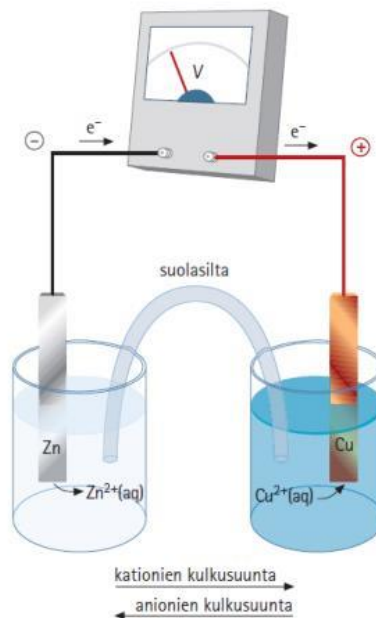


# Sähkökemiallisen parin e-kirja lukio-opetukseen

Virpi Elomaa  
Sakari Patana  
Riikka Ranta  
Lilli Sundman

## DANIELLIN PARI

1. Sinkkisauva upotettu sinkki-ioneja sisältävään liukeseen
2. Kuparisauva upotettu kupari-ioneja sisältävään liukeseen
3. Sauvat yhdistetty ulkoisilla johtimilla
4. Astioiden välille suolasilta, yhdistää astiat virtapiiriksi



## Sisällys

<b>Sähkökemian OPS:ssa</b> .....	3
<b>Sähköparin teoria</b> .....	4
<b>TVT-sovelluksia ja kokeellinen työ</b> .....	7
The McGraw-Hill Companies -yrityksen tuottama simulaatio ja opiskelijoiden mielipiteitä hyvästä simulaatiosta.....	7
Muita TVT-sovelluksia.....	9
Galvaaninen kenno -simulaatio .....	9
Daniellin pari Opetus-TV:ssä .....	10
Daniellin parin englanninkielisiä videoita.....	10
Englanninkielisiä sähkökemian käsitteleviä visoja.....	11
Kokeellinen työ.....	11
<b>Opetustapoja</b> .....	13
Opettajan haastattelu, sähköparin oppitunnin seuraaminen ja tunnilla tehty kokeellinen työ.....	13
5 E -menetelmä sekä galvaanista kennoa havainnollistava magneettipeli.....	15
Sähköpari Concept Cartoonsien avulla .....	20
Ennakkojäsentäjät .....	21
Käsitekartat .....	22
Yhteistoiminnallinen oppiminen .....	23
Tehtäviä ylemmille ajattelun tasoille .....	24
<b>Virhekäsityksiä</b> .....	30
Tutkimustietoa virhekäsityksistä .....	30
Uudempaa tietoa virhekäsityksistä.....	31
<b>Formatiivisen arvioinnin menetelmä</b> .....	34
Lähdeluettelo .....	36



# Sähkökemian OPS:ssa

Lukion uuden opetussuunnitelman mukaan kemian opetuksen tulisi tukea käsitteiden rakentumista ja ilmiöiden ymmärtämistä muodostamalla makroskooppisesta, submikroskooppisesta ja symbolisesta tasosta looginen kokonaisuus. Opetuksen tulisi lähteä liikkeelle opiskelijoiden omista kokemuksista ja havainnoista. Tästä tulisi edetä ilmiöiden kuvaamiseen, selittämiseen sekä aineen rakenteen ja kemiallisten reaktioiden mallintamiseen niin kemian merkkielellä kuin matemaattisestikin. (Opetushallitus, 2015.)

Kokonaisuudessaan kemian opetuksen tulisi ohjata luonnontieteille ominaiseen ajatteluun, tiedonhankintaan, tietojen käyttämiseen, ideointiin ja vuorovaikutukseen sekä tiedon luotettavuuden ja merkityksen arviointiin. Opetussuunnitelman perusteisiin on kirjattu yhdeksi opetuksen tavoitteeksi opiskelijan kyky käyttää erilaisia malleja ilmiöiden kuvaamisessa ja selittämisessä sekä ennusteiden tekemisessä. Tieto- ja viestintäteknologiaa tulisi käyttää esimerkiksi mallinnuksen välineenä, tutkimusten tekemisessä sekä niistä saatujen tulosten laadinnassa. (Opetushallitus, 2015.) Tietokonesimulaatiot tarjoavat mahdollisuuden (esimerkiksi visualisoinnin keinoin) yhdistää tieto- ja viestintäteknikan sekä mallien käytön lu-

kio-opetukseen (Sirkiä, 2012, 18).

Kurssin Materiaalit ja teknologia (KE4) yhtenä tavoitteena on, että opiskelijoiden tulisi kyetä tutkimaan kokeellisesti ja malleja käyttäen sähkökemian liittyviä ilmiöitä. Sähkökemian keskeisiä sisältöjä ovat jännitesarja, normaalipotentiaali, kemiallinen pari ja elektrolyysi, joista tässä työssä keskitytään kemialliseen pariin. Näiden opetuksessa tarvitaan myös tietoja hapetus-pelkistysreaktioista sekä hapetusluvuista. (Opetushallitus, 2015.)

Arvioinnin tulisi kohdistua kemian yleisten tavoitteiden saavuttamiseen painottaen kurssikohtaisia tavoitteita ja keskeisiä sisältöjä. Opetuksen aikaisen arvioinnin ja palautteen tulisi tukea kunkin opiskelijan kemian osaamisen kehittymistä ja tiedostamista. Kurssiarvosanan antamisen tulisi perustua monipuoliseen näyttöön ja kunkin opiskelijan käsitteellisten ja menetelmällisten tietojen ja taitojen havainnointiin. Erilaisten tuotosten lisäksi tulisi arvioida työskentelyn eri vaiheita kysymysten muodostamisesta tutkimisen taitoihin ja huomioida lisäksi kokeellisen työskentelyn taidot sekä tiedon hankinnan ja käsittelyn taidot. (Opetushallitus, 2015.)



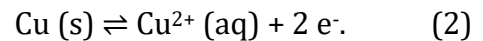
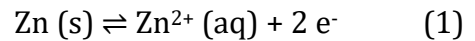
# Sähköparin teoria

Sähkökemiassa tutkitaan hapettumis-pelkistymisreaktioita, jotka tapahtuvat joko spontaanisti energiaa vapauttaen tai vaativat energiaa tapahtuakseen. Sähkökemiassa hyödynnetään sähkökemiallisia kennoja, joiden avulla reaktioissa vapautunut energia voidaan muuntaa sähköenergiaksi tai reaktioiden tapahtumiseen tarvittavana energiana voidaan käyttää sähköenergiaa. Kennoa, jossa spontaanien hapettumis-pelkistymisreaktioiden vapauttama energia muutetaan sähköenergiaksi, kutsutaan sähköpariksi. Elektrolyysissä saadaan aikaan hapettumis-pelkistymisreaktio sähköenergian avulla. Tässä e-kirjassa keskitytään vain sähköpareihin. (Sirkiä, 2015, 3.)

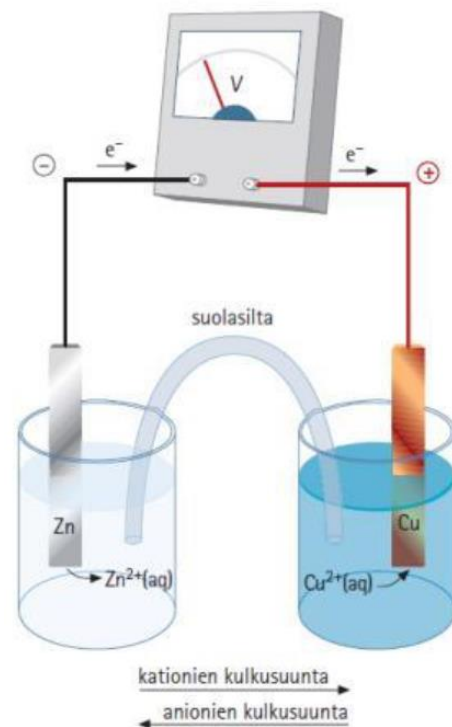
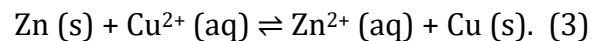
Sähköpari eli galvaaninen kenno koostuu kahdesta puolikennosta. Toisessa niistä tapahtuu hapettuminen ja toisessa pelkistyminen. Kummassakin puolikennossa on elektrodiksi kutsuttu metalliliuska, joka on upotettu vastaavia metalli-ioneja sisältävään elektrolyyttiliuokseen. Elektrodit on yhdistetty toisiinsa johtimen avulla ja elektrolyyttiliuokset suolasillan avulla. (Sirkiä, 2015, 3.)

Sähköparin rakennetta on tässä e-kirjassa selvitetty Daniellin parin (kuva 1) avulla, jossa elektrodina toimivat sinkki- ja kuparilevyt. Sinkkilevy on upotettu johonkin sinkki-ioneja ( $Zn^{2+}$ ) sisältävään liuokseen ja kuparilevy kupari-ioneja ( $Cu^{2+}$ ) sisältävään liuokseen. Elektrodit saavuttavat tasapainon ympäröivän liuoksen metalli-ionien

kanssa seuraavien reaktioyhtälöiden mukaan: (Sirkiä, 2015, 3 - 4.)



Edellä mainittujen tasapainoasemat eivät ole samat, sillä sinkki pyrkii hapettumaan (eli luovuttamaan elektroneja) kuparia voimakkaammin, joten sinkin tasapainoreaktion (1) tasapainoasema on enemmän oikealla kuin kuparin. Tämän takia sinkkielektrodiä merkitään sähköparissa merkillä - ja kuparielektrodiä merkillä +. Sinkkielektrodi siis hapettuu ja kupari pelkistyy, jolloin kokonaisreaktioksi saadaan



**Kuva 1.** Daniellin parin rakenne (muokattu <http://image1.slideserve.com/2966595/daniellin-pari-n.jpg>).

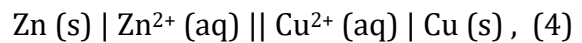
Elektrodi, jolla hapettuminen tapahtuu, kutsutaan anodiksi ja elektrodi, jolla pelkistymisen tapahtuu, katodiksi. Tässä reaktiossa sinkki hapettuu ja kupari pelkistyy, joten sinkkielektrodi toimii anodina ja kuparielektrodi katodina. Anodilla sinkkiatomit hapettuvat luovuttaen kaksi elektronia ja näin muodostuvat ionit liukenevat ympäröivään liuokseen. Luovutetut elektronit kulkeutuvat johdinta pitkin positiivisemmalle kuparielektrodille, jolloin kuparielektrodin ympärillä olevan liuoksen kupari-ionit ottavat elektronit vastaan ja pelkistyvät elektrodin pintaan kupariatomeiksi. Sähköparissa elektronien liike johdinta pitkin aiheuttaa sähkövirtaa, jota voidaan hyödyntää. (Sirkiä, 2015, 4 - 5.)



Elektrodeja ympäröivien elektrolyyttiliuosten koostumus muuttuu Daniellin parissa hapettumis-pelkistymisreaktioiden myötä. Anodia ympäröivään liuokseen vapautuu koko ajan lisää positiivisia sinkki-ioneja, kun taas katodin pintaan pelkistyy kupariatomeja, jolloin positiivisten kupari-ionien määrä liuoksessa pienenee. Jotta liuokset saataisiin pysymään sähköisesti neutraaleina, on liuosten väliin laitettu suo-

lasilta. Tämä voi olla esimerkiksi huokoista paperia, joka on kostutettu esimerkiksi kaliumnitraattiliuoksella. Suolasiltaa pitkin kulkee anodia (sinkki) ympäröivään liuokseen anioneja (-) ja katodia (kupari) ympäröivään liuokseen kationeja (+), jolloin liuokset pysyvät varauksiltaan neutraaleina. Sekä elektronien että ionien liike muodostaa sähkövirran, jolloin virta pääsee kulkemaan koko laitteiston läpi. (Sirkiä, 2015, 5.)

Sähköparin mallintamiseen voidaan käyttää kennokaaviota. Daniellin parin kennokaavio on muotoa:



jossa yksi pystyviiva kuvaa faasirajaa ionin ja vastaavan kiinteän aineen välillä ja kaksi pystyviivaa suolasiltaa elektrolyyttiliuosten välillä. Se puolikenno, jossa hapettuminen tapahtuu, kirjoitetaan kennokaaviossa suolasillan vasemmalle puolelle. Vastaavasti se puolikenno, jossa pelkistymisen tapahtuu, kirjoitetaan kennokaaviossa pystyviivojen oikealle puolelle. (Sirkiä, 2015, 6.)

