

**SÄHKÖKEMIAN OPISKELU  
KOKEELLISUUDEN AVULLA LUKIOSSA**

Tiia Hilska

28.11.2003

Pro gradu -tutkielma

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Helsingin yliopisto

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion Matemaattis-luonnontieteellinen		Laitos Institution Kemian laitos	
Tekijä/Författare Tiia Hilska			
Työn nimi Arbetets titel Sähkökemian opiskelu kokeellisuuden avulla lukiossa			
Oppiaine Läroämne Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto			
Työn laji Arbetets art Pro gradu-tutkielma		Aika Datum 28.11.2003	Sivumäärä Sidoantal 56 (5)
Tiivistelmä Referat Sähkökemian on kemian osa-alue, joka tarkastelee kemiallisen energian ja sähköenergian välisiä muutoksia hapettumis-pelkistymisreaktioiden kautta. Sähkökemian on osa jokapäiväistä elämäämme ja sen ymmärtäminen kuuluu osana yleissivistykseen. Sen osaaminen on myös yhteiskunnallisesti merkittävää yhä parempien akkujen, paristojen ja elektrolyysimenetelmien kehittämiseksi.  Sähkökemian on yksi kemian vaikeimpia aihealueita opetuksessa oppimistutkimusten mukaan. Sen opetuksen kehittämiseksi on tärkeä tietää, mitä sähkökemian on kemian opetuksessa ja miten kokeellisuus voi tukea sähkökemian oppimista. Tutkimuksen viitekehityksessä käsitellään sähkökemian käsitteiden oppimista aikaisemman tutkimuksen valossa sekä sähkökemian valtakunnallisissa opetussuunnitelman perusteissa.  Tutkimus koostuu kahdesta osasta: oppikirja-analyysistä sekä kokeellisuuden kehittämisosuudesta. Tutkimuksen ensimmäisessä osassa tarkastellaan kolmea lukion oppikirjaa, joista on tutkittu sähkökemian käsitteitä, oppikirjojen antamia määritelmiä sähkökemian keskeisille käsitteille sekä sähkökemian käsitteiden opettamiseen liittyviä kokeellisia töitä. Oppikirja-analyysi on valittu tutkimusmenetelmäksi, sillä se kuvaa sähkökemian opetuksen tilaa Suomessa, sillä opettajat käyttävät oppikirjaa kemian opetuksen pohjana.  Tutkimuksen oppikirja-analyysi osoittaa, että sähkökemian opetuksessa keskeisinä käsitteinä opetetaan mm. elektrolyysi, metallien jännitesarja ja galvaaninen pari. Vertailtaessa käsitteiden määritelmiä eri oppikirjoissa havaitaan, että ne ovat hyvin samanlaiset. Sähkökemian töitä on oppikirjoissa melko vähän ja suurin osa niistä on demonstraatiotyypisiä. Useat oppikirjojen kokeelliset työt eivät tue käsitteenmuodostusta, sillä työt ovat erillisinä teoriasta ja töiden suoritus ei edellytä asian ymmärtämistä.  Tutkimuksen toisessa osassa teoreettisen viitekehityksen ja oppikirjatutkimuksen pohjalta on kehitetty kolme työtappaa, joilla elektrolyysi-käsitteen oppimista voidaan tukea kokeellisuuden avulla. Elektrolyysityöt on valittu kehittämiskohteeksi, sillä elektrolyysi on yksi sähkökemian keskeisimpiä käsitteitä ja siihen liittyy monia muita sähkökemian käsitteitä. Käsitteenmuodostusta tuetaan parhaiten, kun kokeellinen työ edellyttää oppilaan omaa aktiivista ajattelua, suunnittelua ja pohdintaa. Kokeellisuuden tulee olla osa kokonaisuutta, joka muodostuu yhdessä teorian kanssa.  Tutkimuksen mukaan sähkökemian opetus lukiossa on painottunut käsitteiden määrittelemiseen ja teoreettiseen selittämiseen. Kokeellisuutta tulee kehittää sähkökemian käsitteenmuodostuksen tukemiseksi. Kokeellisten töiden tulee olla enemmän ongelmanratkaisu- ja tutkimustyyppisiä siten, että ne edellyttävät opiskelijan omaa aktiivista ajattelua. Kokeelliset työt tulisi yhdistää kiinteästi teoriaan ja ne tulisi sijoittaa oppikirjoihin siten, että ne muodostuisivat luonnolliseksi osaksi käsitteiden oppimista.			
Avainsanat – Nyckelord Sähkökemian, kokeellisuus, opetussuunnitelma, elektrolyysi, lukio			
Säilytyspaikka – Förvaringställe Helsingin yliopisto, kemian laitos, kemian opettajakoulutusyksikkö			

# SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2 SÄHKÖKEMIAN OPPIMINEN.....</b>	<b>5</b>
2.1 Sähkökemian käsitteiden oppiminen.....	5
2.2 Opetussuunnitelman perusteiden mukaiset tavoitteet lukiossa.....	10
2.3 Uuden opetussuunnitelman perusteet kemian opiskelusta.....	11
<b>3 KOKEELLISUUS SÄHKÖKEMIAN OPPIMISESSA.....</b>	<b>15</b>
3.1 Kokeellisuuden merkitys kemian opiskelussa ja käsitteiden oppimisessa.....	15
3.2 Kokeellisuus opetussuunnitelman perusteissa.....	22
<b>4 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN JA TUTKIMUSONGELMAT.....</b>	<b>24</b>
4.1 Oppikirjatutkimus.....	24
4.2 Tutkimusongelmat.....	26
<b>5 TULOKSET.....</b>	<b>27</b>
5.1 Sähkökemian keskeiset käsitteet.....	27
5.1.1 Käsitteiden merkitys.....	27
5.1.2 Käsitekartta sähkökemian käsitteistä.....	32
5.2 Sähkökemian kokeelliset työt.....	34
5.2.1 Oppikirjoissa olevat työt.....	34
5.2.2 Oppikirjoissa olevan työn yhteys käsitteen oppimiseen.....	40
<b>6 KOKEELLISET TYÖTAVAT ELEKTROLYYSIN OPPIMISEN TUKE- NA.....</b>	<b>43</b>
6.1. Työtavat elektrolyysin kokeellisen työn suoritukseen.....	43
6.2. Elektrolyysin kokeelliseen työhön liittyvien työtapojen merkitys.....	48

**7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....50**

**8 VIITTEET.....54**

**LIITTEET**

## 1 JOHDANTO

Sähkökemian on osa jokapäiväistä elämäämme muun muassa paristojen ja akkujen muodossa. Sähkökemian on kemian osa-alue, joka tutkii kemiallisen energian ja sähköenergian välisiä muutoksia, jotka liittyvät hapettumis-pelkistymisreaktioihin.

Kemian käsitteiden oppiminen on haasteellista käsitteiden kolmitasoisuuden vuoksi (Johnstone, 1991). Sähkökemian käsitteissä makrotaso, mikrotaso ja symboliikka tulevat hyvin esille ja ovat edellytys niiden ymmärtämiselle. Käsitteiden ymmärtämisestä vaikeuttavat muun muassa kemian kieli eli symboliset merkinnät sekä ilmiöiden selitysten löytyminen mikrotasolta eli hiukkastasolta, joka on oppilaalle abstraktein (Gabel, 1999).

Kokeellisuudella voidaan tukea käsitteenmuodostusta, mutta kokeellisuuden tulee olla harkittua ja hyvin suunniteltua (Hodson, 1996). Opettajalle tulee olla selvää mihin kokeellisuudella pyritään. Kokeellisuudella tarkoitetaan lukion valtakunnallisen opetussuunnitelman perusteissa (1994) määriteltyjä asioita, kuten esimerkiksi oppilastyöt ja opettajan tekemät demonstraatiot.

Lukion uusi opetussuunnitelman perusteet tulee voimaan elokuussa 2005 opintonsa aloittavilla opiskelijoilla. Uusi opetussuunnitelma painottaa tällä hetkellä voimassa olevaa opetussuunnitelmaa enemmän kokeellista työskentelyä ja sen huomioon ottamista kurssin loppuarvioinnissa. Sen lisäksi lukion kursseja on tarjolla yksi aiempaa enemmän, joten ajankäytön kannalta kokeellisuutta voidaan sisällyttää sähkökemian opetukseen enemmän.

Tutkimuksen yhtenä tarkoituksena on selvittää sähkökemian käsitteiden merkityksiä eri oppikirjojen mukaan sekä kyseisiin käsitteisiin liittyvien kokeellisten töiden merkitystä niiden oppimisessa. Toisaalta tarkoituksena on kehittää keinoja kokeellisten töiden tekemiseen siten, että työn tekeminen tukisi mahdollisimman hyvin käsitteenmuodostusta ja vastaisi opetussuunnitelman asettamiin tavoitteisiin.

Kokeellinen työskentely tukee parhaiten käsitteenmuodostusta, kun oppilaalle jää aikaa omiin havaintoihin, pohdintaan ja ajatteluun (Vosniadou, 1994). Silloin aktiivoidaan opiskelijan niin sanottuja korkeampia kognitiivisia prosesseja eli korkeampaa ajattelua, jolloin oppiminen tuottaa paremmin tulosta, koska oppilas itse on aktiivinen.

Kokeellisen työskentelyn lähtökohtana voidaan pitää käsitteen muokkautumista tai muuttumista. Kun voimassa olevan käsitykseen kohdistetaan tyytymättömyyttä tai riittämättömyyttä, voidaan sen uusi merkitys kokea mieluisammaksi ja sisällöltään sopivammaksi kyseisen asian selittämiseen. Kun voimassa oleva käsitys kyseenalastetaan, sen uudelleen muodostuminen tai muokkautuminen on mahdollista. (Vosniadou, 1994)

Tutkimuksessa on esitetty kokeellisuuteen liittyviä työtapoja, jotka tukevat oppilaan omaa ajattelua ja lähestyvät oppimista käsitteellisen muokkautumisen tai käsitteen uuden merkityksen saamisen näkökulmasta. Lähestymistapa pohjautuu nykyiseen oppimiskäsitykseen ja aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin. Kokeellisen työn aiheeksi valittiin elektrolyysi. Elektrolyysi valittiin, koska se on keskeinen sähkökemian opiskelussa lukiossa.

## 2 SÄHKÖKEMIAN OPPIMINEN

### 2.1 Sähkökemian käsitteiden oppiminen

Käsitteenmuodostuksen tukeminen on haasteellista kemian opetuksessa. Kemian käsitteet ovat usein hyvin abstrakteja oppilaalle. Niiden oppimiseen ei voida useinkaan käyttää analogisia malleja. Jos muistissa ei ole mitään, mihin uuden käsitteen voisi yhdistää, ei oppimista tapahdu tai käsitteen merkitys jää irralliseksi. (Gabel, 1999). Vaikeudet kemian oppimisessa ovat käsitteiden monimutkaisessa luonteessa, asioiden kolmitasoisessa merkityksessä, kokeellisissa töissä, usein oppilaalle tuntemattomissa kemikaaleissa ja kemian kielellisessä ymmärtämisessä (Johnstone, 1991).

Kemian tieteellinen tieto sisältää teorioita, malleja sekä hypoteettisia selityksiä. Tieteellinen tieto pyrkii laajoihin kokonaisuuksiin yhdistelemällä yksittäisiä asioita kokonaisuuksiksi. Oppilaan oppiminen tapahtuu järkeilemällä, pohtimalla, kysymällä ja havainnoimalla. Oppilas keskittyy enemmän yksityiskohtiin ja yksittäisiin asioihin eikä välttämättä näe laajoja kemian kokonaisuuksia. (Johnstone, 1991).

Kemian käsitteet ovat vaikeita, sillä niitä on vaikea havainnollistaa konkreettisesti. Esimerkiksi ero alkuaineen ja yhdisteen välillä on vaikea havainnollistaa. (Johnstone, 1991). Sähkökemian käsitteiden ymmärtämistä vaikeuttaa se, että havaittavan ilmiön selittämiseen otetaan mukaan mikromaailman käsitteitä, kuten esimerkiksi elektrolyysin yhteydessä elektroni ja ioni. Oppilaan on vaikeaa ymmärtää mikromaailman yhteyttä makromaailmaan tai oppilaalla ei ole konkreettista käsitystä mikrota-son käsitteiden merkityksestä (Johnstone, 1991).

Sähkökemian käsitteillä voidaan katsoa olevan merkitystä kolmella eri tasolla. Näitä tasoja voidaan kuvata kolmiolla, jonka yhdessä kulmassa on makrotaso toisessa mikrota-son taso ja kolmannessa symbolinen taso (Johnstone, 1991). Makrotaso on se, jossa asiat ovat havaittavissa, näkyviä ja konkreettisia. Kemiassa havaittavia asioita kuvataan usein reaktioyhtälöillä ja kemiallisilla merkeillä, nk. symbolisella tasolla. Yhteys havaintojen ja symbolisen tason välillä voi kuitenkin osoittautua vaikeaksi oppilaalle.

Vaikeutta lisää myös se, että symboleita, reaktioyhtälöitä ja kemiallisia merkkejä käytetään myös kuvaamaan makrotason ja mikrotason yhteyttä (Gabel, 1999).

Käsitteiden oppimisen tekee vaikeaksi tietyt kemian termit, joilla on eri merkitys käytännön puhekielessä kuin kemiassa (Johnstone, 1991). Esimerkki tällaisesta on termi palaminen. Palamisella kemiassa tarkoitetaan aineen ja hapen reaktiota, kun puhekielessä sillä voidaan viitata esimerkiksi halkojen palamiseen takassa. Sähkökemian osalta käsitteillä on läheinen yhteys fysiikan ilmiöihin ja käsitteisiin. Jos käsitteet kuten sähkövirta, jännite ja potentiaali ymmärretään hyvin fysiikan pohjalta, niistä voi olla apua sähkökemian opiskelussa, mutta vaihtoehdotiset käsitykset tulee ottaa huomioon. Esimerkiksi oppilas ymmärtää sähkövirran elektronien liikkeeksi, mutta elektrolyysin kohdalla voi esiintyä epävarmuutta siitä, missä ja miten elektronit liikkuvat ja mikä itse asiassa on sähkövirran merkitys elektrolyysissä.

Käsitteiden oppimisen suurin vaikeus ei kuitenkaan ole yksistään niiden merkitykset kolmella eri tasolla vaan siinä, että opetus tapahtuu usein pelkästään symbolisella tasolla (Johnstone, 1991). Johnstone (1991) mukaan ei ole tarpeen luoda opetuksessa yhteyttä kaikille kolmelle tasolle, mutta opettajan tulisi olla tietoinen käsitteen tasoista ja niiden merkityksestä sekä niiden yhteyksistä opetuksessaan. Käsitteiden ymmärtämistä voidaan helpottaa, jos oppilaita autetaan ymmärtämään käsitteiden kolmitasoiset merkitykset. Mahdollisuuksia käsitteiden ymmärtämiseen kolmella tasolla voidaan helpottaa muun muassa laboratoriotöiden avulla siten, että oppilaita pyydetään esittämään käsitteen kolme tasoa. He tekevät havaintoja makrotasolla, havaintojen pohjalta selittävät tapahtumat käyttäen malleja atomeista ja molekyyleistä ja lopuksi esittävät symbolitasolla reaktioyhtälöt reaktioista, jotka tapahtuivat. (Gabel, 1999).

Sähkökemian käsitteiden kohdalla vaikeutena ovat vaikeasti hahmotettavat käsitteet ja uudet kemialliset termit. Yleisimmät virhekäsitykset koskevat suolasillan merkitystä elektrolyysissä, anionien ja kationien liikkumista sähkökemiallisessa parissa sekä anodin ja katodin merkitystä. Esimerkiksi useat oppilaat luulevat, että katodi eli negatiivinen elektrodi tarkoittaa sitä, että elektrodi on negatiivisesti varautunut. (Huddle, White & Rogers, 2000). Elektrodin varautumisella voi myös olla eri merkitys opettajan ja oppilaan mielestä. Varautuminen voi opettajan käsityksen mukaan viitata säh-



köiseen vuorovaikutukseen, kun oppilaan käsitys voi viitata sähkövaraukseen, joka liittyy fysiikassa kappaleiden varautumiseen esimerkiksi hankaamalla (Huddle & al., 2000).

Vaihtoehtoisia käsityksiä oppilaille voi syntyä osaltaan myös oppikirjojen määritelmistä. Vaihtoehtoisia käsityksiä voivat aiheuttaa kirjantekijöiden määritelmistä tehdyt erilaiset tulkintavaihtoehdot, jotka voivat saada alkunsa siitä, että oppilaalla ei ole riittävästi tietoa tulkita kyseistä määritelmää. Sanger ja Greenbowe (1997) esittävät mahdollisia syitä sähkökemian käsitteiden vaihtoehtoisille käsityksille. Heidän mielestään oppikirjat antavat harhaanjohtavia ja virheellisiä tulkintoja. Vaihtoehtoiset käsitykset voivat olla myös yksinkertaisia virheitä tai opiskelijoiden osalta puutteita joidenkin asioiden muistamisessa (Sanger & Greenbowe, 1997).

Vaihtoehtoisia käsityksiä lisäävät luonnontieteellisten aineiden, kuten kemian ja fysiikan käyttämät eri termit samalle ilmiölle, opiskelijan aikaisemmat riittämättömät tiedot, opiskelijoiden tulkinnat käytettävien puhekielen sanojen merkityksestä kemian opetuksen yhteydessä sekä monien eri määritelmien ja mallien käyttö samanaikaisesti ja rutiininomainen kaavojen käyttö ongelmatilanteiden ratkaisuisissa (Garnett, Garnett & Treagust, 1990). Kun opiskelijat tietävät pääsevänsä kurssista läpi opettelemalla muutaman matemaattisen kaavan ja suureyhtälön, he eivät paneudu itse asian ymmärtämiseen ja pohdi ilmiöitä laajemmassa mittakaavassa. Tällainen tilanne lisää haastetta kurssien loppukokeiden osalta ja merkitsee sitä, että niihin on myös kiinnitettävä enemmän huomiota etenkin tehtävien osalta, joiden tulisi olla soveltavia eikä suoraan kaavaan sijoittamisia.

