anatomia ja sähkön vaikutus eläinpreparaattien lihaksiin oli ollut Galvanin kiinnostuksen kohteena useiden vuosien ajan. (Piccolino, 1998)

Staattisen sähkön tutkimus oli hyvin suosittu aihe 1700-luvulla, jolloin oli jo saatavilla sähkölaitteita tutkimusten tekoa varten. Luettuaan muiden tutkijoiden kokeiluista Galvani alkoi itsekkin tutkia sähkön vaikutuksia lihaksiin. Galvani valmisti kokeita varten sammakkopreparaatit, joissa sammakoista oli jäljellä vain takaraajat ja osa selkäydintä. Hermosäikeet oli kaivettu huolella esiin. (Lindell, 1994, 81-86; Magie, 1965, 420-426)

Ensimmäinen havainto sammakon jalkojen koukistelusta tuli sattumalta. Samanaikaisesti, kun kipinäkojeesta tuotettiin kipinä, kosketti työssä avustanut henkilö vahingossa pöydälle tutkimusta varten valmiiksi laitettua sammakon hermoa tutkimusveitsellä ja sai aikaan jalan nytkähdyksen. Kuultuaan tästä Galvani testasi tilanteen uudestaan useita kertoja. Jalka nytkähteli yhä uudelleen samalla tavalla kouristellen, joten Galvani päätti välittömästi tutkia tarkemmin, mistä ilmiö johtuu. (Piccolino, 1998; Magie, 1965, 420-426)

Galvanin ensimmäisessä kokeessa sammakko asetettiin metallialustalle ja sähköstaattisesta koneesta johdettiin sähköä johtimella sammakon selkäydinhermoon, jolloin havaittiin jalan nytkähtelyä (kuva 6). Koe uusittiin ja sitä muunneltiin monella eri tavalla. (Magie, 1965, 420-426). Galvani huomasi myös, että liikkeiden voimakkuus suureni tiettyyn määrään saakka sähköpurkauksen suuruutta kasvatettaessa. Toisaalta liike voitiin saada aikaan niinkin pienellä sähköisellä voimalla, mikä ei ollut enää mitattavissa herkimmilläkään mittalaitteella (elektroskooppi). Tämä sai Galvanin uskomaan, että kyseessä olisi jokin lihaksen sisäinen voima, ei ulkoinen sähkö. (Piccolino, 1998)



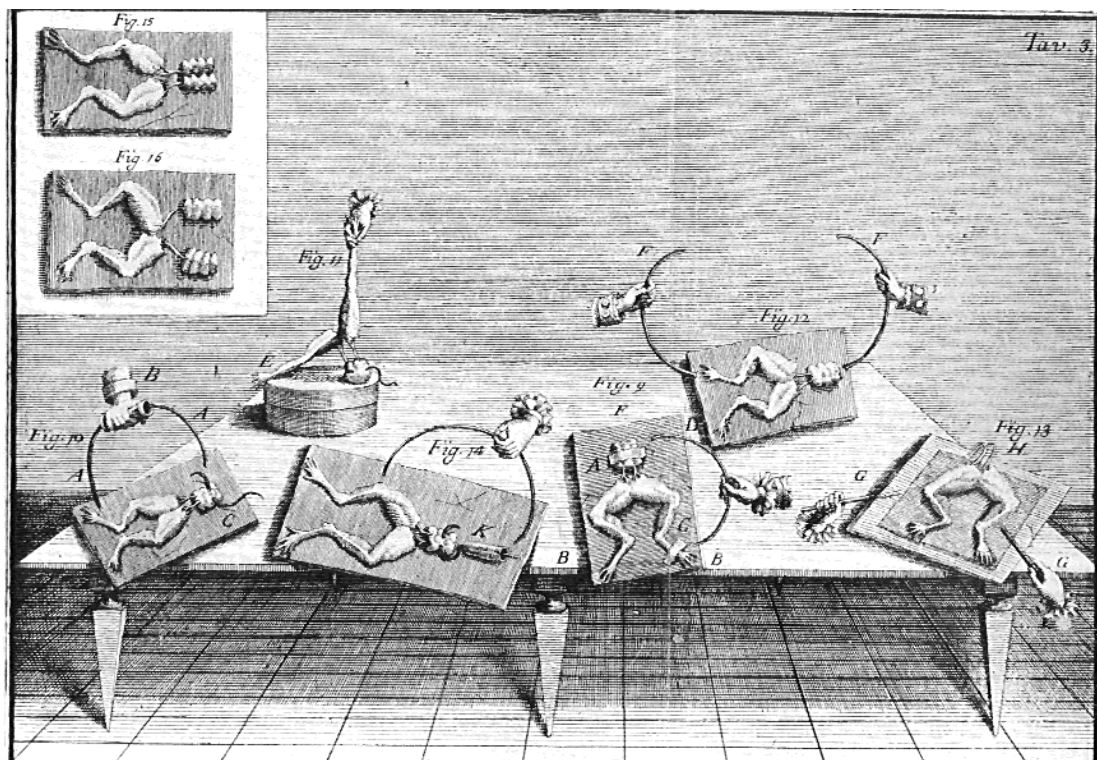
Kuva 6. Galvanin ensimmäisen kokeen koejärjestelyt. (Pavian yliopisto)

Ensimmäisten kokeiden jälkeen Galvani päätti testata ilman sähköisyyden vaikutusta sammakonreiteen. Koe suoritettiin ulkona kattoterassilla myrskyisenä iltana. Sammakonreidit nytkähtelivät voimakkaasti salamaniskun aikana mutta eivät muulloin. Galvani suoritti samat kokeet myös kauniilla säällä. Preparoidut sammakonreidit oli ripustettu messinkikoukuilla rautakaiteeseen siten, että koukku läpäisi selkäytimen. Mitään ei tapahtunut, vaikka Galvani tarkkaili sammakonreisiä päiväkausia ja eri aikaan päivästä. Väsyessään odottamaan liikahteluja Galvani tuli työntäneeksi sammakoita metallikaidetta vasten, jolloin sammakonreidit alkoivat taas nytkähdellä. Galvani toisti kokeen sisätiloissa asettaen sammakonreiden, jossa oli metallikoukku, eri metalleja oleville alustoille tehden kokeet eri aikoina päivästä. Tulokset olivat samat, mutta Galvani huomasi myös, että nytkähtelyn voimakkuus riippui siitä, mitä metallia alustana käytettiin. Eristettä käytettäessä (lasi, kumi, kivi yms.) ei tapahtunut mitään. Koska koe oli toistettavissa sisätiloissa, Galvani päätteli, että ilman sähköisyys ei aiheuttanut nytkähtelyitä. (Piccolino, 1998; Magie, 1965, 420-426)

Galvani alkoi ajatella, että sähkö olisi lähtöisin eläimestä itsestään ja teki kolmannen koesarjan kytkemällä nyt hermot lihakseen erilaisilla metallikaarilla tai johteilla. Näin preparaatin sisäinen sähkö pääsisi virtaamaan. Sammakonreidit asetettiin lasilevyille, ja

niiden selkäytimet yhdistettiin metallikaaren välityksellä sammakon jalkaterään tai lihakseen. Kuvassa 7 on esitetty koejärjestelyt. Nyt nytkähtely tapahtui pelkän metallikosketuksen avulla. Galvani tuli siihen tulokseen, että lihaksen ja hermon yhdistäminen sähköä johtavalla materiaalilla sai eläimen sisäisen sähköän liikkeelle ja aiheutti nytkähtelyt. (Piccolino, 1998; Magie, 1965, 420-426)

Galvani huomasi myös, että jos metallikaari on tehty kahdesta eri metallista, nytkähtelyt olivat sitä voimakkaampia, mitä parempi sähkönsäilytyskyky metallilla oli. Jos taas aluslevy ja metallikaari olivat samaa metallia, nytkähtelyä ei tapahtunut, tai se oli hyvin heikkoa. Galvanin kokeissa hopea oli paras pari raudalle johtamaan eläinsähköä. Kokeet onnistuivat myös sähköä johtavien nesteiden avulla. Galvani esitti, että sammakonjalan hermo ja lihas muodostavat eräänlaisen Leidenin pullon, jonne sammakon jalassa oleva sähkö varastoituu. Galvani vertasi tätä sähköankeriaiden kehittämään sähköön ja käytti ilmiöstä nimeä eläinsähkö. (Piccolino, 1998; Magie, 1965, 420-426) Termin eläinsähkö oli jo muutamaa vuotta aikaisemmin esitellyt Pierre Berthollon. (Piccolino, 1998)



Kuva 7. Galvanin kokeet metallikaarilla. (Pavian yliopisto)

Eläinsähkö nosti suuren kohun tieteellisissä piireissä ja tiedemiehet asettuivat joko kannattamaan sitä tai vastustamaan sitä. (Lindell, 1994, 85)

2.4 Alessandro Volta - pariston keksijä

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1829) syntyi 18. helmikuuta 1745 Comossa ja oli taustaltaan aatelinen. Volta oli kiinnostunut sähköstä jo nuorena ja tutustui oma-aloitteisesti kaikkiin tuon ajan tunnetuimpien sähköntutkijoiden teoksiin (Musschenbroek, Nollet ja Beccaria). Hän toimi Comon lukiossa fysiikan opettajana vuodesta 1774 ja vuodesta 1779 kokeellisen fysiikan professorina Pavian yliopistossa. Vuonna 1794 hän sai tieteellisistä ansioistaan tuon ajan tärkeimmän tunnustuksen, Englannin Royal Societyn Copley-mitalin. Maailman laajuisen kuuluisuuden hän saavutti keksittyään sähköparin, ns. Voltan pylvään, joka julkaistiin vuonna 1800. Napoleon nimitti Voltan kreiviksi. (Lindell, 1994, 88)

2.4.1 Voltan kritiikki Galvanin kokeisiin

Luettuaan Galvanin kokeista (1791) Volta toisti ne. (Lindell, 1994, 90; Piccolino 1998) Aluksi Volta oli vakuuttunut Galvanin tuloksista. Vähitellen Volta kuitenkin alkoi epäillä ja kritisoida erinäisiä yksityiskohtia Galvanin työssä. Yksi tärkeimmistä kritiikin kohteista oli, että jalan koukistelu oli mahdollista saada aikaan myös yhdistämällä vain saman hermon kaksi kohtaa metallikaarella, ilman että lihas oli osana virtapiiriä. (Vastaavassa tilanteessa vertailukohtana käytetty Leidenin pullo ei vapauttaisi sähköä.) Myös Galvani oli huomannut tämän kokeissaan, mutta ei pitänyt sitä merkittävänä. Lisäksi Volta huomasi, että sammakon jalka oli hyvin herkkä nytkähtelemään pienelläkin sähkömäärällä ja alkoikin pitää sammakonjalkaa vain hyvin herkkänä elektroskooppina. Jatkossa Volta keskittyi tutkimaan Galvanin havaintoa, että kaksi eri metallia saivat aikaan voimakkaamman nytkähtelyn sammakon jalassa kuin kaksi samaa metallia. (Jälkimmäistä ilmiötä Volta ei saanut edes aikaan, koska hän ei valmistanut preparaatteja samanlaisella huolella ja tarkkuudella kuin Galvani, joka oli ammatiltaan kirurgi. ”Ehjän” eläimen pinta reagoi vain kahta eri metallia olevan kaaren kosketukseen). Olihan sammakko reagoinut samalla tavalla myös Leidenin puollosta tuotettuun keinotekoiseen ulkoiseen sähköön: Volta piti mahdollisena, että sähkö aiheutuikin kahden eri metallin kosketuksesta, ei eläimen sisäisestä sähköstä. (Piccolino, 1998)

Volta teki hyvin monipuolisia kokeita. Hän kokeili kaksimetallisen kaaren vaikutusta omaan kieleensä, sillä siinä lihas on hyvin lähellä ulkoista kontaktia. Tina-hopea-kaaren kontakti ei aiheuttanut lihaksen nytkähtelyä, mutta suussa maistui happamalta, mikä jatkui niin kauan kuin metallit olivat kosketuksessa kieleen. Volta kokeili myös silmällään saaden aikaan valohavainnon. Tämä koe tuki myös Voltan otaksumaa, että hermoreaktion saa aikaan ilman, että virtapiirissä on lihaskudosta. Laajojen kokeilujensa jälkeen Volta tuli siihen tulokseen, että kokeissa käytetyt eri metallit eivät toimi ainoastaan sähköä johteina, vaan tuottavat havaitun sähköä. (Piccolino, 1998)

Voltan kokeet ja tulokset herättivät edelleen kritiikkiä Galvanissa ja eläinsähkön puolustajissa. Osoittaakseen eläinsähkön olemassaolon, sekä Galvani (vuonna 1794) että pisalainen Eusebio Valli tekivät samantyyppiset kokeet, joissa lihaksen nytkähtely saatiin aikaan yhdistämällä sammakon toisen jalan hermo sammakon jalkalihakseen. Vuonna 1797 Galvani teki uuden kokeen, jonka tavoitteena oli nujertaa kaikki vastustus eläinsähköä kohtaan. Hän yhdisti huolella preparoidun sammakon reiden hermosäikeet sen toisen jalan hermoon kahteen kohtaan, jolloin molemmat jalat alkoivat toinen toisensa jälkeen nytkähdellä. Koe ei kuitenkaan vakuuttanut Voltaa ja hänen kannattajiaan, vaan kerrotaan, että tiedeyhteisö ei arvostanut sitä. Myöhemmin tätä koetta on pidetty perustana sähköfysiologian tieteenhaaran kehittymiselle. (Piccolino, 1998)

2.4.2 Voltan pylväs

Volta halusi osoittaa, että sähköä pystytään tuottamaan pelkkien metallien avulla ilman eläinkudosta. Kokeiltuaan useilla erilaisilla koejärjestelyillä hän lopulta sai tuotettua hopea- ja sinkkilevyjen välisen kosketuksen avulla sähköä. Hän havaitsi sähköä kondensaattoriin aiheuttaman jännitteen tiivistäjäelektroskoopilla. (Piccolino, 1998)

Tämän jälkeen Volta keskittyi tuottamaan metallilevyjen avulla aiempaa suuremman määrän sähköä (nykyisin: ”jännitteen”). Tämä onnistui vasta Voltan saatua vihjeen toiselta tutkijalta: vuonna 1796 firenzeläinen Giovanni Fabroni (1752-1822) keksi, että metallilevyjen välissä pitää lisäksi olla jotain nestettä, jotta sähköä syntyy. (Lindell, 1994, 90) Volta lisäsi metalliparien väliin suolaveteen kastetut kartonkipalat. Näin syntyi ensimmäinen paristo, josta Volta tiedotti kirjeitse Lontoon Royal Societyyn 20. maaliskuuta 1800. (Piccolino, 1998; Lindell, 1994, 92)

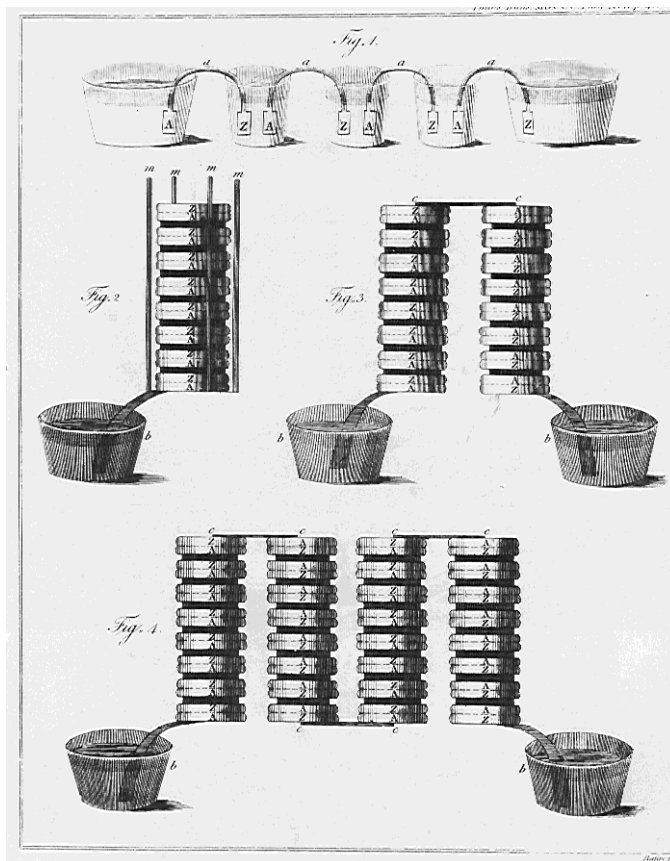
Voltan laitteessa, jota Voltan pylvääksi alettiin kutsua, oli pinottuna vuoronperään kupari- tai hopeakiekkoja ja tina- tai sinkkikiekkoja ja metalliparien väliin oli laitettu esim. suolavedellä kostutettu pala kartonkia tai nahkaa. Volta kertoo kirjeessään, että hopea-sinkki metalliparilla saadaan voimakkaampi sähköntuntemus aikaiseksi kuin kupari-tina -parilla. Volta korostaa, että kyseessä olevaa laitetta ei tarvitse ladata ulkopuolelta tuodun sähköän avulla vaan se latautuu itsestään yhä uudelleen ja uudelleen. Laitteen aiheuttama sähköinen tuntemus käsivarsissa ja muissa ruumin osissa on verrattavissa Leidenin puollon tai voimattoman sähkörauskun iskuun silloin, kun metallipareja on kasattu päällekkäin 20 kpl, kuitenkin sillä erolla, että sen vaikutus on jatkuva. (Leicester & Klickstein, 1952b) Kuvassa 8 on Pavian yliopiston museon rekonstruktio Voltan pylväästä.



Kuva 8. Rekonstruktio Voltan pylväästä. (Pavian yliopisto)

Rinnastamalla pylvään tuottamaa sähköä Leidenin puollon tuottamaan sähköön Volta halusi nimenomaan korostaa, että pariston tuottama sähkövirta oli samaa sähköä kuin aikaisemmin staattisesti tuotettu sähkö. Jokainen saattoi tuntea sähköjen samanlaisuuden kokeilemalla Leidenin pullon ja toisaalta Voltan pylvään antamaa vaikutusta ruumiissaan. Voltalle tämä oli riittävä todiste liittää ilmiöön jo olemassa oleva 'sähköisen nesteen' (electrical fluid) malli. Lisäksi Volta kertoo kirjeessään, että pariston tuottama sähkö on mitattavissa Cavallon elektrometrillä, mikä myös todisti näiden eri tavalla tuotettujen sähköjen samankaltaisuuden. (Kallunki, 2001)

Volta totesi myös, että jos haluaa kokeilla tuntemusta käsillään, pitää käsien olla kunnolla kostutetut ja sähköistä tuntemusta voi voimistaa kytkemällä toisessa kädessä olevan johtimen ylemmäs metallitornissa. Lisäksi Volta kertoi, että lämmin vesi johtaa paremmin sähköä kuin kylmä ja korosti, että kostutetut kiekot on parempi kostuttaa suolavedellä. Laitteen toimintaa voi tehostaa huomattavasti kytkemällä useampia metalliparipylväitä toisiinsa. Periaate tästä sarjaan kytkennästä on esitetty kuvassa 9. Volta esittelee sähköparista myös version, jossa metallilevyt on kytketty suolavesikupista toiseen (the crown of cups, kuva 9), jonka avulla on mahdollista saada voimakkaampi sähköinen efekti kuin pylväällä. Vaikeutena nimittäin oli, että rakennettaessa korkeampi pylväs metallilevyjen välissä olevista kosteista kartongeista puristui vettä pois pylvään toiminnan heiketessä. (Lindell, 1994, 93)



Kuva 9. Voltan kirjeestä Sir Joseph Banksille. (Leicester & Klickstein, 1952b, 240-242)

Kirjeessään Royal Societylle Volta kertoi vain havaintonsa laajoista tutkimuksistaan, mutta ei yrittänyt selittää siihen liittyvää ilmiötä millään teoriolla. (Kipnis, 2001). Voltan käsityksen mukaan sähkö muodostui metallien välisen kosketuksen aiheuttamana eikä kemiallisena tapahtumana. (Pavian yliopiston sivut)

Pian Voltan pylvään julkaisun jälkeen Volta kutsuttiin esittelemään keksintöään Ranskaan, jossa oltiin Coulombin ansiosta pitkällä sähkötekniikan kokeellisessa ja teoreettisessa tietämyksessä. Vierailun seurauksena alettiin Ranskassa etsiä teoreettista selitystä sähköparin toiminnalle. (Lindell, 1994, 92)

Keskustelu siitä, aiheutuiko Voltan pariston sähkö todella vain metallien kosketuksesta vai oliko kyseessä kemiallinen reaktio, jatkui aina 1900-luvulle saakka (Kragh, 2000). Volta itse pitäytyi käsityksessään, että metallien välinen kosketus sai elektronit liikkeelle ja sai aikaan sähköä, kun taas neste toimi vain sähkön johteena. Se kumpi metalleista veti puoleensa elektroneja voimakkaammin, määräsi elektronien suunnan. Mitä enemmän näitä metallipareja yhdistettiin, sitä nopeampi oli myös sähkövirta. (Kipnis, 2001)

Kipnis on analysoinut väittelyä Voltan pylvään synnyttämän sähköän alkuperästä. Väittely paljasti Voltan teoriassa monia ongelmia, mutta sen arvostelijat (mm. Nicholson ja Davy) eivät käyttäneet niitä hyväkseen. Volta hyväksyi lopulta sen, että myös nesteen läsnäolo oli tarpeen metallien lisäksi, jotta sähköä syntyy. (Kipnis, 2001)

2.4.3 Galvanin ja Voltan välisestä väittelystä

Galvanin ja Voltan välillä käydyn tieteellisen keskustelun sanotaan olevan yksi tieteen historian tärkeimmistä, koska sen ansiosta molemmat tieteilijät jatkoivat kokeitaan, jotka johtivat merkittäviin keksintöihin. Voltan kokeet johtivat sähköparin keksimiseen, mikä mahdollisti edelleen suuren määrän tutkimuksia ja keksintöjä sähköstä, sähkökemiasta, sähkömagnetismista ja muista sähköön liittyvistä ilmiöistä. Galvanin tutkimukset taas loivat pohjan sähköfysiologian tieteenalalle. (Piccolino, 1998)

2.5 Sähkökemian tutkimuksen alkuvaiheita

2.5.1 Pariston keksimisen vaikutus kemian tutkimukseen 1800-luvun alussa

1800-luvun ensimmäinen neljännes oli voimakasta kehityksen aikaa kemiassa. Luonnontiede oli hyvin kansainvälistä, tutkijat olivat jatkuvasti yhteydessä toisiinsa sodista huolimatta, ja lukuisia uusia tieteen aikakauslehtiä perustettiin. Kemia tunnustettiin ensimmäistä kertaa omaksi ammatikseen, toisin kuin ennen, jolloin kemisti yleensä valmistui ensin farmaseutiksi tai lääkäriksi. Yksityisiä kemian laboratorioita perustettiin ja yliopistoihin tuli lisää kemian professoreita. Jakoa ”puhtaaseen” ja ”soveltavaan” kemiaan ei vielä ollut, vaan teoreettisen kemian kehitys kulki käsi kädessä teknillisen kehityksen kanssa. Laajamittainen kemian teollisuus sai alkunsa. Kemian kehittyessä huimaa vauhtia myös tutkijat omistautuivat joko kemialle tai fysiikalle ja kemian ja fysiikan välinen läheinen yhteistyö alkoi heiketä. (Leicester, 1956, 165-170)

Ennen Voltan pylvään keksimistä sähköön tutkimus koski lähinnä staattista sähköä. Voltan pylvään avulla oli kuitenkin mahdollista saada aikaan jatkuvaa sähkövirtaa. Lisäksi virran voimakkuutta voitiin säädellä lisäämällä tai vähentämällä Voltan pylvään korkeutta eli metalliekkiparien määrää pylväässä. (Gribbin, 2003, 290)

2.5.2 Pariston kehityksestä

Voltan paristossa oli tiettyjä heikkouksia, minkä takia sitä alettiin parannella ja siitä kehittyi nopeassa tahdissa uusia versioita. Voltan parin sinkkilevyt hapettuivat helposti, minkä takia niitä piti muutaman päivän välein hioa puhtaaksi ja vetykaasukuplat, joita muodostui positiivisella elektrodilla, heikensivät pariston tehoa. (Lindell, 1994, 94) Tämä oli vielä ongelmana myös ensimmäisessä massatuotantoon tulleessa paristossa, jonka kehitti Voltan kuppisarjan perusteella William Cruickschank (1745-1800). Se koostui pitkästä puisesta kaukalosta, joka oli jaettu lokeroihin yhteen juotetuilla kupari- ja sinkkilevyillä. Elektrolyytinä toimi rikkihappoliuos. Tämä paristotyyppi oli yleisesti käytössä sähköntutkimuksessa aina vuoteen 1830 saakka. (Kipnis, 2001)

Muutamassa vuosikymmenessä Voltan paristo saatiin kehitettyä käyttökelpoiseen muotoon. Haitallinen vetykaasukuplien muodostuminen (ns. polarisoituminen), joka heikensi sähkönsä kulkua, saatiin estettyä laittamalla kummallekin elektrodille oma elektrolyytinesteensä, joiden sekoittumisen esti huokoinen väliseinä. Tämän keksi vuonna 1829 A.C. Becquerell, jonka pojanpoika keksi radioaktiivisuuden. Rakennetta kehitti edelleen J.F. Daniell 1836. Daniellin paristossa oli savilieriön sisällä rikkihapossa sinkkielektrodi, jota ympäröi kuparielektrodi kuparisulfaattiliuoksessa. Pariston jännite oli 1,08 V, ja sillä saatiin sähkövirtaa noin kuuden tunnin ajan. (Kipnis, 2001)

2.5.3 Veden elektrolyysi

Ensimmäinen sähkönsä avulla tuotettu kemiallinen reaktio oli veden elektrolyysi eli veden hajottaminen vedyksi ja hapeksi vuonna 1800. (Leicester, 1956, 165-170)

Volta lähetti pylvästään koskevan kirjeen Royal Societylle kahdessa osassa. Useat englantilaiset tutkijat olivat nähneet Voltan tutkimuslauseen ensimmäisen osan jo ennen kuin se luettiin Royal Societyssä. (Leicester, 1956, 165-170; Kipnis, 2001) Sen oli nähnyt myös Anthony Carlisle, joka oli Royal Societyn sihteerin Sir Joseph Banksin hyvä ystävä. Carlisle kokosikin tutkijaystävänsä William Nicholsonin kanssa Voltan pylvään ja aloitti tutkimukset sillä jo ennen kuin Voltan kuvaus pylväästä oli julkaistu. Anthony Carlisle oli lontoolainen kirurgi ja Nicholson taas liikemies, vesi-insinööri, opettaja ja tutkija sekä luonnontieteellisten kirjoitusten ja teosten laatija ja kustantaja. (Magie 1965b)

Nicholson ja Carlisle eivät varsinaisesti lähteneet etsimään veden elektrolyysiä, vaan sen löytäminen tapahtui sattumalta. Koottuaan Voltan pylvään he tarkistivat elektrometrin avulla, että pylväs todella tuotti sähköä. Varmistaakseen kontaktin johtimien ja Voltan pylvään välillä, he olivat laittaneet vesipisaran ylimmän metallilevyn päälle. Kun tähän tuotiin johdin, havaitsi Carlisle, että siitä irtosi kaasua, joka hänen mielestään ”haisi” vedyltä. Lukuisien jatkotutkimusten ja erilaisten koejärjestelyiden perusteella he varmistuivat siitä, että reaktiossa muodostui happea ja vetyä suhteessa 2:1. Lisäksi he havaitsivat, että vapautuneiden kaasujen määrä oli suorassa suhteessa käytetyn sähkövirran määrään. (Magie 1965b)

Nicholson ja Carlisle odottivat, että Voltan kirjeen toinen osa saapui ja esitettiin Royal Societylle, ennen kuin julkaisivat tuloksensa heinäkuussa 1800 Nicholsonin omassa lehdessä, jolla oli näin kunnia julkaista ensimmäinen sähkökemiallinen tutkimus. Jatkossa Nicholsonin lehdessä julkaistiin mm. ”tee-se-itse”-ohjeet Voltan pylvästä ja Sir Humphry Davyn sähkökemian tutkimuksia. (Magie 1965b)

2.5.4 Uusia alkuaineita elektrolyysin avulla

Humphry Davy (1778-1819), oli eräs merkittävistä kemian tutkijoista 1800-luvun alussa, Royal Institutionin johtaja (1802-1812) ja pidetty luennoitsija. Hänen tärkeimmät työnsä koskivat sähkökemialla ja hän teki myös sähköön liittyviä keksintöjä.

