

Sähköparin oppimista tukeva
tietokonesimulaatio kemian lukio-
opetukseen

Taina Sirkiä

Pro gradu -tutkielma

7/2015

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

Ohjaajat: Maija Aksela

Mikko Oivanen

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution– Department
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos, kemian opettajankoulutusyksikkö
Tekijä/Författare – Author		
Taina Sirkiä		
Työn nimi / Arbetets titel – Title		
Sähköparin oppimista tukeva tietokonesimulaatio kemian lukio-opetukseen		
Oppiaine /Läroämne – Subject		
Kemia (kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto)		
Työn laji/Arbetets art – Level	Aika/Datum – Month and year	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages
Pro gradu -tutkielma	7/2015	63 + 13
Tiivistelmä/Referat – Abstract		
<p>Sähköpari kuuluu sekä peruskoulun että lukion opetussuunnitelmien perusteissa kemian keskeisiin sisältöihin. Opiskelijat kokevat sähkökemian yhdeksi vaikeimmista aihealueista kemiassa, ja myös kemian opettajat kokevat sen olevan yksi vaikeimmista aiheista opettaa.</p> <p>Opiskelijoilla on havaittu esiintyvän lukuisia virhekäsityksiä (<i>misconception</i>; myös käytössä vaihtoehtoiset käsitykset/väärinymmärrys) sähköpariin liittyen. Virhekäsitykset ovat tavallisesti hyvin pysyviä, ja niitä on vaikea muuttaa perinteisellä opetuksella. Tutkimusten mukaan yksi tapa vaikuttaa opiskelijoiden virhekäsityksiin on simulaatioiden hyödyntäminen opetuksessa. Simulaatiot auttavat käsittelemään kemiallisia ilmiöitä submikroskooppisella tasolla, jonka riittämätön hallinta on usein syynä virhekäsitysten muodostumiselle.</p> <p>Tässä tutkimuksessa kartoitettiin lukio-opiskelijoiden vaikeuksia ja virhekäsityksiä sähköpariin liittyen keskittyen elektronien ja ionien liikkeisiin sekä suolasillan toimintaan. Tutkimuksessa selvitettiin lisäksi, vaikuttaako tietokonesimulaation parissa työskentely opiskelijoiden käsityksiin sähköparista, sekä minkälainen hyvän simulaation tulisi opiskelijoiden mielestä olla opetuksen ja oppimisen näkökulmasta.</p> <p>Tutkimus toteutettiin kyselylomakkeilla yhdessä Uudellamaalla sijaitsevassa lukiossa kurssilla KE4 Metallit ja materiaalit. Tutkimuksen aineisto koostuu 35 opiskelijan vastauksista. Kyselylomakkeet koostuivat suurimmaksi osaksi monivalintatehtävistä, joita analysoitiin laskemalla muun muassa frekvenssit ja prosentit. Opiskelijoiden käsityksiä ennen simulaatiota ja sen jälkeen verrattiin toisiinsa hyödyntäen erilaisia tilastollisia testejä. Opiskelijoiden vastauksia hyvän simulaation piirteistä analysoitiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin, että opiskelijoilla esiintyi runsaasti aiemmissa tutkimuksissa havaittuja virhekäsityksiä. Lisäksi havaittiin yksi uusi virhekäsitys elektrolyyttiliuoksien sähkövarauksiin liittyen. Tutkimuksen perusteella simulaatio tuki opiskelijoiden oppimista ja korjasi virhekäsityksiä elektronien liikkeisiin liittyen. Opiskelijoiden mukaan oppimisen ja opetuksen näkökulmasta hyvän simulaation tulisi olla visuaalisesti ja selostuksen puolesta riittävän yksinkertainen ja selkeä tuoden esiin teorian kannalta vain oleellimmat asiat. Simulaation pitäisi havainnollistaa molekyyli-tasolla tapahtumia sekä syy-seuraussuhteita. Selostuksen toivottiin lisäksi olevan suomenkielisiä.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
Kemian opetus, tietokonesimulaatiot, sähköpari, virhekäsitykset, lukio, opiskelijat		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Kumpulan kampuskirjasto, E-thesis		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		
Ohjaajat: Maija Aksela ja Mikko Oivanen		

Sisällys

1. JOHDANTO	1
2. SÄHKÖKEMIA.....	3
2.1 Sähköpari.....	3
2.2 Sähköparin lähdejännite ja normaalipotentialit	6
3. SÄHKÖPARIN OPPIMINEN JA OPETUS	9
3.1 Sähköpari peruskoulun ja lukion opetussuunnitelman perusteissa	9
3.2 Opiskelijoiden vaikeudet ja virhekäsitykset sähköpariin liittyen.....	10
3.3 Kemiällisen tiedon kolme tasoa	15
4. TIETOKONESIMULAATIOT KEMIAN OPETUKSESSA.....	18
4.1 Kemian mallit ja visualisointi	18
4.2 Tietokonesimulaatiot ja opetus	21
5. TUTKIMUS.....	28
5.1 Tavoitteet.....	28
5.2 Toteutus.....	28
5.3 Kohderyhmä.....	31
5.4 Aineiston analysointi.....	32
5.5 Tutkimuksen luotettavuus	34
6. TUTKIMUKSEN TULOKSET	36
6.1 Opiskelijoiden vaikeudet ja virhekäsitykset sähköpariin liittyen.....	36
6.2 Tietokonesimulaation vaikutus opiskelijoiden käsityksiin sähköparista	39
6.3 Opiskelijoiden näkemykset hyvästä simulaatiosta opetuksen ja oppimisen näkökulmasta.....	46
7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	48
7.1 Opiskelijoiden vaikeudet ja virhekäsitykset sähköpariin liittyen.....	48
7.2 Tietokonesimulaation vaikutus opiskelijoiden käsityksiin sähköparista	50
7.3 Opiskelijoiden näkemykset hyvästä simulaatiosta opetuksen ja oppimisen näkökulmasta.....	53
7.4 Tutkimuksen merkitys.....	54
LÄHTEET	56
LIITTEET	64

1. JOHDANTO

Kemian opettajat kokevat usein sähkökemian olevan yksi vaikeimmista aiheista opettaa (Bojczuk, 1982). Myös opiskelijat kokevat sähkökemian olevan vaikeimpia aihealueita kemiassa (Bojczuk, 1982; Childs & Sheehan, 2009). Opiskelijoiden virhekäsityksiä (*misconception*; myös käytössä vaihtoehtoiset käsitykset/väärinymmärrys) sähköparista on tutkittu paljon, ja niitä on listattu yhteensä toistakymmentä. Tyypillisimmät virhekäsitykset liittyvät elektronien ja ionien liikkeisiin sähköparin toiminnan aikana. (Garnett & Treagust, 1992a; Ogude & Bradley, 1994; Sanger & Greenbowe, 1997a, 2000; Schmidt et al., 2007). Opiskelijoiden virhekäsitykset ovat tavallisesti hyvin pysyviä, ja niitä on vaikea muuttaa perinteisellä opettajajohtoisella opetuksella (Garnett et al., 1990; Westbrook & Marek, 1991), koska opiskelijoiden käsitykset ovat johdonmukaisia ja loogisia muun ymmärryksen kanssa ja ne pystyvät selittämään heidän havaintojaan usein riittävän hyvin (Herron, 1990, 41–42). Virhekäsitykset voivat olla esteenä uusien asioiden oppimiselle ja aiheuttaa jatkossa lisää virhekäsityksiä (Garnett et al., 1990).

Peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa yhtenä keskeisenä sisältönä mainitaan sähköpari ja sen sovellukset (Opetushallitus, 2004). Myös lukion opetussuunnitelman perusteissa syventävän kurssin KE4 Metallit ja materiaalit keskeisissä sisällöissä mainitaan sähköpari (Opetushallitus, 2003). Lukiolaisille on saattanut siis muodostua virhekäsityksiä sähköparista jo peruskoulussa, jolloin ne estävät mahdollisesti tieteellisen näkemyksen muodostumisen myös lukiossa. Tietokonesimulaatioiden on havaittu kuitenkin korjaavan opiskelijoiden virhekäsityksiä (Sanger & Greenbowe, 1997b; Yeziarski & Birk, 2006). Lisäksi simulaatiot auttavat opiskelijoita käsittelemään kemiallisia ilmiöitä submikroskooppisella tasolla, jolloin opiskelijoiden on mahdollista ymmärtää ilmiöitä syvällisemmin (Sanger & Greenbowe, 1997b; Sanger & Phelps, 2000; Yeziarski & Birk, 2006). Mayerin (2001, 42–58) esittämän multimediaoppimisen kognitiivisen teorian perusteella simulaation tehokkuus opetusmenetelmänä perustuu siihen, että sen välittämää verbaalista ja visuaalista tietoa prosessoidaan työmuistissa kahden erillisen kanavan kautta. Jotkin tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, etteivät simulaatiot ole opetusmenetelmänä yhtään sen tehokkaampia kuin tavalliset staattiset kuvat (Tversky et al., 2002; Hegarty et al., 2003; Lewalter, 2003).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa, millaisia vaikeuksia ja virhekäsityksiä lukiolaisilla esiintyy sähköparista teorian opiskelun jälkeen ja millainen vaikutus sähköparin tietokonesimulaation parissa työskentelyllä on lukiolaisten käsityksiin. Tavoitteena on lisäksi selvittää lukiolaisten näkemyksiä siitä, millainen on opetuksen ja oppimisen näkökulmasta hyvä simulaatio.

Tutkimuksen toisessa luvussa käsitellään sähköparin kemiallista taustaa: sähköparin rakennetta ja toimintaa Daniellin parin avulla sekä sähköparin lähdejännitettä ja normaalipotentiaaleja. Luvussa kolme sähköparia tarkastellaan oppimisen ja opetuksen näkökulmasta. Luvun alussa tarkastellaan peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteita sekä opiskelijoiden vaikeuksia ja virhekäsityksiä sähköpariin liittyen. Luvun lopussa käsitellään mahdollisia syitä näihin vaikeuksiin ja virhekäsityksiin.

Luvussa neljä käsitellään kemian visualisointikeinoja eli erilaisia malleja. Luvun alussa perehdytään siihen, mitä mallit ovat, minkälaisia malleja kemiassa hyödynnetään ja miten opiskelijat tulkitsevat näitä malleja. Luvun lopussa käsitellään tietokonesimulaatioita oppimis- ja opetusvälineinä. Luvussa tarkastellaan simulaatioiden tehokkuutta opetuskäytössä ja lisäksi selvitetään, millainen tietokonesimulaation tulisi olla, jotta se tukisi oppimista mahdollisimman hyvin.

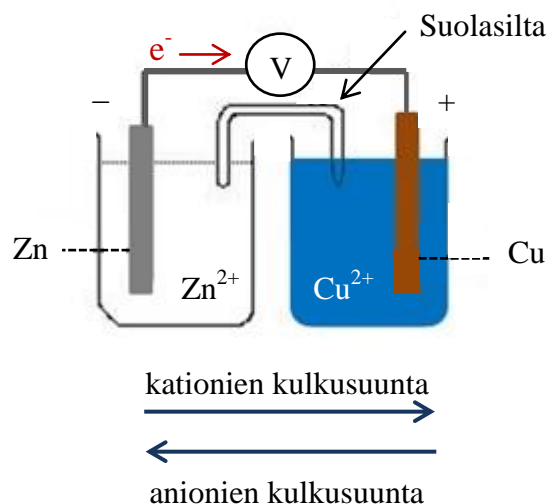
Viidennessä luvussa esitellään tutkimuksen vaiheet ja arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta. Tutkimusaineiston hankinnassa hyödynnetään Sangerin ja Greenbowen (2000) luomaa virhekäsitystestiä soveltaen ja sähköparisimulaatiota, jonka on tuottanut The McGraw-Hill Companies. Luvussa kuusi esitellään tutkimuksen tulokset ja luvussa seitsemän pohditaan tutkimuksen tuloksia aiemmissä luvuissa esitetyn tutkimustiedon valossa.

2. SÄHKÖKEMIA

Sähkökemia on kemian osa-alue, jossa tutkitaan hapettumis-pelkistymisreaktioita. Nämä reaktiot joko tapahtuvat spontaanisti vapauttaen energiaa tai vaativat energiaa tapahtuakseen. Sähkökemiassa hyödynnetään sähkökemiallisia kennoja, jotta reaktioissa vapautuva energia voidaan muuttaa sähköenergiaksi tai vastaavasti reaktioiden aikaansaamiseksi voidaan hyödyntää sähköenergiaa. Sähköpari on kenno, jossa spontaanien hapettumis-pelkistymisreaktioiden vapauttama energia muutetaan sähköenergiaksi. Elektrolyysissä puolestaan hapettumis-pelkistymisreaktio aikaansaadaan sähköenergian avulla. (Schmidt et al., 2007) Tässä tutkimuksessa käsitellään ainoastaan sähköpareja.

2.1 Sähköpari

Sähköpari eli galvaaninen kenno on laitteisto, jonka avulla spontaanissa hapettumis-pelkistymisreaktiossa vapautuva energia voidaan muuttaa sähköenergiaksi. Sähköpari koostuu kahdesta puolikennosta, joista toisessa tapahtuu hapettuminen ja toisessa pelkistyminen. Puolikennossa metalliliuos, jota kutsutaan elektrodiksi, on upotettu vastaavia metalli-ioneja sisältävään elektrolyyttiliuokseen. Puolikenttien elektrodit on kytketty toisiinsa johtimella ja elektrolyyttiliuokset on yhdistetty suolasillan avulla. (esim. Tro, 2011) Seuraavaksi tarkastellaan sähköparin rakennetta (Kuva 1) tarkemmin Daniellin parin avulla.



Kuva 1. Daniellin parin rakenne (soveltaen Otavan opisto, 2014).

Daniellin parissa elektrodina toimivat sinkki- ja kuparilevy. Sinkkilevy on upotettu sinkki-ioneja (Zn^{2+}) sisältävään liuokseen, esimerkiksi sinkkisulfaattiin ZnSO_4 , ja kuparilevy kupari-ioneja (Cu^{2+}) sisältävään liuokseen. Kumpikin elektrodi saavuttaa tasapainon ympäröivän liuoksen metalli-ionien kanssa seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti:



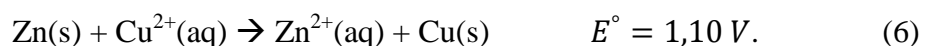
Näiden reaktioiden tasapainoasemat eivät ole kuitenkaan keskenään samat, sillä normaalipelkistymispotentiaalien E_p° perusteella ($-0,76 \text{ V} < 0,34 \text{ V}$) sinkki pyrkii hapettumaan voimakkaammin kuin kupari:



Sinkin tasapainoreaktion (1) tasapainoasema on siis enemmän oikealla verrattuna kuparin tasapainoreaktioon. Tästä johtuen sinkkielektrodi on sähköparissa negatiivisemmin varautunut elektrodi verrattuna kupariin. Sähköparissa sinkkielektrodia merkitäänkin (-) merkillä ja kuparielektrodia (+) merkillä. Kun elektrodit yhdistetään toisiinsa johtimella, elektrodien välille muodostuu potentiaaliero eli jännite. Koska sinkki pyrkii hapettumaan kuparia voimakkaammin, tapahtuu sinkkielektrodilla siis hapettuminen



Kuparielektrodilla puolestaan tapahtuu pelkistyminen reaktion (4) mukaisesti. Daniellin parin kokonaisreaktioksi saadaan siis

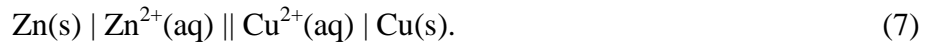


Parin elektrodien välinen potentiaaliero eli lähdejännite on standardiololoissa ($25 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 M) $1,10 \text{ V}$, joka saadaan laskemalla reaktioiden (4) ja (5) potentiaalit yhteen. (esim. Tro, 2011)

Sähköparissa elektrodia, jolla tapahtuu hapettuminen, kutsutaan anodiksi ja elektrodia, jolla tapahtuu pelkistyminen, kutsutaan katodiksi. Daniellin parissa anodilla sinkkiatomit hapettuvat, jolloin atomit luovuttavat kaksi elektroniaan, ja muodostuvat ionit liukenevat ympäröivään liuokseen. Vapautuneet elektronit kulkeutuvat sinkkielektrodilta johdinta pitkin positiivisemmalle kuparielektrodille. Elektronien siirtyessä pois sinkkielektrodilta Zn/Zn^{2+} -tasapaino siirtyy Le Chatelierin periaatteen mukaisesti oikealle ja hapettuminen jatkuu. Katodille saapuneet elektronit muuttavat Cu/Cu^{2+} -tasapainoa vasemmalle ja tapahtuu pelkistyminen: Kuparielektrodin ympärillä olevan liuoksen kupari-ionit vastaanottavat elektroneja ja elektrodin pintaan pelkistyy kupariatomeja. Sähköparissa elektronit saadaan siis kulkemaan johdinta pitkin, jolloin elektronien liikettä eli sähkövirtaa voidaan käyttää hyödyksi. (esim. Tro, 2011)

Sähköparissa elektrodeja ympäröivien elektrolyyttiliuosten koostumus muuttuu hapettumis-pelkistymisreaktioiden myötä. Daniellin parissa sinkin hapettuessa anodia ympäröivään liuokseen vapautuu jatkuvasti lisää positiivisia sinkki-ioneja. Katodilla sen sijaan pelkistyy kupari-ioneja, jolloin positiivisten kupari-ionien määrä liuoksessa pienenee ja liuoksen varaus muuttuu negatiivisemmaksi. Jotta liuokset pysyisivät sähköisesti neutraaleina, on liuosten välille asetettu suolasilta. Se voi olla kaareva putki, joka on täytetty elektrolyyttiliuoksella, kuten kaliumnitraatilla (KNO_3), ja suljettu ioneja läpäisevillä tulpilla tai se voi olla huokoinen paperi, joka on kasteltu elektrolyytillä. Suolasillan ionit tasapainottavat liuoksiin muodostuvia varauksia siten, että anodia ympäröivään liuokseen kulkeutuu suolasillasta anioneja ja katodia ympäröivään liuokseen kationeja. Näin ollen liuokset pysyvät varauksiltaan neutraaleina, ja elektronit pystyvät kulkemaan johtimia pitkin anodilta katodille. Jos sähköpari ei sisältäisi suolasiltaa, elektronien liike elektrodilta toiselle lakkaisi lähes välittömästi. Hapettumisen myötä anodia ympäröivän liuoksen positiivinen varaus kasvaisi ja varaus vetäisi elektroneja puoleensa estäen niiden liikkeen katodille. Suolasilta tekee sähköparista suljetun virtapiirin mahdollistamalla sekä elektronien liikkumisen että ionien liikkeen elektrolyyttiliuosten välillä. Elektronit kulkevat siis elektrodilta toiselle johtimia pitkin ja ioneja kulkee elektrolyyttiliuosten välillä suolasiltaa pitkin. Sekä elektronien että ionien liike muodostaa sähkövirran ja näin ollen virta pääsee kulkemaan koko laitteiston läpi. (esim. Tro, 2011)

Sähköparia voidaan mallintaa kennokaavion avulla. Daniellin parin kennokaavio on seuraava:



Kaaviossa yksi pystyviiva kuvastaa faasirajaa ja kaksi pystyviivaa suolasiltaa elektrolyyttiliuosten välillä. Puolikenno, jossa tapahtuu hapettuminen, kirjoitetaan kennokaaviossa aina suolasillan vasemmalle puolelle. Vastaavasti puolikenno, jossa tapahtuu pelkistyminen, kirjoitetaan suolasillan oikealle puolelle. (esim. Tro, 2011)

2.2 Sähköparin lähdejännite ja normaalipotentialit

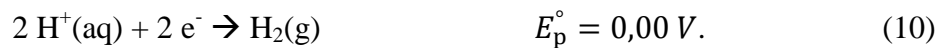
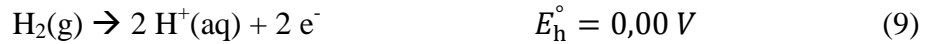
Sähköparin lähdejännitteeseen eli kennopotentialiin vaikuttaa reagoivien aineiden pyrkimys hapettua ja pelkistyä. Jos hapettava aine pyrkii voimakkaasti hapettumaan eli normaalihapettumispotentiaali E_h° on arvoltaan suuri ja pelkistynvä aine pyrkii voimakkaasti pelkistymään eli normaalipelkistymispotentiaali E_p° on suuri, on sähköparin lähdejännite myös suuri. Normaalipotentialit on kirjallisuudessa taulukoitu normaalipelkistymispotentiaaleina. Potentialit on mitattu standardiolloissa eli 25 °C lämpötilassa 1 M liuksilla. (Tro, 2011) Sähköparin lähdejännitteeseen vaikuttavat metallien hapettumis- ja pelkistymistäipumuksen lisäksi myös elektrolyyttiliuosten konsentraatio sekä lämpötila Nernstin yhtälön mukaisesti:

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln Q, \quad (8)$$

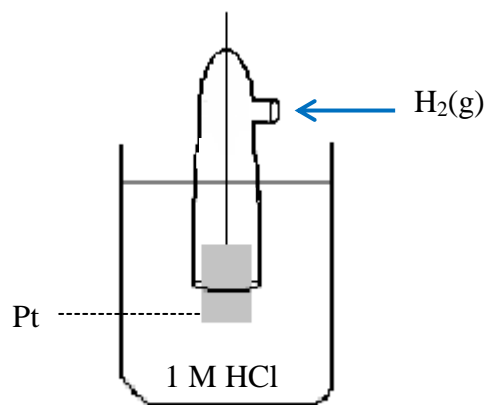
jossa E° on parin jännite standardiolloissa, R kaasuvakio, T lämpötila kelvineinä, n hapettumis-pelkistymisreaktiossa siirtyvien elektronien ainemäärä, F Faradayn vakio ja Q reaktion aktiivisuusosamäärä. Aineiden aktiivisuuksien sijaan on usein yksinkertaisempaa käyttää konsentraatioita, sillä laskennalliseen jännitteeseen ei vaikuta juuri lainkaan se, onko laskussa käytetty aktiivisuuksia vai konsentraatioita. Näin voidaan kuitenkin menetellä vain, kun liuokset ovat riittävän laimeita. (Lajunen & Saarinen, 2004, 86)

Sähköparin yksittäisen puolikennon potentiaalia ei pystytä sellaisenaan mittaamaan. Potentialit määritetään aina yhdistämällä kaksi puolikennoa toisiinsa, jolloin saatu kennopotentiali on elektrodien välinen potentiaaliero. Kirjallisuuden normaalipelkistymispotentiaalit onkin saatu hyödyntämällä toisena puolikennona

normaalivetyelektrodiä (Kuva 2). Tämä elektrodi on platinaelektrodi, joka on upotettu 1 M suolahappoliuokseen (25 °C). Elektrodin pinnalle suolahappoliuokseen johdetaan vetykaasua, jonka paine on 1 atm. Platinaelektrodi itse ei osallistu kennoreaktioihin, vaan se toimii ainoastaan reaktioiden tapahtumapintana. Puolikennossa voi tapahtua joko vedyn hapettuminen tai vedyn pelkistyminen:



On sovittu, että tämän puolikennon potentiaali on nolla. Näin ollen muiden puolikenttien potentiaalit pystytään määrittämään suhteessa tähän vertailuelektrodiin muodostamalla normaalivetyelektrodista ja halutusta toisesta elektrodista sähköpari. Näin saatuja potentiaaleja kutsutaan normaalipotentiaaleiksi. (esim. Tro, 2011)



Kuva 2. Normaalivetyelektrodi.

Esimerkiksi määritettäessä sinkin normaalipelkistymispotentiaalia sähköparin toisessa puolikennossa elektrodina on sinkkilevy, joka on upotettu sinkki-ioneja sisältävään liuokseen (1 M), ja toisena elektrodina toimii normaalivetyelektrodi. Tässä sähköparissa sinkki hapettuu ioneiksi ja vetyionit pelkistyvät vetykaasuksi. Sinkkielektrodi on siis parin anodi ja normaalivetyelektrodi katodi. Parin mitattu kennopotentiaali on +0,76 V. Sähköparien kennopotentiaalit ovat aina positiivisia, koska tapahtuvat reaktiot ovat spontaaneja. On sovittu, että vedyn normaalipelkistymispotentiaali on 0,00 V, joten lukema tarkoittaa, että sinkin normaalihapettumispotentiaali on +0,76 V. Normaalipotentiaalit on kuitenkin taulukoitu kirjallisuudessa pelkistymispotentiaaleina. Tämä potentiaali saadaan hapettumispotentiaalista vastalukuna eli se on -0,76 V. Normaalipelkistymispotentiaalilin

etumerkki on tässä tapauksessa negatiivinen, koska sinkkielektrodi toimii parissa anodina eli negatiivisempänä elektrodina tarkoittaen, että tällä elektrodilla elektroneilla on enemmän potentiaalienergiaa kuin niillä on normaalivetyelektrodilla. Tämä johtuu siitä, että sinkkielektrodin negatiivisempi varaus suhteessa normaalivetyelektrodiin hylkii negatiivisesti varautuneita elektroneja ja työntää niitä näin ollen pois päin. Vastaavasti, jos normaalivetyelektrodi toimii parissa anodina, ja toisena elektrodina on metalli, joka pelkistyy eli elektrodi toimii katodina, on tämän metallin pelkistymispotentiaali lukuarvoltaan positiivinen. (esim. Tro, 2011)

3. SÄHKÖPARIN OPPIMINEN JA OPETUS

Kemian opettajat kokevat usein sähkökemian yhdeksi vaikeimmista aiheista opettaa (Bojczuk, 1982). Opiskelijoiden mielestä sähkökemian sijoittuu vaikeutensa puolesta joko kärkisijoille (Childs & Sheehan, 2009) tai keskivaiheille (Bojczuk, 1982) kemian aihealueiden joukossa. Sähkökemiaan liittyy läheisesti hapettumis-pelkistymisreaktiot, joita pidetään myös yhtenä kemian vaikeimmista aiheista (Finley et al., 1982; Childs & Sheehan, 2009). Hapettuminen ja pelkistyminen voidaan määritellä eri tavoin: hapen tai vedyn määrän muutoksena, elektronien luovuttamisena tai vastaanottamisena tai hapetusluvun muutoksena, mikä saattaa sekoittaa opiskelijoita (Garnett & Treagust, 1992a). Seuraavaksi esitellään, miten sähköpari esiintyy peruskoulun sekä lukion opetussuunnitelman perusteissa. Lisäksi käsitellään sitä, minkälaisia vaikeuksia opiskelijoilla on sähköparin oppimisessa ja minkälaisia virhekäsityksiä heillä esiintyy, sekä mistä opiskelijoiden vaikeudet ja virhekäsitykset mahdollisesti johtuvat.

