



(Pixabay, CC0)

E-opas elektrolyysin opetukseen lukiossa

Emmi Vuorio, Leena Vasara & Elina Illikainen



(Pixabay, CC0)



(Pixabay, CC0)

Sisällysluettelo

1. Johdanto	2
2. Aihe lukion OPSissa.....	3
3. Aiheen kemia: Elektrolyysi.....	4
4. Yhteistoiminnallinen oppiminen	6
Yhteistoiminnallisen oppimisen määritelmä.....	6
Yhteistoiminnallisen oppimisen käyttöönotto	8
Yhteistoiminnallisia opetusmenetelmiä	10
5. Draama opetuksessa	12
Draaman määritelmä.....	12
Draaman hyödyntäminen opetuksessa.....	13
Draaman eri muodot	13
Draaman tekniikoita	16
Konkreettinen esimerkki: veden elektrolyysin opettaminen draaman avulla	16
6. Tutkimuksellisuus elektrolyysin opetuksessa.....	20
Tutkimuksellisuudella loistavia oppimistuloksia	22
Miten tutkimuksellisuutta voisi toteuttaa?	24
7. Kemiallisen tiedon kolme tasoa.....	30
8. Virhekäsitysten tutkimustausta.....	32
Mistä virhekäsitykset tulevat?.....	32
Ennakkotiedot	33
Minkälaisia virhekäsityksiä on löydetty?	34
Muita vaikeuksia.....	34
9. Miten huomioida virhekäsitykset opetuksessa? Miten niitä voidaan muuttaa?	36
Johdanto elektrolyysiin.....	36
Sähköparin ja elektrolyysin vertailu	38
Simulaatiot ja videot.....	39
Virhekäsitys: Normaalipotentialitaulukko kertoo kaiken tai ei kerro mitään, konsentraatioilla ei ole merkitystä.....	42
Virhekäsitys: Potentiaalien suhteellisuutta tai vedyn nollapotentialin keinotekoisuutta ei ymmärretä..	44
Kognitiivinen konflikti ja virhekäsitykset	44
Esimerkki: Inertit elektrodit ja aktiiviset elektrodit.....	45
10. Lähteet.....	50
11. Liitteet.....	54



1. Johdanto

Tässä e-oppaassa käsitellään sähkökemian, erityisesti elektrolyysin opettamista lukiossa. Opas sisältää lyhyen tiivistelmän elektrolyysiin liittyvästä kemiasta sekä katsauksen opetushallituksen laatimaan opetussuunnitelmaan kyseisen aiheen osalta. Lisäksi oppaassa esitellään oppilaiden sähkökemian liittyviä virhekäsityksiä, erilaisia opetustapoja sekä TVT-sovelluksia. Oppaan laatimiseen on käytetty opetus- sekä kemian alan kirjallisuutta sekä tutkimustuloksia, joihin myös esiteltyjen opetustapojen hyödyllisyys sekä käyttäminen perustuvat.

Oppaan tavoitteena on antaa erityisesti vastavalmistuneille kemian opettajille uusia ideoita sekä tukea sähkökemian ja elektrolyysin opetuksen suunnitteluun. Opas on toteutettu ryhmätyönä Helsingin yliopiston kemian opettajakoulutusyksikön *Kemian opetuksen keskeiset alueet I* -kurssilla keväällä 2017.

2. Aihe lukion OPSissa

Lukion uusi opetussuunnitelma painottaa opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun kehittymistä osana nykyaikaista maailmankuvaa. Opiskelijan tulisi ymmärtää kemian merkitys yhteiskunnassa ja ihmisen elinympäristössä teknologisten sovellusten, ympäristönsuojelun sekä hyvän terveyden kannalta. On tärkeää, että opiskelija ymmärtää näistä lähtökohdista kemian merkityksen kestäväen tulevaisuuden näkökulmasta ja oppii siten ottamaan vastuuta yhteisestä tulevaisuudesta myös omassa elämässään.¹

Opetuksen tulisi olla monipuolista ja tasavertaista. Sen on tuettava opiskelijan kemian käsitteenmuodostusta kaikilla kolmella kemiallisen ajattelun tasolla (makroskooppinen, submikroskooppinen ja symbolinen), jolloin opiskelija kykenee muodostamaan eheän kuvan kemiallisista ilmiöistä. Opiskelijan tulee ymmärtää luonnontieteellisen tutkimuksen periaatteet sekä osata arvioida kriittisesti tietoa ja tietolähteitä. Havainnointi ja tutkiminen ovat perusta kemian ilmiöiden ja käsitteiden oppimiselle. Oppiminen tapahtuu monipuolisen kokeellisuuden menetelmin, kehittäen samalla opiskelijan käsitystä luonnontieteen luonteesta.¹

Sähkökemian kuuluu lukion KE4 kurssin sisältöön, joka käsittelee materiaaleja teknologiaa. Sähkökemian liittyy oleellisesti teknologian sovelluksiin sekä moniin teollisuuden aloihin. Tavoitteena on, että opiskelija pystyy soveltamaan kemiantietämystään arkipäivän, ympäristön ja yhteiskunnan ilmiöihin. Myös kokeellisten tutkimustaitojen kehittyminen, kemiallisten ilmiöiden mallintaminen, informaation arvioiminen sekä tieto- ja viestintäteknologian sovellusten käyttäminen ovat kurssin tavoitteita. Tutkimustaitojen osalta painotetaan kysymysten muodostamista sekä tutkimuksen suunnittelemista ja toteuttamista hyvää työturvallisuutta noudattaen.¹



3. Aiheen kemia: Elektrolyysi

Sähkökemian on kemian osa-alue, joka tutkii hapetus-pelkistysreaktioita. Reaktiot voivat tapahtua joko spontaanisti tai pakotetusti. Spontaanisti tapahtuvassa reaktiossa kemiallinen energia muutetaan sähkövirraksi, jota hyödynnetään muun muassa akuissa ja paristoissa. Elektrolyysissä kemiallinen reaktio puolestaan pakotetaan tapahtumaan sähkövirran avulla. Elektrolyysiä voidaan hyödyntää muun muassa metallien pinnoittamisessa, metallien puhdistamisessa sekä alkuaineiden valmistuksessa.²

Elektrolyysikkenno

Elektrolyysilaitteisto koostuu ulkoisesta tasavirtajännitelähteestä, kahdesta elektrodista, elektrolyyttiliuoksesta sekä kahdesta johtimesta, joiden avulla saavat kytketään paristoon. Elektrodit sijoitetaan samaan reaktioastiaan ja ne voivat olla joko metallia tai hiiltä, jotka voivat olla joko passiivisia (platina, hiili) tai osallistua anodina aktiivisesti elektrodireaktioon. Elektrolyyttiliuoksena voidaan käyttää suolan vesiliuosta, suolasulatetta, vahvoja happoja sekä emäksiä sekä muita ioneina liukenevia aineita. Positiivisesti varautuneet kationit sekä negatiivisesti varautuneet anionit toimivat sähköä kuljettajina elektrolyyttiliuoksessa.²

Elektrolyysikennossa plusmerkkistä napaa kutsutaan anodiksi ja negatiivista napaa katodiksi (Galvaanisessa kennossa nimet ovat juuri toisinpäin). Sen sijaan hapettuminen tapahtuu aina anodilla. Näin ollen elektrolyysikennossa negatiiviset ionit kulkeutuvat positiiviselle elektrodille (anodille), missä ne luovuttavat ylimääräiset elektroninsa samalla itse hapettuen. Vastaavasti positiiviset ionit kulkeutuvat negatiiviselle elektrodille (katodille), missä ne vastaanottavat elektroneja ja siten pelkistyvät.²

Ionien keskinäinen hapettuminen ja pelkistyminen elektrolyysikennossa tapahtuu pääsääntöisesti normaalipotentiali eli metallien jännitesarjan mukaisessa järjestyksessä. On kuitenkin huomioitava, että elektrolyytin konsentraatio, liuoksen lämpötila sekä pH voivat muuttaa järjestystä, sillä normaalipotentialit on määritetty perustilassa.²

Elektrolyysin hyödyntäminen

Elektrolyysiä voidaan hyödyntää monien metallien, kuten alkali- ja maa-alkalimetallien sekä alumiinin teolliseen valmistamiseen. Samoin voidaan valmistaa myös muita alkuaineita, kuten fluori-, kloori-, vety- ja happikaasuja.² Hyvänä käytännön esimerkkinä tästä onkin veden elektrolyysi, jossa vettä hajotetaan elektrolyysin avulla vetykaasuksi, jota taas hyödynnetään muun muassa vetyautoissa. Lisäksi elektrolyysin avulla voidaan puhdistaa sekä pinnoittaa metalleja.

Metallin puhdistuksessa epäpuhdas metalli kytketään positiiviseen napaan ja puhdas negatiiviseen napaan. Tällöin epäpuhtaan metallin atomit hapettuvat ja liukenevat nesteeseen positiivisiksi ioneiksi. Nämä ionit kulkeutuvat negatiiviseen napaan kytketyille puhtaalle metallilevyille ja pelkistyvät sen pinnalle muodostaen lisää puhdasta metallia.



Metallien pinnoittamisessa päällystettävä metalliesine kytketään negatiiviseen napaan (katodille) ja anodiksi valitaan metalli, jolla esine halutaan pinnoittaa. Tällöin liuoksessa olevat metalli-ionit saadaan pelkistymään metalliesineen pintaan. Näin voidaan esimerkiksi pinnoittaa avain kuparilla, kun elektrolyytinä käytetään kuparisulfaattiliuosta (tuttu ja yleinen oppilastyö). Lisäksi metallien pinnoittamista hyödynnetään monissa arkisissakin metalliesineissä – kuten aterimissa, koruissa ja jopa auton puskureissa. Tällöin päällystäminen ideana on, että esine voidaan valmistaa edullisemmasta materiaalista, mutta päällystämällä se arvokkaammalla metallilla siitä saadaan kauniimpi tai paremmin korroosiota kestävä.²



(Max Pixel, CC0)

4. Yhteistoiminnallinen oppiminen

- Ryhmätyöskentelyyn perustuva opetusmenetelmä
- Eroaa perinteisestä ryhmätyöskentelystä: Kokonaisuutta ei synny ilman jokaisen oppijan panosta.
- Ei pelkkä ”nippu menetelmällisiä temppuja” vaan tapa ajatella.³



(Pixabay, CC0)

Yhteistoiminnallisen oppimisen määritelmä

Yhteistoiminnallinen oppiminen (cooperative learning) on oppimismenetelmä, joka perustuu ryhmässä työskentelyyn. Mikä tahansa ryhmätyöskentely ei kuitenkaan ole yhteistoiminnallista, vaan yhteistoiminnallisessa oppimisessa korostuu oppijoiden sosiaalisen keskinäisen riippuvuuden merkitys yksilön oppimisprosessille. Esimerkiksi perinteiseen ryhmätyöskentelyyn verrattuna yhteistoiminnallinen oppiminen eroaa siten, että oppilaat toimivat alusta alkaen yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi eivätkä erillisinä yksilöinä, jotka vain lopussa summaisivat kukin oman tuotoksensa. Kun oppilaat toimivat yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi yhdessä, he voivat päästä korkeammalle taitotasolle, kuin mihin pystyisivät yksin (tai verrattuna perinteiseen ryhmätyöhön, jonka vaarana on, että yksilöt oppivat jopa vähemmän kuin mitä oppisivat yksin). Yhteistoiminnalliset oppimismenetelmät eivät myöskään salli vapaamatkustajia, sillä jokainen oppija on vastuussa myös muiden oppimisesta ja tehtävät ovat luonteeltaan sellaisia, ettei niistä voi selvitä yksin. Jokaisen ryhmän jäsenen panosta tarvitaan.⁴

YHTEISTOIMINNALISEEN TYÖSKENTELYYN LIITTYVÄT VIIISI PERIAATETTA^{5,6,7}

1. Positiivinen keskinäinen riippuvuus
2. Monipuolinen, avoin ja kannustava kasvokkain tapahtuva vuorovaikutus
3. Yksilöllinen vastuu
4. Sosiaaliset taidot
5. Prosessointi ja reflektointi

1. Positiivinen keskinäinen riippuvuus

- Positiivinen keskinäinen riippuvuus syntyy, kun oppilas ymmärtää, ettei hän, eivätkä muutkaan ryhmäläiset voi onnistua yksin. Jokaisella on oma tehtävänsä, joista muodostuu ryhmän yhteinen päämäärä.
- Riippuvuuden muodostumiseen tarvitaan aikaa ja harjoitusta.
- Opettaja voi auttaa luomaan positiivista yhteenkuuluvuuden tunnetta oppilaiden välille esimerkiksi määrittelemällä ja asettamalla yhteisiä oppimistavoitteita, jakamalla jäsenille erilaisten rooleja (lukija, organisoija, tarkistaja, rohkaisija, puheenjohtaja, tarkkailija, yhteenvetäjä) sekä antamalla rooleihin sopivia tehtäviä.

2. Monipuolinen, avoin ja kannustava kasvokkain tapahtuva vuorovaikutus

- Esteetön ja avoin vuorovaikutus ryhmän jäsenten kesken on edellytys toimivalle yhteistyölle.
- Ryhmän jäsenet selittävät toisilleen omia näkemyksiään, keskustelevat opittavien käsitteiden luonteesta sekä kuuntelevat toisten näkemyksiä ja ottavat niihin kantaa.
- Kuuntelutaitoihin kuuluu luonnollisesti tarkentavien kysymysten esittämisen taito, yhteenvedon tekemisen taito ja muiden esitysten kannustavan tarkastelun sekä edelleen kehittämisen taito.
- Oman tietämyksen opettaminen luokkakavereille ja uuden tiedon yhdistäminen aiemmin opittuun.

3. Yksilöllinen vastuu

- Ryhmätyö ei pääty, vaikka tehtävä olisi saatu ratkaistua.
- Jokainen ryhmän jäsen on vastuussa muidenkin oppimisesta ja siitä, että jokainen ryhmän jäsen saavuttaa asetetut tavoitteet; huolehditaan, että jokainen on oppinut sen, minkä muutkin ryhmän jäsenet ovat oppineet.
- Yksilöllisen vastuun korostaminen vähentää normaaleissa ryhmätöissä esiintyvää vapaamatkustajaongelmaa, jossa joku oppilas ratsastaa toisen ryhmäläisen työpanoksella.
- Jokaisen ryhmän jäsenen aktiivista osallistumista voidaan lisätä muun muassa vaatimalla, että jokainen oppilas osaa kertoa ryhmänsä tuotoksista muille.

4. Sosiaaliset taidot

- Tiedollisten tavoitteiden lisäksi yhteistoiminnalliseen oppimiseen liittyy aina sosiaalisten taitojen kehittyminen.
- Opetellaan muun muassa kuuntelemaan sekä antamaan rakentavaa palautetta ja vastaanottamaan sitä, kunnioittamaan toisia sekä heidän mielipiteitään, esittämään kysymyksiä sekä argumentoimaan omia näkemyksiä.