Reagoivien aineiden pyrkimys hapettua ja pelkistyä vaikuttaa sähköparin lähdejännitteeseen eli kennopotentiaaliin. Jos hapettumispyrkimys on voimakas, on normaali-hapettumispotentiaali arvoltaan suuri ja vastaavasti jos pelkistymispyrkimys on voimakas, on normaalipelkistymispotentiaali arvoltaan suuri. Tällöin sähköparin lähdejännite on suuri. Potentiaalit määritetään yhdistämällä toisiinsa kaksi puolikennoa, jolloin saatu kennopotentiaali on elektrodien välinen potentiaaliero. Kirjallisuudessa taulukoidut normaalipelkistymispotentiaalit on saatu käyttämällä toisena puolikennona normaalivetyelektrodiä, jossa elektrodina toimiva platinalevy on

upotettu 1-molaariseen suolahappoliuokseen. Elektroodin pinnalle johdetaan vetykaasua 1 atm paineessa, jolloin vety joko hapettuu tai pelkistyy riippuen toisen puolikennon elektrodista. Vetypuolikennon potentiaaliksi on sovittu nolla, jolloin muiden puolikenttien potentiaalit saadaan määritettyä muodostamalla niistä sähköpari normaalivetyelektrodin kanssa. Saatua potentiaaleja kutsutaan normaalipotentiaaleiksi. (Sirkiä, 2015, 6 - 7.)

Normaalipelkistymispotentiaalien perusteella voidaan päätellä, kumpi sähköparin aineista pelkistyy ja kumpi hapettuu. Yleisesti se aine, jonka normaalipelkistymispotentiaali on suurempi, pelkistyy ja vastaavasti sähköparin toinen aine hapettuu. Normaalipelkistymispotentiaalit perustuvat metallien sähkökemialliseen jännitesarjaan. Käytännössä voidaan sanoa, että epäjalompi metalli hapettuu ja jalompi pelkistyy.



lähde: <http://www.toondoo.com//public/w/a/n/wangrixin/toons/cool-cartoon-4927663.png>

# TVT-sovelluksia ja kokeellinen työ

## The McGraw-Hill Companies -yrityksen tuottama simulaatio ja opiskelijoiden mielipiteitä hyvästä simulaatiosta

Simulaatiot ovat dynaamisia esityksiä, joiden avulla voidaan selittää tieteellisten ilmiöiden toimintaa ja syy-seuraussuhteita, joita ei pystytä esimerkiksi suoraan silmin havaitsemaan (Sirkiä, 2015, 21). Simulaatioiden avulla opiskelijat pystyvät käsittelemään paremmin kemiallisia ilmiöitä submikroskooppisella tasolla, jonka riittämättömän hallinta on usein syynä virhekäsitysten muodostumiselle (Sirkiä, 2015, tiivistelmä).

Kemiallinen tieto voidaan luokitella kolmeen tasoon, jotka ovat makroskooppinen, submikroskooppinen ja symbolinen taso. Makroskooppisen tason tietoa, kuten värimuutoksia tai kuplia, saadaan aistien avulla esimerkiksi laboratoriotyöskentelyn aikana. Submikroskooppiseen tasoon kuuluvat tiedot atomeista, molekyyleistä ja ioneista. Sen avulla voidaan ymmärtää, miksi jokin aine käyttäytyy tietyllä tavalla ja mallintaa käsiteltäviä hiukkasia. Virhekäsitykset johtuvat useimmiten tämän tason vaillinnaisesta hallinnasta. Symboliseen tasoon sisältyvät tiedot kemiallisista merkeistä ja kaavoista, reaktioyhtälöistä, matemaattisista yhtälöistä sekä kaavoista ja kuvaajista. Opiskelijat eivät hallitse yhtä hyvin kaikkia tasoja, vaan submikroskooppisen ja etenkin symbolisen tason hyödyntäminen on heikompaa. (Sirkiä, 2015, 15 - 16.)



Simulaatioiden käyttöä opetuksessa on tutkittu paljon. Staattisiin kuviin verrattuna, simulaatioiden on havaittu olevan opetusmenetelmänä tehokkaampia, kun käsitellään ilmiöitä submikroskooppisella tasolla, mallinnetaan ilmiöiden dynaamista luonnetta tai halutaan lisätä opiskelijoiden käsitteellistä ymmärrystä. Jos oppilaat työskentelevät dynaamisten visualisointien parissa itsenäisesti sen sijaan, että visualisointi näytettäisiin yhtä aikaa koko luokalle, niiden teho on vielä suurempi, vaikka työskentely muilta osin olisikin täysin samanlaista. Simulaatioiden avulla opiskelu aikaansaa opiskelijalle pysyvämmän käsityksen opiskeltavasta asiasta kuin staattisten kuvien avulla tapahtuva perinteinen opettajajohtoinen opetus. Lisäksi tietotekniikkaa hyödyntävä opetus koetaan perinteistä opetusta mielekkäämmäksi vaihtoehdoksi. Simulaatiot kääntävät opiskelijoi-

den huomion puoleensa ja auttavat muistamaan kemian käsitteitä paremmin. Myös opiskelijoiden visualisointitaidot ja kyky käsitellä kemiallisia ilmiöitä submikroskooppisella tasolla paranevat simulaatioiden avulla, ja tämä puolestaan auttaa muodostamaan syvällisempää ymmärrystä. Lisäksi simulaatioiden avulla pystytään korjaamaan opiskelijoiden virhekäsityksiä. Kaiken kaikkiaan simulaatiot auttavat opiskelijoita muodostamaan tai täydentämään omia mentaalimalleja submikroskooppisen tason tapahtumista tai korjaamaan tieteellisesti virheellisiä mentaalimalleja tarjoamalla vaihtoehtoisen, mutta uskottavan kuvauksen tapahtumille. (Sirkiä, 2015, 21 - 22.)

Sirkiän (2015) tutkimuksessa käytetty simulaatio (tuottanut The McGraw-Hill Companies, 2001) löytyy seuraavalta internet-sivulta:

<http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/galvan5.swf>.

Sen aloitussivulla näytetään sähköparin toiminta kokonaisuutena ja tämän jälkeen siinä voi zoomata elektrodien sekä suolasiilan ja liuoksien rajapintaan napsauttamalla näkymän painikkeita, jolloin avautuvat tapahtumat submikroskooppisella tasolla (Sirkiä, 2015, 30).



## Opiskelijoiden mielipiteitä hyvästä simulaatiosta

Sirkiän (2015) tutkimuksessa saivat opiskelijat antaa kommentteja hyvästä tietokonesimulaatiosta niin opetuksen kuin oppimisenkin kannalta. Aineistolähtöisen analyysin avulla vastauksista muodostui kolme pääluokkaa (yläluokkaa): visuaalisuus, auditiivisuus ja käytettävyys. Luokat

ja näkemykset sekä analyysin tulokset on koottu taulukkoon 1. Näistä tuloksista kenties tärkein tieto oli, että simulaation tulisi selvittää vain oleelliset asiat, ei mitään yksityiskohtia, ja lisäksi osa opiskelijoista haluaisi hyvän simulaation olevan suomenkielinen. (Sirkiä, 2015, 46-47.)



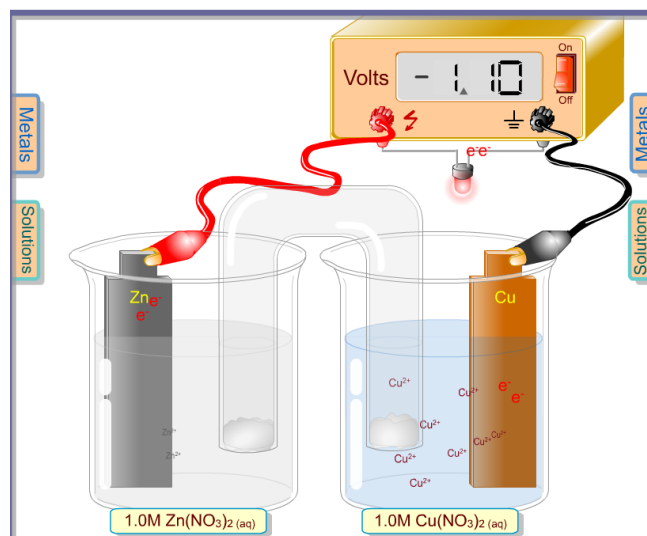
**Taulukko 1.** Opiskelijoiden näkemykset hyvästä tietokonesimulaatiosta (Sirkiän, 2015, 46, mukaisesti).

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

## Muita TVT-sovelluksia

### Galvaaninen kenno -simulaatio

Turun opetuksen verkkopalvelusta löytyi oheinen englanninkielinen simulaatio (kuva 2). Siinä sai valita anodi- ja katodimetallin neljästä vaihtoehdosta sekä kummallekin elektrolyyttiliuokset myös neljästä vaihtoehdosta. Simulaatio näytti hapettumis- ja pelkistymispuolireaktioiden tapahtumat kummallakin elektrolyytillä sekä elektronien liikkeen virtajohtoa pitkin. Puutteena oli, että suolasillan toimintaa ei kuvattu lainkaan.



**Kuva 2.** Tietokonesimulaatio galvaanisesta kennosta. Lähde:

[http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/electroChem/voltaicCell2\\_0.html](http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/electroChem/voltaicCell2_0.html)

## Daniellin pari Opetus-TV:ssä

Opetus-TV:ssä on useampikin video sähköparista. Ensimmäisessä käsitellään Daniellin paria muuten perusteellisesti, mutta suolasillan toiminta jää täysin käsittelemättä:

<https://opetus.tv/kemia/ke4/sahkokemia>

Toisessa huomattavasti pidemmässä opetusvideossa käsitellään kennokaaviota ja sen yhteydessä myös kerrataan ensimmäi-

sen videon sisältö. Lisäksi käsitellään suolasillan toiminta sekä kennokaavion kirjoitus kahden eri esimerkin avulla: <https://opetus.tv/kemia/ke4/kennokaavio>

Tämä jälkimmäinen video on lähes 17 minuuttia pitkä ja hieman yksitoikkoinen, mutta alun voi kyllä hyvin hypätä yli. "Uusi" osuus lähtee suolasillan käsittelystä noin kohdasta 7:45.



## Daniellin parin englanninkielisiä videoita

Khan Academy:n sivustolla on useita englanninkielisiä opetusvideoita. Näiden joukossa on myös galvaanista kennoa käsitteleviä videoita. Tässä on linkki pariin videoon, joiden kieli on suhteellisen ymmärrettävää.

Sal Khan on tehnyt valaisevan johdatuksen Daniellin parin toimintaan, jossa käsitellään sitä, mitä tapahtuu anodilla ja katodilla. Lisäksi videossa selittää elektronien kulku virtajohdossa sekä ionien kulku suolasiltaa pitkin.

<https://www.khanacademy.org/science/chemistry/oxidation-reduction/batter-galvanic-voltaic-cell/v/galvanic-cell-voltaic-cell>

Seuraava video on Sal Khanin jatko-osa edelliseen videoon ja siinä käsitellään Daniellin parin lähdejännitteen laskemisen salat normaalipelkistymispotentialaaleista:

<https://www.khanacademy.org/science/chemistry/oxidation-reduction/batter-galvanic-voltaic-cell/v/electrodes-and-voltage-of-galvanic-cell>

## Englanninkielisiä sähkökemian käsitteleviä visoja

### Helppo visa

Sivustolla

<http://www.sciencegeek.net/Chemistry/taters/Unit8Electrochemistry.htm>

on helppo visa, jossa on 15 kysymystä. Visassa ei ole aikarajoitusta, ja se näyttää välittömästi, jos vastaus on väärin, jolloin voi heti yrittää uudelleen. Kysymykset kä-

sittelevät muun muassa hapettumista, pelkistymistä, hapetuslukuja ja kennopotentialin laskemista. Ihan hauska sovellus! Englannin kielen kanssa sai olla tarkkana, jottei sekoita hapettumista ja hapettamista tai vastaavasti pelkistymistä ja pelkistämistä.

### Haastavampi visa

Sporclen sivustolta löytyi nimimerkin psychgirl tekemä elektrokemian käsittelevä visa, jossa haastetta lisäsi englannin kieli. Tämä voisi sopia esimerkiksi lisätehtäväksi parempitasoisille oppilaille. Visa sisältää 33 kysymystä elektrokemiasta. Osa kysymyksistä käsittelee esimerkiksi Gibbsin energiaa, mutta osa on suhteellisen helppo-

ja (ainakin, jos englantia on hallussa). Visassa on 10 minuuttia aikaa vastata kaikkiin kysymyksiin ja halutessaan jonkun kysymyksen yli voi hypätä. Visa näyttää koko ajan oikeiden vastausten lukumäärän sekä vielä käytettävissä olevan ajan.