Tutkimuksissaan Voltan pylväällä vuonna 1800 Davy havaitsi, että sähköä avulla oli mahdollista hajottaa myös hyvin pysyviksi luultuja aineita. Jo Lavoisier oli epäillyt, että osa alkuaineiksi luulluista maa-alkalimetalleista olisivat itse asiassa vielä tuntemattomien metallien oksideja, ei alkuaineita. Davy sai lopulta elektrolyysin avulla eristettyä kaliumin potaskasta ja natriumin soodasta. (Leicester & Klickstein, 1952b)

Davy käytti potaska- ja soodaliuoskokeissaan Voltan pylvästä, jossa oli 100 kpl kuuden neliötuuman kokoisia kupari- ja sinkkilevyä. Hän kokeili lukuisia eri kytkentöjä, mutta ei onnistunut hajottamaan yhdisteitä vaan sai aikaaan vain vetyä ja happea, jotka olivat peräisin vesiliuoksesta. Lopulta hänen onnistui (1807) hajottaa potaska käyttämällä kokeessa liuoksen sijaan sulatettua potaskaa ja Voltan paristoa, jossa oli 250 kupari- ja sinkkilevyä. Kaliumin eristäminen oli vaikeaa jo siitäkin syystä, että tuote, jota saatiin hyvin pieni määrä, reagoi saman tien räjähtämällä ja syttymällä kiivaasti palamaan. Davy käytti samaa menetelmää myös natriumin eristämiseen soodasta. Davyn kuvaus natriumin eristämisestä on hurjaa luettavaa: (Leicester & Klickstein, 1952b)

”When the power of 250 was used, with a very high charge for the decomposition of soda, the globules often burnt at the moment of their formation, and sometimes violently exploded and separated into smaller globules, which flew with great velocity through the air in a state of vivid combustion, producing a beautiful effect of continued jets of fire.” (Leicester & Klickstein, 1952b)

”Kun soodan hajottamiseen käytettiin hyvin korkeaa latausta, 250 levyn paristoa, pisarat paloivat usein syntymishetkellään. Joskus pisarat räjähtivät kiivaasti ja erottuivat yhä pienemmiksi pisaroiksi, jotka sitten kiisivät ilmassa kovalla nopeudella kirkkaasti palaen ja tuottivat kauniin jatkuvan liekkisuihkun.” (Leicester & Klickstein, 1952b)

Davy ei ollut varma kaliumin ja natriumin metalliluonteesta. Käytyään asiasta keskustelua muiden tieteilijöiden kanssa hän tuli siihen tulokseen, että niitä voidaan pitää metalleina niiden metallikiillon sekä sähkön- ja lämmönjohtokyvyn vuoksi. (Leicester & Klickstein, 1952b)

Vuonna 1808 Davy eristi ensi kertaa myös kalsiumin. Tässä hän käytti apuna sähkövirtaa ja amalgaamia, jota hän sai aikaan kytkemällä sähkövirran kalkin ja elohopean seokseen. Tuloksena oli kalsiumamalgaamia, josta elohopea saatiin tislamalla pois. Samaa menetelmää soveltaen hän eristi pian myös bariumin, magnesiumin ja strontiumin. Booria Davy sai valmistettua käyttämällä hyväksi kaliumin pelkistävää vaikutusta. (Leicester, 1956, 165-170; Hudson, 1995, 150)

Davy käytti Voltan paristoa myös tutkimuksissaan, joiden tuloksena hän totesi, että kloori on alkuaine eikä yhdiste. Lavoisier oli esittänyt, että muriaattihappona vielä tuolloin tunnettu aine olisi jonkin tuntemattoman aineen oksidi eikä alkuaine. Näin ollen tutkimuksessa oksimuriaattihapossa olisi pitänyt olla vielä enemmän happea. Kokeissa käytetyssä Voltan paristossa oli 1000 levyä, mutta siitä johdettu sähkö ei irrottanut oksimuriaattihaposta happea, mikä olisi osoittanut Lavoisierin oletuksen oikeaksi. (Leicester & Klickstein, 1952c) Sen sijaan Davy osoitti pitkällisten kokeiden tuloksena, että oksimuriaattihappo oli happea muistuttava aine. Davy antoi sille nimen kloori, joka kuvaa kyseisen kaasun vihreää väriä. Lisäksi hän tuli tulokseen, että muriaattihappo onkin kloorin ja vedyn yhdiste. (Hudson, 1995, 151)

Davy, joka oli monipuolinen tutkija ja teki perusteellista työtä, totesi myös, että sähkövirta on suoraan verrannollinen johtimen poikkipinta-alaan ja kääntäen verrannollinen sen pituuteen. (Lindell, 1994, 132). Davy osoitti, että sähkön syntymiseen liittyy kemiallinen reaktio, eikä Voltan esittämä pelkkä kahden metallin välinen kontakti riitä. Hän teki kokeita erilaisilla metallipareilla ja liuoksilla päätyen siihen tulokseen, että toinen metalleista hapettuu. (Hudson, 1995, 145-152)

Sähkön ja kemiallisten reaktioiden välinen yhteys tuli hyvin esiin elektrolyysissä. Kun kerran sähköllä voitiin hajottaa yhdisteitä, oli luonnollista olettaa, että molekyyliä koossapitävät voimat olisivat myös luonteeltaan sähköisiä. (Leicester, 1956, 165-170)

Davy esitti, että molekyyliden osat ovat toisissaan kiinni sähkövoimalla, ja kun yhdisteeseen tuodaan ulkopuolista sähkövoimaa, tämä sidos voi mennä rikki.(Lindell, 1994, 94-98)

2.5.5 Elektrolyysilait

Michael Faradayn (1791-1867) tutkimukset sähköstä liittyivät pääasiassa fysiikkaan. Hänet tunnetaan parhaiten sähkömagneettisen induktion keksimisestä (1831). Myös Faradayn sähkökemian tutkimukset olivat merkittävät. Faraday tutki elektrolyysiä ja julkaisi v.1832-1833 ns. elektrolyysilait: (Leicester,1956,165-170) Lindell esittää ne suomeksi seuraavasti: (Lindell, 1994, 162)

1. *Massa, joka vapautuu elektrodilla on verrannollinen elektrolyytissä kulkevan sähkön määrään.*
2. *Massa, jonka tietty sähkömäärä vapauttaa, on verrannollinen alkuaineen atomipainoon ja kääntäen verrannollinen sen valenssiin.*

Faraday kehitti sähkökemian termistöä yhdessä luonnontieteiden historioitsija William Whewellin (1794-1866) kanssa. Käyttöön otettiin sanat electrode (elektrodi), anode (anodi), cathode (katodi), ion (ioni), anion (anioni) ja cation (kationi).(Leicester, 1956, 165-170)

3. Historiallinen lähestymistapa kemian opetuksessa

Tässä luvussa tarkastellaan, miten sähkökemian historia voidaan liittää osaksi perusopetuksen kemiaa. Luvussa 3.1 tuodaan esiin historiallisen näkökulman yhteys perusopetuksen opetussuunnitelman perusteitten tavoitteisiin. Luvussa 3.2 esitellään aikaisempaa tutkimustietoa niistä hyödyllisistä vaikutuksista, mitä historiallisella näkökulmalla voi olla kemian opetukseen. Koska tuotetussa opetuspaketissa kemian opetukseen integroidaan historiaa, tarkastellaan luvussa 3.3 historian opetuksen didaktiikkaa siltä osin, kuin se sivuaa opetuspakettia.

3.1 Peruskouluopetuksen opetussuunnitelman perusteet

Perusopetuksen kemiassa sähkökemialliset ilmiöt, sähköpari, elektrolyysi ja niiden sovellukset opetetaan metallien kemian yhteydessä yleensä 8. luokan kemian kurssissa, jolloin keskeisen sisällön otsikkona on ”Raaka-aineet ja tuotteet”. (POPS 2004)

Peruskouluopetuksen opetussuunnitelman perusteitten mukaan eräs kemian opetuksen tehtävistä on vuosiluokilla 7–9 laajentaa oppilaan tietämystä kemiasta ja kemiallisen tiedon luonteesta. Lisäksi opetuksen tulee ohjata oppilasta luonnontieteille ominaiseen ajatteluun. Opetuksen tulisi antaa aineksia myös nykyaikaisen maailmankuvan muodostamisen kannalta ja oppilaan tulisi oppia tuntemaan kemian ilmiöiden ja sovellusten merkitys ihmiselle ja yhteiskunnalle. (Opetushallitus, 2004)

Keskeinen lähestymistapa kemian opetuksessa on kokeellisuus, johon opetus tukeutuu. Kokeellisuuden avulla tutkitaan elinympäristöön liittyviä aineita ja luonnonilmiöitä. Tavoitteena on, että *”kokeellisuus auttaa oppilasta hahmottamaan luonnontieteiden luonnetta ja omaksumaan uusia luonnontieteellisiä käsitteitä, periaatteita ja malleja, kehittää käden taitoja, kokeellisen työskentelyn ja yhteistyön taitoja sekä innostaa oppilasta kemian opiskeluun.”* (Opetushallitus, 2004)

Kemian opetuksen historiallista näkökulmaa ei suoraan mainita opetussuunnitelman perusteissa, mutta kemian historiaan tutustumisen avulla on mahdollisuus toteuttaa monia opetussuunnitelman perusteitten asettamia yleisiä tavoitteita. Luvussa 2 esitellyn sähkökemian historian avulla voidaan mm.

- Tutustua luonnontieteelle ominaiseen ajatteluun
- Laajentaa oppilaan tietämystä kemiasta ja kemiallisen tiedon luonteesta (ks.3.4.1)
- Auttaa oppilasta ymmärtämään teknologian merkitys jokapäiväisessä elämässä ja miten se on vaikuttanut nykyaikaisen yhteiskunnan muovautumiseen.
- Tuoda esiin kokeellisuuden merkitys kemian historian kulussa sekä ilmiöiden kuvaamisen, selittämisen ja tulkitsemisen tärkeys.
- Lisätä oppilaan kemiaan ja luonnontieteisiin liittyvää yleissivistystä.
- Tuoda uusi näkökulma kemian opiskeluun ja herättää näin uutta kiinnostusta kemiaa kohtaan.

3.2 Aikaisempi tutkimustieto kemian opetuksesta historian näkökulmasta

Useat tutkimukset tukevat historiallista näkökulmaa kemian opetuksessa.

Gerald Holton herättelee artikkelissaan tarttumaan töihin ja tuottamaan opetuskäyttöön uusia materiaaleja, jotka tuovat luonnontieteitten historian näkökulman opetukseen. Hän perustelee tätä lainaamalla National Academy of Sciencesin raporttia vuodelta 1996 (otsikko National Science Education Standards), joka tukee historian liittämistä luonnontieteiden opetukseen seuraavin argumentein: Oppilaitten tulisi ymmärtää, että tiede on yhä muuttuvassa kehityksen tilassa ja heijastelee omaa historiaansa. Luonnontieteen historia tuo esiin tieteen inhimillisyyden, kirkastaa tieteellisen tutkimuksen näkökulmaa ja kertoo myös monesti siitä, miten luonnontieteen kehitys on vaikuttanut eri kulttuurien kehitykseen. (Holton, 2003)

Kemian historian esiin tuominen luonnontieteitten opetuksessa on osoittautunut hyödylliseksi ja tärkeäksi. Historiallinen näkökulma kemian opetuksessa opettaa oppilaille, millainen on luonnontieteen luonne. (Justi & Gilbert, 1999) Kemian historian tunteminen vaikuttaa opettajan käsitykseen luonnontieteitten luonteesta. Tämä puolestaan vaikuttaa opettajan opetustapoihin ja siihen, minkä käsityksen oppilaat saavat kemiasta luonnontieteenä. Tietämys siitä, kuinka tiede on kehittynyt tukee menestyksellistä oppimista luonnontieteissä ja auttaa myöhemmin sen tulkinnassa kehittäen tieteellistä lukutaitoa. (Lin, Chen, 2002)

Koska kemian oppikirjojen on mahdotonta pysyä mukana siinä kehityksessä, mikä kemian alalla tapahtuu, on kemian oppikirjat vakiintuneet esittämään tietyt kemian perusilmiöt. Oppikirjat kautta maailman ovat hyvin samanlaisia. Muutokset kemian oppikirjoissa suhteessa tieteellisen tietämyksen määrän lisäykseen ovat olleet vähäisiä viimeisten kolmen vuosikymmenen aikana. Samalla, kun kursseihin on kuitenkin täytynyt tehdä tilaa myös uusille asioille, ovat viittaukset historiaan jääneet pois. Monet ilmiöistä on kuitenkin keksitty jo kauan aikaa sitten. Chamizo esittääkin artikkelissaan näkemyksen, että kemian opettajat ovat itse asiassa historian opettajia. (Chamizo, 2007)

Luonnontieteellisten teorioitten kehitys ei ole ollut lineaarista. Teoriat ja mallit ovat muokkautuneet alkuperäisestä muodostaan tai selittävät jopa kokonaan toisia ilmiöitä kuin mitä alun perin oli tarkoitus. Historialliset keksinnöt ja kokeet voidaan usein toistaa luokassa ja näin parantaa opetusta antamalla oppilaille löytämisen riemu. Kemian historian avulla voidaan tuoda esiin tieteen kehityksen jatkuva muutos sen sijaan, että se opetettaisiin ikään kuin muuttumattomana totuutena. (Binnie, 2001)

Tutkimuksissa on todettu, että oppilaat luottavat enemmän matemaattisiin ratkaisutaitoihinsa kuin päättelykykyynsä. Lin on tullut siihen tulokseen, että tuomalla luonnontieteitten historia opetuksen avuksi voidaan parantaa 8-luokkalaisten oppilaitten kykyä ratkaista käsitteellisiä ongelmia. (Lin, 1998)

Tutustuminen kemian historiaan tuo esille sen tosiasian, että ihmiset kaikkine heikkouksineen ovat keksineet kemian. Kemian historian mukaan ottaminen opetukseen voi tehdä kemiasta inhimillisempää ja tuoda sen lähemmäksi oppilaan todellisuutta. Jos historiaan ei tutustuta, voi siitä seurata oppilaalle se väärinkäsitys, että kemia on jäykkä ja muuttumaton tiede ja aina oikeassa. (Herron, 1977)

Solbes ja Traver osoittavat tutkimuksessaan, että kunnollinen tutustuminen luonnontieteisiin historian ja sosiologian näkökulmasta parantaa lukiolaisten asenteita luonnontieteitä kohtaan ja mielikuvaa niistä. Tutkimuksen taustana oli kasvanut huoli siitä, että monet eri ryhmittymät syyttävät luonnontieteitä kaikesta siitä pahasta, mitä uudet teknologiat ja niiden mukanaan tuoma globalisaatio on aiheuttanut maailmassa. Kun lisäksi luonnontieteen tutkimus esiintyy (Espanjassa) varsin pinnallisessa muodossa

mediassa, ja kouluissa harrastetaan yhä vähemmän kokeellisuutta luonnontieteissä, ovat oppilaat olleet halukkaita jättämään luonnontieteet ensimmäisen tilaisuuden tullen. (Solbes & Traver, 2003)

Osana tutkimustaan Solbes ja Traver tekivät oppikirja-analyysin lähes kaikista vuonna 1996 Espanjassa käytössä olleista lukiotason oppikirjoista (48kpl). Oppikirjoissa oli tiettyjen käsitteiden yhteydessä kuvattu sen historiallista kehitystä. Näitä viittauksia historiaan löytyi kiitettävässä määrin. Tutkijat toteavat, että viittaukset olivat kuitenkin aina samoista perinteisistä aihealueista: atomimalleista, valon kaksoisluonteesta, lämpöopin teorian synnystä. Lisäksi löytyi lyhyitä elämäkertoja, vähäpätöisiä mainintoja ja pieniä historiallisia anekdootteja. Tutkijat eivät löytäneet esim. lainauksia alkuperäisistä teksteistä. Yksikään oppikirjoista ei käyttänyt historiaa opetusnäkökulmana eikä myöskään mahdollisena juonena. Tutkijat kiinnittivät huomiota myös siihen, että historiaan liittyviä harjoitustehtäviä, kotitehtäviä tai ryhmätöitä ei esiintynyt oppikirjoissa muualla kuin ylimääräisissä materiaaleissa kirjan tai kappaleen loppuosassa. On luultavaa, että näiden tehtävien tekeminen on jäänyt pääasiassa oppilaitten vapaaehtoisuuden varaan. (Solbes & Traver, 2003)

Tuomalla historia osaksi kemian opetusta voidaan muokata mielikuvaa luonnontieteistä ja sen kehityksestä. Luonnontieteen historian avulla voidaan kertoa, kuinka tieteellinen tieto on rakentunut, missä historiallisissa ja sosiaalisissa yhteyksissä teorit ovat kehittyneet ja miten ne ovat vaikuttaneet nykypäivän maailmaan. (Solbes & Traver, 2003; Justi, 2000, 210; Osborne et al. 2002)

Kemian historiaan tutustuminen laajentaa oppilaan kokonaiskuvaa kemiasta. Henkilökuvat ja kemian kehityshistoriaan kuuluvat kertomukset antavat yleissivistävää tietoa sovellusten kehittymisestä samalla motivoiden ja innostaen oppilaita. Historiallisen lähestymistavan kautta oppilaat saavat syvällisemmän käsityksen siitä, kuinka käsitteet ja teorit muokkautuvat jatkuvasti. (Ahtee & Pehkonen, 2000, 66)

Justi (2000) koonnut listan niistä perusteluista, miksi useiden asiantuntijoiden mielestä historiallinen näkökulma tulisi tuoda aktiivisemmin osaksi opetusta: (Justi, 2000)

- Se lisää oppilaitten motivaatiota opiskella luonnontieteitä
- Se haastaa miettimään historiallisia kysymyksiä ja ajattelemaan kriittisesti.
- Luonnontieteistä tulee haastavampaa.
- Se häivyttää liiallista nerouden leimaa, joka usein liitetään tutkijoihin.
- Se edistää vuorovaikutusta eri tieteen alojen välillä.
- Se tekee luonnontieteen opetuksesta humanimpaa ja tuo esiin sen sosiaaliset perspektiivit.
- Se osoittaa, miten luonnontieteet, sosiaaliset muutokset ja teknologia ovat vuorovaikutuksessa keskenään.
- Jos lähdetään oletuksesta, että historia toistaa itseään, historian tuntemus auttaa opettajaa ymmärtämään paremmin oppilaitten lapselliset ajatuskulut ja auttaa opettajaa muuttamaan heidän käsityksiään.

Historiallisen näkökulman toteutus on usein haasteellista. Opettajista voi tuntua siltä, että arvokasta opetusaikaa on turha tuhjata toisarvoiseen, uuteen asiaan siinä pelossa, että perusasiat jäävät opettamatta. Lisäksi pelätään, että kemian historia on oppilaitten mielestä tylsää. Suurin este historian sisällyttämisessä kemian opetukseen on kuitenkin sopivan, tiiviin ja keskeiset asiat sisältävän kemian historian materiaalin puuttuminen. (Wandersee & Baudoin Griffard, 2002)

3.3 Historian opetuksen didaktiikka

Liitteenä olevan opetuspaketin (liite 3) virittäytymisosiona on valmistettu kaksi PowerPoint –esitystä, jossa esitellään sähkökemian historian pääkohdat 1600-luvulta pariston keksimiseen saakka, elektrolyysin historiaa sekä pariston keksimisestä alkaneen sähkökemian historian alkuvaiheita. Tässä luvussa esitellään työpakettiin liittyvää historian didaktiikkaa.

Historian opetuksen didaktiikka esittelee useita eri historian työtapoja, joista tässä työssä käytetään kerrontaa lyhyenä opetustuokiona oppitunnin aluksi. Kerronnan opetustavassa nousee opettajan puhetaito merkitseväksi. Opettajan on hyvä tiedostaa, että hän voi vaikuttaa omaan kerrontatapaansa monin pienin keinoin. Historian didaktiikka luetteloi perusasiat, joihin kiinnittää huomiota: (Castrén et al., 1982)

- *Puheen on oltava tavallista ja nopeuden ehkä hieman hitaampaa kuin normaalissa keskustelussa.*
- *Oikeissa paikoissa pidetyillä tauoilla tehdään esityksestä jännittävä ja mielenkiintoinen ja annetaan oppilaille pohdinta-aikaa ennen ratkaisevia kohtia.*
- *Äänen voimakkuuden on vaihdeltava esityksen sisällöstä riippuen*
- *Esityksen elävyys ja innostuneisuus saavat oppilaat mukaan, vaikka asia ei olisikaan niin kiinnostava.*
- *Kielen on oltava huolellista ja ymmärrettävää; puhekieli ja slangi silloin tällöin ovat paikallaan, mutta ajan mittaan niiden teho on mitätön ja vaikutus suorastaan arveluttava*
- *Harvinaisia sivistyssanoja ja vierasperäisiä sanoja on kerronnassa aiheellista välttää – jos niitä joutuu käyttämään, ne on selitettävä.*
- *Tarinaa dramatisoimalla saadaan esitys jäämään paremmin mieleen.*

3.3.1 Historian integrointi kemian opetukseen

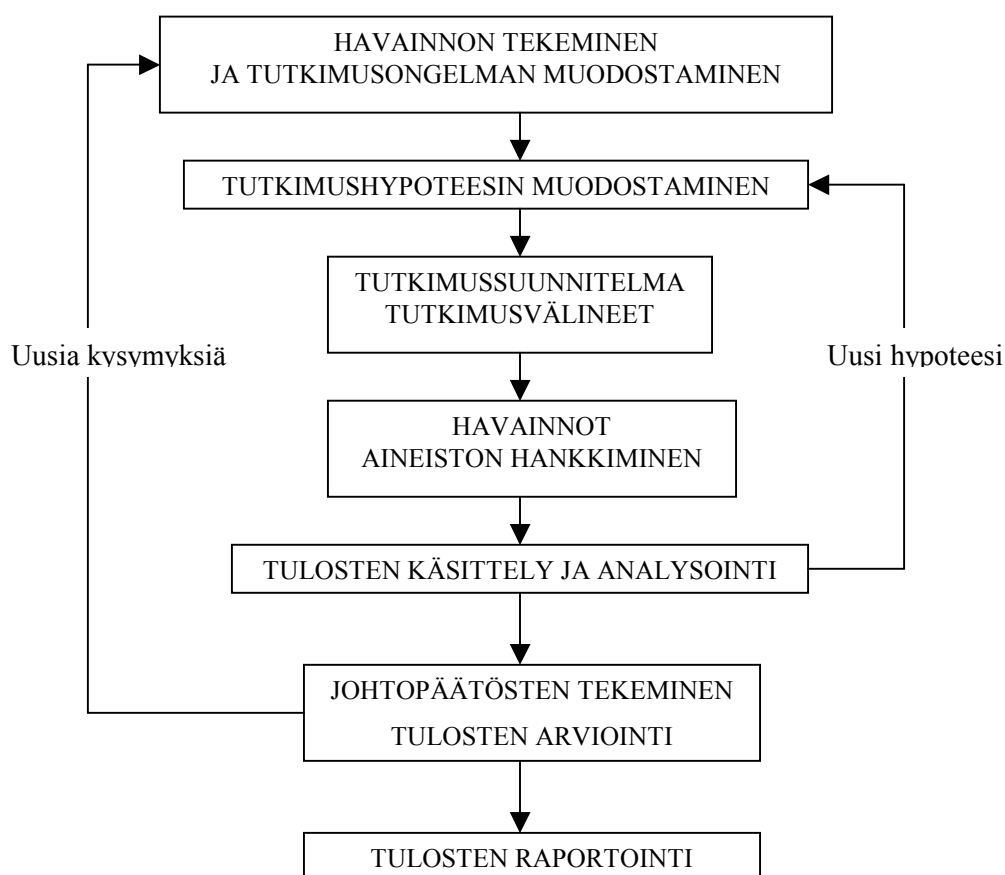
Historiaa voidaan tuoda esille hyvin monilla eri tasoilla. Justi mainitsee seuraavat eri tasot, millä opetuksessa voidaan tuoda esille luonnontieteitten historiaa. (Justi, 2000, 210)

1. Vain keksijän nimi ja vuosiluku mainitaan. Tämä on hyvin pinnallinen lähestymistapa, sillä se ei paljasta lähtöajatuksia, malleja, teorioita, eikä filosofista puolta keksinnöstä.
2. Esitellään lyhyt elämäkerta tutkijasta. Eri tutkijat ovat uskoneet, että jo tämä tekee kyseessä olevasta teoriasta kiinnostavampaa ja lisää aiheen ymmärrystä tuomalla aiheen lähemmäksi kuulijaa.
3. Esitellään kyseistä teoriaa edeltäneet ideat ja ehkä joitakin tapahtumia historiasta asiaan liittyen. Näin tehdään monissa oppikirjoissa, joissa tieto on monesti laitettu pikku tietoruutuun.
4. Oppilaiden ideoita verrataan historiallisiin ideoihin ja koitetaan näin todistaa että historiallinen idea on riittämätön ja pitäisi korvata uudella.
5. Toteutetaan kokeellinen työsarja siten, kuin se on toteutunut historiallisesti sen keksimishetkellä. Käytetään kuitenkin uusia työvälineitä ja laitteita, jolloin työ on helpompi ja halvempi. Tällainen lähestymistapa selkiinnyttää oppilaalle, miten tieto on syntynyt ja miten tutkijat tekevät töitä.
6. Historiallisten tapahtumien dramatisointi.
7. Historialliset ja filosofiset perspektiivit tuodaan julki jo peruskursseilla.
8. Esitellään historiallinen tapaustutkimus nojautuen tutkijoiden alkuperäisiin muistiinpanoihin. Tämä tukee luonnontieteen prosessien rakenteen oppimista.
9. Historian aikajanan kokoaminen luonnontieteen historiasta.
10. Kokonainen oppikurssi tai sen osa järjestetään historiallisen lähestymistavan pohjalta.