Konstruktivistisen oppimisteorian näkökulmasta yksilöt luovat, kokoavat ja muokkaavat tietonsa läpi elämän jatkuvan prosessin aikana. Vanhoihin käsitteisiin liittyy uusia ja ne muokkaavat, tukevat tai korvaavat olemassa olevaa käsitystä (Gabel, 1994). Opiskelijat muokkaavat aktiivisesti uutta tietoa sen tiedon pohjalta, joka heillä on. Konstruktivismin merkitys koostuu seuraavista ajatuksista ja niiden pohjalta voidaan luoda merkitys myös kokeelliselle työskentelylle (Shiland, 1999). Oppiminen vaatii aktiivista keskittymistä. Oppilaan ennakkokäsitykset vaikuttavat oppimistulokseen. Oppimista tapahtuu, kun nykyiseen käsitykseen kohdistetaan tyytymättömyyttä. Oppimiseen vaikuttaa sosiaalinen vuorovaikutus ja oppiminen vaatii myös henkisiä

ponnisteluja. Tietoa ei voida suoraan siirtää oppilaalle, vaan oppilaan on itse kyettävä muokkaamaan vanhaa tietoa uuden pohjalta. Oppilaan on luotava uusi tai osittain, jopa kokonaan, korvattu tieto käsitellen ja tulkiten vanhan tiedon pohjalta.

Sähkökemian opiskellaan lukiossa yleensä toisessa syventävässä kurssissa. Tässä vaiheessa opiskelijan tiedot sähkökemian käsitteistä ovat peräisin peruskoulun yläkoulun pohjalta. Ennen uuden asian opiskelua olisikin hyvä selvittää, millaisia vaihtoehtoisia ja ennakkokäsityksiä oppilailla on. Kun opettaja saa tietoa oppilaiden ennakkokäsityksistä, hänellä olisi paremmat lähtökohdat asian opettamiseen, koska silloin olisi mahdollista kohdistaa tyytymättömyyttä olemassa oleviin vaihtoehtoisiin käsityksiin.

Kohdistamalla tyytymättömyyttä tai riittämättömyyttä oppilaan sen hetkiseen ennakkokäsitykseen mahdollistetaan uuden merkityksen oppiminen mieluisammaksi. Kun käsite koetaan mieluisammaksi tai sisällöltään sopivammaksi asian tai ilmiön selittämiseen, sen uudelleen muodostuminen tai muokkautuminen on mahdollista (Gedik, Geban, Ertepinar & Ceylan, 2003). Käsitteen merkityksen muuttuminen tai muutos tapahtuu, kun merkitys, johon se on sidottu, muuttuu (Chi, Slotta & de Leeuw, 1994). Käsitteen muutoksella voidaan tarkoittaa sekä muutosprosessia että uutta muuttunutta merkitystä. Muutos tapahtuu käsitteen ymmärtämisessä. Käsitteen muokkautuminen voi tapahtua joko uutena näkemyksenä, jolloin tieto lisätään ja muokataan olemassa oleviin uskomuksiin ja ennako-oletuksiin, tai käsitteellisen rakenteen vahvistumisella, joka tukee yksilön ennakkokäsitystä tai olemassa olevaa käsitystä (Vosniadou, 1994). Jos käsitteen merkitys ei muutu paljon, oppiminen on helpompaa kuin silloin, kun uuden ja vanhan merkityksen välillä on suurempi ero.

Ennakkokäsitykset vaikeuttavat uuden merkityksen syntymistä (Chi & al., 1994). Ennakkokäsitykset voivat olla hyvin vahvoja tai johdonmukaisia, jolloin niiden muokkaaminen on vaikeaa. Jatkuvat tai sitkeät ennakkokäsitykset eivät muutu ajan myötä eivätkä myöskään koulutason muuttuessa. Ennakkokäsitykset saattavat kuitenkin olla eri oppilaiden välillä samanlaisia.

Käsitteellinen muutos on vaikeinta, kun se edellyttää voimakkaiden ennakkokäsitysten muuttamista laajemmin kuin yhden käsitteen osalta (Vosniadou, 1994). Tällais-

sa tapauksissa syntyy todennäköisimmin myös vaihtoehtoisia käsityksiä. Vaihtoehtoisilla käsityksillä tarkoitetaan yksilön yritystä yhdistää ja mukauttaa uusi tieto olemassa oleviin käsitteellisiin rakenteisiin, jotka sisältävät ristiriitaista tietoa tieteelliseen näkemykseen nähden (Vosniadou, 1994).

Opetuksessa tulisi painottaa enemmän ennako- kuin vaihtoehtoisia käsityksiä. Ennakkokäsitykset voidaan joko hyväksyä tai hylätä muun muassa kokeellisesti. Sen sijaan vaihtoehtoiset käsitykset voivat olla hyvinkin voimakkaita, jolloin käsitteen uuden merkityksen oppiminen on mahdollista vasta sitten, kun virhekäsitys on niin sanotusti ”opittu pois”. (Vosniadou S., 1994). Vosniadoun (1994) mukaan käsitteellistä muutosta tuetaan ja päästään parempiin oppimistuloksiin silloin, kun käytetään ongelmanratkaisua, havaitsemista, kokeilemista, hypoteesien testausta ja ilmiöiden selittämistä suullisesti.

Käsitteenmuodostusta vaikeuttavat osaltaan myös kemiallisen yhdisteen erikoiset nimet. Jos oppilaat eivät tunnista työssä käytettävän kemiallisen yhdisteen nimeä, he eivät opi havainnollisella tasolla (Gabel, 1999). Käsitteiden abstraktiutta lisää pulloissa ja purkeissa esiintyvät kemialliset merkit eli aineiden symbolit. Symbolit jäävät vaille merkitystä, jos kemikaalin nimeä ei osata tulkita sen mukaan. Oppiminen voisi olla mielekkäämpää, jos aineilla olisi yhteyttä jokapäiväisen arkielämän kanssa. Oppilaat eivät osaa heti yhdistää natriumvetykarbonaattia ruokasoodaan tai natriumfluoridia hammastahnaan. Asiaa voisi helpottaa, jos oppilaat opintojensa alkuvaiheessa tutustuisivat kotoa löytyvien aineiden tuoteselosteisiin. Oudot nimet tulisivat tutummiksi eivätkä aiheuttaisi hämmennystä ja ihmettelyä niin paljon.

Käytännön esimerkit lisäävät myös mielenkiintoa aihetta kohtaan (Gabel, 1999). Sähkökemian opetuksen yhteydessä käytännön esimerkit ovat hyviä ja tuovat ilmiöt lähemmäksi oppilaita. Erilaisia esimerkkejä paristojen ja akkujen toiminnasta sekä raudan ruostumisesta ja rautaesineiden suojaamisesta ruostumista vastaan tarvitaan herättämään oppilaiden mielenkiintoa ja luomaan motivaatiota aihetta kohtaan.

Kemian ilmiöiden selitykset ovat usein hiukkastasolla eli mikrotasolla. Joidenkin käsitteiden ymmärtämistä voidaan helpottaa analogisten mallien avulla. Analoginen

malli on kahden käsitteellisen alueen välinen yhteys, jota voidaan käyttää apuna vertaamalla näitä kahta toisiinsa. Tämä perustuu siihen, että kaksi asiaa voivat muistuttaa toisiaan kuvainnollisella tavalla sekä siihen, että toista tunnettua asiaa kuvailemalla voidaan tehdä toinen asia tunnetuksi (Treagust, Duit, Joslin & Lindauer, 1992). Esimerkiksi marmorikuulia voidaan käyttää analogisena mallina kaasumolekyylien käyttäytymisen havainnollistamiseen (Treagust & al. 1992). Marmorikuulia voidaan käyttää apuna myös sähkökemiassa. Mallissa, joka havainnollistaa galvaanista paria, marmorikuulat esittävät valenssielektroneja (Huddle & al., 2000). Mallissa käytetään erivärisiä polystyreenipalloja kuvaamaan atomeja ja ioneja. Suolasiltana toimii puoliläpäisevä kalvo. Mallin avulla monet oppilaat ovat ymmärtäneet, että elektronit eivät esiinny vapaana reaktion aikana liuoksessa vaan sähkön johtuminen tapahtuu puoliläpäisevän kalvon läpi ionien ansiosta. Mallin havainnollisuutta voidaan lisätä kysymällä oppilailta mallin ja todellisen maailman eroja (Huddle & al., 2000). Malli toimii konkreettisenä esimerkkinä mikrotason havainnollistamisessa. Se helpottaa oppilaiden ymmärtämistä makrotason havaintojen ja mikrotason tapahtumien välillä.

## 2.2 Opetussuunnitelman perusteiden mukaiset tavoitteet lukiassa

Lukion tehtävänä on antaa oppilaalle laaja yleissivistys ja pohja valmiuksille jatko-opiskelua varten. Kemian opetuksen tarkoituksena on tukea luonnontieteellistä ajattelua ja nykyaikaista maailmankuvan kehitystä. Tavoitteet lukion kemian opiskelussa ovat, että opiskelija:

- ymmärtää kemian keskeisimmät peruskäsitteet sekä tuntee erilaisia elämälle välttämättömiä aineita ja kemiallisia reaktioita
- osaa kokeellisen työskentelyn ja aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeistä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista
- osaa tulkita ja arvioida kokeellisesti hankittua tietoa ja sen luotettavuutta
- saa kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan (Opetushallitus 1994).

Edellä mainitut tavoitteet ovat yleisiä kemian opiskelun tavoitteita ja koskevat lukion kemian pakollista kurssia. Niiden lisäksi on olemassa tavoitteita, jotka koskevat sy-

ventäviä kursseja, ja joihin sähkökemian pääasiassa kuuluu. Syventävien kurssien tavoitteena on, että opiskelija:

- omaksuu kemian peruskäsitteet ja terminologian sekä osaa käsitellä kemiallista tietoa kvantitatiivisella tasolla
- ymmärtää kemian yhteydet jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä perehtyy nykyaikaiseen teknologiaan kemianteollisuudessa ja ympäristötekniikassa
- osaa käyttää kemiallista tietoa osallistuttaessa luontoa, ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon
- osaa suunnitella ja tehdä yksinkertaisia luonnonilmiöitä koskevia kokeita sekä kykenee tulkitsemaan ja arvioimaan kokeellisesti saatua tietoa ja esittää sitä muille
- saa riittävät valmiudet opiskella kemiaa ja sitä soveltavia aloja (Opetushallitus 1994).

Sähkökemian osalta tavoitteiden saavuttaminen vaatii keskeisten käsitteiden hallintaa, kokeellisen työskentelyn osaamista ja tulosten merkityksen tulkintaa, kvantitatiivisten tilanteiden käsittelyn hallintaa ja kykyä yhdistää sähkökemian ilmiöitä jokapäiväiseen elämään sekä pohtia niiden merkitystä käytännön kannalta. Tavoitteet edellyttävät sitä, että käsitteet ovat hyvin hallinnassa ja niiden kolmitasoinen merkitys ymmärretään.

### **2.3 Uuden opetussuunnitelman perusteet kemian opiskelusta**

Uusi opetussuunnitelma, joka tulee voimaan elokuussa 2005 lukion aloittavilla opiskelijoilla, sisällyttää edelleen lukion kemian opintoihin yhden pakollisen kemian kurssin, mutta neljä syventävää kurssia, kun niitä aikaisemmin on ollut kolme. Suunta on positiivinen ottaen huomioon kemian käsitteiden vaikeuden ja niiden opiskeluun käytettävän ajan. Opetussuunnitelmassa mainitaan, että kemian opetukselle on luonteenomaista kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitseminen ja tutkiminen kokeellisesti (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003, 4.9.2003). Kokeelliseen tutkimiseen ja havaitsemiseen on paremmat edellytykset, kun kurssien sisältö on jaettu useamman kurssin kesken. Uusia käsitteitä ei tule yhtä nopeassa tahdissa ja opiskelijalle jää enemmän aikaa prosessoida käsitteitä.

Uuden opetussuunnitelman mukaan yleisenä tavoitteena lukion kemian opiskelulle on, että opiskelija:

- osaa kemian keskeisimmät peruskäsitteet ja tietää kemian yhteyksiä jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin
- osaa kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä ja käsitellä tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeistä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista sekä arvioida tiedon luotettavuutta ja merkitystä
- osaa tehdä ilmiöitä koskevia kokeita ja oppii suunnittelemaan niitä sekä osaa ottaa huomioon työturvallisuusnäkökohdat
- osaa tulkita ja arvioida kokeellisesti tai muutoin hankkimaansa tietoa ja keskustella siitä sekä esittää sitä muille
- perehtyy tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksiin tiedonhankinnan ja mallintamisen välineinä
- perehtyy nykyaikaiseen teknologiaan teollisuudessa ja ympäristötekniikassa
- osaa käyttää kemiallista tietoa kuluttajana terveyden ja kestäväen kehityksen edistämiseksi sekä osallistuttaessa luontoa, ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon
- saa kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003, 4.9.2003).

Edellä mainittujen tavoitteiden lisäksi uusi opetussuunnitelma on esittänyt tavoitteet jokaista kurssia varten erikseen. Tavoitteiden lisäksi opetussuunnitelmassa on esitetty kurssien sisällöt tarkemmin kuin tällä hetkellä voimassa olevassa lukion valtakunnallisessa opetussuunnitelmassa. Sähkökemian on sijoitettu neljänteen kemian kurssiin, joka on nimeltään metallit ja materiaalit. Kyseisen kurssin tavoitteina on, että opiskelija:

- tuntee teollisesti merkittäviä raaka-aineita sekä niiden jalostusprosesseja
- tuntee hapettimia ja pelkistimiä ja niiden käyttöä sekä osaa kirjoittaa hapettumis-pelkistymisreaktioita

- osaa sähkökemiallisten ilmiöiden periaatteet sekä niihin liittyviä kvantitatiivisia sovelluksia
- tuntee erilaisia materiaaleja, niiden koostumusta, ominaisuuksia ja valmistusmenetelmiä sekä kulutustavaroiden ympäristövaikutusten arviointiin käytettäviä menetelmiä
- osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen metalleihin ja sähkökemiaan liittyviä ilmiöitä (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003, 4.9.2003)

Uuden opetussuunnitelman mukaan neljännen kurssin sisältöön tulisi sisällyttää sähkökemian käsitteiden osalta sähkökemiallinen jännitesarja, normaalipotentiaali, kemiallinen pari, elektrolyysi sekä hapettumis-pelkistymisreaktiot.

Uudessa opetussuunnitelmassa mainitaan myös, että opiskelijan kyvyt suunnitella kokeita sekä kokeellisesta työskentelystä suoriutuminen tulisi ottaa huomioon arvioinnissa. Arvioinnissa tulisi ottaa huomioon kokeellisen tiedonhankinnan ja käsittelytaitojen kehittyminen. Kemian kurssiarviointien tulisi koostua kurssikokeesta, osallistumisaktiivisuudesta, kokeellisesta työskentelystä, työselostuksista, projektitöistä, esitelmistä tai tutkielmista. Tämä tarkoittaa sitä, että kokeellisuuden osuus ja merkitys lukio-opetuksessa kasvaa.

Uutta ja voimassa olevaa opetussuunnitelmaa vertaamalla voidaan huomata, että tietyt opetuksen tavoitteet pysyvät samoina. Kokeellisuuden merkitystä on lisätty asettamalla tavoitteeksi, että opiskelija osaisi suunnitella kokeita itse ja annettu paremmat mahdollisuudet tavoitteen saavuttamiseksi jakamalla syventävien kurssien sisältö neljään kurssiin aikaisemman kolmen sijaan. Useissa kouluissa on ollut kolmen syventävän kurssin lisäksi myös neljäs niin sanottu laboratoriotyökurssi, mutta kaikissa kouluissa sitä ei ole ollut mahdollisuutta järjestää.

Opetussuunnitelmassa painotetaan jatko-opintomahdollisuuksien merkitystä opetuksen tavoitteena. Käsitteenmuodostuksen kannalta on haastavaa tarjota opiskelijoille mahdollisimman vankat tiedot ja vahvalle pohjalle perustuvat käsitteet jatko-opintoja varten. Jatko-opintojen kannalta tavoitteiden saavuttaminen on tärkeää, koska yleensä oletetaan, että opiskelijoilla on aikaisemmat tiedot hyvin hallinnassa. Jos tavoitteet

seen ei päästä, aiheutuu opiskelijoille ylimääräistä työtä, sillä uusien asioiden oppiminen on vaikeaa, jos vanhat tiedot ovat puutteelliset tai sisältävät vaihtoehtoisia käsityksiä.



### 3 KOKEELLISUUS SÄHKÖKEMIAN OPPIMISESSA

#### 3.1 Kokeellisuuden merkitys kemian opiskelussa ja käsitteiden oppimisessa

Laboratorio-opetuksen merkitys tieteen ymmärtämisessä ja teorioiden selittämisessä on tunnustettu jo 1800-luvulla (Wellington, 1998). Se on ollut osana kemian opetusta, mutta sen merkityksestä ja hyödystä käsitteenmuodostuksessa on kiistelty. Opettajat tekevät demonstraatioita ja teettävät oppilaille kokeellisia töitä useinkaan ajattelematta, mihin niillä pyritään. Käsitteenmuodostuksen kannalta on oleellista tarkastella kokeellisuuden merkitystä ja asemaa käsitteiden oppimisessa, koska kokeellisuuden tulisi olla merkittävä osa kemian opiskelua ja parhaimmillaan sen voidaan katsoa helpottavan käsitteenmuodostusta.

Kokeellisuuden tilanteesta suomalaisissa kouluissa saatiin tietoa Kemia tänään - tutkimuksen avulla (Aksela & Juvonen, 1999). Kemia tänään –hankkeen tavoitteena oli kehittää kemian opetusta sekä koulujen ja yritysten välistä yhteistyötä. Kemia tänään –tutkimus tarkastelee kemian opettajien näkemyksiä kemian opetuksesta ja kemian opettamisen kehittämisestä. Tutkimuksen mukaan kemian opettajien mielestä kemiaa oppii parhaiten tekemällä. Kokeellisia töitä teettää opettajista 40 % motivoitunein vuoksi ja 29 % kemian oppimisen vuoksi. Kolme prosenttia vastanneista käytti kokeellisuutta vaihtelun vuoksi. Syitä kokeellisuuden käyttämättömyydelle olivat aikapula, isot ryhmät, ahtaat luokat sekä kemikaali- ja tarvikepuutteet. Tietokoneen hyödyntäminen oli melko uutta kokeellisessa työskentelyssä, jossa 21 % opettajista käytti tietokonetta helpottamaan tulosten käsittelyä.

Kokeellisuudella on erilaisia tavoitteita. Yksi kokeellisuuden tavoitteista on luovuuden kehittäminen. Kokeellinen työskentely edellyttää tarkkaa ja monipuolista kykyä havainnoida, käden taitoja, hienomotoriikkaa sekä käden ja silmän yhteistyötä (Lavonen & Meisalo, 2003). Monivaiheisten laboratoriotöiden tekeminen edellyttää muun muassa kokeiden suunnittelua ja laitteistojen kokoamista. Kokeellisuuden käyttäminen monipuolisesti mahdollistaa erilaisten taitojen oppimisen ja sitä kautta kehittää luovuutta. Opetut käden taidot ovat hyödyllisiä monissa nykyajan ammateissa.