3.1 Sähköpari peruskoulun ja lukion opetussuunnitelman perusteissa

Sähköpari esiintyy peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa keskeisissä sisällöissä kategorian raaka-aineet ja tuotteet alla. Tämän lisäksi keskeisissä sisällöissä mainitaan sähkökemialliset ilmiöt sekä sähköparin sovellukset. (Opetushallitus, 2004) Lukion opetussuunnitelman perusteissa sähköpari esiintyy syventävällä kurssilla KE4 Metallit ja materiaalit. Kurssin tavoitteissa mainitaan, että opiskelijan tulee osata sähkökemiallisten ilmiöiden periaatteet ja näihin liittyviä kvantitatiivisia sovelluksia. Keskeisissä sisällöissä mainitaan kemiallinen pari sekä tähän vahvasti liittyvät sähkökemiallinen jännitesarja, normaalipotentialit sekä hapettumis-pelkistymisreaktiot. Lisäksi tavoitteissa lukee, että opiskelijan tulee osata kirjoittaa hapettumis-pelkistymisreaktioita. (Opetushallitus, 2003)

3.2 Opiskelijoiden vaikeudet ja virhekäsitykset sähköpariin liittyen

Opiskelijoiden käsitykset tieteellisistä käsitteistä tai ilmiöistä saattavat poiketa tieteen piirissä yleisesti hyväksytyistä käsityksistä. Näistä opiskelijoiden käsityksistä käytetään lukuisia eri termejä, kuten virhekäsitys, vaihtoehtoinen viitekehys tai lasten tiede (Garnett & Treagust, 1992b). Tässä tutkimuksessa käytetään termiä virhekäsitys.

Opiskelijoiden sähkökemian osaamista ja ymmärrystä ovat ensimmäisenä tutkineet Garnett ja Treagust (1992b). He löysivät sähköpariin liittyen neljä aihealuetta, joissa opiskelijoilla oli ongelmia: 1) anodin ja katodin määrittäminen, 2) standardipuolikennon tarpeen ymmärtäminen, 3) sähkövirran kulun ymmärtäminen sekä 4) anodilla ja katodilla olevan varauksen ymmärtäminen. Anodin ja katodin määrittämiseksi opiskelijat hyödynsivät normaalipelkistymispotentiaaleja virheellisesti esimerkiksi siten, että anodiksi valittiin suoraan pelkistymispotentiaalitaulukosta metalli, jolla on korkeampi pelkistymispotentiaali. Standardipuolikennon tarpeellisuus ei ollut kaikille opiskelijoille selvää. He eivät tieneet, että vertailuelektrodiksi on yhteisellä sopimuksella valittu vetyelektrodi, jotta muiden puolikennojen normaalipotentialit pystytään määrittämään suhteessa tähän elektrodiin. Vedyn normaalipelkistymispotentiaalin (0,00 V) ajateltiin olevan seurausta vedyn kemiasta eikä vain päätetty vertailuarvo (Garnett & Treagust, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997a). Tutkimuksissa on havaittu, että opiskelijat ovat hyviä käsittelemään puolireaktioita sekä kennoreaktioita ja laskemaan kennopotentiaaleja, mutta heiltä puuttuu syvempi ymmärrys taustalla olevasta teoriasta (Garnett & Treagust, 1992b; Ogude & Bradley, 1994; Sanger & Greenbowe, 1997a).

Sähkövirran kulkuun liittyen opiskelijoilla on paljon virheellisiä käsityksiä. Heidän mukaansa sähkövirran aikaansaamiseksi tarvitaan aina liikkuvia elektroneja. Osa näistä opiskelijoista ajatteli lisäksi, että elektronien täytyy kulkea suljettua kehää pitkin läpi koko sähköparin, jotta sähkövirtaa syntyy. Tästä ajattelutavasta seuraa, että elektroneja joutuu elektrolyyttiliuokseen. Elektronien ajateltiin siirtyvän katodilta elektrolyyttiliuokseen ja suolasillan kautta toiseen puolikennoon, jossa elektronit kulkevat elektrolyyttiliuoksen kautta anodille. Tällä tavalla elektroneilla on yhtenäinen kulkureitti sähköparin läpi: ulkoista johdinta pitkin anodilta katodille ja elektrolyyttiliuoksen sekä suolasillan kautta katodilta anodille. (Garnett & Treagust, 1992b) Elektronit kulkevat elektrolyyttiliuoksessa opiskelijoiden mukaan joko vapaina elektroneina tai ionien avustamana siten, että yksi ioni

vastaanottaa elektronin katodilla ja kuljettaa sen anodille tai elektroni etenee liuoksessa siirtyen ionilta toiselle. (Garnett & Treagust, 1992a, 1992b)

Suolasillalle opiskelijat ehdottivat paljon erilaisia tehtäviä. Suolasillan positiivisten ionien ajateltiin vetävän puoleensa elektroneja toisesta puolikennosta ja siirtävän ne toiseen puolikennoon. Osa opiskelijoista ajatteli puolestaan, että suolasillasta vapautuu elektroneja täydentämään virtapiiriä. (Garnett & Treagust, 1992b) Sanger ja Greenbowe (1997a) sekä Ogude ja Bradley (1994) havaitsivat, että hyvin yleinen virhekäsitys oli se, että suolasilta voitaisiin korvata esimerkiksi grafiitilla ilman, että sähköparin toiminta häiriintyisi. Koska suolasillan merkitys ei ollut opiskelijoille selvä, ei ollut yllättävää, että myös elektrolyyttiliuosten säilyminen sähköisesti neutraaleina aiheutti hankaluuksia. Esimerkiksi Daniellin parissa kupari-ionien pelkistyessä tämän puolikennon elektrolyyttiliuoksen varaus muuttuu negatiivisemmaksi ja vastaavasti toisen puolikennon positiivisemmaksi sinkkiatomien hapettuessa. Schmidt, Marohn ja Harrison (2007) huomasivat opiskelijoiden ajattelevan, että sinkki-ioneja siirtyy toiseen puolikennoon joko tasapainottamaan varauksia tai tasaamaan elektrolyyttiliuosten konsentraatioita. Garnett ja Treagust (1992b) havaitsivat lisäksi opiskelijoilla käsityksen, jonka mukaan ionit kulkevat molempiin suuntiin niin kauan, kunnes niiden konsentraatio on molemmissa kennoissa sama. Oguden ja Bradleyn (1994) tutkimuksessa havaittiin, että opiskelijoiden mukaan toinen puolikennon voi olla positiivisesti varautunut, jos vastaavasti toinen puolikennon on negatiivisesti varautunut ja varaukset ovat keskenään yhtä suuret. Tämän myötä koko kennon voidaan ajatella olevan sähköisesti neutraali.

Anodilla ja katodilla oleva varaus aiheutti myös hämmennystä. Garnettin ja Treagustin (1992b) tutkimuksessa opiskelijat ajattelivat, että elektrodeilla on todellinen ja suuruudeltaan merkittävä varaus. Elektrodiin varauksen määrittämisessä opiskelijoilla ilmeni kaksi erilaista ajattelutapaa. Anodin ajatellaan olevan negatiivisesti varautunut ja vapauttavan elektroneja ja katodin positiivisesti varautunut ja vetävän elektroneja puoleensa. Toinen vaihtoehto on, että anodi on positiivisesti varautunut menetettyään elektroneja ja katodi on negatiivisesti varautunut saatuaan elektroneja. (Garnett & Treagust, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997a) Opiskelijat yrittävät siis selittää elektronien sekä ionien kulkusuuntaa elektrodien varausten avulla. Ionien kulkusuunnan kohdalla opiskelijoille tulee kuitenkin vaikeuksia, koska ionit kulkevatkin päinvastaiseen suuntaan kuin elektrodien sähkövarausten perusteella olettaisi. (Garnett & Treagust, 1992b; Ogude

& Bradley, 1996; Sanger & Greenbowe, 1997a) Elektronien liikettä pyritään selittämään lisäksi elektronien (varausten) konsentraatioerolla. Anodilla elektronien konsentraatio on suuri, koska siellä hapettumisen yhteydessä vapautuu elektroneja, ja katodilla konsentraatio on pieni, koska elektroneja kuluu pelkistymisessä. Elektronit kulkevat siis kohti pienempää konsentraatiota eli anodilta katodille. (Garnett & Treagust, 1992a)

Garnettin ja Treagustin (1992a, 1992b) tutkimusten jälkeen monissa muissa tutkimuksissa on saatu hyvin samanlaisia tuloksia opiskelijoiden virhekäsityksistä sähköpariin liittyen (Ogude & Bradley, 1994, 1996; Sanger & Greenbowe, 1997a, 1997b). Sanger ja Greenbowe (1997a) toistivat Garnettin ja Treagustin (1992b) tutkimuksen pienin muutoksin ja onnistuivat löytämään vielä lisää virhekäsityksiä. Opiskelijoilla oli edelleen vaikeuksia anodin ja katodin määrittämisessä. Yksi tapa, jolla elektrodeja määritettiin, oli niiden fyysinen sijainti toisiinsa nähden: anodi on aina vasemmanpuoleinen elektrodi ja katodi oikeanpuoleinen. Normaalipelkistymispotentiaaleja käytettiin myös väärin. Potentiaalien ajateltiin olevan absoluuttisia ja niiden perusteella pystytään ennustamaan puolikennossa tapahtuvan reaktion spontaaniutta. Sähkövirran kulkuun liittyen löytyi vielä yksi virhekäsitys, jonka mukaan vain anionien liike muodostaa sähkövirran elektrolyyttiliuoksessa ja suolasillassa.

Syitä opiskelijoiden virhekäsityksiin on esitetty useita. Opiskelijoiden riittämättömät esitiedot saattavat aiheuttaa virhekäsityksiä. Jos opettaja olettaa opiskelijoiden osaavan kaiken sen, mitä siihen asti on opetettu, eikä opiskelijoiden osaaminen olekaan tällä tasolla, voivat puutteelliset tai mahdollisesti virheelliset esitiedot vaikeuttaa oppimista ja aiheuttaa virhekäsityksiä. Oppiaineiden jaottelu kemiaksi ja fysiikaksi aiheuttaa sen, että opiskelija ajattelee helposti, etteivät nämä oppiaineet liity millään tavalla toisiinsa. Samoja asioita on saatettu käsitellä molempien aineiden tunneilla, mutta opiskelija ei osaa yhdistää näitä tietoja toisiinsa etenkin, jos oppiaineiden välillä on käytetty keskenään erilaisia termejä. Opiskelijoilla on lisäksi tapana opetella asioita ja erilaisia ratkaisualgoritmeja ulkoa. Tällä tavalla opiskelijalle ei muodostu kunnollista ja syvällistä ymmärrystä aiheesta. (Garnett et al., 1990) Opiskelijat tulkitsevat myös opettajan puhetta tai oppikirjan tekstiä arkipäiväisellä tavalla eivätkä tieteellisellä tavalla. Tällöin sanat, joilla on jokapäiväisessä käytössä erilainen merkitys kuin tieteessä, ymmärretään väärin ja koko sisällön merkitys kärsii. Opiskelijat tekevät usein myös liiallisia yleistyksiä lukemastaan tekstistä. (Garnett & Treagust, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997b) Oppikirjoissa saattaa lisäksi esiintyä

epätarkkoja tai harhaanjohtavia ilmauksia sekä kuvia. Esimerkiksi suolasillan tehtävästä ei useinkaan kerrota riittävästi, vaan tyydytään ilmauksiin, kuten ”suolasilta täydentää virtapiirin”. (Ogude & Bradley, 1994)

Sanger ja Greenbowe (1999) ovat tutkineet kymmentä college-tason kemian oppikirjaa sähkökemian sekä hapettumis-pelkistymisreaktioiden osalta ja löytäneet lukuisia mahdollisia virheksitysten lähteitä. Suurin osa kirjoista sisältää sähköparien kuvia, joissa anodi on asetettu suurimmaksi osaksi tai aina vasemmanpuoleiseksi elektrodiksi. Osassa kirjoista esiintyy myös kennokaavio, jossa anodi sijaitsee aina vasemmalla puolella IUPAC:in (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) määräyksen mukaisesti. Kuitenkaan kaikissa kirjoissa, joissa kennokaavio esitellään, ei eksplisiittisesti kerrota, että kennokaaviossa elektrodien paikat on määrännyt IUPAC, eikä se koske sähköparin kuvituskuvia. Sangerin ja Greenbowen mukaan elektrodien asettaminen sähköparien kuvissa aina samoin päin vahvistaa opiskelijoiden virheellistä käsitystä siitä, että elektrodin luonne voidaan määrittää sen fyysisen paikan avulla. Lisäksi lähes kaikissa kirjoissa esiintyy ilmauksia, joissa puhutaan varauksellisista elektrodeista, ja selitetään myös elektronien tai ionien liikettä näiden varausten avulla. Opiskelijoille annetaan siis virheellinen käsitys, että elektrostaattisia vuorovaikutuksia voidaan hyödyntää selitettäessä sähköparin toimintaa. Kuitenkin elektrodien varaukset ovat todellisuudessa hyvin minimaaliset, eikä näiden avulla pysty selittämään varauksellisten hiukkasten liikettä.

Sanger ja Greenbowe (1999) löysivät muutamista kirjoista kuvia, joissa mallinnetaan virheellisesti hapettumis-pelkistymisreaktiota metallin ja ympäröivän liuoksen rajapinnalla. Kuvissa elektroni siirtyy hapettuvalta aineelta liuokseen ja sen kautta pelkistyväälle aineelle. Lähes kaikissa kirjoissa oli myös epätasällisiä ilmauksia, joiden perusteella voi saada käsityksen, että sähköparissa vapaita elektroneja esiintyy elektrolyyttiliuoksessa ja elektronien liike aikaansaa sähkövirran kulun kyseisessä liuoksessa. Kirjoissa on lisäksi ilmauksia, joiden perusteella saa käsityksen, että ionit voivat vastaanottaa ja luovuttaa elektroneja elektrodeilla ilman kemiallista muutosta. Tämä vahvistaa virheellistä käsitystä siitä, että ionit toimisivat elektronien kuljettajina elektrolyyttiliuoksessa. Muutamissa kirjoissa sanotaan myös suoraan, että sähkövirran kulku elektrolyyttiliuoksessa on seurausta pelkästään anionien liikkeestä.

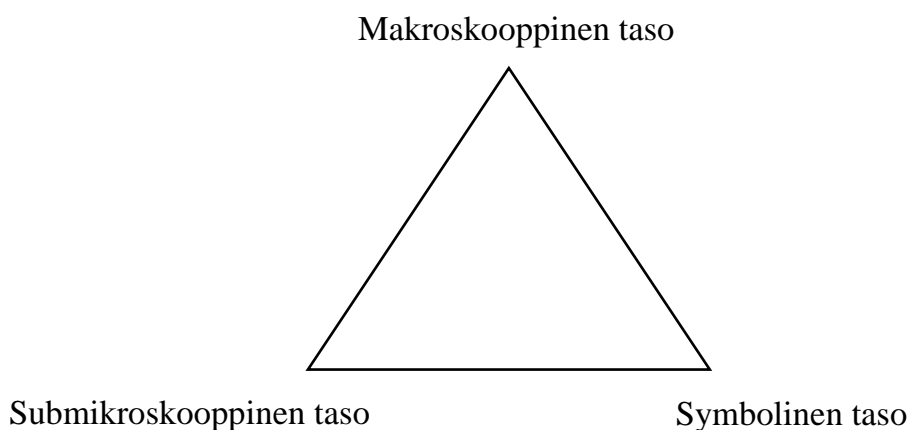
Kaikki kirjat sisältävät maininnan, että absoluuttisia puolikennojen potentiaaleja ei voida määrittää, vaan potentiaalit ovat aina suhteellisia. Kuitenkin monissa kirjoissa on ilmauksia, joiden mukaan normaalipelkistymispotentiaalit olisivatkin absoluuttisia. Esimerkiksi on mainittu, että puolireaktiot ovat spontaaneja, jos niiden normaalipelkistymispotentiaalit ovat positiivisia, ja vastaavasti negatiivisilla arvoilla puolireaktiot eivät ole spontaaneja. Sangerin ja Greenbowen (1999) mukaan tapa, jolla kennopotentiaali lasketaan, vaikuttaa myös opiskelijan käsitykseen potentiaalien suhteellisuudesta. Jos kennopotentiaali lasketaan käyttäen hyväksi kunkin kennon hapettumis- tai pelkistymispotentiaalia ($E^\circ = E_h^\circ + E_p^\circ$), voi opiskelijalle muodostua sellainen kuva, että nämä potentiaalit ovat absoluuttisia ja mitattavissa olevia arvoja sellaisenaan. Jos taas kennopotentiaali lasketaan käyttäen pelkästään pelkistymispotentiaaleja eli lasketaan potentiaaliero ($E^\circ = E_{\text{katodi}}^\circ - E_{\text{anodi}}^\circ$), säilyy laskussa ajatus, että luvut ovat suhteellisia. (Sanger & Greenbowe, 1999)

Oppikirjoissa saattaa siis esiintyä paljon opiskelijoiden virhekäsityksiä luovia tai tukevia kuvia sekä ilmauksia. Opettajan tulisi olla valppaana näiden varalta, sillä oppikirjoilla on edelleen keskeinen asema opetuksessa (Treagust & Chittleborough, 2001, 258; Ahtineva, 2012, 150). Opettajan tulisi miettiä tarkkaan, miten hän asiat ilmaisee ja esittää sekä mitä termejä hän opetuksessaan käyttää (Garnett & Treagust, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997a). Opettajan pitäisi käyttää vain yhtä määritelmää hapettumiselle ja pelkistymiselle sähkökemian yhteydessä, sillä useat määritelmät hapettumiselle ja pelkistymiselle aiheuttavat hämmennystä opiskelijoissa (Garnett & Treagust, 1992a, 1992b). Opettajan pitäisi lisäksi olla perillä opiskelijoiden mahdollisista virhekäsityksistä ja kartoittaa tilannetta esimerkiksi diagnostisen testin avulla (Garnett & Treagust, 1992b). Virhekäsitykset voivat vaikuttaa merkittävästi opiskelijan oppimiseen ja estää tieteellisen näkemyksen muodostumista, sillä oppiminen pohjautuu jo olemassa olevan tiedon varaan linkittämällä uutta tietoa vanhaan. Jos opiskelijalle on muodostunut aiheesta aiemmin virhekäsityksiä, vaikuttaa se siis jatkossa tämän aiheen opiskeluun ja mahdollisesti myös muiden aiheiden opiskeluun, sillä kemiassa asiat liittyvät voimakkaasti toinen toisiinsa. (Garnett et al., 1990; Acar & Tarhan, 2007) Opiskelijoiden virhekäsitykset pystyvät usein selittämään hyvin heidän havaintojaan ja heidän näkemyksensä vaikuttavat heistä itsestään loogisilta ja ovat johdonmukaisia muun ymmärryksen kanssa (Herron, 1990, 41–42). Muodostuneet virhekäsitykset ovatkin tavallisesti hyvin pysyviä ja niitä on vaikea muuttaa

perinteisellä opettajajohtoisella opetuksella (Garnett et al., 1990; Westbrook & Marek, 1991).

3.3 Kemiällisen tiedon kolme tasoa

Kemiällinen tieto voidaan luokitella kolmeen toisiaan täydentävään tasoon: makroskooppiseen, submikroskooppiseen ja symboliseen (Kuva 3). Makroskooppisen tason tietoa saadaan aistien avulla näkemällä, koskemalla ja haistamalla esimerkiksi laboratoriotyöskentelyn aikana. (Johnstone, 1982, 2000) Tämän tason tietoa ovat havainnot, kuten värin muutokset ja kuplat (Tasker & Dalton, 2006). Submikroskooppisen tason tieto käsittelee atomeja, molekyyliä ja ioneja. Se selittää makroskooppisen tason havaintoja kvalitatiivisesti esimerkiksi, miksi jokin aine käyttäytyy juuri tietyllä tavalla. Submikroskooppinen taso auttaa ymmärtämään makroskooppista tasoa, sillä sen avulla voidaan mallintaa käsiteltäviä hiukkasia. (Johnstone, 1982, 2000) Juuri submikroskooppisen tason ymmärtäminen ja osaaminen olisi tärkeää, sillä virhekäsitykset johtuvat usein tämän tason riittämättömästä hallinnasta (Tasker & Dalton, 2006). Abstrakteimman, symbolisen tason tietoa ovat kemiälliset merkit ja kaavat, reaktioyhtälöt, matemaattiset yhtälöt ja kaavat sekä kuvaajat. (Gabel, 1999; Johnstone, 1982, 2000) Symbolinen taso pyrkii selittämään makroskooppista tasoa kvantitatiivisesti (Gilbert & Treagust, 2009, 3).



Kuva 3. Kemiällisen tiedon kolme tasoa (Johnstone, 1991).

Opiskelijat eivät hallitse näitä kaikkia tasoja yhtä hyvin (Nakhleh & Krajcik, 1995). Heidän on vaikea ajatella ja esittää kemiallista tietoa submikroskooppisella ja symbolisella tasolla (Wu & Shah, 2004). Selittäessään kemiallisia ilmiöitä tai käsitteitä opiskelijat pysyvät useimmiten makroskooppisella tasolla. Symbolisen tason tietoa opiskelijat hyödyntävät näistä kolmesta tasosta kaikista vähiten. (Nakhleh & Krajcik, 1995) Lisäksi opiskelijat usein siirtävät aineiden makroskooppisia ominaisuuksia mikroskooppisen tason hiukkasille. Esimerkiksi rikki on keltaista, jolloin opiskelijat ajattelevat, että myös rikkiatomit ovat keltaisia. (Treagust & Chittleborough, 2001, 241)

Kemiassa käytettäviä symboleita voidaan tulkita eri tavoin. Esimerkiksi alkuaineen kemiallinen merkki voi tarkoittaa yhtä atomia tai silmin havaittavaa määrää kyseistä alkuainetta. Opiskelijoiden on vaikea yhdistää kolme tasoa toisiinsa, koska kutakin tasoista voi tulkita useammalla eri tavalla. Lisäksi opettajat siirtyvät opetuksessaan tiedostamattaan tasolta toiselle, ja näin opiskelijoille muodostuu sirpaleinen kuva opittavasta asiasta, sillä opiskelijoiden on vaikea siirtyä tasojen välillä. (Gabel, 1999)

Gabelin (1993) mukaan ei riitä, että pelkästään opetetaan kaikilla näillä kolmella tasolla, vaan tasojen välille täytyy luoda tarpeeksi yhteyksiä. Näin opiskelijalle muodostuu kokonaiskuva, jossa opetetut asiat linkittyvät toisiinsa. Usein kuitenkin opetus painottuu symboliselle tasolle tehden opetuksesta abstraktia, jolloin opiskelijoiden oppiminen hankaloituu (Gabel, 1999). Johnstone (1991) pohtii kokeellisten töiden hyödyllisyyttä opiskelijoille, sillä laboratorioissa tehdyt havainnot ovat makroskooppisen tason tietoa. Kuitenkin opiskelijoilta odotetaan submikroskooppisen tason pohdintaa ja symbolisen tason tulkintaa heti työn yhteydessä, mikä on opiskelijoille hankalaa.

Sähköparin yhteydessä nämä kolme tasoa ovat koko ajan vahvasti läsnä ja se, että pystyy siirtymään tasolta toiselle, on tärkeää. Sähköpari makroskooppisella tasolla on esimerkiksi tavallinen paristo tai laboratorioissa itse rakennettu laitteisto. Paristosta ei pysty aistein havaitsemaan minkäänlaisten hapettumis-pelkistymisreaktioiden tapahtuvan, mutta laboratorioissa rakennetussa sähköparissa voi nähdä kaasukuplien muodostumista sekä katodilla elektrodin päällystymisen metallilla. Submikroskooppisen tason ymmärtäminen on edellytys, että voi ymmärtää, miten sähköpari toimii. Kun ymmärtää, miten elektronit ja ionit sähköparissa liikkuvat, pystyy makroskooppisen tason havainnot selittämään näiden hiukkasten liikkeiden avulla (Johnstone, 1982). Opetuksen painottuessa symboliselle

tasolle (Gabel, 1999) saattavat opiskelijat osata sähköparin tällä tasolla hyvin, mutta submikroskooppisen tason ymmärrys ja varsinainen sähköparin syvällisempi toimintaperiaate saattavat jäädä epäselväksi tai vajavaiseksi. Lukion tulevan opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa mainitaan, että kemian opetuksen tulee tukea käsitteiden rakentumista ja ilmiöiden ymmärtämistä muodostamalla makroskooppisesta, submikroskooppisesta ja symbolisesta tasosta looginen kokonaisuus (Opetushallitus, 2015).

