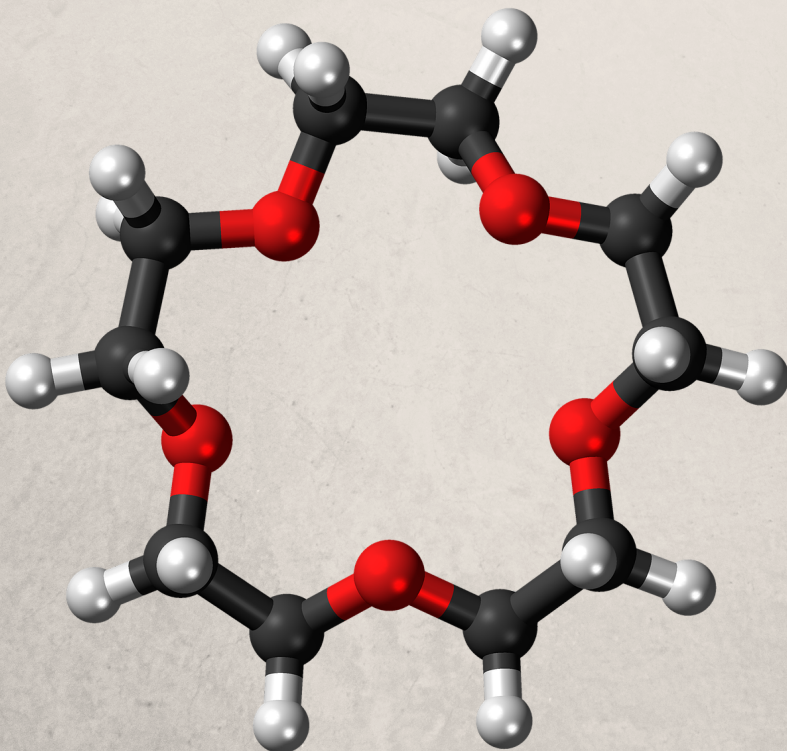
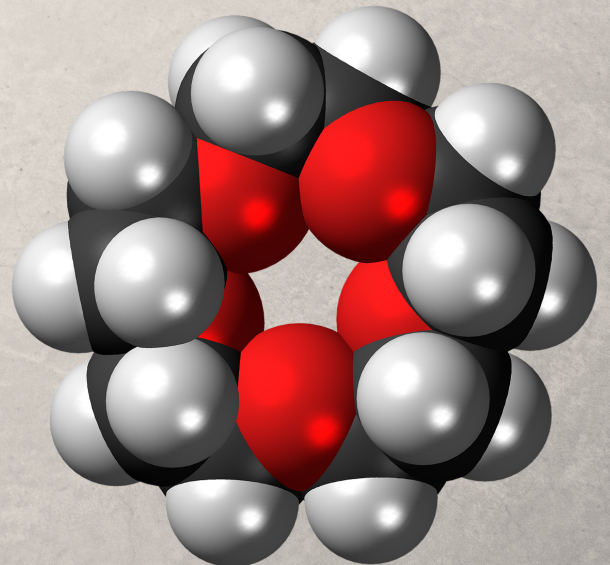


Orgaanisten yhdisteiden ominaisuuksien selvittäminen niiden rakenteen avulla



WikimediaImages / Pixabay CC0



WikimediaImages / Pixabay CC0

Helsingin Yliopisto

Kemian opetuksen keskeiset alueet 1

10.4.2017

PINJA LINDHOLM
ARTTU PAAVOLA
TOPIAS MÄLLINEN
MANUEL GONZÁLEZ

SISÄLTÖ

AIHE KEMIAN OPSISSA.....	3
IDEOITA RYHMÄTYÖHÖN.....	4
HIILIVEDYT LÄHIYMPÄRISTÖSSÄ.....	5
JÄTEÖLJY.....	7
VAIKUTUKSET LUONTOON.....	8
LUONNON PALAUTUMISKYKY.....	9
PALAPELIMALLI.....	10
HUOMIOITAVAA PALAPELIMALLISTA.....	11
OPPIMISTEHDAS.....	12
DRAAMATYÖPAJOJA.....	14
TEHTÄVIÄ ERI AJATTELUTASOILLE.....	16
AJATTELUTASOTAULUKKO.....	17
MOLEKYLYLIEN MALLINTAMINEN.....	18
VINKKEJÄ MOLVIEWIN KÄYTTÖÖN.....	19
JMOL TYÖKALUT (MOLVIEW).....	20
LÄHTEET.....	22