MCPA-analyysimallin (*Multidimensional Classification of Pedagogical Approaches*) mukaan kokeelliselle työskentelylle asetettavat tavoitteet voidaan jakaa viiteen ryhmään: laboratoriotyöskentelylle asetettaviin yleisiin, kokeellisen työskentelyn suunnittelun, mittausten suorittamisen, tulosten tulkitsemisen ja työturvallisuudelle asetettuihin tavoitteisiin (Lavonen & Meisalo, 2003). Kaikki viisi ryhmää sisältävät erilaisia tavoitteita, jotka omalta osaltaan kehittävät monipuolisesti oppimaan oppimisen taitoja.

Wellingtonin (1998) mukaan on kolme syytä kokeellisten töiden tekemiselle luonnontieteiden opetuksessa. Yksi syy on vahvistaa oppilaiden tietoa ja ymmärrystä eli niin sanottu kognitiivinen päämäärä. Toinen syy on kehittää oppilaiden taitoja ja tehdä tieteen prosessit ja työtavat tutuiksi. Lisäksi kokeellisilla töillä muokataan asenteita, lisätään viihtyvyyttä ja motivaatiota opiskelua kohtaan. Hodsonin (1996) mukaan kokeellisuudella on samoin kolme tarkoitusta. Ensinnäkin kokeellisuus auttaa oppilaita ymmärtämään tiedettä eli sen käsitteellistä ja teoreettista tietoa. Toiseksi kokeellisuuden tarkoitus on auttaa ymmärtämään tieteestä eli sen säännönmukaisuuksista ja vuorovaikutuksesta luonnon, ympäristön ja yhteiskunnan kanssa. Kokeellisuuden tarkoitus on myös antaa mahdollisuus tehdä tiedettä eli kehittää opiskelijoiden kykyjä tieteelliseen tutkimukseen ja ongelmanratkaisuun (Hodson, 1996).

Kokeellisuuden avulla voidaan todentaa ilmiöitä, mutta se ei riitä selittämään, miksi niin tapahtuu. Teoriaa ei voida täysin opettaa kokeellisen työn kautta ja oppilaille olisi kerrottava, mihin asioihin kiinnitetään huomiota töiden aikana ennen kuin töiden tekeminen aloitetaan (Wellington, 1998). Koulussa kokeellisuus painottuu usein siihen, että laboratoriotyöstä saadaan yhdellä tietyllä menetelmällä tietty oikea tulos. Töistä tulisi keskustella ja pohtia siihen liittyviä käsitteitä. Virheelliset tuloksetkin tulisi huomioida tarkastelussa, jotta oppilaat ymmärtäisivät, että aina ei ole olemassa puhdasta oikeaa vastausta ja muutama virhetulos ei kaada koko teoriaa. Wellingtonin mukaan tulisi kiinnittää huomiota myös siihen millaisissa yhteyksissä käytetään nimitystä koe, sillä demonstraatiot, jotka ilmentävät ilmiötä, eivät ole kokeita.

Laborioryöt ovat hyödyllisempiä kuin demonstraatiot, koska laboratoriötöissä oppilas itse osallistuu toimintaan ja sitä kautta muistaa asioita paremmin. Konstruktivismin mukaan oppiminen vaatii aktiivista ajattelua (Shiland, 1999). Tätä taustaa

vasten voidaan sanoa, että pelkillä demonstraatioilla ei välttämättä päästä parhaaseen oppimistulokseen. Demonstraatioita voi seurata keskittymättä niihin ja pohtimatta, mihin ne liittyvät tai miksi niitä tehdään. Käsitteenmuodostuksen kannalta kokeellisia töitä tulisikin arvioida sen mukaan, miten hyvin oppilas pääsee osallistumaan ja keskittymään niihin (White, 1996). Jotta kokeellisesta työstä saisi kaiken hyödyn, tulisi sen sisältää jokin todellinen ongelma, joka oppilaan tulisi ratkaista itse kehittämällään menetelmällä siten, että työn tulos ei olisi tiedossa etukäteen.

Kokeellisen työn avoimuutta voidaan vaihdella opiskelijoiden kykyjen mukaan. Työn suorituksen rajoittavia tekijöitä voivat olla oppilaan tiedon tai taidon puute tai henkinen kypsymättömyys (Lavonen & Meisalo, 2003). Työn avoimuuteen vaikuttavia asioita ovat muun muassa opiskelijan oman suunnittelun määrä, opettajan ohjeet ja käytettävät välineet ja työtavat. Töiden avoimuutta vaihtelemalla voidaan antaa oppilaille käsitys siitä ettei tiede sanele yksinomaan sääntöjä ihmisen toiminnalle, vaan ihminen voi vaikuttaa tieteeseen. Jokaisen henkilökohtaiset tiedot ja taidot voivat antaa osansa tieteelliseen kehitykseen eikä luovuuden tielle pitäisi asettaa liikaa esteitä.

Kokeellisuus on tärkeä osa kemian opetusta, sillä oppilaiden on hyödyllistä oppia tuntemaan kemikaalit, laitteet, tapahtumat ja ilmiöt. Niiden avulla heidän on mahdollista soveltaa oppimaansa tietoa käytännön elämään. Sähkökemialliset ilmiöt ja niihin liittyvät käsitteet ovat osa jokapäiväistä elämää, kuten esimerkiksi matkapuhelimien ja autojen akut, paristot ja korroosio. Kokeellisuudella opetuksessa voidaan luoda tilanteita, joissa oppilas itse joutuu päättämään asioita tekemistään havainnoista ja ymmärtämään havaintojen yhteyden todelliseen käytännön elämään. Johnstone (1991) mukaan syy, miksi oppilaat kokevat kokeelliset työt vaikeiksi johtuu siitä, että havainnot tapahtuvat makrotasolla, mutta heidän oletetaan tulkitsevan tilannetta mikrotasolla (Johnstone, 1991). Havaintojen tulee lähteä siitä, että oppilasta ohjataan kiinnittämään huomiota oikeisiin asioihin ja jättää tietyt asiat huomiotta. Ilmiöitä ei voi lähestyä siitä näkökulmasta, että kokeellisesti pystyttäisiin hahmottamaan kaikki siihen liittyvät asiat.

Opetuksessa tehtävät työt eivät riitä kattavasti paljastamaan kaikkea ilmiöön liittyvää (Millar, 1998). Samaan tulokseen ovat tulleet Gott ja Duggan (1996) tutkimukses-

saan. Heidän mielestään olisi kyseenalaista olettaa, että kokeellisesta työskentelystä ilman asiaan kunnolla perehtymistä seuraisi teorian ymmärtäminen (Gott & Duggan, 1996). Kokeellisuutta tulisikin käyttää yhdistävänä siltana teorian sisältämien ajatusten ja kokeellisesti havaittavien ilmiöiden ja niiden ominaisuuksien välillä. Oppilaiden päästessä tekemään demonstraatioita ja kokeita he havaitsevat, että niiden tekeminen ei ole helppoa eivätkä ne aina onnistu. He oppivat, että kokeellisten töiden tekeminen vaatii taitoa. Kuvitelmat opettajan tekemistä taikatempuista katoavat.

Elektrolyysiin liittyvä demonstraatio on yksi tavallisimmista lukion kemian kokeellisista töistä, mutta etenkin veden elektrolyysin ymmärtäminen on vaikeaa (Gabel, 1999). Aikaisemmin mainitun kolmitasomallin mukaan käsitteen ymmärtämistä voidaan kuitenkin helpottaa. Oppilaiden käsitteellistä ymmärtämistä voidaan parantaa pyytämällä heitä piirtämään malli, jossa on yhtä suuret määrät vety- ja happimolekyylejä, ja vertaamaan sitä kokeellisesti saatuun kaasujen tilavuuteen. Tämän jälkeen oppilaat laskevat veden tilavuuden, joka tarvitaan kaasujen määrän tuottamiseen. Laskennallisesti saadun veden määrää verrataan veden tilavuuteen ennen ja jälkeen elektrolyysin (Gabel, 1999).

Demonstraatioiden avulla voidaan poistaa joitakin harhakäsityksiä käyttämällä käsitteellistä muutosta lähestymistapana (Gedik & al., 2003). Demonstraatioiden yhteydessä tulisi painottaa etteivät intuitiiviset ajatukset ja oletukset välttämättä riitä selittämään ilmiötä. Demonstraation aikana opettajan tulisi kysyä kysymyksiä ja selityksiä aktivoitakseen oppilaiden käsityksiä samalla itse esittäen yksinkertaisia vaihtoehtoja. Näin opettaja samalla voi osoittaa tyypillisten virhekäsitysten olevan virheellisiä tai riittämättömiä ja toisaalta oppilaille voidaan antaa tieteellisesti hyväksytty selitys tilanteesta (Gedik & al., 2003). Gedik & al. tutkivat demonstraation käyttöä sähkökemian käsitteiden oppimiseen edellä kuvatulla tavalla. Tutkimuksen mukaan demonstraatioiden käyttö pyrittäessä käsitteelliseen muutokseen sai aikaan merkittävästi enemmän haluttuja tuloksia sähkökemian käsitteiden ymmärtämisessä, sekä vähensi virhekäsityksiä, kuin perinteinen opettajan ja oppikirjan avulla tapahtuva opetus.

Usein kokeellinen työskentely nimenomaan oppilastöiden osalta kouluissa on sitä, että oppilaat seuraavat opettajan ohjeita ja työohjetta keittokirjamaisesti sen enempää kiinnittämättä huomiota siihen, mitä he ovat tekemässä (Hodson, 1996). Kokeelli-

suudesta saa sellaisen kuvan, että tarkasti ohjeita noudattamalla saa oikean ja hyvän tuloksen. Tiedon uskotaan olevan peräisin suoraan havainnoista, joten keskitytään enemmän tekemiseen kuin ajattelemiseen. Kokeellisuuden tulee olla suunniteltua ja ohjattua. Kokeellisuus kehittää opiskelijoiden käsitteellistä ja menettelytapoihin liittyvää ymmärtämistä (Hodson, 1996).

Hodsonin (1996) mukaan kokeellisen oppimisen tulisi edetä tietyssä järjestyksessä. Mallintamisvaiheessa opettaja näyttää menettelytavan ja hahmottaa tutkittavaa tilannetta. Mallintamisvaiheen jälkeen oppilaat tekevät opettajan ohjauksella ja avustuksella kokeellisen työn. Lopuksi oppilaat suorittavat tehtävän itsenäisesti ilman opettajan ohjausta.

Kokeellisen työn tulosten esittäminen muille on hyödyllistä (Vosniadou, 1994). Siten oppilas tutustuu ja tottuu tieteen kieleen sekä kehittää käsitteellistä ja menetelmällistä ymmärtämistään. Tällä tavoin myös mahdollistetaan opetussuunnitelman perusteissa mainitun tavoitteen saavuttaminen kokeellisen tiedon ymmärtämisestä ja sen esittämisestä muille. Tapa heijastaa oikeaa tieteellistä käytäntöä ja edistää oppimisyhteisön syntymistä. Tiedeyhteisöissäkin tutkijat kirjoittavat julkaisuja ja jakavat tietonsa muiden tiedeyhteisön jäsenien kanssa siitä, mitä ovat löytäneet tai saaneet selville.

Kokeellisten töiden tekemisessä yhtenä ongelmana ovat paljon tietoa sisältävät työohjeet. Oppilaalla menee paljon aikaa luetun ymmärtämiseen ja tekemiseen. Aikaa ei jää ajattelulle ja pohdiskelulle (Johnstone & Letton, 1991). Kun työohje sisältää paljon työn suorittamiseen liittyviä ohjeita ja havainnot ovat pikaisia nopeassa etenemistahdissa, jäävät havainnot merkityksettömiksi, koska havainnoista tehtävät tulkinnat jäävät tekemättä. Perinteinen kokeellinen työskentely edellyttää rutiininomaista oppimista ja matemaattisia kaavoja, jotka edellyttävät alempia kognitiivisia prosesseja (Domin, 1999). Tällaisia prosesseja ovat muun muassa kopiointi ja matkiminen. Sen sijaan kokeellisen työskentelyn tulisi parantaakseen käsitteenmuodostusta ja tukeakseen oppilaan ajattelua koostua suunnittelusta, päättelystä ja arvioinnista, jotka edellyttävät korkeampia kognitiivisia prosesseja (Domin, 1999).

Työohjeeseen liittyvän tiedon määrä pitäisi vähentää vain perusasioihin (Domin, 1999). Oppilaita voisi pyytää kirjoittamaan omat työohjeensa tiivistelminä valmiin

ohjeen pohjalta. Työohjeeseen jäisivät vain tarvittavat toimenpiteet ja kemikaalit. Tällä tavoin oppilas joutuisi sisäistämään tekemänsä työn etukäteen ja havainnoille jäisi lisää aikaa. Oppilas ei kuitenkaan etukäteen voi tietää, mitä työssä tapahtuu, joten jälleen korostuu opettajan rooli ohjaajana. Opettajan on kerrottava, mihin asioihin kannattaa kiinnittää huomiota ja toisaalta, mitkä asiat saattavat olla vähemmän oleellisia. Kokeellisuuden osalta on myös huomioitava, että opettajien omat näkemykset ja oppimiskäsitykset heijastuvat opetukseen. Opettajat saattavat painottaa ja kiinnittää huomiota eri asioihin. Opetuksen kannalta olisikin hyvä selvittää myös opettajien omat vaihtoehtoiset käsitykset ja painottaa opettajien täydennyskoulutusta sekä heidän käsitteellistä ymmärtämistään. Näin voitaisiin taata suurelle osalle oppilaista tasapuolinen opetuksen laatu.

Opetushallituksen LUMA-projektin tuloksista on huomattu, että opettajien ammatillinen osaaminen on lisääntynyt, kun opettajat ovat täydentäneet koulutustaan ja osallistuneet projektin toimintaan (LUMA-ohjelma, 4.9.2003). LUMA oli luonnontieteiden ja matematiikan opetuksen kehittämisprojekti vuosina 1996-2002. Se oli osa opetusministeriön kehitysohjelmaa ja sen tarkoituksena oli nostaa suomalaisten luonnontieteiden ja matematiikan osaaminen kansainväliselle tasolle. LUMA-projektin tuloksena kokeellisuuden huomattiin lisääntyneen opetuksessa (LUMA-ohjelma, 4.9.2003). Uudessa opetussuunnitelman perusteissa kokeellisuus on otettu paremmin huomioon kuin nykyisessä, sillä lukion syventävät kurssit on jaettu nykyisen kolmen sijaan neljään (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003, 4.9.2003). Kokeellisuuden määrää tullaan siis lisäämään opetuksessa, mikä antaa oppilaille mahdollisuuden aktiiviseen osallistumiseen ja sitä kautta myös tehokkaampaan oppimiseen.

Oppilaan ajattelua tuetaan kokeellisuuden avulla (Domin, 1999). Ratkaistessaan käytännön tehtävää lapsi käyttää puhetta yhtä suuressa määrin kuin silmiä ja käsiään. Kun tehdään kokeellista työtä, kiinnittämällä huomiota useisiin asioihin tapahtuu oppimista. Lapsi voi kopioida aikuisen tekemistä, mutta ei kykene ymmärtämään pidemmälle kehittyntä ajattelua kuin omaansa (Vygotsky, 1978). Tähän vedoten voisi olettaa, että vain demonstraatiota seuraamalla ja niitä kopioimalla oppimista ei tapahdu, koska oppilas ei välttämättä ymmärrä niitä ja ne eivät edellytä omaa pohdin-

taa. Oppilas kykenee rakentamaan samanlaisen laitteiston ja tekemään demonstraation, mutta se ei riitä vielä ymmärtämään, mitä demonstraatiossa tapahtuu.

Kommunikointi tuottaa tarvetta ajatusten tarkasteluun ja vahvistukseen. Tällainen prosessi on luonteenomaista aikuisille (Vygotsky, 1978). Oppiminen on mahdollista vuorovaikutuksessa ihmisten kanssa ja yhteistyössä vertaistensa kanssa. Vuorovaikutus oppimisessa saavutetaan Vygotskyn mukaan lähikehityksen vyöhykkeellä. Se on ero, joka on todellisen kehityksen ja mahdollisen kehityksen välillä, kun asiaa tarkastellaan ongelmanratkaisun kautta aikuisen ohjauksessa tai yhteistyössä osaavampien vertaisten kanssa (Vygotsky, 1978). Kokeellisen työn osalta voidaan sanoa, että lähikehityksen vyöhyke saavutetaan ryhmätyöskentelyllä toisten oppilaiden kanssa opettajan ohjauksessa.

Ajankäyttö on usein ongelma opetuksessa ja siihen tulisikin kiinnittää huomiota opetusta suunniteltaessa. Kokeellisilla töillä aikaa saattaa myös kulua vähemmän oleellisiin asioihin, jos niitä ei suunnitella kunnolla ja pohdita niiden merkitystä opetuksessa. Ajankäytön kannalta erittäin hyvä vaihtoehto kokeellisuuteen on myös mikroskaalan (toisia nimityksiä: mikromittakaava käyttö tai mikrokemiallinen laboratorio) käyttö. Sen lisäksi, että mikroskaalan käyttö säästää aikaa, se on myös ympäristöystävällisempi, taloudellisempi ja pedagogisesti parempi vaihtoehto perinteiselle laboratoriotyöskentelylle (Aksela & Karkela, 1992; Kreativ Kemi, 4.9.2003). Reaktiot ja työt ovat nopeampia, koska käytetään pieniä ainemääriä. Töiden nopea suorittaminen jättää aikaa pohdintaan ja keskusteluun. Taloudellisesti ajatellen pienet ainemäärät ovat edullisempi vaihtoehto, koska ympäristölle haitallisia yhdisteitä syntyy vähemmän ja aineita tarvitaan vähemmän, jolloin noudatetaan vihreän kemia periaatteita (Lumivaara & Aksela, 2002). Mikroskaalan käytössä säästetään myös alkujärjestelyissä ja loppusiivouksessa, sillä laitteita ei välttämättä tarvitse tiskata vaan niitä voidaan käyttää uudelleen samoilla kemikaaleilla. Mikroskaalan käyttö ratkaisee myös kouluissa esiintyvän ongelman eli opetustilan valinnan. Mikroskaalalaitteistoja voi käyttää tavallisessa luokkahuoneessa, sillä ne mahtuvat oppilaiden pulpeteille.