4. TIETOKONESIMULAATIOT KEMIAN OPETUKSESSA

Lukion opetussuunnitelman perusteissa mainitaan, että kemian opetuksen yhtenä tavoitteena on opiskelijan perehdyttäminen tieto- ja viestintätekniiikan mahdollisuuksiin tiedonhankinnan ja mallinnuksen välineinä (Opetushallitus, 2003). Vuonna 2016 voimaan astuvan opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa opetuksen tavoitteeksi on kirjattu opiskelijan kyky käyttää erilaisia malleja ilmiöiden kuvaamisessa ja selittämisessä sekä ennusteiden tekemisessä. Lisäksi kurssin Materiaalit ja teknologia (KE4) yhtenä tavoitteena on mainittu, että opiskelija osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen sähkökemian liittyviä ilmiöitä. (Opetushallitus, 2015) Tieto- ja viestintätekniiikan sekä mallien käyttöä siis edellytetään lukio-opetuksessa ja tietokonesimulaatiot tarjoavat mahdollisuuden yhdistää nämä molemmat. Tässä luvussa käsitellään, mitä mallit oikeastaan ovat ja miten niitä voidaan luokitella. Lisäksi tarkastellaan tietokonesimulaatioita ja niiden käyttöä opetuksessa. Tutkimuskirjallisuudessa käytetään termejä simulaatio (*simulation*) sekä animaatio (*animation*), mutta näillä termeillä viitataan samanlaiseen visualisoinnin menetelmään. Tässä tutkimuksessa käytetään ainoastaan termiä simulaatio.

4.1 Kemian mallit ja visualisointi

Kemia käsittelee pääasiassa tapahtumia molekyylitasolla, ja useinkaan näitä tapahtumia ei pystytä havaitsemaan silmin. Kemia onkin tieteenalana visuaalinen ja symbolinen, jotta kemiallisia tapahtumia voidaan havainnollistaa ja tutkijat voivat jakaa ymmärrystään muille. (Kozma & Russell, 1997) Monet kemian käsitteet ovat abstrakteja ja vaikeita ymmärtää ilman, että hyödynnetään malleja (Gabel, 1999). Visualisointi auttaa tiedon prosessoinnissa, asioiden yhdistämisessä toisiinsa ja helpottaa asioiden muistamista (Tversky, 2005). Lukion opetussuunnitelman perusteissa (2003) mainitaan, että kemian opetukselle on luonteenomaista ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien sekä rakenteiden avulla. Ilmiöitä kuvataan kemian merkkikielellä, mallinnetaan ja käsitellään matemaattisesti.

Mallit toimivat linkkinä tieteellisen teorian ja silmin havaittavan todellisuuden välillä. Ne ovat tiettyä tarkoitusta varten luotuja yksinkertaistettuja kuvauksia todellisuudesta, johon tieteellinen teoria sovitetaan, tai tieteellisen teorian pohjalta luotuja kuvauksia todellisuudesta, jota emme pysty silmin näkemään. Mallit voivat kuvastaa sekä konkreettisia että abstrakteja asioita. Malleja voidaan luokitella niiden luonteen mukaan. Mentaalimalli on jokaisen itsensä luoma mielessä oleva malli. (Gilbert, 2005, 9–27) Oppimisen voidaan ajatella olevan näiden mentaalimallien muodostamista (Chittleborough et al., 2005). Erilaisia malleja hyödynnetään kemian opetuksessa, jotta opiskelijat pystyisivät muodostamaan omia mentaalimallejaan (Treagust & Chittleborough, 2001, 246). Kun mentaalimalli tuodaan muiden ihmisten tietoon, siitä tulee ilmaistu malli. Tieteellisen yhteisön ollessa yhtä mieltä jonkin mallin toimivuudesta ja tämän mallin ollessa ainoa käytössä oleva malli voi tästä mallista syntyä tieteellinen malli, kuten esimerkiksi kvanttimekaaninen atomimalli. Tieteellisen tiedon lisääntyessä ja tarkentuessa voi jokin tieteellinen malli korvautua toisella. Tällöin aiemmasta tieteellisestä mallista tulee historiallinen malli, kuten Bohrin atomimalli. Historiallisia malleja saatetaan silti edelleen käyttää, jos niiden tarjoama tieto on riittävää kyseiseen käyttötarkoitukseen. Tieteellisiä ja historiallisia malleja voidaan yksinkertaistaa opetusta varten, jolloin malleista tulee opetusta varten suunniteltuja malleja. Näitä kaikkia edellä mainittuja malleja voidaan esittää viidellä eri tavalla: konkreettisesti, symbolisesti, visuaalisesti, verbaalisesti ja elein. Näistä kemian kohdalla kolme ensimmäistä ovat vallitsevia esitystapoja. Konkreettinen malli on esimerkiksi muovinen pallotikkumalli. Symbolisia malleja ovat esimerkiksi reaktioyhtälöt sekä kemialliset ja matemaattiset kaavat. Visuaalisiin malleihin kuuluvat esimerkiksi kuvat, diagrammit ja simulaatiot. Verbaaliset mallit ovat joko kirjoitettuja tai puhuttuja kuvauksia jostakin mallista. Elein tai liikkein ilmaistut mallit hyödyntävät kehonkieltä ja liikettä. (Gilbert, 2005, 9–27)

Mallintaminen auttaa opiskelijaa ilmaisemaan omaa ajatteluaan ja hahmottamaan omia ajatuksiaan visuaalisesti, jolloin ajattelu ja kemian osaaminen voivat kehittyä (Schwarz & White, 2005). Kemiassa mallien käyttö on tärkeää, kun kokeellisten tutkimusten tuloksia havainnollistetaan ja selitetään. Jokaisella mallilla on omat mahdollisuutensa ja rajoituksensa, ja etenkin opetuksessa on tuotava esille mallien rajoitukset. (Lundell & Aksela, 2003) Ymmärtääkseen malleja ja mallinnusta opiskelijoiden tulisi olla tietoisia seuraavista asioista: 1) mallien luonne; 2) mallinnuksen luonne; 3) mallien arviointi ja 4) mallinnuksen hyödyntäminen. Opiskelijoiden tulisi tietää, etteivät mallit kuvasta ilmiötä

välttämättä oikein, mutta ne pyrkivät olemaan parhaita arvioita todellisuudesta. Lisäksi samaa ilmiötä voidaan mallintaa usealla eri mallilla. Mallinnuksella pyritään tuomaan esiin teoriasta keskeisimmät ja oleellisimmat asiat ja malleja muokataan uuden tieteellisen tiedon valossa. Luotuja malleja voidaan arvioida niiden tarkkuuden ja uskottavuuden kannalta. Mallinnusta hyödynnetään, jotta asioita voidaan havainnollistaa, mutta myös esimerkiksi teorian testaamiseksi. (Schwarz & White, 2005)

Opiskelijoiden käsitykset mallien luonteesta voidaan luokitella kolmeen eri tasoon. Ensimmäisellä tasolla mallit nähdään todellisuuden kopioina, ja niiden tehtävä on pelkästään kuvata todellisuutta. Opiskelijat eivät välttämättä ymmärrä, että malli voi olla yksinkertaisempi kuin mallilla kuvattu asia todellisuudessa on, tai jonkin ominaisuuden puuttumista ei osata perustella. Tasolla kaksi opiskelija ymmärtää, että malli on tuotettu jotakin tarkoitusta varten, ja tämä tarkoitus määrittelee sen, millainen malli on. Malli ei siis ole pelkästään täydellinen todellisuuden kopio, vaan se voi esimerkiksi olla yksinkertaistettu kuvaus todellisuudesta tai korostaa joitakin tiettyjä ominaisuuksia. Tällä tasolla opiskelija ymmärtää myös sen, että mallia voidaan arvioida ja testata sen toimivuuden osalta. Kolmannella eli korkeimmalla tasolla mallia ei enää nähdä vain todellisuuden kopiona vaan työkaluna, jonka avulla voidaan arvioida ja kehittää asioita ja ideoita eteenpäin, sekä testauksen myötä mallia voidaan parannella ja tarkentaa. Malli on rakennettu harkiten valitsemalla siihen vain sellaisia ominaisuuksia, jotka palvelevat mallin käyttötarkoitusta. Opiskelijoiden ymmärrys mallien luonteesta on tavallisesti tasolla yksi tai kaksi. Kemian alan ammattilaisten, kuten tutkijoiden ja opettajien, ymmärrys tulisi olla tasolla kolme. (Grosslight et al., 1991) Opiskelijoiden käsitystä malleista voidaan edesauttaa, jos tieteen tarkoitukseksi käsitetään erilaisten mallien kehittäminen. Jos opiskelija ymmärtää, että tieteellinen tieto on ihmisten kehittämää, on hänen helpompi ymmärtää myös se, että mallit kuvastavat, selittävät ja ennustavat todellisuutta vain tietyllä tarkkuudella. (Gilbert, 1991)

Molekyylien visualisointien hyödyntäminen ja ymmärtäminen voi aiheuttaa opiskelijoille vaikeuksia. Avaruudellinen hahmottaminen voi olla hankalaa, jos kolmiulotteisia rakenteita kuvataan kaksiulotteisesti. Samaa asiaa voidaan lisäksi mallintaa usealla erilaisella mallilla tuoden esiin erilaisia puolia käsiteltävästä asiasta. Opiskelijan voi olla vaikea ymmärtää keskenään erilaisia malleja ja hahmottaa näiden mallien välistä suhdetta. (Jones et al., 2005) Jotta opiskelija harjaantuisi käyttämään ja ymmärtämään erilaisia

malleja ja visualisointeja, tulisi häntä kannustaa käyttämään erilaisia esitystapoja ja pohtimaan erilaisten esitystapojen eroavaisuuksia ja samankaltaisuuksia sekä niiden soveltuvuutta erilaisiin käyttötarkoituksiin. Opiskelijaa tulisi myös kannustaa kuvailemaan erilaisten mallien taustalla olevaa kemiaa joko suullisesti tai kirjallisesti. Tämä on opiskelijoille usein vaikeaa etenkin oikeita käsitteitä ja teoriaa hyödyntäen. Sanalliset kuvaukset kuitenkin auttavat opiskelijaa muodostamaan teoriasta yhtenäisemmän kokonaisuuden ja liittämään erilaiset esitystavat toisiinsa. (Kozma & Russell, 1997)

Visualisoinneissa esiintyy joitakin tiettyjä vakiintuneita tapoja, jotka opiskelijan täytyy tietää ennen kuin hän pystyy yhdistämään mallin käsitteisiin, joita malli ilmentää. Esimerkiksi veden pallotikkumallissa pallot kuvastavat atomeja ja niiden värit tiettyä alkuainetta: punainen happea ja valkoinen vetyä. Tikut puolestaan kuvastavat atomien välillä olevaa yksinkertaista kovalenttista sidosta. (Jones et al., 2005) Opiskelijalla täytyy olla valmiina jo jonkin verran tietoa käsiteltävästä käsitteestä ja siitä, kuinka sitä voidaan visualisoida, jotta hän voisi oppia visualisoinnin avulla lisää kyseisestä käsitteestä (Treagust et al., 2003). Ilman tarvittavia tietoja opiskelijan ymmärrys painottuu visualisoinnin ulkoisiin tekijöihin eikä varsinaisen kemiallisen ilmiön tai käsitteen ymmärtämiseen. Jos samaa ilmiötä kuvataan visuaalisesti eri tavoin, voi opiskelijan käsitys ilmiöstä olla hyvin erilainen. Opettajan tulisi eksplisiittisesti kertoa opiskelijoille erilaisten mallien ja visualisointien tarkoitus kemiallisten käsitteiden tai ilmiöiden kannalta, jotta opiskelijan huomio ei kiinnittyisi pelkästään ulkoisiin tekijöihin, kuten väreihin. (Kozma & Russell, 1997)

4.2 Tietokonesimulaatiot ja opetus

Simulaatiot ovat dynaamisia esityksiä, jotka selittävät tieteellisten ilmiöiden toimintaa ja syy-seuraussuhteita, joita ei pystytä suoraan silmin havaitsemaan (Gobert, 2005, 73–90). Tietokonesimulaatioiden hyödyllisyyttä opetus- ja opiskeluvälineenä on tutkittu paljon. Simulaatioiden on havaittu olevan opetusmenetelmänä tehokkaampia kuin staattisten kuvien hyödyntäminen, kun käsitellään ilmiöitä submikroskooppisella tasolla, mallinnetaan ilmiöiden dynaamista luonnetta tai halutaan lisätä opiskelijoiden käsitteellistä ymmärrystä (Sanger & Phelps, 2000; Sanger et al., 2001; Yang et al., 2003; Ardac & Akaygun, 2004, 2005; Doymus et al., 2010). Työskentely dynaamisten visualisointien

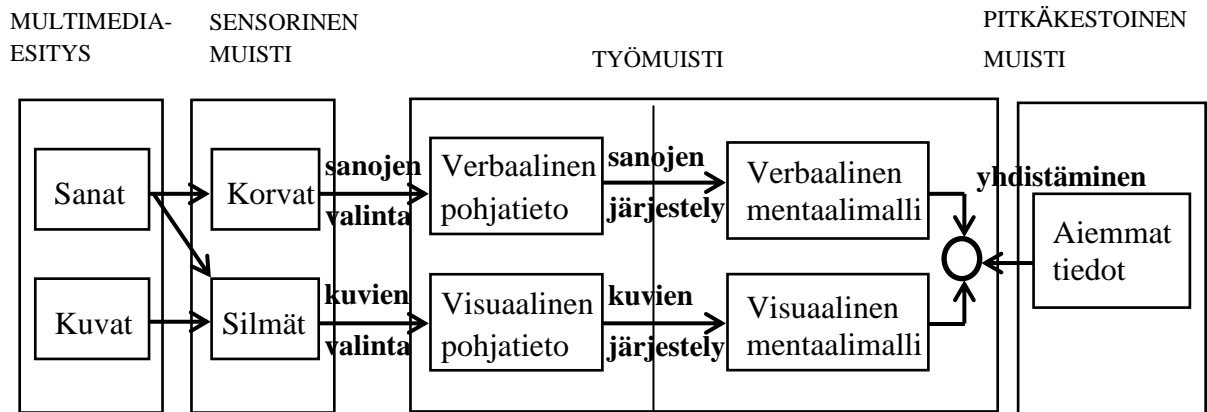
parissa itsenäisesti vaikuttaa olevan vielä tehokkaampi tapa kuin visualisointien esittäminen yhtä aikaa koko luokalle, vaikka työskentely muilta osin olisikin täysin samanlaista (Ardac & Akaygun, 2005). Opiskelu simulaatioiden avulla luo opiskelijalle pysyvemmän käsityksen opiskeltavasta asiasta kuin perinteinen opettajajohtoinen opetus staattisten kuvien avulla. Lisäksi opiskelu hyödyntäen tietotekniikkaa koetaan mielekkäämmäksi vaihtoehdoksi kuin perinteinen opetus (Ardac & Akaygun, 2004). Simulaatiot vetävät opiskelijoiden huomion puoleensa sekä auttavat muistamaan kemian käsitteitä paremmin (Acar & Tarhan, 2007). Simulaatioiden avulla opiskelijoiden visualisointitaidot ja kyky käsitellä kemiallisia ilmiöitä submikroskooppisella tasolla paranevat, mikä puolestaan auttaa muodostamaan syvällisempää ymmärrystä (Sanger & Greenbowe, 1997b; Sanger & Phelps, 2000; Yeziarski & Birk, 2006). Lisäksi simulaatiot pystyvät korjaamaan opiskelijoiden virhekäsityksiä. (Sanger & Greenbowe, 1997b; Yeziarski & Birk, 2006) Yeziarski ja Birk (2006) ovat esittäneet mahdollisia perusteluja edellä esitetyille väitteille. Simulaatiot auttavat opiskelijoita muodostamaan tai täydentämään omia mentaalimalleja submikroskooppisen tason tapahtumista tai korjaamaan tieteellisesti virheellisiä mentaalimalleja tarjoamalla toisenlaisen, mutta uskottavan kuvauksen tapahtumille.

Simulaatioiden tehokkuutta opetusmenetelmänä verrattuna staattisiin kuviin ovat epäilleet Tversky, Morrison ja Betrancourt (2002). He ovat käyneet läpi lukuisia tutkimuksia, jotka vertailevat simulaatioita ja staattisia kuvia. Näiden tutkimusten tuloksissa on kerrottu simulaatioiden tuottavan parempia oppimistuloksia kuin staattisten kuvien. Tversky, Morrison ja Betrancourt havaitsivat kuitenkin, etteivät tutkimuksissa käytetyt simulaatiot ja kuvat vastanneet sisällöltään täysin toisiaan. Simulaatiot sisälsivät enemmän informaatiota kuviin verrattuna, jolloin niiden tehokkuus opetusmenetelmänä saattoi johtua pelkästään tästä kattavammasta kuvauksesta. Joissain tutkimuksissa myös työskentelymenetelmät simulaatioiden ja kuvien parissa erosivat toisistaan. Simulaatioiden yhteydessä työskentely saattoi esimerkiksi sisältää interaktiivisuutta, jonka jo itsessään tiedetään parantavan oppimistuloksia. Näitä havaintoja vahvistaa Lewalterin (2003) tutkimustulokset, joista ilmenee, ettei dynaamisilla ja staattisilla visualisoinneilla ole keskenään eroa oppimistuloksiin. Staattisten kuvien sarja, jossa on hyödynnetty nuolia kuvastamaan liikettä, näyttävät tarjoavan yhtä paljon tietoa kuin dynaamiset visualisoinnit. Hegarty, Kriz ja Cate (2003) tutkivat staattisen kuvan ja simulaation välistä eroa opiskelumenetelmänä. Kuvan yhteydessä opiskelijoille annettiin aiheeseen liittyvä teoria tekstinä ja simulaatiossa

täysin sama tieto oli sisällytetty selostukseen. Myöskään he eivät havainneet merkittävää eroa opiskelijoiden oppimistuloksissa. He olettavat, että opiskelijat, jotka opiskelivat staattisen kuvan avulla, pystyivät muodostamaan dynaamisen mentaalimallin tekstin antaman tiedon pohjalta, eikä valmiin dynaamisen mallin antaminen näin ollen ole välttämätöntä. Verrattaessa simulaatiota ilman selostusta ja kolmen staattisen kuvan sarjaa, joka näyttää systeemin toimintaa eri vaiheissa, ei näidenkään välillä havaittu eroa. Vaikka simulaatio näyttää eksplisiittisesti dynaamiset tapahtumat, oleellisen tiedon erottaminen simulaatiosta ja sen sisällyttäminen olemassa olevaan tietoon on haasteellisempaa, koska simulaation tulkinta ja käsittely vaatii erilaisia, haasteellisempia tiedon käsittelyn taitoja kuin staattiset kuvat (Lowe, 2003).

Wu ja Shah (2004) ovat muodostaneet viisi periaatetta, jotka kemian visualisointityökalun – esimerkiksi simulaation – tulisi täyttää, jotta se tukisi mahdollisimman hyvin kemian käsitteiden ymmärtämistä ja opiskelijan visuaalista sekä avaruudellista ajattelua. Opiskelijoiden on vaikea ajatella ja esittää kemiallisia käsitteitä submikroskooppisella ja symbolisella tasolla sekä siirtyä erilaisten esitystapojen välillä. Työkalun pitäisi tarjota tutkittavalle asialle useita erilaisia esitystapoja ja kuvauksia, jotta opiskelijalle hahmottuisi erilaisten esitystapojen väliset yhteydet ja kunkin esitystavan tarkoituksenmukaisuus ilmentää tiettyjä ominaisuuksia. Toiseksi asioiden väliset yhteydet pitäisi tuoda selvästi näkyville. Esimerkiksi paineen ja molekyylien lukumäärän välistä yhteyttä voidaan havainnollistaa näyttämällä yhtä aikaa paineen muutosta kuvaajalla ja esittämällä molekyyliä ja niiden lukumäärää simulaation avulla. Tällä tavoin paineen ja molekyylien lukumäärän välinen yhteys hahmottuu ja siirtymistä erilaisten esitystapojen (kuvaaja ja molekyylimallit) välillä helpotetaan. Kolmannen periaatteen mukaan työkalun pitäisi tuoda esille kemiallisten ilmiöiden dynaaminen ja vuorovaikutteinen luonne, sillä opiskelijoiden mentaalimallit ovat usein staattisia ja heidän on vaikea visualisoida hiukkasten liikettä. Myös kolmiulotteisen mallin muodostaminen mielessä kaksiulotteista mallia katsomalla voi olla hankalaa osalle opiskelijoista. Kaksiulotteisen mallin tulisi sisältää riittävästi tietoa molekyylin muodosta esimerkiksi erilaisia sidosviivoja hyödyntäen. Neljännen periaatteen mukaan työkalun tulisi helpottaa siirtymistä eri ulottuvuuksien välillä esimerkiksi näyttämällä kaksiulotteinen ja kolmiulotteinen molekyyli samanaikaisesti. Viimeinen piirre, jota visualisointityökalulta edellytetään oppimisen tehostamiseksi, on tiedon esittäminen eksplisiittisesti ja tiedon yhdisteleminen. Näiden avulla opiskelijan kognitiivinen kuormitus vähenee ja oppiminen voi tehostua.

Tiedon prosessointi työmuistissa tapahtuu kahta erillistä kanavaa pitkin siten, että auditiivisesti esitetty tieto (kuten puhe tai musiikki) ja visuaalisesti esitetty tieto (kuten kuvat, simulaatio tai painettu teksti) käsitellään kumpikin omaa kanavaansa pitkin. Tiedon määrä, jota kummallakin kanavalla voidaan yhdellä kertaa käsitellä, on rajoitettu. Ihmiset prosessoivat vastaanottamaansa tietoa aktiivisesti ja pyrkivät luomaan siitä johdonmukaisen kokonaisuuden. Näiden tietojen pohjalta Mayer (2001, 42–58) on luonut multimediaoppimisen kognitiivisen teorian, jota on havainnollistettu kuvassa 4. Multimedialla tarkoitetaan tässä yhteydessä tiedon esittämistä useammassa kuin yhdessä muodossa, esimerkiksi sanoin ja kuvin. Jotta multimedian avulla tapahtuisi merkityksellistä oppimista, täytyy opiskelijan käydä läpi seuraavat viisi kognitiivista prosessia: sanojen valinta, kuvien valinta, sanojen järjestely, kuvien järjestely sekä tietojen yhdistäminen. Opiskelijan katsoessa esimerkiksi simulaatiota hänen sensoriseen muistiinsa tallentuu hetkellisesti silmien ja korvien kautta joitakin kuvia ja sanoja simulaatiosta. Näistä opiskelijan täytyy aktiivisesti valita esitetyn tiedon kannalta vain merkityksellisimmät ja oleellisimmat sanat ja kuvat, koska työmuistin auditiivinen ja visuaalinen kanava voi prosessoida vain tietyn määrän tietoa. Näistä valituista tiedoista muodostuu työmuistiin visuaalinen ja verbaalinen pohjatieto. Kuvassa 4 näiden välille on merkitty nuolet, koska opiskelijat pystyvät muuttamaan mielessään näitä esitysmuotoja toisikseen. Esimerkiksi kuullessaan sanan auto opiskelijalle todennäköisesti muodostuu myös mielikuva autosta. Tätä simulaation avulla hankittua tietoa edelleen organisoidaan, jotta siitä muodostuisi yhtenäinen ja johdonmukainen kokonaisuus. Valittujen sanojen ja lauseiden välille pyritään muodostamaan yhteyksiä esimerkiksi luomalla syy-seuraussuhteita. Myös kuvien välille luodaan yhteyksiä. Organisoinnin jälkeen tiedosta muodostuu visuaalinen ja verbaalinen mentaalimalli. Viimeinen vaihe on tietojen yhdistäminen, jossa eri kanavien kautta muodostetut mentaalimallit yhdistetään luomalla niiden välille yhteyksiä. Tässä vaiheessa simulaation avulla saatuun tietoon yhdistetään myös jo aiemmin hankittuja tietoja pitkäkestoisesta muistista. Näiden kaikkien tietojen yhdistämisen tuloksena muodostuu uusi malli. Mentaalimallien ollessa työmuistissa yhtä aikaa tiedon rakentaminen ja oppiminen tehostuvat (Mayer, 1997). Merkityksellisen oppimisen kannalta tämä viimeinen vaihe on oleellinen (Mayer, 2001, 42–58).