3.4 Kokeellisuus ja historiallinen näkökulma

Kokeellisuus on tärkeä osa yläkoulussa tapahtuvaa kemian opetusta. *Kokeellisuuden tulee auttaa oppilasta hahmottamaan luonnontieteiden luonnetta ja omaksumaan uusia luonnontieteellisiä käsitteitä, periaatteita ja malleja, kehittää käden taitoja, kokeellisen työskentelyn ja yhteistyön taitoja sekä innostaa oppilasta kemian opiskeluun* (POPS 2004). Tämän työn liitteenä olevassa opetuspaketissa oppilaat tutustuvat sähkökemian historiaan ja tekevät sen jälkeen tutkivan oppimisen työtavalla osittain kokeellisen tutkimuksen.

Luonnontieteellisen tutkimuksen malli on ollut sama kautta historian (kuva 10). Hypoteesin tekemisen jälkeen ilmiötä tutkitaan kokeellisesti. Havainnot ja tulokset kirjataan huolellisesti ja niitä verrataan hypoteesiin, joka joko hylätään tai hyväksytään. (Duschl, 1994). Oppilas saa kokeellisia töitä tehdessään omakohtaisen kokemuksen luonnontieteellisestä tutkimuksesta. (Aksela, 2001)



Kuva 10. Luonnontieteellisen tutkimuksen malli. (Yli-Panula, 2000, 110)

Kokeellisen työn tarpeellisuus kouluopetuksessa kemian käsitteiden oppimisen apuvälineenä on tunnustettu jo lähes 200 vuotta sitten. (Lazarowits & Tamir, 1994, 94) Kokeellinen työskentely kemian oppitunneilla tarjoaa oppilaalle mahdollisuuden harjoitella havainnointia ja käytännön työskentelytaitoja, minkä lisäksi se paljastaa kemiallisen työskentelyn tarkkuuden merkityksen (Green et al., 2004). Parhaimmillaan ne yhdistävät teorian käytäntöön ja tarjoavat tilaisuuden syvempään kemian käsitteiden ymmärrykseen (Aksela, 2001).

Perinteinen, usein tarkkojen ohjeiden mukaan tapahtuva laboratoriotyöskentely ei kuitenkaan välttämättä paljasta luonnontieteellisen tutkimuksen luonnetta. Siitä puuttuu älyllinen haaste ja jännitys, samoin kuin turhautuminen ja palkitsevuus, joita uuden etsiminen ja löytäminen tarjoaa. Tutkivan oppimisen työtapa laboratoriotyöskentelyssä painottaa selkeää tieteellistä työskentelytapaa, jossa oppilas muodostaa oman hypoteesinsa ja testaa sitä valitsemallaan teoreettisella tai itse suunnittelemallaan kokeellisella työtavalla. Oppilas omistautuu työlleen oikean tutkijan tavoin, jolloin hänelle avautuu luonnontieteellisen työn luonne. (Green et al., 2004) Kemian käsitteen oppiminen kokeellisesti tapahtuu tehokkaammin tutkivan oppimisen menetelmällä kuin perinteisellä kokeellisella menetelmällä. (Minner et al., 2009)

3.4.1 Luonnontieteen luonne

Jo lähes sadan vuoden ajan on ollut laaja yhteisymmärrys siitä, että luonnontieteiden kouluopetuksen yksi tärkeimmistä päämääristä on välittää oppilaille käsitys siitä, mikä tai millainen on luonnontieteiden luonne. Perinpohjaista yksiselitteistä yhteisymmärrystä siitä, mikä luonnontieteitten luonne on, on ollut luonnontieteen filosofien, historioitsijoiden ja sosiologien keskuudessa vaikea saavuttaa. Yleisellä tasolla, joka soveltuu hyvin perusopetukseen, voidaan luonnontieteen luonnetta kuvata seuraavasti: (Lederman & Abd-El-Khalick, 2003)

Luonnontieteet ovat luonteeltaan:

- kyseenalaistavaa
- kokeellista
- teoriasta johdettua
- osittain ihmisen päättelyn, mielikuvituksen ja luovuuden tulosta
- sosiaalisesti ja kulttuurisesti syvään juurtunutta

Lisäksi luonnontieteen luonnetta määrittävät seuraavat tärkeät seikat:

- havainnoinnin ja päättelyn erottaminen toisistaan
- se, että ei ole yhtä tiettyä reseptiä luonnontieteellisen tutkimuksen tekemiseen
- luonnontieteellisten teorioitten ja lakien väliset toiminnot ja suhteet

Tietty yhteisymmärrys luonnontieteen luonteesta on löydettävissä. Osborne et al. esittää yhdeksän tärkeintä teemaa luonnontieteiden luonteesta, jotka 23:lle kansainvälisesti tunnetulle luonnontieteen opetuksen asiantuntijalle suunnatussa kolmivaiheisessa Delphi -kyselytutkimuksessa nousivat keskeisiksi. Nämä teemat on esitetty taulukossa 1. (Osborne et al., 2003)

Taulukko 1. Keskeiset teemat, jotka kuvaavat luonnontieteen luonnetta ja tulisi olla osana kouluopetusta. (Osborne et al, 2003)

KESKEINEN TEEMA	SELITYS / MITÄ OPPILAAN TULISI TIETÄÄ LUONNONTIETEEN LUONTEESTA
Luonnontiede ja varmuus	Tietoisuus siitä, että tämänhetkinen tieto on paras, mitä löytyy, mutta saattaa muuttua ajan myötä tutkimustulosten tai niiden tulkinnan muuttuessa.
Tulosten analysointi ja tulkinta	Luonnontieteellisessä prosessissa tulokset tulkitaan saatavilla olevan tiedon pohjalta, mistä syystä tutkijat voivat olla eri mieltä samoista tutkimustuloksista.
Luonnontieteellinen menetelmä ja kriittinen testaaminen	Luonnontieteellinen menetelmä koostuu kokeellisista tutkimuksista ja tietyistä peruseräiteistä, kuten tulosten kontrollointi ja toistaminen.
Hypoteesit ja ennustaminen	Tutkijat muodostavat hypoteeseja ja ennakkokäsityksiä luonnon ilmiöistä. Tämä on keskeinen osa luonnontieteellistä tutkimusprosessia.
Luovuus ja kyseenalaistaminen	Luonnontieteellisessä prosessissa luovuus ja mielikuvitus ovat tärkeitä tekijöitä. Tutkijan innostus ja omistautuminen työlleen vaatii inspiraatiota ja mielikuvitusta. Tutkijan työssä kysymykset johtavat vastauksien kautta aina uusiin kysymyksiin. Näin muodostuu uusia teorioita ja tekniikoita, jotka testataan kokeellisesti.
Yhteistyö tieteellisen tiedon muodostuessa	Luonnontieteellinen työ on yhteisöllistä ja kilpailuhenkistä. Työ tehdään usein ryhmissä, jotka koostuvat eri tieteenalojen ja kansallisuuksien edustajista. Tutkimustulokset julkaistaan ja ne käyvät läpi kollegoiden kriittisen arvioinnin ennen kuin ne voidaan hyväksyä.
Luonnontieteellisen tiedon historiallinen kehitys	Oppilaan tulisi tietää jotain luonnontieteellisen tiedon kehittymisen historiallisesta taustasta.
Luonnontieteellisen ajattelun monimuotoisuus	Ei ole olemassa vain yhtä oikeaa tieteellistä menetelmää tai lähestymistapaa vaan useita sellaisia.
Luonnontiede ja teknologia	Luonnontiede ja teknologia eivät tarkoita samaa asiaa.

4. Tutkiva oppiminen työtapana

“Meille tutkiva oppiminen edustaa ihmettelevää ja tutkivaa asennetta maailmaan ja tietoon” - Kai Hakkarainen, Kirsti Lonka, Lasse Lipponen 2004.

Tämän tutkimuksen tuloksena tuotettavassa tehtäväpaketissa sähkökemian opetusta lähestytään tutkivan oppimisen työtapaa käyttäen. Tutkivasta oppimisesta (engl. inquiry-based learning) voidaan käyttää myös termiä tutkimuksellinen opiskelu (Aksela, 2005).

Tutkivan oppimisen juuret löytyvät konstruktivistisesta oppimiskäsityksestä, jonka mukaan yksilön tieto rakentuu aktiivisen ajattelun kautta siten, että yksilö vertaa uutta tietoa aiempaan tietorakenteeseensa sitä korjaten tai edelleen uudella tiedolla täydentäen. Oppiminen on sosiaalinen tapahtuma, missä oppijan on itse omistauduttava työlleen ja oltava siitä tietoinen. (Minner et al., 2009)

Tutkivan oppimisen taustalla on ajatus siitä, että yksilölle uuden tiedon ymmärtäminen on samantapainen prosessi kuin minkä teorian keksinyt tiedemies on alun perin käynyt läpi keksiessään sen. On siis tarkoituksenmukaista rakentaa oppimisprosessi jäljittelemällä tiedon rakentamisessa tieteelliselle tutkimusryhmälle tyypillisiä käytäntöjä, kuten ajatusten toisille esittämistä ja sosiaalista vuorovaikutusta muiden tutkijoiden kanssa. (Hakkarainen et al. 2004, 301; DeBoer, 2004). Tutkivan oppimisen työtavalla luonnontieteellinen tieto rakentuu siten, että oppilas tekee havaintoja ja arvioi niitä sekä niiden merkitystä aikaisemman tietopohjansa perusteella. (Aksela & Montonen, 2007; Hakkarainen & Hakkarainen, 2004)

Laaja yhteenvetotutkimus, joka kokoaa 18 vuoden aikana tehdyt tutkivaa oppimista koskevat tutkimukset, paljastaa trendin joka puolustaa tutkivan oppimisen työtavan käyttämistä erityisesti siinä tapauksessa, että opetus edellyttää oppilaalta aktiivista omaa ajattelua ja johtopäätösten tekoa tuloksista. (Minner et al., 2009). Kun ongelmaa lähestytään tutkivan oppimisen työtavalla, siihen haetaan järjestelmällisesti ratkaisua etsimällä tietoa erilaisista tietolähteistä, kokeita tekemällä tai havaintoaineistoa hankkimalla. Ongelmaa ei voida ratkaista aikaisemmin hankitun tiedon varassa. (Hakkarainen et al, 2004, 279)

Tutkivan oppimisen työtavalla voidaan tutkia luonnontieteen tutkimusta prosessina. Oppilaalle avautuu mahdollisuus oppia, kuinka eri muuttujia voidaan kontrolloida tutkimuksen suunnittelussa. (De Boer, 2004, 17)

Tutkivassa oppimisessa voidaan erottaa viisi eri luonnontieteen opetukselle ominaista vaihetta: (Aksela 2005, 64; Minner et al., 2009)

- kysymysten muodostaminen
- tutkimuksen suunnittelu ja toteuttaminen
- tutkimustulosten keruu ja selityksen muotoilu sen pohjalta
- johtopäätökset ja arviointi
- keskustelu tuloksista ja selitysten perustelu

Tutkivan oppimisen keskiössä on oppilas itse. Opettaja ohjaa oppilasta pohtimaan asioita. Sen sijaan, että opettaja tai oppikirja tarjoaisi tiedon valmiina, opettaja esittää kysymyksiä, joita oppilas voi vähitellen oppia myös esittämään itselleen työn edetessä. Oppilaat oppivat yhä paremmin ratkaisemaan ongelmia sen mallin avulla, minkä he oppivat työtä tehdessään. Opettaja toimii taustatukena, joka valmentaa, muotoilee tehtävät sopiviksi rakenteeltaan ja vaatimustasoltaan sekä antaa vihjeitä miten edetä tehtävässä kuitenkin antamatta valmista vastausta. (Hmelo-Silver et al., 2007)

Tyypillisimmillään tutkivan oppimisen tehtävä suoritetaan luokassa työparin kanssa tai pienessä ryhmässä. Työpari pohtii mieleen nousseita ajatuksia ja huomioita keskenään ja jatkuvassa vuorovaikutuksessa myös toisten työparien ja opettajan kanssa. (Hakkarainen & Hakkarainen, 2004; Lavonen, 2008) Tutkivan oppimisen päätavoitteita on kannustaa oppilaita ajattelemaan itsenäisesti (DeBoer, 2004).

Tutkivan oppimisen peruseriaatteiden mukaan: (Hakkarainen & Hakkarainen, 2004):

1. Oppilaat tiedostavat, että tavoitteena on ilmiön ymmärtäminen ja selittäminen, ei ainoastaan annettujen tehtävien suorittaminen.
2. Tiedonhankinta lähtee liikkeelle ongelman ihmettelemisestä. Kyseessä on ongelmanratkaisuprosessi, jonka aluksi ongelma nimetään.
3. Oppilaat tuovat esille omat ennakkokäsityksensä ratkaisusta. Näistä ennakkokäsityksistä keskustellaan, jotta oppilas tiedostaa ne. Kun oppilas on tietoinen omista ennakkokäsityksistään, hän on valmis huomaamaan mahdolliset ristiriidat niiden ja uuden tiedon välillä.
4. Oppimisen kohteena on keskeiset käsitteet, ilmiöt ja periaatteet.
5. Tiedon rakentelu tapahtuu joka työvaiheessa vuorovaikutuksessa toisten kanssa. Tutkiminen on luonteeltaan yhteisöllistä ja asiantuntemus ja ideat jaetaan toisten kanssa.

Edellä esiteltyjen periaatteiden pohjalta on kuvassa 11 esitetty tutkivan oppimisen osatekijöistä ja vaiheista tehty malli, joka konkretisoi ja tukee tutkivan oppimisen toteuttamista. (Hakkarainen et al., 1999) Tutkivan oppimisen prosessissa on toisinaan vain osa kuvassa esitetyistä vaiheista riippuen esimerkiksi opettajan antaman ohjauksen määrästä. (Hakkarainen & Seita-Hakkarainen, 2004)



Kuva 11. Tutkivan oppimisen malli (Hakkarainen et al., 1999)

On hyvin vaikea määritellä mitä “oikea” tutkiva oppiminen on. Kyseessä ei niinkään ole malli vaan lähestymistapa oppimiseen. Jokainen voi tulkita ja soveltaa tutkivaa oppimista omalla tavallaan ja luovasti. Tutkivan oppimisen toimivuus riippuu paljolti siitä, miten sitä käytetään ja miten sitä tulkitaan. Tärkeintä on luoda yksilöiden ja ryhmien mielekästä toimintaa tukeva oppimisen kulttuuri. (Hakkarainen et al., 2004).

Tutkiva oppiminen työtapana voi olla hyvin erilaista riippuen siitä, missä määrin opettaja ohjaa työn tekoa ja kuinka itsenäisesti oppilaiden annetaan työhönsä paneutua. (DeBoer 2004, Maija Aksela, 2001, 66) Tutkivan oppimisen työtavassa voidaan määrittää neljä eri tasoista lähestymistapaa: (Tafoya et al., 1980)

1. Varmistus-tyyppiset tehtävät: Oppilaat todentavat määrätyn käsitteen olemassa olon toimimalla annetun menettelytavan mukaisesti.
2. Rakenteellinen tutkimus: Oppilaille annetaan ohjaavia kysymyksiä ja tietty työjärjestys, jonka mukaan edetä työssä.
3. Ohjattu tutkimus: Oppilaille esitetään työtä ohjaavia kysymyksiä ja valikoima materiaaleja. Oppilaat kuitenkin suunnittelevat ja ohjaavat itse tutkimuksensa.
4. Avoin tutkimus: Oppilaat muodostavat tutkimuskysymyksensä itse ja suunnittelevat tutkimuksensa itsenäisesti.

Tässä työssä tuotetussa tutkivan oppimisen työpaketissa yläkoulua varten on lähestytty tutkivaa oppimista kohdan kolme mukaisesti.

Tutkimuksellinen opetus voi sisältää osittain myös suoraa opetusta, kuitenkin niin, että oppilas on ensin itse edennyt siihen pisteeseen, että odottaa saavansa tietoa asiasta. Niinpä tutkimuksen sopivassa kohdassa opettaja voi käyttää hetken selostaakseen aiheeseen liittyvän keskeisen teorian, jonka oppilas nyt osaa liittää omaan tutkimukseensa. Näin tieto ei jää ilman asiayhteyttä ja sen muistaminen jälkeen päin helpottuu. (Schwartz & Bransford, 1998)

4.1 Opettajan rooli tutkivassa oppimisessa

Opettajalla on keskeinen rooli tutkivan oppimisen prosessin onnistumisessa. Opettaja ohjaa oppilaita paitsi muodostamaan omia käsityksiään, myös vertaamaan niitä toisten käsityksiin ja arvioimaan niitä. (Hmelo-Silver et al.2007; Hakkarainen 2005, 74)

Tutkiva oppiminen kaipaa ympärilleen avoimen ja kannustavan ilmapiirin, missä oppilaan on mahdollista saada harjoitusta kysymysten asettamisessa, sillä se ohjaa oppilaan itsenäistä ajattelua. (DeBoer, 2004, 19). Omaa ajattelua kunnioittava, ennakkoluuloton ilmapiiri, jossa ei pyritä etsimään oppilaitten tekemiä virheitä, sallii mielen vapaan toiminnan. Tutkimuksen tekeminen tällaisessa ilmapiirissä on mieluisaa. Opettaja voi vaikuttaa positiivisen ilmapiirin syntymiseen muun muassa arvioimalla oppilaita kannustavasti tutkimuksen eri vaiheissa. (Aksela et al., 2001, 15)

Opettaja asettaa lähtökohdat ja käynnistää prosessin. Opettaja ohjaa oppilasryhmien toiminnan kulkua oppilasta virittävien kysymysten avulla. Sen sijaan, että opettaja antaisi vastauksen, voi opettaja asettaa vastakysymyksen, joka edelleen auttaa oppilasta eteenpäin omassa pohdinnassaan. Hyvä kysymys innostaa ja ohjaa oppilasta. Sen avulla oppilas miettii itse, miten kannattaa edetä, mitä kannattaa tehdä tai kokeilla. Hyvä kysymys auttaa oppilasta pääsemään alkuun omassa pohdinnassaan, joka johtaa lopulta ratkaisuun. Oppilas oppii parhaiten tekemään kysymyksiä opettajan antaman mallin mukaisesti. (Ahtee & Pehkonen, 2000, 54; Hmelo-Silver et al., 2006)

Yläkoulun oppilaille voi tutkivassa oppimisessa ns. asiantuntijuuden jakaminen olla uusi asia. On hyvä tuoda esille, että ryhmä pystyy yleensä ratkaisemaan monimutkaisempia ongelmia kuin yksittäinen oppilas. Vaikka ryhmässä on tiedoiltaan ja taidoiltaan eritasoisia oppilaita, voi ryhmä kokonaisuutena hyötyä kaikista jäsenistään. Ryhmässä ideoiden jakaminen auttaa niiden kehittelyä. Tieteelliset tutkimusryhmät toimivat vastaavalla tavalla. (Eteläpelto & Tynjälä,1999)

Tutkivan oppimisen työtapaan harjaantuu vähitellen ja ajan myötä opettajan ammattitaito syvenee jatkuvasti. Opettajan on hyvä tiedostaa, että tutkivalle oppimiselle ominaista on dynaamisuus, jolloin opettajakaan ei voi etukäteen tietää, mitä asioita tulee esille ja mistä oppilaat kiinnostuvat. (Hakkarainen 2005, 76) Jonkinasteinen keskitie tutkimuksellisen

oppimisen ja opettajajohtoisen oppimisen välillä saattaa olla monesti onnistunein vaihtoehto. Oppilaille annetaan mahdollisuus tutkia, pohtia ja miettiä. Lopuksi kuitenkin opettaja "tarkistaa" heidän tietonsa tuomalla esiin tietoa, joka ehkäisee mahdolliset väärinymmärrykset. (Kuhn et al., 2000)

5. Kehittämistutkimus

Tämän kehittämistutkimuksen (Edelson, 2002) päätavoitteena oli kehittää tutkimuspohjaisesti opetusmateriaali, jonka avulla voidaan integroida sähkökemian historiaa peruskoulun kemian opetukseen. Kehittämistutkimuksen lähtökohtana on sähkökemian opetuksesta tehty tarveanalyysi, jonka tavoitteena oli saada selville sähkökemian historian opetuksen nykytilanne peruskoulun yläluokilla ja lukiossa. Tässä luvussa esitellään tutkimuskysymykset ja kehittämistutkimuksen toteutus. Tutkimuksen tulokset esitellään luvussa 6.

5.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymysten tarkoituksena on ohjata tutkimusta. Tässä kehittämistutkimuksessa haettiin vastausta seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten historiaa on integroitu sähkökemian opetukseen yläkoulun ja lukion oppikirjoissa?
 - Minkä asian yhteydessä integraatio on tehty?
 - Minkä tyyppisenä elementtinä historiaa on esitetty?
 - Mikä tavoite integroimisella on?
2. Miten tutkivaa oppimista voidaan hyödyntää käytettäessä historiaa sähkökemian opetuksen tukena?

5.2 Kehittämistutkimuksen toteutus

Kehittämistutkimus koostuu kahdesta vaiheesta:

1. Tarveanalyysi
2. Opetusmateriaalin kehittäminen

Tarveanalyysi tehtiin loppuvuodesta 2008 ja alkuvuodesta 2009. Opetusmateriaalia alettiin kehittää keväällä 2009, jolloin tutkijalle tarjoutui tilaisuus testata kehitteillä olevaa materiaalia opetusharjoittelun yhteydessä Helsingin yliopiston Viikin normaalikoulun 8. luokan sähkökemian oppitunneilla. Opetusmateriaali kehitettiin loppuun syksyllä 2009 ja alkuvuodesta 2010.

Tarveanalyysi tehtiin oppikirjojen laadullisena sisällönanalyysinä eli aineistoa pyrittiin kuvaamaan sanallisesti ilman tulosten kvantifiointia. (Tuomi & Sarajärvi, 2004) Tutkimusten mukaan opettajat tukeutuvat opetuksessaan vahvasti oppikirjoihin, mistä syystä oppikirjat soveltuvat tarveanalyysin kohteeksi. (Uusikylä & Atjonen) Tutkija käsittelee historian esiin tulemistä ilmiönä. Oppikirjojen hyvyttä ei arvioida.

Tarveanalyysin tavoitteena oli selvittää, miten ja missä yhteydessä sähkökemian historiaa on integroitu kemian oppikirjoihin sähkökemian osuudessa. Näin haettiin vastausta tutkimuskysymykseen 1. Tarveanalyysissä analysoitiin yläkoulun oppikirjoista Avain sekä Aine ja energia siltä osin kuin ne käsittelevät sähkökemiala. Kokonaiskuvan täydentämiseksi analysoitiin myös lukion kirjasarjoista Kemisti, Kide, Mooli, Neon ja Reaktio sähkökemian osuudet kurssissa 4. Myös kokeelliset työohjeet ja opettajan oppaat analysoitiin. Tarkemmat tiedot analysoitavista oppikirjoista on esitetty liitteessä 1.

Oppikirjojen ja opettajan oppaitten sähkökemian osuuksista analysoitiin kaikki sähkökemian historiaan liittyvät maininnat. Samassa yhteydessä esiintyneet pitemmät maininnat luokiteltiin kappalekohtaisesti omiksi maininnoikseen. Tarveanalyysin perusteella muotoiltiin tutkimuskysymys 2 lopulliseen muotoonsa ja valittiin lopullisesti ne sähkökemian osa-alueet, joiden opetukseen historiaa opetuspaketin avulla tuodaan.