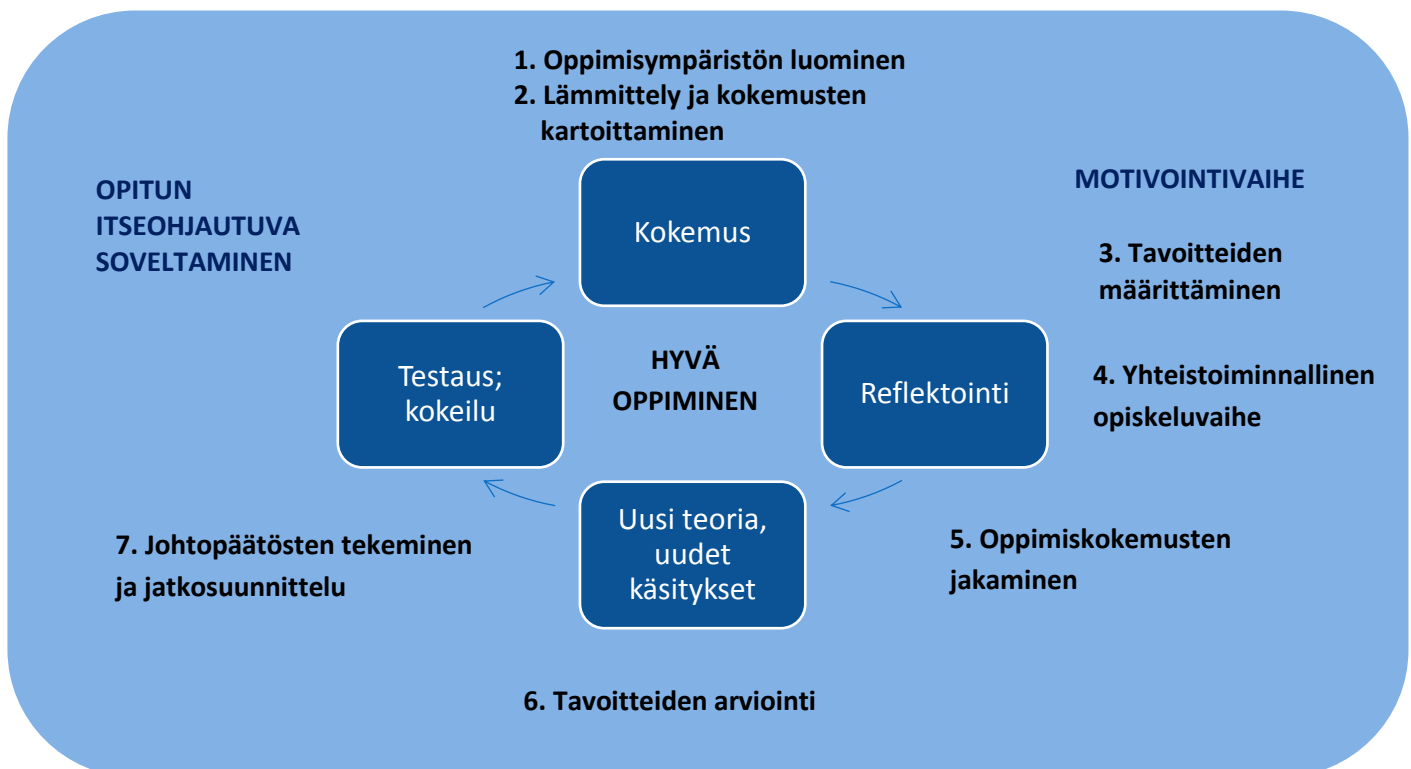
5. Prosessointi ja reflektointi

- Keskustellaan ryhmän jäsenten työskentelystä; päästiinkö tavoitteeseen? Mistä toimista oli hyötyä ja mistä ei? Miten ryhmätyöskentelyä voitaisiin kehittää jatkossa?



Yhteistoiminnallisen oppimisen käyttöönotto⁸

Yhteistoiminnallisen oppimisen soveltaminen on aloitettava pienin askelin. Sillä uudet työtavat voivat aiheuttaa oppilaissa negatiivisia tunteita ja asioiden välttelyä. Koska yhteistoiminnallinen oppiminen perustuu sujuvaan yhteistyöhön ja vuorovaikutukseen, on erityisen tärkeää aluksi luoda sopiva oppimisympäristö, jossa oppilaat tuntevat olonsa turvalliseksi ja kokevat tulevansa kuulluksi. Sillä yhteenkuuluvuuden tunne ja positiivinen riippuvuus toisista opiskelijoista ovat yhteistoiminnallisen oppimisen perusta. Edellytyksenä on, että jokainen ryhmänjäsen on omaksunut kaksi periaatetta: toisten auttaminen niin oppimisessa kuin työskentelyssäkin, ja jokaisen aktiivinen osallistuminen takaavat sen, että yhteistyö on mahdollista ja hyödyllistä.⁹



1. Oppimisympäristön luominen³

- Sisältää mm. materiaalien hankkimisen, opiskeluaineiston valinnan, fyysisen ympäristön suunnittelun, ryhmä- ja roolijaosta sopimisen, aikataulusuunnitelman laatimisen sekä esittely- ja arviointitavasta päättämisen.

- Toiminnan pelisäännöt on tärkeä osa ryhmän työskentelyä, joten niiden laatimiseen ja arviointiin kannattaa kiinnittää riittävästi huomiota.

- Ottamalla opiskelijat mukaan suunnitteluun voidaan kehittää ja ylläpitää heidän motivaatiotaan.

2. Lämmittely³

-Lämmittely on tärkeä osa motivointia.

-Tavoitteena on irrottaa opiskelija edellisestä vaiheesta (opetustuokiosta, välitunnista, viikonlopusta tms.) ja saattaa hänet läsnä olevaksi oppimistilanteeseen sekä luoda otollinen sosiaalinen opiskeluilmapiiiri.

3. Tavoitteiden asettaminen³

- Tavoitteiden asettamisen tärkeimpiä tehtäviä on ohjata opiskelija kiinnittämään huomiota opiskeltavaan asiaan sekä saada hänet innostumaan opiskeltavasta asiasta.
- Motivoinnissa on tärkeää lähteä liikkeelle oppilaan tarttumapinnasta eli, siitä mitä hän tietää jo entuudestaan opiskeltavasta asiasta.
- Oppimistavoitteet tulee luoda oppilaan taitotason mukaan sekä huomioimalla myös se, mitä hän haluaa oppia.
- Opettajan tehtävänä on aikaansaada oppilaan mielessä ristiriita, jota hän haluaa lähteä selvittämään.

4. Yhteistoiminnallinen opiskeluvaihe³

- Alussa on järkevää, tutustua huolellisesti yhteistoiminnallisen oppimisen periaatteisiin sekä menetelmiin. Näin opiskelijat alkavat vähitellen ymmärtää sekä omaksua yhteistoiminnallisia opiskelutaitoja.
- Ajan ja harjoittelun myötä oppilaiden itseohjautuvuus kehittyy, jolloin voidaan alkaa keskittyä enemmän asiasisältöjen opiskeluun.

5. Oppimiskokemusten jakaminen³

- Asiasisältöjen oppimisen lisäksi tavoitteena on sosiaalisten taitojen sekä persoonallisuuden kehittymisen edistäminen. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan säännöllistä yksilön sekä ryhmän kokemusten jakamista.
- Jokaisen harjoituksen tulisi päättyä yksin, ryhmissä tai yhdessä tapahtuvaan reflektointiin.
- Voidaan esimerkiksi pohtia seuraavia kysymyksiä: Mitä opin itsestäni ja muista? Mitä tunsin ja koin harjoituksen aikana? Minkä vuoksi opin tällä menetelmällä paremmin kuin jollain toisella? Mitä johtopäätöksiä tästä voin tehdä oman opiskeluni suhteen?

6. Tavoitteiden arviointi³

- Opiskelijoiden tuottamilla esityksillä sekä niiden arvioinnilla yhdessä opiskelijoiden sekä opettajan kanssa on suuri merkitys oppimisen kannalta.
- Oppimisjakson lopussa palautetaan mieleen tavoitteet ja arvioidaan niiden saavuttamista.
- Opettajan tehtävänä on nostaa esille olennaiset kysymykset sekä kiteyttää tunnilla opitut asiat.
- Tässä vaiheessa opettajalla on myös mahdollisuus tarkistaa, että opiskelijat ovat omaksuneet opiskeltavat asiat oikein johtamalla opetuskeskustelua relevanttiin suuntaan. Ovatko opiskeltavat perusasiat tulleet oikein esille vai onko oppilaille syntynyt virhekäsityksiä, jotka täytyy oikaista?
- Arviointivaihe on oppimistilaisuus sekä tapa arvostaa tehtyä työtä.

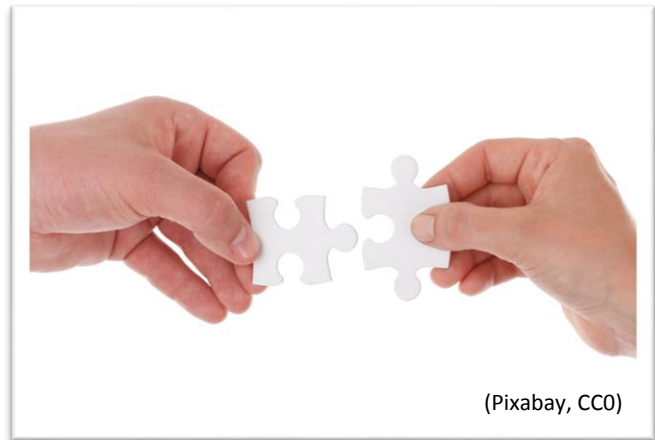
7. Johtopäätösten tekeminen ja jatkon suunnittelu³

- Yhteinen kokemusten reflektointi auttaa metataitojen omaksumisessa ja kehittämisessä.
- Opiskelijoiden sitouttaminen yhteiseen suunnitteluun opiskelun kaikissa vaiheissa liittyy hyvään oppimisprosessiin ja pitää yllä motivaatiota sekä kannustaa itsenäiseen työskentelyyn.
- Tavoitteena on saada opiskelijat näkemään opetustilanteet jatkumona, joihin he voivat myös itse vaikuttaa (ainakin tietyissä rajoissa). Voidaan esimerkiksi miettiä: Miten opiskelua jatketaan, mitä tehdään kotitehtävinä tai voisiko jokin ryhmä vetää seuraavan tunnin lämmittelyn?

Yhteistoiminnallisia opetusmenetelmiä

Palapelimalli

- Paljon käytetty ja lienee tunnetuin yhteistoiminnallisen oppimisen sovellus, joka perustuu työpistetyöskentelyyn.
- Aluksi oppilaat jaetaan ryhmiin. Opettaja jakaa ryhmille aiheet ja aineistot (voi tapahtua myös itsenäisenä tiedonetsintänä) sekä selittää, miten ryhmiä arvioidaan työskentelyn ajan.
- Tämän jälkeen jokainen kotiryhmän jäsen saa vastuulleen osan opiskeltavasta aihekokonaisuudesta.
- Seuraavassa vaiheessa oppilaat muodostavat asiantuntijaryhmiä niiden henkilöiden kanssa, jotka opiskelevat samaa asiaa.
- Tämän jälkeen asiantuntijat palaavat kotiryhmäänsä ja opettavat oman osansa kotiryhmäläisilleen.
- Lopuksi kotiryhmä kokoaa yhteisen ymmärryksensä oppimistehtävän asiasta.



Porinaryhmät

- Vapaa-muotoinen ja helppo toteuttaa
- Ryhmäläisille annetaan lyhyt keskustelutehtävä, jonka prosessointiaika on korkeintaan muutaman minuutin.
- Lyhyeksi rajattu aika edesauttaa ryhmää tarttumaan aiheeseen napakasti.
- Aiheen tulee olla sellainen, että jokaisella olisi siitä jotakin sanottavaa mutta samalla kuitenkin innostava eikä liian vaikea.
- Voidaan käyttää oppilaiden aktivointiin ja oppitunnin elävöittämiseen, ryhmähengen luomiseen sekä ajatusten ja mielipiteiden ilmaisemisen harjoitteluun.



Lumipallo

- Ohjaaja antaa ryhmälle keskustelun aiheen, tehtävän tai vaikkapa ongelman ratkaistavaksi.
- Aluksi he miettivät annettua tehtävää hetken yksin. Tämän jälkeen muodostetaan parit. Parit alkavat yhdessä miettiä ratkaisua ongelmaa ja kirjaavat ratkaisut ylös. Seuraavaksi kaksi paria yhdistyy neljän hengen ryhmiksi, joissa keskustellaan ja tehdään sopimus ratkaisusta. Edelleen

kaksi neljän hengen ryhmää liittyy kahdeksan hengen ryhmäksi ja jälleen mietitään yhteinen ratkaisu ongelmaan. Näin annettu aihe soljuu eteenpäin saaden samalla uusia näkökulmia, kun ryhmän kokoonpanoa muutetaan.

- Tavoitteena löytää yksi ratkaisu, joka miellyttää kaikkia.
- Lopuksi voidaan vertailla eri ryhmien ratkaisuja sekä tehdä yhteinen koonti.

Lisää yhteistoiminnallisia opetusmenetelmiä löytyy muun muassa seuraavista osoitteista:

- <http://www.peda.net/veraia/projekti/kelpokymppi/eriyttaminen/menetelmat/toiminnallisuus>
- <http://www.oamk.fi/amok/oppimat/LO/Opetusmenetelmat06a/html/yhteistoim.html>

Käytä tätä opetuksessa!

Sähkökemian töiden tekeminen ja demonstrointi yhteistoiminnallisesti

Oppilaat voivat tehdä itsenäisesti esimerkiksi tutun avaimen kuparointi -työn. Tämän jälkeen opettaja pyytää oppilaita miettimään ensin itsenäisesti, mitä työssä tapahtui ja pohtimaan ilmiön taustalla olevaa kemiaa. Lisäksi oppilaille voi antaa tehtäväksi piirtää kuvan koejärjestelystä sekä nimeämään sen (elektrolyysikennon) osia sekä niiden funktiota. Tämän jälkeen oppilaita pyydetään keskustelemaan pareittain havainnoistaan sekä vertailemaan niitä keskenään. Seuraavaksi parit yhdistetään neljän hengen ryhmiksi, jossa he vertailevat parien tekemiä havaintoja ja johtopäätöksiä sekä arvioivat omien näkemystensä oikeutuksia. Keskustelun tavoitteena täydentää ja toisten havaintoja ja lopuksi koota yhteinen kaikkia tyydyttävä johtopäätös, jotka käydään yhdessä läpi koko luokan kanssa. Tässä vaiheessa opettaja pystyy vielä oikaisemaan mahdolliset väärinkäsitykset sekä mahdollisesti lisäämään olennaisia puuttuvia asioita.

Samaa konseptia voidaan käyttää myös demonstraation yhteydessä. Kun opettaja esittää ensin jonkin kysymyksen tulevaa demonstraatiota koskien sekä kertoo, miten oppilaat saavat tämän jälkeen pohtia asiaa ensin yksikseen, sitten pareittain ja ryhmissä sekä lopulta yhdessä koko porukan kanssa, jokainen oppilas joutuu seuraamaan demonstraatiota tarkkaavaisesti, sillä jokainen joutuu ottamaan kantaa esitettyyn kysymykseen.

Palapelimallin avulla monipuolisempaa ymmärrystä elektrolyysistä

Kotiryhmä jaetaan neljään osaan. Jokainen kotiryhmän jäsen saa tehtäväkseen ottaa selvää yhdestä aiheesta, joita voivat olla esimerkiksi elektrolyysin historia, metallien elektrolyyttinen puhdistus, metallien pinnoitus sekä vetyautot. Tämän jälkeen toiminta etenee palapelimallin työvaiheita seuraten.

5. Draama opetuksessa

- Muutakin kuin teatteria ja näyttelemistä
- Yhdistellään teatterin, leikin sekä kasvatuksen keinoja oppimisen tukemiseksi
- Tutkitusti positiivinen vaikutus oppimiseen
- Ei vaadi erityisiä ”näyttelijän lahjoja”, sillä tavoitteena ei ole niinkään hieno esitys vaan työskentelyn aikana tapahtuva oppiminen sekä vuorovaikutus.



Draaman määritelmä

Asiayhteydestä riippuen draama liitetään yleisesti teatteriin, näyttelemiseen, yhteen kirjallisuuden päälajiin sekä näytelmäkirjallisuuteen. Oppimis- sekä koulukontekstissa draamalla kuitenkin tarkoitetaan draamakasvatusta sekä siihen perustuvia toimintamenetelmiä.¹⁰

Draamakasvatuksessa draama nähdään sekä taidemuotona että kasvatuksen ja opetuksen välineenä.¹¹ Draamalla voidaan tarkoittaa myös sen toimintamenetelmiä, Draamakasvatuksen ideana on yhdistellä teatterin, leikin sekä kasvatuksen keinoja, siten että niiden avulla voidaan käsitellä teatterimaiseen muotoon sovitettuja teemoja, ilmiöitä tai oppisisältöjä.