Kuva 4. Multimediaoppimisen kognitiivinen teoria. (Mayer, 2001, 44)

Mayer (2001, 63–182) on muodostanut lukuisten omien tutkimustensa pohjalta seitsemän sääntöä, jotka multimedia esityksen, kuten simulaation, tulisi täyttää parhaiden mahdollisten oppimistulosten takaamiseksi. Ensimmäinen sääntö on multimediasääntö (*multimedia principle*). Tämä pitää sisällään ajatuksen, että opiskelijat oppivat paremmin esityksestä, joka sisältää sekä kuvia että sanoja sen sijaan, että se sisältäisi pelkästään sanoja. Kuvien ja sanojen avulla opiskelija voi muodostaa kahden eri tiedon prosessointikanavan kautta kaksi erillistä mentaalimallia ja yhdistää nämä yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Pelkkien sanojen avulla opiskelijalle todennäköisesti muodostuu vain verbaalinen mentaalimalli, eikä hän näin ollen pysty luomaan yhteyksiä eri mentaalimallien välille, ja tieto rakentuu pelkästään yhden mentaalimallin pohjalta. Toinen sääntö on avaruudellinen läheisyys (*spatial contiguity principle*). Opiskelijat oppivat paremmin, jos toisiaan vastaavat sanat ja kuvat on esitetty lähellä toisiaan. Tällöin opiskelijan ei tarvitse käyttää kognitiivisia resursseja siihen, että hän etsii esimerkiksi kirjan sivuilta toisiaan vastaavia tietoja, vaan voi hyödyntää resurssit kuvien ja sanojen välisten yhteyksien muodostamiseen. Avaruudellisen läheisyyden ansiosta on myös todennäköisempää, että kuvat ja sanat ovat yhtä aikaa työmuistissa. Kolmas sääntö on ajallinen läheisyys (*temporal contiguity principle*), joka tarkoittaa sitä, että toisiaan vastaavat sanat ja kuvat tulisi esittää yhtäaikaaisesti eikä esimerkiksi peräkkäin. Esittämällä tiedot yhtä aikaa opiskelijalla on myös mentaalimallit työmuistissa yhtä aikaa ja hän pystyy muodostamaan näiden välille yhteyksiä. Jos sanat ja kuvat esitetään ajallisesti peräkkäin esimerkiksi kertomalla ensin teoria ja näyttämällä tämän jälkeen aiheeseen liittyvä äänetön simulaatio, ei opiskelija todennäköisesti pysty pitämään molempia tietoja yhtä aikaa

työmuistissa ja luomaan näiden eri esitysten välille yhteyksiä. Neljäs sääntö on johdonmukaisuus (*coherence principle*), jonka mukaan ylimääräisen materiaalin poisjättäminen parantaa oppimistuloksia. Ylimääräinen materiaali voi olla epäoleellisia sanoja tai kuvia teorian kannalta, täytesanoja tai epäoleellisia ääniä tai musiikkia. Nämä esityksen ylimääräiset osiot kuormittavat työmuistia turhaan ja saattavat näin estää oleellisten asioiden huomaamista ja oppimista. Viides sääntö on esitystapasääntö (*modality principle*). Sen mukaan opiskelijat oppivat paremmin, jos kuvan yhteydessä sanat on esitetty puhuttuna sen sijaan, että ne olisi esitetty kirjoitettuna. Jos sanat ovat kirjoitetussa muodossa, käsitellään niitä kuvien tapaan visuaalisen kanavan kautta ja auditiivinen kanava jää hyödyntämättä. Visuaalinen kanava voi tällöin ylikuormittua ja estää oppimista. Kuudes sääntö on päällekkäisyysääntö (*redundancy principle*), jolla tarkoitetaan sitä, että ylimääräistä päällekkäisyyttä tulisi välttää. Simulaatioon, jossa on kerronta, ei tulisi lisätä enää tekstiä, joka sisältää saman informaation kuin kerronta. Syynä tässäkin on visuaalisen kanavan ylikuormittuminen. Seitsemäs sääntö on yksilöllisten erojen sääntö (*individual differences principle*). Multimediaesityksen ulkoisilla ominaisuuksilla on enemmän vaikutusta heikkotasoisiin opiskelijoihin kuin enemmän tietoa omaaviin opiskelijoihin, jotka pystyvät helpommin korvaamaan esityksen puutteet esimerkiksi muodostamalla aiempien tietojensa avulla mielikuvia sanoista, vaikka niitä ei olisikaan esityksessä visualisoitu. Myös opiskelijat, joilla on hyvä avaruudellinen hahmotuskyky, hyötyvät, jos multimediaesitys on ulkoisesti hyvin suunniteltu. Tällöin heidän on helppo muodostaa visuaalinen mentaalimalli ja yhdistää se verbaalisen mentaalimallin kanssa. Avaruudellinen hahmottaminen lisäksi helpottaa visuaalisen esityksen muistamista ja käsittelyä, kun opiskelija yhdistelee mielessään visuaalista ja verbaalista esitystä yhtenäiseksi kokonaisuudeksi (Mayer, 1997). Jos hahmotuskyky on matalampi, vie simulaation visuaalinen tulkinta ja mentaalimallin rakentaminen esityksen laadusta riippumatta opiskelijan kognitiivisia resursseja, jolloin kuvien ja sanojen välisten yhteyksien muodostamiseen jää vähemmän voimavaroja kuin sellaisella opiskelijalla, jolle avaruudellinen hahmottaminen on helpompaa. (Mayer, 2001, 63–182)

Oppimista tietokonesimulaation avulla voi tehostaa, jos simulaation yhteydessä opiskelijalle esitetään refleктоivia kysymyksiä. Näiden avulla opiskelija pystyy tekemään omaa ajatteluaan itselleen näkyväksi ja pohtimaan omia käsityksiään sekä luomaan asioiden välille uusia yhteyksiä. (Davis, 2000) Ennusteiden tekeminen, kuinka jokin systeemi toimii ennen simulaation katsomista parantaa myös oppimistuloksia. Opiskelija

aktivoi tällöin aiheeseen liittyvän tietämyksensä ja mahdollisesti huomaa, jos omissa tiedoissa on puutteita. Opiskelija on tällöin aktiivisempi oppimisprosessin aikana. (Hegarty et al., 2003) Myös erilaiset tehtävät simulaation yhteydessä esimerkiksi tehtävämonisteen muodossa voivat tehostaa oppimista (de Jong & van Joolingen, 1998). Ryhmäkeskustelut simulaation katsomisen jälkeen auttavat myös opiskelijoita huomaamaan simulaatiosta sellaisia puolia, joihin he eivät itse välttämättä kiinnittäneet huomiota. Opiskelijoilla ei ole käsitystä siitä, onko simulaatio esimerkiksi yksinkertaistettu versio jostakin kemiallisesta ilmiöstä, ja saattavat muodostaa oman käsityksensä kirjaimellisesti simulaation pohjalta. Opiskelijat tulkitsevat simulaatioita myös aikaisemman tietonsa avulla ja nämä tiedot saattavat olla virheellisiä tai niitä sovelletaan virheellisesti. Opiskelijoille saattaa näin ollen muodostua virhekäsityksiä, joita tulisi estää antamalla opiskelijoille riittävät valmiudet ennen simulaatiota ja käymällä simulaation jälkeen keskustelua etenkin sellaisista asioista, jotka saattavat aiheuttaa virhekäsityksiä. (Kelly & Jones, 2007) Simulaatioon sisällytetyt visuaaliset apukeinot, kuten symbolit, nuolet tai laatikot, voivat myös auttaa opiskelijoita keskittymään olennaisiin asioihin ja tapahtumiin (Falvo, 2008). Äänen liittäminen simulaatioon mahdollistaa myös sellaisen informaation välittämisen, joka on pelkän kuvan avulla vaikea ilmaista. Selostus auttaa opiskelijaa lisäksi kiinnittämään huomionsa kulloinkin oikeaan kohtaan, esimerkiksi jotkin pienet yksityiskohdat saattaisivat muuten jäädä huomaamatta. (Hegarty et al., 2003) Simulaatiossa tapahtumat saattavat olla hyvin nopeita tai yhtä aikaa tapahtuu monia eri asioita. Oppimisen tehostamiseksi olisi hyvä, jos opiskelija pystyisi itse vaikuttamaan simulaation etenemisnopeuteen esimerkiksi pysäyttämällä simulaation tarvittaessa tai toistamalla jonkin kohdan uudelleen. Yhdellä katselukerralla on hyvin todennäköistä, että jotakin oleellista jää huomaamatta, ja sanojen ja kuvien yhtäaikainen vastaanottaminen nopeaan tahtiin saattaa estää kognitiivisen kuormittavuutensa takia opiskelijaa järjestelemästä uutta tietoa mielessä mielekkääksi kokonaisuudeksi ja tiedon sitomisen jo olemassa olevaan tietoon. (Mayer & Chandler, 2001; Hegarty et al., 2003)

5. TUTKIMUS

5.1 Tavoitteet

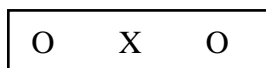
Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa lukiolaisten vaikeuksia ja virhekäsityksiä sähköpariin liittyen aihealueista elektronien ja ionien liike sekä suolasilta. Lisäksi tavoitteena on selvittää, muuttaako tutkimukseen valittu sähköparin tietokonesimulaatio lukiolaisten käsityksiä sähköparista. Tarkoituksena on myös kartoittaa lukiolaisten näkemyksiä opetuksen ja oppimisen kannalta hyvästä simulaatiosta.

Tutkimusta ohjaavat seuraavat kysymykset:

1. Millaisia vaikeuksia ja virhekäsityksiä opiskelijoilla esiintyy sähköparista?
2. Vaikuttaako sähköparin tietokonesimulaatio opiskelijoiden sähköparin käsityksiin?
3. Millainen simulaatio on opiskelijoiden mielestä hyvä opetuksen ja oppimisen näkökulmasta?

5.2 Toteutus

Tutkimus on kokeellinen tapaustutkimus, joka toteutettiin kyselytutkimuksena. Aineisto kerättiin kyselylomakkeilla joulukuussa 2014 sekä maaliskuussa 2015. Tutkimus on asetelmaltaan esikokeellinen eli tutkimuksessa ei ole käytetty kontrolliryhmää. Tarkemmin asetelma on yhden ryhmän ennen-jälkeen-asetelma, jota voidaan havainnollistaa seuraavasti:



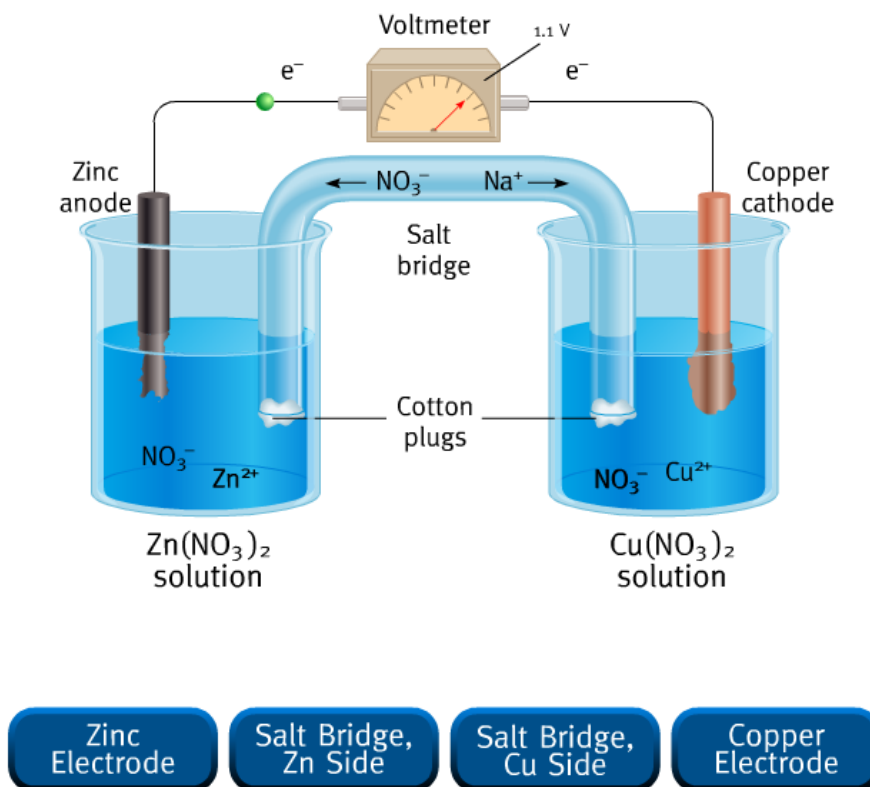
Tässä O tarkoittaa koeryhmällä suoritettua alku- sekä loppumittausta, jotka tässä tutkimuksessa olivat keskenään täysin samat kyselylomakkeet. X tarkoittaa koeryhmälle tehtyä käsittelyä eli tietokonesimulaation parissa työskentelyä. (Metsämuuronen, 2005, 1163) Aineisto kerättiin todellisuudessa kahdelta eri ryhmältä, jotta otoskoko saatiin suuremmaksi. Aineistoa käsitellään kuitenkin yhtenä kokonaisuutena, koska molemmilla ryhmillä oli samanlainen käsittely mittausten välissä. Näin ollen ryhmien välillä ei pitäisi olla tutkimuksen toteutuksen osalta juuri lainkaan eroa.

Kyselylomake, jota tutkimuksessa käytettiin, on Sangerin ja Greenbowen (2000) laatima virhekäsitystesti sähköparista. Lomake on suomennettu ja alkumittauksen lomakkeen alkuun on lisätty osio opiskelijan taustatietojen kartoittamiseksi. Lomakkeen tehtävistä 1, 9 ja 10 on osittain muokattu alkuperäisistä tehtävistä tutkimukseen paremmin soveltuviksi. Lisäksi tehtävä 8 on lisätty lomakkeeseen Sangerin ja Greenbowen (1997b) aikaisemmasta tutkimuksesta. Lomakkeen tehtävistä yksi (tehtävä 1) on avoin tehtävä, jossa opiskelijan tuli laskea annettujen tietojen avulla sähköparin lähdejännite ja kirjoittaa kokonaisreaktioyhtälö. Tehtävässä oli lisäksi annettu sähköparin kuva, johon myös tehtävät 2–7 pohjautuivat. Loput tehtävistä (tehtävät 2-10) ovat monivalintatehtäviä, jotka käsittelevät muun muassa suolasillan merkitystä sekä ionien ja elektronien kulkua sähköparissa. Tehtävässä 8 on lisäksi avoin osio, jossa opiskelijan tuli perustella valitsemaansa vastausta. Kyselylomakkeet ovat liitteenä (LIITE 1 ja 3).

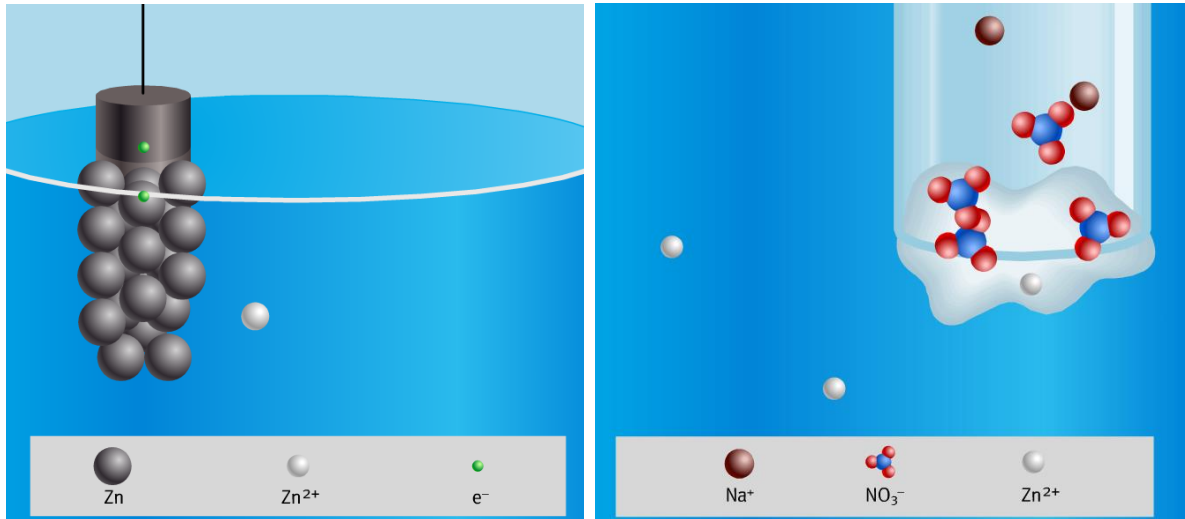
Tutkimus toteutettiin molemmissa ryhmissä samalla tavalla. Ennen varsinaista tutkimusta edeltävällä oppitunnilla (75 min) opiskelijoille oli opetettu sähköparin teoria: elektrodilla tapahtuvat reaktiot, kokonaisreaktioyhtälön kirjoittaminen, lähdejännitteen laskeminen sekä sähköparin rakenne ja toimintaperiaate. Sähköparia käsiteltiin kirjan kuvien ja taululle piirretyn kuvan avulla ilman dynaamisia kuvia. Edeltävillä tunneilla oli lisäksi käsitelty hapettumis-pelkistymisreaktioita ja harjoiteltu normaalipotentialien käyttöä. Opiskelijoille oli kerrottu, että sähköparia seuraavalla oppitunnilla on aiheeseen liittyen pistokoe sekä tutkimus. Täysi-ikäisiltä opiskelijoilta tai alaikäisten opiskelijoiden huoltajilta oli kysytty lupa käyttää opiskelijoiden vastauksia pro gradu -tutkielman aineistona. Tutkimuksen alkumittaus toimi samalla opiskelijoille pistokokeena. Kyselylomake jaettiin jokaiselle opiskelijalle paperisena ja lomakkeen täyttämiseksi sai käyttää apuna laskinta sekä taulukkokirjaa. Jotta ryhmien opettaja sai tietää, kuinka opiskelijat pärjäsivät pistokokeessa, kysyttiin kyselylomakkeen taustatiedoissa vastaajan nimeä. Tutkimuksessa vastauksia on kuitenkin käsitelty nimettöminä. Pistokokeen tarkoituksena oli saada opiskelijat opiskelemaan sähköparin teoriaa vielä oppitunnin jälkeen itsenäisesti, jotta tutkimuksen tulokset olisivat luotettavampia (ks. luku 5.5).

Alkumittauksen kyselylomakkeen palautettuaan opiskelijat ryhtyivät omaan tahtiin työskentelemään tietokonesimulaation parissa. Jokaisella opiskelijalla oli käytössään tietokone, ja heille annettiin kyselylomakkeen palauttamisen yhteydessä moniste, jossa oli ohjeet ja tehtävät itsenäistä tietokonetyöskentelyä varten (LIITE 2). Monisteessa oleva

simulaation www-osoite oli jaettu opiskelijoille myös Wilman kautta, jotta heidän ei tarvinnut kirjoittaa osoitetta uudelleen. Monisteen tehtävät oli laadittu siten, että ne ohjasivat opiskelijoita kiinnittämään huomiota oikeisiin asioihin ja miettimään perusteluja havaituille tapahtumille. Näiden tehtävien tarkoituksena oli vähentää simulaation aiheuttamaa kognitiivista kuormitusta, jotta opiskelijoiden oppiminen ei estyisi simulaation kuormittavuuden vuoksi (Ardac & Akaygun, 2005). Tutkimukseen valittu simulaatio oli Internetistä löytyvistä sähköparin simulaatioista selkein, informatiivisin ja tutkimukseen parhaiten soveltuva. Simulaation aloitusnäkyssä (Kuva 5) näytetään ensin sähköparin toimintaa kokonaisuutena ja tämän jälkeen pystyy zoomaamaan elektrodien sekä suolasillan ja elektrolyyttiliuoksien rajapintaan napsauttamalla aloitusnäkyä painikkeita, jolloin näkee tapahtumat submikroskooppisella tasolla (Kuva 6). Ohjemonisteen lopussa opiskelijoilta kerättiin vielä palautetta, millainen on heidän mielestään hyvä simulaatio oppimisen ja opetuksen kannalta.



Kuva 5. Simulaation aloitusnäky (The McGraw-Hill Companies, 2001).



Kuva 6. Simulaation submikroskooppisen tason tapahtumat sinkkielektrodilla sekä sinkkinitraattiliuoksen ja suolasillan välillä (The McGraw-Hill Companies, 2001).

Tietokonetyöskentelyn päätyttyä opiskelijat palauttivat ohjemonisteen ja sammuttivat tietokoneet. Tämän jälkeen he saivat loppumittausta varten paperisena kyselylomakkeen, jonka täyttämässä sai taas hyödyntää laskinta ja taulukkokirjaa. Myös tässä kyselylomakkeessa oli kenttä nimeä varten, jotta opettaja sai tietää opiskelijoiden tulokset. Tutkimuksessa vastauksia on kuitenkin käsitelty nimettöminä.

5.3 Kohderyhmä

Tutkimukseen osallistui 35 opiskelijaa yhdestä Uudellamaalla sijaitsevasta yleislukiosta. Opiskelijoista 18 oli miehiä ja 17 naisia, ja he olivat pääasiassa toisen vuoden opiskelijoita. Heidän tähän asti opiskeltujen lukion kemian kurssien arvosanojen keskiarvo oli noin 8,1. Opiskelijat olivat kahdelta eri kemian syventävältä KE4 Metallit ja materiaalit -kurssilta. Opiskelijat oli jaettu satunnaisesti näille kursseille. Molemmilla kursseilla oli sama opettaja, joten eri ryhmien opiskelijoiden pohjatietoja sähköparista ja siihen liittyvistä asioista, kuten hapettumis-pelkistymisreaktioista, voitiin pitää opetuksen perusteella samanlaisina.

5.4 Aineiston analysointi

Opiskelijoiden alku- sekä loppumittaus suoritettiin paperisilla kyselylomakkeilla. Analysoinnin ensimmäinen vaihe oli aineiston siirtäminen sähköiseen muotoon siten, että monivalintaosion vastaukset sekä kunkin vastaajan kokonaispisteet koottiin Excel- taulukkoon. Samaan tiedostoon koottiin myös avoimien tehtävien vastaukset. Ennen nimitietojen poistamista kunkin opiskelijan alku- sekä loppumittauslomakkeet numeroitiin samalla numerolla, jotta jokaisen opiskelijan alku- sekä loppuvastaukset pystytään yhdistämään toisiinsa. Monivalintatehtävien osalta analysoitiin frekvenssit ja prosentit. Lisäksi näistä prosenteista muodostettiin jokaisen tehtävän osalta pylväskaaviot, jotta alku- ja loppumittauksen vastauksien jakauma havainnollistui paremmin.

Tutkimuksessa tutkittiin samoja henkilöitä kaksi kertaa, jolloin saadut vastaukset ovat riippuvaisia toisistaan eli parittaisia. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, onko opiskelijoiden vastauksissa kokonaisuudessaan tapahtunut muutosta simulaation seurauksena. Sopivin analysointimenetelmä tähän tarkoitukseen oli Wilcoxonin merkkitesti, joka vertaa parittaisten vastausten keskiarvoja toisiinsa. Tämän testin edellytyksenä on, että mittaus on välimatka-asteikollinen, kaikkien parien vastausten välisten erotusten jakauma on symmetrinen ja erotukset ovat toisistaan riippumattomia (Metsämuuronen, 2005, 958). Aineiston osalta muut ehdot täyttyivät, mutta symmetrisyys täytyi tarkistaa. Tämä tehtiin Statistix 9 -ohjelmalla tutkimalla jakauman vinoutta, erotusten keskiarvoa ja mediaania. Jakauma on symmetrinen, jos vinous saa arvon nolla (Intercapital invest, 2015). Aineiston vinoudeksi saatiin $-0,0356$. Lukuarvo on hyvin lähellä nollaa, jolloin aineistoa voidaan pitää symmetrisenä. Symmetrisyys tarkistettiin vielä keskiarvon ja mediaanin avulla. Näiden arvojen tulisi olla keskenään samat, jos jakauma on symmetrinen (Metropolia, 2015). Erotusten keskiarvoksi saatiin $2,0857$ ja mediaaniksi $2,0000$. Näin ollen Wilcoxonin merkkitestin ehdot täyttyivät. Wilcoxonin merkkitestin tuloksena Statistix 9 -ohjelmalla saatiin p-arvo, joka kertoo nollahypoteesin hylkäämisen merkitsevyytason. P-arvo voidaan tulkita myös luvuksi, joka prosenteiksi muutettuna kertoo nollahypoteesin virheellisen hylkäämisen riskin tai todennäköisyyden, jolla nollahypoteesin mukainen tilanne toteutuu havaitussa jakaumassa. (Metsämuuronen, 2005, 398) Wilcoxonin merkkitestin nollahypoteesina on, että parittaisten vastausten välillä ei ole lainkaan eroa. Havaittuja p-arvoja on tutkimuksessa verrattu kiinteisiin p-arvoihin. Näiden mukaan p-arvon ollessa pienempi kuin $0,001$ voidaan tuloksen sanoa olevan tilastollisesti erittäin

merkitsevä. Jos p-arvo on pienempi kuin 0,01, on tulos tilastollisesti merkitsevä. Havaitun p-arvon ollessa pienempi kuin 0,05 voidaan tulosta luonnehtia melkein merkitseväksi. Tätä suuremmat p-arvot tarkoittavat, ettei tulos ole tilastollisesti lainkaan merkitsevä. Todennäköisyys, että nollahypoteesi toteutuukin, on tällöin jo sen verran suuri, ettei nollahypoteesia voida kumota. (Metsämuuronen, 2005, 416–417) Mitä pienempi havaittu p-arvo siis on, sitä luotettavampi saatu tulos on.

Yksittäisten monivalintatehtävien alku- sekä loppumittauksen vastauksia verrattiin toisiinsa merkkitestin avulla Statistix 9 -ohjelmalla. Merkkitestin tuloksena saatujen p-arvojen avulla selvitettiin, onko jonkin yksittäisen tehtävän kohdalla tapahtunut muutos merkitsevä eli voidaanko nollahypoteesi hylätä. Merkkitestin nollahypoteesina on, että parittaisten havaintojen välillä ei ole eroa. Merkkitesti vertailee parittaisia havaintoja, jotka voidaan luokitella kahteen ryhmään: + ja -. Jos havaintoarvoissa ei ole tapahtunut muutosta mittausten välillä, merkitään tällaista havaintoa nolllalla. Merkkitesti vertailee plus- ja miinusmerkkien lukumäärää toisiinsa ja jättää nolla-arvot huomiotta. Merkkitestin rajoituksena on, että yksittäisten pariin tulee olla riippumattomia muista pareista ja mittaus on suoritettu vähintään järjestysasteikollisella mittarilla. (Metsämuuronen, 2005, 948–949)

Tietokonesimulaation ohjemonisteessa kysyttiin, millainen simulaatio on hyvä oppimisen ja opetuksen kannalta. Vastauksia analysoitiin tämän kysymyksen osalta aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä. Analyysi perustuu tulkintaan ja päättelyyn, jossa kerätystä aineistosta pyritään luomaan käsitteellisempi näkemys. Analysointi koostuu kolmesta vaiheesta: aineistoin pelkistämisestä, ryhmittelystä ja käsitteellistämisestä. Aineiston pelkistämävaiheessa vastauksista etsitään tutkimuksen kannalta oleelliset ilmaukset ja kaikki muu karsitaan pois. Näin vastaukset saadaan tiivistettyä ja voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen. Ryhmittelyssä aineistosta kerätyt ilmaukset jaetaan luokiksi siten, että yhdessä luokassa on samaa tarkoittavia ilmauksia. Jokaiselle luokalle annetaan nimi, joka kuvastaa sen sisältöä. Sisällönanalyysin viimeisessä vaiheessa eli käsitteellistämisessä aineistossa esiintyneistä ilmauksista pyritään luomaan teoreettisia käsitteitä. Käsitteellistämiseen kuuluu myös aiemmin luotujen luokkien yhdisteleminen niiden sisältöjen perusteella uusiksi luokiksi. Edelleen näille luokille annetaan niiden sisältöä kuvaavat nimet. (Tuomi & Sarajärvi, 2002, 110–115) Tässä tutkimuksessa muodostettiin ensin alaluokkia, joita yhdistettiin sisältöjen perusteella vielä suuremmiksi yläluokiksi.

