

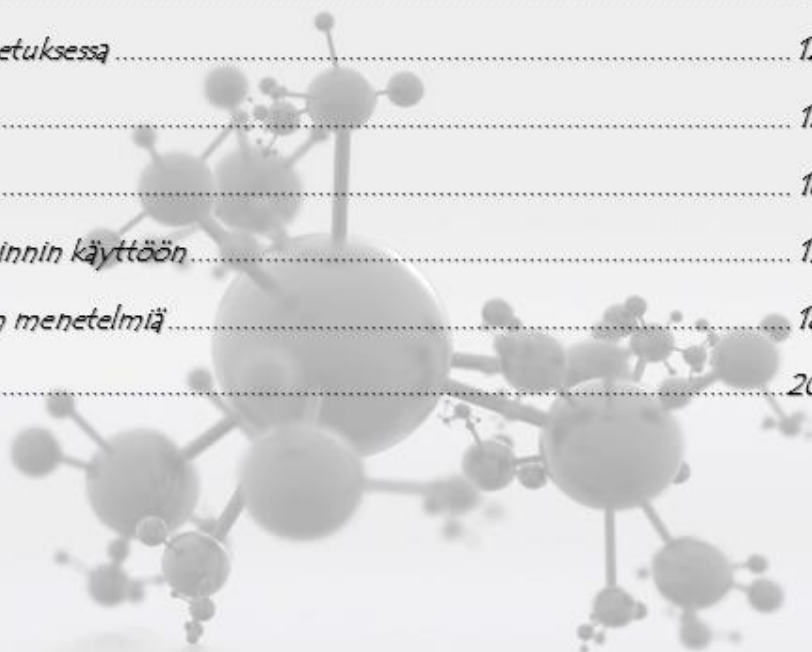
OPETUSOPAS

Avarusrakenteet ja isomeria lukion opetuksessa

Matias Jääskeläinen, Joonas Kontinen, Viija Kämppe, Riikka Ollikainen

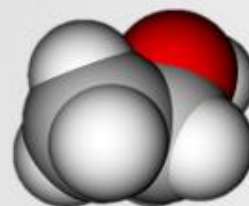
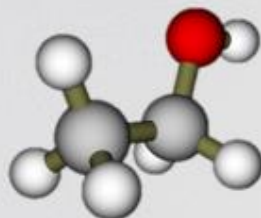
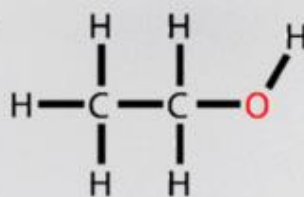
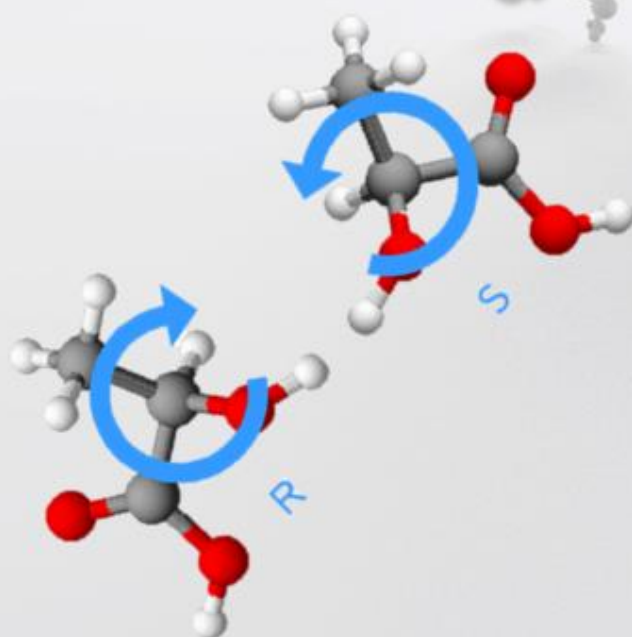
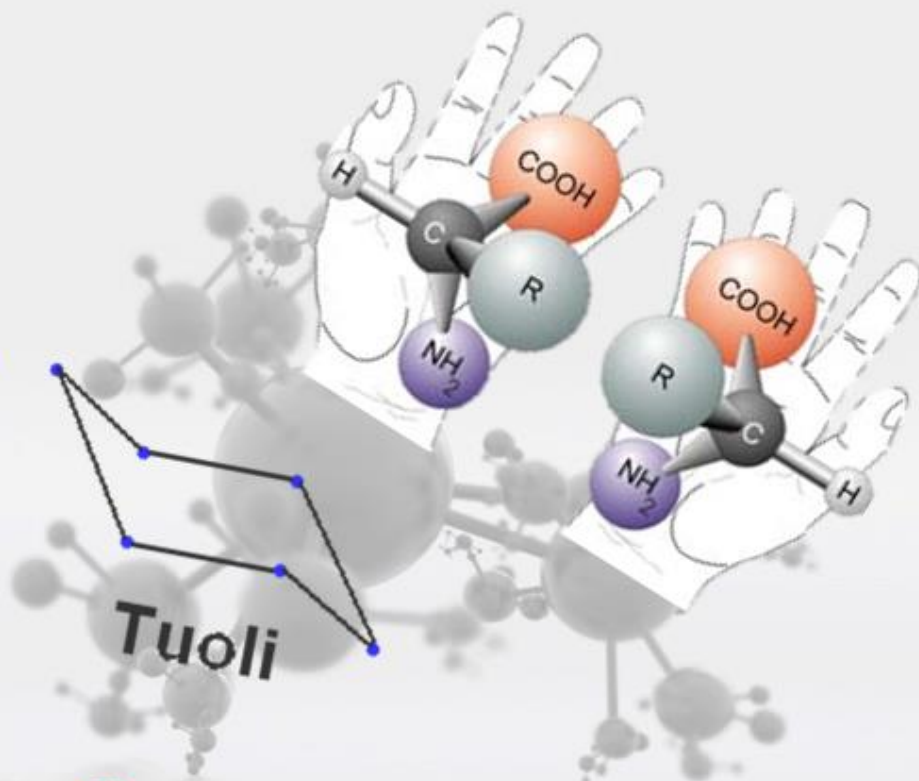
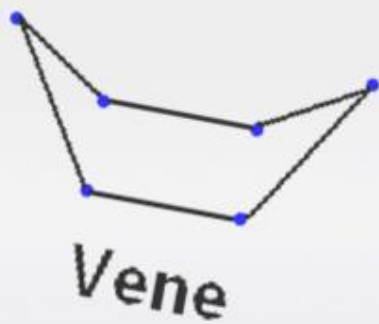
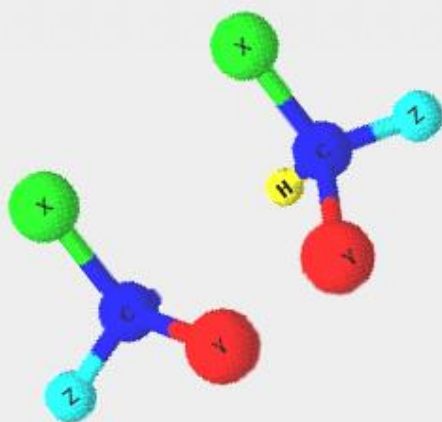
Sisälmyssuettelo