<http://www.sporcle.com/games/psychgirl/electrochemistry>

## Kokeellinen työ

Mooli -sarjan kirjassa Metallit ja materiaalit on esitetty työ Daniellin parin rakentamisesta (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2012, 144 - 145).

### Kokeessa tarvittavat aineet ja välineet ovat:

- kuparisulfaattiliuosta  $\text{CuSO}_4$  (aq) ( $c = 1,0 \text{ mol/l}$ )
- sinkkisulfaattiliuosta  $\text{ZnSO}_4$  (aq) ( $c = 1,0 \text{ mol/l}$ )
- kylläistä kaliumnitraattiliuosta  $\text{KNO}_3$  (aq)
- kylläistä ammoniumkloridiliuosta  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (aq)
- dekantterilaseja (100 ml)
- eristepylväitä
- johtimia
- kupari- ja sinkkielektrodit
- grafiittielektrodi
- suolasilta
- jännitemittari
- hiekkapaperia



## Työn suoritus

1. Puhdista elektrodit hyvin hiekkapaperin avulla ja huuhtelee ne vielä vedellä.
2. Kaada toiseen dekantterilasiin noin 50 ml kuparisulfaattiliuosta ja upota kuparielektrodi tähän liuokseen.
3. Laita toiseen dekantterilasiin noin 50 ml sinkkisulfaattiliuosta ja upota siihen sinkkielektrodi.
4. Yhdistä dekantterilasit suolasillalla.
5. Kytke sinkkielektrodi jännitemittarin negatiiviseen ja kuparielektrodi positiiviseen napaan.
6. Mittaa näin saadun parin jännite.

## Tulosten käsittely

1. Piirrä kaaviokuva Daniellin parista. Nimeä kaikki kuvan osat.
2. Miten syntynyttä paria merkitään kennokaaviolla?
3. Päättelä, kummalla elektrodilla tapahtuu hapettuminen ja kummalla pelkistyminen. Kirjoita näitä vastaavat puolireaktioiden yhtälöt ja parin kokonaisreaktion yhtälö.
4. Mihin suuntaan elektrodit liikkuvat johtimessa? Entä mikä on virran kulkusuunta?
5. Laske parin lähdejännite taulukkokirjan avulla ja vertaa sitä kokeellisesti saatuun arvoon.
6. Kuinka monta prosenttia mitattu jännite on laskennallisesta jännitteestä?
7. Miksi mitattu jännite ei ole yhtä suuri kuin laskennallinen jännite?
8. Mitä sinkkielektrodille tapahtuu, jos parista otetaan pitkään virtaa? Entä mitä kuparielektrodille tällöin tapahtuu?
9. Miksi suolasilta on tärkeä parin toiminnan kannalta?



## Työhön liittyvä tehtävä

Eräs sähköpari esitetään kennokaaviolla



1. Kumpi metalleista on negatiivinen elektrodi?
2. Mikä on elektronien kulkusuunta parissa? Mihin suuntaan virta tällöin kulkee?
3. Mikä on parin laskennallinen lähdejännite?
4. Kirjoita parin kokonaisreaktio.

# Opetustapoja

## Opettajan haastattelu, sähköparin oppitunnin seuraaminen ja tunnilla tehty kokeellinen työ

Meillä oli ilo seurata poikkeuksellisen kokeellista ja tutkimuksellista sähkökemian oppituntia. Tällä tunnilla oppilaat pääsivät suoraan tekemään havainnollista tutkimusta siitä, mitä tapahtuu sähköparin anodilla ja katodilla. Lisäksi oppilaat vastasivat tunnin kuluessa kokeellisen työskentelyn aikana kännyköihinsä tulleet kysymykset. Nämä kysymykset käsittelivät muun muassa oppimismotivaatiota, ilmapiiriä ja kyseisen oppilaan senhetkistä työskentelyä. Mobiilisovelluksena toimi Paco, ja sitä oli kehitetty Michigan State Universityssä. Tämän kännykkäkyselytutkimuksen projektinveittäjänä toimii Janna Inkinen OKL:stä. Tutkimus pohjautuu NGSS:ään (next generation science standards, Krajick, 2014).

Seuratun oppitunnin alussa annettiin lyhyet kirjalliset ohjeet, joiden mukaan oppilaat aloittivat heti kokeellisen työskentelyn neljän hengen ryhmissä. Toiminta oli todella mukavan avointa ja ihmettelevää, mutta sen oppimistuloksista oli vaikea tietää heti tunnin jälkeen, sillä lähestymistapa oli uusi myös opettajalle. Opettaja oli aiemmin esittänyt ensin teorian ja vasta sen jälkeen oli tehty kokeita. Tästä syystä opettajallakin oli tunnin jälkeen epävarma olo oppilaiden oppimisesta ja kokeiden teoreettisesta

ymmärryksestä. Toivo on kuitenkin todella suuri, että tämä menetelmä toimisi paremmin kuin moni muu vanha.



Opettajan mielestä sähkökemian opettaminen on haasteellisempaa kuin muiden kemian aiheiden, mutta siihen sopii kokeellisuus ja tutkimuksellisuus. Tämän vuoksi sähkökemian tunneilla tehdään yleensä enemmän kokeita kuin muilla tunneilla, vaikka kokeiden valmistelu viekin enemmän aikaa.

Oppitunnin aluksi oli yleistä järjestäytymistä ja ohjeiden kerrontaa. Seuraavana ovat ohjeet, jotka oppilaat saivat sähköparin mallintamiseen:

- Laita 100 ml:n dekantterilasiin 50 ml rikkihappoliuosta (10%),
- Kytke sinkkilevy eristepylvääseen ja yhdistä siihen sähköjohto,
- Kytke kuparilevy eristepylvääseen ja yhdistä siihen sähköjohto,
- Upota elektrodit liuokseen,
- Muodosta virtapiiri ja tarkkaile reaktiota,
- Kytke elektrodit 3,5 V lamppuun kiinni (Syttyikö lamppu?) ja
- Mittaa lopuksi lähdejännite.

Tämän jälkeen oppilaiden omatoiminen tutkiminen alkoi. Lisäksi oppilaiden tuli tehdä alla olevat tehtävät:

- Piirrä kaaviokuva koejärjestelystä,
- Kehitä malli kuvaamaan tapahtunutta ja
- Mitä kysymyksiä ryhmällesi on herännyt?



Oppilaat tekivät kokeen 4 hengen ryhmässä. Koe oli helppo toteuttaa osana sähkökemian opetusta. Oppilaiden tuli tarkkailla, mitä tapahtuu sinkki- ja kuparilevyillä sekä havainnoida, saadaanko lamppu palamaan. Lisäksi oppilaat saivat mitata muodostuneen jännitteen jännitemittarilla (0,89 Volttia).

Kun oppilaat olivat tarkkailleet reaktiota, he piirsivät kaaviokuvan tapahtuneesta ilman, että opettaja neuvoi tarkasti, mitä tulee tehdä. Oppilaat piirsivät kaaviokuvia koejärjestelystä (ja syttyneen lampun). Hapettumis- ja pelkistymisreaktioiden kirjoittaminen tuotti enemmän pinnistelyä. Opettaja kiersi luokassa ja tarkkaili kaaviokuvia sekä pyysi oppilaita tarkentamaan, mitkä olivat kemialliset reaktiot, jotka tapahtuivat sinkki- ja kuparielektrodien pinnoilla tai elektrolyyttiliuoksessa. Samanaikaisesti oppilaat keksivät myös kysymykset tai ongelmat toiselle ryhmälle. Tämän jälkeen

mallit esiteltiin toiselle ryhmälle. Lopuksi opettaja näytti youtube-videon sähköparista, jonka jälkeen oppilaat saivat vielä täydentää mallejaan sekä vastata kännykkään ilmestyneisiin kysymyksiin.

(<https://www.youtube.com/watch?v=wwFrRymr4iE>)

Työssä kupari (Cu) oli positiivinen ja sinkki (Zn) negatiivinen elektrodi. Sinkki luovutti elektroneja ja hapettui. Kuparielektrodin luona taas rikkihapon vetyionit muodostivat vetykaasua. Vetyionit pelkistyivät vastaanottaessaan sinkin kaksi elektronia. Tämä näkyi kuparielektrodin luona pieninä kuplina.

Opettajan käyttämä opetusmenetelmä muistuttaa paljon 5E-menetelmää. Siinä yhdistyvät avoin kokeellinen työskentely, kysymysten keksiminen, omien havaintojen ja tuloksien kirjaaminen sekä tiedon soveltaminen uuteen kontekstiin.

## 5 E -menetelmä sekä galvaanista kennoa havainnollistava magneettipeli

Supasornin artikkelissa kehitettiin ja tutkittiin pienen asteikon sähkökemian ja galvaanisen kennon kokeita submikroskooppisella tasolla. Aihe todettiin julkaisussa vaikeaksi aiheeksi kouluopetuksessa, sillä se sisältää abstrakteja käsitteitä ja sähkökemian on vaikea havainnoida, jonka vuoksi sitä on vaikea ymmärtää. Koska aihe on vaikeasti ymmärrettävä, tämä johtaa oppilaille virhekesityksiin, joita opettajien on vaikea korjata. **Opettajien tulisi kannustaa oppimista** opetusmetodeilla, kuten piirtämällä ja selittämällä kaaviokuvia esimerkiksi galvaanisesta kennosta, jolloin oppilaiden käsitykset voivat muuttua. (Supasorn, 2015.)



Sähkökemian opetuksessa tulisi huomioida niin makroskooppinen, submikroskooppinen kuin symbolinen taso. Oppilailla on usein vaikeuksia ymmärtää kemiallisia ilmiöitä submikroskooppisella tasolla ja yhdistää ne makroskooppiselle tasolle sekä symboliselle tasolle. Siksi on suositeltavaa että opettajat soveltavat useaa eri esitystapaa, jolloin oppilaiden virhekesitykset korjautuisivat. (Supasorn, 2015.)

Tutkimuksessa käytettiin "5 E inquiry learning activities" 5 E -menetelmää (5 E - engagement, exploration, explanation, elaboration, evaluation). Kyseessä on tutkimuksellinen menetelmä, joka perustuu opiskelemaan ryhmässä. Ryhmätyöskentely taas vahvistaa oppilaiden käsitteellistä ymmärrystä. Opettajien rooli on motivoida ja haastaa oppilaita tekemään tehtäviä, jotka herättävät oppilaissa kysymyksiä (Science inquiry process). Se on yksi kemian opetuksen tehokkaimmista menetelmistä, jonka vaiheet ovat seuraavat:

- 1) oppilaat miettivät annettuja kysymyksiä
- 2) oppilaat etsivät kysymyksiinsä vastauksia suunnittelemalla ja tekemällä kokeita, sekä kirjaamalla tuloksensa
- 3) oppilaat tekevät johtopäätöksiä kokeellisista tuloksista ja vastaavat kysymyksiinsä
- 4) oppilaat käsittelevät yksityiskohtaisesti tuloksiaan ja soveltavat niitä uuteen kontekstiin ja
- 5) arvioivat kokeet ja tulokset eri menetelmiä käyttäen

5 E tutkimuksellinen oppiminen on erinomainen menetelmä virhekesitysten korjaamiseksi. Jotta oppilaan käsitteellinen ymmärrys paranisi, tulisi lisäksi käyttää opetusmallia, joka huomioi submikroskooppisen tason. Tutkimuksessa käytettiin 5 E -menetelmää ja galvaanisen kennon rakennussarjaa kuvaamaan submikroskooppista tasoa sekä kytkemään se makroskooppiseen ja symboliseen ymmärtämiseen. (Supasorn, 2015.)

Supasornin tutkimuksessa oppilaat suorittivat ensin lähtötasotestin ja piirsivät mentaalimallin galvaanisesta kennosta. Tämän jälkeen toteutettiin varsinainen 5 E -menetelmä, joka sisälsi myös kokeellista työskentelyä hapettumis- ja pelkistymisreaktioista sekä galvaanisesta kennosta. Lopuksi oppilailla teetettiin vielä toinen testi. Jälkimmäisessä kokeessa testattiin oppilaiden galvaanisen kennon käsitteiden hallinta. Lisäksi siinä piti piirtää mentaalimalli uudelleen. Tutkimuksessa haluttiin selvittää oppilaiden pisteiden muuttuminen 5 E -menetelmän käytön ansiosta lähtötasotestiin verrattuna. (Supasorn,



2015.)