5.5 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimus oli pääasiassa luonteeltaan kvantitatiivista. Aineistoa analysoitiin merkkitestillä sekä Wilcoxonin merkkitestillä. Molemmat menetelmät soveltuvat parittaisten otosten vertailuun eli tässä tutkimuksessa saman opiskelijan alku- ja loppumittauksen vastauksien vertailuun. Molempien menetelmien rajoituksena on, että yksittäisten vastausparien tulee olla riippumattomia muista pareista ja käytetyn mittarin on oltava vähintään järjestysasteikollinen. Lisäksi Wilcoxonin merkkitesti edellyttää, että jokaiseen vastauspariin liittyvien pistemäärien erotusten jakauma on symmetrinen. (Metsämuuronen, 2005, 949–958) Kaikki edellä mainitut ehdot täyttyivät tutkimuksessa.

Tutkimuksessa käytetty mittari eli virhekäsitystesti oli Sangerin ja Greenbowen (2000) luoma testi. Tähän testiin lisättiin Sangerin ja Greenbowen (1997b) tutkimuksesta vielä yksi kysymys. Heidän tutkimuksessaan ei kerrottu lainkaan, oliko mittarin luotettavuutta testattu. Tässä tutkimuksessa käytetyn mittarin luotettavuutta tarkasteltiin Cronbachin alfan avulla. Alfa kuvastaa tutkimuksen reliabiliteettia eli sitä, onko tutkimus toistettavissa. Reliabiliteetin avulla voidaan arvioida, kuinka paljon mittaustulos sisältää mittausvirhettä ja kuinka johdonmukaisesti mittari toimii (Nummenmaa, 2009, 351). Jos mittari on reliabeeli, saadaan samalla mittarilla eri mittauskerroilla melko samanlaisia tuloksia (Metsämuuronen, 2005, 65). Cronbachin alfa tutkii mittarin sisäistä konsistenssia eli yhtenäisyyttä. Tämä tapahtuu siten, että mittari jaetaan kahteen osaan, ja näitä puoliskoja verrataan toisiinsa. Jos mittarin eri osiot todella mittaavat samoja asioita, pitäisi näiden puoliskojen korreloida keskenään oli puoliskot muodostettu millä tavalla tahansa. Cronbachin alfa kertoo kaikkien mahdollisten mittarista muodostettavissa olevien puolitusten korrelaatioiden keskiarvon (Metsämuuronen, 2005, 511–512). SPSS 22 -ohjelmalla saatiin alfan arvoksi 0,762. Mittarin reliabiliteettia voidaan siis pitää hyvänä, sillä hyväksyttävän alfan alarajana pidetään usein arvoa 0,70 (Tavakol & Dennick, 2011). Kaikki kyselylomakkeen tehtävät korreloivat hyvin ja positiivisesti [0,164; 0,698] kyselylomakkeen kokonaispistemäärän kanssa (LIITE 6). Kaikki tehtävät eivät kuitenkaan korreloi keskenään, vaan joidenkin tehtävien keskinäinen korrelaatio on hyvin lähellä nollaa. Kuitenkaan minkään tehtävän poisjättäminen kyselylomakkeesta ei olisi nostanut merkittävästi alfan arvoa. Kolmen tehtävän (1, 9 ja 10) kohdalla näiden poisjättäminen olisi nostanut alfaa jonkin verran, mutta enimmillään kuitenkin yhden tehtävän osalta 0,015. Mittaria voidaan siis pitää luotettavana.

Osa tutkimuksesta, hyvän simulaation piirteet, analysoitiin laadullisesti aineistolähtöisellä sisällönanalyyysillä. Tämän osalta tutkimuksen luotettavuutta on pyritty lisäämään kuvaamalla aineiston analysointia mahdollisimman tarkasti sekä kertomalla aineistosta muodostetut ala- sekä yläluokat. Alaluokkia on lisäksi kuvattu sanallisesti kokoamalla opiskelijoiden näkemyksiä yhteen. Tätä luotettavuuden kriteeriä kutsutaan vahvistettavuudeksi. Toinen kriteeri on uskottavuus. Tämä on otettu huomioon siten, että tutkimuksessa on pyritty puolueettomuuteen siltä osin kuin se on mahdollista niin, etteivät tutkijan omat näkemykset vaikuttaisi aineiston tulkintaan. Opiskelijoiden näkemyksiä pyrittiin tulkitsemaan sillä tavoin kuin he ovat ne tarkoittaneet. (Tuomi & Sarajärvi, 2002, 136–137) Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta heikentää jonkin verran, ettei opiskelijoilla ollut juurikaan kokemusta simulaatioista. Taustatiedoissa opiskelijoilta kysyttiin, oliko opetuksessa tai olivatko he itse hyödyntäneet opiskelussa simulaatioita tai videoita. Vastauksista ilmeni, että opiskelussa sekä opetuksessa oli hyödynnetty lähes yksinomaan videoita. Opiskelijoiden näkemykset hyvästä simulaatiosta pohjautuivat siis vahvasti tutkimuksessa käytettyyn simulaatioon.

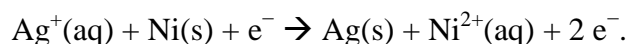
Tutkimuksen tulosten luotettavuuteen on oleellisesti vaikuttanut tutkimusasetelma: yhden ryhmän ennen-jälkeen-asetelma. Tutkimuksessa opiskelijoille tehtiin alku- sekä loppumittaus ja näiden välissä opiskelijat työskentelivät tietokonesimulaation parissa. Tällä tavoin pystyttiin selvittämään osaamisessa tapahtunut muutos. Tapahtuneet muutokset ja niistä tehdyt johtopäätökset eivät kuitenkaan ole täysin aukottomia, sillä tutkimuksessa ei ollut mukana kontrolliryhmää (Metsämuuronen, 2005, 1163). Tutkimuksen luotettavuutta pyrittiin parantamaan sillä, että sähköparin opettamisen jälkeen opiskelijoille kerrottiin, että seuraavalla tunnilla on aiheesta pistokoe. Ajatuksena oli, että tällä tavoin opiskelijat opiskelisivat vielä teoriaa itsenäisesti oppitunnin jälkeen ja teoria olisi hallussa seuraavalla tunnilla. Kuitenkin on huomattava, etteivät kaikki opiskelijat oletettavasti opiskelleet aihetta oppitunnin jälkeen. Näin ollen opetetut asiat palautuivat mieleen simulaation parissa työskennellessä ja tulokset paranivat loppumittauksessa alkumittaukseen verrattuna. Tämä heikentää siis tutkimuksen validiteettia. Validiteetilla kuvastetaan tutkimuksen luotettavuutta siltä osin, että mitataanko sitä, mitä on tarkoitus mitata (Metsämuuronen, 2005, 65). Tutkimuksen pieni otoskoko (N=35) ja opiskelijoiden valikoituminen tutkimukseen vain yhdestä lukiosta aiheuttavat sen, etteivät tulokset ole yleistettävissä vaan ovat suuntaa antavia.

6. TUTKIMUKSEN TULOKSET

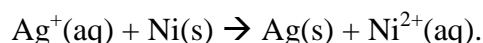
Tutkimuksen tulokset esitellään tutkimuskysymyksittäin.

6.1 Opiskelijoiden vaikeudet ja virhekäsitykset sähköpariin liittyen

Kyselylomakkeen osiossa II tutkittiin opiskelijoiden virhekäsityksiä sähköparista. Tässä luvussa käsitellään alkumittauksessa havaittuja virhekäsityksiä. Osion ensimmäinen tehtävä oli avoin tehtävä, jossa piti määrittää sähköparin lähdejännite annettujen pelkistymispotentiaalien avulla sekä kirjoittaa kokonaisreaktion yhtälö puolireaktioiden avulla. Lähdejännitteen laskemisessa havaittiin kaksi erityyppistä virhettä. Vastaajista 26 % oli laskenut lähdejännitteen pelkistymispotentiaalien summana. Toisessa havaitussa virheessä pelkistymispotentiaalin arvo oli kerrottu samalla luvulla, jolla vastaava puolireaktio oli kerrottu siirtyvien elektronien määrän tasaamiseksi hapettumis-pelkistymisreaktiossa. Tämän virheen osuus vastauksista oli kuitenkin vain 3 %. Kokonaisreaktioyhtälön kirjoittamisen osalta havaittiin kolme virhekäsitystä. Yleisin (17 %) näistä oli, ettei hapettumisessa ja pelkistymisessä siirtyvien elektronien määrä ollut sama. Tällöin kokonaisreaktion yhtälö näytti seuraavalta:



Tai reaktioyhtälöstä oli jätetty elektronit kokonaan pois:



Toisen virhekäsityksen mukaan molemmat metallit pelkistyvät ja viimeisessä virhekäsityksessä jalompi metalli hapettui ja epäjalompi metalli pelkistyi. Näistä ensimmäistä esiintyi 11 % ja jälkimmäistä 6 %.

Tehtävät 2 ja 3, jotka olivat monivalintatehtäviä, käsittelivät elektrodeilla tapahtuvia hapettumis- ja pelkistymisreaktioita piirroskuvien avulla. Näissä havaittiin virhekäsitys, jonka mukaan elektroneja kulkee vapaana elektrolyyttiliuoksissa (vaihtoehdot b ja d). Vastaajista 34 % oli valinnut tällaisen vaihtoehdon joko toisessa tai molemmissa tehtävissä. Opiskelijoiden vastaukset näissä tehtävissä eivät myöskään olleet yhtenäisiä tehtävän 1 kanssa. 14 % niistä, jotka olivat kirjoittaneet tehtävässä 1 oikean

kokonaisreaktion yhtälön, olivat valinneet tehtävissä 2 ja 3 vaihtoehdot, joissa hapettava ja pelkistynvä aine olivat juuri toisinpäin.

Monivalintatehtävistä 4, 5, 7 ja 10 käsittelivät suolasiltaa. Tehtävissä 4 ja 5 tutkittiin sähkövirran kulkua suolasillassa. Molempien tehtävien osalta ilmeinen virhekäsitys oli, että sähkövirran saa aikaan suolasillassa kulkevat elektronit. Tehtävässä 4 elektroneja käsittelevän kohdan (vaihtoehto c tai d) valitsi 34 % vastaajista ja 31 % tehtävässä 5 (LIITE 4). Tehtävässä 7 kysyttiin suolasillan funktiota. Tämän tehtävän vastaukset tukivat hyvin tehtävissä 4 ja 5 havaittua virhekäsitystä. Vastaajista 34 % ajatteli suolasillan tehtäväksi mahdollistaa elektronien siirtyminen elektrolyyttiliuosten välillä. Lisäksi 11 % piti suolasillan tehtävänä reaktiotuotteiden kuljetusta, jotta elektrolyyttiliuosten konsentraatiot pysyisivät samanlaisina. Opiskelijoilla ei esiintynyt virhekäsitystä, että suolasillan tehtävänä olisi pitää puolikennoissa nesteen pinnat samalla korkeudella. Tätä vaihtoehtoa (a) ei valinnut kukaan alku- tai loppumittauksessa. Tehtävässä 10 piti arvioida esitetyn väitteen ja perustelun oikeellisuutta. Väitteenä oli, että sähköparin lähdejännite ei muuttuisi, jos suolasilta vaihdettaisiin grafiitiksi. Esitetty perustelu oli, että elektronit pääsisivät edelleen kulkemaan tätä siltaa pitkin. Aiemmistä tehtävistä poiketen tämän tehtävän vastaukset olivat jakautuneet tasaisemmin kaikkien vaihtoehtojen kesken. Tämän tehtävän vastaukset tukevat myös edellä esitettyä virhekäsitystä elektronien kulkemisesta suolasiltaa pitkin, sillä 36 % oli valinnut vaihtoehdon, jonka mukaan perustelu olisi oikein.

Tehtävä 6 käsitteli elektronien liikkumista sähköparissa. Tässä tehtävässä haluttiin selvittää, ajattelevatko opiskelijat elektronien kulkevan pelkästään johdinta pitkin vai johdinta ja suolasiltaa pitkin. Lisäksi selvitettiin kumpaa elektrodia kohti elektronit liikkuvat. Kaikkiaan 46 % opiskelijoista oli valinnut vaihtoehdon, jossa elektronit kulkevat johtimen lisäksi myös suolasiltaa pitkin (vaihtoehdot c ja d). Elektronien kulkusuunnan oli sekoittanut 34 % opiskelijoista, vaikka tehtävässä 1 hapettuvan ja pelkistynvän aineen oli merkinnyt väärinpäin vain 6 % opiskelijoista.

Opiskelijoiden käsityksiä elektrolyyttiliuoksien koostumuksesta sähkövarausten osalta selvitettiin tehtävässä 8. Tyypillisiksi virhekäsityksiksi opiskelijoiden keskuudessa nousivat seuraavat käsitykset molemmat 26 %:lla: elektrolyyttiliuoksissa on pieni sähkövaraus siten, että toinen liuos on positiivisesti ja toinen negatiivisesti varautunut, tai liuokset ovat varauksettomia, mutta sisältävät vapaita elektroneja. Opiskelijoita pyydettiin

lisäksi perustelemaan valitsemaansa vastausta sanallisesti. Ensimmäiseksi mainittua virhekäsitystä kuvastavat seuraavat opiskelijoiden perustelut.

”Riippuen kumpi elektrodeista on positiivinen napa, toiseen liuokseen kertyy anioneja ja toiseen kationeja vaikka suolasilta pyrkiiin tasoittamaan [varauksia].” (Opiskelija 22)

”Sillä toiseen elektrolyyttiliuokseen syntyy aina hetkellisesti pos. varaus ja toiseen neg. varaus, mitkä tasoitetaan suolasillan avulla.” (Opiskelija 27)

Jälkimmäistä virhekäsitystä kuvastavat seuraavat perustelut.

”Sillä liuoksissa on elektroneja, jotka ovat irronneet sähköparista” (Opiskelija 7)

”Liuokseen vapautuu sekä elektroneja että anioneja ja kationeja” (Opiskelija 23)

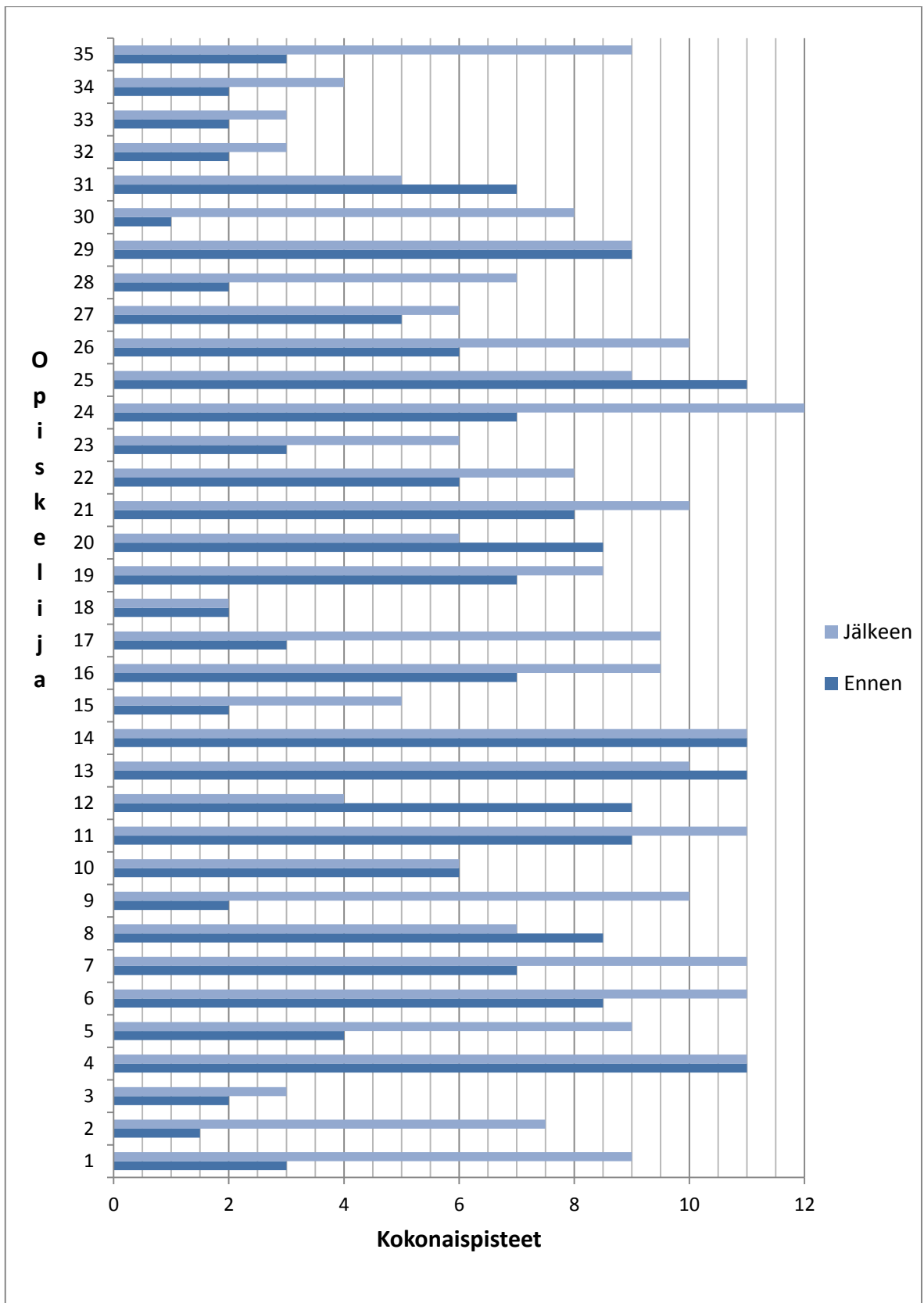
”Koska liuosten sähkövarausten pitää pysyä samana ja sen pitää sisältää elektroneja jotka voivat liikkua liuosten välillä” (Opiskelija 32)

Sähkövirran kulun aikaansaajaa elektrolyyttiliuoksessa selvitettiin tehtävässä 9. Kaikkiaan 88 % vastaajista valitsi vaihtoehdon, jossa elektronien liike oli tavalla tai toisella syynä sähkövirran kulkuun. 48 % opiskelijoista ajatteli, että elektronit kulkevat itsenäisesti elektrolyyttiliuosten läpi elektrodilta toiselle (vaihtoehto e). Opiskelijoista 24 % puolestaan ajatteli, että elektronit kulkevat liuoksen läpi siirtyen ionilta toiselle (vaihtoehto b) ja loput 15 % ajatteli elektronien kiinnittyvän liuoksen ioneihin ja etenevän näiden mukana liuoksessa (vaihtoehto a). Kenelläkään ei esiintynyt virhekäsitystä, että sähkövirran kulku olisi seurausta vesimolekyylien liikkeestä. Tätä vaihtoehtoa ei valinnut kukaan alku- tai loppumittauksessa. Huomattavaa on, että tämän tehtävän kohdalla vastausten jakauma oli hyvin erilainen kuin muiden monivalintatehtävien kohdalla. Oikea vastausvaihtoehto sai ääniä saaneista vaihtoehdoista kaikista vähiten ääniä, vain 12 %.

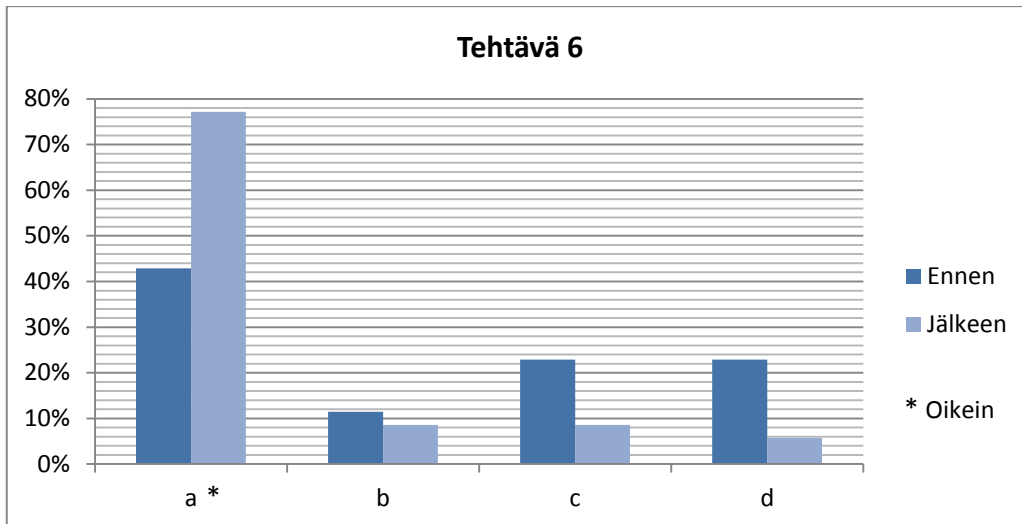
6.2 Tietokonesimulaation vaikutus opiskelijoiden käsityksiin sähköparista

Verrattaessa opiskelijoiden kokonaisosaamista alku- ja loppumittauksissa havaittiin Wilcoxonin merkkitestin avulla, että osaamisessa on tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ($p=0,0007$). Virhekäsitystestien kokonaispistemäärä oli 12: monivalintatehtävistä sai yhden pisteen ja jokaisesta avoimesta tehtävästä yhden pisteen siten, että tehtävässä 1 lähdejännitteen laskemisesta ja kokonaisreaktioyhtälöstä sai kummastakin yhden pisteen. Vastaajista 69 % suoritus parani simulaation jälkeen ja 17 % suoritus heikkeni (Kuva 7). Simulaatiolla ei ollut minkäänlaista vaikutusta 14 % vastaajista eli heillä osaamistaso pysyi samana. Alkumittauksen kokonaispisteiden keskiarvo oli 5,63 keskihajonnan ollessa 3,27. Loppumittauksessa kokonaispisteiden keskiarvo oli puolestaan 7,71 ja keskihajonta 2,78.

Yksittäisten monivalintatehtävien osalta selvitettiin frekvenssit ja prosentit (LIITE 4). Saaduista prosenteista muodostettiin lisäksi jokaiselle tehtävälle pylväskaaviot, jotka kuvastavat opiskelijoiden vastausten jakaumaa alku- ja loppumittauksissa (LIITE 5). Jokaisen monivalintatehtävän kohdalla tutkittiin merkkitestin avulla, olivatko opiskelijoiden vastaukset parantuneet merkitsevästi tietokonesimulaation jälkeen. Tehtävän 6 kohdalla muutos oli merkitsevin verrattuna muihin monivalintatehtäviin. Tehtävässä 6 selvitettiin opiskelijoiden käsitystä siitä, kulkevatko elektronit sähköparissa pelkästään johdinta pitkin vai myös elektrolyyttiliuoksissa ja suolasillassa. Vastaukset olivat parantuneet tämän tehtävän osalta tilastollisesti erittäin merkitsevästi ($p=0,0009$). Alkumittauksessa oikean vaihtoehdon a oli valinnut 43 % opiskelijoista (Kuva 8). Loppumittauksessa vastaava osuus oli 77 %. Virhekäsitystä ilmentäviä vaihtoehtoja c ja d oli kumpaakin valittu alkumittauksessa 23 %. Jälkimitauksessa näistä ensimmäisen osuus oli pienentynyt 9 %:iin ja jälkimmäisen 6 %:iin. Niiden vastaajien osuus, joilla ei esiintynyt virhekäsitystä elektronien liikkeestä mutta jotka ajattelivat elektronien kulkusuunnan väärin (vaihtoehto b), ei juurikaan simulaation myötä muuttunut.

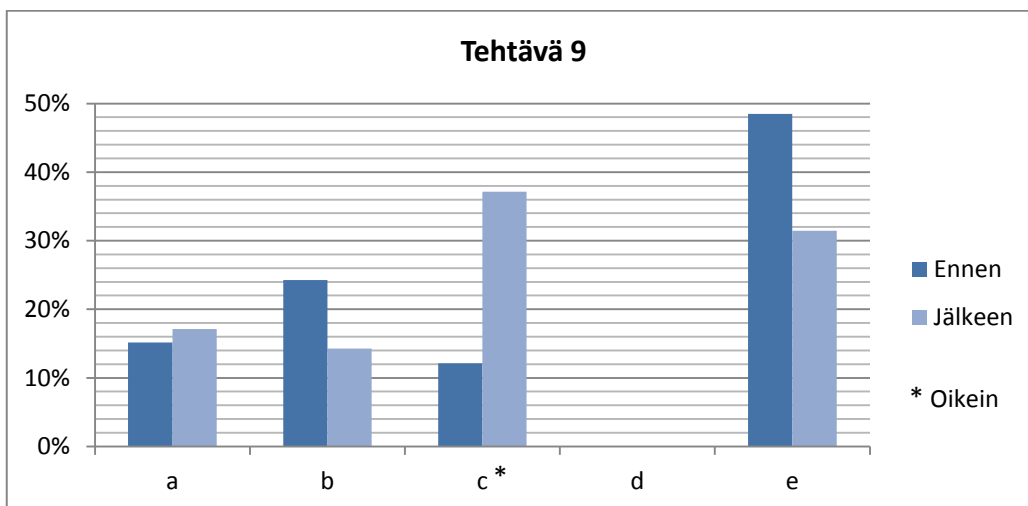


Kuva 7. Opiskelijoiden kokonaispisteet virhekäsitystestissä ennen simulaatiota ja sen jälkeen.