Syitä siihen, ettei kouluissa juurikaan käytetä mikroskaalalaitteistoja, voi olla useita. Koulut joutuvat hankkimaan laitteistoja useita kappaleita ja kouluille tästä aiheutuu taloudellisia kustannuksia. Ongelmana on myös se, että opettajat eivät välttämättä

tiedosta mikroskaalasta saatavaa hyötyä tai eivät tiedä sen käytöstä tarpeeksi. Olisi kuitenkin uskottavaa, että ajan myötä taloudellinen sijoittaminen kannattaisi, sillä laitteistot ovat melko kestäviä, koska lasia ei käytetä paljon ja välineitä voidaan käyttää uudelleen. Oppilaiden motivaation kannalta mikroskaalan käyttö on hyvä vaihtoehto, koska näin he pääsevät itse tekemään ja keskittymään töihin eikä työn tekemiseen mene paljon aikaa.

Sähkökemian osalta mikroskaalalla tehtäviä kokeellisia töitä sekä demonstraatioita on monia erilaisia opetukseen soveltuvia vaihtoehtoja. Esimerkkinä elektrolyysin demonstroimiseen soveltuu hyvin kaliumjodidin elektrolyysi (Vuolle & Lampiselkä, 2001). Elektrolyysi on nopea ja reaktiot näkyvät nopeasti. Demonstraatio havainnollistaa hyvin sähkökemian ilmiöitä ja sitä voidaan teettää myös oppilailla. Laitteisto ei ole kovin vaativa ja oppilaat pääsevät itse osallistumaan demonstraation tekemiseen ja olemaan aktiivisina mukana oppimisessa. Koska elektrolyysi tapahtuu nopeasti, jää hyvin aikaa kysymyksille, pohdinnalle ja keskustelulle.

### **3.2 Kokeellisuus opetussuunnitelman perusteissa**

Opetussuunnitelmassa tavoitteena on, että opiskelija osaisi hankkia kokeellisesti tietoa ja tulkita sen luotettavuutta. Opiskelijan tulisi oppia kokeellisen työskentelyn avulla etsiä tietoa ja suunnitella yksinkertaisia luonnonilmiöitä koskevia kokeita. Kokeiden tulosten arviointia pidetään myös tärkeänä samoin tulosten esittämistä toisille (Opetushallitus, 1994). Opetussuunnitelmassa korostetaan, että kemialle, kuten myös fysiikalle, ominaista on opetuksessa käyttää kokeellista lähestymistapaa. Kokeellisen työskentelyn katsotaan parantavan käsitteiden hahmottamista ja tiedon jäsentymistä. Jos opetussuunnitelmassa on annettu selkeät tavoitteet kokeellisuudelle, on hämmästyttävää ettei kokeellisuutta käytetä kouluissa enempää. Joissain kouluissa kokeellisuutta ei ole juuri ollenkaan tai se on rajoittunut opettajan tekemiin demonstraatioihin. Kemian opetukselle tulisi olla tunnusomaista kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien tutkiminen, mutta valitettavan usein tähän tavoitteeseen ei päästä.

Kokeellisuudella viitataan opetussuunnitelmassa laboratoriotyöskentelyyn, demonstraatioihin, opintokäynteihin, omakohtaiseen toimintaan sekä audio-visuaalisten apu-



välineiden käyttöön. Kokeellisuudella tarkoitetaan menetelmää, joka olisi johdonmukainen, ja johon kuuluisi:

- havaintojen, mittausten, kokeiden ja tutkimusten suunnittelu ja tekeminen
- keskustelu, käsitteenmuodostus havainnoista, esittäminen, tulkitseminen ja mallintaminen
- johtopäätösten ja hypoteesien tekeminen ja testaaminen
- havaintojen ja esitettyjen tietojen kriittinen arviointi
- opitun asian soveltaminen ongelmanratkaisussa (Opetushallitus, 1994).

Uusi lukion opetussuunnitelman perusteet painottaa kokeellisessa työskentelyssä edellisten asioiden lisäksi turvallista työvälineiden ja reagenssien käyttöä. Lisäksi painotetaan tulosten esittämistä niin suullisesti kuin kirjallisestikin.

Kokeellisissa töissä voidaan käyttää apuna tietotekniikkaa monin eri tavoin joko työn suorittamisessa tai tulosten käsittelyssä. Mittausautomaatiolla tapahtuvia töitä kehitetään tulevaisuudessa enemmän peruskoulu- ja lukio-opetukseen soveltuviksi.

## 4 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN JA TUTKIMUSONGELMAT

### 4.1 Oppikirjatutkimus

Oppikirjojen tulisi täyttää opetussuunnitelman perusteiden mukaiset tavoitteet ja niiden tulisi perustua voimassa oleviin oppimiskäsityksiin. Oppikirjatutkimuksen yksi lähtökohta on selvittää, mikä oppikirja olisi mahdollisimman hyvä opetuksen työväline oppimisen ja opettamisen kannalta. Oppikirja kuvaa myös sähkökemian opetuksen tilaa, sillä opettajat käyttävät oppikirjaa kemian opetuksen lähtökohtana (Ahtineva, 2000).

Kun 1980-luvulla luovuttiin oppikirjojen tarkastusmenettelystä, oppikirjojen sisällöstä vastaaminen siirtyi oppikirjan kirjoittajille, asiantuntijoille ja kustantajille. Oppikirjoilla on suuri merkitys oppilaan oppimisessa, koska niitä oppilas käyttää suurelta osin asian oppimiseen muun muassa kokeisiin lukiessa tai kotitehtäviä tehdessä. Koulumaailmassa paras tapa lähestyä tieteellistä tietoa on ensin tutustua ilmiöihin, jonka pohjalta tehdään kokeita ja mittauksia, ja lopuksi määritellään teoria (Ahtineva, 2000). Tämä lähestymistapa on esitetty myös opetussuunnitelman perusteissa. Tältä pohjalta oppikirjojen tulee lähestyä luonnontieteellistä tietoa siten, että oppilailla olisi mahdollista omaksua esitetty tieto.

Oppilailla esiintyy omia arkikäsitteitä luonnontieteellisistä ilmiöistä. Arkikäsitteet ovat usein tieteellisesti väärinä, mutta niitä voidaan käyttää opittavan asian oppimisessa selvittämällä oppilaiden ennakkokäsitteet (Vosniadou, 1994). Kemian oppikirjan tulisi vahvistaa oppilaiden luonnontieteellistä ajattelua. Oppikirjoissa luonnontieteellistä tietoa havainnollistetaan usein kuvilla, malleilla tai demonstraatioilla, joiden tehtävänä on auttaa oppilaita ymmärtämään esitetyt asiat (Ahtineva, 2000). Kemiassa esiintyvät käsitteet tulisi esittää selkeästi, jotta niiden merkitys voidaan ymmärtää oikein. Opetussuunnitelman perusteet korostaa kemiaa kokeellisena luonnontieteenä. Oppikirjoissa tämä tulisi ottaa huomioon sisällyttämällä niihin laboratoriotöitä, jotka edellyttävät omakohtaista työskentelyä. Oppikirjan sisältöä voidaan oppikirjatutkimuksessa kuitenkin arvioida useista eri näkökulmista.

Kemian oppikirjoja laadittaessa tekijöiden tulee ottaa huomioon useita eri kemian osa-alueita. Tästä johtuen kemian oppikirjoja voidaan myös tutkia monella eri tavalla. Oppikirjatutkimuksen tarkoituksena on omalta osaltaan antaa viitettä siihen, miten oppikirjaa voisi mahdollisesti kehittää. Hyvä oppikirja motivoi oppilaita ja kirjan teksti herättää oppilaat ajattelemaan sekä kannustaa oppilaita aktiiviseen oppimiseen. Pohdintojen ja kokemusten pohjalta muodostuneet tietorakenteet, jotka ovat vaatineet oppilaan omaa aktiivisuutta, säilyvät läpi elämän (Ahtineva, 2000). Tutkimustulosten avulla opettajilla on mahdollisuus tutustua oppikirjoihin ennen niiden ottamista opetukseensa. Oppikirjatutkimukset antavat tietoa myös oppikirjojen tekijöille. Heillä on mahdollisuus kehittää oppikirjoja ja tehdä niistä entistä toimivampia tutkimusten pohjalta.

Tämän oppikirjatutkimuksen tarkoituksena on verrata eri oppikirjojen antamia merkityksiä sähkökemian käsitteille ja niiden eroja toistensa suhteen. Toisaalta halutaan vertailla lukio-opetuksessa annettuja määritelmiä niihin määritelmiin, jotka käsitteillä on yliopisto-opinnoissa, ja jotka usein oletetaan opiskelijoiden hallitsevan yliopistoon tullessa. Lukion oppikirjoista tarkastelun kohteena olivat Kemia 3: Alkuaineiden kemia (Haavisto & al., 1996), Katalyytti: Epäorgaaninen kemia (Kanerva & al., 1996) ja Kide 3: Kemian elementit (Kalkku & al., 1995). Taulukossa 5.1 on esitetty myös Helsingin yliopiston Yleisen kemian kurssilla käytettävän oppikirjan määritelmät jokaiselle käsitteelle (Zumdahl, 1997).

Oppikirjoilla on oma merkityksensä vaihtoehtoisten käsitysten muodostumisessa. Oppikirjat saattavat käyttää epätarkkaa ja tilanteeseen sopimatonta sanastoa selittäessään sähkökemian käsitteitä (Sanger & Greenbowe, 1997). Sangerin ja Greenbowen (1997) mukaan oppikirjojen tulkinnat ovat harhaanjohtavia ja jopa virheellisiä. Esimerkiksi useat oppikirjat selittävät, että elektrodit ovat varautuneita (Sanger & Greenbowe, 1997).

Oppikirjoissa tulisi myös ottaa huomioon kemian ja fysiikan läheinen liittyminen toisiinsa. Kemian ja fysiikan näkemyksiä tulisi käsitellä eri näkökulmina mieluummin kuin eri tieteen haaroina sähkökemian osalta. (Garnett & al., 1990). Fysiikan merkitys tulee esille nimenomaan sähkökemiassa, sillä sähkökemiassa ja fysiikassa esiintyy samoja käsitteitä.

## 4.2 Tutkimusongelmat

Tutkimus on toteutettu tutkimusongelmien mukaisesti. Tutkimusongelmat on muotoiltu tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen pohjalta.

1. Mitkä ovat sähkökemian keskeiset käsitteet oppikirjoissa?
  - 1.1 Mitkä sähkökemian käsitteet otetaan esille oppikirjoissa?
  - 1.2 Miten käsitteet määritellään?
  - 1.3 Miten määritelmät vastaavat jatko-opinnoissa käytettäviä määritelmiä?
2. Mitä on sähkökemian kokeellisuus oppikirjoissa?
  - 2.1 Mitä sähkökemian kokeellisia töitä oppikirjoissa on?
  - 2.2 Minkä sähkökemian käsitteen oppimisen tueksi työt on tarkoitettu?
  - 2.3 Mitkä ovat sähkökemian kokeellisten töiden tavoitteet?
3. Minkälainen on hyvä kokeellinen työohje elektrolyyysi käsitteen oppimisen tueksi?

## **5 TULOKSET**

### **5.1 Sähkökemian keskeiset käsitteet**

#### **5.1.1 Käsitteiden merkitys**

Sähkökemian käsitteistä osa on tunnettuja peruskoulun pohjalta (Aspholm, Hirvonen, Lavonen, Penttilä, Saari, Viiri & Hongisto, 2001). Käsitteet kuten elektrolyysi, sähkökemiallinen pari, korroosio, jalo ja epäjalo metalli sekä metallien jännitesarja ovat tulleet tutuiksi ja käsitelty peruskoulun kemian opetuksessa, mutta lukio-opetuksessa käsitteet käydään läpi perusteellisemmin ja ne saavat laajemman merkityksen. Taulukossa 1 on vertailtu eri oppikirjojen määritelmiä sähkökemian käsitteille. Käsitteistä on vertailtu vain keskeisimpiä sähkökemian kokonaisuuden kannalta. Taulukossa 1 on esitetty myös Helsingin yliopiston yleisen kemian kurssilla käytettävän oppikirjan määritelmät jokaiselle käsitteelle (Zumdahl, 1997).

Taulukko 1. Oppikirjojen määritelmät sähkökemian keskeisille käsitteille.

<b>Käsite</b>	Lukion oppikirjojen määritelmät käsitteille: <b>1. Kemia 3 (1996)</b> <b>2. Katalyytti (1995)</b> <b>3. Kide 3 (1995)</b>	<b>Yleisen kemian kurssin oppikirjan määritelmä (Zumdahl, 1997)</b>
<b>Metallien jännitesarja</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Jokainen metalli pystyy pelkistämään jäljessään olevan metallin ionin metalliatomiksi eli luovuttamaan ionille puuttuvat elektronit. Metallit on järjestetty pienenevän pelkistyskyvyn mukaan. (Li, K, Ca, Al, Zn, Fe, Sn, Pb, H, Cu, Ag, Hg, Pt, Au)</li> <li>Metallit voidaan asettaa järjestykseen tutkimalla niiden välisiä hapettumis-pelkistymisreaktioita. (Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Co, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Pt, Ag, Au)</li> <li>Normaalipotentialien taulukosta metallit ja vety on järjestetty kasvavan normaalipotentialin mukaisesti. (Li, K, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Fe, Ni, Pb, H, Cu, Ag, Au)</li> </ol>	Ei ole määritelty. (Normaalipotentialien mukaan: Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Ag ja Hg (sama arvo), Au)
<b>Epäjalo metalli</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Käsitettä ei ole määritelty.</li> <li>Metallien jännitesarjan perusteella verrattaessa metalleja pareittain epäjalampi hapetuu metallista ioniksi ja on sarjassa ensin (vasemmalla puolella).</li> <li>Sen normaalipotentiali on pienempi kuin 0,0 V. Epäjalo metalli on metallien jännitesarjassa ennen vetyä.</li> </ol>	Ei ole määritelty.
<b>Jalo metalli</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Käsitettä ei ole määritelty.</li> <li>Jalampi metalli pelkistyy helpommin metallien jännitesarjan perusteella ja on jälkimmäisenä sarjassa (oikealla puolella).</li> <li>Jalon metallin normaalipotentiali on suurempi kuin 0,0 V. Jalot metallit ovat metallien jännitesarjassa vedyn jälkeen</li> </ol>	Eräitä metalleja, joita on suhteellisen vaikea hapettaa, kutsutaan jaloiksi metalleiksi.
<b>Normaalipotentiali</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Normaalipotentiali on mitattavan elektrodin potentiali vetyelektrodiin nähden. Normaalipotentialien järjestys määrää hapetus-pelkistysjärjestyksen</li> <li>Mitattavan elektrodin jännite verrattuna vetyyn, jonka normaalipotentialiksi on sovittu 0,0 V.</li> <li>Perustilassa olevan elektrodin ja normaali-vetyelektrodin välinen potentialiero.</li> </ol>	Verrattavan elektrodin potentialiero normaalivetyelektrodiin nähden.

<b>Normaali-vetyelektrodi</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Koska yksittäisen elektrodin potentiaalia ei voida mitata käytetään toisena elektrodina eli vertailuelektrodina normaalivetyelektrodia, johon nähden muiden jännitteet mitataan. Vetyelektrodin potentiaaliksi on sovittu nolla.</li> <li>2. Vetyelektrodi on vertailuelektrodi, johon muita metallien tuottamia jännitteitä verrataan. Sen arvoksi on sovittu 0,0 V.</li> <li>3. Perustilassa oleva vetyelektrodi on vertailuelektrodi, johon yksittäisten elektrodien potentiaaleja verrataan. Sen potentiaaliksi on sovittu 0,00 V.</li> </ol>	Normaalivetyelektrodin potentiaali on vertailupotentiaali muiden puolireaktioiden potentiaaleille. Sen arvoksi on sovittu 0,00 V, jotta muita puolireaktiopotentiaaleja voidaan verrata siihen.
<b>Elektrolyytti</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elektrolyytit ovat aineita, joiden vesiliuokset johtavat sähköä kuten esimerkiksi suolat, hapot ja emäkset, jotka liuetessaan tai protolysoituessaan muodostavat ioneja.</li> <li>2. Sähköä johtava liuos tai suolasulate.</li> <li>3. Elektrolyytti eli elektrolyyttijohde on aine, jonka sulatteen tai liuoksen sähkönjohtokyky perustuu sähkökentässä liikkuviin ioneihin.</li> </ol>	Elektrolyytti on aine, joka liuetessaan veteen, saa aikaan liuoksen, joka johtaa sähköä. Elektrolyytit voidaan jakaa vahvoihin ja heikkoihin elektrolyytteihin.
<b>Elektrolyysi</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sähkövirran aikaansaama aineen hajoaminen hapetus-pelkistysreaktion kautta.</li> <li>2. Ulkoisen virtalähteen tuottama sähkövirta saa elektrolyyttiliuoksessa aikaan hapettumis-pelkistymisreaktioita.</li> <li>3. Elektrolyysissä sähköenergian avulla saadaan aikaan pakotettu hapettumis-pelkistymisreaktio.</li> </ol>	Elektrolyysissä sähkövirran avulla pakotetaan kemiallinen reaktio, jonka parin jännite on negatiivinen ja jonka reaktio ei spontaanisti tapahtuisi.

Tutkimuksessa tarkastellaan elektrolyysiä tarkemmin (Taulukko 1), koska kyseistä käsitettä käsitellään myöhemmin kokeellisten töiden kehittämisosuudessa. Elektrolyysikäsitteen osalta oppikirjat mainitsevat sähkövirran osuuden hapettumis-pelkistymisreaktion aikaansaamiseksi. *Kide* (1995) on ainoa, joka mainitsee reaktion olevan pakotettu. *Kemia* (1996) mainitsee elektrolyysissä tapahtuvan aineen hajoamisen hapetus-pelkistysreaktion kautta. *Katalyytti* (1995) kertoo reaktion tapahtuvan elektrolyyttiliuoksessa. Määritelmät eroavat siinä suhteessa, miten paljon ne kertovat ilmiöstä ja siihen liittyvistä asioista. Yliopisto-opinnoissa käytettävän oppikirjan määritelmässä mainitaan, että elektrolyysissä sähkövirran avulla pakotetaan kemiallinen reaktio tapahtumaan (Zum Dahl, 1997). Elektrolyysin osalta oleellista on siis se, että sähkövirran avulla tuodaan systeemiin energiaa, joka pakottaa kemiallisen reaktion tapahtumaan.