1. Johdanto.....	2
2. Avaruusrakenteet ja Isomeria OPSissa.....	3
3. Aiheen kemia	4
4. Opetustapoja ja 3D-hahmotusvaikeudet.....	5
Kolmiulotteisen hahmottamisen menetelmiä.....	7
4.1. TVT-sovelluksia.....	8
4.2. Tutkimuksellisia töitä.....	10
4.3. Draama Isomerian opetuksessa.....	12
4.4. Oppimispelit.....	15
5. Formaatiivinen arviointi.....	16
5.1. Syitä formaatiivisen arvioinnin käyttöön.....	17
5.2. Formaatiivisen arvioinnin menetelmiä.....	18
6. Lähdeluettelo.....	20



1. Johdanto

Tässä e-oppaassa käsittelemme isomerian ja stereokemian opettamisen menetelmiä. Poimi itsellesi sopivimmat ja kiinnostavimmat!



2. Avaruusrakenteet ja Isomeria OPSissa

Avaruusrakenne ja Isomeria sijoittuvat lukion opetussuunnitelmassa (myöhemmin LOPS) ensimmäiseen valtakunnalliseen syventävään kurssiin: Ihmisen ja elinympäristön kemiaa (KE2).¹ Se liittyy kiinteästi kurssilla aikaisemmin opittuun *orgaanisten yhdisteiden, kuten hiilivetyjen, happi- ja typpiyhdisteiden, rakenteiden mallintaminen ja kuvaaminen erilaisilla malleilla* -sisältökokonaisuuteen. Orgaanisia yhdisteitä ja niiden rakenteita opiskeltiin myös jo peruskoulun puolella.²

Käsitlemme tässä oppaassa yksinomaan isomeriaa (ks. käsitekartta) ja avaruusrakenteiden hahmottamista. Lähtökohtana on että orbitaalit ja orgaaniset yhdisteet ovat tuttuja.

Isomeriaa ja avaruusrakennetta koskevia opetuksen tavoitteita LOPSissa ovat lähinnä seuraavat:

Opiskelija

- Saa ohjausta kemian osaamisensa tunnistamisessa, omien tavoitteiden asettamisessa, oppimishaasteiden kohtaamisessa ja kemian opiskelustrategioiden soveltamisessa.
- Osaa käyttää erilaisia malleja ilmiöiden kuvaamisessa ja selittämisessä sekä ennusteiden tekemisessä.

Eri keinoja erilaisille oppijoille

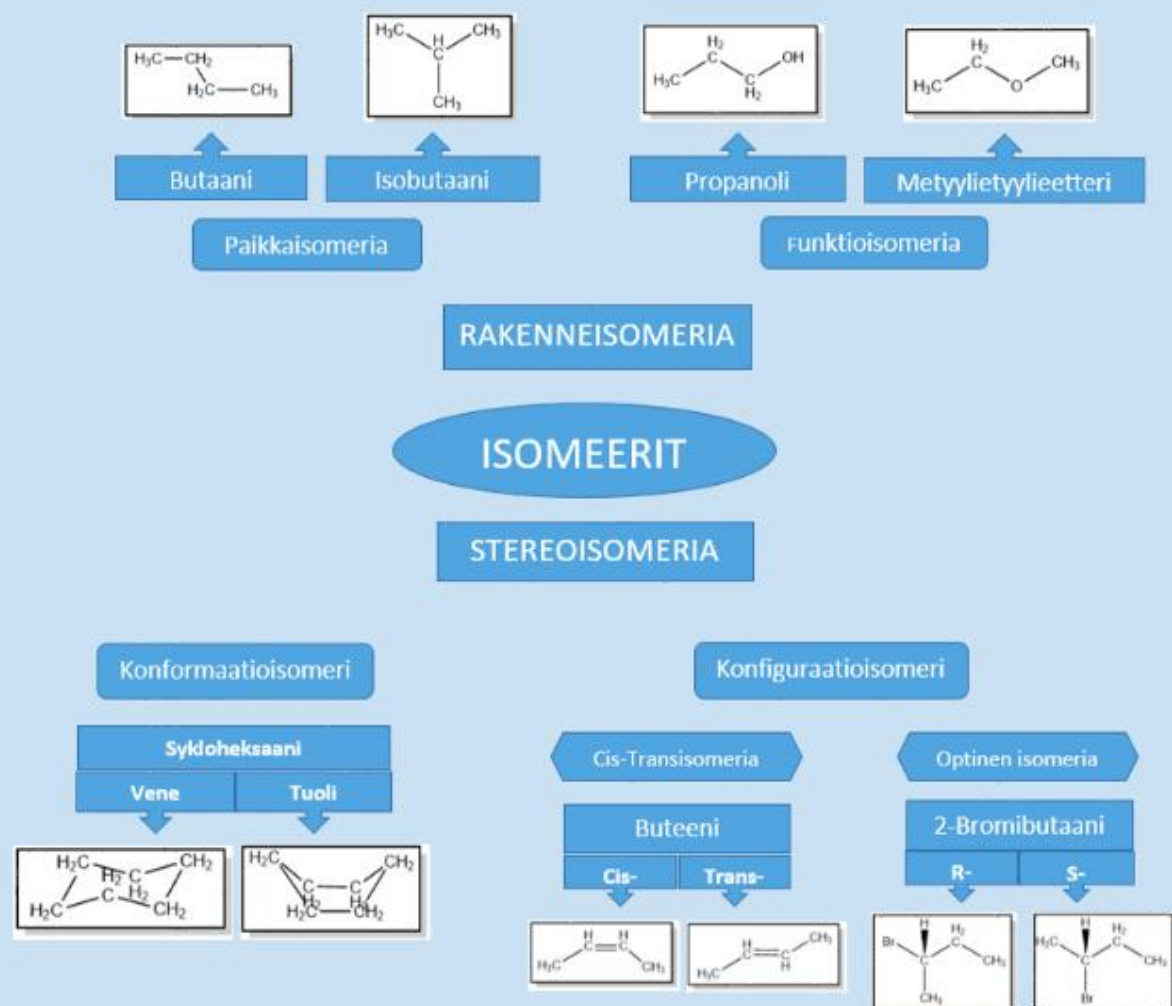
Avaruudellisten rakenteiden ja isomerian käsittely vaatii mikromaailman ymmärtämistä ja avaruudellisen hahmotuskyvyn kehittämistä. Molemmat vaativat korkeampia ajattelun tasoja, ja tämän vuoksi hyvinkin erilaisten oppimismenetelmien käyttö on perusteltua, jotta jokaisen opiskelijan oppimishaasteet voidaan käsitellä hänelle sopivalla tavalla.