Samaan aikaan, kun tarveanalyysiä tehtiin, perehdyttiin aikaisempaan tutkimustietoon kemian opettamisesta historiallisesta näkökulmasta. (luku 3.2)

Opetusmateriaalissa käytettyyn sähkökemian historiaan tutkija tutustui jo kandidaatin tutkielmassaan syksyllä 2008. Tätä pro gradu -työtä varten siitä poimittiin ne osat, jotka liittyvät opetusmateriaaliin tai joiden katsottiin helpottavan opetusmateriaalissa käytetyn tiedon ymmärtämistä (mm. sähköön liittyvät keksinnöt ennen Voltan pylvästä).

Kokeellisuus on keskeinen osa perusopetuksen kemian opetusta, joten oli luonnollista liittää myös opetusmateriaaliin kokeellinen osuus. Opetusmateriaalin kokeellisen osuuden kehittämisen pohjaksi löydettiin lähde Corder, 2006), jonka pohjalta opetusmateriaalin tutkimustyötä lähdettiin kehittämään. Samaan aikaan tutustuttiin tutkivan oppimisen teoriaan (luku 4), mikä vahvisti käsitystä siitä että se soveltuisi opetusmateriaalin kokeellisen osuuden työtavaksi. Opetusmateriaalin kokeellinen osuus ja siihen liittyvät opettajan ohjeet muokattiin tutkivan oppimisen periaatteita noudattaen.

Jotta nyt tuotetun uuden opetusmateriaalin käyttö kemian opetuksessa olisi perusteltua, tutkittiin, millä tavalla sen käyttö mahdollisesti palvelee peruskouluopetuksen opetussuunnitelman perusteita. Kemian historiaa ei suoraan opetussuunnitelman perusteissa mainita, mutta jo hahmottumassa olevan opetusmateriaalin todettiin palvelevan useita eri tavoitteita, joita kemian opetukselle on asetettu. (Ks. luku 3.1)

Koska tutkimuksen edetessä ilmeni, että työn teoriataustassa vahvasti ja toistuvasti nousi esiin käsite ”luonnontieteen luonne”, koettiin tarpeelliseksi selvittää myös sitä, miten käsite luonnontieteen luonne nykykäsityksen ja perusopetuksen tasolla määritellään. (luku 3.4.1.)

Opetusmateriaali sisältää historian kerrontaa ja kokeellisuutta. Historian kerronnan on tarkoitus virittää oppilaat kokeelliseen tutkimustyöhön. Opettajan materiaaliin liitettiin kysymyksiä, joiden avulla opettaja voi halutessaan kohdistaa oppilaitten huomiokykyä esityksen kuuntelussa. Tutkimustyön keskeisin osa tehdään kokeellisesti, tutkivan oppimisen periaatteita noudattaen. Tämän tarkoituksena on motivoida oppilaita, tuoda esiin kemian luonnetta kokeellisena luonnontieteenä ja antaa oppilaille tilaisuus kokeilla tutkijan roolia. Historian didaktiikkaa selvitettiin siltä osin kuin se sivuaa tässä työssä käytettyä työtapaa ja se on esitetty jo aiemmin luvussa 3.3., sekä kokeellisuutta ja historiallista näkökulmaa luvussa 3.4.

Opetusmateriaalin tavoitteeksi asetettiin, että

- sen avulla sähkökemian historian tuominen perusopetuksen kemian opetukseen on mahdollista
- oppilas tutustuu työssä käytettävän tutkivan oppimisen työtavan ja kokeellisuuden avulla luonnontieteen luonteeseen
- se on helposti käyttöön otettavissa
- se tukee opettajan tutustumista kemian historiaan ja tutkivan oppimisen työtapaan.

5.2.1 Tarveanalyysin luotettavuus

Koska tutkimuksella oli vain yksi tekijä, pyrittiin tutkimuksen luotettavuutta parantamaan käymällä aineisto läpi ensin joulukuussa ja uudelleen tammikuussa joululoman jälkeen. Tämä onnistui kuitenkin vain oppikirjojen Aine ja Energia, Avain, Mooli ja Reaktio osalta, sillä muiden oppikirjojen hankkiminen onnistui vasta tammikuun puolessa välissä. Viittaukset historiaan myöhemmin saatujen kirjojen osalta käytiin lävitse uudelleen helmikuussa. Koska aikataulu venyi suunnitellusta, tuli lainaukset tekstistä paikoitellen tarkistettua useammankin kerran.

Luotettavuutta lisää myös se, että tutkimus on helposti uusittavissa ja tarkistettavissa. Työn yhteyteen on liitteeksi laitettu taulukoituna tarkat lainaukset tekstistä sekä tekstiotteen sijainti oppikirjassa. Eniten tulkintakysymyksiä voi tulla luokittelussa tavoitetyypin mukaan, mutta se ei liene keskeistä tässä työssä. Keskeisintä tuloksissa on se asiayhteys, jossa historiaa on tuotu esille sekä esiintymiselementti. Nämä kertovat toisaalta siitä, mikä osa historiaa on tahdottu tuoda esiin, ja missä määrin sitä on arvostettu, eli missä elementissä se on tuotu esiin.

6. Tulokset

Tässä luvussa esitellään tutkimustulokset tutkimuskysymysten mukaisesti. Luvussa 6.1-6.2 esitellään tarveanalyysin tulokset ja vastataan tutkimuskysymykseen 1. Koska työn tavoitteena on tuottaa opetusmateriaalia opettajan käyttöön, on luvussa 6.1.4 tehty erillinen yhteenveto siitä, miten historiallisia mainintoja tulee esiin opettajan oppaissa. Luvussa 6.3 kerrotaan kehitetystä opetusmateriaalista, jolla vastataan tutkimuskysymykseen 2.

6.1 Sähkökemian historia yläkoulun ja lukion opetuksessa

Tarveanalyysissä tutkittiin laadullisen sisällönanalyysin avulla (Tuomi & Sarajärvi, 2004) miten sähkökemian historiaa esiintyy yläkoulun ja lukion kemian oppikirjoissa. Yläkoulun oppikirjat A ja B analysoitiin siltä osin kuin ne käsittelevät sähkökemian. Kokonaiskuvan saamiseksi analysoitiin myös viiden lukion kirjan (C-G) sähkökemian osuudet (kurssi 4). Kaikista oppikirjoista analysoitiin myös kokeelliset työohjeet ja opettajan oppaat. Analyysin tulokset kokonaisuudessaan on esitetty taulukoituina liitteessä 2. Joitakin tuloksia on esitetty myös taulukoissa 2-3. Luettelo tutkituista oppikirjoista on liitteessä 1.

Viittaukset historiaan luokiteltiin pääluokkiin sen mukaisesti, missä yhteydessä kyseinen teksti esiintyy: A) johdantoteksti, B) sähkökemiallinen pari, C) elektrolyysi D) tehtävät ja E) muissa yhteyksissä (lisämateriaali).(ks. liite 2)

Pääluokkiin jaottelun jälkeen on viittaukset historiaan jaoteltu myös sen mukaan, millaisena elementtinä maininta esiintyy (alkuteksti, leipäteksti, kuvateksti, tehtävä, opettajan opas, tietoruutu) (luku 6.1.3.1) ja sen mukaan, mikä tavoite historian integroimisella oppikirjaan on ollut (luku 6.1.3.2). Historian oppikirjaan integroimisen tavoitteet on luokiteltu seuraavasti:

- Yhteys historian aikajanaan
- Yhteiskunnallinen ja teknologinen kytkentä
- Kuvaus tutkimusprosessista tai -menetelmästä (historiallisen prosessin kuvaus)
- Yhteys nykypäivään
- Anekdootin kertominen
- Yksittäisen faktan esiintuominen

6.1.1 Kemian sisällöt

6.1.1.1 Sähkökemiallinen pari

Suurin osa sähkökemian historiaan viittaavista maininnoista löytyy sähkökemiallisen parin yhteydestä. Oppikirjat A, C, ja E kertovat Galvanin ja Voltan välisestä väittelystä. Kaikista näistä kirjoista löytyy myös aiheeseen liittyviä kuvia. A:ssa, joka on yläkoulun kirja, on myös lisätietoa ja kuvien selityksiä opettajan oppaassa. Vain G –kirjassa kerrotaan tässä yhteydessä John Daniellista, joka keksi varmatoimisen virtalähteen lennättimeen. Vuosilukua ei tässä yhteydessä mainita. (Liite 2, taulukko B)

Historian integroinnin tavoite sähkökemiallisen parin yhteydessä on pääasiallisesti historiallisen prosessin kuvaus ja yhteys historian aikajanaan. Daniellista ei myöskään C mainitse vuosilukua vaan toteaa ainoastaan (s.35): ”*Vanhimpia kemiallisia virtalähteitä on ns. Daniellin pari*”. Kirjoista A ja G tuovat esiin yhteyden nykypäivään toteamalla, että galvaanisen kennon periaate on nykypäivän paristoissa sama kuin 200 vuotta sitten.

C –kirja tuo esille kuvauksen Voltan tutkimusmenetelmistä: ”*Ensimmäisessä kokeessaan hän otti hopearahan ja palan tinapaperia, joiden reunat koskettivat toisiaan. Kun hän koskettti metalleja kielellään, hän tunsu happaman maun. Silmissä metallit aiheuttivat salamaa muistuttavan välähdyksen, kun Volta koskettti metalliliuskoilla silmiään.*” (C 4 s.33). Oppikirjassa ei mainita, mistä tieto on peräisin.

6.1.1.2 Elektrolyysi

A –kirja ei tuo lainkaan historiaa esiin elektrolyysin yhteydessä kun taas B –kirjan ainoat maininnat sähkökemian historiasta liittyvät elektrolyysiin. Viittaukset on sijoitettu tietoruutuun ja pitävät sisällään lyhyesti tiedon siitä, että Michael Faraday keksi elektrolyysi-ilmiön peruslait jo vuonna 1833 ja että parthialaiset osasivat valmistaa alkeellisia paristoja jo kolmannella vuosisadalla eKr. ja päällystää niiden avulla koruja elektrolyytisesti.(Liite 2C). Näiden yksittäisten tietojen avulla asetetaan kyseiset tapahtumat historian aikajanaan.

Lukion oppikirjoissa Faraday on elektrolyysin yhteydessä ehdottomasti suosituin viittaus: C, G ja F mainitsevat kaikki hänen keksimänsä elektrolyysilait vuosilukuineen. Lisäksi C kuvaa lyhyesti Faradayn päättelyprosessia ja kertoo hänen keksineen elektrolyysisanastoa. Oppikirjassa F esitetään elektrolyysisanasto taulukossa sekä englanniksi, kreikaksi että suomeksi (Liite 2 C).

Oppikirjoista ainoana F tuo esiin Sir Humphry Davyn, joka teki merkittäviä löytöjä elektrolyysin avulla jo ennen Faradayn elektrolyysilakeja löytäen mm. kuusi eri alkuainetta (Liite 2 C). F-kirjassa on myös elävä kuvaus: *Lokakuun 6. päivänä vuonna 1807 Humphry Davy oli täynnä innostusta. Hän oli juuri sulattanut kaliumsuolaa (jota hän kutsui potaskaksi) ja johtanut sen läpi sähkövirtaa. Hänen ihastuksensa oli valtava, kun hän havaitsi pieniä hopeanhohtoisia metallikiteitä, jotka kelluivat suolasulatteen pinnalla. Aika ajoin ne syttyivät palamaan synnyttäen kauniin violetin liekin. Davy tanssi puoli tunti iloisesti ympäri huonetta, kunnes rauhoittui ja kirjoitti muistiin havaintonsa. Hän oli juuri valmistanut kaliumia elektrolyyttisesti. Kolme päivää myöhemmin hän valmisti samalla menetelmällä natriumia. Näiden kokeiden myötä sai alkunsa se sähkökemian osa-alue, joka hyödyntää elektrolyysiä alkuaineiden valmistamisessa.* (F 4, s. 47) Kuvauksen lähdettä ei kerrota.

C-kirjasta löytyy ainoa viittaus William Nicholsoniin (1753-1815) ja Anthony Carlisleen (1768-1840), jotka hajottivat ensimmäisenä vettä vedyksi ja hapeksi elektrolyyttisesti vuonna 1800 kohta sähkökemiallisen parin julkistamisen jälkeen. (Liite 2C) Oppikirjojen epämääräisin viittaus historiaan löytyy kirjasta C: *”Historiallisista syistä sähkövirran suunta on määritelty vastakkaiseksi elektronien liikesuunnalle, eli sähkövirta merkitään kulkemaan positiiviselta kohtioltta negatiiviselle”* (C 4, s. 46). Opettajan oppaasta ei löydy lisäselitystä asiaan.

6.1.2 Materiaali

6.1.2.1 Johdanto

Johdantotekstin yhteydessä (taulukko 2) kemian historiaa on kirjoissa E ja F. E -kirjan teksti kuvailee kemiallisen tutkimusprosessin luonnetta yleensä 1600- 1700 –luvuilla ja kuinka se kehittyi yrityksen ja erehdyksen kautta kokeellisen metodin yleistyessä luonnontieteissä vasta 1700-luvulla. Luonnontieteellisen tutkimuksen kuvaus jatkuu aina nykypäivään kuvaten tutkimusprosessin luonteen muuttumista. Sähkökemian on kytketty historialliseen aikajanaan kertomalla luvun 1 aluksi, että sähköön varastoinnin historia on n. 200 vuotta vanha.

F-kirjassa tuodaan sähkökemian käsittelevän luvun johdantotekstissä (taulukko 2) esille sähkökemian yhteiskunnallinen ja teknologinen kytkentä. Lisäksi kerrotaan nykypäivän näkökulmasta hauska anekdootti siitä, kuinka alumiini oli vielä Napoleon III:n hovissa kultaakin arvokkaampi metalli.

Taulukko 2. Johdantoteksteissä olevat viittaukset sähkökemian historiaan.

Johdantoteksteissä olevat viittaukset sähkökemian historiaan			
Lähde	Tarkka teksti	Esiintymiselementti	Historian integroinnin tavoite
E	Aluksi kemialliset prosessit opittiin ja otettiin käyttöön kokeellisesti yrityksen ja erehdyksen kautta. Kuitenkin jo varhain joukko ihmisiä, ajattelijoita, kiinnostui näiden prosessien luonteesta. Aina 1600-luvun lopulle asti selitykset perustuivat pääasiassa ajatteluun ja yksittäisiin havaintoihin. Monet esitetyistä teorioista kuulostavat nykyihmisestä sadunomaisilta sepityksiltä, mutta poikkeuksiakin on: esimerkiksi jo kreikkalainen Demokritos selitti noin 400 eKr., että kaikki aine koostuu jakamattomista osasista, joita hän kutsui atomeiksi. (s.5)	Alkuteksti, johdatus kurssiin metallit ja materiaalit	Historiallisen prosessin kuvaus
E	Nykyisen luonnontieteellisen tutkimuksen perustana oleva tiedon systemaattinen kerääminen kokeiden avulla oli avain luonnontieteiden ja teknologian kehitykseen. Kokeellinen metodi yleistyi tiedemaailmassa vasta 1700-luvulla. Siitä lähti liikkeelle kehitys, joka muutti teknologian ja tieteen (ilmiön ymmärryksen) vuorovaikutusta: nykyään tieteelliset teoriat kehitetään usein ennen niihin perustuvia teknisiä keksintöjä, kun taas ennen modernin tieteen aikakautta tekniikat kehittyivät käytännön työssä, minkä jälkeen filosofit alkoivat pohtia niiden taustalla olevia ilmiöitä. (s.5-6.)	Alkuteksti, johdatus kurssiin metallit ja materiaalit	Historiallisen prosessin kuvaus Yhteys nykypäivään.
E	Kemiallista energiaa on osattu muuntaa sähköksi paristoissa, polttokennoissa ja akuissa jo noin kahdensadan vuoden ajan. (s, 7)	Alkuteksti, luku 1, Sähkökemian.	Yhteys historian aikajanaan
F	Sähkökemian kehittyminen 1700-luvun lopussa ja 1800-luvun alkupuolella avasi mahdollisuuden valmistaa uusia aineita teollisessa mittakaavassa. Esimerkiksi alumiini oli ennen sähkökemian kehittymistä varsin arvokas metalli, koska sitä oli vaikea puhdistaa luonnosta löytyvästä malmista. Esimerkiksi Napoleon III:n hovissa kunniavieraiden ruokailuvälineet oli valmistettu alumiinista, kun taas vähempiarvoiset vieraat nauttivat ruokansa kultaisilla ja hopeisilla ruokailuvälineillä. Sähkökemian myötä alumiinista on tullut yksi tavallisimmista käyttömetalleista.(s.39)	Luku 3: Hapettumis-pelkistymisreaktioiden sovelluksia, johdantoteksti.	Yhteiskunnallinen ja teknologinen kytkentä. Yhteys historian aikajanaan. Anekdootti

6.1.2.2 Tehtävät

Oppikirjasta A löytyy kemian historiaan liittyvä tehtävä: ”Laadi kirjallinen tuotos Luigi Galvanista tai Alessandro Voltasta”. (Liite 2D)

Lukion kirjoista E antaa tehtäväksi etsiä tietoa Michael Faradaysta ja siitä, miksi hän kiinnostui metallien valmistamisesta elektrolyytisesti. Opettajan oppaassa on lyhyt vastaus opettajan tarkastustyön tueksi sekä vihje hakea tietoa netistä. (Liite 2 D)

6.1.2.3 Kokeelliset työt

Oppikirjoissa ei esiinny mainintoja kemian historiasta kokeellisten töitten yhteydessä.

6.1.2.4 Lisämateriaali

E-kirjassa on tietoruutu lyijyakkujen kohdalla ja F kirjan ”syventävää tietoa” –sivun tekstistä löytyy lyhyet viittaukset kemian historiaan, joiden avulla liitetään kyseiset keksinnöt (lyijyakku, kuivapari ja polttokenno) historian aikajanaan. C-kirjan opettajan kirjan tuntijakomalleista löytyy kehoitus opettajalle luennoida galvaanisen parin periaatteen yhteydessä myös sen historiasta. (Taulukko 3)

Taulukko 3. Lisämateriaalin yhteydessä olevat viittaukset sähkökemian historiaan.

Lisämateriaalin yhteydessä olevat viittaukset sähkökemian historiaan		
Lähde	Tarkka teksti	Elementti
E 4	Ranskalainen Gaston Planté rakensi ensimmäisen lyijyakun jo vuonna 1860. (s. 37)	Tietoruutu Lyijyakuista
F 4	Kuivaparilla tarkoitettiin alun perin taskulampuissa, matkaradioissa ja muissa laitteissa käytettävää virtalähdettä eli sauvaparistoa. Sen patentoi Leclanché vuonna 1866. (s.45)	"Syventävää tietoa" - sivun leipäteksti.
F 4	Ensimmäisen polttokennon rakensi walesiläinen William Grove jo vuonna 1839.(s.61)	"Syventävää tietoa" - sivun leipäteksti.
C 4 Opettajan opas	Galvaaninen pari: Galvaanisen parin ja elektrolyysin lyhyt johdanto. Opettaja luennoi galvaanisen parin periaatteen: käsitteiden määrittely ja historia (Volta ja Daniel)	Tuntijakomalleja. Luku 2. Sähkökemia. Kurssisuunnitelma 3, opettajan opas s. 7, 4.oppitunti

6.1.3 Sähkökemian historian integrointi

6.1.3.1 Yhteenveto tuloksista

Taulukossa 4 on esitetty yhteenveto siitä, missä yhteyksissä eri oppikirjoissa esiintyi mainintoja sähkökemian historiasta. Yläkoulun oppikirjoista A käsittelee historiaa vain sähkökemiallisen parin yhteydessä, kun taas B-kirjan ainoa viittaus historiaan on kaksi tietoruutua elektrolyysin yhteydessä. E pitää historiaa mukana koko sähkökemian kurssin ajan, mutta kertoo vain osan sähkökemiallisen parin tarinaa minkä lisäksi elektrolyysin historia jää vain yhden esitetyn tehtävän varaan. C kertoo kirjan sivuilla täydellisimmin sähkökemiallisen parin ja elektrolyysin tarinan, tuoden ainoana kirjoista mukaan myös elektrolyysin keksijät, Nicholsonin ja Carlisleen. F-kirjan historian kerronta keskittyy lähinnä elektrolyysiin liittyviin asioihin, tosin varsin monipuolisesti, kun taas G-kirjan historian kerronta on varsin niukkaa. D ei mainitse sähkökemian historiasta mitään.

Taulukko 4. Eri yhteyksissä esiin tulleet viittaukset sähkökemian historiaan yläkoulun ja lukion oppikirjoissa sekä opettajan oppaissa.

	A	B	C	D	E	F	G
Johdantotekstin yhteydessä					x	x	
Sähkökemiallisen parin yhteydessä	x		x		x		x
Elektrolyysin yhteydessä		x	x			x	x
Tehtävien yhteydessä	x		x		x		
Muussa yhteydessä					x	x	
Kokeellisten töiden yhteydessä							
Opettajan oppaassa	x		x		x		

Oppikirjoista A, B, C, D, E, F, G tarkempi luettelo liitteessä 1.

6.1.3.2 Elementit

Taulukossa 5 on esitetty pääluokittain missä elementissä sähkökemian historiaan liittyviä mainintoja oppikirjoissa ja opettajan oppaissa esiintyy. Taulukosta nähdään, että suurin osa sähkökemian maininnoista tulee oppikirjoissa esille sähkökemiallisen parin leipätekstin yhteydessä. Historiallisen tiedon esiin tuominen kuvatekstinä ja tietoruuduissa on oppikirjoissa myös melko suosittua.

Taulukko 5. Historiallisen viittauksen elementit pääluokittain yläkoulun ja lukion oppikirjoissa sekä opettajan oppaissa.

Elementti	A	B	C	D	E	Yhteensä
Alkuteksti	4		2			6
Leipäteksti		7	3			10
Kuvateksti		3	3			6
Tehtävä				3		3
Opettajan opas		4		3	1	8
Tietoruutu		1	4		3	8

A= Johdantoteksti, B= Sähkökemiallisen parin yhteydessä, C= Elektrolyysin yhteydessä,
D= Tehtävien yhteydessä, E= Muussa yhteydessä

6.1.3.3 Tavoitteet

Taulukossa 6 on esitetty pääluokittain, mitä tavoitteita historiaan viittauksilla on mahdollisesti ollut. Tärkeimmäksi tavoitteeksi nousevat historiallisen tutkimusprosessin tai menetelmän kuvaaminen sekä tapahtuman tai keksinnön yhteys historian aikajanaan.

Taulukko 6. Historiallisen viittauksen tavoitteet pääluokittain yläkoulun ja lukion oppikirjoissa sekä opettajan oppaissa.

Tavoite	A	B	C	D	E	Yhteensä
Yhteys historian aikajanaan	2	4	7		2	15
Yhteiskunnallinen ja teknologinen kytkentä	1	1				2
Tutkimusprosessin tai menetelmän kuvaus	2	12	2			16
Yhteys nykypäivään	1	2	4			7
Anekdootin kertominen	1		1			2
Yksittäisen faktan esiintuominen			3		3	6

A= Johdantoteksti, B= Sähkökemiallisen parin yhteydessä, C= Elektrolyysin yhteydessä,
D= Tehtävien yhteydessä, E= Muussa yhteydessä

6.1.4 Opettajan oppaat

Oppikirjojen A, C ja E opettajan oppaat sisältävät mainintoja sähkökemian historiasta. Oppikirjan A opettajan oppaassa on kerrottu historiaa Luigi Galvanista, Voltasta ja pariston keksimiseen liittyvästä historiasta (liite 2B). Oppikirjan E opettajan opas antaa tehtävien ratkaisun yhteydessä opettajalle vastauksen kysymykseen ”Miten Faraday kiinnostui metallien valmistamisesta elektrolyyttisesti? Mikä oli Faradayn tutkimusten tärkein tulos?” (liite 2D). C-kirjan opettajan opas patistaa tuntijakomalleissa opettajaa luennoimaan Voltan ja Daniellin historiasta antamatta sen tarkempaa materiaalia tähän (liite 2E). Muiden oppikirjojen opettajan oppaat eivät sisällä historiaan liittyvää materiaalia tai mainintoja.

6.2 Opetusmateriaali

Tarveanalyysin ja aikaisemman tutkimustiedon pohjalta opetusmateriaalin (Liite 3) tavoitteeksi asetettiin, että sen avulla on mahdollista tuoda perusopetuksen sähkökemian opetukseen historiallinen näkökulma. Opetusmateriaalin aiheiksi valittiin sähkökemiallinen pari ja elektrolyysi, koska ne ovat keskeinen osa yläkoulun sähkökemian kurssia. Tämän lisäksi tarveanalyysissä selvisi, että yläkoulun oppikirjoista toinen käsittelee vain sähkökemiallisen parin historiaa, joten opetusmateriaali täydentää sitä. Toisessa oppikirjassa ei taas sähkökemian historiaa ole käsitelty lainkaan, joten opetusmateriaali antaa opettajalle mahdollisuuden uuteen näkökulmaan kemian opetuksessa. Sähkökemiallinen pari ja elektrolyysi muodostavat yhdessä mielekkään kokonaisuuden, koska sähkökemiallisen parin keksimisestä välittömästi seurasi myös elektrolyysin keksiminen (ks. luku 2.3.3). Yläkoulun kurssin mukaisesti keskitytään myös opetusmateriaalissa sähkökemiallisen parin periaatteen ja elektrolyysin periaatteen keksimisen historiaan, mutta esitellään myös lyhyesti sitä, mitä näiden keksintöjen syntymisestä seurasi kemiassa.

Toiseksi tavoitteeksi opetusmateriaalille asetettiin, että yhdessä kokeellisen lähestymistavan kanssa tutkivan oppimisen periaatteita noudattaen oppilaat tutustuvat luonnontieteen luonteeseen. Opetusmateriaalin kokeellisen osuuden työohjeet on muotoiltu tutkivan oppimisen periaatteita noudattaen. Oppilas saa asettua tutkijan rooliin ja työn edistyminen noudattaa luonnontieteelliselle tutkimukselle ominaisia vaiheita. Työtävän toteuttamisen helpottamiseksi luokkaolosuhteissa on oppilaille laadittu työohjeiden lisäksi tutkimuspöytäkirja työn edistymisen tueksi sekä opettajalle tarkentavaa tietoa tutkimuspöytäkirjan käytön tavoitteista ja tutkivan oppimisen työtavasta. Lisäksi opettajan materiaalissa on tietoa opettajan roolista tutkivassa oppimisessä ja luonnontieteen luonteesta. Arvioinnin tueksi on annettu tietoa arvioinnista tutkivassa oppimisessä sekä ehdotus siitä, miten se voidaan toteuttaa kehitetyn työn yhteydessä luokkaolosuhteissa.