Ominaista draamalle ovat ryhmässä työskentely, vuorovaikutteisuus, toiminnallisuus, tarinallisuus sekä kokemuksellisuus. Lisäksi työskentely tapahtuu pääosin luokassa, ilman ulkopuolista yleisöä. ”Tavallisesta” draamasta poiketen, opetuskäytössä draaman pääpaino on työskentelyn aikana tapahtuvassa ajatustyössä ja oppimisessa, eikä niinkään lopputuloksena syntyvän esityksen hienoudessa.¹¹ Draamassa oppiminen tapahtuu siinä, missä todellinen ja fiktiivinen maailma kohtaavat.¹²

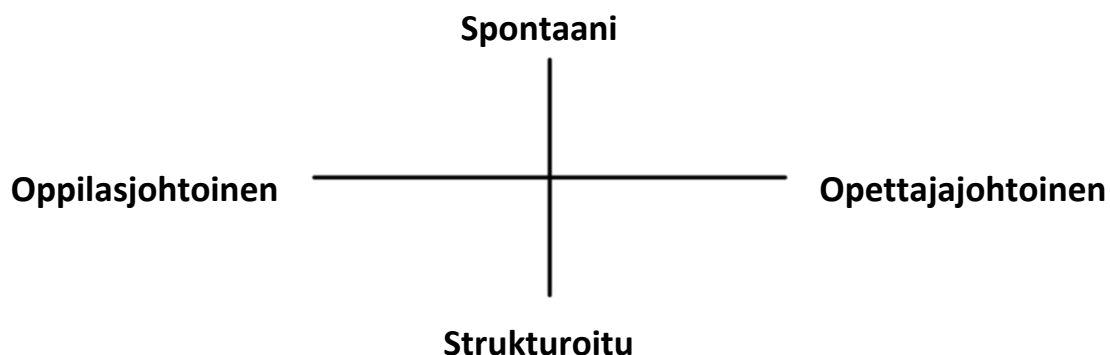
Draaman hyödyntäminen opetuksessa

Kaksi tapaa hyödyntää

1. Voidaan **simuloida luonnontieteisiin tai teknologiaan liittyviä yhteiskunnallisia, kulttuurisia tai aatteellisia tapahtumia** (joita oppijat eivät ole itse kokeneet) muun muassa roolileikkien ja väittelyjen kautta.¹³
 - Eläytyessään erilaisiin rooleihin yksilö luo uusia konteksteja, jossa hän harjaantuu kokeilemaan vaihtoehtoisia ratkaisuja.¹⁴
 - Se antaa myös hyödyllisen ja tehokkaan tavan opettaa yhteiskunnallisten vaikutusten ja eettisten näkökulmien merkitystä sekä yksilön vastuuta.
2. Mahdollistaa **abstraktien luonnontieteellisten ilmiöiden simuloinnin**, joita ei muuten pystytä toteuttamaan tai havaitsemaan luokkahuoneessa.¹³
 - Tällöin draaman toteuttamisessa voidaan käyttää esimerkiksi roolileikkejä, fyysisiä simulaatioita tai pantomiimia. Ajatuksena on, että oppijat voivat esittää ihmisiä tai muita elollisia tai elottomia olioita^{13,15,16} ja luoda näin ilmiöstä kolmiulotteisen mallin.¹³

Draaman eri muodot

Draaman käyttöönottoa ei ole syytä pelätä tai arkilla, sillä sen toteuttamiseksi ei ole olemassa yhtä ja ainutta tapaa. Luonteeltaan draaman aktiviteetit voivat olla hyvinkin vaihtelevia. Niitä voidaan luokitella ja kuvata muun muassa nelikentän avulla sen mukaan, kuinka strukturoitua tai spontaania toiminta on sekä kuinka opettaja- tai oppilasjohtoisesta aktiviteetista on kyse.¹⁷



Strukturoitu draama

Strukturoidussa draamassa oppilaat esittävät roolejaan jonkin tunnetun tieteellisen teorian asettamissa raameissa, esimerkiksi näytellen elektroneja virtapiirissä, kun halutaan havainnollistaa sähköä käsitettä. Toisaalta draama voi olla myös impulsiivista, spontaania sekä syntyä täysin siinä hetkessä, esimerkiksi kun oppilaiden täytyy improvisoida ja itse keksiä sekä päättää keitä he ovat ja mitä he sanovat. Näiden väliin mahtuu kuitenkin myös paljon erilaisia välimuotoja. Esimerkiksi valmiit roolikortit antavat oppilaalle hänen roolinsa valmiiksi, mutta oppilaan tehtäväksi jää kuitenkin itse keksiä mitä hän sanoo. Opettaja- ja oppilasjohtoisuus puolestaan määräytyy muun muassa sen mukaan kuinka paljon opettaja ohjaa tapaa, jolla jotakin käsitettä havainnollistetaan vai onko tavan keksiminen oppilailla.¹⁵

Esittävää vai kokeilevaa ja tutkivaa?

Lisäksi draamaa voidaan luokitella sen mukaan, onko se esittävää vai enemmänkin tutkivaa ja kokeilevaa.¹⁸ Esittävässä draamassa pääpaino on siinä, että silloin kommunikoidaan jonkin varsinaiseen aktiviteettiin osallistumattoman, ulkopuolella olevan henkilön kanssa, esimerkiksi opettajan tai muiden oppilaiden. Kokeilevassa ja tutkivassa draamassa oppilaat puolestaan toimivat pienissä ryhmissä ja keskustelevat enimmäkseen vain keskenään. Samalla heidän tarkoituksenaan on havainnollistaa jotakin käsitettä sekä mahdollisesti samalla eläytyä johonkin tiettyyn rooliin.

Ihanteellisinta olisi, jos "sivustakatsojia" olisi mahdollisimman vähän ja jokainen oppilas pääsisi osallistumaan draaman tekemiseen, sillä omakohtainen kokemus on tärkeää oppimisen kannalta, sillä asiat jäävät huomattavasti paremmin mieleen, kun saa itse osallistua tekemällä. Toisaalta joskus jokin draaman esitysmuotoa tai tiettyä käsitettä voi olla hankalaa esittää suurella oppilasmäärällä. Tämän takia ei kuitenkaan kannata jättää draamaa väliin, mikäli se voisi muuten helpottaa asian ymmärtämistä, sillä tällaisessa tapauksessa opettaja voi aktivoida ja osallistaa myös yleisönä olevia oppilaita kysymysten ja keskustelun kautta, vaikka eivät he juuri sillä hetkellä olisikaan "näyttelijän roolissa". Lisäksi tutkimuksissa on havaittu, että draaman avulla voidaan parantaa oppilaiden kemian tuloksia riippumatta siitä, osallistuvatko he siihen itse aktiivisesti vai seuraavatko he draamaa aktiivisesti katsellen.¹⁹

Perusteluja draaman opetuskäytölle

- Linjassa konstrukttiivisen oppimiskäsityksen kanssa
 - Tietoa ei voida siirtää suoraan opettajalta tai oppikirjasta oppijalle, vaan oppijan on rakennettava eli konstruoitava se itse uudelleen.
- Lisää oppilaiden osallisuutta ja tekee asioista omakohtaisempia, jolloin myös asioiden ymmärtäminen sekä muistaminen helpottuvat
 - Sillä suunnitellessaan ja toteuttaessaan oppijat joutuvat pohtimaan käsitteitä itselleen merkityksellisillä tavoilla¹⁵ ja yhdistämään niitä jokapäiväiseen elämäänsä, mikä myös lisää jo opitun tiedon pysyvyyttä.²⁰
 - Lisäksi mahdollisuus konkretisoida opiskeltavia asioita tukee heidän ymmärtämistään sekä yksilöllistää koko prosessia, jolloin myös asioiden siirtäminen pitkäkestoiseen muistiin sekä asioiden mieleen palauttaminen on todennäköisempää syntyneiden miellelyhtymien takia.¹⁹
- Draama luo foorumin fyysiselle ja kinesteettiselle oppimiselle, sillä draamassa oppimiseen liittyy keho tai kehomuisti.
- Draaman kehollisuus ja kokonaisvaltaisuus voi tarjota oppijoille merkityksellisiä oppimiskokemuksia^{11,15}, mikä voi puolestaan lisätä heidän kiinnostustaan.
- Vahvistaa oppilaiden itsetuntemusta, empatiakykyä, rohkeutta sekä vuorovaikutus taitoja, jotka ovat tärkeitä muun muassa tulevaisuuden työelämässä
 - Eläytyessään erilaisiin rooleihin yksilö luo uusia konteksteja, jossa hän harjaantuu kokeilemaan vaihtoehtoisia ratkaisuja.
 - Toiminen sekä kuvitteellisessa roolissa että omana mahdollistaa oman ajattelun reflektoinnin ryhmän kommunikoidessa keskenään.^{11,13}
- Joissain tilanteissa draaman käyttö voi myös toimia ryhmän hallintakeinona, lisääntyneen ryhmän yhteenkuuluvuuden tunteen ja ryhmän vuorovaikutuksellisuuden ansiosta.¹²

Tutkimustuloksia draaman hyödyistä

Tutkimuksissa, joissa simuloitiin abstrakteja luonnontieteellisiä ilmiöitä 12-16-vuotiaiden opetuksessa, draaman todettiin muun muassa:

- edistävän opettavan aiheen oppimista^{13,16,20,21}
- sai oppilaat osallistumaan aktiivisesti, kehitti oppilaiden kykyä visualisoida ja käsitteellistää opettavaa aihetta^{13,16}
- paransi vuorovaikutustaitoja^{20,21}
- sai aikaan huumoria^{13,21}
- kohentavan oppimisilmapiiriä tai ryhmähenkeä^{16,20,21}

Draaman tekniikoita

Seuraavilta sivustoilta löytyy erilaisia draamantyötapoja, joita voi hyödyntää opetuksessa.

- <https://tiededraamaopas.wordpress.com/draamatyotapoja/>
- <http://dramaresource.com/drama-strategies/>

Konkreettinen esimerkki: veden elektrolyysin opettaminen draaman avulla

Seuraava vapaasti suomennettu hieman muokattu esimerkki Saricayirin tutkimuksesta¹⁹ näyttää yhden konkreettisen tavan, miten draamaan voidaan hyödyntää veden elektrolyysin opetuksessa. Alunperin kyseinen draama-aktiiviteetti on suunniteltu seitsemäsluokkalaisten opetukseen, mutta sopivalla muokkaamisella siitä saisi varmasti myös lukiolaisille sopivan. Esimerkiksi aktiiviteetin avoimuuden lisääminen nostaisi sen haastavuutta. Tämä voisi tapahtua muun muassa seuraavilla tavoilla:

1. Valmiissa käsikirjoituksessa olisi pelkät näyttämöohjeet, muttei lainkaan vuorosanoja. Tällöin opettaja voisi aina keskeyttää toiminnan sopivissa kohdissa ja kysyä esimerkiksi, mitä happi tai vety voisi sanoa tuolloin ja miksi.
2. Opettaja voisi antaa myös oppilaille pelkän aiheen (veden elektrolyysi), jolloin oppilaat joutuisivat ensin kertaamaan käsitteen määritelmän, sen jälkeen suunnittelemaan sanomisensa sekä miettimään myös muita ilmaisun keinoja.
3. Toisaalta, jotta asian käsittely ei jäisi liian yksipuoliseksi opettaja voisi antaa oppilaille aiheen lisäksi myös tukisanoja (kuten kovalenttinen sidos, kaksoissidos, kemiallinen reaktio, varaus, virtapiiri jne.), jotka tulee sisällyttää lopulliseen tuotokseen. Näin oppilaat palauttamaan mieliin muun muassa erilaiset sidostyypit sekä reaktioyhtälöiden tasapainottamisen.

VEDEN ELEKTROLYYSI

Näyttelijät:

Tarvitaan yhteensä kahdeksan henkilöä.

- Kaksi oppilasta näyttelee happiatomia
- neljä oppilasta näyttelee vetyatomia
- yksi oppilas näyttelee sähkövirtaa
- yksi oppilas näyttelee uteliasta poikaa tai tyttöä, joka haluaa hajottaa vettä
- opettaja näyttelee hänen toimintaansa ohjaten

Rekvisiitta ja alkuasetelma:

- Vetyatomeja näyttelevät henkilöt pitävät rinnallaan sinisiä papereita, joihin on kirjoitettu vedyn kemiallinen merkki "H".
- Happiatomeja näyttelevät henkilöt pitävät rinnallaan valkoisia papereita, joihin on kirjoitettu hapen kemiallinen merkki "O".
- Sähkövirtaa esittävällä oppilaalla on edessään puolestaan paperi, jossa lukee *sähkö* tai sähkövirran symboli *I*.
- Luokkaan asetetaan esimerkiksi kaksi tuolia esittämään anodia ja katodia. Niihin voidaan kiinnittää, joko paperit, joissa lukee "anodi" ja "kanodi", tai vastaavasti merkitä "+" ja "-", jolloin oppilaat joutuvat myös miettimään, kumpi napa toimii elektrolyysikennossa anodina ja kumpi katodina.

Opettaja kertoo oppilaille selkeästi kunkin oppilaan roolin ja antaa etukäteen laaditut käsikirjoitukset.

Opettaja kertaa/muistuttaa oppilaita erilaisista sidostyypeistä: happiatomien väillä on kaksoissidos ja vetyatomien välillä on puolestaan yksöissidos. Lisäksi kerrataan vesimolekyylin rakenne ja palautetaan mieliin, että reaktion tapahtumiseksi atomien täytyy kohdata oikeasta suunnasta. Tämän selvityksen jälkeen oppilaille annetaan aikaa keskustella pareittain siitä, kuinka heidän tulee toimia ja näytellä havainnollistaakseen tilanne mahdollisimman hyvin. Myös yleisö osallistuu keskusteluun.

Tarvittaessa opettaja ohjaa oppilaita oikeaan asentoon/paikkaan.

Oppilaiden keskustelu draaman aikana

Kaksi happiatomia esittävää oppilasta seisoo vierekkäin ja havainnollistavat happiatomien välistä kaksossidosta pitäen molemmilla käsillensä kiinni toistensa kädestä. Samalla he juttelevat toisilleen seuraavasti:

Tässä vaiheessa vetyatomit (H1 ja H2) saapuvat hitaasti näyttämölle. Koska vetyatomit kulkevat matalana, sillä ne ovat pienempiä kuin happiatomit. Lisäksi vetyatomit pitävät kiinni toisistaan yhdellä kädellä havainnollistaen niiden välistä yksöissidosta.

O1: Hohhohi, onpas mulla tylsä päivä tänään.

O2: Mitä tapahtunut? Miksi olet niin tylsistynyt ja ikävystynyt?

O1: No kun meidän elämä on niin arkista ja liian tavallista. Tylsää!

O2: Hei oikeesti, oo rehellinen mulle. Ootko kyllästynyt muhun?

O1: En missään nimessä. Oot mun paras kaveri. Meillä on hyvä kaksoissidoskin. Mutta mulla haluttais tavata uusia atomeja ja muodostaa uudenlaisia molekyyliä, joilla on myös uudenlaisia ominaisuuksia.

O2: Totta, oot oikeassa. Itseasiassa musta on tuntunut samalta, mutten vaan ole osannut selittää sitä sulle.

Vetyatomit päättävät muodostaa uuden yhdisteen ja alkavat keskustella aiheesta happiatomien kanssa.

O1: Miten ajattelitte muodostaa uuden molekyylin? Haluaisitteko te muodostaa kovalenttisen sidoksen jakamalla meidän kaksi yhteistä elektronia?

H1 & H2: Joo.

O2 sanoo O1:lle: Hei, sä unohdit mut! Mitä mä teen jos sä jätät mut?

O1 vastaa O2:lle: Totta, unohdin sut ihan kokonaan.

O1 sanoo H1:lle ja H2:lle: Hetkinen... Jos muodostan uuden molekyylin teidän kanssa niin silloin mun kaveri jäisi yksin, eikä yksinäinen happiatomi voi selvitä.

H2: Ei se ole ongelma. Me voidaan kutsua vetymolekyyli myös sun kaverille.