Tieto ja viestintäteknologian käyttö nousee keskeiseen osaan yhtenä tärkeänä välineenä.

Avaruusrakenne ja isomeria ihmisen ja elinympäristön kemiassa

Aiheen sitominen arjen kontekstiin ja kurssin teemaan "ihmisen ja elinympäristön kemiaa", sekä sisältötavoitteeseen "kemian merkitys hyvinvoinnin ja terveyden kannalta" vatii eri isomerian esimerkkien käsittelyä makrotason ominaisuuksien suhteen, kuten rakenneisomeerien erilaisen kiehumispisteet, trans-rasvat, lääkeaineiden stereoisomerian merkitys ym.

Aiheen Kemia



Käsitekartta

opetusmenetelmä:

- Graafinen tapa hahmottaa käsitteitä ja niiden keskinäisiä suhteita.³

Ideita käsitekartan käyttöön isomerian opetuksessa:

- Voit antaa valmiin kartan helpottamaan kokonaisuuden hahmottamista
- Voit antaa tehtäväksi rakentaa kartan, jossa on tietyt elementit
- Voit antaa tehtäväksi puolivalmiin käsitekartan, johon oppilaat täydentävät puuttuvat osat

4. Opetustapoja ja 3D-hahmotusvaikeudet

TAPOJA STEREOKEMIAN OPETTAMISEEN⁴

- Pallotikkumallit
- TVT (mallinnusohjelmat)
- Mielikuvaharjoittelu
- Oman kehon käyttö

HUOMIOITAVAA

- Kypsyysaste
 - Pohjatiedot
 - YO koe (mitä kysytään)
 - Teoreettinen ymmärrys
 - Konkreettinen ymmärrys
- (Opettajan haastattelu, kemian ja matematiikan lehtori, 3.2.2016)

MATERIAALIT

- Diat kannattaa tehdä itse
- Kirjasta löytyy tehtäviä, mutta niitä kannattaa tehdä myös itse
- TVT (opetus tv, Youtube, Mallinnusohjelmat)
- Liitu- ja tussitaulut, smartboard – koska kolmiulotteisten rakenteiden piirtäminen kaksiulotteiselle paperille on yleensä haastavaa

(Opettajan haastattelu, kemian ja matematiikan lehtori, 3.2.2016)

MUITA TAPOJA⁵

- Aivoriihi ja ryhmittely – esimerkiksi oppilaat ryhmittäin keksivät isomeereja jostain molekyylikaavasta
- Piirtäminen – esimerkiksi cis-trans – ja R/S-muotojen vertailu
- Käsitekarttoja – esimerkiksi isomerian osa-alueiden hahmottamiseen (kts. s. 4.)
- Posterit ja esitelmät – esimerkiksi jostain isomerian osa-alueesta, tai jonkin aineen stereoisomeerien ominaisuuksista

OPPILAIDEN KOMMUNIKAATIO

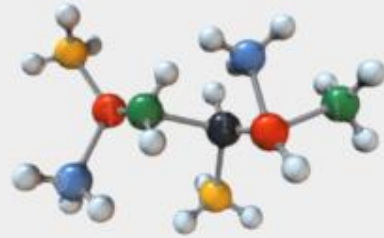
- Vertaisopetus
- Ajatusten jako
- Luokka palapelinä³
- Paritehtävät

Kolmiulotteinen hahmottaminen saattaa tuottaa vaikeuksia oppilaalle. Silloin on hyvä olla tarjolla erilaisia lähestymistapoja, joilla tukea oppilaan hahmottamista.⁶

Oppiminen on yksilöllistä, eivätkä kaikki hahmota asioita samalla tavalla. Yksi menetelmä toimii yhdelle, ja toinen toiselle. Opettajalla on hyvä olla monia erilaisia menetelmiä varastossa.

Seuraavalla sivulla on esimerkkejä erilaisista menetelmistä.

Ideat on koostettu opettajaopiskelijoiden aivoriihi-session tuloksista.⁷



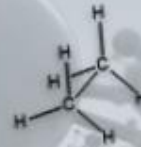
Opetusmenetelmien lisäksi kannattaa hyödyntää myös erilaisia esitysmalleja⁶ kuten:

Newmanin projektkio

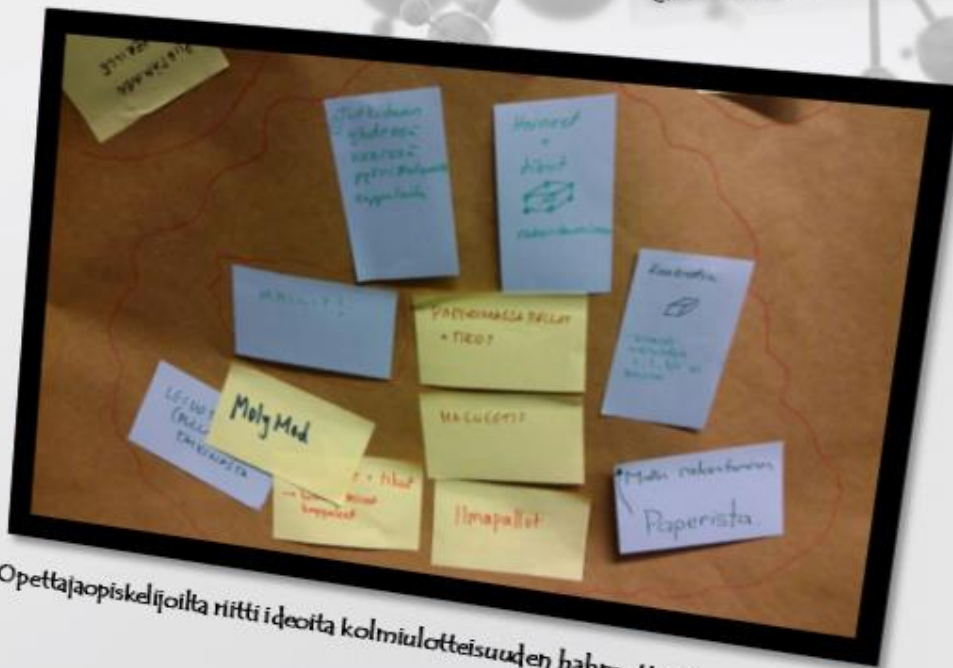
Pallotikkumalli



sahapukkimalli.



(Kuvat on tehty hyödyntäen sovelluksia ChemDraw ja MolView, kts. s. 8-9)

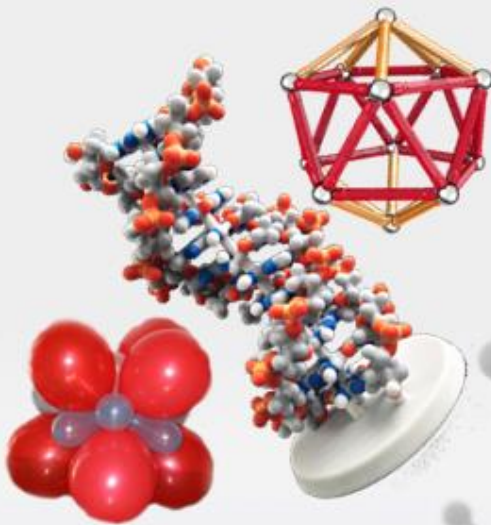
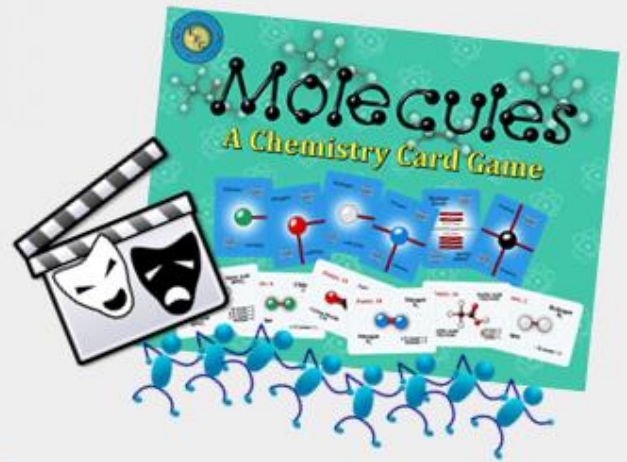


Opettajaopiskelijoilta riitti ideoita kolmiulotteisuuden hahmottamisen tukemiseen

KOLMIULOTTEISEN HAAMOTTAMISEN MENELTEMIÄ

Toiminnalliset menetelmät

- oppimispelit³
- draama, tiedeteatteri³
- molekyylien muodostus kehon avulla ryhmissä (kts. s. 12-14)

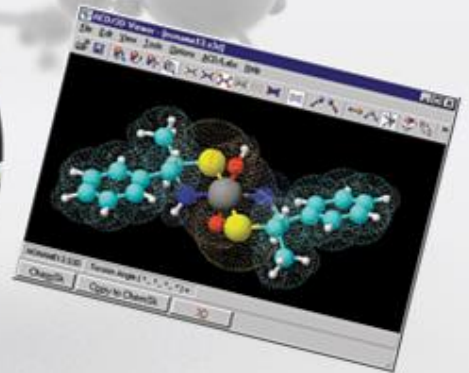


Konkreetitset menetelmät

- Geomag⁷
- Tikkupallomallit (esim. Molymod)⁸
- Askartelu (sinitarra ja hammastikut, styroksi, paperi)
- Ilmapallot → Orbitaalit⁹
- Piirtäminen

TVT

- 3D printtaus¹⁰
- molekyylien mallinnusohjelmat esim. ChemDraw (kts. s.9)
- 3D-tetris



Muut

- Peilikuvan havainnollistaminen esim. kättelyn avulla
- Biologisen merkityksen korostus (esim. Talidomidi)¹¹
- Analogien avulla selitys¹²
- Tutkitaan 3D ja 2D yhteyttä



4.1. TVT-sovelluksia

MIKSI?

Oppilaat omistavat tabletteja ja älypuhelimia jo ennen, kuin pääsevät edes kouluun. Nämä ovat siis viimeistään ylä-kouluun päästessä heille luonnollinen kädenjatke. Otetaan näistä mieluummin hyöty irti, kuin pidetään niitä häiritsevinä.

TVT:n käyttöä opetuksessa puoltaa myös nykyinen tiedon helppo saatavuus. Suurempi painoarvo pitäisikin laittaa sille, että oppilas osaa olla kriittinen löytämänsä tiedon luotettavuuden suhteen. Tiedon helppo saatavuus ei kuitenkaan poista oman tiedon tärkeyttä ja löydetyn tiedon ymmärtämistä.¹³

TVT tarjoaa myös mahdollisuuden piirtää ja mallintaa helposti muuten suuriakin kuvaamataidollisia lahjoja vaativia molekyyliä. TVT luo myös mahdollisuuden käyttää ja käsitellä suurempia data määriä, kuin manuaalisesti.⁴