Tutkimuksen vaiheet (hieman muokattuina) on esitetty taulukossa 2. 5 E -menetelmän kokeet tehtiin pienillä tilavuuksilla. Ensin tutkittiin hapettumista ja pelkistymistä, jolloin oppilaiden tuli selvittää, miten eri metallit reagoivat metalli-ioniliuoksissa. Tämän jälkeen tutkittiin galvaanista kennoa, jolloin oppilaiden tuli selvittää, miten galvaaninen kenno rakennetaan puolikennoista. Lisäksi heidän tuli selvittää, miten puolikennojen aineet reagoivat. Kuvat reaktioista on esitetty kuvassa 3. Tutkimuksessa käytettiin myös magneettista pelilautaa galvaanisen kennon havainnollistamiseen. Pelin idea on selitetty omassa alakohdassaan. (Supasorn, 2015.)

**Taulukko 2.** Muunneltu taulukko 5 E -menetelmän kokeellisesta osuudesta (Supasorn, 2015).

Tuntisuunitelma (h)	Toiminnot
1. Lähtötasotesti (1)	Lähtötasotesti ja mentaalimallin piirtäminen
2. 5 E -menetelmä (6)	
2.1 Hapettuminen ja pelkistyminen (3)	Kysymys: miten metallit reagoivat metalli-ioniliuoksissa? <ul style="list-style-type: none"> <li>Tarkkaile metallien (Mg, Zn, Fe, Al, Cu) hapettumis- ja pelkistymisreaktioita metalli-ioniliuoksissa (<math>Mg^{2+}</math>, <math>Zn^{2+}</math>, <math>Fe^{2+}</math>, <math>Cu^{2+}</math>)</li> </ul>
2.2 Galvaaninen kenno (3)	Kysymys: Miten galvaaninen kenno rakennetaan puolikennoista? Miten ne reagoivat? <ul style="list-style-type: none"> <li>Kokoa galvaaniset kennot seuraavista puolikennoista (<math>Mg Mg^{2+}</math>, <math>Zn Zn^{2+}</math>, <math>Fe Fe^{2+}</math>, <math>Cu Cu^{2+}</math>) ja mittaa niiden jännitteet</li> <li>Galvaanisen kennon toiminnan havainnollistaminen magneettisen pelilaudan avulla</li> </ul>
3. Lopputesti	Lopputesti ja mentaalimallin piirtäminen
4. Epämuodollinen haastattelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opiskelijoiden haastattelu käsitteellisten- ja mentaalimallien läpikäymiseksi</li> </ul>





**Kuva 3.** Kaksi vasemmanpuoleisinta kuvaa esittävät hapettumis-pelkistymisreaktioita ja oikeanpuoleisin kuva galvaanista kennoa (Supasorn, 2015).

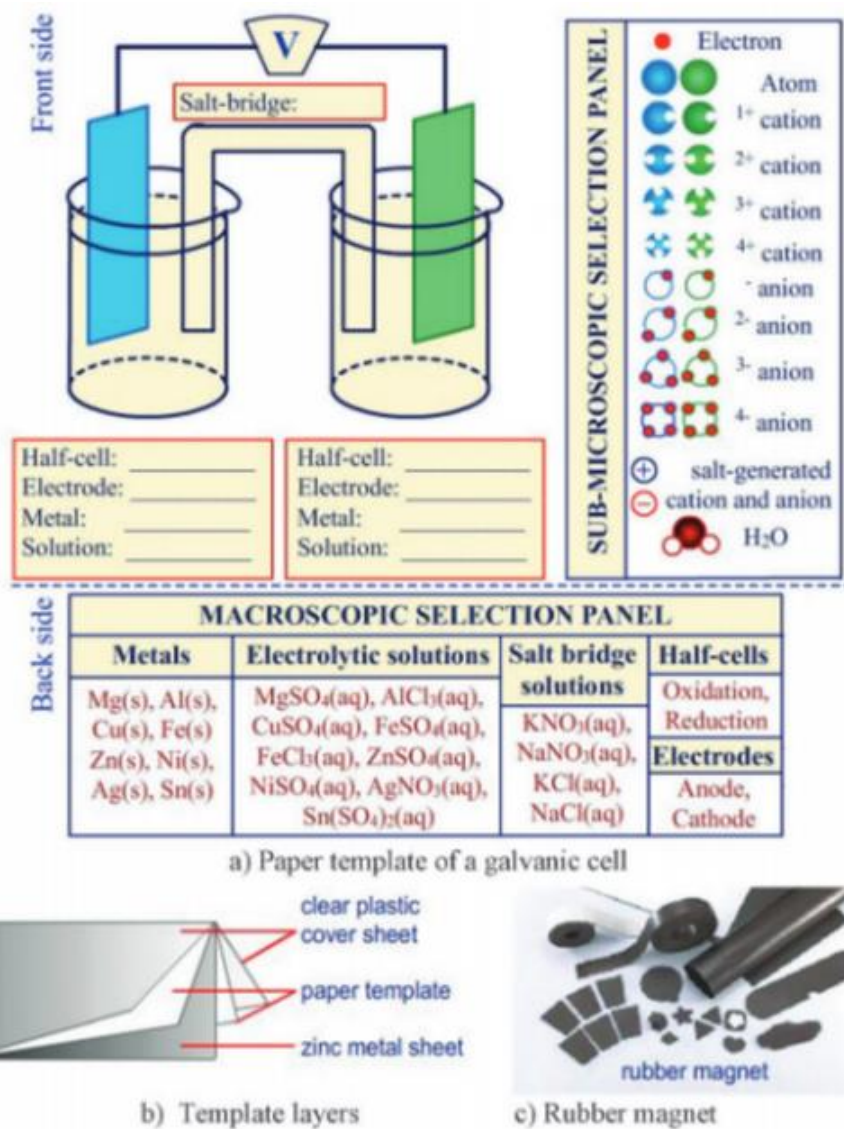
Tutkimukseen osallistui 34 oppilasta ja tutkimus suoritettiin lukion toisella luokalla Srimuang Wittayakhan Schoolissa Thaimaassa. Tutkimustulokset koostuivat neljästä osasta: 1) oppilaiden pistemäärä käsitteiden osaamista mittaavassa kokeessa, 2) oppilaiden käsitekategoriat käsitteitä mittaavassa kokeessa, 3) oppilaiden pistemäärät ajatusmalleja galvaanista mallia mittaavassa kokeessa ja 4) oppilaiden käsitekategoriat galvaanisten elementtien ajatusmalleista. (Supasorn, 2015.)

Pistemäärät käsitteiden osaamista mittaavassa kokeessa olivat huomattavasti parempia 5 E -menetelmän kokeellisen työskentelyn jälkeen ja noin kaksi kertaa kor-

keammat kuin ennen koetta. Myös käsitekategorioita mittaavassa kokeessa tulokset paranivat huomattavasti ja kun kokeessa ennen tutkimusta vain pienellä osalla oppilaista oli erinomaiset taidot käsitekategorioiden muodostuksessa, suurin osa oppilasta kehitti osaamistaan tutkimuksen aikana ja 60 % sijoittui erinomaisesti osaavien joukkoon. Ajatusmalleja sekä ajatusmallien käsitekategorioita mittaavassa kokeessa myös yli puolet oppilaista kehitti ajatusmallejaan sekä käsitekategorioita oikeanlaisiksi. Sähkökemian kokeet pienissä tilavuuksissa sekä galvaanista elementtiä havainnollistava magneettinen pelilauta olivat tehokas tapa parantaa opiskelijoiden käsitteellistä ymmärrystä sähkökemiassa. (Supasorn, 2015.)

## Galvaanista kennoa havainnollistava magneettipeli

5 E -menetelmässä käytettiin galvaanisen kennon opetteluun magneettista pelilautaa (kuva 4) . Magneettinen pelilauta koostui kahdesta osasta: sinkkilevystä, joka oli päällystetty paperilla ja johon oli piirretty galvaaninen elementti, sekä päällimmäisenä olevasta ohuesta muovikalvosta. Laudan taustapuolella oli ohjeet mallin käyttämistä varten. Pakkauksen toinen osa sisälsi metallielektrodeja, metallikationeja ja elektroneja sekä suolasillasta liuenneita kationeja ja anioneja. Nämä osat kiinnitettiin magneeteilla sinkkilevyyn. (Supasorn, 2015.)



**Kuva 4.** Galvaanista elementtiä havainnollistava magneettipelilauta, joka myös soveltuu oppimispeliksi (Supasorn, 2015).

Pelin ideana on, että oppilaiden tulee rakentaa galvaaninen kenno annetuista vaihtoehdoista (kuva 4). Makroskooppisella tasolla ajateltuna oppilaiden tuli valita anodi- ja katodielektrodit, elektrolyyttiliuos ja suolasillan liuos sekä asettaa ne oikeille paikoilleen puolikennoihin. Submikroskooppisella tasolla oppilaiden tuli valita oikeat metalli-ionit (oikeilla hapetusasteilla), neutraalit atomit, elektronit ja suolasillasta liuenneet kationit ja anionit sekä sijoittaa ne oikeisiin paikkoihin puolikennoihin. Lopuksi heidän tuli siirtää hiukkaset niille paikoille, mihin ne kuuluivat hapettumis-pelkistymisreaktion edessä (kuva 5). Oppilaiden tuli myös miettiä, mikä on neutraalien atomien, kationien ja anionien sekä elektronien lukumäärä kummassakin puolikennoissa. (Supasorn, 2015.)

**Please fill in the blanks.**

Beaker:	A	B
Half-cell:	Oxidation	Reduction
Electrode:	Anode	Cathode
Metal:	Mg(s)	Fe(s)
Solution:	MgSO <sub>4</sub> (aq)	FeSO <sub>4</sub> (aq)

**Please illustrate what happens at a sub-microscopic level by using the following icons.**

	atom		electron
	1 <sup>+</sup> cation		1 <sup>-</sup> anion
	2 <sup>+</sup> cation		2 <sup>-</sup> anion
	3 <sup>+</sup> cation		3 <sup>-</sup> anion
	4 <sup>+</sup> cation		4 <sup>-</sup> anion
	salt-generated cation		
	salt-generated anion		

**Kuva 5.** Esimerkki oppilaan magneettisella pelilaudalla generoimasta galvaanisesta kennosta (Mg - Fe) (Supasorn, 2015).

## Sähköpari Concept Cartoonsien avulla

Sähköparin oppimiseen liittyy paljon virhekäsityksiä. Näitä voidaan oikoa esimerkiksi concept cartoonsien avulla. Concept cartoonsit ovat oiva tapa avata keskustelua. Tällöin oppilaat voivat yhtyä jonkin kuvan hahmon mielipiteeseen tarvitsematta itse muodostaa mielipidettä tai ”menettää kasvojaan” väärän vastauksen pelossa.

Alla olevan esimerkin vastauksista yksi on oikea. Löydätkö sen? Esimerkki vastausvaihtoehtoineen on poimittu Taina Sirkiän pro gradu -tutkielman lukiolaisille tehdystä kyselystä (Sirkiä, 2015, 66). Kuvassa oleva galvaanisen kennon malli (1) on mukailtu lähteestä:

<http://media4.picsearch.com/is?QZnlpV0rHeFsAyAtIbnFFYaXfmPiBAnBanrTAYh8w8&height=251>

### Sähköparissa sähkövirran kulku elektrolyyttiliuoksessa on seurausta:

The diagram shows a galvanic cell with two beakers connected by a salt bridge. Each beaker contains an electrode and an electrolyte solution. Four stick figures are positioned around the cell, each with a speech bubble containing a different statement about the movement of ions and electrons during the electrochemical process.