H1: Hetki vaan, niin pyydämme meidän ystävän myös tänne.

H1 ja H2 kävelevät pois hakemaan heidän ystäviään. Sillä aikaa happiatomit alkavat jutella keskenään.

O2: En tiedä mitä tekisin. Miten minä voin muodostaa sidoksen?

O1: Se on hyvin helppoa. Kun jaat elektronisi, niin siten voit muodostaa kovalenttisen sidoksen. *Vetyatomit kävelevät kohti heitä.*

O1: Aa, sieltä se tulevat. Oletteko valmiita muodostamaan uuden molekyylin?

O2 & H1 & H2 & H3 & H4: Joo, kyllä me olemme.

Vetyatomit ja happiatomit kävelevät toisiaan kohti ja törmäävät muodostaen kaksi vesimolekyyliä. Muodostunut vesimolekyyli voidaan hajottaa takaisin alkuaineiksi (vedyksi ja hapeksi) ainoastaan kemiallisesti - elektrolyysin avulla. Oppilaita autetaan ymmärtämään, ettei se onnistu fyysisillä keinoilla, vaikka utelias oppilas yrittääkin sitä.

Utelias: Voinko minä erottaa heidät?

Opettaja: Jos sinä pystyt rikkomaan nämä sidokset. Mutta se on melko vaikeaa.

Utelias: Jaahas, vai niin. Katsoppas minua tarkasti. Olen kyllä niin voimakas, että pystyn rikkomaan sidokset helposti ja erottamaan heidät.

Utelias oppilas yrittää erottaa heitä, mutta ei onnistu siinä.

Utelias: Vaikuttaa kyllä vähän vaikealta... Mutta minä kyllä onnistun. Ihan varmasti. Mitä jos käyttäisin vasaraa? Sattuisiko sinulla olemaan lainaksi yhtä?

Kemian opettaja kääntyy oppilasta kohti ja antaa vasaran uteliaalle oppilaalle (tai vastaavasti antaa kuvitteellisen vasaran oppilaalle).

Opettaja: Kas tässä, ole hyvä. Kokeile.

Utelias oppilas yrittää erottaa heitä leikinomaisesti vasaralla, mutta ei onnistu siinä tälläkään kertaa.

Utelias: Hei, nyt minä keksin. Tarvitsen käsisahaa näiden sidosten rikkomiseksi. Mutta mistä minä sellaisen löytäisin? Sattuisiko sinulla olemaan lainattavaksi?

Samalla kun utelias pohtii, kuinka saisi hajotettua veden vedyksi ja hapeksi, niin tällöin opettaja osoittaa yleisön joukossa olevaa sähköä. Mutta sähkö haluaakin jotakin uteliaalta...

Utelias: Pystytkö sinä hajottamaan tämän molekyylin?

Sähkövirta: Tottakai minä pystyn. Se on tosi helppoa minulle. Voin hajottaa jopa sinut. Mutta on yksi ongelma.

Utelias: No, kerro. Mitä sinä tarvitset? Voin kyllä auttaa.

Sähkövirta: Puhdas vesi ei kelpaa minulle. Tiedätkö miksi?

Utelias: Liittyisikö se jollain tavalla sähköän kulkuun?

Sähkövirta: Aivan. Sähköän kuljettamiseen tarvitaan varauksellisia ioneja.

Utelias: Ioneja? Mistä niitä saisi?

Tämän jälkeen oppilaat voivat pohtia opettajan kanssa, että millaisia aineita voidaan käyttää elektrolyyttiliuoksena (esim. hapot, emäkset, suolasulatteet, sekä suolan vesiliuokset).

Lopulta utelias voisi "ojentaa" oppilaiden valitseman elektrolyyttiliuoksen sähkölle, joka kiittelisi tyytyväisenä. Tämän jälkeen sähkövirta erottaisi vesimolekyylin hapen ja vedyt toisistaan. Happi hapettuu anodilla ja vety puolestaan pelkistyy katodilla.

6. Tutkimuksellisuus elektrolyysin opetuksessa



(Pixabay, CC0)

Yleisimmin elektrolyysin opetuksessa sovelletaan varmaankin avaimen kuparointia. Se on mitä erinomaisin tapa havainnollistaa opiskelijalle elektrolyysin toimintaa käytännössä, mutta miten kokeellisesta työstä voisi saada parhaan oppimistuloksen?

Kemian laboratoriotyöt ovat olleet pitkään kiinteä osa kemian opetusta. Hyvin usein työn toteutus on kuitenkin demonstraatio tai reseptikirja-tyyppinen toteutus, jossa opiskelija suorittaa työn vaihe vaiheelta työohjetta seuraten. Työvaiheet jäävät usein irrallisiksi kokonaisuudesta, eikä kokeellista menetelmää ymmärretä tällöin kovin syvällisesti, jolloin opiskelija tulee oppineeksi enemmän välineiden käyttöä kuin teorian soveltamista.²² Reseptikirja-tyyppiset laboratoriotyöt onkin havaittu erittäin tehottomaksi välineeksi kemian käsitteiden opettamiseen.²³

Jotta kokeellisista töistä saataisiin merkittävä hyöty kemian oppimisen kannalta, opiskelijoiden tulisi saada riittävästi aikaa sekä mahdollisuus vuorovaikutukseen, keskusteluun ja pohdintaan.²⁴ Laboratoriotyöskentelyyn pitäisi yhdistää muita metakognitiivisia oppimismenetelmiä, kuten ”ennustelitä-havaitse” demonstraatioita ja yhdistää teorian soveltamista, jotta oppimista voi tapahtua.²² Tutkimuksellisessa työskentelyssä opiskelijoiden tieto rakentuu todellisia ja merkityksellisiä pulmia ratkottaessa.²⁵

Tutkimuksellisuuden hyödyt:

- Motivoi oppilaita²⁶
- Opettaa tutkimisen taitoja²⁷
- Kehittää ajattelutaitoja²⁸
- Kehittää sosiaalisia taitoja²²
- Tutkimuksen tekeminen on olennainen osa luonnontieteellistä työskentelyä²⁹
- Oppilas on aktiivisessa roolissa

Tutkimuksellisessa työskentelyssä opiskelijat tarkkailevat, muodostavat kysymyksiä, suunnittelevat tutkimuksia, etsivät selityksiä, keräävät ja analysoivat tuloksia ja dataa sekä vertailevat selityksiä jälleen uuteen dataan.³⁰ Tutkimuksellinen työskentely on jaettu neljään eri kategoriaan tutkimuksen avoimuuden mukaan (Taulukko 1).

Taulukko 1. Tutkimuksellisuuden tasot³¹

Tutkimuksellisuuden tasot	Tutkimuskysymys	Tiedon keräysmenetelmä	Tulosten tulkitseminen
Todentava	Opettaja antaa	Opettaja antaa	Opettaja antaa
Strukturoitu (jäsenneily)	Opettaja antaa	Opettaja antaa	Oppijan vastuulla
Ohjattu	Opettaja antaa	Oppijan vastuulla	Oppijan vastuulla
Avoin	Oppijan vastuulla	Oppijan vastuulla	Oppijan vastuulla

Todentava ja jäsenneily tutkimus ovat hyvin samankaltaisia kuin perinteiset resepti-työt. Verifioiva tutkimus voi olla jopa demonstraatio. Oleellista on kuitenkin, että opiskelijat esittävät kysymyksiä ja joutuvat ajattelemaan itse. Tutkimuskysymys ja tulosten arviointi on tutkimuksellisuuden vähimmäisvaatimus. Tutkimuksellisen työn ei kuitenkaan tarvitse olla varsinainen kokeellinen työ, vaan myös tiedonhakutehtävä tai simulaatiolla asian tutkiminen voivat olla tutkimismenetelmiä.³²

Avoimessa tutkimuksessa opiskelijat suunnittelevat itse myös tutkimuskysymyksen, kun taas ohjatussa tutkimuskysymys on annettu, mutta opiskelija suunnittelee tutkimuksen itse. Oppilaalla tulisi olla harjoitusta todentavasta ja jäsenneilystä tutkimuksesta, ennen kuin heidän voi olettaa suoriutuvan vaativammista tutkimuksista.³²

Lukion KE4 kurssin tavoitteisiin kuuluu, että opiskelijat osaavat muodostaa tutkimuskysymyksiä ja suunnitella tutkimuksia.¹ Voidaan siis olettaa että viimeistään neljännellä kurssilla voidaan jo toteuttaa avointa tutkimuksellisuutta. Ne vievät toki enemmän aikaa, mutta parantavat myös oppimistuloksia.

Tutkimuksellisuudella loistavia oppimistuloksia

Acar Sesen ja Tarhan julkaisivat 2013 tutkimuksen, jossa pyrittiin selvittämään onko tutkimuksellinen työskentely perinteistä kokeellista työskentelyä tehokkaampaa kemian oppimisen kannalta. Tulokset puolsivat erittäin vahvasti tutkimuksellisuuden etuja. Lisäksi oppilaat suhtautuivat kemiaan ja laboratoriotyöskentelyyn huomattavasti positiivisemmin tutkimuksellisen kokeiden tekemisen jälkeen verrattuna verrokkiryhmään.

Tutkimuskysymyksinä olivat:

- Mikä on lukio-opiskelijoiden ennako ymmärrys heidän kyvyistään oppia sähkökemialla.
- Johtaako tutkimuksellinen laboratoriotyöohjeistus parempaan käsitteelliseen ymmärrykseen sähkökemiasta, kuin perinteinen reseptikirja-ohje?
- Vaikuttaako tutkimuksellinen laboratoriotyöohjeistus opiskelijoiden laboratoriotyöskentelyyn?
- Vaikuttaako tutkimuksellinen laboratoriotyöohjeistus opiskelijoiden asenteisiin kemian laboratoriotöitä kohtaan?
- Vaikuttaako tutkimuksellinen laboratoriotyöohjeistus opiskelijoiden asenteisiin kemian oppitunteja kohtaan?

Samanlaisen kemianopetustaustan omaavat lukio-opiskelijat jaettiin kahteen ryhmään. He tekivät kolme lähtötasotestiä. Ensimmäisessä mitattiin heidän tietämystään sähkökemiasta ennen laboratoriotyöskentelyä. Toisessa tutkittiin heidän asenteitaan kemian opetusta kohtaan ja kolmannessa tutkittiin heidän asenteitaan kemian laboratoriotyöskentelyä kohtaan. Molemmissa ryhmissä tulokset olivat erittäin homogeeniset.

Sähkökemian esitietämystä mittaavassa testissä tutkittiin oppilaiden tietämystä seuraavista asioista:

- Reaktioista sähkökemiallisessa kennossa
- Sähkövirran luonteesta
- Anodin ja katodin, sekä niiden varausten tunnistamisesta
- Suolasillan tarkoituksesta
- Metallielektrodien tarkoituksesta
- Jännitemittarin tarkoituksesta
- Kennopotentiaaleista
- Puolikennoista ja normaalivetyelektrodista
- Elektrolyysistä

Asennetesteissä kysymykset jaettiin neljään luokkaan. Kiinnostusta kemian opetusta kohtaan mittaavassa testissä kysymysluokat olivat:

- Kiinnostus kemian oppitunteihin
- Kemian ymmärtäminen ja oppiminen
- Kemian tärkeys arkielämässä
- Kemia ja ammatinvalinta

Asennetta kemian laboratoriotyöskentelyä kohtaan mittaavassa testissä kysymysluokat olivat puolestaan:

- Laboratorioympäristö ja välineiden käyttö
- Tutkimuksellinen prosessi laboratoriotöissä
- Laboratoriotyön arvostus
- Yhteistyössä oppiminen laboratoriossa

Kaikki tutkimukseen osallistuvat opiskelijat opiskelivat sähkökemian saman opettajan kanssa kolmen viikon ajan, kaksi tuntia viikossa. Opiskelun tukena oli tavallinen lukion oppikirja, opiskelijat tekivät muistiinpanoja opettajajohtoisesti ja ratkaisivat aiheeseen liittyviä tehtäviä. Tämän jälkeen opiskelijat suorittivat viisi kokeellista työtä. 30 opiskelijaa suoritti työt tutkimuksellista menetelmää käyttäen ja 32 tarkkaa työohjetta vaihe vaiheelta seuraten. Tutkimuksellisia töitä tekeviä kannustettiin kysymään kysymyksiä ja tekemään yhteistyötä.

Samat testit tehtiin molemmille ryhmille laboratoriotyövaiheen jälkeen. Parannus tutkimuksellisia töitä tehneiden joukossa kaikilla osa-alueilla oli huomattava verrokkiryhmään nähden. Asenteet pysyivät verrokkiryhmällä samanlaisina kun tutkimuksellisesti laboratoriotöitä tehneillä asenteet muuttuivat huomattavasti positiivisemmiksi. Molempien ryhmien asiantietämyksessä tapahtui kehitystä, mutta tutkimuksellisia töitä tehneille kehitys oli huomattavasti suurempaa.

Tutkimuksessa käytetyt laboratoriotyöt löytyvät liitteestä 1.

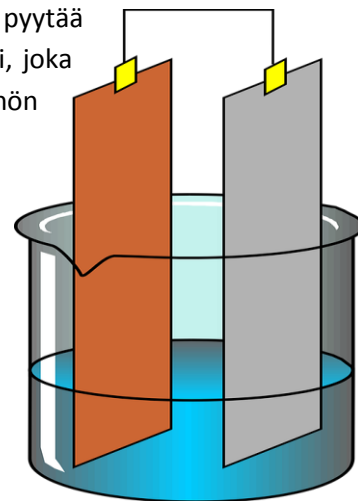
Opettajan rooli tutkimuksellisessa työskentelyssä on hyvin toisenlainen. Opettajan ei ole tarkoitus antaa suoraan tietoa oppilaille vaan heidän on tarkoitus selvittää tarvitsemansa tieto itse ja mieluiten yhteistyössä. Opettajan rooli on tarjota ohjausta oikeaan suuntaan, jotta he voivat hankkia tiedon itse.³⁰

Miten tutkimuksellisuutta voisi toteuttaa?

Avaimen kuparoinnin voi toteuttaa helposti vaikkapa ohjattuna tutkimuksellisuutena antamalla oppilaille valmis tutkimuskysymys: Miten pinnoitat avaimen kuparilla?

Oppilaiden on hyvä tietää, että luokasta löytyy kuparielektrodeja ja muita tarvittavia välineitä. Ne voi vaikka koota valmiiksi sivupöydälle. Koska kemian oppikirjat antavat erittäin hyvät kaavakuvat miten työ todellisuudessa suoritetaan, voi vaikeustasoa nostaa laittamalla tarvittavien tavaroiden joukkoon vaikkapa tarvikkeita, joita työssä ei tarvita. Tutkimussuunnitelmat kannattaa pyytää hyväksyttämään ensin opettajalla. Lopuksi voidaan kirjoittaa vielä tutkimusraportti, joka sisältää työvaiheet, havainnot ja reaktiot, jolloin opiskelijat joutuvat pohtimaan työhön liittyvää kemiaa.

Hilaska (2003) esitteli Pro gradu -tutkielmassaan lukio-opetukseen soveltuvasta elektrolyysityöstä kolme erilaista versiota, jotka ohjaavat oppilasta tutkimuksellisuuden eri tasoille. Ohjeet esitellään seuraavilla sivuilla. ^{33,34}



(Pixabay, CC0)

OHJE 1.

Tutkimuksen aihe:

Tutki miten ruokasuolaliuoksen konsentraatio vaikuttaa elektrolyysissä syntyviin tuotteisiin.

Ennakkotehtävät:

Lue elektrolyysiin liittyvä osio oppikirjasta ja selvitä millaisesta ilmiöstä on kyse

Mitä reaktioita elektrolyysissä tapahtuu ja missä ne voidaan havaita?

Mitä tuotteita työssä mahdollisesti syntyy?

Miten saadaan selville syntyvät tuotteet? Mihin asioihin kiinnitetään huomiota työn aikana?

Millaisilla konsentraatioilla lähtisit asiaa tutkimaan?