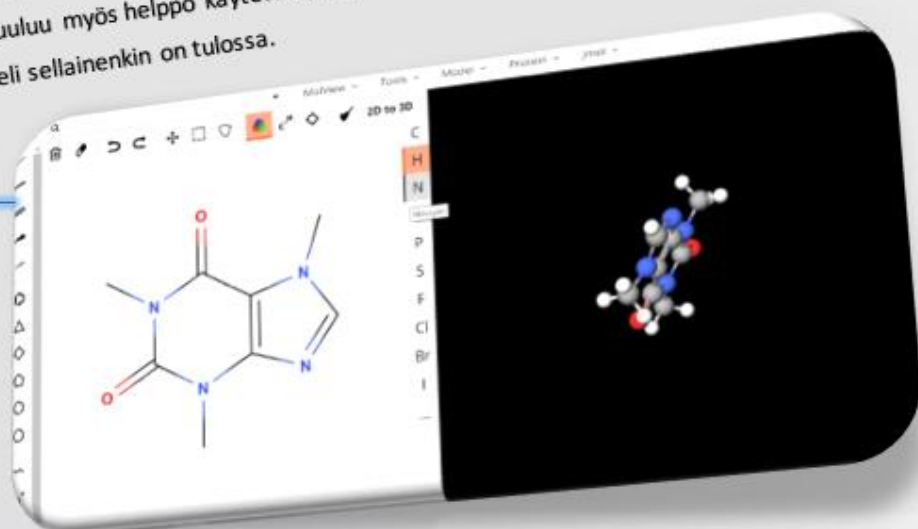
MITEN?

Aiheemme opetuksessa suurien datamäärien käyttö ei ole tarpeellista, eikä aiheeseen lukiotasolla liity sellaisia ulkoa opeteltavia asioita, joita voisi pitää turhana ja Googlata tarvittaessa. Aiheessa vaikein ja oleellisin osuus on hahmottaa kolmiulotteisia muotoja ja ymmärtää niiden merkitys aineen ominaisuuksien kannalta. Näinpä isomerian opetuksessa TVT:n käyttö keskittyykin pitkälti mallinnus ohjelmiin ja kolmiulotteisten kuvien ja mallien luomiseen ja niiden katseluun. Alla esimerkkejä ohjelmista millä ja miten tätä on mahdollista ja järkevää toteuttaa.¹³

MolView

Molview on avoimeen lähdekoodiin perustuva verkossa toimiva applikaatio, jolla voidaan piirtää ja tutkia kolmiulotteisia molekyyliä. MolView eroaa muista vastaavista molekyylimallinnusohjelmista siinä, että se on valmiiksi toimivana softana netissä eikä vaadi erillistä lataamista. Ohjelma havainnollistaa erittäin hyvin mikro-, makro- ja symbolisen maailman yhteyttä. (kuva 1). MolViewin suuriinpiin vahvuksiin kuuluu myös helppo käytettävyys ja selkeys. Ilmeisesti ohjelmistoa ollaan kääntämässä suomeksi, eli sellainenkin on tulossa.

molview.org



Chemdraw

ChemDraw¹⁴ on molekyyli mallinnus ohjelma, jolla voidaan piirtää molekyyliä niin kolmiulotteisesti, kuin yksinkertaisesti, kuin kaksikulotteisesti. Ohjelma pitää sisällään useita valmiita

molekyyliä aina yksinkertaisimmista hiilivedyistä (Kuva 1) DNA entsyymeihin

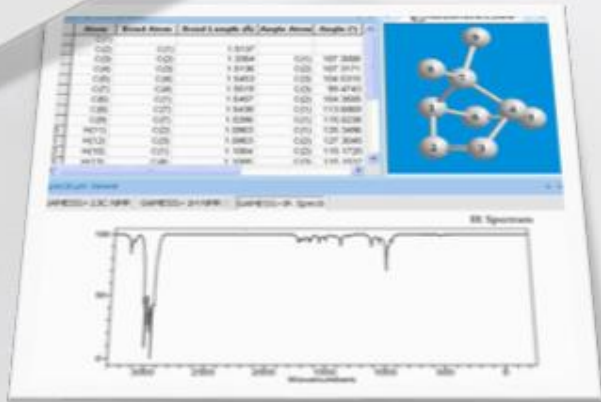
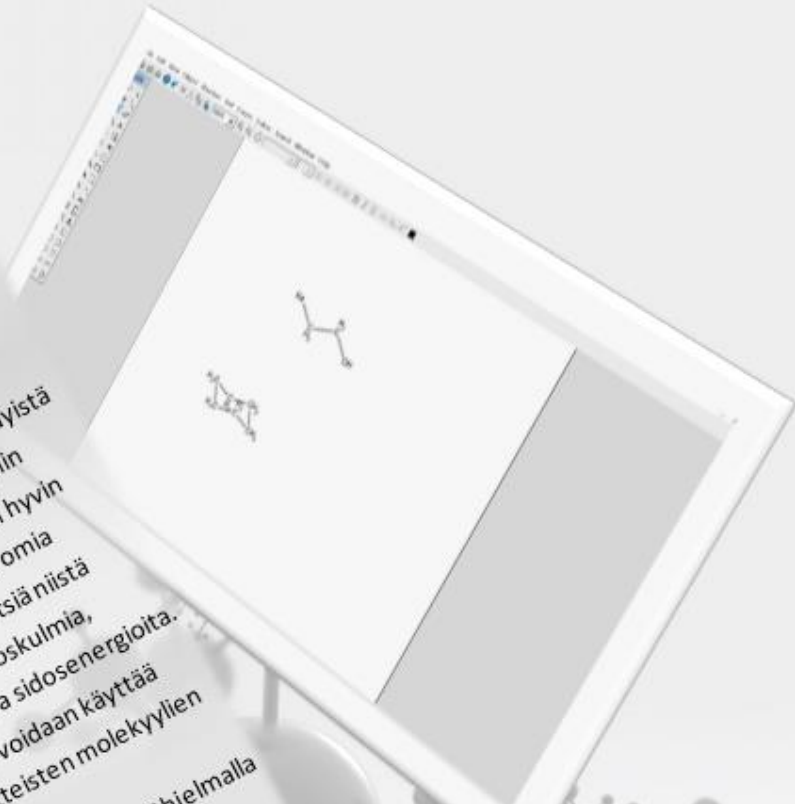
(Kuva 2). Ohjelmalla voi hyvin yksinkertaisesti piirtää omia molekyyliä sekä etsiä niistä

tietoja, kuten sidoskulmia, sidospituuksia ja sidosenergioita. ChemDrawia voidaan käyttää

hyvin 3-ulotteisten molekyylien pyörittelyyn ja havainnollistamiseen. Ohjelmalla voi myös analysoida

mittaustuloksia, esimerkiksi spektrimittauksista (Kuva 3).