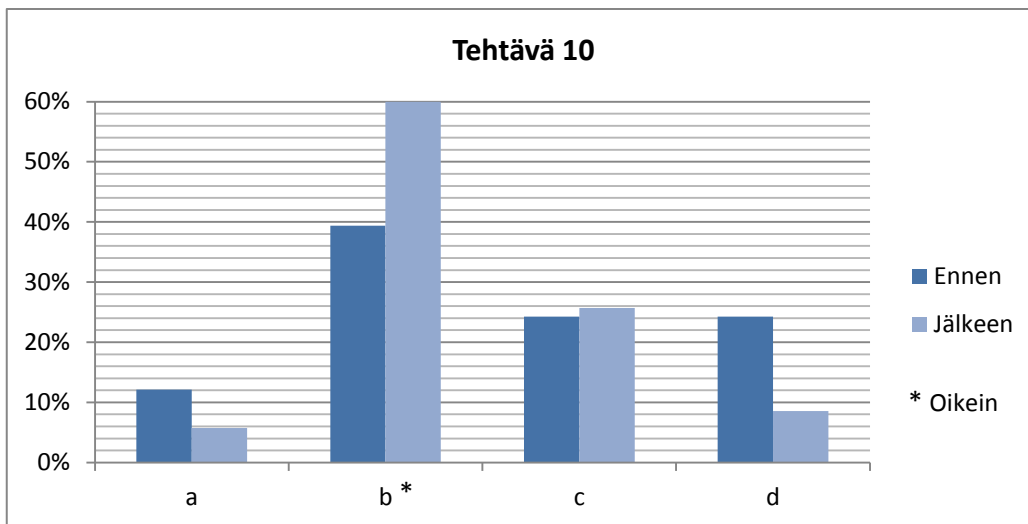
Kuva 8. Tehtävän 6 vastausjakauma prosentteina ennen simulaatiota ja sen jälkeen.

Tehtävässä 9 selvitettiin, mikä aiheuttaa sähkövirran kulun elektrolyyttiliuoksissa. Tämän tehtävän osalta vastausten parantumista voidaan pitää tilastollisesti merkitsevästä ($p=0,0112$). Tehtävän vastausten jakaumasta nähdään, että oikean vastauksen c osuus on noussut alkumittauksen 12 %:sta loppumittauksen 37 %:iin (Kuva 9). Kuitenkin vaihtoehtoja a, b ja e, jotka ilmentävät virhekesitystä, että elektronit aiheuttavat sähkövirran kulun, on valittu loppumittauksessa edelleen huomattavan paljon.



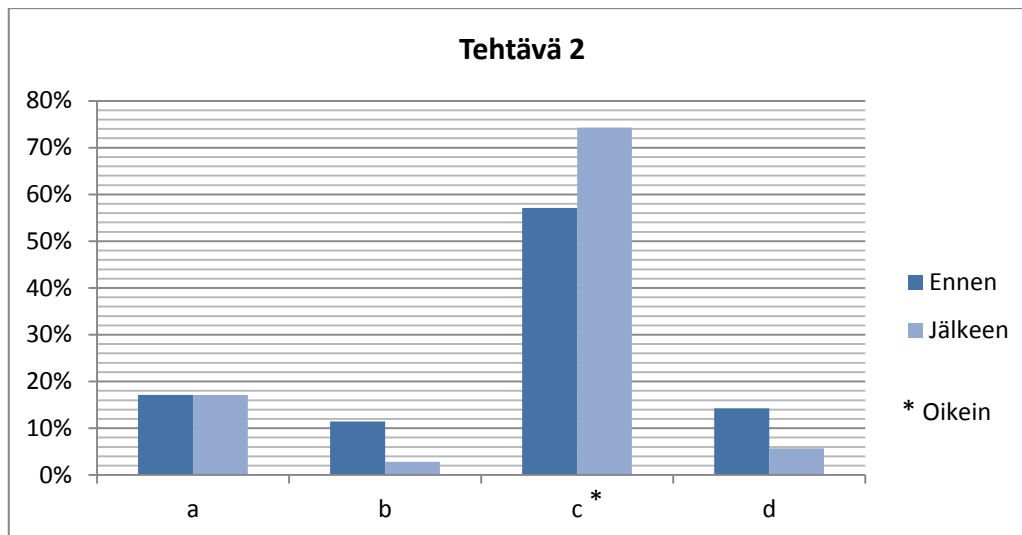
Kuva 9. Tehtävän 9 vastausjakauma prosentteina ennen simulaatiota ja sen jälkeen.

Tehtävässä 10 opiskelijoiden piti arvioida esitetyn väitteen ja perustelun oikeellisuutta. Tehtävässä väitettiin, ettei suolasillan vaihtaminen grafiitiksi vaikuttaisi sähköparin lähdejännitteeseen. Perusteluna oli, että elektronit pääsisivät edelleen kulkemaan liuoksesta toiseen sillan kautta. Merkkitestin avulla saatiin p-arvoksi 0,0193. Tämä tarkoittaa, etteivät opiskelijoiden tulokset parantuneet tilastollisesti merkitsevästi ($p > 0,01$). Havaittu p-arvo on kuitenkin sen verran pieni, että nollahypoteesi voidaan hylätä 1,93 % riskillä. Voidaan siis sanoa, että opiskelijoiden vastaukset paranivat simulaation jälkeen. Kuvasta 10 nähdään, että oikean vastauksen b osuus kasvoi huomattavasti mittausten välillä. Alkumittauksessa osuus oli 39 % ja loppumittauksessa 60 %.



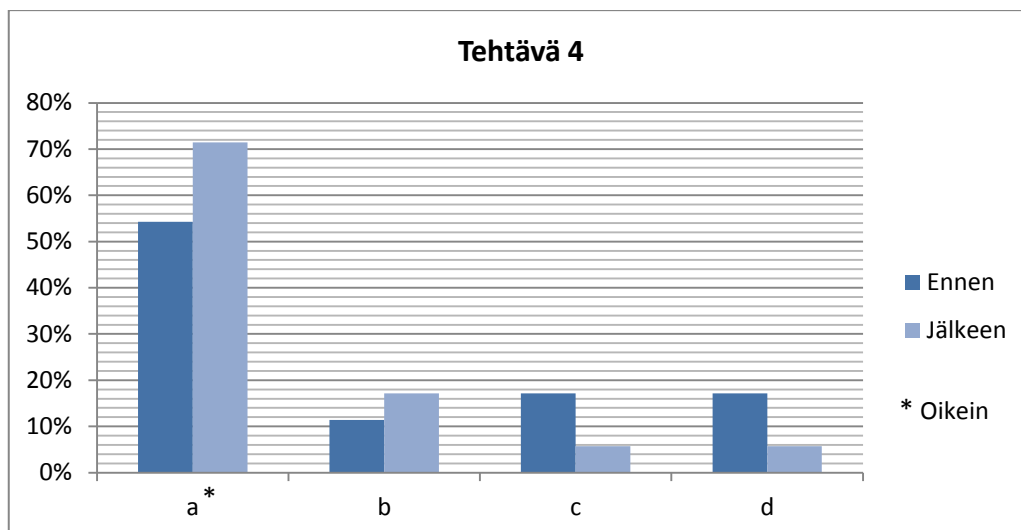
Kuva 10. Tehtävän 10 vastausjakauma prosentteina ennen simulaatiota ja sen jälkeen.

Tehtävässä 2 selvitettiin piirroskuvien avulla hopeaelektrodilla tapahtuvaa reaktiota. Mittauksien vastauksia verrattaessa merkkitestillä havaittiin, että opiskelijoiden vastaukset eivät ole parantuneet tilastollisesti merkitsevästi ($p = 0,0352$). Havaittu p-arvo on kuitenkin pienempi kuin 0,05, joten opiskelijoiden vastausten voidaan katsoa parantuneen simulaation myötä. Erityisesti havaittiin, että vaihtoehtojen b ja d osuudet pienenevät simulaation jälkeen (Kuva 11). Nämä vaihtoehdot kuvastavat virhekäsitystä, että elektrolyyttiliuoksessa on vapaita elektroneja. Vaihtoehdon a osuus kaikista vastauksista on alku- sekä loppumittauksissa sama. Simulaatio ei siis kyennyt korjaamaan käsitystä, että hopean tulisi jalompana metallina pelkistyä eikä hapettua.



Kuva 11. Tehtävän 2 vastausjakauma prosentteina ennen simulaatiota ja sen jälkeen.

Tehtävän 4 tarkoituksena oli selvittää opiskelijoiden käsitystä siitä, mikä aiheuttaa sähkövirran kulun suolasillassa hopeanitraattiliuoksen (AgNO_3) puolella. Kuten tehtävän 2 kohdalla, myös tämän tehtävän p-arvoksi merkkiteesti antoi arvon 0,0352. Tulos ei siis ole tilastollisesti merkitsevä, mutta voidaan sanoa, että opiskelijoiden vastaukset paranivat simulaation myötä. Kuvasta 12 nähdään, että simulaation jälkeen virhekäsitys elektroneista sähkövirran kuljettajina suolasillassa on pienentynyt huomattavasti. Tätä virhekäsitystä ilmentävät vaihtoehdot c ja d. Näiden yhteenlaskettu osuus alkumittauksessa oli 34 % ja loppumittauksessa 11 %. Virheellisen vaihtoehdon b osuus on simulaation jälkeen kasvanut. Tämä vaihtoehto ei kuitenkaan kuvasta varsinaista virhekäsitystä, vaan suolasillasta AgNO_3 -liuokseen vapautuvat ionit on valittu väärin.



Kuva 12. Tehtävän 4 vastausjakauma prosentteina ennen simulaatiota ja sen jälkeen.

Muiden monivalintatehtävien kohdalla merkkitestin avulla saadut p-arvot ovat suurempia kuin 0,05 (Taulukko 1). Tällöin nollahypoteesia ei voida hylätä. Näin ollen näiden tehtävien kohdalla opiskelijoiden vastaukset eivät parantuneet. Vaikka vastausjakaumissa silmämääräisesti havaitaan muutosta, voi tämä näiden tehtävien kohdalla suuren p-arvon vuoksi olla pelkästään sattumaa (LIITE 5). Tehtävässä 1, jossa piti laskea sähköparin lähdejännite ja kirjoittaa kokonaisreaktion yhtälö, eivät opiskelijoiden vastaukset juurikaan parantuneet. Ainoastaan virhekäsitys, että molemmat aineet pelkistyvät, väheni opiskelijoiden keskuudessa 11 %:sta 3 %:iin.

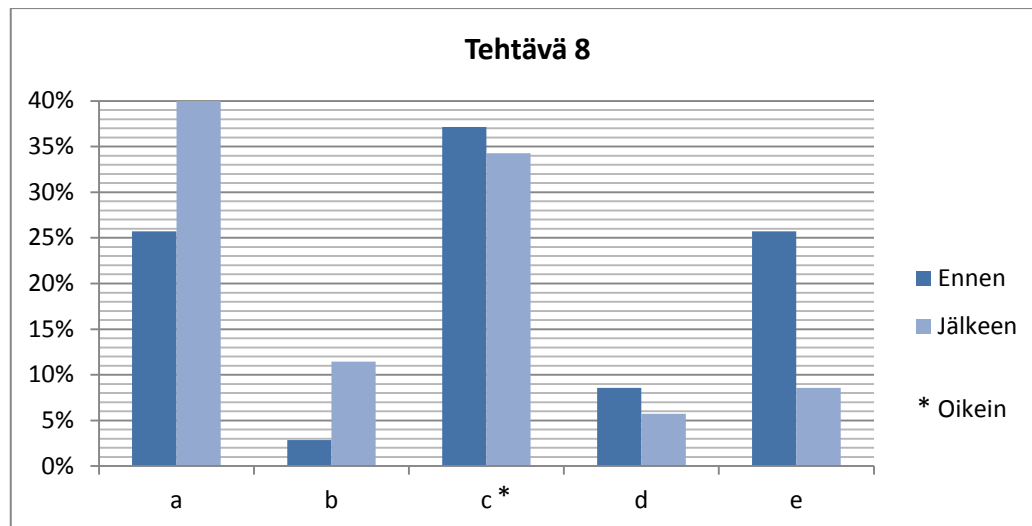
Taulukko 1. Merkkitestillä saadut p-arvot tehtäville 3, 5, 7 ja 8.

Tehtävän numero	Havaittu p-arvo
3	0,0547
5	0,1133
7	0,0592
8	0,6230

Tehtävässä 8 selvitettiin opiskelijoiden käsityksiä elektrolyyttiliuosten koostumuksesta sähkövarausten osalta. Tämä tehtävä poikkesi vastausjakaumansa puolesta kaikista muista monivalintatehtävistä. Kaikkien muiden tehtävien kohdalla oikean vaihtoehdon osuus vastauksista on kasvanut alku- ja loppumittauksia verrattaessa. Lisäksi loppumittauksessa oikea vastaus on saanut kaikista vaihtoehdoista eniten ääniä. Tehtävässä 8 oikean vastauksen c osuus pieneni loppumittauksessa ja vaihtoehtojen a sekä b osuudet kasvoivat huomattavasti (Kuva 13). Vaihtoehto a kuvasi tilannetta, jossa elektrolyyttiliuoksissa oli pienet varaukset, ja b kuvasi tilannetta, jossa positiivinen ja negatiivinen varaus ovat omilla puolikennoissaan. Loppumittauksessa vaihtoehto a oli vaihtoehdoista suosituin. Vaihtoehdon e osuus pieneni voimakkaasti: Alkumittauksessa vaihtoehto e, jossa elektrolyyttiliuoksissa on vapaita elektroneja, sai 26 % vastauksista. Loppumittauksessa vastaava osuus oli vain 9 %. Opiskelijoiden kirjoittamien avoimien perustelujen perusteella kuitenkin moni niistä, joka oli valinnut vaihtoehdon a, ajatteli suolasillan tasoittavan liuoksissa olevat varaukset, jotka olisivat vain hetkellisiä:

”Ionien määrästä johtuu pieni varausero, mutta se tasautuu suolasillan kautta” (Opiskelija 6)

”Varaukset tasoittuvat liuoksissa suolasillassa kulkeutuvien ionien avulla” (Opiskelija 30).



Kuva 13. Tehtävän 8 vastausjakauma prosentteina ennen simulaatiota ja sen jälkeen.

6.3 Opiskelijoiden näkemykset hyvästä simulaatiosta opetuksen ja oppimisen näkökulmasta

Tietokonetyöskentelyn päätteeksi opiskelijat vastasivat ohjemonisteessa olleeseen kysymykseen, millainen simulaatio olisi heidän mielestään hyvä opetuksen ja oppimisen kannalta. Monet opiskelijat peilasivat omaa näkemystään tutkimukseen valitun simulaation kautta. Aineistolähtöisen analyysin avulla muodostettiin vastauksista kolme yläluokkaa: visuaalisuus, auditiivisuus ja käytettävyys. Nämä yläluokat jaettiin vielä alaluokkiin ja jokaiselle alaluokalle laskettiin frekvenssit sen perusteella, kuinka monessa vastauksessa kyseinen alaluokka esiintyi. Visuaalisuus jaettiin neljään alaluokkaan, jotka ovat värit, tehosteet, selkeys ja konkreettisuus. Auditiivisuus jaettiin alaluokkiin selostuksen kieli ja selostuksen laatu. Käytettävyys koostui vain yhdestä alaluokasta: toiston mahdollisuus. Jokaista alaluokkaa on kuvattu sanallisesti kokoamalla opiskelijoiden näkemyksiä yhteen. Aineistolähtöisen analyysin tulokset on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Opiskelijoiden näkemykset hyvästä simulaatiosta opetuksen ja oppimisen näkökulmasta.

Yläluokka	Alaluokka (f)	Opiskelijoiden näkemyksiä tiivistetysti
Visuaalisuus	Värit (2)	Simulaatiossa tulisi hyödyntää värejä.
	Tehosteet (3)	Teorian kannalta oleelliset asiat tulisi esittää tekstinä ja osoittaa nuolilla.
	Selkeys (19)	Simulaation tulisi olla selkeä kokonaisuus ja yksinkertaistettu ilman ylimääräisiä yksityiskohtia.
	Konkreettisuus (10)	Simulaation tulisi havainnollistaa tapahtumia molekyyllitasolla ja selventää mitä tapahtuu ja miksi.
Auditiivisuus	Selostuksen kieli (7)	Selostuksen tulisi olla suomenkielinen, jotta oppiminen tehostuisi.
	Selostuksen laatu (14)	Selostuksen tulisi olla selkeää ja yksinkertaista sekä keskittyä vain teorian kannalta oleellisiin asioihin.
Käytettävyys	Toiston mahdollisuus (4)	Simulaatiota pitäisi pystyä kelaamaan taaksepäin tai se pitäisi olla helposti toistettavissa.

Simulaation visuaalisiin ominaisuuksiin oli kiinnitetty huomiota kaiken kaikkiaan 34 kertaa. Opiskelijoiden vastauksista löytyi neljä erilaista ominaisuutta, jotka kuvastavat heidän mielestään hyvän simulaation visuaalisia piirteitä. Kaikkiaan 19 opiskelijaa eli yli puolet piti hyvän simulaation piirteenä selkeyttä ja yksinkertaisuutta. Hyvän simulaation koettiin olevan yksinkertaistettu, ja sen tulee sisältää opiskeltavan asian osalta vain oleelliset asiat eikä mitään ylimääräisiä yksityiskohtia. Opiskelijoiden mielestä simulaation tulisi olla myös konkreettinen ja havainnollistava. Simulaation pitäisi avata tapahtumia molekyyalitasolla ja pystyä selventämään, mitä molekyyalitasolla tapahtuu ja miksi. Näitä asioita nosti esille 10 opiskelijaa. Simulaation värien käytön mainitsi kaksi opiskelijaa. Toinen näistä mainitsi, että värien tulisi olla nimenomaan kirkkaita. Kolme opiskelijaa nosti esille, että oleellisia asioita voisi korostaa tekstillä tai nuolilla.

Äänen käyttöön simulaatiossa kiinnitti huomiota 21 opiskelijaa. Heistä 7 oli sitä mieltä, että hyvä simulaatio on mielellään suomenkielinen. Tutkimuksessa ollut simulaatio oli englanninkielinen ja osa näistä opiskelijoista koki, ettei oppinut simulaatiosta kielen vuoksi niin paljon kuin olisi ollut mahdollista. 14 opiskelijaa mainitsi, että simulaation selostuksen tulee olla selkeää ja yksinkertaista. Sen tulee olla riittävän hidasta ja keskittyä teorian osalta vain oleellisiin asioihin. Näistä vastaajista kaksi lisäksi mainitsi, että simulaatiossa on ylipäänsä oltava selostus.

Neljä opiskelijaa nosti esille simulaation käytettävyyden. Heidän mielestään simulaatio tai sen osa pitäisi olla helposti katsottavissa uudestaan. Vaihtoehtoisesti simulaatiota pitäisi pystyä kelaamaan taaksepäin, jotta pystyisi palaamaan jo katsottuun kohtaan.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksen tuloksia, ja verrataan niitä aiempaan tutkimustietoon. Tuloksia käsitellään tutkimuskysymyksittäin ja lopuksi pohditaan tutkimuksen merkitystä ja jatkotutkimuskohteita.

7.1 Opiskelijoiden vaikeudet ja virhekäsitykset sähköpariin liittyen

Tässä tutkimuksessa valtaosa opiskelijoista osasi muodostaa annetuista puolireaktioista oikean kokonaisreaktion reaktioyhtälön sekä laskea annettujen pelkistymispotentiaalien avulla kennon lähdejännitteen. Näissä havaitut tyypillisimmät virheet olivat hapettumis-pelkistymisreaktioissa siirtyvien elektronien määrän tasaamatta jättäminen sekä se, että lähdejännite oli laskettu pelkistymispotentiaalien summana. Havaitut tulokset ovat linjassa aiempien tutkimustulosten kanssa, joiden mukaan opiskelijat ovat hyviä käsittelemään puolireaktioita ja kennoreaktioita sekä laskemaan lähdejännitteitä, mutta usein heiltä puuttuu taustalla olevan teorian syvempi ymmärrys (Garnett & Treagust, 1992b; Ogude & Bradley, 1994; Sanger & Greenbowe, 1997a). Opiskelijoilla on tapana opetella ulkoa erilaisia ratkaisumalleja ilman aiheen kunnollista ymmärtämistä (Garnett et al., 1990), mikä havaitaan näissäkin tuloksissa. Opiskelijat ovat osanneet kääntää toisen puolireaktion hapettumisreaktioksi, jolloin tapahtuu sekä hapettuminen että pelkistyminen, mutta eivät ole muistaneet, että siirtyvien elektronien määrä näissä reaktioissa tulee olla sama. Taustalla olevaa teoriaa ei siis ole ymmärretty. Lähdejännitteen laskemisessakin on hyödynnetty opeteltua yhteenlaskua, mutta toinen pelkistymispotentiaaleista on jäänyt muuttamatta vastaluvukseen. Tässäkään ei siis ole ymmärretty, mitä lähdejännite todellisuudessa tarkoittaa.

Sangerin ja Greenbowen (1997a) havaitsemaa virhekäsitystä, jonka mukaan opiskelijat määrittivät anodin ja katodin niiden fyysisen sijainnin perusteella, ei juuri esiintynyt opiskelijoiden keskuudessa: vain 6 % oli sekoittanut hapettuvan ja pelkistyvän aineen. Tämä oli yllättävää, sillä opiskelijoiden käyttämän oppikirjan kuvissa anodi on aina vasemmanpuoleinen elektrodi ja myös simulaatiossa elektrodit oli asetettu tällä tavoin. Virhekäsitystestissä elektrodit oli kuitenkin asetettu tietoisesti toisinpäin siten, että anodi olikin oikeanpuoleinen elektrodi. Opiskelijat olivat siis osanneet hyödyntää joko annettuja

pelkistymispotentiaaleja tai taulukkokirjan jännitesarjaa määrittäessään, kumpi metalleista hapettuu ja kumpi pelkistyy. Kuitenkin osa opiskelijoista (14 %), jotka olivat määrittäneet anodin ja katodin oikein sekä osanneet kirjoittaa kokonaisreaktion yhtälön oikein, olivat valinneet hapettumista ja pelkistymistä submikroskooppisella tasolla kuvaavista monivalintatehtävistä vaihtoehdot, joissa hapettava ja pelkistytävä aine ovatkin toisinpäin. Tämä saattaa johtua siitä, että opiskelijoiden on vaikea siirtyä kemiallisen tiedon eri tasojen välillä (Gabel, 1999). Tässä tapauksessa symbolisen tason tieto (reaktioyhtälö) olisi pitänyt muuttaa submikroskooppiselle tasolle. Myös elektronien kulkusuunnan johtimissa määritti väärinpäin 34 % opiskelijoista. Tämä on ristiriidassa sen kanssa, että vain 6 % oli sekoittanut hapettuvan ja pelkistytävän aineen. Opiskelijat eivät todennäköisesti osanneet hyödyntää hapettumis-pelkistymisreaktioita elektronien kulkusuunnan määrittämiseksi. Osa opiskelijoista on myös voinut muistella oppitunnilla käytyä teoriaa ja ajatella, että elektronit kulkevat aina samaan suuntaan. Elektrodit olivat virhekäsitystestissä kuitenkin toisinpäin kuin oppitunnilla käytetyssä mallissa.

Sähkövirran kulkuun liittyen hyvin tyypillinen virhekäsitys on se, että sähkövirta on aina seurausta liikkuvista elektroneista (Garnett & Treagust, 1992b). Tämä oli hyvin vallitseva käsitys myös tässä tutkimuksessa. Kaikkiaan 88 % opiskelijoista ajatteli, että sähkövirran kulku elektrolyyttiliuoksessa on seurausta elektronien liikkeestä. Tämä käsitys johtuu todennäköisesti siitä, että fysiikassa sähkövirtaa käsitellään lähinnä elektronien liikkeenä. Näistä opiskelijoista yli puolet ajatteli, että elektronit kulkevat elektrolyyttiliuoksessa vapaina elektrodilta toiselle. Tämä käsitys oli havaittavissa myös hapettumista ja pelkistymistä esittävässä kuvissa, sillä reilu kolmasosa opiskelijoista oli valinnut tässä yhteydessä vaihtoehdon, jossa elektroneja oli liuoksessa vapaana. Käsitystä tukivat myös vastaukset sähkövirran kulusta suolasillassa: reilu kolmasosa oli valinnut sähkövirran kuljettajiksi elektronit ionien sijaan. Elektronien kulkua sähköparissa kysyttiin tutkimuksessa myös suoraan ja 46 % opiskelijoista väitti, että elektronit kulkevat sekä johdinta että suolasiltaa pitkin. Näiden käsitysten yleisyys on merkillepantavaa, sillä opetuksessa oli eksplisiittisesti tuotu esille, että elektronit kulkevat elektrodilta toiselle vain johtimia pitkin eikä elektroneja vapaudu elektrolyyttiliuoksiin.

Suolasillan tehtävästä opiskelijoilla esiintyi kaksi erilaista virhekäsitystä. Ensimmäinen ja näistä yleisempi oli, että suolasilta mahdollistaa elektronien siirtymisen elektrolyyttiliuosten välillä. Tämä on linjassa edellä esitettyjen opiskelijoiden näkemysten kanssa. Toinen virhekäsitys piti sisällään ajatuksen, että suolasilta päästää reaktiotuotteet kulkemaan puolikennojen välillä, jotta niiden konsentraatiot pysyisivät samanlaisina. Suolasillan tehtävää selvitettiin myös soveltavan tehtävän avulla, jossa suolasilta vaihdettaisiin grafiitiksi, ja piti päätellä vaikuttaisiko tämä sähköparin lähdejännitteeseen. Vastausten perusteella suolasillan tehtävä ei ollut opiskelijoille täysin selvä, eivätkä he näin ollen pystyneet soveltamaan olemassa olevaa tietoaan. Huomattavaa kuitenkin on, että tässäkin tehtävässä vastauksista välittyi, että opiskelijat ajattelevat elektronien kulkevan suolasillan kautta. Todennäköistä on, että opiskelijoilla esiintyy Garnettin ja Treagustin (1992b) havaitsema käsitys, että elektronien täytyy kulkea suljettua kehää pitkin, jotta sähkövirtaa muodostuu. Tämäkin käsitys juontuu luultavasti fysiikasta, jossa käsitellään virtapiirejä.