1

elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektronien kiinnittyttyä liuoksen ioneihin

elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektronien siirtymässä ionilta toiselle

elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektrodilta toiselle

elektronien liikkeestä liuoksen läpi elektronien siirtymässä ionilta toiselle

sekä positiivisten että negatiivisten ionien liikkeestä

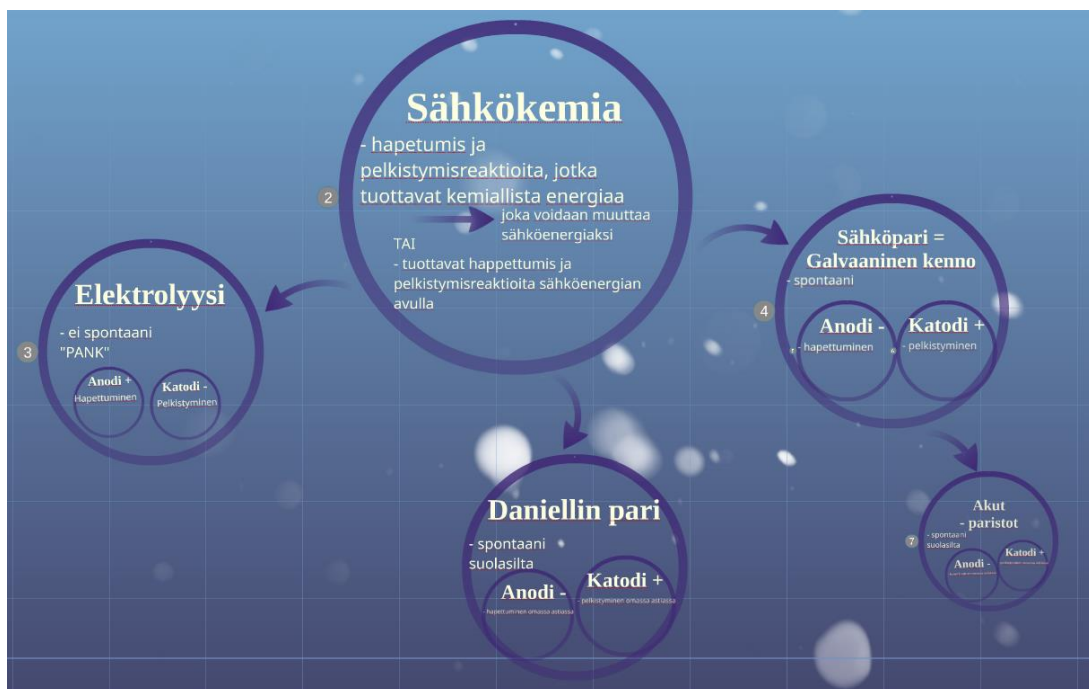
vesimolekyylien liikkeestä

## Ennakkojäsentäjät

Ennakkojäsentäjä on eräänlainen kartta, jonka avulla esitetään opiskeltavien käsitteiden ja asioiden keskinäinen suhde. Niiden avulla ohjataan oppimista ja aktivoidaan jo aiemmin opituista tiedoista ne, jotka liittyvät läheisesti opiskeltaviin asioihin. Niiden tarkoituksena on syväoppiminen, mitä kartat tukevat. Ennakkojäsentäjät jäsentävät ajattelua ja tukevat merkityspohjaista oppimista, jossa uudet asiat rakentuvat aiemmin opitun varaan. (Lavonen et al., 2005.)

Ennakkojäsentäjien käytöllä opetuksessa tuetaan oppilasta käsittelemään, jäsentämään ja muokkaamaan ympärillä olevaa informaatiota, eli hankkimaan tietoa. Oppimisen kannalta ratkaisevaa on, miten aikaisempi tieto on jäsentynyt oppilaalle ja miten hän hahmottaa näiden pohjalta uusien käsitteiden ja periaatteiden merkitystä. (Lavonen et al., 2005.)

Oppilaan tiedot ovat järjestäytyneet aivoihin hierarkkisessa muodossa: yläkäsitteet, välitasonkäsitteet ja alakäsitteet. Esimerkki sähkökemiasta on esitetty kuvassa 6. Opettajan tehtävänä on selvittää, mitä oppilas tietää käsiteltävästä asiasta entuudestaan, jolloin oppilas aktivoi vanhan tiedon. Opettaja voi etsiä yksin tai oppilaiden kanssa oppiaineksesta ylä-, väli- ja alatason käsitteet ja tarkastella niiden välisiä yhteyksiä. Ennakkojäsentäjät laaditaan oppiaineen tietorakenteen pohjalta. Niitä voidaan käyttää opetuksen aikana tarvittaessa esimerkiksi laajoja aihekokonaisuuksia käsiteltäessä. (Lavonen et al., 2005.)



**Kuva 6.** Ennakkojäsentäjä piirrettynä Prezi-ohjelmalla (<https://prezi.com/dashboard/>). Kuvassa sähkökemialla on yläkäsite, sähköpari = Galvaaninen kenno, Daniellin pari sekä elektrolyysi välikäsitteitä ja anodi ja katodin reaktiot alakäsitteitä.

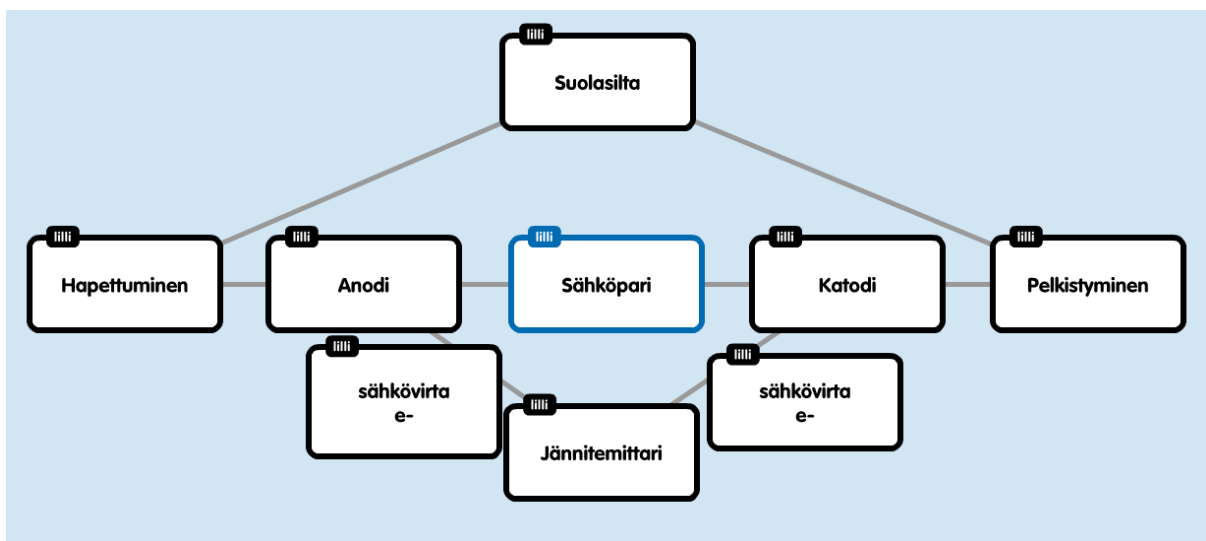
## Käsittekartat

Tietoyhteiskunta edellyttää jäseniltään tietokokonaisuuksien hallitsemista ja kykyä arvioida asioita samanaikaisesti eri tiedonalojen kannalta. Erilaiset graafiset tiedonesittämismenetelmät ovat keskustelua ja kirjoittamista tehokkaampi menetelmä, kun halutaan päästä irrallisen asiatiedon oppimisesta tiedon aktiiviseen oppimiseen. (Lavonen et al., 2005.)

Joseph Novakin käsittekarttatekniikkaa käytetään tietyn tietorakenteen kuvailuun. Tietorakenne on aihekokonaisuus, joka muodostuu aihepiirin keskeisistä käsitteistä ja käsitteiden välisistä suhteista. Käsittekartta on hierarkkinen rakenne. Käsittekartan avulla havainnollistetaan käsitteitä, niiden välisiä suhteita ja niiden muodostamia aihekokonaisuuksia. (Lavonen et al., 2005.) Kuvassa 7 on esitetty sähköparista tehty käsittekartta.

Käsittekartat ovat käyttökelpoisia välineitä ennakkokäsitysten kartoittajina, tietorakenteiden esittäjinä sekä osaamisen arvioinnin välineinä, kun tarkastellaan käsitteiden oppimista. Ne soveltuvat kaikenikäisille oppilaille. Käsittekartta avaa tiedon kolme elementtiä:

1. käsitteet
2. käsitteiden väliset suhteet
3. käsitteiden ja niiden välisten suhteiden muodostama rakenne



**Kuva 7.** Sähköparia käsittelevä käsittekartta piirrettynä Popplet- ohjelmalla. Ohjelma on helpokäyttöinen ja sitä voi käyttää myös alakouluikäisillä.

Käsittekartan laadinnan ohjeet:

- Etsi keskeiset käsitteet
- Käsitteet lokeroidaan
- ympyröidyt käsitteet yhdistetään nuolilla
- syntyneet riippuvuudet nimetään eli linkitetään

(Lavonen et al., 2005.)

## Yhteistoiminnallinen oppiminen

Ryhmätyöskentely, jossa jokainen ryhmän jäsen työskentelee sekä omien että ryhmän tavoitteiden mukaisesti kantaen vastuuta ryhmän tuloksesta, on yhteistoiminnallista työskentelyä. Kun opetetaan ja opiskellaan tällä tavalla, on kyse yhteistoiminnallisesta oppimisesta. Yhteistoiminnallista oppimista on esitelty laajasti kirjallisuudessa, ja siitä on tehty paljon tutkimuksia.

Johnson, Johnson ja Smith esittävät viisi osaa, jotka pitäisi olla mukana yhteistoiminnallisessa oppimisessä.

1. Ryhmätehtävän tulisi olla sellainen, että sen ratkaiseminen on mielekästä vain, kun koko ryhmä osallistuu.
2. Oppilailla pitää olla riittävästi aikaa keskinäiseen ajatusten vaihtoon ratkaistaessa tehtävää.
3. Jokaisen oppilaan tulisi itse näyttää osaamisensa asiasta, jota on opiskeltu ryhmässä. Jokaisella on vastuu omasta oppimisestaan.
4. Oppilaiden tulee saada mahdollisuuksia kehittää erilaisia ryhmätyö- ja sosiaalisia taitoja. Näiden taitojen kehittämiseen tulee saada palautetta.
5. Oppilailla pitää olla riittävästi tilaa ja aikaa reflektoida ryhmän oppimisprosessia tulevia ryhmätöitä varten.

(Johnson, et.al, 1991.)



Pääosassa tehtyjä tutkimuksia johtopäätökset paljastavat monia hyötyjä ja selvää kehitystä oppilailla, jotka ovat opiskelleet yhteistoiminnallisella tavalla. (Bowen, Graig, 2000 116-119) Tarhanin ja Acarin tutkimus lukioikäisille sähkökemian opiskelijoille paljastaa melkoisia etuja yhteistoiminnalliselle oppimiselle käsitteiden ymmärryksen osalta. Tapaustutkimuksessa yhteistoiminnallisella tavalla opiskellut ryhmä paransi käsitteiden ymmärrystä mittaavassa testissä tulostaan yli 35 prosenttiyksiköllä, kun perinteistä opetusta saanut ryhmä paransi tulosta alle viidellä prosenttiyksiköllä.

(Tarhan, Acar, 2007, 349-373.)

Tutkimuksessa noudatettiin yllä esiteltyjä viittä yhteistoiminnallisen oppimisen osaa konstruktivistisen oppimiskäsityksen näkökulmasta. Opettaja esitteli ja opetti ryhmätyöskentelyn periaatteita. Oppilaat toimivat viiden hengen ryhmissä ja ryhmän jäsenillä oli roolit: johtaja, kirjuri, ajanpitäjä, reflektioija. Opettaja esitti ryhmässä keskustelevalle oppilaille keskustelua ja toimintaa ohjaavia kysymyksiä. Oppilaat joutuivat myös esittelemään ryhmätyönsä tuloksia. Apuna käytettiin myös tietokonesimulaatioita ja tutkimustehtäviä. (Tarhan, 2007, 349-373.)

## Tehtäviä ylemmille ajattelun tasoille

Kemian opetuksen yhtenä keskeisenä tavoitteena on **kehittää opiskelijoiden korkeamman tason kognitiivisia taitoja** (higher order cognitive skills, HOCS). Näitä ovat esimerkiksi Zollerin ja Pushkinin tutkimat ongelmanratkaisun ja kriittisen ajattelun taidot. Lewisin ja Smithin tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että yleensä korkeamman tason ajattelu edellyttää sitä, että opiskelija kykenee yhdistämään uutta ja vanhaa tietoa tai järjestämään tietoa uudelleen monimutkaisia tilanteita ratkaistessaan. (Tikkasen, 2010, 71, mukaan.)