Chemdraw vaatii lisenssin oppilaitokselle, sekä tunnuksen, jolla sen voi ladata PerkinElmer-sivustolta.



Lisää sovelluksia: ChemSketch, MarvinSketch, 2D Sketcher, Spartan, iSpartan

<http://opetus.tv/kemia/ke2>,

ChemDraw'n lataus: <http://www.cambridgesoft.com/m/software/overview.aspx>

4.2. Tutkimuksellisia töitä

Tutkimuksellisuus on tärkeä osa kemian opetusta ja sitä voidaan hyödyntää hyvin myös stereokemian opettamisessa. Tutkimuksellisuuteen liittyy erilaiset havainnollistavat kokeet sekä konkreettiset esimerkit ja molekyylimallit.



Kolmiulotteisten rakenteiden hahmottaminen helpottuu



Voidaan havainnollistaa aineiden rakenteiden merkitys ominaisuuksiin



Ajattelutaidot sekä tutkimuksellinen ajattelutapa kehittyvät

Mooli 2 s.130-135^a

- Orgaanisen hapon rakennekaavan määrittäminen alkuainekoostumuksen ja reaktioiden perusteella
- Cis-Trans-isomerian vaikutus aineen ominaisuuksiin 2-buteenidihapolla
- Molekyylien avaruusrakenteiden tutkiminen konkreettisten molekyylimallien avulla

Kemisti 2 s. 124-126^{a,b}

- Eri aineiden reaktioiden ja ominaisuuksien yhteys rakenteeseen
- Yhdisteiden rakentaminen molekyylimalleilla ja niiden tutkiminen
- Kaikkien eri isomeerien löytäminen molekyylimallilla tai piirtäen ^b

Esimerkki tutkimuksellisesta tehtävästä.⁸

Tarvitaan: Molekyylimalleja esim. Moly Mod

Tarkoitus: Oppilaat työskentelevät parin kanssa ja muodostavat mallien avulla pyydetyt molekyylit ja vastaavat tehtävän kysymyksiin. Lopuksi voidaan vertailla toisen parin kanssa onko saatu samanlaiset molekyylit ja tulokset.

Tehtävä:

1. Rakenna niiden kahden isomeerin molekyylimallit, joiden kaava on C_2H_6O .
 - a) Nimeä nämä yhdisteet.
 - b) Mikä isomerianlaji on kyseessä?
 - c) Voidaanko molekyyleistä tehdä samanlaiset rikkomatta sidoksia?

2. Rakenna 2-buteenin eri isomeerien molekyylimallit.
 - a) Mikä isomerianlaji on kyseessä?
 - b) Voidaanko molekyyleistä tehdä samanlaiset rikkomatta sidoksia?
 - c) Mittaa molekyylin sidoskulmat.
 - d) Rakenna a-kohdan atomeista metyylipropeeni. Esiintyykö tällä cis-trans-isomeriaa?

Huom! Voit tehostaa oppimista yhdistämällä molekyylimallien käytön sekä draaman toteuttamalla saman tehtävän molemmilla.¹⁶



4.3. *Draama Isomerian opetuksessa*

Oppilaalla aktiivinen rooli!

Vuorovaikutus!

Tehokas oppiminen!

Fyysinen tulkinta

Auttaa hahmottamaan ja ymmärtämään rakenteita ja ankkuroimaan tietoa pitkäaikaismuistiin!



Luovuus!

Korkeamman tason oppiminen

Tiedeteatteri osallistaa oppilaat oppimiseen.

Alla olevissa harjoituksissa he pääsevät soveltamaan oppimaansa ja hahmottamaan avaruusrakenteita erilaisen, omakohtaisen mallin kautta.

Jos avaruudellinen hahmottaminen on vaikeaa, ryhmän muut oppilaat ovat tukena ja oivalluksia syntyy hausalla tavalla.

Harjoitus kasvattaa sosiaalisia taitoja ja toimii myös ikäänkuin vahingossa hyvänä taukojumppana pitkän päivän lomassa.

Harjoitukseen liittyviin kysymyksiin ryhmä antaa yhteisen vastauksen.



Aloitetaan...

Jaetaan oppilaat väh. 5 hengen ryhmiin.

Oppilaat ovat esim. hiiliatomeja

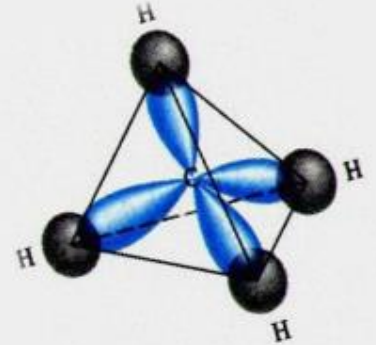


Kädet ja jalat voivat muodostaa sidoksia



Hiilen 4 sidospaikkaa!

Vetyatomit voidaan tuoda mukaan esim. sählypallona, joissa on kuminauha



Rakennesisomeria

Paikkaisomeria

Valitkaa joukostanne 4 hiiltä, viides (ja mahdollinen kuudes) oppilas on kemisti, joka ohjaa ryhmää ja tarkistaa, että sidoksia on riittävästi, hakee tietoa ym.

Tehkää mahdollisimman monta rakennesisomeeria seuraavalle yhdisteelle: C_4H_{10}

Nimetkää yhdisteet (butaani ja 1-metyylipropaani=isobutaani)

Onko näiden aineiden fysikaalisissa ominaisuuksissa eroja (esim. sulamis- tai kiehumispiste)

Kokeilkaa, onko mahdollista vaihtaa isomeerista toiseen rikkomatta sidoksia?

Funktioisomeria

Valitkaa joukostanne 3 hiiltä ja happi.

Voiko happi käyttää kaikkia raajoja "sidoksina"? – ei, vain kaksi sidosta, esim kädet. Happi voidaan laittaa vaikka tuolille istumaan tai lattialle polvilleen, jotta se erottuu hiilistä "jalattomana".

Muodostakaa mahdollisimman monta yhdistettä molekyylikaavalla C_3H_8O

Jos ei rupea syntymään, niin vinkki: alkoholi ja etteeri.

Nimetkää yhdisteet. (Propanoli, isopropanoli ja metyylietyylieetteri)

Onko yhdisteiden fysikaalisissa ominaisuuksissa eroja?