Kokeellisen osuuden lisäksi opetusmateriaaliin kuuluu kaksi PowerPoint –esitystä, joiden avulla opettaja voi kertoa sähkökemian historiaa. Niistä ensimmäinen sisältää Sähkökemiallisen parin historiaa ja toinen elektrolyysin historiaa. Ensimmäinen PowerPoint -esitys on tarkoitettu esitettäväksi ennen kokeellisia töitä. Sen tarkoitus on virittää oppilaat opetusmateriaalin seuraavaan vaiheeseen, kokeelliseen tutkimustyöhön.

Opettajan materiaaliin liitettiin kysymyksiä, joiden avulla opettaja voi halutessaan kohdistaa oppilaitten huomiokykyä historian esityksen kuuntelussa. Elektrolyysin historia –esitys on jatkoa sähkökemiallisen parin historialle. Se voidaan esittää oppilaille kokeellisten töitten jälkeen. Myös tämän esityksen yhteyteen löytyy opettajan materiaalista oppilaan huomiokykyä suuntaavia kysymyksiä. Elektrolyysiin liittyvä laboratoriotyö voidaan valita käytössä olevan oppikirjan mukaisesti.

Opetusmateriaali koostuu kolmesta eri osasta:

- PowerPoint –esitys 1: Sähkökemiallisen parin historiaa
- Tutkimustyö:
 - Osa 1: Leikitään Voltaa!
 - Osa 2: Tutkimustyö
 - Osa 3: Kirjallinen raportti
 - Loppukeskustelu
- PowerPoint –esitys 2: Elektrolyysin historia

Tutkimustyö tehdään sen jälkeen, kun opettaja on esitellyt sähkökemiallisen parin historian PowerPoint –esityksen avulla. Tutkimustyön aluksi oppilaille annetaan tilaisuus keksiä kokeilemalla, miten annetuilla välineillä saa aikaan sähköä eli jännitemittarin neulan liikkautuksen. Tämän jälkeen tehdään tutkimus, jossa selvitetään, mitkä asiat vaikuttavat syntyneen jännitteen suuruuteen. Oppilaat tutkivat pareittain tai kolmen hengen ryhmissä kukin tiettyä muuttujaa. Oppilaat kirjaavat työnsä eri vaiheet tutkimuspöytäkirjaan ja esittelevät tulokset koko luokalle kuvaajan tai taulukon avulla sekä suullisesti omat tulkintansa tuloksista. Tutkimustyön kolmas osa on kirjallisen raportin tekeminen aiheesta. Tutkimustyön osan kolme toteutukseen annetaan 2 eri vaihtoehtoa (liite 3). Lopuksi opetusmateriaali ehdottaa tehtäväksi kokoavan loppukeskustelun, jonka tavoitteen on tehdä yhteenveto oppilaitten kanssa siitä, mitä he ovat oppineet tutkijan työstä ja siitä, millaista luonnontieteellisen tutkimuksen teko on.

Tavoitteena oli myös, että opetusmateriaali on helposti käyttöön otettavissa. Tätä tavoitetta tukee toteutetussa opetusmateriaalissa se, että kokeellisissa töissä käytettävät materiaalit ovat jo entuudestaan sähkökemian töistä tutut, joten opetusmateriaalin käyttöönotto ei vaadi tavallisuudesta poikkeavia hankintoja.

Tavoite siitä, että opetusmateriaali tukee myös opettajan perehtymistä kemian historiaan ja tutkivaan oppimiseen, on pyritty saavuttamaan siten, että PowerPoint –esityksiin on kirjattu muistiinpano –osaan lisätietoa sähkökemian historiasta. Tämä tekee myös esitysten käyttöönoton helpommaksi. Opettaja voi valita itse haluamansa painotukset ja laajuuden, millä esitellä sähkökemian historiaa oppilaille. Opetusmateriaali sisältää jo edellä kerrotun mukaisesti kattavan määrän tietoa myös opettajalle, jolle tutkiva oppiminen työtapana tai sähkökemian historia eivät entuudestaan ole tuttuja. Opetusmateriaalin loppuun on laadittu lista lähteistä ja internet-osoitteista, joista löytyy lisää tietoa kemian historiasta ja tutkivasta oppimisesta.

7. Johtopäätökset ja pohdinta

Tämän kehittämistutkimuksen päätuloksena saatiin tutkimuspohjaisesti uusi opetusmateriaali, jonka avulla voidaan tuoda sähkökemian historiaa kemian opetukseen tutkivaa oppimista työtapana käyttäen. Tarveanalyysin perusteella opetusmateriaalin aiheeksi valittiin sähkökemiallinen pari ja elektrolyysi, sillä ne ovat keskeinen osa sähkökemian kurssia ja historiaa ja niiden tarinat nivoutuvat läheisesti toisiinsa muodostaen mielekkään kokonaisuuden.

Opetusmateriaalin päätavoitteeksi asetettiin tutustuminen sähkökemian historiaan sekä tutkivan oppimisen ja kokeellisuuden avulla luonnontieteen luonteeseen. Lisäksi materiaalin tavoitteena on, että se on helposti käyttöön otettavissa ja tukee opettajan tutustumista kemian historiaan ja tutkivaan oppimiseen työtapana.

7.1 Tarveanalyysi

Tutkimuksessa analysoitiin kaksi yläkoulun kirjaa ja lukion viisi kurssin 4 kemian kirjaa. Tutkimuksessa kävi ilmi, että yläkoulun kemian kirjoista vain toinen tuo esiin sähkökemian historiaa leipätekstissä, toisen yläkoulun kirjan viittausten ollessa vain kaksi tietoruutua elektrolyysin yhteydessä. Lukion kirjasarjat yhtä lukuun ottamatta ovat integroineet sähkökemian historiaa tutkittuihin 4. kurssin oppikirjoihin.

Suurin osa sähkökemian historiaan viittaavista maininnoista löytyy sähkökemiallisen parin yhteydestä. Tämä johtunee siitä, että Luigi Galvanin (1727-1798) ja Alessandro Voltan (1745-1829) välinen väittely eläinsähköstä on varsin tunnettu ja tarkoin tutkittu (mm. Piccolino 1998; Kipnis, 2001), minkä lisäksi pariston keksiminen oli käännteentekevä keksintö sähköhistoriassa ja määrittää sähkökemian alun (Leicester, 1956). Vain kaksi oppikirjaa jatkaa historian tarkastelua seuraavassa luvussa, elektrolyysin yhteydessä. Kokeellisten töiden yhteydessä ei ollut käytetty historiallista näkökulmaa hyödyksi yhdessäkään oppikirjassa.

Jos tarkastellaan opettajan oppaita ja niiden tarjoamaa tietoa historiasta, löytyy toisesta yläkoulun kirjasta sähkökemiallisen parin yhteydessä kattavasti lisätietoa sähkökemiallisen parin historiasta ja oppikirjan kuvista. Historian kerrontaa ei ole kuitenkaan siinäkään jatkettu elektrolyysin puolella, joten voidaan sanoa, että historian esiintuominen on melko epäjohdonmukaista. Lukion kirjoista yksi kehottaa opettajan oppaassa opettajaa luennoimaan pariston keksimisen historiasta. Minkäänlaista materiaalia kehotuksen tueksi ei kuitenkaan anneta. (vrt. Wandersee & Baudoin Griffard, 2002) Kahdesta lukion kirjasta löytyy historiaan liittyvä tehtävä ja siihen vastausluonnos opettajan oppaasta.

Historian hahmoista Luigi Galvani, Alessandro Volta ja Michael Faraday ovat suosituimmat. Elektrolyysin keksijät Nicholson ja Carlisle löytyvät yhdestä lukion oppikirjasta ja yksi esittelee Sir Humphry Davyn, joka löysi alkuaineita elektrolyysin avulla. Näiden henkilöiden avulla on kerrottu sähkökemian historian kehityksestä tai suora lainaus heidän alkuperäisistä tekstistään. (vrt. Herron, 1977; Ahtee & Pehkonen, 2000, 66) Niin ikään yksi lukion oppikirjoista kertoo tarkemmin John Daniellin tekemästä oivalluksesta sähkökemialliseen pariin liittyen, mutta ilman tapahtuman vuosilukua. Daniell jää kaikissa oppikirjoissa vain nimeksi, ilman yhteyttä historian aikajanaan.

Historian integroimisen tavoitteista tärkeimmiksi nousevat tapahtumien ajankohdan kertominen ja historiallisen prosessin tai menetelmän kuvaaminen. Selkeästi tärkeänä on myös pidetty keksintöjen yhteyttä nykypäivään. Historiallisten prosessien kuvaukset ovat omiaan herättämään mielenkiintoa (vrt. Ahtee & Pehkonen, 2000) sähkökemialla kohtaan. Anekdootin tapaisia, hiukan huvittavia yksityiskohtia historiasta, on käytetty oppikirjoissa kaksi kertaa. Esimerkiksi nykypäivän näkökulmasta hauska anekdootti siitä, kuinka alumiini oli vielä Napoleon III:n hovissa kultaakin arvokkaampi metalli, on hyvä esimerkki tieteen kehityksen jatkuvasta muutoksesta ja vaikutuksesta yhteiskuntaan. (Vrt. Holton, 2003; Binnie, 2001; Ahtee & Pehkonen, 2000, 66)

Verrattuna espanjalaisen oppikirja-analyysin (Solbes & Traver, 2003) tuloksiin yhteistä tämän tutkimuksen tuloksilla on se, että myös suomalaisista oppikirjoista löytyy vähäpätöisiä mainintoja ja pieniä historiallisia anekdootteja, vaikkakin vähäisessä määrin. Toisin kuin espanjalaisissa oppikirjoissa, löytyivät historiaan liittyvät tehtävät heti lukukappaleen perästä eikä ylimääräisestä materiaalista. Missä määrin opettajat teettävät näitä tehtäviä oppilaillaan, on kuitenkin epäselvää.

Toisin kuin tutkimuksessa espanjalaisista oppikirjoista (vrt. Solbes & Traver, 2003), löytyy suomalaisista oppikirjoista lainauksia tutkijoiden alkuperäisistä teksteistä. Yleisenä käytäntönä näyttää kuitenkin olevan, että oppikirjoissa ei kerrota lähteitä, mistä historiaan liittyvät tiedot ovat peräisin. (C –kirjassa on kuvaus Voltan tutkimusmenetelmistä, joka on peräisin Voltan kirjeestä Royal Societylle maaliskuussa vuonna 1800 ja oppikirja F on lainannut Sir Humphry Davyn omaa tekstiä hänen tutkimuksistaan. Molemmat tekstit on esitetty englanniksi esimerkiksi lähteessä Leicester & Klickstein, 1952). Tutkijan mielestä alkuperäisten tekstien lainauksen yhteydessä olisi hyvä ilmoittaa tietolähteet vähintäänkin opettajan oppaassa.

Tässä tutkimuksessa tulee selkeästi esille tarjolla olevan opettajan materiaalin vähäisyys. (vrt. Wandersee & Baudoin Griffard, 2002) Jos ei oteta huomioon oppikirjan E opettajan oppaan lyhyttä tehtävän vastausta, ei lukion opettajan oppaissa ollut mitään materiaalia historiallisten viittausten käsittelyyn. Yläkoulun oppikirjan A opettajan oppaasta löytyy oppikirjan tekstiin ja kuviin liittyen lisätietoa historiasta, mutta vain sähkökemiallisen parin yhteydessä. Yläkoulun oppikirja B jättää historian kokonaan käsittelemättä opettajan oppaassa. Tässä tutkimuksessa esitettyjen tutkimustulosten perusteella historiallisesta näkökulmasta (vrt. luku 3.2) olisi kuitenkin hyödyllistä pohtia historiallisen näkökulman tukemista suomalaisissa oppikirjoissa.

7.2 Opetusmateriaali

Tässä tutkimuksessa kehitetty uusi opetusmateriaali sisältää kaksi sähkökemian historia - aiheista PowerPoint –esitystä sekä kolmeosaisen tutkimustyön, jonka toteuttamisessa tukeudutaan tutkivan oppimisen työtapaan.

Opetusmateriaalin keskeisenä tavoitteena on auttaa opettajaa integroimaan sähkökemian historiaa opetukseen ja tutustuttaa oppilasta tutkivan oppimisen ja kokeellisuuden avulla luonnontieteen luonteeseen (luku 3.4.1). Opetusmateriaali on suunniteltu kokonaisuutena käytettäväksi yläkoulun sähkökemian opetuksessa, mutta PowerPoint –esityksiä voidaan käyttää myös lukio-opetuksessa erillisenä materiaalina. Sähkökemian historian tuominen yläkoulun kemian kursseihin on perusteltua siinä mielessä, että vain osa lukion suorittaneista etenee kemian opinnoissaan kemian 4. kurssiin saakka.

Peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa ei suoraan mainita kemian historiaa, mutta tässä tutkimuksessa kehitetyn opetusmateriaalin avulla on mahdollista toteuttaa monia opetussuunnitelman perusteitten asettamia yleisiä tavoitteita (vrt. luku 3.1).

Tarveanalyysin perusteella PowerPoint –esitysten aiheiksi valittiin sähkökemiallinen pari ja elektrolyysi, jotka ovat keskeinen osa sähkökemian kurssia ja joiden tarinat nivoutuvat läheisesti toisiinsa. Opetusmateriaali antaa opettajalle käytettäväksi uuden näkökulman kemian opetuksessa ja mahdollisuuden herättää oppilaiden mielenkiinto luonnontieteitä kohtaan antamalla heille tilaisuus tutustua historian kertomusten virittäminä kemian historian henkilöhahmoihin ja tutkimukseen prosessina. (vrt. Ahtee & Pehkonen, 2000, 66; Justi, 2000) Oppilaat tutustuvat tutkimustyön avulla luonnontieteen luonteeseen (ks. luku 3.4).

Opetusmateriaalin kehittämisessä otettiin huomioon tutkivan oppimisen työtapana, jonka avulla oppilaat saavat tilaisuuden tutustua luonnontieteen luonteeseen. Opetusmateriaalin tutkimustyö -osiossa edetään luonnontieteelliselle tutkimukselle tyypillisten työvaiheitten kautta (vrt. Aksela 2005; Minner et al., 2009). Oppilaalle annetaan omakohtainen kokemus luonnontieteellisestä tutkimuksesta (vrt. Aksela, 2001). Tutkimus tehdään työpareittain, mutta oppilaita rohkaistaan vaihtamaan ajatuksia toisten työparien kanssa. Opettajaa rohkaistaan tukemaan sosiaalista vuorovaikutusta oppilaitten kesken. (vrt. Hakkarainen et al., 2004, DeBoer, 2004) Omistautuessaan työlleen oikean tutkijan tavoin, oppilaalle avautuu luonnontieteellisen työn luonne. (vrt. Green et al., 2004)

Opetusmateriaalille asetettiin lisätavoitteeksi, että se on helppo ottaa käyttöön ja tukee myös opettajan perehtymistä kemian historiaan, tutkivaan oppimiseen työtapana ja luonnontieteen luonteeseen. Nämä tavoitteet on otettu huomioon siten, että opetusmateriaaliin on työohjeiden ja oppilaanohjeiden lisäksi liitetty kattavasti tietoa tutkivasta oppimisesta, opettajan roolista tutkivassa oppimisessa ja luonnontieteen luonteesta. Arvioinnin tueksi on annettu tietoa arvioinnista tutkivassa oppimisessä sekä ehdotus siitä, miten se voidaan toteuttaa kehitetyn työn yhteydessä luokkaolosuhteissa. Lisäksi PowerPoint –esityksiin on kirjattu muistiinpano –osaan täydentävää lisätietoa sähkökemian historiasta. Opetusmateriaalin käyttöönottoa helpottaa myös se, että kokeellinen tutkimustyö ei vaadi tavallisuudesta poikkeavia hankintoja.

Tämän tutkimuksen tuloksena tuotettu opetusmateriaali heijastaa tutkijan käsitystä mielekkästä ja kattavasta opetusmateriaalista. Erityisesti opetusmateriaalin PowerPoint -esityksissä rakenteeseen ja sisältöön on vaikuttanut tutkijan omat mielipiteet ja kokemukset siitä, mikä olisi mielenkiintoista kerrottavaa sähkökemian historiasta. Esitys on siis vain yksi näkökulma kemian historiaan ja suhteellisen lyhyelle jaksolle siitä. Kemian historiaan liittyviä oppimateriaaleja tulisi kehittää myös muille kemian osa-alueille.

Tässä tutkimuksessa kehitetty materiaali on tarkoitettu opettajan käyttöön kemian oppitunnilla. Kemian historiaan liittyvä työ voidaan luontevasti suunnitella myös yhteistyössä muiden oppiaineitten kanssa. Esimerkiksi LUMA-viikon yhteydessä voivat oppilaat laatia lyhyen historiallisen tutkielman jostain luonnontieteen tutkijasta historian opetuksen kanssa yhteistyössä. Englannin opetukseen soveltuisi mm. Michael Faradayn joululuennot tai internetistä löytyvät lukuisat kemian historiaan liittyvät tekstimateriaalit ja luonnontieteen museoitten internet-sivustot. Luonnontieteen historia voidaan tuoda esiin myös yhteistyössä fysiikan opetuksen kanssa, sillä monet historian merkittävistä tutkijoista ja keksijöistä ovat tehneet saavutuksia sekä kemian että fysiikan parissa.

Tehty tutkimus herätti uusia tutkimuskysymyksiä. Olisi mielenkiintoista tutkia, miten kehitetty opetusmateriaali toimii käytännössä luokkahuonetyöskentelyssä. Olisi mielenkiintoista saada tietoa sekä opettajien että oppilaitten mielipiteistä opetusmateriaaliin liittyen. Voisi myös tutkia, miten oppimateriaali tukee oppimista tai lisääkö se oppilaitten mielenkiintoa kemiaa kohtaan.

7.3 Tutkimuksen merkitys

Sähkökemian opettaminen koetaan yhdeksi vaikeimmista osa-alueista kemiassa (Griffiths, 1994). Historiallinen näkökulma voi tuoda tervetulleeseen vaihtoehdon opettajalle sähkökemian kurssin suunnittelussa ja keventää kurssin sisältöä myös oppilaitten näkökulmasta. Oppilaitten kiinnostusta kemiaa kohtaan voidaan lisätä käyttämällä historialliseen tietoon pohjautuvaa materiaalia (vrt. Ahtee & Pehkonen, 2000; Wandersee & Baudoin Griffard, 2002) Lukuisat tutkimukset tuovat esiin historiallisen näkökulman hyödyllisyyden (vrt. luku 3.2), mutta jättävät usein kertomatta, miten historiallinen lähestymistapa pitäisi ottaa käyttöön (vrt. Wandersee & Baudoin Griffard, 2002).

Sillä, että historia tuodaan osaksi kemian opetusta, on todettu olevan monia hyviä vaikutuksia. Tutkimusten mukaan luonnontieteen historia antaa kuvan tieteen kehityksestä, inhimillisyydestä ja vaikutuksesta eri kulttuureihin (Holton, 2003). Kemian historian opettaminen vaikuttaa opettajan ja sitä kautta myös oppilaan käsitykseen luonnontieteiden luonteesta (Lin & Chen, 2002). Sen on todettu myös parantavan lukiolaisten asennetta luonnontieteitä kohtaan (Solbes & Traver, 2003). Sen avulla voidaan kehittää oppilaan tieteellistä lukutaitoa (Lin & Chen, 2002) ja vaikuttaa yläkoululaisten kykyyn ratkaista käsitteellisiä ongelmia (Lin 1998). Luonnontieteiden historian avulla voidaan kertoa, milloin ja kuinka tieto on rakentunut, missä historiallisissa ja sosiaalisissa yhteyksissä teoriat ovat kehittyneet ja miten ne ovat vaikuttaneet nykypäivän maailmaan (Solbes & Traver, 2003; Justi, 2000, 210; Osborne et al. 2002). Historian avulla on mahdollista tuoda esiin tieteen kehityksen jatkuva muutos (Ahtee & Pehkonen, 2000, 66; Holton, 2003). minkä lisäksi historiallinen näkökulma syventää oppilaan käsitystä luonnontieteen luonteesta (vrt. Justi & Gilbert, 199).

Sähkökemian historia, kuten historia yleensä, on varsin laaja käsite ja pitää sisällään lukuisia tapahtumaketjuja. Kun tieteen historiasta lähdetään kertomaan oppikirjoissa tai -tunneilla, on lopputulos väistämättä pelkistys kaikesta siitä, mitä tapahtui ja mikä olisi mielekästä ja tarpeen tuoda myös oppilaitten tietoisuutteen. Kertomukset historian eri vaiheista kuitenkin elävöittävät opetusta ja tuovat kemiaan inhimillisempää näkökulmaa (Herron, 1977; Holton, 2003). Tutkimuksen aikana tehdyissä kokeiluissa on havaittu, että monet oppilaat kokivat historian hyvin kiinnostavaksi. Sähkökemian historiasta kertominen antoi vaihtelua opetukseen ja kevensi pitkän oppitunnin rakennetta.

Oppikirjan on todettu ohjaavan työskentelyä luonnontieteen oppitunnilla (Tobin et al., 1994, 51) mutta on selvää, että historian esiintuomisessa opettaja on avainasemassa. Opettajan oma kiinnostus historiaa kohtaan ja halu tuoda sitä esille omassa opetuksessaan vaikuttavat siihen, kuinka mahdollisia oppikirjojen viittauksia historiaan käytetään hyödyksi opetuksessa. On tärkeää, että opettaja tiedostaa mihin kaikkien historiallinen näkökulma kemian opetuksessa voi vaikuttaa. Tämä tieto toimii kannustimena siihen ylimääräiseen työhön, mikä opettajalta vaaditaan historiallisen näkökulman toteuttamisessa. Tässä työssä esitettyjen tutkimusten perusteella kemian historiaan käytetty aika ei ole hukkaan heitettyä aikaa. Jos alkukiinnostus saadaan herätettyä, voi oppilas perehtyä myös itsenäisesti tarkemmin luonnontieteitten historiaan.

Tässä tutkimuksessa on käynyt selkeästi ilmi, että oppikirjat ja opettajan oppaat eivät johdonmukaisesti tue historiallisen näkökulman käyttöönottoa kemian opetuksessa. Yksi keskeisimmistä esteistä historiallisen näkökulman käyttöönotolle kemian opetuksessa on valmiin ja käyttökelpoisen suomenkielisen materiaalin puute. Monesti monimutkaisen historian kulun yksinkertaistaminen ja aineiston muokkaaminen siihen muotoon, että se on sekä käytettävissä, että riittävän selkeä ja rehellinen kuvaus tapahtumien kulusta on suuri haaste (vrt. Wandersee & Baudoin Griffard, 2002). Tässä työssä kehitetty opetuspaketti voi madaltaa kynnystä sähkökemian historian integroimiseen kemian opetukseen. Jotta historiallinen näkökulma olisi käytännössä helpompaa tuoda kemian opetukseen, olisi tarpeen kehittää lisää suomenkielistä opetusmateriaalia myös muille kemian osa-alueille.

LÄHTEET

Ahtee, M., & Pehkonen, E. (2000.). *Johdatus matemaattisten aineiden didaktiikkaan*. Helsinki: Edita.

Aksela, M. (2001). Luentomoniste: Tutkiva oppiminen ja kokeellisuus.
https://www.edu.helsinki.fi/malu/koulutus/virtuaalikoulu/tutkiva_opp/tutkiva/tutkiva.pdf
 df (30.12.2009)

Aksela, M., (2005). Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach, Helsinki: Helsingin yliopiston kemian laitos. (Luettu 30.12.2009)
<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/kemia/vk/aksela/supporti.pdf>

Aksela, M., & Karjalainen, V. (2008.). *Kemian opetus tänään : Nykytila ja haasteet suomessa*. Helsinki: Kemian opetuksen keskus, kemian laitos.

Aksela, M., & Montonen, M. (2008). *Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluun : Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät 29.-30.3.2007 Helsinki*. Helsinki: Opetushallitus.

Bernal, J. D., (1954). *Science in history*, Watts, London.

Binnie, A., (2001). Using the History of Electricity and Magnetism to Enhance Teaching, *Science and Education, Vol. 10*, 379-389.

Castrén, M. J., Lappalainen, O., Nöjd, O., (1982). *Historian ja yhteiskuntaopin didaktiikka*. Helsinki, Otava, s.95-102.

Chamizo, J., A., (2007). Teaching Modern Chemistry through ‘Recurrent Historical Teaching Models’, *Science and Education, Vol. 16*, 197-216.

Corder, G., W., (2006). Using an Unconventional History of the Battery to Engage Students and Explore the Importance of Evidence. *Virginia Journal of Science Education, Vol. 1, No 1*, 33.