Työn suoritus:

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

Tarvikkeet ja kemikaalit:

Keitinlasi 400 ml

Virtalähde

Grafiittielektrodit

Johtimia

Hauenleukoja

Kiinteä natriumkloridi (NaCl),

Indikaattoriliuos (esim. fenoliftaleiini tai lakmus)

Työohje:

Valmista ensin laimeampi ruokasuola liuos. Tarkista, että virtapiiri on suljettu (esim. hehkulampun avulla).

(yleiset ohjeet kirjan ohjeessa)

Ota virtalähteestä tasavirtaa 1-3 A (5-10 V)

Upota elektrodit elektrolyyttiliuokseen ja kytke ne virtalähteeseen.

Kirjaa muistiin, mitkä ionit vaeltavat anodille, mitkä katodille. Huomaa, että myös vesimolekyylit voivat reagoida. Veden autoprotolyysituotteita (H_3O^+ ja OH^-) syntyy niin vähän, ettei niiden purkautumista tarvitse ottaa huomioon.

Odota muutama minuutti eli niin kauan, kunnes voit havaita tuloksen.

Seuraa kaasun muodostumista (millä kohtiolla, minkä väristä, onko haju tunnistettavissa, jne.)

Tutki kumpi kohtio on anodi, kumpi katodi. (Anodi on virtalähteen positiivinen kohtio, katodi negatiivinen)

Tarkkaile liuoksen väriä kohtioiden läheisyydessä. Jos värinmuutosta ei tapahdu, käytä indikaattoria. (Fenoliftaleiini on emäksisessä liuoksessa punainen, happamassa väritön; lakmus ja punakaali ovat emäksisessä liuoksessa sinisiä, happamassa punaisia.)

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

Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia (väri, haju) syntyvillä kaasuilla on? Muuttuuko indikaattorin väri? Jos muuttuu, miten? Miten veden pH muuttuu eri kohtioilla? Päättele, mitä aineita elektrodeilla on syntynyt. Kirjoita elektrodireaktiot.

b) Elektrodit ja kytkennät ovat samat kuin edellisessä työssä, mutta nyt suolaliuos on väkevä (3 lusikallista suolaa 250 ml vettä)

Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia (väri, haju) syntyvillä kaasuilla on? Muuttuuko indikaattorin väri? Jos muuttuu, miten? Miten veden pH muuttuu eri kohtioilla? Päättele, mitä aineita elektrodeilla on syntynyt. Kirjoita elektrodireaktiot.

Raportti:

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

Huomioita: Yksinkertainen tapa toteuttaa tutkimuksellinen koe. Etukäteen mietittävät kysymykset auttavat opiskelijaa palauttamaan kokeessa tarvittavan teorian mieleen. Ohje ohjeistaa oppilaan tarkkailemaan oikeita asioita kokeen aikana.

OHJE 2.

Käsitekartta 1:

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

Työn suoritus:

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

Tarvikkeet ja kemikaalit:

Keitinlasi 400 ml
Virtalähde
Grafiittielektrodit
Johtimia
Hauenleukoja
Kiinteä natriumkloridi (NaCl),
Indikaattoriuho (esim. fenoliftaleiini tai lakmus)

Työohje:

Valmista ensin laimeampi ruokasuola liuos. Tarkista, että virtapiiri on suljettu (esim. hehkulampun avulla).

(yleiset ohjeet kirjan ohjeessa)

Ota virtalähteestä tasavirtaa 1-3 A (5-10 V)

Upota elektrodit elektrolyyttiliuokseen ja kytke ne virtalähteeseen.

Kirjaa muistiin, mitkä ionit vaeltavat anodille, mitkä katodille. Huomaa, että myös vesimolekyylit voivat reagoida. Veden autoprotolyysituotteita (H_3O^+ ja OH^-) syntyy niin vähän, ettei niiden purkautumista tarvitse ottaa huomioon.

Odota muutama minuutti eli niin kauan, kunnes voit havaita tuloksen.

Seuraa kaasun muodostumista (millä kohtiolla, minkä väristä, onko haju tunnistettavissa, jne.)

Tutki kumpi kohtio on anodi, kumpi katodi. (Anodi on virtalähteen positiivinen kohtio, katodi negatiivinen)

Tarkkaile liuoksen väriä kohtioiden läheisyydessä. Jos värinmuutosta ei tapahdu, käytä indikaattoria. (Fenoliftaleiini on emäksisessä liuoksessa punainen, happamassa väritön; lakmus ja punakaali ovat emäksisessä liuoksessa sinisiä, happamassa punaisia.)

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

Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia (väri, haju) syntyvillä kaasuilla on?
Muuttuuko indikaattorin väri? Jos muuttuu, miten?
Miten veden pH muuttuu eri kohtioilla?
Päättele, mitä aineita elektrodeilla on syntynyt.
Kirjoita elektrodireaktiot.

b) Elektrodit ja kytkennät ovat samat kuin edellisessä työssä, mutta nyt suolaliuos on väkevä (3 lusikallista suolaa 250 ml vettä)

Muodostuuko elektrodeilla kaasuja? Mitä ominaisuuksia (väri, haju) syntyvillä kaasuilla on?
Muuttuuko indikaattorin väri? Jos muuttuu, miten?
Miten veden pH muuttuu eri kohtioilla?
Päättele, mitä aineita elektrodeilla on syntynyt.
Kirjoita elektrodireaktiot.

Käsitekartta 2:

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

Esittely:

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

Huomioita: Käsitekartta voi olla haastava, jos sen tekeminen ei ole opiskelijoille tuttua. Käsitekartan tekeminen on kuitenkin hyvä tapa hahmotella tietämys aiheesta ennen työtä ja kerätä tarvittavat tiedot työparin kanssa yhteen. Jälkeenpäin uusi käsitekartta ilmentää mitä on opittu sekä auttaa kertaamaan teorian. Oman tuotoksen esittäminen tuo hauskan lisän tutkimustyöhön, etenkin siksi, että tulosten esittäminen on oleellinen osa tieteellistä kulttuuria.

OHJE 3.

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

Tarvikkeet ja kemikaalit:

Keitinlasi 400 ml
Virtalähde
Grafiittielektrodit
Johtimia
Hauenleukoja
Kiinteä natriumkloridi (NaCl),
Indikaattoriliuos (esim. fenoliftaleiini tai lakmus)

Raportti:

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

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

Huomioita: Työ kannattaa toteuttaa vähintään pareittain tai pienissä ryhmissä. Raportin kirjoittaminen hyvä tapa varmistaa, että asiat on opittu ja ymmärretty oikein. Raportin voi pyytää jokaiselta oppilaalta myös erikseen tai toteuttaa pareittain tai ryhmässä. Sekä työsuunnitelma että raportti antavat hyvät arviointiperusteet. Myös tähän työhön voidaan liittää vielä tulosten esittely muulle luokalle, jos halutaan lisätä todellisen tieteellisen tutkimuksen elementtejä.



Vinkki: Voit muokata myös muita työohjeita vastaavalla tavalla avoimemmaksi tai muuten opetustilanteeseen sopivammaksi!

7. Kemiallisen tiedon kolme tasoa

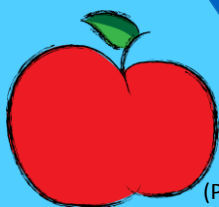
Opettajalle kemiallisen tiedon eri tasot, makroskooppinen, submikroskooppinen sekä symbolinen, ovat lähes itsestään selviä. Opiskelijoille eri tasoilla liikkuminen voi kuitenkin olla vielä lukossakin hyvin vaikeaa ja sekavaa. Opiskelijan voi olla vaikea hahmottaa saman ilmiön eri tasoja yhdeksi ilmiöksi ja ymmärtää ne osana laajempaa kokonaisuutta. Lukiossa opiskelijoiden on kuitenkin jo kyettävä hallitsemaan kaikki ilmiöt kaikilla kolmella tasolla ja se on myös välttämätöntä ilmiön kokonaisvaltaisen ymmärtämisen kannalta.¹



Artikkelissa *Getting to the Core Issues of Science Teaching: A Model-Based Approach to Science Instruction* esiteltiin omena-aktiviteetti, jonka tarkoituksena on valaista sekä mallien luonnetta, että kemian oppimista eri tasoilla. Ideana on, että ensin opiskelijat saavat tutkiskella oikeaa omenaa ja kirjoittaa havaintojaan siitä ylös. Seuraavaksi heille esitellään muoviomena, josta he tekevät havaintoja ja/tai yliviivaavat todellisen omenan ominaisuuksia jotka eivät sovellu muoviomenalle. Sitten pohditaan eroja ja yhtäläisyyksiä. Opiskelijoille esitellään vielä kuva omenasta sekä värillisenä ja mustavalkoisena ja lopuksi pelkkä sana omena. Sanan kohdalla havaitaan, että sitä tarkastelemalla ei voida enää löytää lainkaan yhtäläisyyksiä varsinaisen omenan kanssa, mutta siitä huolimatta sana ”omena” aiheuttaa vahvan mielleyhtymän omenaan. Lopuksi pohditaan sanaa omena vielä vierailta kielillä, joista osa ei enää kerro opiskelijoille mitään.³⁵

Omenatarkastelu auttaa opiskelijoita ymmärtämään ensinnäkin mallintamisen luonnetta. Varsinainen käsin kosketeltava omena voidaan yhdistää makrotasoon, jolloin omenasta voidaan tehdä suoria havaintoja kaikilla viidellä aistilla. Muoviomena ja omenan kuvat edustavat submikroskooppisen tason mallintamista, joka ei kykene koskaan esittämään todellista kohdetta täydellisesti. Sanat puolestaan edustavat symbolista tasoa ja johdattaakin siihen, että kemian opiskelussa on paljon yhteistä myös vieraan kielen oppimisen kanssa. Symbolinen taso on kuitenkin välttämätön, jotta kemian ilmiöistä voidaan puhua ja kommunikoida. Tällä mallilla voidaan myös havainnollistaa oppilaille, kuinka tieto kemiassa rakentuu ja miten nämä kolme tasoa liittyvät toisiinsa.³⁵

Elektrolyysissä makrotasoa eli omenaa edustaa mm. katodilla ja anodilla nähtävät reaktiot. Submikroskooppista tasoa, eli omenan kuvaa edustaa niin ikään piirretyt kuvat elektrolyysikennosta, ionien liikkeet, elektronien siirtyminen johdossa tai aineelta toiselle. Symbolista tasoa, eli omenan kirjoitettua muotoa edustavat reaktioyhtälöt ja pelkistymispotentialilaskut.



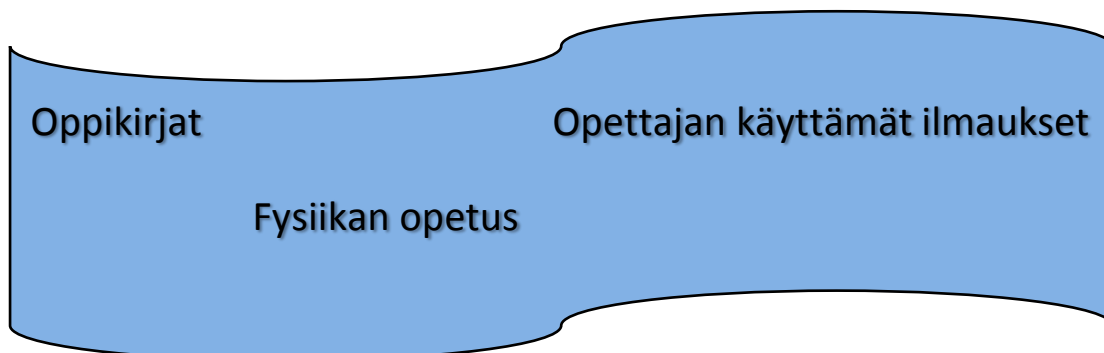
(Pixabay, CC0)

8. Virhekäsitysten tutkimustausta

Virhekäsitys voidaan määritellä opiskelijan käsitteelliseksi tiedoksi, joka on erilainen tai epäjohdonmukainen yleisesti hyväksytyyn tieteelliseen näkemykseen nähden. Virhekäsitys ei pysty pätevästi selittämään havaittuja tieteellisiä ilmiöitä. Kuitenkin ne voivat selittää opiskelijan tekemät havainnot ja vaikuttaa hänestä loogisilta. Tällaisia virhekäsityksiä ei ole helppo muuttaa.³⁶

Monet opiskelijat pitävät sähkökemian hankalana osa-alueena kemiassa.³⁶ Myös opettajat voivat kokea sähkökemian opettamisen haastavana.³⁷ Syynä tähän voi olla se, että sähkökemian vaatii kykyä ajatella mikroskooppisella, makroskooppisella sekä symbolisella tasolla.³⁸ Tutkimuksissa on löydetty monenlaisia virhekäsityksiä elektrolyysistä. Opettajan on hyvä olla tietoinen näistä virhekäsityksistä ja huomioida niitä opetuksessaan. Usein opiskelijat virhekäsityksistään huolimatta pystyvät laskemaan sähkökemian liittyviä laskuja ilman suurempia ongelmia. Laskut koetaan selkeiksi kaavan sijoitustehtäviksi. Vaikka laskennallisella tasolla päästäisiin hyvin tuloksiin, voi käsittepuolen ymmärrys silti olla puutteellista. Opiskelijalle voi lisäksi laskuja painottavasta opetuksesta jäädä mielikuva, että laskut ovat oleellisempia kuin käsitteiden hyvä hallinta ja oikea soveltaminen.³⁶

Mistä virhekäsitykset tulevat?



- Oppikirjan yksipuoliset tai harhaanjohtavat kuvaukset aiheesta, opetuksessa käytettävät ilmaiset^{36,38}
 - Esimerkiksi anodi esitetään usein vasemmalla ja katodi oikealla puolella. Opiskelijalle voi syntyä virheellinen käsitys, että elektrodin fyysinen sijainti määrittäisi sen luonteen.³⁶ Kennokaaviossa elektrodien paikat on määrännyt IUPAC (anodi vasemmalla, katodi oikealla), mutta tämä ei koske kuvituskuvia.³⁹
 - Oppikirjojen tapa esittää kennopotentiaalien laskeminen voi johtaa virheelliseen tapaan käsitellä ja ”käännellä” normaalipotentialitaulukon yhtälöitä.
 - Oppilaat usein unohtavat, että vesi voi hapettua tai pelkistyä vesiliuosten elektrolyysissä. Oppikirjoissa eri kemian konteksteissa vesi on usein läsnä reaktioissa, mutta sen merkityksestä ei puhuta. Opiskelijoille voi syntyä käsitys siitä, että veden merkitys reaktioissa ei ole kauhea oleellinen.³⁶

- Opiskelija voi sotkea kielellisesti toisiaan lähellä olevia termejä ja tehdä vääriä päätelmiä kielellisten piirteiden perusteella. Esimerkiksi anodin ajatellaan olevan negatiivinen, koska anioni on negatiivinen.³⁶
- Opiskelijan puutteellinen kielellinen kyvykyys voi haitata kemian opiskelua.³⁸
- Fysiikka: Opiskelijalle on voinut muodostua fysiikan puolella vahva käsitys siitä, että sähkö on elektronien liikettä, ja että virran kulkuun tarvitaan suljettu virtapiiri. Tämä voi johtua siitä, että fysiikan puolella käsitellään paljon virtapiirejä. Nämä käsitykset voivat haitata sähkökemian oppimista, jos niihin ei kiinnitetä huomiota.
- Fysiikkaa ja kemiaa pidetään erillisinä tieteenaloina, koska koulussa niitä opiskellaan erikseen. Lisäksi samoista ilmiöistä voidaan puhua eri oppiaineissa eri termein, mikä hämmentää opiskelijoita.³⁶
- Arkikielen ilmausten käyttäminen kemiassa
- Opiskelijan riittämättömät ennakkotiedot

Ennakkotiedot

Ennen elektrolyysin opettamiseen siirtymistä opiskelijan on hyvä hallita seuraavia tietoja ja määritelmiä:

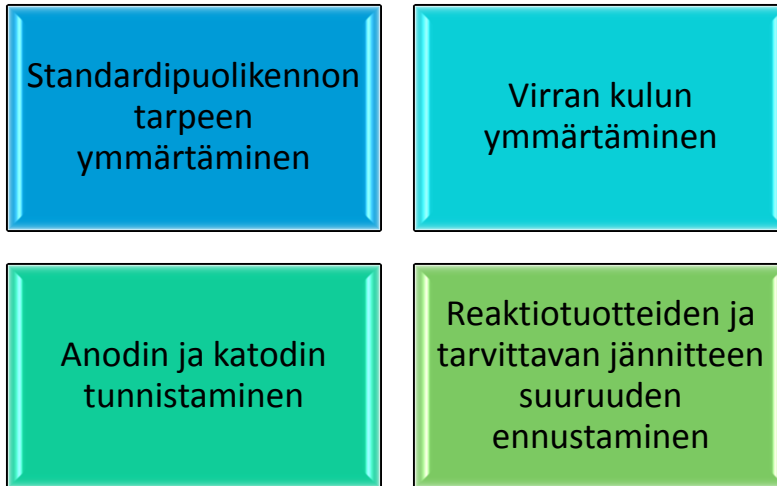
- Hapettuminen ja pelkistyminen
- Potentiaaliero
- Metallien jännitesarja
- Sähköpari
- Anodi ja katodi
- Mitä sähkö on? Fysiikan näkökulmia
- Ionien hapetustilat



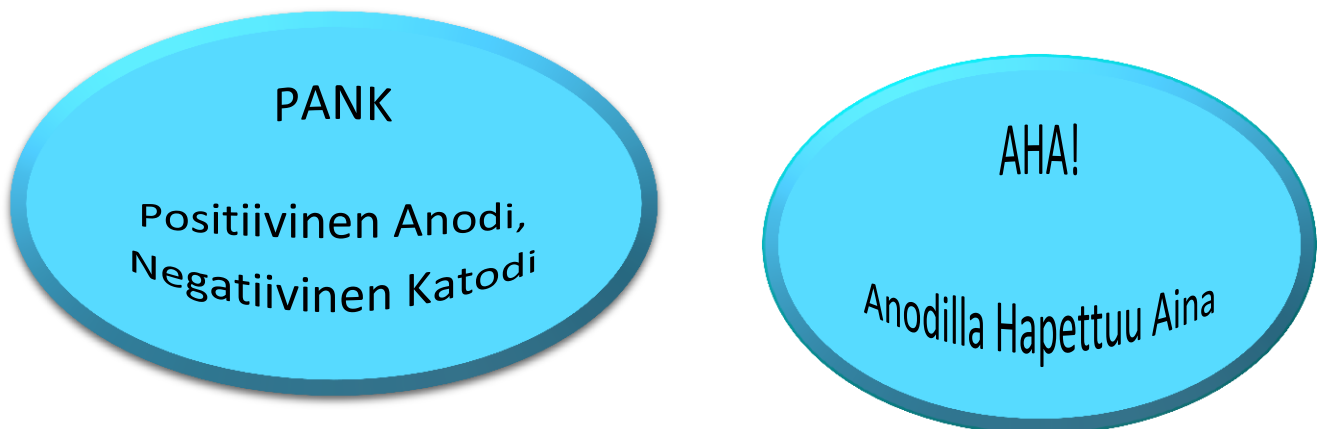
(Pixabay,CCO)

Minkälaisia virhekäsityksiä on löydetty?

Opiskelijoilla on virhekäsityksiä elektrolyysin suhteen seuraavilla osa-alueilla:³⁶



Mainituista virhekäsityksistä (ks. seuraava sivu) 2-11 osoittavat selkeästi, että kokonaiskuva ja –ymmärrys elektrolyysistä eivät ole täysin hallussa. Virhe numero 1 on enemminkin määrittely- ja muistamisasia vaikkakin erittäin oleellinen sellainen. Usein käytetään anodin ja katodin identifioimiseksi ja varausten muistamiseksi muistisääntöä **PANK** (Positiivinen Anodi, Negatiivinen Katodi). Asian laita sähköparin tapauksessa on kuitenkin päinvastainen. Tämä voi aiheuttaa ristiriitoja ja muistamisvaikeuksia opiskelijoissa Muistisääntö, joka sopii sekä sähköpariin että elektrolyysiin on **AHA** (Anodilla Hapettuu Aina).



Muita vaikeuksia

Joillekin opiskelijoille voi olla vaikeaa erottaa, mitä eroa on suolasulatteiden ja vesiliuosten elektrolyysissä. Toisaalta, kun läsnä on useita eri aineita, jotka voivat hapettua tai pelkistyä, opiskelijat eivät välttämättä tiedä, mitä tekijöitä on otettava huomioon. Tekijät, jotka vaikuttavat, ovat ionien reaktiivisuus sähkökemiallisessa jännitesarjassa, elektrolyytin konsentraatio sekä elektrodien reaktiivisuus (inerttejä vai passiivisia).

Virhekäsityksiä
ovat mm.

1. Katodilla tapahtuu hapettuminen ja anodilla pelkistyminen.

2. Monet opiskelijat eivät huomioi vesiliuosten tapauksessa veden mahdollista pelkistymistä tai hapettumista elektrolyysissä.

3. Jännitteen suunnalla (pariston navat) ei uskota olevan vaikutusta reaktioon tai siihen, kumpi elektrodi on katodi ja kumpi anodi.

4. Jos käytetään inerttejä elektrodeja, ei tapahdu reaktiota.

5. Inertit elektrodit voivat hapettua tai pelkistyä.

6. Aktiiviset elektrodit toimivat vain virran kuljettajina, niissä ei tapahdu muutoksia elektrolyysissä.

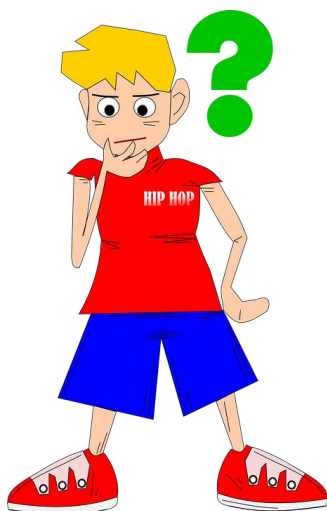
7. Jos käytetään identtisiä elektrodeja, sama reaktio tapahtuu kummallakin elektrodilla.

8. Elektrolyysillä voidaan pakottaa tapahtumaan ei-spontaaneja reaktiota, jotka eivät sisällä elektronin siirtoa.

9. Ennustettaessa elektrolyyttireaktiota, puoli-kennoreaktiot täytyy kääntää ennen niiden yhdistämistä.

10. Lasketut kennopotentialit voivat olla positiivisia.

11. Lasketun kennopotentialin ja käytetyn jännitteen välillä ei ole yhteyttä.³⁶



(Pixabay,CCO)

9. Miten huomioida virhekäsitykset opetuksessa? Miten niitä voidaan muuttaa?

Virhekäsitysten on todettu olevan hyvin pysyviä. Onkin syytä kiinnittää erityistä huomiota niiden korjaamiseen ja välttämään niiden syntymistä opetuksessa. Opiskelijoiden käsitteellinen tieto paranee, kun heille opetetaan kemian asioita käsitetasolla, ei siis vain kvantitatiivisia laskutehtäviä painottaen.³⁶ Voidaan ajatella, että ajattelemisen ja päättelyn edellyttävät käsitteiden ymmärtämistä.³⁸

Johdanto elektrolyysiin

Johdanto elektrolyysiin voidaan aloittaa kokeellisella työllä. Aluksi oppilaille ei kerrota ennakkotietona uudesta ilmiöstä muuta kuin, että nyt reaktio yritetään saada aikaan sähkövirran avulla (vrt. sähköpari, jossa reaktio on spontaani). Oletuksena on, että oppilaat tuntevat jo normaalipotentialitaulukon käytön, sähkökemiallisen jännitesarjan ja sähköparin käsitteet. Oppilaiden tulisi koeasetelmaa havainnoimalla ja aiempaa tietoansa hyödyntäen päätellä, mitä elektrodeilla ja liuoksessa tapahtuu.

Käytä tätä opetuksessa!

Tarvikkeet:

- o Hiilielektrodit
- o KI-liuos
- o fenoliftaleeini
- o Pieni U-putki
- o Hauenleukoja, johtimia
- o 9V paristo

Koeasetelma:

- + Nopea suorittaa
- + Helposti havaittavat reaktiot
- + Helppo miniatyrisoida
- > vähemmän reagensseja ja jätettä

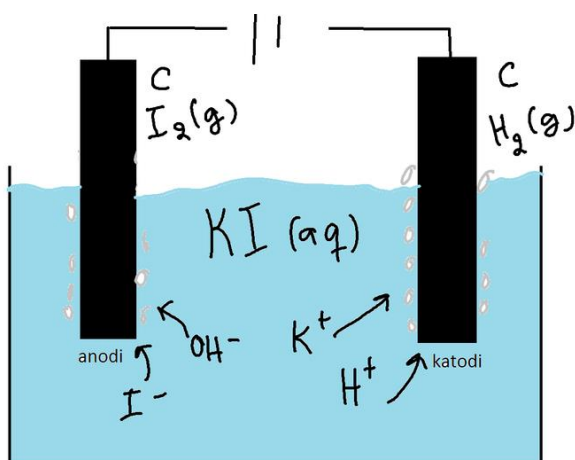
- Oppilailla on oltava hyvät ennakkotiedot (sähköpari, normaalipotentialit, sähkökemiallinen jännitesarja)
- Päättely vie aikansa

Oppilaat saavat KI – liuoksen, joka laitetaan pieneen U – putkeen, ja 9 V:n pariston, josta tulee molemmista navoista elektrodit, jotka oli päällystetty mustalla (katodi) tai punaisella (anodi) muovikuorella. Oppilaille kerrotaan, että mustalla merkitty elektrodi on katodi ja punaisella merkitty anodi. Elektrodit on valmiiksi yhdistetty pariston oikeisiin napoihin (pun. anodi +napaan ja musta katodi –napaan). KI – liuokseen lisätään U – putken molempiin päihin pari tippaa fenoliftaleiinia, joka muuttuu punaiseksi emäksisessä pH:ssa. Toinen elektrodi laitetaan toiseen U – putken päähän liuokseen ja toinen elektrodi toiseen päähän. Oppilaiden tehtävänä on havainnoida, mitä kussakin putken päässä tapahtuu, kirjata havainnot ja yrittää päätellä mitä tapahtuu.

Oppilaiden on helppo havaita värinmuutokset ja kuplien muodostus elektrodeilla:

- Anodilla (pun. johto) havaitaan, että liuoksen väri muuttuu keltaiseksi ja muodostuu kuplia. Katodilla (musta johto) liuos puolestaan värjäytyy lilahavaksi tai punertavaksi ja sielläkin muodostuu kuplia.
- Ideaalitapauksessa oppilaat huomaavat, että katodilla (musta) tapahtuu pelkistyminen eli vedestä vapautuu vetykaasua (-> kuplien muodostus, samalla OH^- ionit tekevät liuoksen emäksiseksi, jolloin se värjäytyy lilaksi fenoliftaleeinin vuoksi). Toinen mahdollinen pelkistytävä aine olisi K^+ , mutta sen pelkistymispotentiaali on paljon negatiivisempi kuin vedyn.
- Anodipäässä (pun. johto) puolestaan KI:stä hapettuu jodikaasua (-> kuplien muodostus, jodikaasun kellertävä väri). Toinen mahdollinen hapettava aine olisi happi, mutta sen hapettumispotentiaali on negatiivisempi kuin jodin.

Tällaisessa lähestymistavassa oppilas pääsee itse miettimään uutta ilmiötä. Indikaattorin käyttö ja tieto, että anodilla hapettuu aina (AHA muistisääntö) auttavat oppilaita pääsemään oikeisiin johtopäätöksiin. Itse koe on nopea ja helppo suorittaa, ja reaktiot selvästi havaittavissa. Ks. kuvasta 1 ja linkistä koeasetelma.



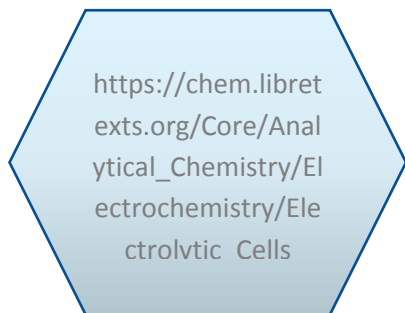
<http://fphoto.photoshelter.com/image/10000Owo0LUi2pKo>⁴⁹

Ks. linkistä kuva käytännön toteutuksesta.

Kuva 1: KI-liuoksen elektrolyysi hiilielektrodeilla (Piirros: Leena Vasara)

Sähköparin ja elektrolyysin vertailu

Opetuksessa kannattaa korostaa, mikä ero opetuilla sähköparilla ja elektrolyysillä on. Opiskelijoille voi esimerkiksi antaa sähkökemiallista paria ja elektrolyysikennoa vertailevan taulukon 2 (alla) vasemman puolen ja pyytää heitä täyttämään oikean puolen elektrolyysin kohdalta itse. Toinen vaihtoehto on, että taulukon solut ovat vain joukkona väittämiä, jotka pitää yhdistää jompaankumpaan kennoon.



Ks. linkistä kuva Galvaanisen kennon ja elektrolyysin eroista.⁴⁰

Taulukko 2: Sähköparin ja elektrolyysin vertailua.⁴⁰

Ominaisuus	Sähkökemiallinen pari (Galvaaninen kenno)	Elektrolyysi
Sähköenergian ja kemiallisen energian muutokset	Sähköpari muuttaa kemiallista energiaa sähköenergiaksi.	Elektrolyysissä sähköenergiaa muuttuu kemialliseksi energiaksi.
Reaktioiden spontaanisuus	Hapetus-pelkistysreaktio on spontaani, ja tuottaa sähköenergiaa.	Hapetus-pelkistysreaktio ei ole spontaani. Sähköenergiaa tarvitaan käynnistämään reaktio.
Elektrodien sijainti ja elektrolyyttiastiat	Elektrodit ovat eri astioissa, ja astiat on yhdistetty suolasillalla.	Elektrodit ovat samassa astiassa.
Elektrodien varaus ja niillä tapahtuvat reaktiot	Anodi on negatiivinen ja katodi on positiivinen. Anodilla tapahtuu hapettuminen ja katodilla pelkistyminen. (AHA)	Anodi on positiivinen ja katodi on negatiivinen. (PANK) Anodilla tapahtuu hapettuminen ja katodilla pelkistyminen. (AHA)
Elektronien alkuperä ja kulku systeemissä	Hapettuvat spesiekit vapauttavat elektroneja, jotka kulkevat anodilta katodille ulkoista johdinta pitkin.	Paristo saa aikaan elektronien liikkeen systeemissä.

Simulaatiot ja videot

Simulaatiot on tehokas tapa muuttaa käsitteellistä tietoa. Hyvä simulaatio korvaa opettajan tekemän diashown. Simulaatioksi voidaan katsoa tietokoneen näytöllä kohteet, joita on mahdollista liikutella ja muuttaa. Simulaation on tarkoitus havainnollistaa jotakin ilmiötä.⁴¹

Vaikeita asioita voidaankin havainnollistaa hyvin simulaatioiden ja videoiden avulla. Niillä submikroskooppisen, makroskooppisen ja symbolisen tason ilmiöitä voidaan visualisoida helposti.⁴¹

- + Anodi merkitty punaisella vasemmalle, katodi oikealle mustalla
- + Näyttää elektrodien massan muuttumisen
- + Voi valita eri metalleja elektrodeiksi ja eri elektrolyyttejä
- + Metallien hapettumisyhtälöt ja - potentiaalit saa näkyviin

- Pieni määrä metalleja ja elektrolyyttejä, joista valita. Vain nitraattipohjaisia elektrolyyttejä.
- Veden osuus vesiliuosten elektrolyysissä ei tule ilmi
- Ei voi valita inerttejä elektrodeja

- + Veden osuus elektrolyysissä tulee ilmi
- + Kerrotaan, mitä elektrodeilla havaitaan (kiinteän tai kaasun muodostuminen)

- + / - Ei näytä submikroskooppisen tason ilmiöitä tai reaktioyhtälöitä. Toisaalta antaa tilaisuuden oppilaille miettiä itse, ja johtopäätöksistä voidaan puhua yhdessä.