Kokeilkaa, onko mahdollista vaihtaa isomeerista toiseen rikkomatta sidoksia?

Huom! Propanoli ja isopropanoli ovat rakennesisomeereja, mutta metyylietyylieetteri on niiden funktioisomeeri – sillä on eri funktionaalinen ryhmä (eetteri vs. alkoholi).



Stereoisomeria



Konformaatioisomeria

- Muodostakaa hiilistä kaksi paria, joista kemisti muovaa kaksi erilaista etaanin konformaatioisomeeriä.
Kumpi näistä on luonnossa todennäköisempi? Miksi?

Kokeilkaa onko mahdollista vaihtaa isomeerista toiseen rikkomatta sidoksia?
- Napatkaa ryhmään kuudes jäsen – vaikka ope. Muodostakaa koko kuuden hengen porukalla sykloheksaani. Esittäkää tuolikonformaatio, voitte käyttää apuna tuoleja ja/tai pulpetteja. Siirtykää venekonformaatioon rikkomatta sidoksia.

Konfiguraatioisomeria

Cis-Trans -isomeria

Valitkaa joukostanne taas 4 hiiltä. Kemistin avulla muodostakaa 2-buteenin kaksi eri isomeeriä. Voiko rakenne vaihdella näiden välillä? Miksi? Nimetkää isomeerit.

Muistisääntö (cis-trans):
Trans on yleensä helppo muistaa ja cis on sitten se toinen, mutta jos kaipaa muistisääntöä Cis-muodolle, niin kummassa isomeerissä päätyhiilten on helpompi heittää toisilleen lentosuukko (Kiss)

Optinen isomeria

Kaksi ryhmää tekee yhteistyössä.

Sopiva molekyyli on esim. 2-bromibutaani. Silloin tarvitaan 4 hiiltä ja bromi. Bromi olisi hyvä merkitä, vaikka post-it lapulla otsassa, ettei se mene sekaisin hiilien kanssa.

Valitkaa ryhmänne hiilistä "kiralikeskukset" ja ryhmittäytykää stereokeskusten ympärille niin, että syntyy kaksi molekyyliä, jotka ovat toistensa peilikuvat. Erityisesti tässä harjoituksessa on hyötyä sählypalloista vetyinä, koska silloin on selvää, että kiralikeskukseen liittyy neljä erilaista ryhmää.

Pystyttekö pyörimällä tms. saamaan aikaiseksi kaksi täysin samaa molekyyliä?

Osaatteko katsoa, kumpi on R- ja kumpi S-muoto?

Missä arjen makromaailmassa esiintyy tällaista "kätisyttä"?
Esittäkää muille ryhmille pantomiiminä ja arvuutelkaa (hanskat, oven aukeaminen...)



4.4. Oppimispelit

Aktiivoivat

İnnostavat

Osallistavat

Oppimispelin voi vaikka ideoida itse. Helppoa on esimerkiksi ottaa jonkun valmiin pelin idea, ja muuttaa käsitteet ja toiminnot opetettavaan teeman sopivaksi. Myös netistä voi löytää eri teemoihin sopivia oppimislejää.

Aktiiviset opetusmenetelmät ovat tutkitusti tehokkaampia kuin luentomuotoiset!¹⁸

Opiskelijoiden suunnittelema oppimislejää, aiheena isomeria

Pelin idea:

Pelaajat liikkuvat laudalla, nopan mukaan. Ruuduissa nostetaan kuvan mukainen kysymyskortti. Korteissa on kysymyksiä, piirtotehtäviä, tai isomeeritehtäviä, joissa tarkoituksena on keksiä kaikki isomeerit annetusta molekyylikaavasta.



5. Formatiivinen arviointi



"Formatiivisella arvioinnilla tarkoitetaan oppilaan oppimisprosessin tukemista".¹⁹

Oppilaan oppimista arvioidaan jatkuvasti oppimisprosessin edetessä

Opetusta suunnataan ja kohdennetaan tehtyjen havaintojen perusteella.

Arvioinnin avulla opettajat voivat mukauttaa/kehittää opetusmenetelmiään niin, että ne sopivat paremmin havaittuihin oppimistarpeisiin.²⁰

Formatiivinen arviointi tarkoittaa paitsi opettajan antamaa jatkuvaa palautetta, myös esim oppilaiden toisilleen antamaa palautetta ja oppia ryhmätyöskentelyn aikana sekä oppilaan oman työnsä arviointia.²¹

Kurssin päättyessä oppilaan olisi tulevien opintojen kannalta hyödyllistä saada formatiivista arviointia myös kurssikokeesta, jotta he pystyvät paremmin refleктоimaan oppimistaan.

5.1. Syitä formatiivisen arvioinnin käyttöön²¹

Rohkaisee oppilaita refleктоimaan omaa oppimistaan

Selkeyttää oppilaiden ajatuksia opettajalle ja oppilaille itselleen.

Auttaa oppilasta kysymään parempia kysymyksiä

Luo keskustelua ja herättää tieteellisiä mielipiteitä

Luo pohjaa oppilaiden tutkimuksille ja tutkimukselliseen ajatteluun

Aktivoi ja sitouttaa oppilaat oppimaan

Rohkaisee tieteelliseen uteliaisuuteen

Kannustaa käyttämään tieteellisiä termejä

Auttaa oppilasta hahmottamaan

Antaa oppilaille uusia näkökulmia

Oppilaat saavat palautetta

Arvioi oppitunnin tehokkuutta

LUO SOSIAALISUUTTA TUNNILLE JA OSALLISTAA OPPILAITA

5.2. Formatiivisen arvioinnin menetelmiä

ESIMERKKINÄ RYHMÄTYÖTEHTÄVÄ PALLO-TIKKUMALLILLA TAI PIIRTÄEN:

Esittäkää kaikki mahdolliset rakenteet kaavalle: C₄H₇OH, montako niitä on?

Oppilaat keskustelevat ryhmässä aiheesta ja lähtevät toteuttamaan tehtävää:

Oppilas 1: *Tässä on kaikki kaksi.*

Oppilas 2: *Ei, kyllä niitä on enemmän*

Ryhmä löytää vielä lisää isomeereja

Oppilas 3: *Hei mähän piirsinkin saman kun toi ensimmäinen.*

Ryhmä esittää opettajalle löytämiensä isomeerien lukumäärän.