- DeBoer, G., E., (2004). Historical perspectives on inquiry teaching in schools, teoksessa
Flick, L. B., & Lederman, N. G. (cop. 2004.). *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, s.17–36.
- Duschl R., (1994), Research on the history and philosophy of science, teoksessa: Gabel D. (toim.), *Handbook of research on science teaching and learning*, s.443-465.
- Eteläpelto, A. & Tynjälä, P. (toim.) (1999). *Oppiminen ja asiantuntijuus*. Juva, WSOY.
- Florida State University, Center for integrating research and learning. Magnet Lab,
National high magnetic field laboratory.
<http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/museum/leydenjar.html> (23.02.2010)
- Green W., Elliot C., Cummins R., (2004). ”Prompted” inquiry-Based Learning in the
Introductory Chemistry Laboratory, *Journal of Chemical Education Vol. 81, No. 2, s. 239-242*.
- Gribbin, J.(2003). Science: a history, 1543-2001.
- Griffiths, A.K (1994). A Critical Analysis and Synthesis of Research on Students’
Chemistry Misconceptions. Teoksessa Schmidt, H.-J. (toim.). *Problem solving and misconceptions in chemistry and physics: Proceedings of the 1994 international seminar, university of Dortmund, Germany*. Hong Kong: ICASE. S.70-99.
- Hakkarainen, K., Lonka, K. & Lipponen, L. (1999). *Tutkiva oppiminen. Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen*. Helsinki: WSOY.
- Hakkarainen, K., Lonka, K., & Lipponen, L. (2004). *Tutkiva oppiminen : Järki, tunteet ja kulttuuri oppimisen sytyttäjinä* (6. uud. p. ed.). Helsinki: WSOY.
- Hakkarainen K., Seitamaa-Hakkarainen, P., (2004)
http://mlab.taik.fi/polut/Yhteisollinen/teoria_tutkiva_oppiminen.html (luettu 23.11.2009)
- Hakkarainen, K. (2005). *Tutkiva oppiminen käytännössä : Matkaopas opettajille*. Helsinki: WSOY.

- Herron, J.D., (koottu seuraavien raporteista) Bochmann, E., Kessel, W., Lokensgard, J., Macinnes, D., (1977), The Place of History in the Teaching of Chemistry, *Journal of Chemical Education*, Vol. 54, No.1, 15-16.
- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G., Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark 2006. *Educational psychologist*, 42(2), 99–107.
- Holton, G. (2003), What Historians of Science and Science Educators Can Do for One Another? *Science & Education*, Vol. 12, 603-616.
- Hudson, J. *Suurin tiede : kemian historia*, Art House, Helsinki, 1995.
- Justi, R. & Gilbert, J.K. (1999). History and Philosophy of Science through Models: The Case of Chemical Kinetics. *Science and Education*, Vol. 8, 287-307.
- Justi R., (2000). Teaching with Historical models, teoksessa Gilbert, J. K. & Boulter, C.J., (toim.) *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. S.209-226.
- Kallunki, V., (2001). *From electrostatics to the circuits of the pile: experimentality and models in concept formation*, lisensiaattityö, Helsingin yliopisto, Helsinki, s.27-33.
- Kipnis, N., (2001), Debating the Nature of Voltaic Electricity, 1800-1850. Kirjassa Bevilacqua, F. ja Giannetto, E.A. (toim.) *Nuova Voltiana, Studies on Volta and his Times*, 3. Università degli studi di Pavia. Hoepli, Milano, s.126-128.
- Kragh H., (2000). Confusion and Controversy: Nineteenth Century Theories of the Voltaic Pile. Kirjassa F.Bevilacqua ja E.A. Giannetto (toim.) *Nuova Voltiana, Studies on Volta and his Times*, 1. Università degli studi di Pavia. Hoepli. Milano. 133-157, s.134
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., Kaplan, D.(2000). The Development of Cognitive Skills To Support Inquiry Learning, *Cognition and Instruction*, Vol. 18(4), 495–523.
- La Cour, P., Appel, J., (1906). *Maailman rakenne ja luonnonvoimat II*, Otava, Helsinki.

- Lavonen, J. (2008). Finland PISA and teaching methods in Finland: Focus on Inquiry. Science-Teacher Education Advanced Methods, The S-TEAM Project. A coordination and support action under FP7, SiS 2008, action 2.2.1.1, Innovative Methods in Science Education. University of Helsinki (Luentokalvot, s.14).
- Lavonen & Meisalo et al. (1998) Matemaattis-luonnontieteellisten aineiden työtapaopas. Arviointi.<http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/arviointi//index.htm> (09.12.2009)
- Lazarowitz, R. & Tamir, P., (1994). Research on Using Laboratory Instruction in Science teoksessa Gabel, D. L.(toim.) (1994.). *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan. S. 94.
- Lederman, G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R.L. & Schwartz, R.S., (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 (6), 497–521.
- Lonka, I., & Lonka, K. (1991.). *Aktivoiva opetus : Käsikirja aikuisten ja nuorten opettajille*. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Leicester, H. M. (1956). *The historical background of chemistry*, Wiley, New York.
- Leicester, H. M, Klickstein, H. S., (1952). *A source book in chemistry 1400-1900*; McGraw-Hill: New York, 554, s.240-242. Kirjassa ote Voltan kirjeestä Sir Joseph Banksille 20.3.1800, Julkaistu Royal Societyn julkaisussa *Philosophical Transactions* s.403, 1800.
- Leicester, H. M.; Klickstein, H. S., (1952b). *A source book in chemistry 1400-1900*; McGraw-Hill: New York, 554, s.243-248, Ote tekstistä The Bakerian Lecture in November 1807, julkaisusta *The Philosophical Transactions* 98, 1-44, 1808. Lainatun katkelman käännös suomeksi Matleena Ojapalo ja Minna-Liisa Rantaniemi.

- Leicester, H. M.; Klickstein, H. S., (1952c). *A source book in chemistry 1400-1900*; McGraw-Hill: New York, 554 s.253-258, Ote tekstistä ”Researches on the oxymuriatic Acid, its Nature and Combinations; and on the Elements of the muriatic Acid”, *Philosophical Transactions*, 100, 231-57, 1810. Sekä *Philosophical Transactions* 101, 1-35, 1811.
- Lin, H. (1998), The Effectiveness of Teaching Chemistry through the History of Science, *Journal of Chemical Education*, Vol. 75, 10, pp. 1326-1330.
- Lin, S., Chen, C.(2002), Promoting Preservice Chemistry Teachers' Understanding about the Nature of Science through History, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 39, 9, pp. 773-792.
- Lin, H., Hung, J., Jung S., (2002) Using the history of science to promote students' problem-solving ability. *International Journal of Science Education*, Vol. 24, No.5, pp.453-464.
- Lindell, I. V., (1994). *Sähkötekniikan historia*, Otatieto, Espoo
- Magie, W. F., (1965). *A Source Book in Physics*; Harvard University Press: Cambridge, s.420-426, Oteita Galvanin tekstistä “De viribus electricitatis in motu musculari commentarius”, julkaistu teoksessa *De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii*, Vol 7, 1791.
- Magie, W. F., (1965 b). *A Source Book in Physics*; Harvard University Press: Cambridge s. 432-436. Ote julkaisusta *Nicholsons's Journal of Natural Philosophy, Chemistry and Arts*, July, 1800.
- Minner, D.D., Levy, A.J., Century, J. (2009) Inquiry-Based Science Instruction—What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, (Early View, 2010)
- Nadolski, R.J., Paul A. Kirschner, P.A., van Merriënboer, J.J.G. (2005): Optimizing the number of steps in learning tasks for complex skills, *British Journal of Educational Psychology*, Vol.75, 223–237.

- Opetushallitus. 2004. *Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet 2004*. Helsinki: Opetushallitus.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., Duschl, R., (2003). What “Ideas-about-Science Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community. *Journal of Research in Science Teaching, Vol.40, No7, pp.692-720*.
- Pavian yliopisto (2009). Voltamuseon sivut: http://ppp.unipv.it/Volta/Pages/immagini/gv2_1.gif
<http://ppp.unipv.it/volta/Pages/ePage1.html>,
http://ppp.unipv.it/Volta/Pages/immagini/gv8_1.gif
<http://pp.unipv.it/Volta/Pages/ePage5.html> (s.12)
- Piccolino M., (1998). Animal electricity and the birth of electrophysiology: the legacy of Luigi Galvani. *Brain Research Bulletin, Vol.5, 381- 389*.
- Rantaniemi, M-L., (2009). *Sähkökemian historian alkuvaiheet*. Kandidaatintutkielma, Helsingin yliopisto, kemian laitos, kemian opettajankoulutusyksikkö.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henrikson, H., Hemmo, V. (2007). European Commission Community research: Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe. Directorate-General for research Science, Economy and Society. (<http://ec.europa.eu/research/science-society/>)
- Ruiz-Primo, M.A., Furtak, E.M., (2006). Informal Formative Assessment and Scientific Inquiry: Exploring Teachers’ Practices and Student Learning. *Educational Assessment, Vol. 11 (3&4), 205-235*.
- Sanger, M.J., Greenbowe, T.J., (1997). Students' misconceptions in Electrochemistry: Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. *Journal of Chemical Education, Vol. 74, No. 7, 819-823*.
- Solbes, J.; Traver, M., (2003), Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry. *Science & Education, Vol. 12, s. 703-717*.
- Schwartz, D. L.; Bransford, J. D. (1998). A time for telling. *Cognition and Instruction, Vol. 16, 475–522*.

- Tafoya, E., Sunal, D., Knecht, P., (1980). Assessing inquiry potential: A tool for curriculum decision makers. *School Science & Mathematics*, 80(1), 43 – 48.
- Tobin, K., Tippins, D.J. & Gallard, A. J., (1994). Research on instructional strategies for teaching science. Teoksessa D.L. Gabel (toim.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York: Macmillan. S.45-93.
- Tuomi, J., Sarajärvi, A. 2004, *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. 1.-3. painos. Gummerrus kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Uusikylä, K., & Atjonen, P., (2000). *Didaktiikan perusteet*, Juva: WS Bookwell Oy.
- Wandersee J. & Baudoin Griffard P., 2002, The History of Chemistry: Potential and Actual contributions to Chemical Education, teoksessa Gilbert J. K. (toim.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, pp. 29-46.
- Yli-Panula, E., (2000). Luonnontieteellinen tutkimus työtapana teoksessa Eloranta V., Jeronen, E., Palmberg, I., (toim.) *Biologia eläväksi – biologian didaktiikka*.
-

LIITTEET

- Liite 1: Tutkitut oppikirjat
- Liite 2: Oppikirja-analyysin tulokset taulukoituna
- Liite 3: Opetusmateriaali

Liite 1: Tutkitut oppikirjat

- A: Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H., Nyrhinen, K. (2004). *Avain kemia 2: Opettajan aineisto*. 1.painos. Helsinki: Otava.
- B: Aspholm, S., Hirvonen, H., Hongisto, J., Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H., Viiri, J., (2003). *Aine ja energia. Kemian työkirja 3. Metallien kemiaa, Tuotteiden elinkaari – Reaktioita ympäristössä ja laboratoriossa / kemian opettajan opas 3* (1.- 2. p. ed.). Helsinki: Wsoy.
- Aspholm, S., Hirvonen, H., Hongisto, J., Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H., Viiri, J., (2001). *Aine ja energia. Kemian tietokirja* (8. uud. p. ed.). Helsinki: WSOY.
- C: Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T., & Vakkilainen, K-M., (2006). *Kemisti 4 – Metallit ja materiaalit*. Helsinki: WSOY.
- D: Kalkku, I., Kalmi, H., & Korvenranta, J. (2006). *Kide 4. Metallit ja materiaalit KE4*. Helsinki: Otava.
- E: Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M., & Rassi, M. (2006). *Neon 4. Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Editat.
- F: Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L., & Vaskuri, J. (2006). *Mooli 4: Lukion kemia. Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Otava.
- G: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., Pihko, P., (2006). *Lukion kemia – REAKTIO 4, Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Tammi.

Kaikista oppikirjoista analysoitiin myös opettajan materiaalit, joista osa saatiin sähköisessä muodossa suoraan kustantajalta.

Liite 2: Oppikirja-analyysin tulokset taulukoituna

Liite 2 A : Johdantotekstissä olevat viittaukset sähkökemian historiaan

A) Johdantotekstissä olevat viittaukset sähkökemian historiaan			
Lähde	Tarkka teksti	Esiintymiselementti	Historian Integroinnin tavoite
E	Aluksi kemialliset prosessit opittiin ja otettiin käyttöön kokeellisesti yrityksen ja erehdyksen kautta. Kuitenkin jo varhain joukko ihmisiä, ajattelijoita, kiinnostui näiden prosessien luonteesta. Aina 1600-luvun lopulle asti selitykset perustuivat pääasiassa ajatteluun ja yksittäisiin havaintoihin. Monet esitetyistä teorioista kuulostavat nykyihmisestä sadunomaisilta sepityksiltä, mutta poikkeuksiakin on: esimerkiksi jo kreikkalainen Demokritos selitti noin 400 eKr., että kaikki aine koostuu jakamattomista osasista, joita hän kutsui atomeiksi. (s.5)	Alkuteksti, johdatus kurssiin metallit ja materiaalit	Historiallisen prosessin kuvaus
E	Nykyisen luonnontieteellisen tutkimuksen perustana oleva tiedon systemaattinen kerääminen kokeiden avulla oli avain luonnontieteiden ja teknologian kehitykseen. Kokeellinen metodi yleistyi tiedemaailmassa vasta 1700-luvulla. Siitä lähti liikkeelle kehitys, joka muutti teknologian ja tieteen (ilmiön ymmärryksen) vuorovaikutusta: nykyään tieteelliset teoriat kehitetään usein ennen niihin perustuvia teknisiä keksintöjä, kun taas ennen modernin tieteen aikakautta tekniikat kehittyivät käytännön työssä, minkä jälkeen filosofit alkoivat pohtia niiden taustalla olevia ilmiöitä. (s.5-6.)	Alkuteksti, johdatus kurssiin metallit ja materiaalit	Historiallisen prosessin kuvaus Yhteys nykypäivään.
E	Kemiallista energiaa on osattu muuntaa sähköksi paristoissa, polttokennoissa ja akuissa jo noin kahdensadan vuoden ajan. (s, 7)	Alkuteksti, luku 1, Sähkökemian.	Yhteys historian aikajanaan
F	Sähkökemian kehittyminen 1700-luvun lopussa ja 1800-luvun alkupuolella avasi mahdollisuuden valmistaa uusia aineita teollisessa mittakaavassa. Esimerkiksi alumiini oli ennen sähkökemian kehittymistä varsin arvokas metalli, koska sitä oli vaikea puhdistaa luonnosta löytyvästä malmista. Esimerkiksi Napoleon III:n hovissa kunniavieraiden ruokailuvälineet oli valmistettu alumiinista, kun taas vähempiarvoiset vieraat nauttivat ruokansa kultaisilla ja hopeisilla ruokailuvälineillä. Sähkökemian myötä alumiinista on tullut yksi tavallisimmista käyttömetalleista.(s.39)	Luku 3: Hapettumis-pelkistymisreaktioiden sovelluksia, johdantoteksti.	Yhteiskunnallinen ja teknologinen kytkentä. Yhteys historian aikajanaan. Anekdootti

Liite 2 B : Sähkökemiallisen parin yhteydessä olevat viittaukset sähkökemian historiaan

B) Sähkökemiallisen parin yhteydessä olevat viittaukset sähkökemian historiaan			
Lähde	Tarkka teksti	Esiintymiselementti	Historian Integroinnin tavoite
A	Italialainen lääkäri Luigi Galvani teki 1700-luvun lopulla havainnon, että sammakon reisilihakset saatiin supistumaan, kun lihaksia kosketettiin kahdella erilaisella toisiinsa yhdistetyllä metallilla. Galvani ei osannut selittää ilmiötä oikein, vaan arveli supistumisen olevan peräisin sammakosta tulevasta eläinsähköstä. (s.94, 1.kappale)	Leipäteksti sähköparin yhteydessä	Historiallisen prosessin kuvaus. Yhteys historian aikajanaan.
A	Toinen italialainen Alessandro Volta päätteli, että olennaista ilmiön tapahtumiselle oli lihaksen nestepitoisuus ja kahden eri metallin käyttäytyminen. Supistuminen johtui siis metalleista ja niiden välillä olevasta liuoksesta. (s.94, 2.kappale)	Leipäteksti sähköparin yhteydessä	Historiallisen prosessin kuvaus
A	Alessandro Volta oivalsi, että erilaisten metallien välillä on jännite. Hänen keksintönsä, Voltan pari, oli alkeellinen paristo. (s.94)	Kuvateksti, sähköpari	Historiallisen prosessin kuvaus
A	Lihak- ja hermosteissa kulkeva sähkövirta aiheutti Galvanin kokeissa havaitun sammakon reisilihasten supistumisen. Ensimmäisen virtalähteen, Voltan parin, keksimisen jälkeen metallipareja tutkittiin paljon, ja tutkimuksen johtivat myöhemmin <i>pariston</i> keksimiseen.(s.95)	Leipäteksti sähköparin yhteydessä	Historiallisen prosessin kuvaus
A	Vaikka nykyään paristoja on monenlaisia, niiden peruseräite on kuitenkin sama, minkä Volta oivalsi. Tarvitaan kaksi erilaista ainetta, useimmiten metallia, jotka yhdistetään toisiinsa sähkö johtavan liuoksen avulla.(s.95)	Leipäteksti sähköparin yhteydessä	Yhteys nykypäivään
A	Italialainen Luigi Galvani oli ammatiltaan lääkäri, joka kiinnostui sähköä vaikutuksesta lihaksiin ja hermoihin. Tunnettuja ovat hänen tekemänsä sammakonreisikokeet, joissa hän havaitsi sammakon raajan osana metallilanka-piiriä synnyttävän sähkövirtaa. Galvani uskoi löytäneensä uuden sähkölajin, eläinsähkö. Galvania kiehoi ajatus, että hän oli löytänyt elämän olemuksen.(s.94 1.kappale)	Opettajan kirja, "Lisätietoja ja kuvien tarkastelua"	Historiallisen prosessin kuvaus
A	Julkaistessaan vuonna 1791 laajojen kokeidensa tulokset hän selitti sähköä olevan peräisin eläinten sisältä. Teoria herätti suurta huomiota, olihan Galvani paljastanut fyysisen ja biologisen maailmanvälisen yhteyden. Tätä käsitystä alettiin kutsua myöhemmin galvanismiksi. (s.94, 2. kappale)	Opettajan kirja, "Lisätietoja ja kuvien tarkastelua"	Historiallisen prosessin kuvaus
A	Kuvassa oleva italialainen fyysikko Alessandro Volta keksi vuonna 1799 keinon tuottaa sähköä kahden metallin avulla. Volta toisti Galvanin kokeen, mutta hylkäsi teorian eläinsähköstä. Sähkö ei hänen mukaansa ollut peräisin sisältä, vaan ulkoa, kahden metallin kontaktista. (s.94, 3. kappale)	Opettajan kirja, "Lisätietoja ja kuvien tarkastelua"	Historiallisen prosessin kuvaus. Yhteys historian aikajanaan.
A	Kuvassa taustalla näkyvä Voltan pari on rakennelma, jossa on parillinen määrä päällekkäin asetettuja hopeakolikoita ja sinkkilevyjä. Jokaisessa välissä on suolaliuokseen kastettu kangas. Jos kosketti yhtä aikaa päällimmäistä ja alimmaista levyä, sai tuntuva sähköiskun. (s.94, 4. kappale)	Opettajan kirja, "Lisätietoja ja kuvien tarkastelua"	(Laitteen toiminnan kuvaus)
E	Lontoossa sijaitsevan Faradayn museon lattiassa on sammakko-kuviointi muistuttamassa siitä, että sähkökemiallisten keksintöjen sarja on alkanut sammakonreiden sätkimisestä virinneistä havainnoista. Italialainen Luigi Galvani havaitsi vuonna 1791, että sähköinen ilmiö saa sammakonreiden liikkumaan, kun reiteen on työnnetty messinkinen koukku ja rautapuikko. (s. 11)	Kuvateksti, luku 1, Sähkökemian: kuva 1.3.	Historiallisen prosessin kuvaus. Yhteys historian aikajanaan.
C	Bolognaalainen lääkäri Luigi Galvani (1737-1798) ja Paviaan yliopiston fysiikan professori Alessandro Volta (1745-1827) toivat sähkökemialliset ilmiöt tieteellisen tutkimuksen piiriin. Galvani huomasi kokeissaan, että vastikään irrotetun sammakon jalan voi saada liikahtamaan, jos kuparilanka sijoitetaan raajassa olevaan hermoon ja rautalanka lihakseen ja metallit yhdistetään toisiinsa. Volta toisti kokeen ja teki johtopäätöksen, että ilmiölle on olennaista lihaksen nestepitoisuus ja kahden eri metallin käyttäminen. Volta jatkoi kokeita pinoamalla vuoron perään kupari- ja sinkkilevyjä ja asetti levyjen väliin suolahapossa kostutettuja kankaita. Näin saatiin aikaan aiempaa voimakkaampi sähkövirta. Tieto keksinnöistä tuli Englantiin vuoden 1800 tienoilla. <i>William Nicholson</i> (1753-1815) ja <i>Anthony Carlisle</i> (1768-1840) rakensivat muutamassa päivässä nyt Voltan patsaana tunnetun sähkökemiallisen laitteiston, jolla he hajottivat vettä vedyksi ja hapeksi. (s.33)	Kuvateksti kappaleen alussa. Kuvassa kotitekoinen Voltan pylväs ja nykyaikainen jännitemittari kytkettynä siihen.	Historiallisen prosessin kuvaus. Yhteys historian aikajanaan.

C	Alessandro Volta oli ensimmäinen tutkija, joka osoitti, että kaksi eri metallia tuottaa sähkövirtaa. Ensimmäisessä kokeessaan hän otti hopearahan ja palan tinapaperia, joiden reunat koskettivat toisiaan. Kun hän kosketti metalleja kielellään, hän tunsi happaman maun. Silmissä metallit aiheuttivat salamaa muistuttavan välähdyksen, kun Volta kosketti metalliliuskoilla silmiään. (s.33)	Kuvalla varustettu inforuutu sivun alalaidassa.	Yhteiskunnallinen kytkentä. (Tutkimusmenetelmän kuvaus.)
C	Vanhimpia kemiallisia virtalähteitä on ns. Daniellin pari. (s.35)	Leipäteksti.	Yhteys historian aikajanaan? (Ei vuosilukua)
G	Evoluution aikana ihmiset ovat oppineet käyttämään työkaluja ja rakentamaan erilaisia koneita ja kojeita. Aluksi nämä toimivat lihasvoimalla. Ajan mittaan kemiallinen energia opittiin muuttamaan palamisreaktion avulla lämpöenergiaksi ja se edelleen mekaaniseksi työksi tai sähköenergiaksi. 1800-luvun alussa keksittiin lennätin, mutta luotettavaa, varmatoimista virtalähdettä laitteessa ei ollut.(s.28)	Leipäteksti sähköparin yhteydessä	Historiallisen prosessin kuvaus
G	Lennättimen virtalähdettä miettiessään englantilainen kemisti John Daniell pohti, voisiko kemiallisen energian, joka vapautuu edellisen demonstraation reaktiossa elektronien siirtyessä, saada lämmön sijasta hyödynnettyä suoraan sähköä. Hän oivalsi, että erottamalla kuparin ja sinkin toisistaan olisi mahdollista rakentaa suljettu virtapiiri, joka toimisi virtalähteenä. Daniellin kenno onkin yksi esimerkki galvaanisista kennoista. Tänään galvaanisten kennojen sovellukset toimivat kaikkien paristo- ja akkukäyttöisten laitteiden virtalähteinä. Myös polttokennoissa sovelletaan samaa ideaa. (s.30)	Leipäteksti sähköparin yhteydessä	Historiallisen prosessin kuvaus. Yhteys nykypäivään.