<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/electroChem/electrolysis10.html>.⁵⁰

<http://myweb.tiscali.co.uk/chemteach/swf/electrolysis2.swf>⁵¹

Veden elektrolyysi

Veden elektrolyysissä vesi hajotetaan virran avulla anodilla hapeksi ja katodilla vedyksi:

- Katodilla pelkistyy vetyä: $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ ($E_p = -0,83 \text{ V}$)
- Anodilla hapettuu happea: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$ ($E_h = -1,23 \text{ V}$)
- Kokonaisreaktio: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$

Hoffmanin laitteistolla on helppo havainnollistaa veden elektrolyysiä. Tämän työn demonstrointi vaatii tarkkuutta opettajaltakin (työturvallisuus), oppilastyönä tätä ei välttämättä kannata teettää. Vaihtoehtoisesti Internetissä on paljon kuvia ja videoita niin Hoffmannin laitteistosta kuin vedenelektrolyysistä muutenkin. Taulukosta 3 löydät linkkivinkkejä.

Taulukko 3: Veden elektrolyysiin liittyvää materiaalia

http://	Hyvää / huonoa
<p>kuva</p> <p>http://www02.op.h.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/labra/elektrolyysi.html</p>	<p>+Visuaaliset kuvituskuvat ja olennaiset kysymykset olennaisista veden elektrolyysiin liittyvistä seikoista.</p> <p>+ Vastaukset voi itse klikata näkyviin, kun niitä on miettinyt</p> <p>- Katodireaktio on tässä esitetty kaksinkertaisena.</p> <p>- d- ja f- kohtien reaktiot (anodi- ja katodireaktiot) on esitetty eri tavalla –kohdassa kuin f-kohdassa, jossa lasketaan, kuinka suuri jännite tarvitaan veden hajottamiseen</p>
<p>animaatio</p> <p>https://www.edumedia-sciences.com/en/media/713-electrolysis-of-water⁴²</p>	<p>+ Näyttää veden elektrolyysin submikroskooppisella tasolla.</p> <p>+ Kaasukuplat ja erot nestepintojen korkeuksissa näkyvät</p> <p>+ Selkeästi merkityt anodi- ja katodireaktiot⁴²</p>
<p>animaatio</p> <p>http://www.sepuplhs.org/high/hydrogen/electrolysis_sim.html</p>	<p>+ Valikosta voi klikata näkyviin selitykset siitä, mitä anodilla ja katodilla tapahtuu (myös reaktioyhtälöt). Myös elektrolyytin ja pariston merkityksestä kerrotaan.</p> <p>+ Voi pysäyttää.</p> <p>- Yksinkertaisen näköinen toteutus.</p>

Virhekäsityksiä veden elektrolyysissä:

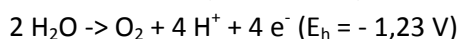
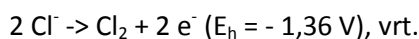
Veden elektrolyysissä on huomattava, että veteen pitää lisätä hieman laimeaa rikkihappoa, suolahappoa tai jotain muuta elektrolyytiksi, jotta vesi johtaisi sähköä ja reaktiot onnistuvat.^{43,44}

Rikkihappoa turvallisempi vaihtoehto demonstraatioissa on jonkin suolan käyttäminen, esimerkiksi natriumsulfaatin tai natriumkloridin.⁴³

Usein oppikirjoissa, tai välttämättä muissakaan lähteissä, ei kuitenkaan kerrota tarkemmin, miksi elektrolyytin lisääminen pitää tehdä. Oppilaille

voi syntyä virhekäsitys, että rikkihapon lisäys ei ole kovin olennainen seikka, koska selitys sivuutetaan. Elektrolyytti lisätään, jotta vesi johtaisi paremmin sähköä. Lisäksi kirjat eivät tässä yhteydessä huomioi sitä mahdollisuutta, että lisätyn elektrolyytin ionit, esimerkiksi sulfaatti-ionit SO_4^{2-} , voisivat hapettua ja pelkistyä. Tätä on syytä tarkastella lähemmin oppilaiden kanssa.³⁹

- $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2 e^-$ ($E_h = - 2,01 \text{ V}$) eli hapettumispotentiaali on pienempi kuin hapen hapettumispotentiaali vedestä.
- HCl, NaCl lisäys veteen pienissä määrin \rightarrow hapen hapettuminen anodilla ja vetykaasun pelkistyminen katodilla:



- ks. myös esimerkki: Kloridi-ioneja sisältävien vesiliuosten elektrolyysi edempänä

- *Huom.! Veden elektrolyysiä voidaan siis tarkastella periaatteessa elektrolyytin vesiliuoksen elektrolyysinä, koska elektrolyyttiä on joka tapauksessa lisättävä. Tuotteiden ennustus tapahtuu normaalipotentialitaulukkoa hyödyntämällä. Veden elektrolyysissä pelkistyy siis vetyä ja hapettuu happea, sillä lisätyn elektrolyytin konsentraatio on pieni, ja vedyn ja hapen pelkistymis- ja hapettumispotentiaalit ovat suotuisat.*

Virhekäsitys: Normaalipotentialitaulukko kertoo kaiken tai ei kerro mitään, konsentraatioilla ei ole merkitystä

Normaalipotentialitaulukko, jossa on lueteltu eri aineiden pelkistymispotentiaaleja ja -reaktioyhtälöitä, antaa pelkistymispotentiaalit voltteina 25 °C:ssa, 1 M vahvuisissa liuksissa ja 1 atm paineessa kaasuille. Hapettumisreaktion potentiaali on pelkistymispotentiaalın vastaluku.⁴⁵ Myös tässä oppaassa kaikki mainitut hapettumis- ja pelkistymispotentiaalit (E_h ja E_p) ovat standardiloissa mitattuja normaalipotentialiaaleja.

Esimerkki: Kloridi-ioneja sisältävien vesiliuosten elektrolyysi

Kun NaCl -liuoksen konsentraatio on suuri, anodilla hapettuu kloorikaasua ($E_h = -1,36 \text{ V}$) hapen sijaan. Kun NaCl:n konsentraatio on pieni, vedestä hapettuu happea ($E_h = -1,23 \text{ V}$) Ks. myös veden elektrolyysi.⁴⁶ Jos liuoksessa on kahta eri kilpailevaa ionia, joilla on suurin piirtein sama normaalipotentiali, niin ionien konsentraatiot vaikuttavat siihen, mitä tuotteita syntyy.⁴⁶ Tämä näkyy myös edellä esitettyssä elektrolyysisimulaatiossa

<http://myweb.tiscali.co.uk/chemteach/swf/electrolysis2.swf>, jossa NaCl:n elektrolyysissä hapettuu

anodilla kloorikaasua. Kuitenkin normaalipotentialitaulukosta huomataan, että kloridi-ionien pitäisi hapettua huomattavasti huonommin kuin hapen vedestä.

- Huomataan, että konsentraatiolla on väliä.
- Normaalipotentialitaulukko on hyödyllinen, mutta sovellusalueella on rajansa niin kuin kaikilla malleilla.
- Ylijännitteellä (overpotential) selitetään myös usein kokeellisesti havaittuja arvoja, jotka poikkeavat ennustetuista.³⁹

Virhekäsitys: Potentiaalien suhteellisuutta tai vedyn nollapotentialin keinotekoisuutta ei ymmärretä



Kuva 2: Normaalipotentialien suhteellisuuden esittäminen analogian avulla⁵³ (Beyer, Wikipedia, CCO https://en.wikipedia.org/wiki/Mountain#/media/File:Matterhorn_Riffelsee_2005-06-11.jpg)

Opetusvinkki: Vertaa vedyn nollapotentialia vuorten korkeuteen ja merenpintaan

Maapallon paikkojen korkeuksia verrataan merenpinnan korkeuteen. Mount Everestin korkeus on 8 850 m verrattuna merenpinnan tasoon. Jos taas huipun korkeutta verrattaisiin Mariaanien hautaan (-11 022 m merenpinnasta) olisi Mount Everestin korkeus 19872 m. Potentialinkin suuruus riippuu siitä, mihin verrataan, ja on sovittu, että mitataan aina aineen ja vedyn välistä potentiaalia. Kuva 2 auttaa havainnollistamaan asiaa.

Kognitiivinen konflikti ja virhekäsitykset

Virhekäsityksiä voi olla hankala muuttaa erityisesti perinteisessä opetuksessa. Opiskelijan virheellisiä mentaalimalleja voidaan pyrkiä muuttamaan käyttämällä nk. kognitiivista konfliktiä. Kognitiivinen konflikti on myös hyvä tapa käsitteiden oppimiseen. Myös kokeellisuutta voidaan hyödyntää kognitiivisen konfliktin herättäjänä. Kognitiivisessa konfliktissa opiskelija yrittää selittää ja ennustaa kemian ilmiötä käyttämällä omaa mentaalimalliaan eli tietoja ja käsityksiään asiasta. Kuitenkaan hän ei vajeavaisella tai virheellisellä mentaalimallillaan

pysty tähän, vaan päätyy ristiriitatilanteeseen. Opiskelijan on muutettava mentaalimalliaan. Muutokseen johtavat kognitiiviset prosessit ovat yksilöllisiä, mikä korostaa opiskelijan merkitystä aktiivisena oppijana ja tiedonrakentajana omassa oppimisprosessissaan. Sosiaalinen vuorovaikutus aktivoi muutokseen johtavia ajatusprosesseja, joten opiskelijat hyötyvät yhteistoiminnallisista opetusmetodeista. Konfliktin syntymistä tulee kuitenkin ohjailta ulkoapäin eli opettajan tulee panostaa hyvin suunniteltuun tehtävänantoon ja työskentelymuotoon.⁴⁷

Esimerkki: Inertit elektrodit ja aktiiviset elektrodit

Virhekäsityksiä elektrodien liittyen:

4. Jos käytetään inertejä elektrodia, ei tapahdu reaktiota.
5. Inertit elektrodit voivat hapettua tai pelkistyä.
6. Aktiiviset elektrodit toimivat vain virran kuljettajina, niissä ei tapahdu muutoksia elektrolyysissä.
7. Jos käytetään identtisiä elektrodia, sama reaktio tapahtuu kummallakin elektrodilla.

Kyseiset virhekäsityksen on voidaan yrittää kumota kokeellisilla esimerkeillä. Myös tietokonesimulaatiota tai videoita voidaan hyödyntää.

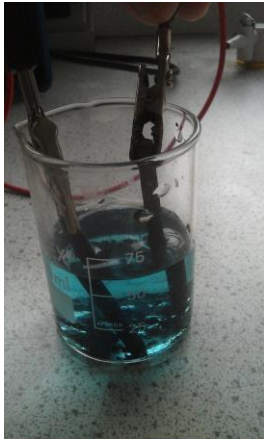
Käytä tätä opetuksessa!

Tarvitaan:

- Kuparisulfaatin vesiliuosta (CuSO_4) (aq)
- Kuparielektrodeja Cu(s)
- hiilielektrodeja C(s)
- paristo
- astia
- johtimia

Tehdään sama elektrolyysikoe inerteillä ja aktiivisilla elektrodilla ja ennustetaan, mitä tapahtuu ja mitä tuotteita syntyy. Tehdään kuparisulfaattiliuoksen elektrolyysi hiili- (tai platina) elektrodilla sekä kuparielektrodilla.

i) Inertit elektrodit. Ks. tarkempi kuva linkistä.



<http://www.docbrown.info/page01/ExIndChem/electrochemistry04.htm>⁵²

Kuva 3: Kuparisulfaatti liuoksen elektrolyysi hiileelettrodeilla⁴⁸ (George)

i) Inertit elektrodit

- Katodilla pelkistyy kuparia: $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$ ($E_p = 0,34 \text{ V}$)

- Ei pelkisty vetykaasua, sillä $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$ $E_p = -0,83 \text{ V}$

- Anodilla hapettuu happea:

- $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 4\text{H}^{+}(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{e}^{-}$ ($E_h = -1,23 \text{ V}$)

Positiivinen anodi vetää puoleensa sulfaatti-ioneja SO_4^{2-} (ja veden OH^{-} ioneja). Sulfaatti-ionin hapetuspotentiaali ($-2,01 \text{ V}$) on kuitenkin paljon pienempi kuin veden, joten sulfaatti ei hapetu. Happea voi hapettua vedestä. Kuvasta 3 näkyy koeeasetelma.

ii) Kuparielektrodit

Katodilla pelkistyy kuparia (kuten inerttejä elektrod ejakin käytettäessä)

- $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$

- Anodi itse (kupari) hapettuu nyt

- $\text{Cu}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-}$ $E_h = -0,34 \text{ V}$
- Ei hapetu vedestä happea, sillä $E_h = -1,23 \text{ V}$

Nyt kuparisen anodin massan pitäisi vähentyä saman verran kuin kuparisen katodin massa lisääntyy. Kokeile punnita elektrodit ennen ja jälkeen kokeen! Anna elektrodien kuivua ennen punnitusta.



iii) Jatka ajatusleikkiä: Mitä jos katodina on hiielelektrodi ja anodina kuparielektrodi?

V: Sama tilanne kuin yllä ii.

4. Jos käytetään inerttejä elektrodeja, ei tapahdu reaktiota.

Tehdään elektrolyysikoe inerteillä elektrodeilla ja ennustetaan, mitä tapahtuu ja mitä tuotteita syntyy. Huomataan, että reaktio tapahtuu. (ks. i)

5. Inertit elektrodit voivat hapettua tai pelkistyä.

- Huom.! Katodin massa voi silti muuttua, vaikka itse inertti elektrodi ei pelkisty, jos siihen pelkistyy kiinteää ainetta (ks. kuparisulfaattiliuoksen elektrolyysi inerteillä elektrodeilla).
- Huom.! Inertin anodin massa ei muutu, kun siellä hapettuu kaasumaisia aineita.

6. Aktiiviset elektrodit toimivat vain virran kuljettajina, niissä ei tapahdu muutoksia elektrolyysissä.

Tämäkin väärinkäsitys voidaan kumota samanlaisella koejärjestelyllä kuin edelliset väitteet. Kun kuparisulfaattiliuoksen elektrolyysissä käytetään aktiivisia kuparielektrodeja, havaitaan massan muutos molemmista elektrodeissa. (ii)

7. Jos käytetään identtisiä elektrodeja, sama reaktio tapahtuu kummallakin elektrodilla.

Identtiset elektrodit voivat siis olla joko aktiivisia tai inerttejä elektrodeja, jotka on valmistettu samasta materiaalista. Väite on selkeästi väärä, ja sekin voidaan kumota samanlaisella koejärjestelyllä kuin edelliset väitteet. (i ja ii)

- Kuparisulfaattiliuoksen elektrolyysissä inerttejä hiielelektrodeja käytettäessä katodille pelkistyy kuparia (nähdään kuparia elektrodin pinnalla), kun taas anodilla muodostuu kaasukuplia (happea). Selvästikin siis elektrodeilla tapahtuu eri reaktiot, vaikka elektrodit on valmistettu samasta materiaalista.
- Kuparisulfaattiliuoksen elektrolyysissä aktiivisia kuparielektrodeja käytettäessä katodille pelkistyy kuparia (nähdään kuparia elektrodin pinnalla), kun taas anodin havaitaan syöpyvän. Selvästikin siis elektrodeilla tapahtuu eri reaktiot, vaikka elektrodit on valmistettu samasta materiaalista.

Myös edellä esitettyä simulaatiota Iowa State Universityn sivuilta <http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/electroChem/electrolysis10.html> voi hyödyntää. Elektrodién massan muutokset näkyvät selvästi. Taulukon 4 linkeistä voi myös katsoa samat reaktiot videoituna, jos koetta ei haluta tehdä itse.