Tässä työssä on käytetty Andersonin ja Krathwohlin uudistamaa Bloomin kognitiivisten tavoitteiden taksonomiaa, jonka he ovat nimenneet taksonomiatauluksi (Taxonomy Table). Kyseessä on **hierarkkinen kaksiulotteinen luokittelujärjestelmä** (taulukko 3), jonka avulla voi luokitella kemian oppimisen arvioinnissa käytettäviä tehtäviä ajattelutaitojen ja tiedon dimensioissa. Tässä luokittelutyössä hyödynnetään luokiteltavan aineiston sisältämiä verbejä ja substantiiveja, joista verbit muodostavat perustan ajattelutaitojen dimension luokan määrittämiselle, kun taas substantiivien avulla voidaan yleensä päätellä tiedon dimension luokka. (Tikkanen, 2010, 74.)

Taksonomiataulu (taulukko 3) on hierarkkinen järjestelmä. Siinä tiedon ulottuvuus muuttuu konkreettisesta yhä abstraktim-

maksi ylhäältä alaspäin mentäessä. Esimerkiksi menetelmätieto on luonteeltaan abstraktimpaa kuin käsitetieto. Vastaavasti ajattelutaitojen ulottuvuus muuttuu kognitiivisesti vaativammaksi vasemmalta oikealle siirryttäessä. Esimerkiksi **Luoda**-kategoriaan luokiteltu kemian tehtävä edellyttää vaativampia kognitiivisia prosesseja kuin **Arvioida**-kategoriaan luokiteltu tehtävä. Taksonomiataulu ei kuitenkaan ole aivan niin tiukasti määritelty hierarkkinen järjestelmä kuin alkuperäinen Bloomin taksonomia. Esimerkiksi **Ymmärtää**- ja **Soveltaa**-kategoriat menevät osin päällekkäin vaikeimpien **Ymmärtää**-kategoriaan kuuluvien tehtävien ollessa kognitiivisesti vaativampia kuin helpoimpien **Soveltaa**-kategorian tehtävien. Kunkin kategorian ”keskitasoiset” tehtävät muodostavat kuitenkin selkeän hierarkian. (Tikkanen, 2010, 75 - 76.)





**Taulukko 3.** Taksonomiataulu (Tikkanen, 2010, 74).

Tiedon dimensio	Ajattelutaitojen dimensio					
	1. Muistaa	2. Ymmärtää	3. Soveltaa	4. Analysoida	5. Arvioida	6. Luoda
A. Faktatieto						
B. Käsitetieto						
C. Menetelmä-tieto						
D. Metakognitiivinen tieto						

Taksonomiataulun tiedon dimensio pitää sisällään neljä pääkategoriaa: *Faktatieto*, *Käsitetieto*, *Menetelmätieto* ja *Metakognitiivinen tieto*. Taulukossa 4 nämä kategoriat on esitetty alakategorioiden kemian kontekstiin sovellettuna. *Faktatiedolla* tarkoitetaan tässä tieteenalasisidonnaista perustietoa, joka jaotellaan terminologiseen tietoon sekä tietoon tarkoista yksityiskohdista ja peruselementeistä. *Käsitetieto* taas sisältää tiedon peruselementtien välisistä yhteyksistä osana laajempaa rakennetta. Se jaotellaan tietoon luokituksista ja kategorioista, tietoon periaatteista ja yleistyksistä sekä tietoon teorioista, malleista ja rakenteista. *Menetelmätieto* taas on tietoa erilaisista metodeista, taidoista ja tekniikoista sekä niiden käyttökriteereistä. Se jaotellaan tietoon oppiainekohtaisista taidoista ja algoritmeista, tietoon oppiainekohtaisista tekniikoista ja metodeista sekä tietoon eri menetelmien käyttökriteereistä. *Metakognitiivinen tieto* sen sijaan on yleistietoa kognitioista sekä tietoisuutta omasta kognitiosta.

Se jaotellaan strategiseen tietoon, tietoon tarkoituksenmukaisen kontekstuaalisen ja konditionaalisen tiedon sisältävistä kognitiivisista tehtävistä sekä itsetuntemukseen. Esimerkkejä kunkin tiedon alaluokasta kemian kontekstissa on annettu taulukossa 4. (Tikkanen, 2010, 76 - 77.)

Taksonomiataulun ajattelutaitojen dimensio pitää sisällään kuusi pääkategoriaa: *Muistaa*, *Ymmärtää*, *Soveltaa*, *Analysoida*, *Arvioida* ja *Luoda*. Näistä kolme ensimmäistä muodostavat alemman tason kognitiivisten taitojen kategorian (LOCS) ja kolme viimeisintä vastaavasti korkeamman tason kognitiivisten taitojen kategorian (HOCS). (Tikkanen, 2010, 77.)



**Taulukko 4.** Taksonomiataulun tiedon dimensio kemian kontekstiin sovellettuna (Tikkanen, 2010, 76).

Pääluokka	Alaluokat	Esimerkkejä
A. Faktatieto	A1. Tieto terminologiasta	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kemian symbolinen merkkikieli, alkuaineiden nimet</li> </ul>
	A2. Tieto tarkoista yksityiskohdista ja peruselementeistä	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kemian keksintöjen vuosiluvut, alkuaineiden järjestysluvut</li> </ul>
B. Käsitieto	B1. Tieto luokituksista ja kategoriaista	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ alkuaineiden jaksollinen järjestelmä, metallien sähkökemiallinen jännitesarja</li> </ul>
	B2. Tieto periaatteista ja yleistyksistä	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le Chatelierin periaate</li> </ul>
	B3. Tieto teorioista, malleista ja rakenteista	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ atomiteoria, kemiallinen sitoutuminen</li> </ul>
C. Menetelmätieto	C1. Tieto oppiainekohtaisista taidoista ja algoritmeista	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ turvalliset työtavat laboratoriossa, kemian laskujen ratkaisutavat</li> </ul>
	C2. Tieto oppiainekohtaisista tekniikoista ja metodeista	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kemian tutkimusmenetelmät</li> </ul>
	C3. Tieto menetelmien käyttökriteereistä	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kemian laskukaavojen ja tutkimusmenetelmien soveltuminen eri tilanteisiin</li> </ul>
D. Metakognitiivinen tieto	D1. Strateginen tieto	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ koestrategiat, tieto kokeellisten menetelmien suunnittelusta</li> </ul>
	D2. Tieto tarkoituksenmukaisen kontekstuaalisen ja konditionaalisen tiedon sisältävistä kognitiivisista tehtävistä	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kemian ylioppilaskokeen "tärppi-tehtävät", tehtävien erilaiset vaativuusasteet</li> </ul>
	D3. Itsetuntemus	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ omat vahvuudet ja heikkoudet erilaisissa ylioppilaskokeen tehtävytyypeissä</li> </ul>

Tässä e-kirjan osuudessa **keskitytään vain korkeamman tason kognitiivisiin taitoihin** eli kohtiin *Analysoida*, *Arvioida* ja *Luoda*. Analysoimisella tarkoitetaan materiaalin pilkkomista aluksi osiin, minkä jälkeen määritetään osien väliset keskinäiset suhteet sekä niiden suhde kokonaisuuteen. *Analysoida*-kategoria jaotellaan alaluokkiin erottelu, organisoiminen ja piilomerkityksen havaitseminen. Arvioimisella taas tarkoitetaan arvioiden tekemistä kriteerien ja standardien pohjalta. *Arvioida*-

kategoria jaotellaan tarkistamiseen ja arvostelemiseen. Luominen tarkoittaa tässä yhteydessä johdonmukaisen ja toimivan kokonaisuuden muodostamista rakennesosista tai niiden uudelleen järjestämistä. *Luoda*-kategoria jaotellaan kehittämiseen, suunnittelemiseen ja tuottamiseen. (Tikkanen, 2010, 79; Opetushallitus, 2012, 17.) Näiden luokkien sovellutus kemian kontekstiin ja esimerkit kustakin alaluokasta on esitetty taulukossa 5 (Tikkanen, 2010, 78).



**Taulukko 5.** Ajattelutaitojen luokittelu kemian kontekstissa (Tikkanen, 2010, 78, mukaan).

Pääloukka	Alaluokat	Esimerkkejä	
L O C S	1. Muistaa	1.1. Tunnistaminen	▪ alkuaineiden kemiallisten merkkien tunnistaminen
		1.2. Mieleen palauttaminen	▪ kemian keksintöjen vuosilukujen muistaminen
	2. Ymmärtää	2.1. Tulkitseminen	▪ reaktioyhtälön laatiminen sanallisen tehtävänannon pohjalta, käsitteiden määrittelyminen omin sanoin
		2.2. Esimerkkien antaminen	▪ esimerkin antaminen hiilivedystä
		2.3. Luokittelu	▪ hiilihydraattien luokittelu mono-, di- ja polysakkarideihin
		2.4. Yhteenvedon tekeminen	▪ artikkelireferaatin tekeminen
		2.5. Päättely	▪ yhdisteiden molekyyliarakenteen päättelyminen
		2.6. Vertaaminen	▪ kemian käsitteiden vertaaminen
		2.7. Perusteleva	▪ tasapainoreaktion suunnan perusteleva
	3. Soveltaa	3.1. Menetelmän toteuttaminen	▪ tislaminen
3.2. Menetelmän käyttäminen		▪ ideaalikaasun tilanyhtälön käyttö tilanteissa, joihin se soveltuu	
H O C S	4. Analysoida	4.1. Erotteleminen	▪ tehtävän ratkaisemiseen tarvittavan tiedon erottaminen tehtävänannosta
		4.2. Organisoiminen	▪ kemian tutkimusraportin analysoiminen sen eri osa-alueiden suhteen
		4.3. Piilomerkitysten havaitseminen	▪ kemian artikkelin kirjoittajan asenteiden havaitseminen
	5. Arvioida	5.1. Tarkistaminen	▪ laskutehtävän tuloksen järkevyyden tarkistaminen
		5.2. Arvostelu	▪ kemian menetelmien hyvien ja huonojen puolien arviointi
	6. Luoda	6.1. Kehittäminen	▪ hypoteesien muodostaminen
		6.2. Suunnittelu	▪ kokeellisen menetelmän suunnittelu
		6.3. Tuottaminen	▪ kemian esseevastauksen laatiminen

Zollerin ja Pushkinin tutkimusten mukaan korkeamman tason kognitiiviset taidot (HOCS) sisältävät kysymysten esittämistä, kriittistä ja systeemi/lateraalia ajattelua, päätösten tekoa, ongelmanratkaisua, arvioivaa ajattelua sekä tiedonsiirtoa. Tehtävänannoltaan avoimet ja rutiinimaisista oppikirjojen perustehtävistä poikkeavat ongelmanratkaisutehtävät ovat esimerkkejä korkeamman tason kognitiivisia taitoja edellyttävistä kemian tehtävistä. (Tikkasen, 2010, 73, mukaisesti.)



Alla olevat viisi ylemmille ajattelutasoille suunnattua tehtävää on luokiteltu käyttäen uudistettua Bloomin taksonomiaa. Luokittelu perustuu siihen, että opiskelijat eivät ole tehneet aiemmin juuri samanlaisia tehtäviä. Tehtävät on luokiteltu aina korkeimpaan mahdolliseen kognitiivisen prosessin luokkaan. (Tikkanen, 2010, 114.) Luokitteleva on merkitty tehtävien perään perusteluineen. Korkeimpaan tiedon tasoon (metakognitiivinen tieto) kuuluvia tehtäviä ei löytynyt lainkaan. Niitä ei ollut myöskään Tikkasen tutkimien ylioppilastehtävien joukossa (Tikkanen, 2010, tiivistelmä).

## Tehtäviä ylemmille ajattelutasoille (sekä luokittelut ja niiden perustelut):

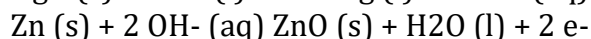
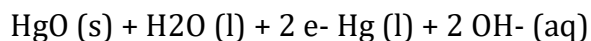
1. Punnittu sinkkisauva upotettiin hopeanitraattiliuokseen. Jonkin ajan kuluttua sen pinnalla näkyi tumma hopeakerros. Sauva otettiin liuoksesta pois, pestiin, kuivattiin ja punnittiin. Sauvan massa oli lisääntynyt 1,5 g. Kirjoita reaktioyhtälö ja perustelee, miksi reaktio tapahtui. Laske, kuinka monta grammaa hopeakerros painoi. (YO-tehtävä 1993). (Kalkku, Kalmi & Korvenranta, 2006, 37.)

**Luokittelu:** Arvioida / Menetelmätieto

**Perustelu:** Tehtävä edellyttää arkikielen asioiden kääntämisen kemian kielelle, reagoivien aineiden löytämisen, reaktioyhtälön tasapainottamisen, pelkistys- ja hapettumisreaktioiden ymmärtämisen sekä laskennan taitamisen.