Taulukko 1. (jatkuu)

<b>Anodi</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Positiivisesti varautunut elektrodi, jossa anionit eli negatiivisesti varautuneet ionit luovuttavat elektroninsa ja hapettuvat.</li> <li>2. Positiivinen elektrodi, joka vetää puoleensa lioksen negatiivisia ioneja, jotka luovuttavat elektroneja elektrodin pinnalla. Hapettumisen tapahtumapaikka.</li> <li>3. Elektrolyytikennon positiivisesti varautunut elektrodi, jossa elektrolyyssissä tapahtuu hapettumisreaktio.</li> </ol>	Elektrodi, jossa hapettuminen tapahtuu.
<b>Katodi</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Negatiivisesti varautunut elektrodi, jossa positiivisesti varautuneet kationit saavat elektroneja ja pelkistyvät.</li> <li>2. Negatiivinen elektrodi, jossa positiiviset ionit saavat elektroneja sen pinnalta ja jossa tapahtuu pelkistyminen.</li> <li>3. Elektrolyytikennon negatiivisesti varautunut elektrodi, jossa tapahtuu pelkistymisreaktio.</li> </ol>	Elektrodi, jossa tapahtuu pelkistymisreaktio.
<b>Galvaaninen kenno/pari</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Galvaaniset parit ovat sähkökemiallisia virtalähteitä, joissa kemiallinen energia muuttuu sähköenergiaksi hapettumis-pelkistysreaktion kautta.</li> <li>2. Kemiallinen pari, joka on yksinkertainen virtalähde. Sähkövirta syntyy hapettumis-pelkistymisreaktion aikaansaamana.</li> <li>3. Galvaaninen kenno on jännitelähde, joka perustuu sen elektrodeilla tapahtuviin hapettumis-pelkistymisreaktioihin.</li> </ol>	Galvaanisessa kennossa tapahtuu spontaani hapettumis-pelkistymisreaktio, jossa kemiallista energiaa muuttuu sähköenergiaksi.
<b>Suolasilta</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suljetun virtapiirin saamiseksi elektrolyyttiliuokset yhdistetään suolasillalla, joka ulottuu astiasta toiseen. Suolasilta mahdollistaa ionien siirtymisen. Suolasillassa voidaan käyttää kylläistä suolaliuosta.</li> <li>2. Metallien suolaliuokset erotetaan suolasillalla, joka voi olla liuosten välissä huokoinen seinämä tai suolaliuoksella kostutettu suodatinpaperi. Suolasilta päästää ioneja läpi niin, että sähkötasapaino säilyy.</li> <li>3. Suolasilta mahdollistaa ionien siirtymisen liuksesta toiseen. Suolasiltana voi toimia suolaliuoksessa kostutettu suodatinpaperisuikale tai huokoinen väliseinä.</li> </ol>	Suolasilta mahdollistaa ionien siirtymisen ilman, että liuokset sekoittuvat. Suolasiltana voi toimia vahvaa elektrolyyttiä sisältävä hyytelömäinen matriisi tai huokoinen väliseinä.



<b>Faradayn vakio</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Faradayn vakio on sähkömäärä, jonka yksi mooli yksiarvoisia ioneja kuljettaa mukanaan.</li> <li>2. Elektrodiin läpi virtaa sama sähkömäärä, joka on johtimen läpi tietyn ajan kuluessa kulkenut sähkövaraus. Faradayn vakio saadaan kertomalla elektronin alkeisvaraus Avogadron vakiolla.</li> <li>3. Faradayn vakio on yhden elektronimoolin sähkövaraus.</li> </ol>	Faradayn vakio on yhden moolin elektroneja sähkövaraus.
<b>Korroosio</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kemiallinen tai sähkökemiallinen ilmiö, jossa aine vahingoittuu ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta. Korroosio voi tarkoittaa myös metallien sähkökemiallista syöpymistä ainoastaan.</li> <li>2. Sähkökemiallinen ilmiö, jossa metalli vähitellen hapettuu ilmassa. Alkuaine hapettuu takaisin kemialliseksi yhdisteeksi, josta se on valmistettu.</li> <li>3. Metallin korroosio on ulkoisista tekijöistä johtuvaa metallien hapettumista.</li> </ol>	Korroosion voidaan katsoa tarkoittavan tapahtumaa, jossa metalli muuttuu takaisin luonnolliseen tilaansa eli malmiksi, josta se on alun perin saatu. Korroosiin liittyy metallin hapettuminen.
<b>Paristo</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muodostuu ns. kuivaparista eli sähkökemiallisesta parista, jonka kemialliset reaktiot ovat monimutkaiset. Yhden parin jännite on 1,5 V.</li> <li>2. Paristolla tarkoitetaan virtalähdettä, jota ei voi ladata. Raja akun ja pariston välillä on nykyisin epämääräinen. Paristo muodostuu kuivaparista, jonka todellinen jännite on noin 1,5 V.</li> <li>3. Toimintaperiaate perustuu galvaanisen kennon toimintaan. Kuivaparin jännite on 1,5 V.</li> </ol>	Muodostuu kuivaparista, jonka puolireaktiot ovat monimutkaiset ja jota ei voi ladata. Yksi pari tuottaa noin 1,5 V:n jännitteen.
<b>Akku</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sekundäärinen virtalähde, joka voidaan varata toistuvasti tuomalla sähköenergiaa, joka varastoituu kemiallisena energiana.</li> <li>2. Virtalähde. Lyijyakun latauksessa sähköenergiaa muuttuu kemialliseksi energiaksi ja purkauksessa elektrodireaktiot tapahtuvat päinvastaisesti.</li> <li>3. Akuille on ominaista, että ne voidaan lataamalla palauttaa alkuperäiseen tilaansa.</li> </ol>	Tasavirtalähde, jossa on ryhmä galvaanisia kennoja yhdistetty sarjaan, ja jonka kokonaispotentiaali on yksittäisten kennojen potentiaalien summa.

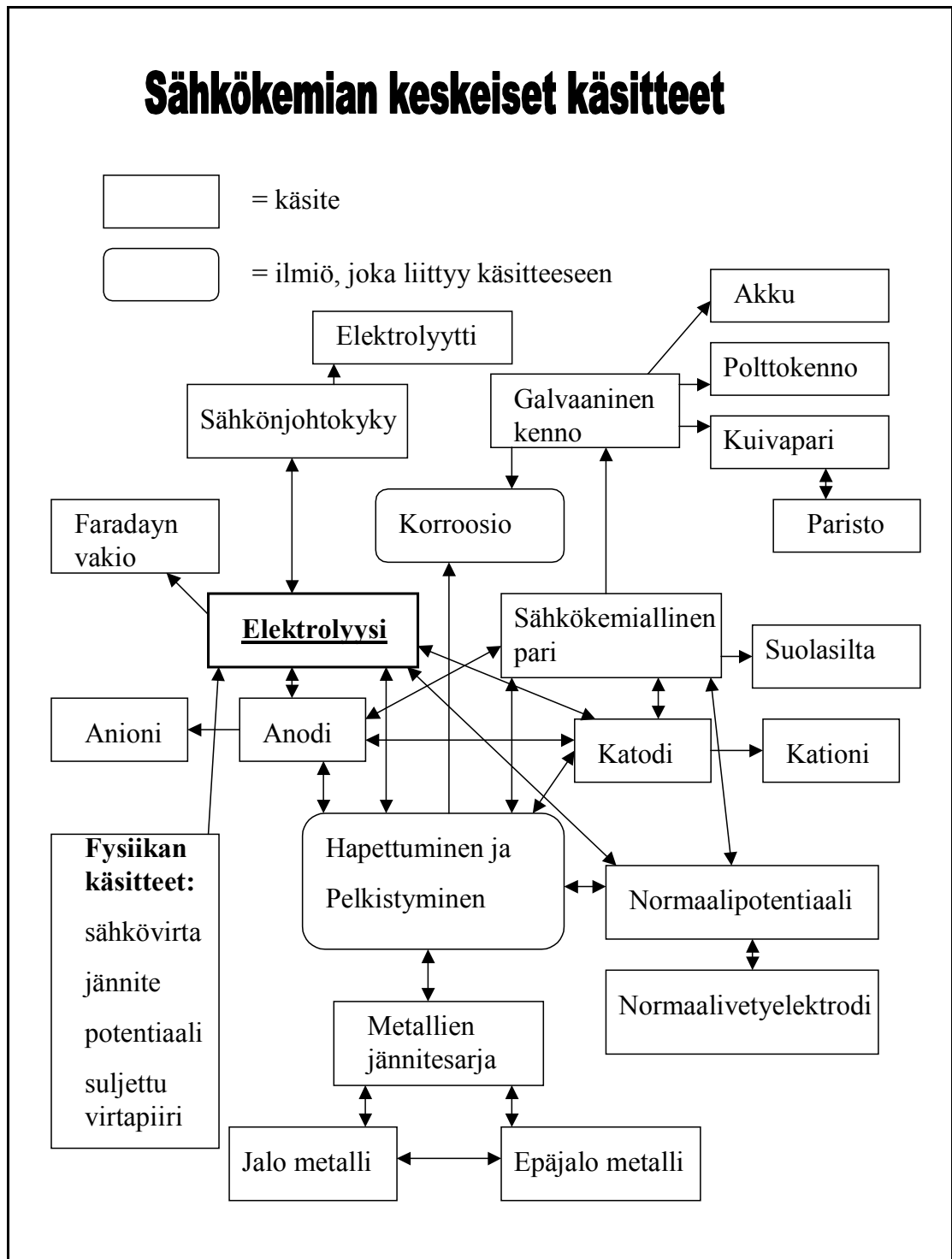
### 5.1.2 Käsittekartta sähkökemian käsitteistä

Käsittekartalla voidaan havainnollistaa sähkökemian keskeisimpien käsitteiden liittymistä toisiinsa ja sitä kautta tarkastella niiden muodostamaa kokonaisuutta. Käsittekartassa on esillä aihepiirin keskeiset käsitteet, mutta myös niiden väliset relaatiot. Käsittekartta kuvaa käsitteitä ja niiden välisten suhteiden muodostamaa rakennetta (Lavonen & Meisalo, 2003). Käsittekartta kuvassa 1 kuvaa sähkökemian keskeisten käsitteiden suhteita ja niiden yhteyttä toisiinsa.

Käsittekarttaa tarkasteltaessa huomataan, että sähkökemian käsitteet liittyvät verkostomaisesti toisiinsa ja harhakäsitys yhdessä käsitteessä voi tehdä toisen käsitteen ymmärtämisen vaikeaksi. Todellisuudessa sähkökemian käsitteet muodostavat niin läheisen kokonaisuuden, että sen vuoksi käsittekarttaan tulisi piirtää enemmänkin nuolia. Nuolien määrä on kuitenkin yritetty pitää sopivana, koska on pyritty välttämään liikaa sekavuutta ja toisaalta pyritty osoittamaan oleelliset yhteydet.

Käsittekartan tulkinnassa (kuva 1) nuolten suunnat viittaavat siihen, mistä käsitteestä lukion oppikirjat pääasiassa seuraavaa käsitettä lähestyvät. Kaksoisnuolet viittaavat käsitteiden läheiseen liittymiseen toisiinsa. Nuolet kuvaavat myös niitä yhteyksiä käsitteiden välillä, joiden muodostamisessa opettajalla on merkittävä rooli. Käsittekartta sähkökemian käsitteistä kuvaa myös osaltaan tavoitteellista tietorakennetta. Käsitteet eivät ole irrallisia vaan kiinteästi yhteydessä toisiinsa. Näiden yhteyksien luominen on opettajan tehtävä valitsemiensa työtapojen avulla.

Kuva 1. Sähkökemian keskeiset käsitteet ja niiden yhteydet toisiinsa.



Fysiikan käsitteistä neljä on mainittu käsittekartassa, koska ne liittyvät olennaisesti elektrolyysikäsitteen ymmärtämiseen. Niiden avulla elektrolyysin ymmärtämistä voidaan helpottaa, jos ne ovat tunnettuja fysiikan opinnoista. Fysiikan käsitteiden kautta tulee myös yhteys sähköön ilmiönä, sillä sitä ei käsitellä kemiassa erikseen. Käsitteet sähkövirta, jännite ja suljettu virtapiiri ovat tuttuja peruskoulun pohjalta, mutta käsite potentiaali tulee varsinaisesti esille vasta lukiossa. Potentiaalilla voidaan hahmottaa normaalipotentiaalikäsitettä ja sitä, että potentiaaliero koskee elektrodien välistä potentiaaliero. Kun tiedetään potentiaaliero, joka vaaditaan reaktioiden tapahtumiseen, voidaan säätää tarvittava jännite. Normaalipotentiaali voidaan selittää myös jännitteen avulla. Sähkövirta ja suljettu virtapiiri hahmottavat ionien merkitystä liuoksessa. Sähkövirta ei kulje avoimessa virtapiirissä ja sähkövirran kulku liittyy oleellisesti elektronien sekä ionien liikkumiseen. Toisaalta fysiikan opinnoissa esimerkiksi elektrolyysin avulla voidaan havainnollistaa, että sähkövirralla on suunta.

Fysiikan käsitteet voivat myös aiheuttaa sähkökemian käsitteiden vaihtoehtoisia käsityksiä. Fysiikassa mainitaan usein, että sähkövirta on elektronien liikettä. Oppilaat voivat saada sellaisen käsityksen, että elektronit siirtyvät liuoksessa elektrodilta toiselle, koska he eivät ymmärrä ionien merkitystä. Tämän vuoksi onkin tärkeää painottaa, että elektrolyyttiliuoksessa liikkuvat vain kationit ja anionit. Fysiikan ja kemian käsitteiden läheinen liittyminen toisiinsa asettaa haasteen opettajalle, mutta voi myös osoittautua hyväksi keinoksi helpottaa käsitteenmuodostusta sekä havainnollistaa kahden luonnontieteen käsitteiden välistä läheistä suhdetta.

## **5.2 Sähkökemian kokeelliset työt**

### **5.2.1 Oppikirjoissa olevat työt**

Tutkituissa oppikirjoissa on sähkökemian töitä melko vähän ottaen huomioon kemian kokeellisen luonteen tieteenä. Osa töistä on esimerkin omaisia demonstraatioita, jotka eivät ilman hyvää ohjausta tue käsitteenmuodostusta kovinkaan paljon. Jotkut töistä ovat laadultaan hyviä ja tukivat käsitteenmuodostusta, mutta joidenkin töiden osalta opiskelijalle voi jäädä epämääräiseksi työn tarkoitus. Työohjeissa on suuria eroja. *Kemian* (1996) ja *Kiteen* (1995) työohjeet ovat lyhyitä, mutta työtkin ovat varsina-

sesti demonstraatioita kuin kokeellisia töitä. *Katalyytissä* (1995) on oma kokeellisten töiden osio ja työohjeissa on neuvottu mihin asioihin opiskelijan tulisi kiinnittää huomiota. Yleisesti ottaen opiskelijan omalle suunnittelulle ei ollut paljon sijaa, paitsi muutamassa *Katalyytin* (1995) jatkotutkimuksessa eli lisätyössä.

Taulukossa 2 on esitetty lukion oppikirjoissa olevat kokeelliset työt sähkökemian käsitteille. Oppimateriaaleista tarkastelussa on käytetty samoja oppikirjoja kuin luvussa 5.1.1 vertailtaessa oppikirjojen selityksiä sähkökemian käsitteille. Työt ovat pääosin siinä järjestyksessä, jossa ne esiintyvät oppikirjoissa opetuksen edetessä. Työohjeen teksti on pyritty pitämään lähes alkuperäisenä. Kuten aikaisemmin on todettu, myös käytetyllä kieliasulla ja termeillä on vaikutusta oppilaan saamaan käsitykseen työn sisällöstä, siihen liittyvistä käsitteistä ja sen merkityksestä (Johnstone, 1991). Työohjeella on merkitystä kokeellisen työn ilmiön havaintojen tulkinnassa. Taulukossa 2 on esitetty myös töiden tavoitteet tai mitkä voisivat olla työn tavoitteena.

Taulukko 2. Oppikirjoissa olevat sähkökemian kokeelliset työt.

Käsite	Oppikirjassa oleva sähkökemian työ	Työn tavoitteet
Metallien jännitesarja	<p>1. <b>Kemia 3 (1996)</b></p> <p>2. <b>Katalyytti (1995)</b></p> <p>3. <b>Kide 3 (1995)</b></p> <p>1. <u>Koe 1</u>: Kaadetaan sinkkijauhetta kuparisulfaattiliuokseen. <u>Koe 2</u>: Kahteen koeputkeen kaadetaan vetykloridihappoa. Toiseen pudotetaan kuparipala ja toiseen pala magnesiumnauhaa.</p> <p>2. <u>Työ 9A</u>: Metallien väliset hapettumis-pelkistymisreaktiot. Tee koeputkiin seuraavat seokset ja seuraa reaktion tapahtumista. A1) pala kuparia ja AgNO<sub>3</sub>-liuos, A2) pala hopeaa ja CuSO<sub>4</sub>-liuos, B1) rautanaula ja CuSO<sub>4</sub>-liuos, B2) pala kuparia ja FeSO<sub>4</sub>-liuos, C1) pala magnesiumia ja FeSO<sub>4</sub>-liuos, C2) rautanaula ja MgSO<sub>4</sub>-liuos, D1) pala magnesiumia ja CuSO<sub>4</sub>-liuos, D2) pala kuparia ja MgSO<sub>4</sub>-liuos, E1) pala sinkkiä ja Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-liuos, E2) pala lyijyä ja ZnSO<sub>4</sub>-liuos, F1) pala sinkkiä ja FeSO<sub>4</sub>-liuos, F2) rautanaula ja ZnSO<sub>4</sub>-liuos. Merkitse kumpi reaktioista tapahtuu ja kumpi metalleista hapettuu ja kumpi pelkistyy. Kirjoita metallit järjestykseen helpoimmin hapettuvasta vaikeimmin hapettuvaan. <u>Työ 9B</u>: Metallien liukeneminen happoihin. Ota koeputkeen pala tutkittavaa metallia (Cu, Zn, Ag, Mg ym..) Lisää metallipalan päälle 1 ml vettä ja ravistele. Jos reaktio on kiivas, älä jatka tällä metallilla. Jos reaktio on hidaskäyttöön tai et havaitse sitä, lisää veden tilalle 1 ml laimeaa suolahappoa. Jos reaktio laimean suolahapon kanssa on kiivas, älä jatka tällä metallilla. Jos reaktio on hidaskäyttöön tai et havaitse sitä, kaada happo pois ja lisää sen tilalle 1 ml väkevää suolahappoa. Reaktio voi olla kiivas ja siinä on räiskymisvaara. Jos reaktio väkevän suolahapon kanssa on kiivas, älä jatka tällä metallilla. Jos reaktio on hidaskäyttöön tai et havaitse sitä, kaada happo pois ja lisää sen tilalle 1 ml väkevää typpihappoa. Jos syntyy ruskeita kaasuja, pysäytä reaktio lisäämällä vettä ja vie koeputki vetokaappiin. Taulukoi tulokset käyttäen merkintöjä ei liukene lainkaan, liukenee, reaktio kiivas, reaktiossa vapautuu väritöntä kaasua ja reaktiossa vapautuu värillistä kaasua. Kirjoita reaktioyhtälö niissä tapauksissa, joissa reaktio tapahtuu. Järjestä metallit pienenevän reaktioherkkyyden mukaan. Sijoita vety paikalleen ja vertaa tulostasi oppikirjan jännitesarjaan.</p>	<p>1. Koe 1 havainnollistaa sinkin ja kuparin merkitystä jännitesarjassa hapettumis-pelkistymisreaktion avulla. Koe 2 pyrkii antamaan merkityksen vedyn paikalle jännitesarjassa</p> <p>2. Työ 9A auttaa havainnollistamaan jännitesarjaa hapettumis-pelkistymisreaktioiden avulla. Työ 9B:n tavoitteena on saada oppilas ymmärtämään metallien järjestyksen merkitys ja vedyn paikan määräytyminen Töiden suoritus ei vaadi erityistaitoja ja työt motivoivat oppilasta koekäsitteeseen eri vaihtoehtoja.</p>