Opettaja: *Hyvää työtä, kaikki. Niitä on vielä yksi.*

Oppilaat palaavat työn pariin ja ryhmänä keskustellen löytävät viimeisenkin.

Formatiivista
arviointia!

Tässä esimerkissä formatiivista arviointia tekivät opettaja, vertaisopiskelija ja opiskelija itse.

Formatiivisen arvioinnin menetelmät voivat olla hyvinkin nopeita ja yksinkertaisia²¹:

Opettaja kysyy oppilailtaan kuinka hyvin he ymmärsivät asian: "näyttäkää sormia yhdestä viiteen".

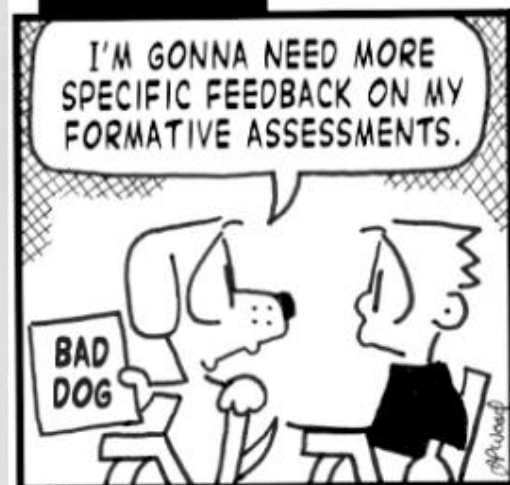
Opettaja pyytää tunnin tai aihealueen päätteeksi oppilaita mainitsemaan yhden vaikeimman, hankalimman tai ärsyttävimmän opetetun asian.

Opettaja pyytää esim. kurssin päätteeksi oppilaita kirjaamaan paperille asioita, joita ovat oppineet kurssin aikana. Lisäksi on kerrottava miten asiat on opittu.

Opettaja voi käyttää vastauksia hyödyksi kertaamalla asian eri tavalla tai keksimällä uusia mielenkiintoisempia tapoja lähestyä asiaa.

Näin oppilas itse saa näkemyksen kuinka on kurssista hyötynyt ja kertaat opitut pääkohdat. Opettaja puolestaan näkee mitkä asiat ovat jääneet mieleen ja mitä aihealueita kenties kukaan ei maininnut opituksi. Myös opetusmenetelmien hyödyt käyvät ilmi.

SCHOOLIES © 2006 by John P. Wood



6. Lähdeluettelo

1. Opetushallitus. (2015). *Lukion opetussuunnitelman perusteet*. Luettu 1.4.2016 osoitteesta: http://www.oph.fi/download/172124_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015.pdf
2. Opetushallitus. (2014). *Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet*. Luettu 1.4.2016 osoitteesta: http://www.oph.fi/download/163777_perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf
3. Eilks, I., Prins, G. T., & Lazarowits, R. (2013). How to organise the chemistry classroom in a student-active mode. Teoksessa I. Eilks & A. Hofstein (Toim.), *Teaching Chemistry – A Studybook: A Practical Guide and Textbook for Student teachers, Teacher Trainees and Teachers*. Rotterdam: Sense Publishers.
4. Kuusi, S., Pro-gradu, Jyväskylän yliopisto, kemian opettaja yksikkö, 19.5.2013
5. Opetushallitus. (1999). *Kemian opetus tänään*. Luettu 2.4.2016 osoitteesta: http://www.oph.fi/download/49150_kemianopetus_tanaan.pdf
6. Burrmann, N. J., & Moore, J. W. (2013). Development of a web-based, student-centered stereochemistry tutorial. *Journal of Chemical Education*, 90 (12), 1622–1625.
7. Luettu 1.4.2016 osoitteesta: <http://www.geomagmasters.com/index.htm>
8. Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2014). Mooli 2 Kemian mikromaailma (s.130-135). Helsinki: Otava
9. Aksela, M., & Lundell, J. (2004) Molekyylien mallinnus kemian opetuksessa, osa 4, Orbitaalien havainnollistaminen lukion kemian opetuksessa, *Dimensio*, 3/2004, 40-43.
10. 3D Printtaus Luettu 1.4.2016 osoitteesta: <http://3dprinttaus.com/>
11. Partanen, J., & Himberg, J.-J. (2003). Elämä perustuu epäsymmetriaan. *Tiede-lehti*, 1/2003. Luettu 5.4.2015 osoitteesta: http://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/elama_perustuu_epasymmetriaan
12. Suomala, J., & Kiili, K. (2006). Analoginen ajattelu ja opetus. *Psykologia*, 41(3), 173-248.
13. Aksela, M., & Montonen, M. (2007). *Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluun*. Luettu: 23.3.2016 osoitteesta: <http://www.helsinki.fi/kemma/data/kop-2007-osa3.pdf>
14. Luettu 1.4.2016 osoitteesta: <http://www.lib.uchicago.edu/e/crerar/using/Intro-to-ChemDraw-12-Sep-2012.pdf>
15. Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K.-M. & Aroluoma, I. (2010). Kemisti 2 Kemian mikromaailma (s. 124-126) Helsinki: Sanoma Pro Oy

16. Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001) Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool on the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (7), 821-842.

17. Hodson, D., & Hodson, J. (1998). From constructivism to social constructivism: A Vygotskian perspective on teaching and learning science. *School Science Review*, 79 (289), 33-41.

18. Costa, M.J., CARBOHYDECK: A Card Game to Teach the Stereochemistry of Carbohydrates, luettu 1.2.2016 osoitteesta <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed084p977>

19. Aksela, M., (11/2015) *Formatiivinen arviointi LUMA-aineiden oppimisessa ja opetuksessa*. Luettu 1.4.2016 osoitteesta: <http://luma.fi/artikkelit/4130/marraskuun-avaus-formatiivinen-arviointi-luma-aineiden-oppimisessa-ja-opetuksessa>

20. OECD. (2004). *Formatiivinen arviointi: Oppimisen parantaminen ylemmän perusasteen luokissa, Yhteenveto suomeksi*
Luettu 1.4.2016 osoitteesta: <http://www.oecd.org/edu/cei/34298112.pdf>

21. Keeley, P. (2008) *Science Formative Assessment*, Thousand Oaks California: Corwin Press