Elektrolyyttiliuosten koostumuksesta sähkövarausten osalta opiskelijoilla esiintyi kaksi virhekäsitystä. Ensimmäisen mukaan elektrolyyttiliuokset ovat sähköisesti neutraaleja, mutta osan negatiivisesta varauksesta aiheuttavat vapaat elektronit. Toisen mukaan elektrolyyttiliuoksissa on pieni sähkövaraus. Tämän käsityksen taustalla näyttäisi opiskelijoiden perustelujen mukaan olevan ajatus siitä, että suolasilta ei kykene kokonaan tasoittamaan liuokseen muodostunutta varausta tai varauksen tasoittumiseen kuluu jonkin verran aikaa, jolloin liuokseen muodostuu aina hetkellisesti pieni varaus. Tämän jälkimmäisen virhekäsityksen mukaista käsitystä ei ole aiemmissa tutkimuksissa havaittu.

7.2 Tietokonesimulaation vaikutus opiskelijoiden käsityksiin sähköparista

Opiskelijoiden virhekäsitystesteistä saamien kokonaispisteiden perusteella simulaatiolla oli myönteinen vaikutus opiskelijoiden käsityksiin, sillä kaikkiaan 69 % opiskelijoista suoritus parani simulaation jälkeen. Tutkimuksessa ei kuitenkaan hyödynnetty kontrolliryhmää, jolloin ei voida sanoa varmasti, oliko käsitysten muuttuminen yksinomaan simulaation ansiota. On mahdollista, että opiskelijat eivät vielä teoriaopetuksen ja itsenäisen työskentelyn jälkeen hallinneet sähköparin teoriaa kunnolla, jolloin alkumittauksessa suoritus jäi heikoksi. Etenkin, jos opiskelijat eivät opiskelleet teoriaa lainkaan kotona

oppitunnin jälkeen pistokokeesta huolimatta, on tilanne hyvin mahdollinen. Tällöin simulaation parissa työskentely kertasi sähköparin teoriaa ja opiskelijoiden tiedon lisääntyessä osaaminen parani eikä simulaatio niinkään korjannut virhekäsityksiä. Voidaan kuitenkin sanoa, että simulaatio tuki opiskelijoiden oppimista, koska suoritukset paranivat suurimmalla osalla opiskelijoista.

Osalla opiskelijoista (17 %) suoritus kuitenkin heikkeni simulaation jälkeen. Hyvin todennäköistä kuitenkin on, ettei syynä ollut simulaatio. Tutkimuksessa käytetty simulaatio toteutti Mayerin (2001, 63–182) esittämistä multimediaesityksen säännöistä viisi, joten simulaation olisi pitänyt olla oppimisen näkökulmasta hyvin toteutettu. Simulaation toteuttamat säännöt olivat multimediasääntö, ajallinen läheisyys, johdonmukaisuus, esitystapa- sekä päällekkäisyysääntö. Nämä säännöt tarkoittavat simulaation kannalta sitä, että siinä oli kuvia sekä puhetta ja ne esitettiin yhtä aikaa. Elektrolyyttiliuoksissa oli jätetty selvyuden vuoksi vesimolekyylit mallintamatta eikä puheen yhteyteen ollut lisätty muita ääniä tai musiikkia. Simulaatioon ei ollut myöskään lisätty tekstiä, vaan kaikki sanoin ilmaistu tieto esitettiin äänen avulla. Yksi mahdollinen suorituksen heikentymistä selittävä tekijä on, että muutamille opiskelijoille jäi toisen testin tekemiseen hyvin lyhyt aika. Kiire ja tämän myötä keskittymisen puute ovat mahdollisesti vaikuttaneet suoritukseen negatiivisesti.

Simulaatio näyttää vaikuttaneen opiskelijoiden käsityksiin, miten elektronit sähköparissa liikkuvat. Kaikissa monivalintatehtävissä oli johdonmukaisesti havaittavissa muutos, että sellaisten vastausvaihtoehtojen, joissa elektroneja on elektrolyyttiliuoksissa tai suolasillassa, osuus pieneni huomattavasti jälkimittauksessa. Simulaatio submikroskooppisen tason kuvauksellaan pystyi siis muuttamaan opiskelijoiden keskuudessa hyvin vallitsevaa virhekäsitystä. Yeziarski ja Birk (2006) ovat esittäneet, että simulaatiot auttavat opiskelijoita joko täydentämään tai korjaamaan muodostuneita mentaalimallejaan submikroskooppisen tason tapahtumista vastaamaan tieteellistä mallia.

Simulaatiolla oli yllättävä vaikutus opiskelijoiden vastauksiin tehtävässä 8, jossa tarkasteltiin elektrolyyttiliuosten koostumusta sähkövarausten osalta. Oikeiden vastausten määrä ei merkittävästi muuttunut mittausten välillä, mutta virhekäsitys näytti muuttuneen toiseksi. Alkumittauksessa lähes kolmasosa valitsi vaihtoehdon, jossa elektrolyyttiliuokset

ovat varauksettomia mutta sisältävät elektroneja. Tämän osuus pieneni lähes kolmasosaan jälkimittauksessa, mutta sellaisten vaihtoehtojen osuudet kasvoivat huomattavasti, joissa elektrolyyttiliuoksissa oli joko pienet varaukset tai erimerkkiset varaukset olivat jakautuneet kokonaan eri puolikennoihin. Niiden opiskelijoiden, jotka ajattelivat varausten olevan pienet, kirjoittamista perusteluista oli kuitenkin havaittavissa alkumittaukseen verrattuna yhä suuremmassa määrin, että he ymmärsivät suolasillan tasoittavan elektrolyyttiliuosten sähkövarauksia, mutta suolasilta ei kykenisi tekemään sitä saman tien, vaan liuoksiin muodostuisi hetkellisesti varaukset. Syynä tämän näkemyksen lisääntymiselle voi olla se, että simulaatiossa katsottiin ensin kohtaukset, joissa näytetään elektrodeilla tapahtuvat reaktiot. Vasta tämän jälkeen katsottiin kohtaukset, joissa näytetään, mitä suolasillan ja elektrolyyttiliuoksen välillä tapahtuu. Koska tapahtumat katsottiin erillisinä, saattoi tämä luoda opiskelijoille sellaisen käsityksen, että tapahtumat tapahtuvat peräkkäin eivätkä samanaikaisesti. Simulaatio ei siis onnistunut luomaan tapahtumista selkeää kokonaiskuvaa eikä tapahtumien välisiä yhteyksiä tuotu riittävän selkeästi esille, kuten Wu ja Shah (2004) edellyttävät hyvältä visualisointityökalulta. Ne opiskelijat, jotka ajattelivat varausten jakautuvan eri puolikennoihin, eivät osanneet perustella näkemystään. Voi olla, että heillä esiintyy Oguden ja Bradley'n (1994) havaitsema käsitys, että riittää kunhan koko sähköpari on ulkoisesti neutraali.

Opetussuunnitelmat ovat sähköparin osalta hyvin samankaltaiset sekä peruskoulussa että lukiossa. Ainoa ero on, että lukiossa sähköparia käsitellään lisäksi laskennallisten sovellusten kautta ja opiskelijoiden tulee osata kirjoittaa parissa tapahtuvien hapettumis- ja pelkistymisreaktioiden yhtälöitä. Opiskelijoilla saattaa siis olla jo valmiina virhekäsityksiä sähköpariin liittyen lukioon tullessaan. Nämä virhekäsitykset ovat tavallisesti hyvin pysyviä ja niitä on vaikea muuttaa perinteisellä opettajajohtoisella opetuksella (Garnett et al., 1990; Westbrook & Marek, 1991). Virhekäsitykset johtuvat usein submikroskooppisen tason riittämättömästä hallinnasta (Tasker & Dalton, 2006). Simulaatiot auttavat opiskelijoita käsittelemään kemiallisia ilmiöitä submikroskooppisella tasolla (Sanger & Greenbowe, 1997b; Sanger & Phepls, 2000; Yezierski & Birk, 2006) ja pystyvät korjaamaan virhekäsityksiä (Sanger & Greenbowe, 1997b; Yezierski & Birk, 2006). Näitä havaintoja tukevat myös tämän tutkimuksen tulokset, sillä opiskelijoiden käsitykset elektronien liikkeistä parantuivat huomattavasti simulaation myötä.

7.3 Opiskelijoiden näkemykset hyvästä simulaatiosta opetuksen ja oppimisen näkökulmasta

Opiskelijoiden vastaukset hyvän simulaation piirteistä keskittyivät lähes yksinomaan simulaation visuaalisiin ja auditiivisiin ominaisuuksiin. Opiskelijoiden mielestä simulaation tulisi olla visuaalisesti selkeä eikä siihen pitäisi sisällyttää mitään ylimääräisiä yksityiskohtia. Tätä mieltä oli yli puolet opiskelijoista. Toiseksi yleisimmin mainittu ominaisuus liittyi simulaation selostukseen. Tämä tulisi opiskelijoiden mukaan olla myös selkeää ja riittävän yksinkertaista keskittyen teorian kannalta vain oleellisiin asioihin. Opiskelijoiden mielipiteet ovat linjassa Mayerin (2001, 63–182) esittämän multimediaesityksen johdonmukaisuussäännön kanssa, jonka mukaan ylimääräinen materiaali kuormittaa työmuistia turhaan ja saattaa estää oleellisten asioiden huomaamista ja oppimista.

Opiskelijoiden on vaikea ajatella submikroskooppisella tasolla (Wu & Shah, 2004). Lähes kolmasosa mainitsikin, että simulaation tulisi havainnollistaa tapahtumia molekyylitasolla ja selventää syy-seuraussuhteita. Tutkimuksessa käytetty simulaatio oli englanninkielinen ja osa opiskelijoista koki, ettei oppinut kielen vuoksi simulaatiosta niin paljon kuin olisi ollut mahdollista. Seitsemän opiskelijaa esitti, että selostuksen tulisi olla suomenkielinen oppimisen tehostamiseksi. Mayerin (2001, 42–58) mukaan simulaation tulisi sisältää sekä kuvaa että puhetta. Tällöin simulaatiosta voidaan kerätä tietoa työmuistiin kahden erillisen kanavan kautta ja oppiminen tehostuu. Usean opiskelijan vastauksessa huomioitiin jollakin tavalla selostus, mutta sitä pidettiin itsestään selvänä osana simulaatiota. Kuitenkin kaksi opiskelijaa mainitsi eksplisiittisesti, että simulaatiossa on oltava selostus.

Muutamia mainintoja annettiin simulaation värien sekä tehosteiden käytölle. Opiskelijoiden mielestä simulaatioissa tulisi hyödyntää värejä ja teorian kannalta oleellisia asioita pitäisi osoittaa esimerkiksi nuolilla ja esittää tekstinä. Falvo (2008) on esittänyt, että visuaalisten apukeinojen kuten nuolien tai laatikoiden käyttö auttaa opiskelijoita keskittymään olennaisiin asioihin. Tekstin lisääminen simulaatioon saattaa kuitenkin aiheuttaa visuaalisen kanavan ylikuormittumisen, jos teksti sisältää samoja asioita kuin simulaation selostus (Mayer, 2001, 63–182). Neljä opiskelijaa esitti lisäksi simulaation käytettävyydelle ehtoja: simulaation tulisi olla kelattavissa taaksepäin tai se pitäisi olla

helposti toistettavissa. Näitä ominaisuuksia on aiemmissa tutkimuksissa perusteltu sillä, että simulaation tapahtumat saattavat olla nopeita ja yhtä aikaa voi tapahtua useita asioita. Jotta opiskelija pystyisi havaitsemaan kaiken oleellisen ja muodostamaan näkemästään ja kuulemastaan mielekkään kokonaisuuden sitoen tähän aiempaa tietämystään, tulisi opiskelijalla olla mahdollisuus vaikuttaa simulaation etenemiseen ja katsoa tapahtumia useampia kertoja. (Hegarty et al., 2003; Mayer & Chandler, 2001)

7.4 Tutkimuksen merkitys

Tutkimuksen yhtenä tarkoituksena oli kartoittaa opiskelijoiden virhekäsityksiä. Tätä varten hyödynnettiin soveltaen Sangerin ja Greenbowen (2000) luomaa testiä, joka perustui aiemmin havaittuihin virhekäsityksiin. Testin avulla oli mahdollista havaita vain tiettyjä virhekäsityksiä. Tutkimuksen tulokset virhekäsitysten osalta olivat aiempien tutkimusten mukaisia. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin uusi virhekäsitys elektrolyyttiliuosten sähkövarauksiin liittyen. Tutkimuksen aineisto koostuu 35 opiskelijan vastauksista. Kaikki opiskelijat olivat samasta Uudellamaalla sijaitsevasta lukiosta ja heillä kaikilla oli sama opettaja sekä sama oppikirja kurssilla KE4 Metallit ja materiaalit. Opiskelijoiden virhekäsitysten taustalla saattavat olla oppikirjassa esiintyneet virheelliset tai harhaanjohtavat ilmaukset tai kuvat (Sanger & Greenbowe, 1999). Myös opettajan opetuksessaan käyttämät ilmaukset ja sanat ovat saattaneet luoda opiskelijoille virhekäsityksiä (Garnett & Treagust, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997a). Tutkimuksen tulokset eivät siis ole yleistettävissä koko Suomeen pienen ja valikoituneen otannan vuoksi, mutta tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia.

Tutkimuksen toisena tavoitteena oli selvittää tietokonesimulaation vaikutusta opiskelijoiden sähköparin käsityksiin. Tutkimuksen perusteella opiskelijoiden tulokset parantuivat tilastollisesti erittäin merkittävästi simulaation parissa työskentelyn jälkeen. Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat olivat itse myös sitä mieltä, että simulaatiotyöskentely auttoi heitä ymmärtämään sähköparia paremmin. Opiskelijoiden keskuudessa esiintyi hyvin yleisesti virhekäsityksiä elektronien liikkeistä sähköparissa, mutta simulaation jälkeen usean opiskelijan kohdalla nämä käsitykset muuttuivat vastaamaan tieteellistä näkemystä. Tutkimuksen asetelmasta johtuen tapahtuneita muutoksia opiskelijoiden käsityksissä ja osaamisessa ei pystytä kuitenkaan suoraan

lukemaan simulaation ansioksi. Tulokset antavat kuitenkin selkeitä viitteitä siitä, että simulaation parissa työskentely tuki opiskelijoiden oppimista. Tuotettua ohjemonistetta ja tutkimuksessa hyödynnettyä simulaatiota voisi siis hyödyntää sähköparin opetuksessa opiskelijoiden oppimisen tukemiseksi. Tutkimuksessa käytettyä virhekäsitystestiä voisi myös hyödyntää opetuksessa diagnostisena testinä, jotta opettaja tietäisi paremmin esiintyykö hänen opetusryhmässään virhekäsityksiä ja kuinka yleisiä nämä käsitykset ovat. Virhekäsitystesti ei kuitenkaan kata kaikkia sähköpariin liittyen havaittuja virhekäsityksiä, vaan se käsittelee ainoastaan elektronien ja ionien liikkeitä sekä suolasillan toimintaa.

Tutkimuksen viimeisenä tavoitteena oli koota opiskelijoiden mielipiteitä siitä, millainen on hyvä simulaatio opetuksen ja oppimisen kannalta. Opiskelijoiden vastaukset eivät tuoneet mitään uutta tietoa aiempaan tutkimuskirjallisuuteen verrattuna, mutta ne tukivat hyvin aiempia tutkimuksia. Opiskelijat osasivat tuoda esiin paljon sellaisia ominaisuuksia, joita on aiemmin esitetty oppimista tehostaviksi ominaisuuksiksi.

Aiemmat tutkimukset antavat ristiriitaista tietoa siitä, ovatko simulaatiot tehokkaampia opetusmenetelmänä verrattuna staattisiin kuviin. Jatkotutkimusta voisi tehdä tämän aiheen tiimoilta sähköpariin liittyen, sillä sähköparin osalta puhtaasti tällaista tutkimusta ei ole vielä tehty. Tutkia voisi myös, tuottaako simulaatio pysyvemmän ja syvällisemmän ymmärryksen sähköparista kuin staattiset kuvat, kuten esimerkiksi Acar ja Tarhan (2007) ovat simulaatioista esittäneet. Sähköparia opetetaan sekä peruskoulussa että lukiossa. Sangerin ja Greenbowen (1999) oppikirja-analyysiä sähköparin virhekäsityksiä luovista kuvista ja ilmauksista olisi hyvä jatkaa suomalaisten peruskoulun sekä lukion oppikirjasarjojen osalta. Mielenkiintoista olisi myös tietää, ovatko peruskoululaisten ja lukiolaisten käsitykset sähköparista keskenään samanlaisia vai esiintyykö lukiolaisilla esimerkiksi vähemmän virhekäsityksiä lisääntyneen kemiallisen tiedon ansiosta.

LÄHTEET

- Acar, B. & Tarhan L. (2007). Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(2), 349–373.
- Ahtineva, A. (2012). Kemian opetuksen kehittäminen monipuolisilla työtavoilla. Teoksessa Kärnä P., Houtsonen, L. & Tähkä T. (Toim.) *Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita*, s. 150. Opetushallitus.
- Ardac, D. & Akaygun S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 317–337.
- Ardac, D. & Akaygun S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269–1298.
- Bojczuk, M. (1982). Topic difficulties in O- and A-level chemistry. *School Science Review*, 63(224), 545–551.
- Childs, P. E. & Sheehan, M. (2009). What's difficult about chemistry? An Irish perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(3), 204–218.
- Chittleborough, G. D., Treagust, D. F. & Mamiala, T. L. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science & Technological Education*, 23(2), 195–212.
- Davis, E. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 819–837.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201.

- Doymus, K., Karacop, A. & Simsek, U. (2010). Effects of jigsaw and animation techniques on students' understanding of concepts and subjects in electrochemistry. *Educational Technology Research & Development*, 58(6), 671–691.
- Falvo, D. A. (2008). Animations and simulations for teaching and learning molecular chemistry. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 4(1), 68–77.
- Finley, F. N., Stewart J. & Yarroch, W. L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, 66(4), 531–538.
- Gabel, D. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193–194.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548–554.
- Garnett, P., Garnett, P. & Treagust, D. (1990). Implications of research on students' understanding of electrochemistry for improving science curricula and classroom practice. *International Journal of Science Education*, 12(2), 147–156.
- Garnett, P. J. & Treagust, D. F. (1992a). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 121–142.
- Garnett, P. J. & Treagust, D. F. (1992b). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), 1079–1099.
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. Teoksessa *Visualization in science education*, s. 9–27. Dordrecht: Springer.

- Gilbert, J. & Treagust, D. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. Teoksessa *Multiple representations in chemical education*, s. 3. New York: Springer.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73–79.
- Gobert, J. D. (2005). Leveraging technology and cognitive theory on visualization to promote students' learning. Teoksessa Gilbert, J. K. (Toim.) *Visualization in science education*, s. 73–90. Dordrecht: Springer.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., Smith, C. L., Good, R. G., Linn, M. C., Songer, N. B. & Lewis, E. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822.
- Hegarty, M., Kriz, S. & Cate, C. (2003). The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems. *Cognition & Instruction*, 21(4), 325–360.
- Herron, J. D. (1990). Research in chemical education: Results and directions. Teoksessa Gardner, M., Greeno, J. G., Reif, F., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. & Stage, E. (Toim.) *Toward a scientific practice of science education*, s. 41–42. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Intercapital invest (2015). Luettu 31.5.2015
http://www.intercapital.ro/en/intercapital_start/explicatii/distribKurtosis.htm
- Johnstone, A. H. (1982). Macro and microchemistry. *Chemistry in Britain*, 18(6), 409–410.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83.

- Johnstone, A. H. (2000). Chemical education research: Where from here? *University Chemistry Education*, 4(1), 34–38.
- Jones, L. L., Jordan, K. D. & Stillings, N. A. (2005). Molecular visualization in chemistry education: The role of multidisciplinary collaboration. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(3), 136–149.
- Kelly, R. & Jones L. (2007). Exploring how different features of animations of sodium chloride dissolution affect students' explanations. *Journal of Science Education & Technology*, 16(5), 413–429.
- Kozma, R. B. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968.
- Lajunen, H. J., & Saarinen, H. (2004). *Analyttisen kemian perusteet*, s 86. Oulu: Oulun yliopistopaino.
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning & Instruction*, 13(2), 177–189.
- Lowe, R. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13(2), 157–176.
- Lundell, J., & Aksela, M. (2003). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa. 1, molekyylimallinnus ja kemian opetus. *Dimensio*, 67(5), 47–49.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1–19.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Mayer, R. E. & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 390–397.
- Metropolia (2015). Luettu 31.5.2015
<https://moodle.metropolia.fi/mod/resource/view.php?id=193586>
- Metsämuuronen, J. (2005). Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä, 3. laitos. Helsinki: International Methelp.
- Nakhleh, M. B. & Krajcik, J. S. (1995). Influence on levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1077–1096.
- Nummenmaa, L. (2009). Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät, s. 351. Helsinki: Tammi.
- Ogude, N. A. & Bradley, J. D. (1994). Ionic conduction and electrical neutrality in operating electrochemical cells. *Journal of Chemical Education*, 71(1), 29–34.
- Ogude, N. A. & Bradley, J. D. (1996). Electrode processes and aspects relating to cell EMF, current, and cell components in operating electrochemical cells: Precollege and college student interpretation. *Journal of Chemical Education*, 73(12), 1145–1149.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003: Nuorille tarkoitettun lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet*. Luettu 13.6.2015.
www.oph.fi/download/47345_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2003.pdf
- Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*. Luettu 13.6.2015.
www.oph.fi/download/139848_pops_web.pdf
- Opetushallitus. (2015). *Lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnos*. Luettu 13.6.2015.
www.oph.fi/download/166556_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015_luonnos_14042015.pdf

Otavan opisto (2014). Luettu 5.6.2014.

http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ke/ke4/2_sahkokemia/2.3_sahkopariteligalvaanisetparit?C:D=hNlb.hng7&m:selres=hNlb.hng7

Sanger, M. J., Brecheisen, D. M. & Hynek, B. M. (2001). Can computer animations affect college biology students' conceptions about diffusion and osmosis? *The American Biology Teacher*, 63(2), 104–109.

Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1997a). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 377–398.

Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1997b). Students' misconceptions in electrochemistry: Current flow in electrolyte solutions and the salt. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 819–823.

Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1999). An analysis of college chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 76(6), 853–860.

Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (2000). Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. *International Journal of Science Education*, 22(5), 521–537.

Sanger, M. J. & Phelps, A. J. (2000). Using a computer animation to improve students' conceptual understanding of a can-crushing demonstration. *Journal of Chemical Education*, 77(11), 1517–1520.

Schmidt, H., Marohn, A. & Harrison A. G. (2007). Factors that prevent learning in electrochemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 258–283.

Schwarz, C. V. & White B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition & Instruction*, 23(2), 165–205.

- Tasker, R. & Dalton R. (2006). Research into practice: Visualisation of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 141–159.
- Tavakol, M. & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53–55.
- The McGraw-Hill Companies (2001). Galvanic cell. Haettu 6.9.2014
<http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/galvan5.swf>
- Treagust, D. F., & Chittleborough, G. D. (2001). Chemistry: A matter of understanding representations. Teoksessa Brophy J. E. (Toim.) *Subject-specific instructional methods and activities*. Amsterdam: JAI.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
- Tro, N. (2011). Electrochemistry. *Chemistry: A molecular approach*. 2. painos. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2002). Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Tammi.
- Tversky, B., Morrison J. B. & Betrancourt M. (2002). Animation: Can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 247–262.
- Tversky, B. (2005). Prolegomenon to scientific visualizations. Teoksessa Gilbert J. K. (Toim.) *Visualization in science education*, s. 29–42. Dordrecht: Springer.
- Westbrook, S. L. & Marek, E. A. (1991). A cross-age study of student understanding of the concept of diffusion. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 649–660.
- Wu, H. K. & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492.

Yang, E., Andre, T. & Greenbowe, T. J. (2003). Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning electrochemistry. *International Journal of Science Education*, 25(3), 329–349.

Yeziarski, E. J. & Birk, J. P. (2006). Misconceptions about the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 83(6), 954–960.

LIITTEET

LIITE 1: Alkumittauslomake

Kyselylomake

I Vastaajan taustatiedot

1. Nimi: _____

2. Lukiossa suorittamieni **kemian** kurssien

a. lukumäärä on _____.

b. arvosanojen keskiarvo on noin _____.

3. Kemian opetuksessa on hyödynnetty tieto- ja viestintäteknikkaa näyttämällä simulaatioita tai videoita.

yli 4 kertaa 2-4 kertaa kerran ei koskaan

Aihe(et): _____

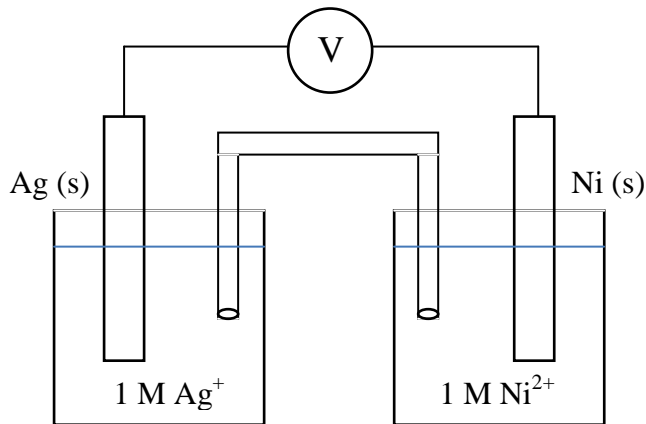
4. Olen itse opiskellut **kemiaa** katsomalla simulaatioita tai videoita opiskeltaviin asioihin liittyen.

yli 4 kertaa 2-4 kertaa kerran ei koskaan

Aihe(et): _____

II Käsitukset sähköparista

Seuraavista kysymyksistä 1-7 pohjautuvat alla olevaan sähköpariin.