2. Elohopeaoksidiparisto on tehokas nappiparisto, jota käytetään esimerkiksi kelloissa. Sen elektrodireaktiot ovat seuraavat:



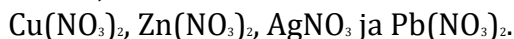
Elohopeaoksidin pelkistymispotentiaali  $E_0(\text{HgO(s)}/\text{Hg(l)}) = +0,12 \text{ V}$  ja sinkkioksidin  $E_0(\text{ZnO(s)}/\text{Zn(s)}) = -1,22 \text{ V}$ .

- a. Kirjoita elohopeapariston kokonaisreaktio.
- b. Kumpi elektrodeista toimii kennon negatiivisena kohtiona?
- c. Laske parin lähdejännite. (Kalkku, Kalmi & Korvenranta, 2006, 119.)

**Luokittelu:** t. 2b: Analysoida / Käsitietieto, t. 2a & c: Soveltaa / Menetelmätieto

**Perustelu:** Tehtävässä 2a tulee osata kokonaisreaktion kirjoittaminen puolireaktioista. Se on rutiininomainen yhtälömuodostus, joka ei vaadi varsinaisen ratkaisuprosessin ymmärtämistä. Tehtävässä 2b tulee hallita positiivisen ja negatiivisen kohtion käsitteet, hahmottaa näiden erot ja määrittää, kumpi on kumpi. Tehtävä 2c rutiinitason laskutehtävä.

3. Käytettävissäsi on hopealankaa, kuparilankaa, sinkkilevy ja lyijylevy. Lisäksi saatavilla ovat seuraavien yhdisteiden 1,0 M vesiliuokset:



Mitä näistä aineista käytät, kun tarkoituksenasi on rakentaa mahdollisimman tehokas (suurin jännite) galvaaninen sähkökenno? Perustelee. Laadi tässä kennossa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden yhtälöt ja esitä piirrosten avulla kennon rakenne. (Kaila, Meriläinen, Ojala & Pihko, 2012, 61.)

**Luokittelu:** Luoda / Käsitietieto

**Perustelu:** Tehtävässä vaaditaan kokeellisen menetelmän suunnittelemista tietyn tyyppiseksi (suurin jännite). Vaihtoehtoja on tässä useita, joista on valittava se oikea pari. Jännitteen suuruutta ei kuitenkaan tarvitse laskea, vaan tähän riittää metallien sähkökemiallisen jännitesarjan hallitseminen.

4.

- a. Tehtävänä on valmistaa mahdollisimman tehokas galvaaninen kenno. Mitkä oheisessa taulukossa olevat hapettumis-pelkistymisparit valitset tähän tarkoitukseen? Laadi kennon rakennetta esittävä piirros. (3 p.)

Reaktio	$E^0 / V$
$Zn^{2+} (aq) + 2 e^- \rightarrow Zn (s)$	-0,76
$Ni^{2+} (aq) + 2 e^- \rightarrow Ni (s)$	-0,26
$Cu^{2+} (aq) + 2 e^- \rightarrow Cu (s)$	-0,34
$Ag^+ (aq) + e^- \rightarrow Ag (s)$	+0,80

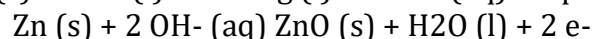
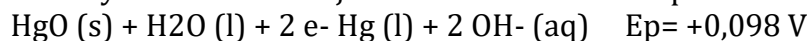
- b. Mikä on näin muodostuneen kennon lähdejännite? (1 p.)  
c. Miten negatiivisena kohtiona olevan metallin massa muuttuu, kun a-kohdassa valmistettu kenno tuottaa keskimäärin 1,2 ampeerin virtaa 250 sekunnin ajan? (2 p.) (YO syksy 2008) (Kaila, Meriläinen, Ojala & Pihko, 2012, 175.)

**Luokittelu:** 4a: Analysoida / Menetelmätieto, 4b & 4c: Soveltaa / Menetelmätieto

**Perustelu:** Tehtävässä 4 a on oivallettava, mitä lukuarvoja taulukosta on luettava, jotta tehtävän sisältämä laskuosio on mahdollista ratkaista. Tehtävät 4 b & c ovat rutiininomaisia laskutehtäviä.



5. Elohopeaparia käytetään kelloissa ja kameroissa. Parissa tapahtuvat reaktiot



- a. Kirjoita kokonaisreaktion reaktioyhtälö.  
b. Kennon lähdejännite on 1,35 V. Laske alemman reaktion hapettumispotentiaalın arvo. (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2012, 62.)

**Luokittelu:** 5b: Analysoida / Menetelmätieto, 5a: Soveltaa / Menetelmätieto

**Perustelu:** Tehtävä 5 a vaatii rutiininomaisen puolireaktioiden yhteenlaskun, joka ei vaadi asian syvällisempää ymmärtämistä. Tehtävässä 5 b tarvitaan vaativampia laskutoimituksia, jotka sisältävät useampia välivaiheita, eikä niitä ole mahdollista ratkaista mekaanisesti välivaiheet ulkoa muistamalla.



# Virhekäsityksiä

## Tutkimustietoa virhekäsityksistä

Opiskelijoiden virhekäsityksiin on esitetty useita syitä. Eräs syy on opiskelijoiden riittämättömät esitiedot. **Opettajan ei tulisi olettaa, että opiskelijat osaavat kaikki edellisten kurssien asiat, jotta näiltä virhekäsityksiltä vältettäisiin.** (Sirkiä, 2015, 12.)

Opettajien mielestä sähkökemian on yksi vaikeimmista alueista opettaa ja opiskelijat pitävät sitä joko vaikeimpien tai kes-



kivaikeiden joukossa oppia. Garnettin ja Treagustin tutkimuksissa löytyi sähköpariin liittyen neljä aihealuetta, joissa opiskelijoilla oli ongelmia. Nämä alueet olivat 1) anodin ja katodin määrittäminen, 2) standardipuolikennon tarpeen ymmärtäminen, 3) sähkövirran kulun ymmärtäminen sekä 4) anodilla ja katodilla olevan varauksen ymmärtäminen. Näiden ongelmakohtien lisäksi monissa tutkimuksissa on löytynyt useita muitakin virhekäsityksiä. (Sirkiän, 2015, 9 - 10, mukaisesti.)

Lisäksi oppiaineiden jaottelu fysiikaksi ja kemiaksi saa opiskelijat helposti ajattelemaan, etteivät aineet liittyisi toisiinsa, eikä osaa liittää toisen aineen tunnilla käsiteltäviä asioita toiseen aineeseen. Opiskelijat saattavat myös opetella asioita ja ratkaisualgoritmeja ulkoa, jolloin syvällisempi ymmärrys jää puuttumaan. (Sirkiän, 2015, mukaan Garnett et al). Opiskelijat saattavat tulkita opettajan puhetta tai oppikirjan tekstiä arkipäiväisellä tavalla etenkin, jos

sanoilla on jokapäiväisessä käytössä erilainen merkitys kuin tieteessä. Opiskelijat tekevät helposti liiallisia yleistyksiä luke-  
mastaan tekstistä. Lisäksi oppikirjoissa voi esiintyä epätarkkoja tai harhaanjohtavia ilmauksia tai kuvia. Jotkut oppikirjat sisältävät jopa virheellisiä tietoja. Kirjojen tavat esittää asiat voivat vaikuttaa opiskelijoiden virhekäsityksiin joko lisäävästi tai vähentävästi. (Sirkiä, 2015, 12 - 13.)

Koska oppikirjoissa saattaa esiintyä paljonkin opiskelijoiden virhekäsityksiä luovia tai tukevia kuvia ja ilmauksia, opettajan tulisi olla valppaana näiden varalta, koska oppikirjoilla on edelleen keskeinen asema opetuksessa. Opettajan tulisi valita sanansa tarkkaan ja käyttää esimerkiksi hapettumiselle ja pelkistymiselle vain yhtä määrittelmää. Lisäksi opettajan tulisi olla perillä opiskelijoiden mahdollisista virhekäsityksistä esimerkiksi diagnostisten testien avulla. **Virhekäsitykset voivat vaikeuttaa opiskelijoiden oppimista ja estää tieteellisen näkemyksen muodostumista,** sillä ke-

miassa oppiminen pohjautuu olemassa olevan tiedon varaan. Opiskelijoiden virhekäsitykset pystyvät yleensä selit-



tämään heidän havaintojaan hyvin ja ovat heistä itsestään loogisia ja johdonmukaisia. Tämän takia **virhekäsitykset ovat yleensä**

erittäin pysyviä ja niitä on vaikea muuttaa perinteisellä opettajajohtoisella opetuksella. (Sirkiä, 2015, 14 - 15.)

Sähköparin yhteydessä kemiallisen tiedon kolme tasoa ovat voimakkaasti läsnä, ja niiden välillä siirtyminen on tärkeää. Makroskooppisella tasolla sähköpari on esimerkiksi laboratoriossa rakennettu laitteisto, jossa hapettumis-pelkistymisreaktion pystyy näkemään kaasukuplien muodostumisesta ja katodin elektrodin päällystymisestä metallilla. Sähköparin toiminnan

ymmärtämiselle on edellytyksenä submikroskooppisen tason ymmärtäminen. Makroskooppisen tason havainnot pystyy selittämään, kun ymmärtää, miten elektronit ja ionit sähköparissa liikkuvat. Jos opetus painottuu symboliselle tasolle, voivat opiskelijat hallita sähköparin hyvin tällä tasolla, mutta submikroskooppisen tason ymmärrys ja syvällisempi sähköparin toimintaperiaate voivat jäädä epäselväksi. (Sirkiä, 2015, 16 - 17.)

## Uudempaa tietoa virhekäsityksistä

Taina Sirkiän pro gradussa (2015) selvitettiin, millaisia vaikeuksia ja virhekäsityksiä lukiolaisilla on sähköpariin liittyen, erityisesti kiinnittäen huomiota elektronien ja ionien liikehdintään sekä suolasillan toimintaan. Ennen tutkimusta oli opiskelijoille annettu opetusta sähköpariin liittyvästä teoriasta: elektrodeilla tapahtuvat reaktiot, kokonaisreaktioyhtälön kirjoittaminen, lähdejännitteen laskeminen sekä sähköparin rakenne ja toimintaperiaate että hapettumis-pelkistymisreaktioita ja normaalipotentiaaleja. Opetuksessa käsiteltiin asiaa kirjan kuvien ja taululle piirretyn kuvan avulla (ilman dynaamista kuvaa). Opiskeli-



joille kerrottiin seuraavalla tunnilla olevan pistoke, jossa apuna saikayttää las-

kinta ja taulukokirjaa. (Sirkiä, 2015, 28-30.)



Alkukokeen jälkeen opiskelijat saivat työskennellä itsenäisesti tietokone-simulaation ja monisteen ohjeiden avulla vastaten monisteessa esiintyviin kysymyksiin. Näiden tehtävien tarkoituksena oli, että opiskelijat osaisivat kiinnittää huomiota oikeisiin asioihin ja edetä omaan tahtiin. Tutkimukseen liittyvä simulaatio löytyi Internetistä. Se oli selkein, informatiivisin ja tähän tutkimukseen parhaiten soveltuva simulaatio. Lisäksi monisteen lopussa oli kohta, johon kerättiin tietoa hyvästä simulaatiosta oppimisen ja opetuksen kannalta. Vaiheen päätyttyä opiskelijat tekivät uuden kyselylomakkeen, joka sisälsi täysin samat kysymykset kuin aikaisemminkin. Kaikki vastaukset tallennettiin ja analysoitiin. (Sirkiä, 2015, 29-33.)

Avointen kysymysten sisällönanalyysissä käytettiin kolmea vaihetta: aineiston pelkistäminen, ryhmittely ja käsitteellistäminen. Näiden jälkeen sisällöt luokiteltiin alaluokkiin ja yhdistettiin vielä suuremmiksi kokonaisuuksiksi, yläluokiksi. Luotettavuutta pohdittiin sekä alkuperäisen testin tekijän että tämän tutkimuksen näkökulmasta. Erityisesti tutkimuksen pieni koko antaa aihetta sille, että tutkimus on suuntaa

antava. Tehtäväkohtaisesti esiintyvät virheelliset ajatukset on esitetty taulukossa 6. Esimerkiksi ensimmäisen tehtävän kohdalla ilmenee sekä lähdejännitteen laskemisessa että pelkäästään kokonaisreaktioyhtälön määrittämisessä virheitä. (Sirkiä, 2015, 34-37.)