Liite 2 C) : Elektrolyysin yhteydessä olevat viittaukset sähkökemian historiaan

C) Elektrolyysin yhteydessä olevat viittaukset sähkökemian historiaan			
Lähde	Tarkka teksti	Esiintymiselementti	Historian Integroinnin tavoite
B	"Elektrolyysi-ilmiön peruslait keksi englantilainen fyysikko Michael Faraday vuonna 1833." (s. 227)	Tiesitkö? -tietoruutu Luku 6: Elektrolyysi.	Yhteys historian aikajanaan.
B	"Jo kolmannella vuosisadalla eKr., parthialaiset osasivat Persiassa valmistaa alkeellisia paristoja. He päälystivät koruja elektrolyyttisesti." (s.227)	Tiesitkö? -tietoruutu Luku 6: Elektrolyysi.	Yhteys historian aikajanaan.
C	...Tieto keksinnöistä tuli Englantiin vuoden 1800 tienoilla. <i>William Nicholson</i> (1753-1815) ja <i>Anthony Carlisle</i> (1768-1840) rakensivat muutamassa päivässä nyt Voltan patsaana tunnetun sähkökemiallisen laitteiston, jolla he hajottivat vettä vedyksi ja hapeksi. (s.33) (Kuvassa kotitekoisen Voltan pylväs ja nykyaikainen jännitemittari kytkettynä siihen)	Kuvateksti lukukappaleen alussa.	Historiallisen prosessin kuvaus. Yhteys historian aikajanaan.
C	Elektrodeilla tapahtuvista kemiallisista muutoksista Michael Faraday (1791-1867) päätteli 1830-luvulla, että elektrolyyttiliuoksessa sähköä kuljettajat olivat liuoksen hajoantumistuotteita, joista toiset kulkivat positiiviselle, toiset negatiiviselle kohtiolle. Näitä sähköllä varattuja hiukkasia Faraday nimitti ioneiksi. Nimitys juontaa kreikan kieleen, missä ionilla tarkoitetaan vaeltajaa. Anioni olisi siten luokse vaeltaja ja kationi poisvaeltaja. Anodiksi (+) nimitettiin se elektrodi, johon anionit (-) vaelsivat, katodiksi (-) puolestaan sitä kohtiota, johon kationit (+) kulkeutuivat. (s. 44)	Tietoruutu sivun alalaidassa elektrolyysin yhteydessä.	Historiallisen prosessin kuvaus. Yhteys historian aikajanaan.
C	Historiallisista syistä sähkövirran suunta on määritelty vastakkaiseksi elektronien liikesuunnalle, eli sähkövirta merkitään kulkemaan positiiviselta kohtiolta negatiiviselle. (s.46)	Leipäteksti elektrolyysin yhteydessä	Yhteys nykypäivään.
G	Jo sähkökemian syntyvaiheessa havaittiin, että on mahdollista rakentaa kahdenlaisia sähkökemiallisia kennoja. Galvaanisissa kennoissa spontaani kemiallinen reaktio (sen kennoreaktion E° on positiivinen) muuttaa kemiallista energiaa sähkövirraksi. Toisessa kennossa, elektrolyysikennossa pakotetaan ei-spontaani kemiallinen reaktio (sen kennoreaktion E° on negatiivinen) tapahtumaan sähkövirran avulla. Tällöin sähkövirta varastoituu kemialliseksi energiaksi. (s.47)	Alkuteksti luku 2.4 Elektrolyysi	Yhteys nykypäivään.
G	Tutkiessaan elektrolyysiä englantilainen Michael Faraday tuli jo vuosina 1832-1833 seuraavaan tulokseen: Elektrolyysin aikana anodilla hapettuvan ja katodilla pelkistyvän aineen määrä on suoraan verrannollinen kennon läpi kulkeneeseen sähkövaraukseen. (s.53)	Leipäteksti luku 2.4	Yhteys historian aikajanaan ja nykypäivään.
F	Lokakuun 6. päivänä vuonna 1807 Humphry Davy oli täynnä innostusta. Hän oli juuri sulattanut kaliumsuolaa (jota hän kutsui potaskaksi) ja johtanut sen läpi sähkövirtaa. Hänen ihastuksensa oli valtava, kun hän havaitsi pieniä hopeanhoitoisia metallikiteitä, jotka kelluivat suolasulanteen pinnalla. Aika ajoin ne syttyivät palamaan synnyttäen kauniin violetin liekin. Davy tanssi puoli tunti iloisesti ympäri huonetta, kunnes rauhoittui ja kirjoitti muistiin havaintonsa. Hän oli juuri valmistanut kaliumia elektrolyyttisesti. Kolme päivää myöhemmin hän valmisti samalla menetelmällä natriumia. Näiden kokeiden myötä sai alkunsa se sähkökemian osa-alue, joka hyödyntää elektrolyysiä alkuaineiden valmistamisessa. (s. 47)	Alkuteksti. Luku "Elektrolyysi - pakotettu hapettumis-pelkistymisreaktio.	Yhteys historian aikajanaan. Yhteys nykypäivään. Anekdootti.
F	Humphry Davy löysi monia yhdisteitä ja kaiken kaikkiaan kuusi eri alkuainetta. (s.47)	Kuvateksti. Kuvassa Humphry Davy.	Yksittäinen fakta.
F	Michael Faraday työskenteli myös elektrolyysin parissa. Hän laati muun muassa kreikan kieleen perustuvan elektrolyysisanaston. (s.47)	Kuvateksti. Kuvassa Michael Faraday.	Yksittäinen fakta
F	Michael Faradayn elektrolyysisanasto taulukoituina. Kreikan sana, englannin kielen vastine ja merkitys englanniksi. Sanat electro - = amber, cat- = down, an- = up, ion = going, -ode = way, -lysis = splitting. (s.47)	Tietoruutu, taulukko.	Yksittäinen fakta
F	Michael Faraday osoitti vuonna 1834, että elektrolyysin aikana siirtynyt sähkömäärä (Q) vaikuttaa elektrodeilla reagoivien aineiden ainemääriin.(s.54)	Leipäteksti "Elektrolyysin kvantitatiivinen tarkastelu".	Yhteys historian aikajanaan

Liite 2D) : **Tehtävien yhteydessä olevat viittaukset sähkökemian historiaan**

D) Tehtävien yhteydessä olevat viittaukset sähkökemian historiaan			
Lähde	Tarkka teksti	Esiintymiselementti	Historian Integroinnin tavoite
A	Laadi kirjallinen tuotos Luigi Galvanista tai Alessandro Voltasta(s.98)	Tehtävä 14	
E	T.30. Etsi tietoa Michael Faradaysta. Miten Faraday kiinnostui metallien valmistamisesta elektrolyytisesti? Mikä oli Faradayn tutkimusten tärkein tulos? (s. 31)	Tutkimustehtävä t.30 Luku 1, Sähkökemia.	
E Opettajan opas	Humphry Davy oli osoittanut aikaisemmin, että natriumia ja kaliumia voidaan valmistaa elektrolyysin avulla. Michael Faraday toimi Davyn assistenttina ja jatkoi tämän tutkimuksia. Faraday uskoi, että sähkö on yksi luonnonvoimien ilmenemismuoto lämmön, valon, magnetismin ja kemiallisen vetovoiman lisäksi ja tutki näiden ilmenemismuotojen yhteyksiä toisiinsa. Kemian kannalta Faradayn tärkeimpiä saavutuksia ovat elektrolyysin periaatteiden ymmärtäminen ja termistön vakiinnuttaminen. Faraday teki myös muita kemiaan liittyviä keksintöjä, hän esimerkiksi löysi bentseenin ja keksi bunsenlampun. (s.14)	Opettajan opas tehtävien ratkaisut, luku 1, T.30.	
E Opettajan opas	Tietoa Michael Faradaysta löytyy esimerkiksi internetistä hakusanoilla "Michael Faraday" ja "elektrolyysi". Myös Wikipediassa (www.wikipedia.org) on hänestä kertova artikkeli. (s.14)	Opettajan opas, ratkaisut, luku 1, T.30.	
C	Voltan patsaaksi kutsuttu paristo koostui 20-60 parista sinkki- ja hopealevyjä, jotka erotettiin toisistaan suolaliuokseen kostutetulla huovalla ja kytkettiin johtimiin. Minkä teoreettisen jännitteen Voltan patsas tuottaa, jos siinä on kolmekymmentä Zn/Ag -paria sarjaan kytkettynä? Miksi mittaustulos on teoreettista jännitettä pienempi? (s. 43)	Harjoitustehtävä 34.	
C Opettajan opas	Voltan patsaaksi kutsuttu paristo koostui 20-60 parista sinkki- ja hopealevyjä, jotka erotettiin toisistaan suolaliuokseen kostutetulla huovalla ja kytkettiin johtimiin. Minkä teoreettisen jännitteen Voltan patsas tuottaa, jos siinä on kolmekymmentä Zn/Ag -paria sarjaan kytkettynä? Miksi mittaustulos on teoreettista jännitettä pienempi? (s.17)	Opettajan opas, tehtävät ratkaisuihin. Luku 2, Sähkökemia, t.34.	

Liite 2 E : **Muissa yhteyksissä olevat viittaukset sähkökemian historiaan**

E) Muissa yhteyksissä olevat viittaukset sähkökemian historiaan			
Lähde	Tarkka teksti	Missä yhteydessä	Historian Integroinnin tavoite
E	Ranskalainen Gaston Planté rakensi ensimmäisen lyijyakun jo vuonna 1860. (s. 37)	Tietoruutu Lyijyakuista	Yksittäinen fakta
C Opettajan opas	Galvaaninen pari: Galvaanisen parin ja elektrolyysin lyhyt johdanto. Opettaja luennoi galvaanisen parin periaatteen: käsitteiden määrittely ja historia (Volta ja Daniel) (s.7)	Tuntijakomalleja. Luku 2. Sähkökemia. Kurssisuunnitelma 3, opettajan opas, 4.oppitunti	
F	Kuivaparilla tarkoitettiin alun perin taskulampuissa, matkaradioissa ja muissa laitteissa käytettävää virtalähdettä eli sauvaparistoa. Sen patentoi Leclanché vuonna 1866. (s.45)	Tietoruutu: "Syventävää tietoa"	Yhteys historian aikajanaan, yksittäinen fakta
F	Ensimmäisen polttokennon rakensi walesilainen William Groove jo vuonna 1839.(s.61)	Tietoruutu: "Syventävää tietoa".	Yhteys historian aikajanaan, yksittäinen fakta

Liite 3: Opetusmateriaali

Opetusmateriaali yläkoulun kemiaan:

Sähkökemian opettaminen historiallisesta näkökulmasta
tutkivan oppimisen työtapaa käyttäen

Minna-Liisa Rantaniemi
Helsingin yliopisto
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Kemian laitos
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Pro gradu –tutkielman osana

12.03.2010

Sisällys:

Käyttäjälle	2
Miksi kertoa kemian historiasta?	2
Tutkiva oppiminen, mitä se on?	3
Opettajan rooli tutkivassa oppimisessa	5
Arviointi tutkivassa oppimisessa	6
Käytännön vinkkejä arvioinnin toteuttamiseen	6
Opettajan oman työn arviointi	8
Ennakkotiedot ennen työhön ryhtymistä	8
Tutkiva oppiminen työtapana	8
Missä vaiheessa työ soveltuu tehtäväksi?	8
Opetusmateriaalin käyttö oppitunnilla	9
Power point –esitys 1: Sähkökemiallisen parin historia	10
PowerPoint -esitys 2: Elektrolyysin historia	10

Valmistamme sähköä!

Oppilaalle: Työohjeet:	Osa 1: Leikitään Voltaa!	11
	Osa 2: Tutkimustyö	11
	Osa 3: Kirjallinen raportti	11
	Tutkimuspöytäkirja: Oppilaalle	12
	Opettajan ohje	13
Opettajan ohjeet:		
	▪ Osa 1: Leikitään Voltaa!	14
	▪ Osa 2: Tutkimustyö:	14
	▪ Osa 3: Kirjallinen raportti	15
	▪ Loppukeskustelu	16
	▪ Luonnontieteen luonne	16
	▪ Lähteitä opettajalle	18

Käyttäjälle:

Tämän opetusmateriaalin tavoitteena on tutustuttaa oppilaat sähkökemian historiaan ja tutkivan oppimisen työtavan ja kokeellisuuden avulla luonnontieteen luonteeseen. Opetusmateriaali on helposti käyttöön otettavissa ja tukee opettajan tutustumista kemian historiaan ja tutkivan oppimisen työtapaan.

Opetusmateriaali on laadittu ajatellen peruskoulun yläluokkien kemian opetusta. Opetusmateriaali soveltuu käytettäväksi oheismateriaalina myös lukion sähkökemian opetuksessa. Opetusmateriaaliin kuuluu tutkimusosa ja kaksi PowerPoint –esitystä, jotka löytyvät osoitteesta:

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradututkielmat.html>

Miksi kertoa kemian historiasta?

Kertomukset historian eri vaiheista elävöittävät oppituntia ja tuovat kemiaan inhimillisempää näkökulmaa. Historialliset tarinat herättävät myös mielenkiintoa kemiaa kohtaan ja kertovat luonnontieteen luonteesta.

Tutkimusten mukaan luonnontieteen historia antaa kuvan tieteen kehityksestä, inhimillisyydestä ja vaikutuksesta eri kulttuureihin. Kemian historian opettaminen vaikuttaa opettajan ja sitä kautta myös oppilaan käsitykseen luonnontieteiden luonteesta. Sen on todettu myös parantavan lukiolaisten asennetta luonnontieteitä kohtaan. Sen avulla voidaan vaikuttaa yläkoululaisten kykyyn ratkaista käsitteellisiä ongelmia. Luonnontieteen historian avulla voidaan kertoa, milloin ja kuinka tieto on rakentunut; missä historiallisissa ja sosiaalisissa yhteyksissä teorit ovat kehittyneet ja miten ne ovat vaikuttaneet nykypäivän maailmaan. Historian avulla on mahdollista tuoda esiin tieteen kehitys ja sen jatkuva muutos.

Historian esiintuomisessa opettaja on avainasemassa. Opettajan oma kiinnostus historiaa kohtaan ja halu tuoda sitä esille omassa opetuksessa vaikuttavat siihen, kuinka mahdollisia oppikirjojen viittauksia käytetään hyödyksi opetuksessa. On tärkeää, että opettaja tiedostaa sen tosiasian, että historiaan tutustumisella on oma laajempi merkityksensä.

Tutkiva oppiminen, mitä se on?

Tutkivan oppimisen juuret löytyvät konstruktivistisesta oppimiskäsityksestä, jonka mukaan yksilön tieto rakentuu aktiivisen ajattelun kautta siten, että yksilö vertaa uutta tietoa aiempaan tietorakenteeseensa sitä korjaten tai edelleen uudella tiedolla täydentäen. Oppiminen on sosiaalinen tapahtuma, missä oppijan on itse omistauduttava työlleen ja oltava siitä tietoinen.

Tutkivan oppimisen taustalla on ajatus siitä, että yksilölle uuden tiedon ymmärtäminen on samantapainen prosessi kuin minkä teorian keksinyt tiedemies on alun perin käynyt läpi keksiessään sen. On siis tarkoituksenmukaista rakentaa oppimisprosessi jäljittelemällä tiedon rakentamisessa tieteelliselle tutkimusryhmälle tyypillisiä käytäntöjä, kuten ajatusten toisille esittämistä ja sosiaalista vuorovaikutusta muiden tutkijoiden kanssa. Tutkivan oppimisen työtavalla luonnontieteellinen tieto rakentuu siten, että oppilas tekee havaintoja ja arvioi niitä sekä niiden merkitystä aikaisemman tietopohjansa perusteella.

Kun ongelmaa lähestytään tutkivan oppimisen työtavalla, siihen haetaan järjestelmällisesti ratkaisua etsimällä tietoa erilaisista tietolähteistä, kokeita tekemällä tai havaintoaineistoa hankkimalla. Ongelmaa ei voida ratkaista aikaisemmin hankitun tiedon varassa. Tutkivan oppimisen työtavalla voidaan tutkia luonnontieteen tutkimusta prosessina. Oppilaalle avautuu mahdollisuus oppia, kuinka eri muuttujia voidaan kontrolloida tutkimuksen suunnittelussa.

Tutkivassa oppimisessa voidaan erottaa viisi eri luonnontieteen opetukselle ominaista vaihetta:

- kysymysten muodostaminen
- tutkimuksen suunnittelu ja toteuttaminen
- tutkimustulosten keruu ja selityksen muotoilu sen pohjalta
- johtopäätökset ja arviointi
- keskustelu tuloksista ja selitysten perustelu

Tutkivan oppimisen keskiössä on oppilas itse. Opettaja ohjaa oppilasta pohtimaan asioita. Sen sijaan, että opettaja tai oppikirja tarjoaisi tiedon valmiina, opettaja esittää kysymyksiä, joita oppilas voi vähitellen oppia myös esittämään itselleen työn edetessä. Oppilaat oppivat yhä paremmin ratkaisemaan ongelmia sen mallin avulla, minkä he oppivat työtä tehdessään. Opettaja toimii taustatukena, joka valmentaa, muotoilee tehtävät sopiviksi rakenteeltaan ja vaatimustasoltaan sekä antaa vihjeitä miten edetä tehtävässä kuitenkin antamatta valmista vastausta.

Tyypillisimmillään tutkivan oppimisen tehtävä suoritetaan luokassa työparin kanssa tai pienessä ryhmässä. Työpari pohtii mieleen nousseita ajatuksia ja huomioita keskenään ja jatkuvassa vuorovaikutuksessa myös toisten työparien ja opettajan kanssa. Tutkivan oppimisen päätavoitteita on kannustaa oppilaita ajattelemaan itsenäisesti.

Tutkivan oppimisen peruseriaatteiden mukaan:

- Oppilaat tiedostavat, että tavoitteena on ilmiön ymmärtäminen ja selittäminen, ei ainoastaan annettujen tehtävien suorittaminen.
- Tiedonhankinta lähtee liikkeelle ongelman ihmettelemisestä. Kyseessä on ongelmanratkaisuprosessi, jonka aluksi ongelma nimetään.
- Oppilaat tuovat esille omat ennakkokäsityksensä ratkaisusta. Näistä ennakkokäsityksistä keskustellaan, jotta oppilas tiedostaa ne. Kun oppilas on tietoinen omista ennakkokäsityksistään, hän on valmis huomaamaan mahdolliset ristiriidat niiden ja uuden tiedon välillä.
- Oppimisen kohteena on keskeiset käsitteet, ilmiöt ja periaatteet.
- Tiedon rakentelu tapahtuu joka työvaiheessa vuorovaikutuksessa toisten kanssa. Tutkiminen on luonteeltaan yhteisöllistä ja asiantuntemus ja ideat jaetaan toisten kanssa.

On hyvin vaikea määritellä mitä “oikea” tutkiva oppiminen on. Kyseessä ei niinkään ole malli vaan lähestymistapa oppimiseen. Jokainen voi tulkita ja soveltaa tutkivaa oppimista omalla tavallaan ja luovasti. Tutkivan oppimisen toimivuus riippuu paljolti siitä, miten sitä käytetään ja miten sitä tulkitaan. Tärkeintä on luoda yksilöiden ja ryhmien mielekäästä toimintaa tukeva oppimisen kulttuuri.

Tutkimuksellinen opetus voi sisältää osittain myös suoraa opetusta, kuitenkin niin, että oppilas on ensin itse edennyt siihen pisteeseen, että odottaa saavansa tietoa asiasta. Niinpä tutkimuksen sopivassa kohdassa opettaja voi käyttää hetken selostaakseen aiheeseen liittyvän keskeisen teorian, jonka oppilas nyt osaa liittää omaan tutkimukseensa. Näin tieto ei jää ilman asiayhteyttä ja sen muistaminen jälkeen päin helpottuu.

Opettajan rooli tutkivassa oppimisessa

Opettajan ohje

Opettajalla on keskeinen rooli tutkivan oppimisen prosessin onnistumisessa. Opettaja ohjaa oppilaita paitsi muodostamaan omia käsityksiään, myös vertaamaan niitä toisten käsityksiin ja arvioimaan niitä.

Tutkiva oppiminen kaipaa ympärilleen avoimen ja kannustavan ilmapiirin, missä oppilaan on mahdollista saada harjoitusta kysymysten asettamisessa, sillä se ohjaa oppilaan itsenäistä ajattelua. Oma ajattelua kunnioittava, ennakkoluuloton ilmapiiri, jossa ei pyritä etsimään oppilaitten tekemiä virheitä, sallii mielen vapaan toiminnan. Tutkimuksen tekeminen tällaisessa ilmapiirissä on mieluisaa. Opettaja voi vaikuttaa positiivisen ilmapiirin syntymiseen muun muassa arvioimalla oppilaita kannustavasti tutkimuksen eri vaiheissa.

Opettaja asettaa lähtökohdat ja käynnistää prosessin. Opettaja ohjaa oppilasryhmien toiminnan kulkua oppilasta virittävien kysymysten avulla. Sen sijaan, että opettaja antaisi vastauksen, voi opettaja asettaa vastakysymyksen, joka edelleen auttaa oppilasta eteenpäin omassa pohdinnassaan. Hyvä kysymys innostaa ja ohjaa oppilasta. Sen avulla oppilas miettii itse, miten kannattaa edetä, mitä kannattaa tehdä tai kokeilla. Hyvä kysymys auttaa oppilasta pääsemään alkuun omassa pohdinnassaan, joka johtaa lopulta ratkaisuun. Oppilas oppii parhaiten tekemään kysymyksiä opettajan antaman mallin mukaisesti.

Yläkoulun oppilaille voi tutkivassa oppimisessa ns. asiantuntijuuden jakaminen olla uusi asia. On hyvä tuoda esille, että ryhmä yleensä pystyy ratkaisemaan monimutkaisempia ongelmia kuin yksittäinen oppilas. Vaikka ryhmässä on tiedoiltaan ja taidoiltaan eritasoisia oppilaita, voi ryhmä kokonaisuutena hyötyä kaikista jäsenistään. Ryhmässä ideoiden jakaminen auttaa niiden kehittelyä. Tieteelliset tutkimusryhmät toimivat vastaavalla tavalla.

Tutkivan oppimisen työtapaan harjaantuu vähitellen ja ajan myötä opettajan ammattitaito syvenee jatkuvasti. Opettajan on hyvä tiedostaa, että tutkivalle oppimiselle ominaista on dynaamisuus, jolloin opettajakaan ei voi etukäteen tietää, mitä asioita tulee esille ja mistä oppilaat kiinnostuvat. Jonkinasteinen keskitie tutkimuksellisen oppimisen ja opettajajohtoisen oppimisen välillä saattaa olla monesti onnistunein vaihtoehto. Oppilaille annetaan mahdollisuus tutkia, pohtia ja miettiä. Lopuksi kuitenkin opettaja "tarkistaa" heidän tietonsa tuomalla esiin tietoa, joka ehkäisee mahdolliset väärinymmärrykset.

Arviointi tutkivassa oppimisessa

Opettajan ohje

Tutkivan oppimisen työtavassa arviointia tapahtuu prosessin jokaisessa vaiheessa, sillä arviointi on tasokkaan oppimisen edellytys. Opettaja arvioi oppilaita diagnostisesta (toteava ja suunnitteleva) ja formatiivisesta (tarkkaileva ja ohjaava) näkökulmasta. Arvioinnin tulee edistää oppimista eikä niinkään toimia oppilaiden keskinäisen vertailun ja luokittelun lähtökohtana. Jatkuvasti annettavan palautteen tarkoituksena on ensisijaisesti antaa ohjausta ja tukea oppilaan työskentelylle.

Tutkimustyön aikana tapahtuva arviointi on vapaamuotoista formatiivista arviointia. Sen tavoitteena on, että opettaja kerää tietoa oppilaitten osaamisesta ja saamansa palautteen perusteella muovaa antamaansa ohjausta tarkoituksenmukaisesti. Tiedon keruu oppilaitten osaamisesta tapahtuu opettajan oppilaille esittämien kysymysten ja keskusteluiden avulla. Opettajan kysymys antaa oppilaalle tilaisuuden muotoilla ajattelunsa lauseeksi. Vastauksen perusteella opettaja arvioi oppilaan ymmärrystä ja kommunikointikykyä asiasta sekä muovaa oppilaalle antamaansa ohjausta kohti oppimisen tavoitetta. Myös oppilaitten opettajalle ja toisilleen esittämät kysymykset paljastavat opettajalle oppilaitten ymmärryksen tason. On todettu, että oppilaan oppimisen kannalta tutkivassa oppimisessa on hyödyksi, mitä huolellisemmin opettaja reagoi vapaamuotoisen arvioinnin avulla saamaansa palautteeseen. Vapaamuotoinen arviointi vaatii opettajalta aktiivista roolia ja herkkyyttä reagoida oppilaitten työskentelyn aikana.

Tutkiva oppiminen vaatii oppilaalta mm. asiantuntijamaista suhtautumista tietoon, tavoitteiden asettamista omalle ymmärtämiselle, sopivan lähestymistavan löytämistä kyseessä olevassa tutkimuksessa sekä oman osaamisen jakamista toisten oppilaitten kanssa. Näiden asioiden toteutumisen arviointi on hyvin vaativa tehtävä erityisesti siinä tapauksessa, että tutkivaa oppimista ei ole käytetty työtapana kovin usein ja se on lähestymistapana oppilaille uusi. Siksi opettajan on syytä pysähtyä miettimään arviointia jo ennen tutkivaan työtapaan ryhtymistä.

Käytännön vinkkejä arvioinnin toteuttamiseen:

Voi olla avuksi, jos opettaja laatii itselleen taulukkomuotoon listan työpareista ja asioista, joita arvioi seuratessaan työskentelyn edistymistä. Arviointi on näin helpompaa, nopeamaa ja systemaattisempaa. Arviointikriteerit on hyvä esitellä oppilaille ennen työhön ryhtymistä, jotta hekin osaavat kiinnittää työssään huomiota näihin asioihin. Arvioinnissa voi käyttää esimerkiksi asteikkoa 1-5p ja arvioinnin kohteita voivat olla:

- Käytännön työskentely : omistautuminen työlle, huolellisuus ja oma-aloitteisuus
- Tutkimuspöytäkirjan pitäminen : Työpari pitää tutkimuspöytäkirjaa annettujen ohjeitten mukaisesti ja ymmärtää sen merkityksen työlleen. Työpari on tietoinen omasta tutkimuskysymyksestään.
- Yhteistyö muiden työparien kanssa: Työpari on kannustavassa yhteistyössä muiden työparien kanssa.
- Tulosten esittäminen suullisesti: Esityksen selkeys ja johdonmukaisuus, kemian kielen käyttö. Toisten esittämien tulosten kuunteleminen ja asiallinen arviointi sekä kysymysten esittäminen.
- Tulosten esittäminen kirjallisesti: Tutkimustulosten esittäminen, vertaaminen hypoteesiin ja johtopäätökset työn tuloksista. Oppilaan oman työn arviointi ja pohtiminen.

Taulukossa 1. on esitetty tutkivaan oppimiseen liittyvän arvioinnin tavoitteet, menetelmä ja erityiset kohteet, jota voi käyttää arvioinnin suunnittelun tukena.

Taulukko 1 : Arviointi tutkivassa oppimisessä. (Hakkarainen 2005 s.253)

Tavoitteet	1. Tunnistetaan tietämyksen ja osaamisen aukot. 2. Annetaan oppilaalle palautetta hänen etenemisestään. 3. Jäsennetään oppilaiden työskentelyä (käytetään kokeita ja arviointitilanteita oppilaiden opiskelun ryhmittämiseksi.) 4. Suunnataan tutkivaa oppimista. 5. Syvennetään tutkivaa oppimista. 6. Kehitetään oppilaiden metakognitiivisia ja itsearviointitaitoja. 7. Harjoitellaan rakentavan palautteen antamista.
Tavat	8. Tutkivan oppimisen itsearviointi, joka tukee oppilaiden metakognitiivisten ja oppimaan oppimisen taitojen kehitystä. 9. Oppimisen aikana tehtävä kehittävä arviointi, jossa arvioidaan kaikkea hankkeen aikana tuotettua tietoa. 10. Yhteisöllinen arviointi, jossa arvioidaan koko oppimisyhteisön tai jonkin oppilastiimin saavutuksia. 11. Vertaisarviointi, joka sallii oppilaiden tukea toistensa tutkimustyön syventämistä. 12. Autenttinen arviointi, joka antaa oppilaille kokemusta aidosta tietämyksen jakamisesta ja tiedonluomisesta (esitelmät, näyttelyt, tutkimustulosten julkistaminen). 13. Tutkivan oppimisen tuotosten arviointi.
Erityiset kohteet	14. Oppilaiden taito asettaa mielekkäitä tutkimuskysymyksiä. 15. Oppilaiden taito luoda perusteltuja työskentelyteorioita. 16. Tiedonhankinnan taidot. 17. Taito käyttää autoritaarisia tietolähteitä siten, että tiedonhankinta on kehittävää ja mielekästä. 18. Yhteisöllisen oppimisen taidot. 19. Taito syventää tutkimustyötä asteittain ja rikkoa tietämyksen rajoja. 20. Oppijoiden tiedollisen toimijuuden (yhteisvastuun ottaminen tutkimuksen edistymisestä) kehittyminen.