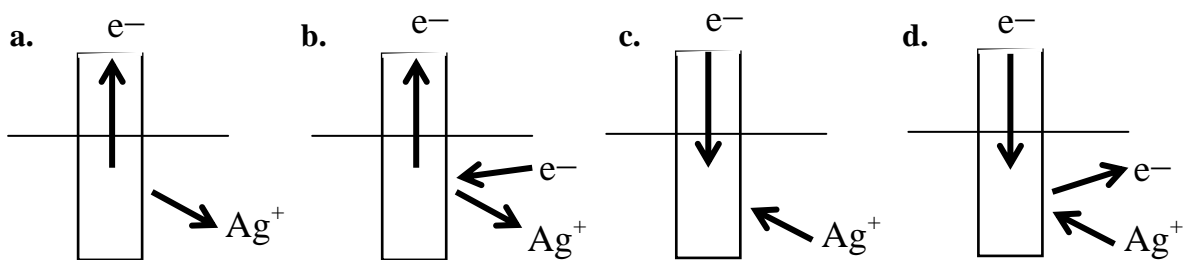
Suolasilta sisältää $\text{KNO}_3(\text{aq})$.

	E°
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{s})$	-0,25 V
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$	0,80 V

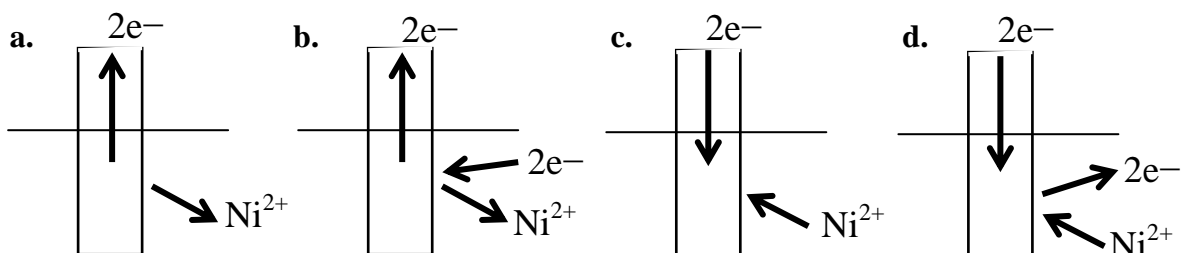
1. Mikä on sähköparin lähdejännite? Kirjoita lisäksi kokonaisreaktion reaktioyhtälö.

Ympyröi oikea vaihtoehto.

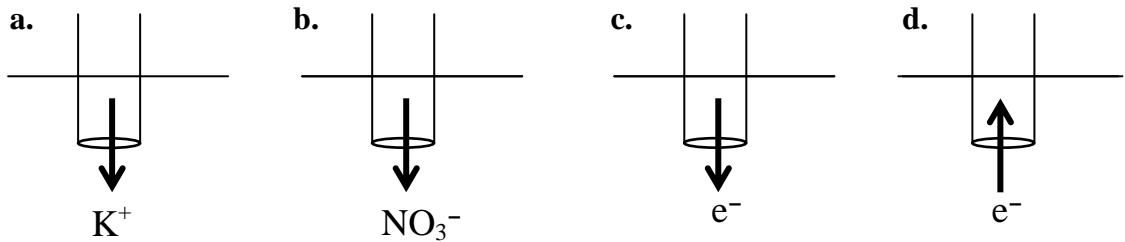
2. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten hopeaelektrodilla (Ag) tapahtuvaa reaktiota?



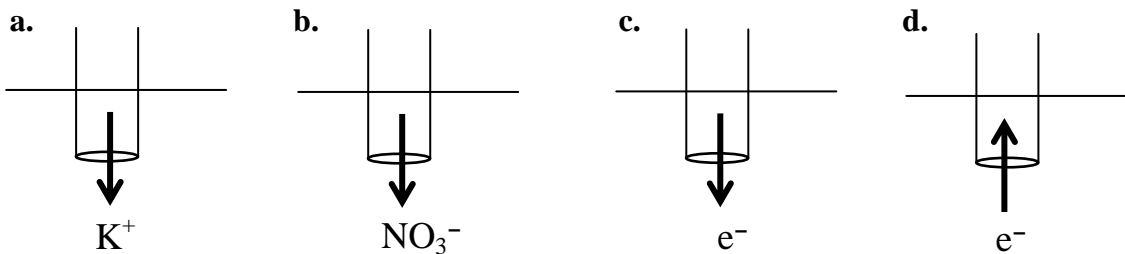
3. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten nikkellelektrodilla (Ni) tapahtuvaa reaktiota?



4. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten sähkövirran kulkua suolasillassa AgNO_3 -liuoksessa?



5. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten sähkövirran kulkua suolasillassa $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ -liuoksessa?



6. Sähköparissa elektronit kulkevat i pitkin kohti ii .

- a. (i) johdinta, (ii) hopeaelektrodia
 b. (i) johdinta, (ii) nikkelinelektrodia
 c. (i) johdinta, (ii) hopeaelektrodia **ja** (i) suolasiltaa, (ii) nikkelinelektrodia
 d. (i) johdinta, (ii) nikkelinelektrodia **ja** (i) suolasiltaa, (ii) hopeaelektrodia

7. Sähköparissa suolasillan tehtävänä on:

- a. pitää molemmissa puolikennoissa nesteen pinta samalla korkeudella
 b. mahdollistaa positiivisten ja negatiivisten ionien poistuminen ja vapautuminen molemmissa puolikennoissa
 c. mahdollistaa elektronien siirtyminen elektrolyyttiliuosten välillä
 d. mahdollistaa reaktiotuotteiden kulku puolikennojen välillä, jotta liuosten konsentraatiot pysyvät samanlaisina

8. Mi(t)kä vaihtoehdoista kuvaa(vat) sähköparia, kun reaktiot etenevät?

Merkintä + tarkoittaa kationia, – anionia ja e^- elektronia.

a. Joko B tai C
b. Vain D
c. Vain A
d. Joko A tai D
e. Vain E

Perustelu: _____

9. Sähköparissa sähkövirran kulku elektrolyyttiliuoksessa on seurausta:

- a. elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektronien kiinnittyä liuoksen ioneihin
- b. elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektronien siirtyessä ionilta toiselle
- c. sekä positiivisten että negatiivisten ionien liikkeestä
- d. vesimolekyylien liikkeestä
- e. elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektrodilta toiselle

10. Arvioi alla olevaa väitettä ja perustelua:

Väite

Jos sähköparin suolasilta vaihdettaisiin grafiitiksi (johdin), lähdejännite ei muuttuisi,...

Perustelu

...koska elektronit pääsisivät edelleen kulkemaan elektrolyyttiliuoksesta toiseen grafiittisillan kautta ja virtapiiri olisi suljettu.

- a. Sekä väite että perustelu ovat oikein.
- b. Sekä väite että perustelu ovat väärin.
- c. Väite on oikein, mutta perustelu väärä.
- d. Väite on väärin, mutta perustelu on oikein.

LIITE 2: Ohjeet ja tehtävät tietokonetyöskentelyä varten

III Ohjeet ja tehtävät itsenäiseen työskentelyyn

1. Mene osoitteeseen:

<http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/flash.mhtml>

2. Varmista, että tietokoneessa on äänet päällä ja äänen voimakkuus sopiva.
3. Valitse sivustolta *Chapter 20 – Galvanic Cell*
4. Kuuntele simulaation kerronta ja tee havaintoja. Voit kuunnella kerronnan uudestaan päivittämällä sivun.

a) Hapettava aine: _____

• Elektrolyyttiliuos: _____

b) Pelkistävä aine: _____

• Elektrolyyttiliuos: _____

c) Elektronien kulkusuunta johtimissa: _____

d) Mitä ioneja suolasilta sisältää: _____

5. Klikkaa näppäintä *Zinc Electrode*. Jos haluat kuunnella kerronnan uudestaan, klikkaa näppäintä *Back*, niin pääset alkunäkymään ja valitse *Zinc Electrode* uudestaan.

a) Kirjoita hapettumista kuvaava reaktioyhtälö:

b) Mihin muodostuneet ionit siirtyvät elektrodilta?

c) Mihin vapautuneet elektronit siirtyvät elektrodilta?

6. Klikkaa näppäintä *Salt Bridge, Zn Side*.

a) Mitä ioneja suolasillan ja elektrolyyttiliuoksen välillä vaihtuu ja mihin suuntaan? _____

b) Miksi näin tapahtuu? _____

7. Klikkaa näppäintä *Copper Electrode*.

a) Kirjoita pelkistymistä kuvaava reaktioyhtälö:

b) Miten Cu^{2+} -ioneista muodostuu Cu-atomeja?

8. Klikkaa näppäintä *Salt Bridge, Cu Side*.

a) Mitä ioneja suolasillan ja elektrolyyttiliuoksen välillä vaihtuu ja mihin suuntaan?_____

b) Miksi näin tapahtuu?_____

9. Jännitemittari näyttää lukemaa 1,1 V.

a) Muodosta puolireaktioiden avulla kokonaisreaktion yhtälö.

b) Laske normaalipelkistymispotentialien avulla sähköparin lähdejännite.

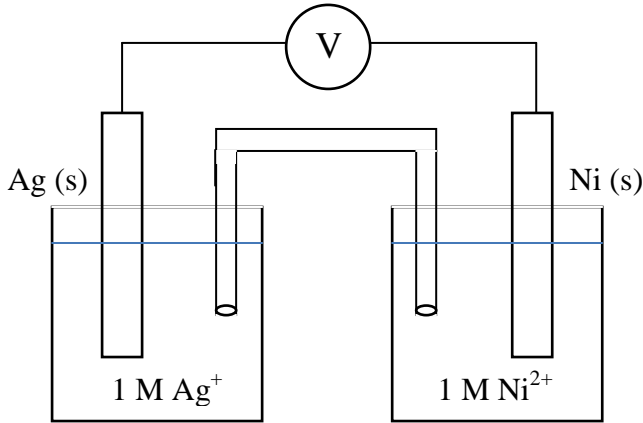
9. Millainen on mielestäsi opetuksen ja oppimisen näkökulmasta hyvä simulaatio?

LIITE 3: Loppumittauslomake

IV Käsitukset sähköparista

Nimi: _____

Seuraavista kysymyksistä **1-7** pohjautuvat alla olevaan sähköpariin.



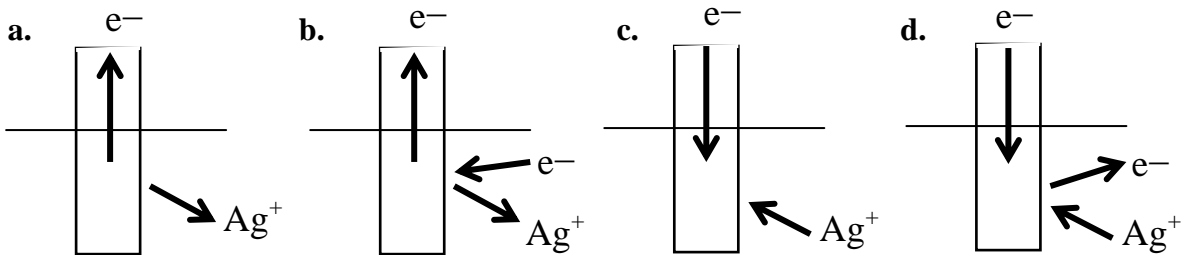
Suolasilta sisältää $\text{KNO}_3(\text{aq})$.

	E°
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{s})$	-0,25 V
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$	0,80 V

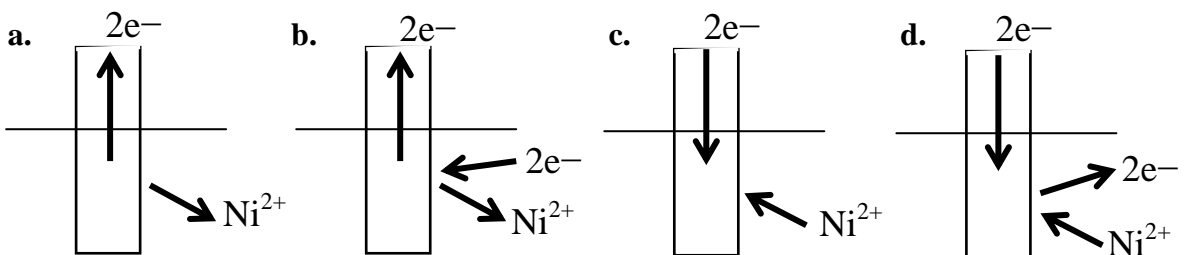
1. Mikä on sähköparin lähdejännite? Kirjoita lisäksi kokonaisreaktion reaktioyhtälö.

Ympyröi oikea vaihtoehto.

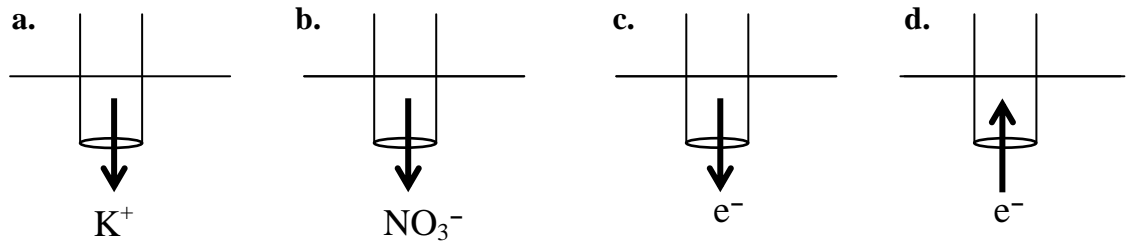
2. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten hopeaelektrodilla (Ag) tapahtuvaa reaktiota?



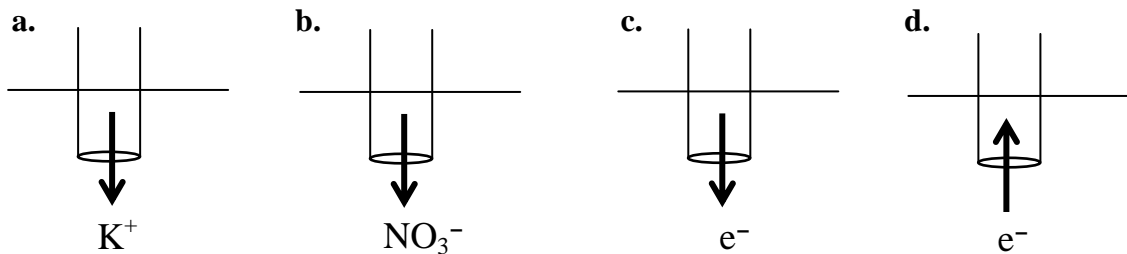
3. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten nikkellelektrodilla (Ni) tapahtuvaa reaktiota?



4. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten sähkövirran kulkua suolasillassa AgNO_3 -liuoksessa?



5. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten sähkövirran kulkua suolasillassa $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ -liuoksessa?



6. Sähköparissa elektronit kulkevat i pitkin kohti ii .
- (i) johdinta, (ii) hopeaelektrodia
 - (i) johdinta, (ii) nikkelinelektrodia
 - (i) johdinta, (ii) hopeaelektrodia **ja** (i) suolasiltaa, (ii) nikkelinelektrodia
 - (i) johdinta, (ii) nikkelinelektrodia **ja** (i) suolasiltaa, (ii) hopeaelektrodia

7. Sähköparissa suolasillan tehtävänä on:

- pitää molemmissa puolikennoissa nesteen pinta samalla korkeudella
- mahdollistaa positiivisten ja negatiivisten ionien poistuminen ja vapautuminen molemmissa puolikennoissa
- mahdollistaa elektronien siirtyminen elektrolyyttiliuosten välillä
- mahdollistaa reaktiotuotteiden kulku puolikennojen välillä, jotta liuosten konsentraatiot pysyvät samanlaisina

8. Mi(t)kä vaihtoehdoista kuvaa(vat) sähköparia, kun reaktiot etenevät?

Merkintä + tarkoittaa kationia, – anionia ja e^- elektronia.

a. Joko B tai C
b. Vain D
c. Vain A
d. Joko A tai D
e. Vain E

A **B**

C **D** **E**

Perustelu: _____

9. Sähköparissa sähkövirran kulku elektrolyyttiliuoksessa on seurausta:

- a.** elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektronien kiinnittyä liuoksen ioneihin
- b.** elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektronien siirtyessä ionilta toiselle
- c.** sekä positiivisten että negatiivisten ionien liikkeestä
- d.** vesimolekyylien liikkeestä
- e.** elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektrodilta toiselle

10. Arvioi alla olevaa väitettä ja perustelua:

Väite

Jos sähköparin suolasilta vaihdettaisiin grafiitiksi (johdin), lähdejännite ei muuttuisi,...

Perustelu

...koska elektronit pääsisivät edelleen kulkemaan elektrolyyttiliuoksesta toiseen grafiittisillan kautta ja virtapiiri olisi suljettu.

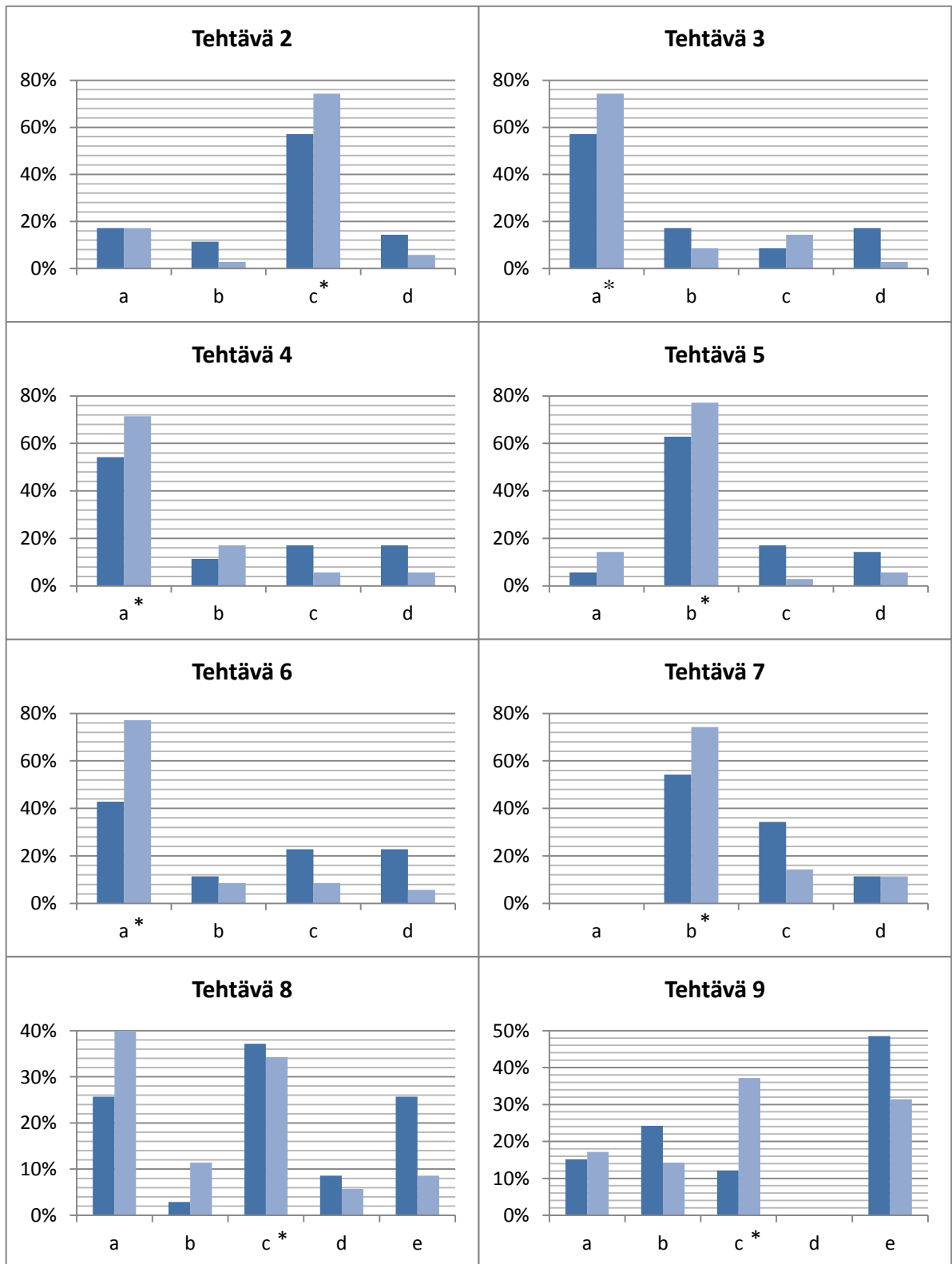
- a.** Sekä väite että perustelu ovat oikein.
- b.** Sekä väite että perustelu ovat väärin.
- c.** Väite on oikein, mutta perustelu väärä.
- d.** Väite on väärin, mutta perustelu on oikein.

LIITE 4: Taulukko kyselylomakkeen monivalintatehtävien frekvensseistä ja prosenteista

			a	b	c	d	e	N
2	Ennen	f	6	4	20	5		35
		%	17,1	11,4	57,1	14,3		
	Jälkeen	f	6	1	26	2		35
		%	17,1	2,9	74,3	5,7		
3	Ennen	f	20	6	3	6		35
		%	57,1	17,1	8,6	17,1		
	Jälkeen	f	26	3	5	1		35
		%	74,3	8,6	14,3	2,9		
4	Ennen	f	19	4	6	6		35
		%	54,3	11,4	17,1	17,1		
	Jälkeen	f	25	6	2	2		35
		%	71,4	17,1	5,7	5,7		
5	Ennen	f	2	22	6	5		35
		%	5,7	62,9	17,1	14,3		
	Jälkeen	f	5	27	1	2		35
		%	14,3	77,1	2,9	5,7		
6	Ennen	f	15	4	8	8		35
		%	42,9	11,4	22,9	22,9		
	Jälkeen	f	27	3	3	2		35
		%	77,1	8,6	8,6	5,7		
7	Ennen	f	0	19	12	4		35
		%	0	54,3	34,3	11,4		
	Jälkeen	f	0	26	5	4		35
		%	0	74,3	14,3	11,4		
8	Ennen	f	9	1	13	3	9	35
		%	25,7	2,9	37,1	8,6	25,7	
	Jälkeen	f	14	4	12	2	3	35
		%	40,0	11,4	34,3	5,7	8,6	
9	Ennen	f	5	8	4	0	16	33
		%	15,2	24,2	12,1	0	48,5	
	Jälkeen	f	6	5	13	0	11	35
		%	17,1	14,3	37,1	0	31,4	
10	Ennen	f	4	13	8	8		33
		%	12,1	39,4	24,2	24,2		
	Jälkeen	f	2	21	9	3		35
		%	5,7	60,0	25,7	8,6		

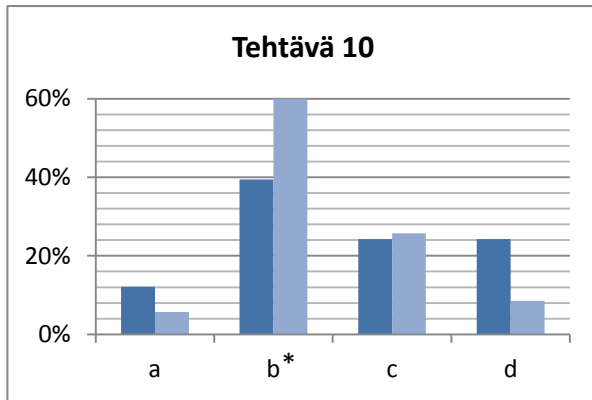
Tummennetut arvot vastaavat tehtävien oikeaa ratkaisua.

LIITE 5: Pylväskaaviot kyselylomakkeen monivalintatehtävien (2-10) prosenteista



* Tehtävän oikea ratkaisu

■ Ennen
■ Jälkeen



LIITE 6: Kyselylomakkeen reliabiliteettianalyysin tulokset

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
,762	,787	10

Item-Total Statistics

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Squared Multiple Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Teht1	5,3571	8,313	,271	,219	,777
Teht2	6,0429	8,237	,629	,728	,719
Teht3	6,0429	8,208	,640	,715	,717
Teht4	6,0571	8,047	,698	,848	,710
Teht5	6,0000	8,587	,514	,797	,733
Teht6	6,1000	8,186	,624	,505	,718
Teht7	6,0571	9,062	,309	,267	,756
Teht8	5,9571	7,288	,460	,366	,746
Teht9	6,4571	9,375	,238	,160	,763
Teht10	6,2286	9,433	,164	,132	,773

References

Inter-Item Correlation Matrix

	Teht1	Teht2	Teht3	Teht4	Teht5	Teht6	Teht7	Teht8	Teht9	Teht10
Teht1	1,000	,294	,332	,210	,067	,336	,022	,077	,070	,151
Teht2	,294	1,000	,810	,467	,315	,455	,215	,414	,339	-,041
Teht3	,332	,810	1,000	,529	,381	,516	,278	,309	,199	,019
Teht4	,210	,467	,529	1,000	,878	,609	,253	,418	,144	,166
Teht5	,067	,315	,381	,878	1,000	,484	,163	,330	,080	,119
Teht6	,336	,455	,516	,609	,484	1,000	,365	,247	,190	,129
Teht7	,022	,215	,278	,253	,163	,365	1,000	,349	,005	-,013
Teht8	,077	,414	,309	,418	,330	,247	,349	1,000	,208	,199
Teht9	,070	,339	,199	,144	,080	,190	,005	,208	1,000	,066
Teht10	,151	-,041	,019	,166	,119	,129	-,013	,199	,066	1,000