**Taulukko 6.** Kyselylomakkeen kysymysten idea ja virheet tehtäväkohtaisesti (Sirkiä, 2015, 36-37).

Tehtävät	Kysymysten idea ja siinä esiintyvät virheet
1	Laskennallinen ja avoin kysymys, jossa tuli määritellä jännite ja reaktioyhtälö. Lähdejännitteen laskemisessa <ul style="list-style-type: none"> <li>• lasketaan pelkistymispotentiaalit summana ja</li> <li>• kerrotaan esiintyvällä elektronimäärällä.</li> </ul> Kokonaisreaktioyhtälön määrittämisessä <ul style="list-style-type: none"> <li>• hapettumisessa ja pelkistymisessä siirtyvien elektronien määrä ei ollut sama,</li> <li>• reaktioyhtälöstä oli elektroneita jätetty pois ja</li> <li>• jalompi metalli hapettui sekä epäjalompi metalli pelkistyi</li> </ul>
2 ja 3	Käsiteltiin elektrodeilla tapahtuvia reaktioita (piirroskuvien avulla kysyttynä). <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektroni kulkee vapaana elektrolyyttiliuoksissa,</li> <li>• Poikkesi ensimmäisessä tehtävässä vastatusta vastauksesta ja</li> <li>• Hapettava ja pelkistyvä aine väärinpäin.</li> </ul>
4, 5, 7 ja 10	Käsiteltiin suolasiltaa. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sähkövirran aiheuttaa suolasillassa kulkevat elektronit,</li> <li>• Mahdollistaa elektronien siirtymisen elektrolyyttiliuoksien välillä ja</li> <li>• Suolasillan tehtävänä on reaktiotuotteiden kuljettaminen.</li> </ul>
6	Käsiteltiin elektronien liikkumista sähköparissa. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektronit kulkevat sekä johdinta että suolasiltaa pitkin ja</li> <li>• Elektronien kulkusuunnan sekoittaminen.</li> </ul>
8	Selvitettiin elektrolyyttiliuoksien koostumuksista sähkövarausten osalta. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrolyyttiliuoksissa on pieni sähkövaraus siten, että toinen liuos on positiivisesti ja toinen negatiivisesti varautunut ja</li> <li>• Liuokset ovat varauksettomia, mutta sisältävät vapaita elektroneita.</li> </ul>
9	Käsiteltiin sähkövirran kulun aikaansaajaa elektrolyyttiliuoksessa. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektronien liike on syynä sähkövirran kulkuun,</li> <li>• Elektronit kulkevat itsenäisesti elektrodilta toiselle,</li> <li>• Elektronit kulkevat ionilta toiselle ja</li> <li>• Elektronit kiinnittyvät liuoksen ioneihin ja siten etenevät liuoksessa.</li> </ul>



Lisäksi tehtävässä 8 pyydettiin perustelemaan sanallisesti valitsemansa vastauksen. Tässä muutaman opiskelijan antama vastaus:

*“Riippuen kumpi elektroneista on positiivinen napa, toiseen liukseen kertyy anioneja ja toiseen kationeja vaikka suolasilta pyrkiikin tasoittamaan [varauksia].”* (Opiskelija 22)

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

*“Sillä liuksissa on elektroneja, jotka ovat irronneet sähköparista”* (Opiskelija 7)

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

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

(Sirkiä, 2015, 37-38.)

Tietokonesimulaation vaikutus opiskelijoiden käsityksiin oli erittäin merkitsevä. Kaiken kaikkiaan 69 % vastaajista paransi suoritustaan, harmittavasti 17 % suoritus heikkeni ja lopuilla suoritustaso pysyi ennallaan. (Sirkiä, 2015, 39.)



# Formatiivisen arvioinnin menetelmä

Formatiivinen arviointi on oppimisen aikana, oppimista varten tehtävää arviointia. Sen hyödyt on jo laajalti tutkittuja ja tunnistettuja. Arviointi oppimista varten voi olla esimerkiksi sitä, kun oppilas itse pohtii omaa oppimistaan, osaamisen tasoa ja oppimistapojaan, ja sen perusteella tekee esimerkiksi asenne- tai työtavan muutoksia. Se voi olla myös esimerkiksi sitä, että opettaja testaa viikon välein pienellä testillä, mitä oppilaat ovat oppineet, ja näin voi kehittää opetustaan sen mukaan. Yksi helppo tapa suorittaa formatiivista arviointia on pyytää oppilaita näyttämään peukua ylös, alas, tai sivulle sen mukaan, kuinka hyvin he kokevat ymmärtäneensä tai hallitsevansa äsken opiskellun asian, tai esimerkiksi viime tunnin aiheen.

Tutkimuksissa on osoitettu, että formatiivinen arviointi kehittää oppilaan oppimista, kunhan kolme periaatetta toteutuu. Oppilaan tulee olla motivoitunut, hänellä tulee olla riittävät taustatiedot opittavaan aiheeseen liittyen, ja opetuksen tulee ohjata oppilasta ajattelemaan omaa oppimistaan. (Keeley, 2008.)

Formatiivisessa arvioinnissa oppilaalla on suuri rooli. Vaikka motivoituneille oppilaalle annetaan formatiiviseen arviointiin tarkoitettuja lappusia ja "arviointi" tapahtuu, kun oppilas täyttää lapun, on suuri riski sille että oppilas turhautuu arviointien tekemiseen, ei näe niissä hyötyä, eikä keskity niihin. Tällöin arvioinnin hyödyt katoavat, vaikka yllä esitetyt kolme periaatetta toteutuisivat. Oppilaiden harjaantuminen itsearviointien tekoon vie aikaa, mutta par-

haimillaan laadukkaiden itsearviointien teko voi kaksinkertaistaa oppimistulokset. (Black & Wiliam, 1998.)



On hyödyllistä, että opettaja osallistuu arviointiin varsinkin kun kyseessä on nuoret oppilaat. Oppilas voi saada useanlaista palautetta. Palaute voi auttaa oppilasta näkemään arvioinnin hyödyt, auttaa kehittämään oppilaan taitoja tehdä itsearviointia ja antaa opettajalle mahdollisuuden muokata opetusta arvioinnin tulosten mukaan. Oppilaalle voidaan kertoa, kuinka kaukana hän on tavoitteesta, tai miten hän voi saavuttaa sen. Blackin ja Wiliamin mukaan opettajan suorittama arviointi ei ole formatiivista ennen kuin oppilas saa siitä palautetta, ja erityisesti sellaista palautetta, joka ohjaa oppilasta kohti tavoitteita. (Black; Wiliam, 1998.)

Formatiivista arviointia varten on paljon hyviä pohjia, joita voi integroida omaan opetukseen. Esimerkiksi Keeleyn teoksessa (Keeley, 2008) on paljon kemian opetukseen sopivia aiheita. Näistä yksi on laboratoriotöitä varten suunniteltu RERUN pohja, joka sisältää viisi kysymystä vapaasti suomennettuna:

**Mitä teit laboratoriossa?**  
**Selitä laboratoriotyön tarkoitus.**  
**Esittele laboratoriotyön tulokset, ja mitä ne tarkoittavat tai osoittavat.**  
**Mistä olet vielä epävarma?**  
**Listaa ainakin kaksi asiaa, jotka opit laboratoriotyön aikana.**  
(Keeley, 2008)

Sähkökemian varten on myös paljon soveltuvia lomakkeita oppilaiden täytettäväksi ja ehkä opettajankin luettavaksi, mutta formatiivista arviointia on sähkökemian tapauksessa helppoa ja hyödyllistä tehdä myös TVT-sovelluksien avulla. Kahoot-kyselyllä (kahoot.it / getkahoot.com) on hyvä testata sähkökemian käsitteitä, esimerkiksi sähkökemiallisesta parista. Oppilaiden vastauksien pohjalta on tarpeellista ja ajankäytöllisesti tehokasta käydä läpi mahdollisia virhekäsityksiä joita vastauk-

sisä on ilmentynyt. Tällöin oppilas itse saa palautetta omista tiedoista ja taidoistaan. Kahootissa kysymyksiä pitää olla rajoitusti, jotta oppilas jaksaa keskittyä jokaiseen, ja jottei koko tunti kulu kyselyn parissa. Toisaalta aina on hyvä esittää vähintään kolme kysymystä, sillä sovelluksen avaaminen ja toiminnan alullepano vaatii aina oman osansa. Alla hyviä esimerkkejä kysymyksiksi.



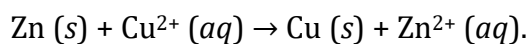
1. Sähköparissa suolasillan tehtävänä on:

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

2. Sähköparissa sähkövirran kulku elektrolyyttiliuoksessa on seurausta:

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

3. Kyseessä on reaktioyhtälön mukainen galvaaninen kenno



Kun reaktio tapahtuu, mikä vaihtoehdoista on totta?

- Kuparielektrodin massa pienenee ja sinkkielektrodi on katodi
- Kuparielektrodin massa kasvaa ja kuparielektrodi on katodi
- Sinkkielektrodin massa kasvaa ja sinkkielektrodi on anodi
- Sinkkielektrodin massa pienenee ja sinkkielektrodi on katodi

(Sirkiä, 2012, liite 1.)

# Lähdeluettelo



Black, P., & Wiliam, D. (1998). *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*. King's College London, School of Education.

Bowen, C. W. (2000). A quantitative literature review of cooperative learning effects on High School and College Chemistry Achievement, *Journal of Chemical Education*, 77.11, 116-119.

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. (1991). *Active Learning: Cooperation in the College Classroom*; Interaction Book Company: Edina, MN, 1991.

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., & Pihko, P. (2012). *Reaktio 4 Lukion kemia Metallit ja materiaalit*. 4. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro, 30 - 64.

Kalkku, I., Kalmi, H., & Korvenranta, J. (2006). *Kide 4 Lukion kemia Metallit ja materiaalit*. 1. painos. Keuruu: Otava, 16 - 37.

Keeley, P. (2008). *Science Formative Assessment: 75 Practical Strategies for Linking Assessment, Instruction, and Learning*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.

Krajcik, J., Codere, S., Dahsah, C., Bayer, R., & Mun, K. (2014). Planning Instruction to Meet the Intent of the Next Generation Science Standards, *Journal of Science Teacher Education*, Published online 15th of March 2015. Luettu osoitteesta:

[http://www.ngssmichigan.com/uploads/2/8/9/0/28905139/jste\\_final\\_10.1007\\_s10972-014-9383-2.pdf](http://www.ngssmichigan.com/uploads/2/8/9/0/28905139/jste_final_10.1007_s10972-014-9383-2.pdf)

Lavonen, J., & Meisalo, V. (2005). Matemaattis-luonnontieteellisten aineiden työtapoas. Luettu osoitteesta: <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tieto/index.htm>

Lehtiniemi, K., & Turpeenoja, L. (2012). *Mooli 4 Lukion kemia Metallit ja materiaalit*. Keuruu: Otava, 39 - 64.

Opetushallitus. (2012). Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita 2012. seurantaraportit 2012: 10. Luettu osoitteesta:

[https://moodle.helsinki.fi/pluginfile.php/1291896/mod\\_resource/content/1/145816\\_Luonnontieteiden\\_opetuksen\\_kehittamishaasteita\\_2012.pdf](https://moodle.helsinki.fi/pluginfile.php/1291896/mod_resource/content/1/145816_Luonnontieteiden_opetuksen_kehittamishaasteita_2012.pdf)

Opetushallitus. (2015). *Lukion opetussuunnitelman perusteet (157 - 160)*. Luettu osoitteesta:

[http://www.oph.fi/download/172124\\_lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteet\\_2015.pdf](http://www.oph.fi/download/172124_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015.pdf)

Sirkiä, T. (2015). *Sähköparin oppimista tukeva tietokonesimulaatio kemian lukio-opetukseen* (Pro gradu - tutkielma) (1 - 76). Luettu osoitteesta:

[https://scholar.google.fi/scholar?oe=utf-8&gws\\_rd=cr&um=1&ie=UTF-8&lr&q=related:FkYYxhhouJ6vdM:scholar.google.com/](https://scholar.google.fi/scholar?oe=utf-8&gws_rd=cr&um=1&ie=UTF-8&lr&q=related:FkYYxhhouJ6vdM:scholar.google.com/)

Supasorn, S. (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small scale experiments in conjunction with a model kit, *Chemistry Education Research and Practice*, 16, 393-406.

Tarhan, A. B. (2007). Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5, 349-373.

Tikkanen, G. (2010). *Kemian ylioppilaskokeen tehtävät summatiivisen arvioinnin välineenä* (väitöskirja) (s. 71 - 79). Luettu osoitteesta:

<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/21074/Kemianytl.pdf?sequence=1>