Opettajan oman työn arviointi

Opettajan ohje

Opettajan on hyvä tämän tutkimustyön jälkeen pysähtyä miettimään seuraavia asioita ja kirjata ne itselleen ylös:

Miten työ onnistui suhteessa sille asetettuihin tavoitteisiin?

Työn toteutus: missä onnistuttiin hyvin ja missä kohtaa olisi voitu tehdä toisin?

Mitä ideoita syntyi seuraavaa kertaa varten?

Loppukeskustelun / -kirjoituksen avulla opettaja pystyy arvioimaan sitä, miten työlle asetettuihin tavoitteisiin on päästy ja mitä oppilaat ovat oppineet työstään. Oppilaan vastaukset auttavat opettajaa muokkaamaan omaa työskentelyään edelleen seuraavaa kertaa ajatellen.

Ennakkotiedot ennen työhön ryhtymistä

Tutkiva oppiminen työtapana

Ennen tutkivan oppimisen työtavan soveltamista tässä työssä on syytä totuttaa oppilaita luonnontieteelliseen ajatteluun ja omatoimiseen työskentelyyn tekemällä pienimuotoisempia töitä. Näin työ sujuu helpommin, kun esimerkiksi tutkimuspöytäkirjan käyttäminen ei ole aivan vierasta. Oppilaat on myös hyvä totuttaa ”ihmettelemään ääneen”, kysymään vapaasti ja ilmaisemaan mielipiteitään. Tutkimushypoteesin asettaminen onnistuu paremmin, kun kyselyä ja arvelua on harjoiteltu pienempien töitten yhteydessä.

Missä vaiheessa tämä työ soveltuu tehtäväksi?

Työ voidaan tehdä ennen kuin metallien kemiassa on edetty sähkökemialliseen jännitesarjaan. Tällöin ryhmä, joka tutkii erilaisten elektrodien vaikutusta jännitteeseen on avoimempi havainnoilleen, eikä vetoa suoraan sähkökemialliseen jännitesarjaan. Työtä tehdessä ei myöskään ole tarpeen käyttää sähkökemian käsitteitä positiivinen tai negatiivinen elektrodi, anodi tai katodi, sillä on tutkittu, että sähkökemian opetuksessa tulisi edetä siten, että ensin tutustutaan rauhassa käsitteen sisältöön ja vasta myöhemmin annetaan sille nimi. Tutkimus osoittaa myös, että käsite, joka on tulkittavissa kahdella eri tavalla, voi johtaa oppilasta harhaan. Hyvä esimerkki tästä on positiivinen ja negatiivinen elektrodi, joiden nimet (anodi ja katodi) vaihtavat paikkaa galvaanisessa kennossa verrattuna elektrolyysikennoon.

Opetusmateriaalin käyttö oppitunnilla:

Vaihtoehto 1:

PowerPoint –esitys 1:n avulla tutustutaan sähkökemiallisen parin historiaan. Tämä toimii virittäytymisenä tutkimustöihin. Tämän jälkeen tehdään tutkimustyön osa 1, jossa tutkitaan, miten kahden eri metallin avulla saadaan aikaan sähköä. Osassa 2 tutkitaan mitkä asiat vaikuttavat syntyvän jännitteen suuruuteen. Eri muuttujien vaikutusta tutkitaan kokeellisen tutkimuksen avulla tutkivan oppimisen työtapaa noudattaen. Tarkemmat ohjeet työn toteutukseen edempänä.

Tutkimustyön jälkeen käydään läpi sähkökemiallisen parin toiminta opettajan johdolla tai oppilaat tekevät kotityönä kirjallisen raportin sähkökemiallisen parin toiminnasta.

Vaihtoehto 2:

Metallien kemian kurssissa on tutustuttu sähkökemialliseen pariin teorian ja laboratoriotöiden kautta. Oppitunnin lopuksi opettaja esittelee PowerPoint -esitys 1:n avulla sähkökemiallisen parin historiaa.

Power point –esitys 1: Sähkökemiallisen parin historia

Power point –esitys 1 esittelee pääpiirteissään pariston keksimiseen johtaneen tapahtumasarjan. Esitys koostuu dioista, joissa on kuvia ja avainsanoja tai lyhyitä lauseita. ”Muistilehti” -osassa on opettajalle tarkempaa tietoa, josta opettaja voi kertoa tarpeen mukaan joko lyhyesti tai ajan niin salliessa yksityiskohtaisemminkin. Päähenkilöitä esityksessä 1 ovat Luigi Galvani ja Alessandro Volta.

Oppilaitten tarkkaavaisuuden kohdistamiseksi voi opettaja antaa oppilaille etukäteen kysymyksiä, jotka käydään läpi yhdessä diaesityksen jälkeen. Esimerkiksi:

Esityksen aikana, miettikää:

- Mitä sähköstä tiedettiin jo ennen pariston keksimistä?
- Miksi sähköparin eli pariston keksiminen oli käänteentekevä keksintö?
- Mikä asia sähkökemian historiassa oli sinulle jo entuudestaan tuttua?
- Mikä oli yllättävintä? Mitä et ollut koskaan kuullut?
- Mikä oli mielenkiintoisinta?

PowerPoint -esitys 2: Elektrolyysin historia

Esityksessä 2 edetään pariston keksimistä seuranneeseen sähkökemian historian vaiheeseen. Mukaan tulevat Nicholson ja Carlisle, Davy sekä Faraday, jotka käyttivät tutkimuksissaan juuri keksittyä paristoa ja tekivät sen avulla merkittäviä löytyjä ja keksintöjä kemiassa. Lopuksi mainitaan Daniellin anti pariston tuotekehitykseen. Kuten esityksessä 1, on opettajan avuksi laitettu muistiinpano-osaan runsaasti tietoa, jota käyttää hyväksi samalla kun näyttää oppilaille PowerPoint –esitystä. Esityksiin 1 ja 2 voidaan tutustua erillisinä esityksinä, mutta yhdessä ne muodostavat kokonaisuuden.

Kysymyksiä oppilaille ennen esitystä:

- Miten sähkökemiallisen parin keksiminen vaikutti kemian kehitykseen?
- Mitä merkittäviä seurauksia elektrolyysin käytöstä on ollut 1800-luvulla.
- Mitä yllättävää oli tuon ajan tutkijoiden oppitaustoissa?
- Miten keksijöiden työ on tänä päivänä helpottunut?

Valmistamme sähköä!

(Oppilaan ohje)

Osa 1: Leikitään Voltaa!

Mistä sähkö syntyy? Miten voisin valmistaa sitä? Kuinka paljon sähköä voisin saada aikaan?

Saat opettajaltasi seuraavat välineet:

Jännitemittari, sitruunamehua keitinlasissa, sinkkinaula, kuparilevy, 2 johdinta, 2 hauenleukaa.

Tehtävänne on saada aikaan jännitemittarin neulan liikkahdus. Kun onnistutte tässä, piirtäkää vihkoon kuva järjestelystä, jolla neula liikahti.

Osa 2: Tutkimustyö

Keskustelun aihe työparille:

Mitkä asiat mielestänne voisivat vaikuttaa syntyvän jännitteen suuruuteen?

Valitkaa yksi tällainen muuttuja. Miettikää, miten sen vaikutusta voisi tutkia. Kirjatkaa tutkimussuunnitelmanne ja esittäkää se opettajalle.

Ennen tutkimuksen tekemistä tehkää hypoteesi, eli miettikää, mitä oletatte tutkimuksenne tuloksen olevan. Kirjatkaa tämä hypoteesi tutkimuspöytäkirjaan ennen työn aloitusta.

Verratkaa lopuksi tuloksia hypoteesiinne ja miettikää, mitä tulokset tarkoittavat.

Tutkimuksen tulokset esitetään muulle luokalle kuvaajan tai taulukon avulla.

Osa 3: Kirjallinen raportti : Sähkökemiallisen parin toiminta

Miksi sähköä syntyi? Laadi raportti, josta käy ilmi sähkökemiallisen parin toimintaperiaate.

Tutkimuspöytäkirja	
Tutkimuksen tekijät:	Pvm:
Mitä tutkitaan:	
Hypoteesi:	
Tutkimussuunnitelma:	
Hyväksytään opettajalla ennen työn aloittamista.	
Käytettävät välineet:	
Havainnot ja tulokset: (taulukot ja/tai kuvaajat erilliselle paperille)	
Tulosten tulkinta ja johtopäätökset:	
Huomioita tutkimusta tehdessä:	

TUTKIMUSPÖYTÄKIRJA:

Opettajan ohje

Tässä ohjeessa käydään läpi tutkimuspöytäkirjan eri kohtien tavoitteita ja tarkoituksia.

Ankkurointi ja kontekstin luominen: Opettajan esityö: PowerPoint esitys 1:

Ennen tutkimuksen tekoa ongelma on ”ankkuroitu”: on tutustuttu todellisiin asiantuntijoiden ratkomiin ongelmiin kemian historiaan tutustumalla. Tämä auttaa oppilaita ymmärtämään ilmiön merkityksen, sitoutumaan ja motivoitumaan tutkivan oppimisen prosessiin.

Tutkimuksen tekijät: Oppilas ottaa tutkijan roolin, omistautuen työlleen.

Tutkimuksen kohde: Ongelman asettaminen: Mitä tutkitaan? On tärkeää, että oppilaat nimeävät tutkimuksensa kohteen. Työn alussa nimetty tutkimuskysymys auttaa työn aikana palauttamaan mieleen, mihin kysymykseen tutkimuksella yritetään vastata.

Työskentelyteoria eli hypoteesi: Muodostetaan alustava selitys, tulkinta tai malli siitä, mikä on tutkimuksen lopputulos. Opettajan tavoitteena on rohkaista oppilaita esittämään omia intuitiivisia ennakkokäsityksiään yhdessä pohdittavaksi ja vertailtavaksi. Tämä vaihe on siinä mielessä tärkeä, että kun oppilas on tietoinen omasta ennakkokäsityksestään, hän pystyy paremmin vertaamaan sitä uuteen tietoon.

Työvälineet: Kirjataan ylös, mitä välineitä käytetään. Järjestelystä voi ottaa kuvan tai piirtää kuvan.

Tutkimuksen suoritus: Ennen työn tekemistä kirjataan suunnitelma siitä, miten tutkimus suoritetaan, miten ja mitä tietoa kirjataan. Prosessin aikana kiinnitetään huomiota myös siihen, että kirjataan ylös esiin nousevat ongelmat ja miten ne on ratkottu tai mitä kysymyksiä työn aikana herää. Esim. tulkintaongelmat tai mahdollisesti tuloksiin vaikuttavat tekijät tutkimusvaiheessa. Työpari pohtii myös parannuskeinoja ja sitä, miten tutkimusta voisi kehittää. (Rakentava kriittinen oman työn arviointi).

Havainnot ja tulokset: Joka vaiheessa tutkivan oppimisen prosessia voidaan tietoa jakaa toisten työparien kanssa. Oppilaita rohkaistaan kertomaan toisille ajatuksiaan ja kokemuksiaan sekä matkimaan toisten keksimiä hyviä käytäntöjä. Näin tutkimusprosessi (esim. käytännön työskentely) edistyy jaetun tiedon avulla. Tulokset esitetään toisille kuvaajana tai taulukkomuodossa.

Tulosten tulkinta ja johtopäätökset: Oppilaat pohtivat tuloksia: mitä ne tarkoittavat, miten ne voidaan tulkita sanoiksi puettuna. Työpari vertaa tuloksia aiemmin kirjattuun hypoteesiin. Oppilaat esittävät luokalle omat tuloksensa ja johtopäätökset niistä. Tulokset voidaan esittää taulukoituna tai kuvaajan avulla.

Omia huomioita ja kysymyksiä: Työn aikana on tärkeää kirjata ylös asioita ja kysymyksiä, joita työparilla tulee mieleen. Tällaisia ovat mm. työn kuluessa tapahtuneet työparia yllättäneet asiat; asiat, joita työssä olisi ehkä pitänyt tehdä toisin, mahdolliset työvirheet ja tuloksiin vaikuttaneet tekijät työjärjestelyissä tai niiden muuttumisessa.

Valmistamme sähköä!

Opettajan ohje:

Tässä työssä oppilaille annetaan tilaisuus keksiä kokeilemalla, miten annetuilla välineillä saadaan aikaan sähköä eli jännitemittarin neulan liikahdus. Työn toisessa osassa mietitään, mitkä asiat voisivat vaikuttaa syntyneen jännitteen suuruuteen. Oppilaat tutkivat pareittain kukin tiettyä muuttujaa ja esittelevät tulokset koko luokalle kuvaajan tai taulukon avulla ja kertoen oman tulkintansa tuloksista.

Työn tavoitteena on antaa oppilaille tilaisuus tutustua siihen, millaista tutkijan työ on. Samalla oppilas harjoittelee kemian työmenetelmiä ja asioitten ilmaisua tieteellisesti. Tavoitteena on edetä työssä tutkivan oppimisen periaatteiden mukaisesti.

Osa 1: Leikitään Voltaa! Mistä sähkö syntyy? Miten voisin valmistaa sitä? Kuinka paljon sähköä voisin saada aikaan?

Työparille annetaan tilaisuus ”keksiä” sähkö: Jokainen työpari saa seuraavat välineet: jännitemittari, sitruunamehua, sinkkilevy, kuparilevy, 2 johdinta, 2 hauenleukaa.

Opettaja rohkaisee oppilaita pohtimaan ääneen työparinsa kanssa. Sitä mukaa kun oppilaat keksivät, mitä tekevät, he saavat kertoa muillekin. Lopuksi keskustellaan oppilaitten havainnoista ja päätelmistä. Oppilaille voi antaa tehtäväksi piirtää vihkoonsa kuvan koejärjestelystä, jolla jännitemittarin neula liikahti.

Osa 2: Tutkimustyö:

Mitkä asiat voisivat vaikuttavat siihen, kuinka suuri jännite saadaan aikaan?

Opettaja keskustelee oppilaitten kanssa siitä, millaiset asiat voisivat vaikuttaa siihen, kuinka suuren lukeman jännitemittari antaa. Työpareille voi antaa aikaa pohtia ensin kysymystä keskenään ja kirjata eri vaihtoehtoja vihkoon. Oppilaitten keksimät vaihtoehdot listataan taululle. Vinkkinä vastauksiin voi toimia myös opettajan luokkaan tuomat työvälineet, jotka ovat oppilaitten näkyvillä:

- Erilaisia elektrolyyttejä: sitruuna, appelsiini, omena, peruna, tislattu vesi, mehutiiviste, virvoitusjuoma, laimea suolahappo jne.
- Erilaisia elektrodeja: rauta- ja kuparinaula, sinkki-, kupari-, alumiinilevy, magnesiumnauha jne.
- Lämpömittari.

Opettaja voi auttaa oppilaitten ajattelua kysymällä esimerkiksi: Miettikää, mitkä ovat sellaisia asioita, joita voisitte muuttaa äsken tekemässänne koejärjestelyssä?

Opettaja voi rohkaista oppilaita tuomaan esiin ajatuksiaan huomauttamalla, että ”oikeita” vastauksia ei tähän kysymykseen ole, vaan kaikki ajatukset ovat yhtä hyviä. Jos ajattelemme tutkijoita yleensä tai niitä ihmisiä, jotka aikoinaan keksivät sähköä, hekin lähtivät liikkeelle ”tyhjästä” kokeilemaan erilaisia ideoita.

Kun lista muuttujista on saatu laadittua, valitsee jokainen työpari yhden muuttujan ja laatii *tutkimussuunnitelman*. Opettaja kiertää luokassa neuvomassa ja auttamassa. Opettaja käy läpi valmiit suunnitelmat kunkin työparin kanssa, ennen kuin he aloittavat itse työn. Opettaja voi kysymyksiä esittäen ohjata työpareja itse korjaamaan suunnitelmassaan mahdollisesti olevia heikkouksia.

Tutkittavia muuttujia tutkitaan 3-5 eri arvolla. Muuttujia voivat olla mm.

- Elektrodimateriaali (metallin vaihtaminen)
- Elektrodin syvyys (metallin upotussyvyys)
- Elektrodien etäisyys toisistaan (metallien etäisyys toisistaan; voi käyttää myös isompaa astiaa)
- Elektrolyytti (käytetty liuos)
- Elektrolyytin väkevyys (liuoksen väkevyys)
- Elektrolyytin lämpötila (liuoksen lämpötila)

Ennen tutkimuksen tekoa jokainen työpari kirjaa itselleen tutkimuspöytäkirjaan *hypoteesin* eli arvauksen siitä, mikä tutkimuksen tulos tulee olemaan.

Oppilaat saattavat tarvita myös apua siinä, miten he esittävät tutkimuksensa tulokset. Tarkoitus on esittää tulokset muille ryhmille kuvaajina tai taulukoina tietyn muuttujan suhteen. Jokainen työpari esittelee työnsä tulokset suullisesti muulle luokalle ja vastaa mahdollisiin kysymyksiin. Opettaja ohjaa oppilaita puhumaan keskenään suunnitelmistaan myös naapurityöparin kanssa. Hyvä keksintö tai ajatus on hyvä testata ajatuksena myös naapurilla, jonka kommentit voivat auttaa työn suunnittelussa.

Liitteenä on *tutkimuspöytäkirja* opettajan ohjeineen eri työvaiheiden kirjaamista varten.

Osa 3: Kirjallinen raportti

Vaihtoehto A):

Oppilaat laativat raportin siitä, miten sähköä syntyi kokeen osassa yksi. Tavoitteena on selvittää, mihin sähkökemiallisen parin toiminta perustuu. Lähteenä voi olla oppikirja, netti- tai muu lähde. Raportista tulisi käydä ilmi sähkökemiallisen parin toimintaeriäite mielellään kuvalla varustettuna. Opettajan on syytä huomauttaa, että teksti ei saa olla suoraan kopioitu vaan omin sanoin kerrottu. Koska suuri osa oppitunnista menee luultavasti työn kahteen ensimmäiseen osaan, voi kolmannen osan teettää myös kotityönä. Siinä tapauksessa raporttien sisältö käydään läpi yhdessä seuraavalla oppitunnilla.

Vaihtoehto B):

Lopputunnista tutustutaan sähkökemiallisen parin toimintaperiaatteeseen opettajan johdolla. Selittävä tieto auttaa ymmärtämään syvällisesti ja selittämään kohteena olevaa ilmiötä (tässä sähkökemiallisen parin toiminta). Tässä vaiheessa esim. opettajan pitämä luento aiheesta antaa parhaimmillaan jo odotettuja vastauksia kysymyksiin, joita oppilailla on ehtinyt tutkimusta tehdessä herätä. Kotitehtäväksi voi antaa selostuksen laatimisen kuvineen vihkoon sähkökemiallisen parin toiminnasta.

Loppukeskustelu:

Kun koko työ on saatettu päätökseen ja kaikkien esitykset on kuultu, on hyvä vielä käydä yhteenvetokeskustelu oppilaitten kanssa siitä, mitä he ovat oppineet tutkijan työstä ja siitä, millaista luonnontieteellisen tutkimuksen teko on. Opettaja voi tehdä tämän joko vapaana keskusteluna kooten taululle eri huomiot tai siten, että jokainen oppilas kirjoittaa vihkoonsa vastauksen kysymykseen: Miten luonnontieteellinen tutkimus tehdään?

Luonnontieteen luonne

Jo lähes sadan vuoden ajan on ollut laaja yhteisymmärrys siitä, että luonnontieteiden kouluopetuksen yksi tärkeimmistä päämääristä on välittää oppilaille käsitys siitä, mikä tai millainen on luonnontieteen luonne. Perinpohjaista yksiselitteistä yhteisymmärrystä siitä, mikä luonnontieteitten luonne on, on ollut luonnontieteen filosofien, historioitsijoiden ja sosiologioiden keskuudessa vaikea saavuttaa. Yleisellä tasolla, joka soveltuu hyvin perusopetukseen, voidaan luonnontieteen luonnetta kuvata seuraavasti:

Luonnontieteet ovat luonteeltaan:

- kyseenalaistavaa
- kokeellista
- teoriasta johdettua
- osittain ihmisen päättelyn, mielikuvituksen ja luovuuden tulosta
- sosiaalisesti ja kulttuurisesti syvään juurtunutta

Lisäksi luonnontieteen luonnetta määrittävät seuraavat tärkeät seikat:

- havainnoinnin ja päättelyn erottaminen toisistaan
- se, että ei ole yhtä tiettyä reseptiä luonnontieteellisen tutkimuksen tekemiseen
- luonnontieteellisten teorioitten ja lakien väliset toiminnot ja suhteet

23:lle kansainvälisesti tunnetulle luonnontieteen opetuksen asiantuntijalle suunnatussa kolmivaiheisessa Delphi -kyselytutkimuksessa nousivat luonnontieteen luonteesta keskeisiksi taulukossa 1 esitetyt teemat.

Taulukko 1. Keskeiset teemat, jotka kuvaavat luonnontieteen luonnetta ja tulisi olla osana kouluopetusta.

KESKEINEN TEEMA	SELITYS / MITÄ OPPILAAN TULISI TIETÄÄ LUONNONTIETEEN LUONTEESTA
Luonnontiede ja varmuus	Tietoisuus siitä, että tämänhetkinen tieto on paras, mitä löytyy, mutta saattaa muuttua ajan myötä tutkimustulosten tai niiden tulkinnan muuttuessa.
Tulosten analysointi ja tulkinta	Luonnontieteellisessä prosessissa tulokset tulkitaan saatavilla olevan tiedon pohjalta, mistä syystä tutkijat voivat olla eri mieltä samoista tutkimustuloksista.
Luonnontieteellinen menetelmä ja kriittinen testaaminen	Luonnontieteellinen menetelmä koostuu kokeellisista tutkimuksista ja tietyistä peruseräiteistä, kuten tulosten kontrollointi ja toistaminen.
Hypoteesit ja ennustaminen	Tutkijat muodostavat hypoteeseja ja ennakkokäsityksiä luonnon ilmiöistä. Tämä on keskeinen osa luonnontieteellistä tutkimusprosessia.
Luovuus ja kyseenalaistaminen	Luonnontieteellisessä prosessissa luovuus ja mielikuvitus ovat tärkeitä tekijöitä. Tutkijan innostus ja omistautuminen työlleen vaatii inspiraatiota ja mielikuvitusta. Tutkijan työssä kysymykset johtavat vastauksien kautta aina uusiin kysymyksiin. Näin muodostuu uusia teorioita ja tekniikoita, jotka testataan kokeellisesti.
Yhteistyö tieteellisen tiedon muodostuessa	Luonnontieteellinen työ on yhteisöllistä ja kilpailuhenkistä. Työ tehdään usein ryhmissä, jotka koostuvat eri tieteenaloiden ja kansallisuuksien edustajista. Tutkimustulokset julkaistaan ja ne käyvät läpi kollegoiden kriittisen arvioinnin ennen kuin ne voidaan hyväksyä.
Luonnontieteellisen tiedon historiallinen kehitys	Oppilaan tulisi tietää jotain luonnontieteellisen tiedon kehittymisen historiallisesta taustasta.
Luonnontieteellisen ajattelun monimuotoisuus	Ei ole olemassa vain yhtä oikeaa tieteellistä menetelmää tai lähestymistapaa vaan useita sellaisia.
Luonnontiede ja teknologia	Luonnontiede ja teknologia eivät tarkoita samaa asiaa.

Lähde, jonka pohjalta työ on muokattu:

Dr. Gregory W. Corder (2006):

Using an Unconventional History of the Battery to Engage Students and Explore the Importance of Evidence. *Virginia Journal of Science Education* vol. 1, no. 1

Lähteitä opettajalle:

Lähteitä netissä ja kirjallisuutta:

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/kandidaatintutkielmat.html>

Sähkökemian historian alkuvaiheita. Sähkökemian historiaa 1600-1833. Minna-Liisa Rantaniemen kandidaatintutkielma.

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/progradututkielmat.html>

Helsingin yliopisto, Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta: Opinnäytetyöt. Minna-Liisa Rantaniemen pro gradu-tutkielma. (Osoite työhön kuuluviin PowerPoint -esityksiin)

Florida State University, Center for integrating research and learning. Magnet Lab, National high magnetic field laboratory. Laajasti tietoa sähköön ja magnetismin historiasta. Kuvia ja laitteita. <http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/museum/leydenjar.html> (23.02.2010)

<http://web.lemoyne.edu/~giunta/>

Carmen Giuntan sivu. Oivallinen lähde kemian historiasta!

<http://employees.oneonta.edu/pencehe/chemhistory.html> . Harry E.Pencen ylläpitämä lista nettisivustoista, joilta hakea tietoa kemian ja luonnontieteitten historiasta.

http://acswebcontent.acs.org/education/chemical_landmarks/index.html

USAn näkökulmasta kemian historiaa. Interaktiivinen aikajana ja kartta

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/loytoretki/index.html>

Löytöretki happamuuteen. Interaktiivinen aikajana happamuuskemian historiasta perustuen Terhi Ahosen pro gradu –työhön.

Hakkarainen, K. (2005.). *Tutkiva oppiminen käytännössä : Matkaopas opettajille*. Helsinki: WSOY.

Hakkarainen, K., Lonka, K., & Lipponen, L. (2004.). *Tutkiva oppiminen : Järki, tunteet ja kulttuuri oppimisen sytyttäjinä* (6. uud. p. ed.). Helsinki: WSOY.

Tutkiva oppiminen : ©Jenni Collin, Kati Korhonen, Laura Penttinen ja Virve Vakiala (2003) : <http://www.tutkiva.edu.hel.fi/tutkivaoppiminen.html>

Hakkarainen K., Seitamaa-Hakkarainen, P.

http://mlab.taik.fi/polut/Yhteisollinen/teoria_tutkiva_oppiminen.html (23.11.2009)

Lindell, I. V., (1994). *Sähkötekniikan historia*, Otatieto, Espoo