	<p>3. Koeputkeen A laitetaan rautalankaa kupari(II)sulfaattiliuokseen, koeputkeen B kuparilankaa rauta(II)sulfaattiliuokseen ja koeputkeen C kuparilankaa hopeanitraattiliuokseen. Mitä voidaan havaita koeputkissa A, B ja C?</p>	<p>3. Metallien jännitesarjalla selitetään demonstraatiossa havaitut ilmiöt. Työ havainnollistaa jännitesarjaa esimerkin tavoin.</p>
<p><b>Galvaaninen pari/kenno</b></p>	<p>1. <u>Koe 1:</u> Valmistetaan Daniellin pari (kuvan perusteella). Negatiivisena elektrodina on sinkkilevy sinkkisulfaattiliuoksessa ja positiivisena elektrodina kuparilevy kuparisulfaattiliuoksessa sekä suolasiltana kaliumnitraattiliuoksella kostutettu suodatinpaperi. Mitataan parin jännite. <u>Koe 2:</u> Valmistetaan kuivaparin malli. Elektrodeina käytetään sinkkilevyä ja grafiittipuikkoa sekä elektrolyytinä ammoniumkloridin vesiliuosta. Mitataan parin jännite ja todetaan jännitteen lasku mittauksen aikana.</p> <p>2. <u>Työ 9C:</u> Metallien välinen jännite. Puhdista metallilevyt teräsvillalla ja huuhtelee niitä ensin laimealla suolahapolla ja sitten tislattulla vedellä. Pane metallilevyjä pareittain (esim. Cu/Cu, Ag/Cu, Fe/Cu, Mg/Fe, Mg/Cu, Zn/Pb, Ag/Mg) natriumsulfaattiliuokseen ja kytke ne jännitemittariin. Lue jännite ja merkitse kumpi metalleista on positiivinen kohtio. Taulukoi tuloksesi ja vertaa niitä taulukkoarvoihin.</p> <p>3. Kahdesta keitinlasista toiseen laitetaan sinkkisauva 1 M sinkkisulfaattiliuokseen (<math>c(\text{ZnSO}_4) = 1 \text{ mol/l}</math>) ja toiseen kuparisauva 1 M kuparisulfaattiliuokseen (<math>c(\text{CuSO}_4) = 1 \text{ mol/l}</math>). Keitinlaseissa olevat suolaliuokset yhdistetään toisiinsa kaliumnitraattiliuokseen kastetulla suodatinpaperisuikaleella. Metalleihin liitetään johtimet, jotka lopuksi kytketään volttimittariin. Havaitaan, että elektrodien välinen jännite on noin 1 V. Toisena elektrodina tässä niin sanotussa Daniellin parissa on sinkki sinkkisulfaattiliuoksessa ja toisena kupari kuparisulfaattiliuoksessa.</p>	<p>1. Koe 1 pyrkii havainnollistamaan galvaanisen parin toimintaa. Työn tekemiselä opiskelija oppii rakentamaan toimivan galvaanisen parin. Koe 2:lla on sama tavoite sekä se toimii pariston toiminnan mallina.</p> <p>2. Työ 9C motivoi oppilasta kokeilemaan eri vaihtoehtoja, jotka tuottavat sähköä. Työn avulla opiskelijan tulisi ymmärtää miksi jotkut parit eivät tuota sähköä ja toiset tuottavat.</p> <p>3. Työ toimii esimerkkinä galvaanisesta kennoista, sen toiminnasta ja siihen liittyvistä reaktioista.</p>

<p><b>Elektrolyysi</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li><u>Koe 2</u>: Pannaan passiiviset elektrodit (platina, hiili) laimeaan natriumkloridiliuokseen. Lisätään liuokseen indikaattoriksi fenoliftaleiinia ja johdetaan liuoksen läpi sähkövirta. <u>Koe 3</u>: Pannaan passiiviset elektrodit väkevään natriumkloridiliuokseen ja johdetaan sähkövirta liuoksen läpi. <u>Koe 4</u>: Pannaan kuparisulfaattiliuokseen anodiksi kuparilevy ja katodiksi hiilisauva. Annetaan virran kulkea muutaman minuutin ajan.</li> <li><u>Työ 11A</u>: Laimea ruokasuolaliuos (<math>c &lt; 1,0</math> M). Lisää 250 ml:aan vettä vajaa lusikallinen ruokasuolaa ja lisää liuokseen hiukan indikaattoria osoittamaan mahdolliset pH:n muutokset. Elektrolysoi valmista maasi laimeaa NaCl-liuosta grafiittielektrodein. Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia (väri, haju) niillä on? Muuttuuko indikaattorin väri? Miten? Miten veden pH muuttuu eri kohtioilla? Päättele mitä elektrodeilla on syntynyt ja kirjoita elektrodireaktiot. <u>Työ 11B</u>: Väkevä ruokasuolaliuos (<math>c &gt; 1,0</math> M). Kytkenät ja elektrodit ovat samat kuin edellisessä työssä, mutta nyt suolaliuos on väkevä (3 lusikallista suolaa 250 ml:aan vettä). Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia niillä on? Muuttuuko indikaattorin väri? Muuttuuko veden pH eri kohtioilla? Päättele mitä aineita elektrodeilla on syntynyt ja kirjoita elektrodireaktiot. <u>Työ 11C</u>: Ruokasuolan elektrolyysi kuparielektrodein. Käytä kohdan 11B liuosta, mutta vaihda grafiittielektrodien tilalle kuparielektrodit. Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia kaasuilla on? Muuttuuko indikaattorin väri? Muuttuuko veden pH eri kohtioilla? Mitä muita muutoksia elektrodien lähistöllä tapahtuu? Päättele mitä elektrodeilla on tapahtunut ja kirjoita elektrodireaktiot. <u>Työ 11D</u>: Jatkotutkimuksia. 1. Erilaisten suolaliuosten elektrolyysi, 2. Elektrolyyttinen pinnoitus ja 3. Faradayn vakion määrittäminen.</li> <li>Kokeessa käytetään elektrolyysikennoa, jossa nesteenä on <math>ZnI_2</math>:n vesiliuos. Sähkön johtumisen tekevät mahdolliseksi liuoksessa olevat <math>Zn^{2+}</math> - ja <math>I^-</math> -ionit. Virtapiiriin kuuluu myös ulkoinen virtalähde, jonka negatiiviseen ja positiiviseen kohtioon on kytketty hiilielektrodit. Nesteessä olevat kationit liikkuvat negatiiviselle elektrodille eli katodille. Katodilla tapahtuvat katio-</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Koe 2 havainnollistaa elektrolyysissä tapahtuvia asioita, joista voidaan havaita vedyn ja hapen muodostuminen sekä liuoksen muuttuminen emäksiseksi katodin ympärillä. Koe 3 havainnollistaa sitä, että liuoksen konsentraatio vaikuttaa elektrolyysissä syntyviin tuotteisiin. Koe 4 on soveltava demonstraatio ja esimerkki elektrolyysistä, jossa itse elektrodillaakin tapahtuu muutoksia.</li> <li>Työt 11A ja 11B havainnollistavat elektrolyysissä tapahtuvia asioita ja konsentraation vaikutusta niihin. Oppilaan tulee itse rakentaa laitteisto ja osata kiinnittää huomiota neuvottuihin asioihin. Työ 11C on sovellus, jossa elektrodit eivät olekaan passiivisia. Työ motivoi tutkimaan miten elektrodien vaihtaminen vaikuttaa reaktioihin. 11D töissä oppilaalta vaaditaan asian hyvin ymmärtämistä, sillä niissä oppilas suunnittelee työt itse.</li> <li>Demonstraatioissa positiivista on se,</li> </ol>
----------------------------	--	---



	<p>nien pelkistymisreaktiot. Pelkistyvinä ioneina ovat sinkki-ionit, ja reaktio on: <math>Zn^{2+}(aq) + 2 e^{-} \rightarrow Zn(s)</math>. Nesteessä olevat anionit liikkuvat positiiviselle elektrodille eli anodille. Anodilla anionit hapettuvat. Kokeessa jodidi-ionit hapettuvat siten, että vapautuu alkuainejodia. Reaktioyhtälö on: <math>2 I^{-}(aq) \rightarrow I_2(s) + 2 e^{-}</math></p> <p>Normaalipotentialien perusteella voidaan päätellä, että kokonaisreaktio ei ole spontaani eli vapaaehtoinen, vaan se vaatii tapahtuakseen ulkoista energiaa. Jos sen sijaan sinkki- ja jodijauhetta sekoitetaan keskenään ja päälle tipautetaan vettä, tapahtuu kiivas reaktio. Tämä elektrolyysi-reaktiolle käänteinen reaktio on vapaaehtoinen.</p>	<p>että elektrolyysiliuoksena on jokin muu kuin ruokasuolaliuos, mutta muuten työ toimii vain esimerkkinä elektrolyysistä</p>
<b>Akku</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Koe 1:</b> Upotetaan noin 20-prosenttiseen rikkihappoon kaksi lyijylevyä ja mitataan levyjen välinen jännite. Yhdistetään tämän jälkeen lyijylevyihin 6 V:n tasavirtalähde ja annetaan virran kulkea kunnes liuos alkaa poreilla. Mitataan elektrodien välinen jännite ja tarkastellaan lyijylevyjen pintaa.</li> <li>Ei ollut käsitteeseen liittyvää työtä.</li> <li>Ei ollut käsitteeseen liittyvää työtä.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Demonstraatiossa havainnollistetaan akun toimintaa lataamalla sitä. Havaitaan, että akkuun varastoituu sähköenergiaa kemiallisena energiana.</li> </ol>
<b>Korroosio</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Koe 1:</b> Asetetaan neljään koeputkeen puhdistettuja rautanauvoja ja lisäksi kuvasarjan mukaan ensimmäiseen tislattua vettä, toiseen ilman kuivattamiseksi kalsiumkloridia, kolmanteen hapetonta kiehutettua tislattua vettä ja sen päälle risiiniöljykerros sekä neljänteen tislattua vettä ja happea. <b>Koe 2:</b> Asetetaan rautanauva ruokasuolaliuokseen A) sinkkilevyyn kiinni, B) vain rautanauva liuoksessa, C) tinalevyyn kiinni ja D) kuparilevyyn kiinni.</li> <li>Ei ollut käsitteeseen liittyvää työtä.</li> <li>Ei ollut käsitteeseen liittyvää työtä.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Koe 1:llä havainnollistetaan olosuhteita, jossa ruostumista tapahtuu eli sitä, että ruostumiseen tarvitaan sekä vettä että happea. Koe 2 havainnollistaa ruostumisen nopeuteen vaikuttavia tekijöitä eli sitä, että toisilla asioilla ruostumista voidaan nopeuttaa ja toisilla hidastaa.</li> </ol>

### 5.2.2 Oppikirjassa olevan kokeellisen työn yhteys käsitteen oppimiseen

Oppikirjoja tutkittaessa havaittiin, että sähkökemian kokeellisia töitä ei ole kovin paljon. Ne työt, joita oppikirjoissa on, ovat rajoittuneet vain muutaman käsitteen oppimiseen ja havainnollistamiseen eivätkä asioiden tutkimiseen. Oppikirjoissa kokeel-

liset työt oli sijoitettu eri paikkoihin tekstissä. *Kemiassa* (1996) ja *Kiteessä* (1995) työt olivat tekstin välissä, mutta kuitenkin uuden asian käsittelyn alussa. *Katalyytissä* (1995) kokeellisille töille oli oma osionsa kirjan lopussa ja töistä mainittiin tekstissä teorian käsittelyn jälkeen.

*Kemian* (1996) töissä oli hyvänä ominaisuutena se, että ne olivat kohtuullisen lyhyitä ja sitä kautta soveltuvat hyvin opetukseen. Työt jättävät kuitenkin joitain aukkoja käsitteen muodostumisessa, sillä ne toimivat lähinnä esimerkkeinä käsiteltävästä ilmiöstä. Esimerkiksi käsiteltäessä metallien jännitesarjaa tarvittaisiin useamman eri metallin vertailua toisiinsa nähden eikä pelkästään sinkin reaktio kuparisulfaattiliuoksessa ja magnesiumnauhan reaktio suolahapossa. *Katalyytissä* (1995) sen sijaan metallien jännitesarjaa koskevat työt havainnollistavat hyvin metallien hapettumis- ja pelkistymiskykyä toisiinsa nähden ja työssä 9B (Taulukko 2) määritetään myös vedyn paikka jännitesarjassa ja perustellaan se. *Kiteessä* (1995) metallien jännitesarjaa koskeva työ on myös havainnollistava, sillä työssä vertaillaan kolmea metallia keskenään, mutta vedyn paikka ei määräydy niin selkeästi kuin *Katalyytissä* (1995) ja työ on oikeastaan enemmän demonstraatio kuin kokeellinen työ. *Kiteen* (1995) työt ovat melko havainnollistavia, mutta niitä on todella vähän, vain kolme työtä sähkökemian osiossa.

Galvaanista kennoa havainnollistamaan *Kemia* (1996) ja *Kide* (1995) käyttävät Daniellin paria ja *Kemiassa* (1996) oli myös työ koskien kuivaparia. *Katalyytissä* (1995) työssä, joka koskee galvaanista paria, mitattiin eri metalliparien välistä jännitettä natriumsulfaattiliuoksessa. Galvaanisesta kennosta tulisi havainnollistaa, kuinka kemiallisen energian avulla saadaan sähköenergiaa. *Kemian* (1996) ja *Kiteen* (1995) töissä esimerkkinä oli vain yksi pari. Tärkeää oli, että molemmissa kirjoissa käsite suolasilta tulee käsiteltyä kokeellisen työn yhteydessä ja sitä kautta sen ymmärtäminen on ehkä helpompaa. *Katalyytissä* (1995) suolasilta jää vain teoreettiseksi käsitteeksi. On tutkittu, että monilla oppilailla on ongelmia nimenomaan suolasillan merkityksen ymmärtämisessä (Huddle & al., 2000). Suolasillan osuudesta galvaanisessa parissa tulisi siis keskustella enemmän ja selittää sen merkitys perusteellisesti.

Elektrolyysiä koskevat työt ovat melko samanlaisia *Kemiassa* (1996) ja *Katalyytissä* (1995). Tosin *Katalyytissä* on painotettu nimenomaan tarkkailemaan reaktiossa ta-

pahtuvia muutoksia ja siihen nojaten oppilaan tuli itse päätellä mitä reaktioita tapahtui. Työ havainnollisti myös, miten konsentraatio vaikuttaa elektrolyysissä syntyviin tuotteisiin. Työn tekemisen ongelmaksi voi kuitenkin muodostua melko pitkä työohje. *Kiteessä* (1995) oli erikoisempi elektrolyysityö, mutta havainnollinen ja käytännöllinen senkin vuoksi, että sitä voisi soveltaa mikroskaalaan.

Kuten aikaisemmin on todettu, ei kokeellisella työllä voida todentaa koko ilmiötä kattavasti, mutta sillä voidaan edistää käsitteenmuodostusta. Töiden suhteen voidaan tarkastella niiden antamaa vaikutelmaa käsitteiden kolmitasoisesta luonteesta ja sitä onko opiskelijan mahdollista huomioida ne työtä tehdessä. Aikaisemmin mainittiin myös Johnstonen (1991) käsitys siitä, ettei ole tarpeen luoda yhteyttä kolmelle eri käsitteen tasolle opetuksessa, mutta opettajan tulisi olla tietoinen niistä. Tätä taustaa vasten oppilaan olisi helpointa oppia, jos kokeellinen työ pysyisi vain makrotasolla eli havaintojen tasolla, ja mikrotason selitykset tehtäisiin myöhemmin.

*Kemian* (1996) kokeellisissa töissä havaittavat asiat on mainittu tekstissä työn jälkeen. *Katalyytissä* (1995) työhön liittyviä kysymyksiä on paljon ja niitä joutuu pohtimaan työtä tehdessä. *Katalyytissä* (1995) on mainittu mihin asioihin tulee kiinnittää huomiota työtä tehdessä. Tämä voi olla tarpeen joidenkin töiden kohdalla, mutta oppilaalle tulisi antaa myös mahdollisuus havaita ja huomata itse oleelliset asiat työn kuluessa. *Kemian* (1996) osalta on sanottava, että tarkkojen havaintojen kirjoittaminen voi aiheuttaa oppilaalle motivaation puutteen, koska työn tekeminen ei välttämättä ole niin mielekästä, jos tietää tarkalleen etukäteen mitä työssä tapahtuu, mutta työn tarkoitus ei ole selvä. *Kiteen* (1995) töissä oli ajoittain myös epäselvää miksi työ tehdään, jos työohjeessa ei kerrota mihin tulisi kiinnittää huomiota ja mitä tarkalleen ottaen työllä on tarkoitus havainnollistaa. Yleisesti ottaen välillä jäi hieman epäselväksi, että mihin työllä varsinaisesti pyritään eli mikä on työn tavoite. Demonstraatioiden käyttö opetuksessa jäi epäselväksi siltä osin, että oliko kirjan tekijöiden tarkoituksena käyttää demonstraatioita vain herättämään oppilaiden huomio ja saamaan heidät kiinnostumaan aiheesta vai oliko töiden tarkoituksena tukea käsitteenmuodostusta.

## 6 KOKEELLISET TYÖTAVAT ELEKTROLYYSIN OPPIMISEN TUKENA

### 6.1 Työtavat elektrolyysin kokeellisen työn suoritukseen

Kokeellinen työ on havainnollinen ja tukee käsitteenmuodostusta silloin, kun työn tekemisen yhteydessä jää aikaa myös pohdiskelulle sekä keskustelulle. Oppimateriaalien elektrolyysityöt tehdään usein noudattamalla keittokirjamaista ohjetta, mutta ne harvoin jättävät oppilaalle selkeän kuvan siitä miksi työ tehtiin tai mikä oli työn tarkoitus (Domin, 1999). Elektrolyysi käsitteenä on melko vaikea ymmärtää jo senkin takia, että siihen liittyy monia muita käsitteitä hyvin oleellisesti, kuten käsitekartasta voidaan huomata (Kuva 1). Käsitteen ymmärtämistä vaikeuttaa myös se, että elektrolyysissä tapahtuvat ilmiöt saattavat jäädä epäselviksi eikä tilanne hahmotu kunnolla, koska elektrolyysin selittäminen tapahtuu osittain mikrotasolla. Elektrolyysityöt ovat myös usein ainoastaan demonstraatiotyypisiä esityksiä. Elektrolyysitöitä etenkin tutkimustyyppisiä kokeellisia töitä oli todella vähän tai ei ollenkaan.