Taulukko 4: Youtube videoita aiheesta

Videon nimi	http://	Hyvää / Huonoa
Electrolysis of copper(II) sulfate solution with graphite electrodes	https://www.youtube.com/watch?v=Q62UfP-ZADY	+ 0:25 min., selkeät reaktiot +/- kerrotaan, mitä anodilla ja katodilla tapahtuu
Solution Electrolysis: Copper (II) Sulfate using copper electrodes	https://www.youtube.com/watch?v=guay80X0hs	5:39 min., melko selkeät reaktiot - pitkä, turhia jaksoja, jotka voi hyppiä yli +/- kerrotaan, mitä anodilla ja katodilla tapahtuu

Toteutusideoita:

- Tutkimuksellinen lähtökohta:

Anna oppilaille kirjallisena edelliset väitteet 4 – 7 ja pyydä heitä selvittämään ryhmissä niiden paikkansa pitävyys ja korjaamaan oikeaksi. Tämän voi tehdä kokeellisen työn avulla. Anna tarvittavat välineet ja oppilaat rakentavat itse laitteiston ja kokeilevat eri variaatiota.

- Mikäli päättely tuottaa vaikeuksia, voi oppilaita ohjata hakemaan Internetistä tietoa.

- **Helpotettu versio:** Ohjeista oppilaita kokeilemaan 2(3) eri vaihtoehtoa: hiilielektrodit, kuparielektrodit (ja hiilikatodi ja kuparianodi), havainnoimaan tapahtumat ja tekemään päätelmät.

- **Vinkki:** Katodilla tapahtuvasta 'päällystämismisreaktiosta' päästään käsiksi elektrolyysin hyödyntämisessä metallien päällystämässä ja ruustumisen estossa.

- Näihin kokeisiin perustuen. Keksitkö miten voisi päällystää avaimen elektrolyytisesti kuparilla? Testaa!

Vastaus: Laita avain hiili-/kuparikatodin tilalle edellä esitettyyn koeasetelmaan.

- Lisäkysymys: Entä, jos avain haluttaisiinkin päällystää jollakin muulla metallilla, esimerkiksi sinkillä?

10. Lähteet

1. Opetushallitus. (2015). Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015 (157-160). Helsinki.
2. Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., & Pihko, P. (2006). Suvanen (Toim.), *Reaktio 4 Metallit ja materiaalit* (47-56). Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
3. Leppilampi, Asko & Piekkari, Ulla (1998). Terve, terve! Opitaan yhdessä oppimisen ja elämän taitoja. Kukkila: Salpausselän Kirjapaino.
4. Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1999). Making cooperative learning work. *Theory into practice*, 38(2), 67-73.
5. Vanhanen, O. (2006). *Yhteistoiminnallinen opetuspaketti lukion pitkän matematiikan Polynomifunktiot-kurssilla käytettäväksi*. (Pro gradu -tutkielma) (s. 4-24). Luettu osoitteesta: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/21302/yhteisto.pdf?sequence=2>
6. Oja, P. (2002). *Yhteistoiminnallinen oppiminen*. Luettu osoitteesta: <http://wwwedu oulu.fi/homepage/ktloped/pedsem/lv2002/posem.htm>
7. Ojanen, R. (2012). *Kontekstuaalisen oppimisen hyödyntäminen rasvojen kemian opetuksessa: Lähtökohtana nuorten ravitsemuskasvatus*. (Pro gradu -tutkielma)(s. 40-44). Luettu osoitteesta: <https://jyx-jyu-fi.libproxy.helsinki.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/37839/URN:NBN:fi:jyu-201205151660.pdf?sequence=1>
8. Leppilampi, A. (2002). Yhteistoiminnallinen oppiminen aikuiskoulutuksessa. Luonnos artikkelista, joka julkaistu teoksessa Sahlberg, P. & Sharan, S.(Toim.), *Yhteistoiminnallisen oppimisen käsikirja*. Luettu osoitteesta: http://www.leppilampi.com/materiaali/askonartikkeleita/yhteistoiminnallinen_oppiminen_aikuiskoulutuksessa.pdf
9. Sahlberg, P. & Leppilampi, A. (1994). Yksinään vai yhteisvoimin. Helsinki: Helsingin yliopisto, Vantaan täydennyskoulutuskeskus.
10. Räsänen, A. (2016). *Draaman käyttö proteiinisynteesin opetuksessa lukiossa*. (Pro gradu -tutkielma) (s.11-13). Luettu osoitteesta: http://epublications.uef.fi/pub/urn_nbn_fi_uef-20161272/urn_nbn_fi_uef-20161272.pdf
11. Toivanen, T. 2012: Pohdintaa draamakasvatuksen perusteista suomalaisessa koulukontekstissa – opetusmenetelmä vai taideaine. – *Kasvatus* 43 (2/2012): 192-198.
12. Laitila, P., Lepistö, T., Linden, K., & Nokkala, A. (2013). *Draama opetuksessa*. (Ammatillisen opettajankoulutuksen kehittämishanke) (s.11-13). Luettu osoitteesta: https://www-theseus-fi.libproxy.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/56224/Laitila_Lepisto_Linden_Nokkala.pdf?sequence=1

13. Dorion, K. 2009: Science through drama: A multiple case exploration of the characteristics of drama activities used in secondary science lessons. – *International Journal of Science Education* 31: 2247-2270
14. Joronen, K. & Koski, A. (Toim.) 2010. Tunne- ja sosiaalisten taitojen vahvistaminen kouluyhteisössä. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print.
15. Ødegaard, M. (2003). Dramatic science. A critical review of drama in science education. – *Studies in Science Education* 39: 75-102.
16. Aubusson, P. & Fogwill, S. (2006). Role play as analogical modelling in science. Teoksessa: Aubusson, P., Harrison, A. & Ritchie, S. (toim.), *Metaphor and analogy in science education*: 93-104. Springer. Netherlands.
17. Brown, V., & Pleydell, S. (1999). *The dramatic difference. Drama in preschool and kindergarten classroom*. Portsmouth, NH: Heinemann.
18. Schaffner, M., Little, G., Felton, H., & Parsons, B. (1984). Drama, language and learning. Reports of the drama and language research project. Speech and Drama Center, Education Department of Tasmania. *NADIE Papers No. 1*. Tasmania: National Association for Drama in Education.
19. Saricayir, H. (2010). Teaching electrolysis of water through drama. *Journal of Baltic Science Education*, 9(3), 179-168. Luettu osoitteesta: <http://oaji.net/articles/2014/987-1405171882.pdf>
20. Saka, A., Ebenezer, J., Ilknur, Ç. & Saka, A. (2016). Pedagogy of creative drama in biology. – *Open Journal of Social Sciences* 4: 187-198.
21. Gül, E. & Gücüm, E. (2016). Creative drama applications as complementary for constructivist approaches for science courses: Teacher and students evaluations. – *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 174: 2043-2050.
22. Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: foundation for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28-54.
23. Wu, H. K., & Hsieh, C. E. (2006). Developing sixth graders' inquiry skills to construct explanation in inquiry-based learning environments. *International Journals of Science education*, 28, 15, 1289-1313.
24. Gunstone, R. F., & Champagne, A. B. (1990). Promoting conceptual change in the laboratory. In E. Hegarty-Hazel (Ed.), *The student laboratory and the science curriculum*. London Routledge, 159-182.
25. Gunstone, R. F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. In B. E. Woolnough (Ed.), *Practical science*. Milton Keynes: Open University press, 67-77.
26. Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. (2007). Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe, European Commission Directorate-General for research Science, economy and society. Retrieved from http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf

27. Aksela, M. (2005). Supporting meaningful chemistry learning and high-order thinking through computer-assisted inquiry: a design research approach. (Doctoral dissertation). Retrieved from: <http://hdl.handle.net/10138/2112>
28. Kipnis, M. & Hofstein, A. (2008). The inquiry-laboratory as a source for development of metacognitive skills. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 601-627.
29. Chinn, C, & Malhotra, B. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86, 175-218.
30. Acar Sesen, B. & Tarhan, L. *Res Sci.* (2013). Inquiry-based laboratory Activities in Electrochemistry: High School Students' Achievements and attitudes. *Research in Science Education*, 43(1), 413-435.
31. Banchi, H. & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 27.
32. Bell, R.L., Smetana, L., & Binns, I. 2005). Simplifying inquiry instruction. Assessing the inquiry level of classroom activities. *The Science Teacher*, 72(7), 30-33.
33. Hilska, T. (2003). Pro gradu –tutkielma. Sähkökemian opiskelu kokeellisuuden avulla lukiossa. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
34. Kanerva, K., Karkela, L. & Valste, J. (1996). Kemian oppikirja: Katalyytti – epäorgaaninen kemia, (264-266)
35. Hitt, A. M., & Townsend, S. J. (2007). Getting to the core issues of science teaching: A model-based approach to science instruction. *Science Educator*, 16(2), 20-26. Retrieved from <https://search-proquest-com.libproxy.helsinki.fi/docview/742863978?accountid=11365>
36. Sanger, M.J. & Greenbowe, T. J. (1997). Galvanic, Electrolytic, and Concentration Cells. *Journal of Research in Science teaching*, 34(4), 377–398.
37. Bojczuk, M. (1982). Topic difficulties in O- and A-level chemistry. *School Science Review*. 63(244), 545-551.
38. Bong, A.Y.L & Lee, T.T (2016). Form four student's misconceptions in electrolysis of molten compounds and aqueous solutions. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 17(1).
39. 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.
40. *Electrolytic Cells*, Luettu osoitteesta: https://chem.libretexts.org/Core/Analytical_Chemistry/Electrochemistry/Electrolytic_Cells
41. Talib, O., Matthews, R. & Secombe, M. (2005). Computer-animated instruction and students' conceptual change in electrochemistry: Preliminary qualitative analysis. *International Education Journal*, 5(5), 29-42.
42. eduMedia. *Electrolysis of water*. Luettu osoitteesta: <https://www.edumedia-sciences.com/en/media/713-electrolysis-of-water>
43. Turunen, S. *Veden elektrolyysi*. Luettu osoitteesta: <https://opetus.tv/kemia/ke4/veden-elektrolyysi/>

44. *Why can't pure water conduct electricity since it can be reduced at cathode and oxidised at anode?*. Luettu osoitteesta: <http://chemistry.stackexchange.com/questions/5922/why-cant-pure-water-conduct-electricity-since-it-can-be-reduced-at-cathode-and>
45. *Standard Electrode Potentials*. Luettu osoitteesta: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Chemical/electrode.html#c1>
46. *Oxidation and reduction - 19.3 Electrolysis*. Luettu osoitteesta: http://ibchem.com/IB/ibnotes/full/red_hm/19.3.htm
47. Lavonen, J. & Meisalo, V. Luettu osoitteesta: http://www.edu.fi/perusopetus/fysiikka_ja_kemia/opetuksen_kokeellisuus/kokeellisuus_ja_oppiminen
48. George, S. (8.11.2012). *Electrolysis of Copper Sulphate*. Luettu osoitteesta: <https://www.flickr.com/photos/starrydude/8174732811/>
49. *Fundamental photographs*. Luettu osoitteesta: <http://fphoto.photoshelter.com/image/I0000Owo0LUi2pKo>
50. *Electrolysis*. Luettu osoitteesta: <http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/electroChem/electrolysis10.html>
51. Crowley, M. (9.2013). *Electrolysis Experiments*. Luettu osoitteesta: <http://myweb.tiscali.co.uk/chemteach/swf/electrolysis2.swf>
52. *Electrolysis of Copper Sulfate Solution and the Applications of Electroplating*. Luettu osoitteesta: <http://www.docbrown.info/page01/ExIndChem/electrochemistry04.htm>
53. Beyer, D. (11.6.2005). *The Matterhorn, Swiss Alps*. Luettu osoitteesta: https://en.wikipedia.org/wiki/Mountain#/media/File:Matterhorn_Riffelsee_2005-06-11.jpg

11. Liitteet

Liite 1:

1. Laboratory Activity-1

The first laboratory activity began with a problem related to Galvani's observations on a trembling frog's leg connected to Zn and Cu metals, and group discussion began around this problem. Students were then required to conduct the laboratory activity named '*Potential differences of different metal rods in different fruits*' to solve the problem. They designed their experiments and observed the potential differences between the copper rod and some metal rods such as Zn, Sn, Mg, or Ni immersed into a fruit like lemon, apple, and orange using a simple voltmeter, and then noted the values into a Table. Students were required to inquire about the reasons for changes in the potential differences according to the type of the metal pairs and fruits. During this period, they activated their prior knowledge such as *Redox Reaction, Oxidation and Reduction, and Element Activities*.

2. Laboratory Activity-2

After the first laboratory work, students learned that potential difference is dependent on the concentration of a solution where metal rods are immersed. Students were asked how to construct a standard cell system for international validity. After the brain storming, a simulation was presented related to the cell system where Zn and Cu rods were immersed in 1 M HCl solution, and it required students to discuss the reason for the lighting of the lamp by considering the chemical reactions occurring in the cell, and the oxidation tendency of the metals. After constructing a system including one cell, laboratory activity-2 was conducted by the students, titled '*If Zn and Cu rods were immersed into two different cells, does the lamp light up?*'. Before this activity, students activated their previous knowledge as *Anion, Cation, Electrolyte, Oxidation, Reduction, Redox reactions and Element activities*. In the first step of the experiment, students made a system by immersing the Cu rod into a beaker include 1 M CuSO_4 and the Zn rod into the other beaker including 1 M ZnSO_4 solutions, and the rods and the lamp were connected via a conductive wire to complete the circuit. Students were required to inquire why the lamp did not light up and interpret their observations with their previous knowledge. In the second step, the teacher gave out to all the groups a U shaped glass tube filled with a saturated electrolyte (potassium chloride) and closed with a cotton wool. Students were encouraged to connect the beaker to each other using the salt bridge and then to comment on their observations. Students defined the reactions that occurred in the beakers, electron and ion flow, salt bridge's function and energy transformation in the system. As a result of this experiment, the aim was for students to learn the terms *Electrode, Anode, Cathode, Half-cell and Salt-bridge* and understand the working principle of the electrochemical cells.

3. Laboratory Activity-3

After completion of the second laboratory activity, a sample from daily life that showed water flowing spontaneously over a waterfall from high potential energy to low potential energy was given to students as a simulation for electron flow from anode to cathode demonstrating electromotor forces (cell potential). They began to express their opinions about the affective parameters of the cell potential. After the brainstorming, laboratory activity-3 named '*Effective Factors on Cell Potential*' was conducted by students to understand the change of cell potential depending on concentration and temperature. In this activity, students made four different electrochemical cells by using Cu and Zn electrodes and

CuSO_4 and ZnSO_4 solutions in the different concentration as 0.05 M and 2 M with the same volume and salt bridge filled with saturated Na_2SO_4 . The cell potentials for four electrochemical cells were measured via a voltmeter. Students inquired about the effect of concentration on cell potential. Then, students designed another electrochemical cell composed of Cu and Zn electrodes; 2 M CuSO_4 and 2 M ZnSO_4 solutions in two conditions of ice water and boiling water, and they measured the potential differences. Students were encouraged to inquire about the effect of temperature on cell potential.

4. Laboratory Activity-4

To arouse students' interest, they were asked whether electrical energy could be transferred to chemical energy. After brainstorming, they performed a laboratory activity-4 named '*Water Electrolysis*'. Students secured two test tubes filled with water in the beaker in a way that test tubes were upside down over the beaker, mounted the copper and carbon electrodes and then connected the 12 V battery. The events occurring in the system were observed and noted by students. Then, 2–3 mL of 1 M Na_2SO_4 was added to the water and observations were recorded. After completion of the experiment, pH of water was measured. While students interpreted the results of the experiment, they were encouraged to inquire which gases were released in the anode and cathode by writing the half reactions, the change of pH of the water and the reason for adding Na_2SO_4 .

5. Laboratory Activity-5

The last activity was related to electroplating. Firstly, students were asked, how to make jewellery or watch plating with silver or gold. After the brainstorming, students formulated their hypothesis, and began to design their experiments. During this activity, students made an electrolysis system and plated a spoon with copper. They were required to inquire about the examples of electrochemistry from daily life.