Oppilastöiden ongelmana on, että niissä yleensä noudatetaan työohjeita tietyn reseptin mukaan. Tämä ei edellytä korkeampien kognitiivisten prosessien käyttöä (Domin, 1999). Tällaiset kognitiiviset prosessit saadaan käyttöön, kun varsinainen työohje tulee tarpeettomaksi käyttämällä tutkimus- ja ongelmanratkaisulähtöistä oppimista. Oppilaan ajattelua tuetaan, kun oppilaat luovat, kehittelevät tai suunnittelevat kokeellisen työn suorituksen itse (Domin, 1999).

Peruskoulussa elektrolyysi määritellään ilmiöksi, jossa tasavirta saa aikaan hapettumis-pelkistymisreaktion elektrolyyttiliuoksessa (Aspholm & al., 2001). Lukiossa elektrolyysi määritellään ilmiöksi, jossa sähkövirran tai yleisemmin sähköenergian avulla saadaan aikaan hapettumis-pelkistymisreaktio. Määritelmässä ei sanottavasti ole eroa, mutta lukiossa elektrolyysikäsitettä laajennetaan ja perehdytään siihen millaiset asiat vaikuttavat elektrolyysiin. Peruskoulun yläkoulussa elektrolyysin tutkiminen on kvalitatiivista, mutta lukiossa sitä tutkitaan myös kvantitatiivisessa merkityksessä. Yllättävää on etteivät oppikirjat painota elektrolyysissä tapahtuvan pakotettu reaktio.

Kokeellisuudella on mahdollista tukea käsitteen muodostumista. Kokeellisia töitä tulisi kehittää sellaiseen suuntaan, että ne tukisivat ja havainnollistaisivat käsitteen hahmottumista ja helpottaisivat sen oppimista. Kokeellisille töille tulisi luoda selkeä merkitys ja kehittää niitä siten, että ne olisivat merkittävässä roolissa tukemassa käsitteenmuodostusta. Tällä hetkellä opettajille itselleenkin ei ole aina selvää, miksi kokeellisia töitä tehdään (Wellington, 1998). Avoimilla ajattelua vaativilla kokeellisilla töillä saadaan oppilaat aktiivisesti mukaan (Domin, 1999). Niiden tehtävänä on antaa oppilaalle mahdollisuus huomata oma edistymisensä ja saada sitä kautta itseluottamusta uusien vaikeidenkin asioiden oppimiseen. Töiden suunnittelussa on kuitenkin otettava huomioon jokaisen henkilökohtaiset kyvyt, mutta antaa kaikille mahdollisuus osallistua mahdollisimman monipuolisesti työn suoritukseen.

Elektrolyysin opettamiseen suunniteltujen työtapojen pohjana on käytetty työohjetta, joka on esitetty *Katalyytissä* (1995) töissä 11A ja 11B, joissa tutkitaan liuoksen väkyyden vaikutusta elektrolyysissä syntyviin tuotteisiin (katso taulukosta 2 käsitteen elektrolyysi kohdalta kohta 2). Työohje on valittu sillä perusteella, että se soveltuu hyvin kouluopetukseen kemikaalien ja laitteiden osalta. Sen lisäksi työ on melko yleisesti käytössä elektrolyysikäsitteen yhteydessä oppikirjoissa. Samantyyppinen ruokasuolaliuoksen elektrolyysissä syntyvien tuotteiden tutkiminen voidaan suorittaa myös mikroskaalavälineillä (Aksela, Laitalainen, Mäkelä & Virkkala, 1996).

Työssä esiintyvän ongelman ratkaisuun voidaan käyttää kolmea työtapaa, jotka tukevat ajattelun ja vuorovaikutuksen merkitystä oppimisessa. Työn tutkimusongelmana on selvittää, miten liuoksen konsentraatio vaikuttaa elektrolyysissä syntyviin tuotteisiin, kun liuoksena on ruokasuolaliuos. Kemikaalit sekä tarvikkeet, joita työssä käytetään, on kerrottu alkuperäisessä työohjeessa. Työ suoritetaan 2-3 hengen ryhmissä.

## ***Työtapa 1***

Ennen työn suorittamista on pohdittavana muutama aiheeseen virittävä tehtävä tai kysymys (Liite 1). Tällaisia kysymyksiä voivat olla esimerkiksi:

- Lue elektrolyysiin liittyvä osio oppikirjasta ja selvitä millaisesta ilmiöstä on kyse.
- Mitä reaktioita elektrolyysissä tapahtuu ja missä ne voidaan havaita?
- Mitä tuotteita työssä mahdollisesti syntyy?
- Miten saadaan selville syntyvät tuotteet? Mihin asioihin kiinnitetään huomiota työn aikana?
- Millaisilla konsentraatioilla lähtisit asiaa tutkimaan?
- Voidaanko syntyneiden tuotteiden määrä saada selville? Miten?

Ennakkokysymyksillä saadaan selville oppilaiden pohjatiedot. Samalla varmistetaan, että työn suoritus on tuttu siinä määrin, ettei aikaa kulu kirjallisen ohjeen tulkitsemiseen. Aikaa jää havaintojen tekemiseen ja niiden kirjaamiseen sekä ryhmässä keskustelemiseen. Aiheeseen perehtyminen auttaa oppilasta hahmottamaan työhön liittyvän teoreettisen puolen.

Kun menetelmä työn suoritukseen on selvillä, työ suoritetaan annetun työohjeen perusteella (Liite 1). Työn aikana kirjataan havainnot ja tapahtumat vihkoon tai työkirjaan. Havaintoja ovat mm. kaasun muodostuminen ja indikaattorin värin muuttuminen. Työkirjaan kirjoittaminen takaa, että oppilaat muistavat kiinnittää huomiota eri asioihin ja keskittyvät työn tekemiseen. Työkirja näytetään opettajalle työn suorituksen jälkeen.

Työn suorituksen jälkeen jokainen oppilas kirjoittaa työstä oman raporttinsa, jossa esitetään tutkittava ongelma, tutkimusmenetelmä ja sen suunnittelu sekä tutkimuksen tulos. Raportin kirjoittamisen myötä opiskelija joutuu uudestaan miettimään työtä kokonaisuutena sekä palauttaa mieleensä työssä tapahtuneet asiat. Oppilas joutuu pohtimaan havaintojen yhteyttä ilmiön selittämiseen sekä arvioimaan omaa suoritus-

taan. Käsitteen hahmottumiseen liittyvät asiat jäävät paremmin mieleen. Raporttia voidaan käyttää myös osaltaan kurssin arvioinnissa.

## *Työtapa 2*

Ennen työn suorittamista oppilaat tekevät käsitekartan, jossa esiintyy elektrolyysiin liittyvät käsitteet (Liite 2). Käsitekartasta selviää oppilaiden ennakkokäsitys elektrolyysistä sekä miten hyvin he hahmottavat muiden käsitteiden liittymisen siihen. Käsitekartan tekemiseen voidaan käyttää oppikirjaa sekä muuta kirjallisuutta. Käsitekartan tekemisen yhteydessä oppilaat joutuvat perehtymään työhön liittyvään teoriaan selvittäessään käsitteiden välisiä suhteita. Käsitekartoista voidaan keskustella koko ryhmän kesken tai pienemmissä ryhmissä. Keskustelussa tulisi tuoda esille työhön liittyvät toimenpiteet ja asiat, joihin tulee kiinnittää huomiota.

Työohje selvitetään huolellisesti etukäteen (Liite 2). Opettaja voi kysyä esimerkiksi muutaman työn suoritukseen liittyvän kysymyksen ja siten varmistaa, että oppilaat ymmärtävät työn sisällön tutkimusaiheeseen liittyen. Työn suorituksen aikana oppilaat tekevät muistiinpanoja havainnoista ja tapahtumista työkirjaan. Oleelliset havainnot tulee perustella ja selittää.

Kun työ on tehty, tehdään uusi käsitekartta. Jokainen ryhmä voi tehdä yhteisen käsitekartan ja verrata sitä omaan käsitekarttaan, joka tehtiin ennen työn suorittamista. Ennen työtä tehtyä ja uutta karttaa verrataan toisiinsa ja keskustellaan niiden eroista. Työn jälkeen tehtyyn karttaan voidaan liittää työssä havaittuja asioita esimerkiksi anodilla tapahtunut hapettumisreaktio anodikäsitteen kohdalle. Näin oppilas pääsee yhdistämään teoreettisen käsitteen ja havaitun asian yhteyden sekä saa mahdollisuuden harjoitella havaintojen kirjoittamiseen käytettävää kemialle tyypillistä symboliikkaa. Lopuksi käsitekartat esitellään toisille oppilaille. Tämä rohkaisee oppilaita esittämään töitään muille ja saamaan niistä palautetta.

### *Työtapa 3*

Oppilaille kerrotaan, mitä kemikaaleja ja tarvikkeita työssä käytetään, mutta he itse joutuvat suunnittelemaan työohjeen kokonaan eli työhön liittyvät menetelmät ja toimenpiteet, joiden avulla tutkimusongelman tulisi ratketa. Tarkoituksena on, että oppilaat pienissä ryhmissä suunnittelevat työn itse käyttäen apuna kirjallisuutta esimerkiksi oppikirjaa. Näin he tutustuvat työhön liittyvään teoriaan etukäteen. Opettaja kertoo mihin asioihin tulee kiinnittää huomiota ja ohjaa oppilaita, mutta ei anna valmiita vastauksia. Oppilaille annetaan esimerkiksi kaksoistunnin ensimmäinen tunti aikaa suunnitella työohjetta (Liite 3).

Oman työohjeensa perusteella oppilaat tekevät työn ja kirjaavat tapahtumat ja toimenpiteet työkirjaan. Jos työn suorittamiselle on varattu kaksoistunti, tutkimusongelma tulisi selvittää sen aikana ja työkirjan merkinnät saatava valmiiksi. Työkirjan valmiiksi saaminen työn aikana parantaa oppilaiden valmistautumista kokeellista työtä varten ja ehkäisee keittokirjamaista vastaukseen päätymistä (Wilson, 1987).

Oppilaiden itse tehdyt suunnitelmat lisäävät vuorovaikutusta oppilaiden kesken, kun he vertaavat suunnitelmia keskenään. Todennäköisesti toisten suunnitelmien kopiointia saattaa tapahtua. Voi olla mahdollista etteivät kaikki saa työohjetta valmiiksi, mutta asian voi ottaa huomioon esimerkiksi työn arvioinnissa. Toisaalta työn suunnittelun myötä voi löytyä oppilaita, joilla on taitoja töiden suunnittelun suhteen ja joiden taidot jäisivät muuten huomaamatta.

Työn suorituksen jälkeen oppilaat kirjoittavat raportin, jossa tuodaan esille työn suunnitelma, havaitut asiat ja tehdyt toimenpiteet työkirjan perusteella sekä tutkimustulos (Liite 3). Raportti esitetään muille ryhmille ja keskustellaan eri ryhmien menetelmien tai tulosten mahdollisista eroista sekä niihin vaikuttavista asioista. Oppilaat arvioivat omaa ja toistensa suorituksia. Työn teoria ja suoritus palautetaan mieleen kokonaisuutena tukien näin käsitteen muodostumista.



Kun käsitteeseen liittyvään teoriaan on perehdytty jonkun verran etukäteen ja kokeellinen työ on tehty, muodostetaan oppilaalle kokonaisvaltainen käsitys käsitteestä selittämällä keskeisimmät havainnot teorian avulla. Näin käsite ei jää vain osaksi teoriaa eikä kokeellinen työ irralliseksi käsitteestä. Pelkkä kokeellinen työ ei riitä ylläpitämään käsitteen muistamista, joten työhön tulee liittää myös perusteltu selittäminen. Kokeellinen työ ja teoria tulee yhdistää kokonaisvaltaisen kuvan muodostamiseksi ja käsitteen merkityksen ymmärtämisen helpottamiseksi.

## **6.2 Elektrolyysin kokeelliseen työhön liittyvien työtapojen merkitys**

Kaikissa esitetyissä kolmessa työtavassa on ensin työtä edeltävä osa, varsinainen työn suoritus ja työn jälkeinen osa. Ennakkotehtävien, etukäteen tehtävän käsittekartan ja itse suunnitteleman työohjeen tarkoituksena on perehdyttää oppilas tutkittavaan aiheeseen sekä saada selville oppilaiden ennakkokäsitykset sekä mahdolliset virhekäsitykset (Liitteet 1-3). Aiheen tutkiminen on mielenkiintoisempaa, jos aiheesta tietää jotain etukäteen. On myös helpompaa luoda jo olemassa olevaan käsitykseen syvempi merkitys tai muokata sitä kuin uuden täysin tuntemattoman asian merkityksen luominen kokonaan. Aikaisemmin on todettu, että opettajan tulisi kertoa oppilaille mihin asioihin tulee kiinnittää huomiota kokeellista työtä tehdessä, koska siten osataan keskittyä oleelliseen (Gabel, 1999). Kokeellista työtä edeltävä osio pyrkii selvittämään oppilaalle työhön liittyvät oleelliset asiat.

Kokeellista työtä tehdessä tulisi tehdä muistiinpanoja. Tämän vuoksi työkirjan kirjoittamisen merkitystä työn suorituksen lomassa on painotettu. Kirjoittamalla muistiinpanoja, havaintoja ja toimenpiteitä oppilaat pysyvät aktiivisina ja seuraavat koko ajan mitä työssä tapahtuu. Työkirjan kirjoittaminen helpottaa myös raportin kirjoittamista sekä työn pohtimista ja kokonaiskuvan luomista jälkeenpäin.

Raportin kirjoittamisella on tarkoitus sitoa aihe kokonaisuudeksi. Ensin on tutkimusongelma, jonka ratkaisemiseksi haetaan tietoa teoriasta. Sitten suoritetaan tarvittavat kokeet ja tutkimukset asian selvittämiseksi. Lopuksi esitetään tutkimusmenetelmä ja tutkimustulokset muille. Tällainen kokeellisen työn kokonaisuus heijastaa myös oikeaa tieteellistä tutkimusta ja antaa oppilaille selkeämmän kuvan todellisesta tieteellisestä maailmasta.

Voidakseen arvioida omaa käsitystään tulee olla tietoinen myös toisten käsityksistä. Oma käsitystään voi verrata muiden käsityksiin ja arvioida oman käsityksensä merkityksen paikkaansa pitävyyttä. Parhaiten tämä onnistuu käsitteen selittämällä suullisesti. Suullinen keskustelu ja käsitteiden selittäminen tukee käsitteen muodostumista (Vosniadou, 1994).

Kokeelliseen työhön liittyvä kokonaisuus menettää merkitystään, jos sitä ei huomioida kurssin arvioinnissa. Usein oppikirjoissa aluksi kerrotaan, että kemia on kokeellinen luonnontiede. Tätä taustaa vasten tulisi ottaa huomioon kokeellinen puoli myös arvioinnissa eikä pelkästään matemaattisten kaavojen ratkaisutaito. Kokeellisen työn arviointi voidaan tehdä raporttien perusteella sekä ennakkotehtävien tms. ja työkirjan tekemisen perusteella. Työtä arvosteltaisiin työn suunnittelun sekä käytettävien menetelmien ja niihin päätyminen mukaan eikä pelkästään ns. oikean ratkaisun eli lopputuloksen perusteella. Toisin sanoen arvostelussa otettaisiin huomioon oppilaan kyvyt päästä johonkin lopputulokseen eikä pelkästään tulosta itseään.

Opetussuunnitelmassa on myös esitetty kokeelliseen työskentelyyn liittyviä tavoitteita ja kokeellisen työskentelyn ottamista huomioon arvioinnissa. Kokeellisen työskentelyn arviointia voidaan suorittaa myös kokeellisten koetehtävien avulla, mutta laajempien oppilastöiden arviointien tulisi olla osa kurssin arviointia kurssikokeen lisäksi. Uudessa opetussuunnitelman perusteissa on sanottu, että kokeellinen työskentely ja työselostukset on otettava huomioon kurssin loppuarvosanaa annettaessa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Oppikirjoissa kemian käsitteet selitetään perusteellisesti, mutta oppilaan voi olla vaikeaa löytää niistä oleellisinta asiaa. Joissakin oppikirjojen määritelmässä esiintyy tulkintavaihtoehtoja (Sanger & Greenbowe, 1997). Kokeelliset työt on oppikirjoissa sijoitettu eri tavoin, mutta kaiken kaikkiaan ne ovat tekstistä erillisinä ja teoriasta irrallisina. Opettajalla on tärkeä rooli tukea opetettavan asia yhdistämistä kokeelliseen työhön ja toisaalta tukea sen liittämistä osaksi opittavaa asiaa. Puhuttaessa oppikirjoista tässä viitataan tutkimuksessa käytettyihin oppikirjoihin. Oppikirja ei ole sama kuin opetussuunnitelma. Opettajan tulee aina tukea oppilasta käsitteenmuodotuksessa.

Tutkimuksessa havaittiin, että oppikirjoissa on keskenään erilaiset metallien jännitesarjat jalometallien osalta. Oppikirjoissa esiintyy myös oppilailla havaittuja vaihtoehtoisia käsityksiä. Osa vaihtoehtoisista käsityksistä voi olla puhtaasti väärinkäsityksiä tai tulkintavirheitä. Esimerkiksi kirjassa kerrotaan elektrolyysissä elektrodien olevan negatiivisesti ja positiivisesti varautuneita. Jos varautumisella tarkoitetaan sähköistä vuorovaikutusta, tulkinta on oikea, mutta elektrodi ei varaudu siten, että esimerkiksi katodille kerääntyisi elektroneja jättäen sinne negatiivisen varauksen. Harhakäsitykseltä voitaisiin välttyä, jos tilannetta tarkasteltaisiin siten, että elektrodien merkinnät + ja – johtuvat virtalähteen napojen merkinnöistä, jotka esittävät sähköisen vuorovaikutuksen lajia kyseisellä elektrodilla.

Oppilaiden voi olla vaikea ymmärtää miten sähkövirta kulkee liuoksessa, jos heille ei ole selvää ionien merkitys liuoksessa varauksen kuljettajina. Tätä ei tuoda oppikirjoissa selkeästi esille, joten asian selittäminen jää opettajalle. Peruskoulun fysiikan tunneilla sähkövirta määritellään usein elektronien liikkeeksi. Tällainen määritelmä voi aiheuttaa ristiriitaisuutta sähkövirran kulun mahdollistamiseen liuoksessa. Oppilaille voi syntyä käsitys, että elektronit liikkuvat liuoksessa vapaasti. Oppikirjat mainitsevat elektrolyyttien merkityksen sähköjohtavuuteen, mutta oppilaiden voi olla vaikeaa yhdistää käsitteet elektrolyytti ja ioni.

Korroosiota oppikirjat käsittelevät pitkälti vain raudan ruostumisena eivätkä laajempaan ilmiöön. Elektrolyysin yhteydessä mainitaan tapahtuvan aineen hajoamista. Tällainen yksinkertaistaminen voi olla käsitteen muodostamisen kannalta harhaanjohtava.

Oppilaiden ennakkokäsityksillä on merkitystä uuden asian oppimisessa (Vosniadou, 1994). Selvittämällä ennakkokäsityksiä voidaan opetusta suunnitella siten, että esimerkiksi kokeellisuuden avulla ennakkokäsitykset saavat joko vahvistusta tai hylätään. Ennakkokäsityksiin perehtymällä voidaan käyttää opetuksessa lähestymistapaa, joka tukee oppilaan ajattelua ja parantaa käsitteiden merkitysten muodostumista. Ulkoa oppimisen sijaan käsitteet syntyvät prosesseina, jotka saavat tukea kokeellisuudesta.

Oppilaan omia ennakkokäsityksiä voidaan käyttää lähtökohtana pyrittäessä käsitteen muodostumiseen sen merkityksen muuttamisen avulla. Käsitteellisellä muutoksella voidaan viitata joko käsitteen merkityksen muuttumiseen kokonaan tai vain käsitteen merkityksen muokkautumiseen. Kokeellisuudella voidaan mahdollistaa käsitteen merkityksen muutos tai muokkautuminen silloin, kun työn suoritus ei ole liian suljettua. Näin toimitaan jättäen avoimeksi esimerkiksi joitakin kohtia työmenetelmästä tai työohjeesta toisin sanoen annetaan oppilaille mahdollisuus suunnitella ja toteuttaa suunnitelmansa omien ennakkokäsitystensä pohjalta. Lukiossa tällainen onnistuu paremmin, koska pyritään asioiden laajempaan ymmärtämiseen ja tietojen syventämiseen.

Kokeellisuus antaa vaihtoehtoja opetuksen työtapoihin, mutta sillä voidaan samalla tukea käsitteenmuodostusta. Kokeellisuus tukee käsitteenmuodostusta parhaiten silloin, kun oppilas pääsee käyttämään omaa ajattelua, havainnointia, pohdintaa ja arviointia. Opettajan on hyvä olla tietoinen oppilaiden ennakkokäsityksistä, jotta niitä voidaan käsitellä työn suorituksen aikana. Käsite muodostuu tällä tavoin oppilaan oman ajattelun prosessina, jota kokeellinen työ ja opettajan ohjaus tukevat. Keittokirjamaisia työohjeita noudattamalla ei aktivoida korkeampia kognitiivisia ajatusprosesseja kuten analysointia, johtopäätösten tekemistä tai arviointia. Tällaiset ajatusprosessit parantavat kuitenkin oppimista ja käsitteen muodostumista. Työohjeita ja kokeel-

lisiä töitä tulisikin suunnitella enemmän painottamaan oppilaan ajattelua ja pitämään lähtökohtana oppilaan omia ennakkokäsityksiä.

Tutkimuksessa selvisi, etteivät oppikirjat sisällä kovinkaan paljon kokeellisia töitä. Uusi opetussuunnitelma painottaa kuitenkin entistä enemmän kokeellista työskentelyä, joten oppikirjojen tekijöiden olisi otettava se huomioon. Kokeellisia töitä tulisi kehittää opetussuunnitelman tavoitteita vastaaviksi. Töissä tulisi olla tutkimustyyppisiä ja ongelmanratkaisulähtöisiä töitä. Samalla kokeelliset työt ja työselostukset toimisivat osana kurssiarviointia.

Kokeellisen työn suoritukseen ja käyttöön opetuksessa on olemassa vaihtoehtoja. Oppimistulosten, etenkin käsitteiden ymmärtämisen kannalta, parhaisiin tuloksiin päästään silloin, kun työtä edeltää osio, joka kartoittaa ennakkokäsityksiä ja motivoi aiheeseen. Työn suorituksen aikana oppilaiden tulisi olla aktiivisia ja tehdä havaintoja ja siten, että heille jää aikaa omaan pohdintaan ja keskusteluun. Työn suorituksen jälkeen työtä tulisi pohtia kokeellisten havaintojen ja teorian pohjalta pyrkien selittämään havainnot ja perustelemaan saadut tulokset. Käsitteiden selittäminen suullisesti parantaa käsitteiden ymmärtämistä (Vosniadou, 1994). Uusi opetussuunnitelma painottaa myös kokeellisten tulosten esittämistä suullisesti samoin kuin kirjallisesti.

Kemian opetuksen parantamiseksi tulevaisuudessa voitaisiin tutkia enemmän oppilaiden ennakkokäsityksiä ja kykyjä kokeellisten töiden suunnitteluun. Yleisesti ottaen monille oppilaille voi olla hankalaa selittää kemian käsitteitä suullisesti, vaikka ymmärrettäisiin mistä on kyse. Opettaja kohtaa tämän haasteen joka päivä omassa opetuksessaan, kun hän joutuu selittämään käsitteisiin liittyviä asioita ja etenkin puhumaan niitä käyttäen. Käsitteiden aktiivinen käyttäminen puuttuu kuitenkin oppilailta lähes kokonaan jopa lukiossa. Oppilaita tulisikin aktivoida puhumaan ja selittämään suullisesti. Kemian käsitteiden oppiminen ja käyttö on osaltaan samanlaista kuin uuden kielen opiskelu. Opitaan uusia sanoja, joille opitaan merkityksiä ja niiden käyttöä. Oppikirjoja tehtäessä tulisi erityistä huomiota kiinnittää asioiden merkitysten selittämiseen kirjallisesti. Olisi hyvä pohtia, onko aina mahdollista selittää ilmiötä tai käsitettä yhdellä lauseella vai aiheuttaako lauseen pituinen määritelmä harhakäsityksiä, koska määritelmä voi olla puutteellinen tai harhaanjohtava.

Sähkökemian kokeellisten töiden osalta tulisi niiden määrää oppikirjoissa ja opettajanmateriaaleissa lisätä. Kun töitä olisi enemmän, opettajalla olisi mahdollisuus valita useista vaihtoehdoista omalle opetusryhmälleen sopivimmat. Kokeellisten töiden tulisi olla myös enemmän ongelmanratkaisulähtöisiä. Kokeellisiin töihin käytettäviä erilaisia työtapoja sekä kokeellisuuden eri muotoja voisi tutkia enemmän käytännössä ja painottaa erityisesti niiden merkitystä käsitteiden oppimisessa. Kokeellisella työllä ei välttämättä pystytä selittämään kaikkea käsitteeseen liittyvää, mutta kokeellisuu-  
della on tärkeä rooli käsitteiden kolmitasoisen luonteen ymmärtämisessä ja oppimisessa.

## 8 VIITTEET

Ahtineva A., *Oppikirja – tiedon välittäjä ja opintojen innoittaja?*, Väitöskirja, Turun yliopisto, Turku, (2000) 11-15, 21,26, 34-35.

Aksela M., Juvonen R., *Kemian opetus tänään*, Opetushallitus, (1999).

Aksela M., Laitalainen T., Mäkelä M-L., Virkkala T., *Mikrokemiallinen laboratorio*, Opetushallitus, Helsinki, (1996) 113.

Aksela M., Karkela L., *Dimensio*, 56 (1992) 18-21.

Aspholm S., Hirvonen H., Lavonen J., Penttilä A., Saari H., Viiri J., Hongisto J., *Aine ja energia*, WSOY, Porvoo, (2001) 225-227.

Chi M.T.H., Slotta J.D., de Leeuw N., *Learn. Instruc.*, 4 (1994) 27-43.

Domin D.S., *J. Chem. Educ.*, 76 (1999) 109-111.

Gabel D., *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, MacMillan Publishing Company, New York, (1994) 301-326.

Gabel D., *J. Chem. Educ.*, 76 (1999) 548-554.

Garnett P.J., Garnett P.J., Treagust D.F., *Int. J. Sci. Educ.*, 12 (1990) 147-156.

Gedik E., Geban Ö., Ertepinar H., Ceylan E.,  
<http://www1.phys.uu.nl/esera2003/programme/pdf/239S.pdf> luettu 4.9.2003.

Gott R., Duggan S., *Int. J. Sci. Educ.*, 18 (1996) 791-805.

Haavisto A., Nikkola J., Viljamaa L., *Kemia 3 – Alkuaineiden kemia*, Kirjayhtymä, Helsinki, (1996).

Hodson D., *Int. J. Sci. Educ.*, 18 (1996) 755-759.

Hodson D., *Practical work in school science which way now?*, Routledge, London, (1998) 93-108.

Huddle P.A., White M.D., Rogers F., *J. Chem. Educ.* 77 (2000) 104-110.

Johnstone A.H., *J. Comp. Assist. Learn.* 7 (1991) 78.

Johnstone A.H., Letton K.M., *Educ. Chem.*, 28 (1991) 81-83.

Kalkku I., Kalmi H., Korvenranta J., *Kide 3 – Kemian elementit*, Otava, Keuruu, (1995).

Kanerva K., Karkela L., Valste J., *Katalyytti – Epäorgaaninen kemia*, WSOY, Porvoo, (1996).

Kreativ Kemi, <http://www.kreativkemi.se/microscal.htm> luettu 4.9.2003.

Lavonen J., Meisalo V., Kokeellisuuden työtavat, <http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/main.htm> luettu 4.9.2003.

Lavonen J., Meisalo V., Opetuksen tavoitteet ja työtavat, <http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tyotavat/main.htm> luettu 4.9.2003.

Lavonen, Meisalo, Niittykangas, Käsitekartta, <http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tieto/lukem/> luettu 4.9.2003.

LUMA-ohjelma, <http://www.oph.fi/Subpage.asp?path=1%3B443%3B3218%3B6717> luettu 4.9.2003.

Lumivaara I., Aksela M., *Dimensio*, 66 (2002) 16-18, 20.



- Meisalo V., Lavonen J., Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmassa,  
[http://www.maluw.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/ops\\_opas/main.htm](http://www.maluw.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/ops_opas/main.htm) luettu 4.9.2003.
- Millar R., *Practical work in school science which way now?*, Routledge, London, (1998) 16-31.
- Opetushallitus, *Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994*, Painatuskeskus, Helsinki, (1994) 80-82.
- Opetushallitus, Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003,  
<http://www.oph.fi/pageLast.asp?path=1;17627;5238;6094;23059> luettu 4.9.2003.
- Sanger M.J., Greenbowe T.J., *J. Res. Sci. Teach.*, 34 (1997) 377- 398.
- Shiland T.W., *J. Chem. Educ.*, 76 (1999) 107-109.
- Treagust D.F., Duit R., Joslin P., Lindauer I., *Int. J. Sci. Educ.* 14 (1992) 413-422.
- Vosniadou S., *Learn. Instruc.*, 4 (1994) 45-69.
- Vuolle M., Lampiselkä J., *Dimensio* 5/2001 39-40.
- Vygotsky L.S., *Mind in society – The Development of Higher Psychological Processes*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, (1978) 79-91.
- Wellington J., *Practical work in school science which way now?*, Routledge, London, (1998) 3-15.
- White R.T., *Int. J. Sci. Educ.* , 18 (1996) 761-773.
- Wilson H., *J. Chem. Educ.*, 64 (1987) 895-896.
- Zumdahl S.S., *Chemistry*, Houghton Mifflin Company, New York, (1997), 821-862.

## LIITE 1

### Esimerkkityöohje työtapaan 1.

**TUTKIMUKSEN AIHE:** Tutki, miten ruokasuolaliuoksen konsentraatio vaikuttaa elektrolyysissä syntyviin tuotteisiin.

### ENNAKKOTEHTÄVÄT

Tee tehtävät ennen työn suorittamista.

*Tehtävät:*

- lue elektrolyysiin liittyvä osio oppikirjasta ja selvitä millaisesta ilmiöstä on kyse
- mitä reaktioita elektrolyysissä tapahtuu ja missä ne voidaan havaita?
- mitä tuotteita työssä mahdollisesti syntyy?
- miten saadaan selville syntyvät tuotteet? Mihin asioihin kiinnitetään huomiota työn aikana?
- millaisilla konsentraatioilla lähtisit asiaa tutkimaan?

### TYÖN SUORITUS

Lue työohje ennen työn suorittamista, jotta tiedät mihin kysymyksiin tulee löytyä vastaus havainnoista. Kirjoita vastaukset vihkoon.

*Tarvikkeet ja kemikaalit:*

keitinlasi 400 ml, virtalähde, grafiittielektrodit, johtimia, hauenleukoja, kiinteä natriumkloridi (NaCl), indikaattoriliuos esim. fenoliftaleiini tai lakmus.

*Työohje:*

Valmista ensin laimeampi ruokasuolaliuos. Tarkista, että virtapiiri on suljettu (esim. hehkulampun avulla). (Alkuperäinen työohje: Katalyytti – Epäorgaaninen kemia (Kanerva & al., 1995).)

- a) Lisää 250 ml:aan vettä vajaa lusikallinen ruokasuolaa ja lisää liuokseen hiukan indikaattoria osoittamaan mahdolliset pH:n muutokset. Elektrolysoi valmistamaasi laimeaa NaCl-liuosta grafiittielektrodein. Muodostuuko

elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia (väri, haju) niillä on? Muuttuuko indikaattorin väri? Miten? Miten veden pH muuttuu eri kohtioilla? Päätele mitä elektrodeilla on syntynyt ja kirjoita elektrodireaktiot.

**b)** Kytkenät ja elektrodit ovat samat kuin edellisessä työssä, mutta nyt suolaliuos on väkevä (3 lusikallista suolaa 250 ml:aan vettä). Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia niillä on? Muuttuuko indikaattorin väri? Muuttuuko veden pH eri kohtioilla? Päätele mitä aineita elektrodeilla on syntynyt ja kirjoita elektrodireaktiot.

## **RAPORTTI**

Kirjoita työstä raportti, jossa on esitetty tutkimuksen aihe, käytetyt tarvikkeet ja kemikaalit sekä kuva laitteistosta. Sen lisäksi raportista tulee käydä ilmi työn suoritus, havainnot ja johtopäätökset. (Kemialliset reaktiot on esitettävä reaktioyhtälöin.)

## LIITE 2

### Esimerkkityöohje työtapaan 2.

#### KÄSITEKARTTA 1:

Tee parin kanssa käsitekartta elektrolyysiin liittyen käyttäen oppikirjaa apuna. Käsitekartassa tulee olla esitettynä keskeiset käsitteet ja mahdolliset reaktiot, kun kyseessä on ruokasuolaliuoksen elektrolyysi. Kun käsitekartta on valmis, näyttäkää se opettajalle niin saatte tutkimuksen aiheen ja työohjeen.

**TUTKIMUKSEN AIHE:** Tutki, miten ruokasuolaliuoksen konsentraatio vaikuttaa elektrolyysissä syntyviin tuotteisiin.

#### TYÖN SUORITUS

Lue työohje ennen työn suorittamista, jotta tiedät mihin kysymyksiin tulee löytyä vastaus havainnoista. Kirjoita vastaukset vihkoon.

*Tarvikkeet ja kemikaalit:*

keitinlasi 400 ml, virtalähde, grafiittielektrodit, johtimia, hauenleukoja, kiinteä natriumkloridi (NaCl), indikaattoriliuos esim. fenoliftaleiini tai lakmus.

*Työohje:*

Valmista ensin laimeampi ruokasuolaliuos. Tarkista, että virtapiiri on suljettu (esim. hehkulampun avulla). (Alkuperäinen työohje: Katalyytti – Epäorgaaninen kemia (Kanerva & al., 1995).)

- a) Lisää 250 ml:aan vettä vajaa lusikallinen ruokasuolaa ja lisää liuokseen hiukan indikaattoria osoittamaan mahdolliset pH:n muutokset. Elektrolysoi valmistamaasi laimeaa NaCl-liuosta grafiittielektrodein. Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia (väri, haju) niillä on? Muuttuuko indikaattorin väri? Miten? Miten veden pH muuttuu eri kohtioilla? Päättele mitä elektrodeilla on syntynyt ja kirjoita elektrodireaktiot.

b) Mitä ominaisuuksia niillä on? Muuttuuko indikaattorin väri? Muuttuuko veden pH eri kohtioilla? Päättelä mitä aineita elektrodeilla on syntynyt ja kirjoita elektrodireaktiot.

### **KÄSITEKARTTA 2:**

Tehkää työparin kanssa uusi käsitekartta, josta ilmenee tapahtuneet kemialliset reaktiot ja havainnot molempien ruokasuolaliuosten tapauksessa. Muuttuiko käsitekartta, muuten kuin lisäysten osalta työn suorituksen jälkeen?

### **ESITTELY**

Esitelkää oma alkuperäinen ja työn suorituksen jälkeinen käsitekartta toisille opetusryhmän jäsenille.

## **LIITE 3**

### **Esimerkkityöohje työtapaan 3.**

#### **TYÖOHJE:**

Miten tutkisit alla esitetyillä tarvikkeilla konsentraation vaikutusta ruokasuolaliuoksen elektrolyysissä syntyviin tuotteisiin? Suunnittele tutkimus ja työn suoritus. Esitä myös käytettävä laitteisto. (Kun suunnitelma on valmis, näytä se opettajalle ja hän antaa välineet työn suoritusta varten.)

*Tarvikkeet ja kemikaalit:*

keitinlasi 400 ml, virtalähde, grafiittielektrodit, johtimia, hauenleukoja, kiinteä natriumkloridi (NaCl), indikaattoriliuos esim. fenoliftaleiini tai lakmus.

#### **RAPORTTI**

Kirjoita työstä raportti, jossa on esitetty tutkimuksen aihe, tutkimussuunnitelma, käytetyt tarvikkeet ja kemikaalit sekä kuva laitteistosta. Sen lisäksi raportista tulee käydä ilmi työn suoritus, havainnot ja johtopäätökset. (Kemialliset reaktiot on esitettävä reaktioyhtälöin.)

Keskustelkaa ryhmien kesken työn tuloksista ja tutkimussuunnitelmista. Toimiko suunnitelma ja miten muuttaisit sitä, jos työ tulisi tehdä uudelleen?