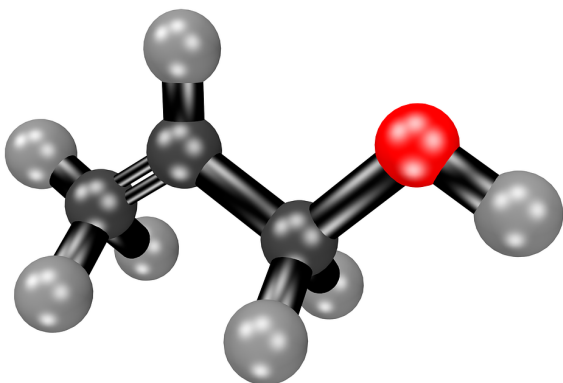
AIHE KEMIAN OPSISSA

Poimintoja lukion kemian opetussuunitelman perusteista
(opetushallitus, 2015)

osaa käyttää tieto- ja viestintäteknologiaa mallintamisen välineenä.

orgaanisten yhdisteiden ominaisuuksien selittäminen rakenteen avulla

orgaanisten yhdisteiden rakenteiden mallintaminen ja kuvaaminen erilaisilla malleilla



ColiN00B / Pixabay CC0

osaa käyttää ja soveltaa orgaanisiin yhdisteisiin ja ainemäärään liittyviä käsitteitä jokapäiväisen elämän, ympäristön, yhteiskunnan ja teknologian ilmiöissä

IDEOITA RYHMÄTYÖHÖN

Olemme keränneet sivuille 5-9 eri lähteistä faktatietoa teknologian, yhteiskunnan ja ympäristön näkökulmasta



3dman_eu / Pixabay CC0

TESTAA TÄTÄ

Jaa oppilaille sivujen alareunoista löytyvät sivustot tiivistelmän tekemiseen

TAI

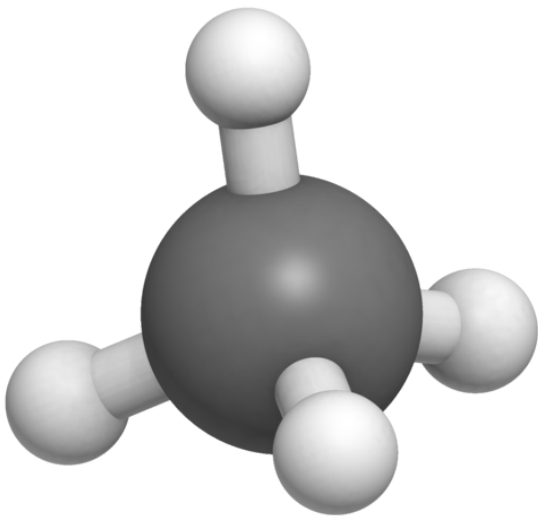
Kannusta oppilaita etsimään itse luotettavia lähteitä ja tekemään esitelmä niiden pohjalta

TAI

Hyödynnä näitä sivustoja sivuilla 10-11 esitellyssä palapelimallissa

HIILIVEDYT LÄHIYMPÄRISTÖSSÄ

Metaani on ihmisen maailmanlaajuisesti tuottamista ilmastoa lämmittävistä kasvihuonekaasuista toiseksi tärkein heti hiilidioksidin jälkeen, ja sen osuus globaaleista kasvihuonepäästöistä on arviolta 14 prosenttia



Suomessa metaani on kasvihuonevaikutukseltaan kolmanneksi yleisin kasvihuonekaasu 6 prosentin osuudellaan

Metaanin pitoisuus ilmakehässä on yli kaksinkertaistunut esiteollisen ajan jälkeen. Metaanin elinikä ilmakehässä on vain noin kymmenen vuotta, mutta sen ilmakehää lämmittävä vaikutus on 25 kertaa suurempi kuin hiilidioksidilla

WerbeFabrik / Pixabay CC0



HIILIVEDYT LÄHIYMPÄRISTÖSSÄ

Pahimmat öljyvahingot syntyvät öljytankkereiden ja muiden laivojen haaksirikkoutuessa. Veden pinnalla kelluva öljy aiheuttaa näkyviä lintutuhoja ja rantojen saatumista. Suurin osa öljystä on aluksi veden pinnalla kelluvassa lautassa. Keskimäärin 50% siinä olevista hiilivedystä haihtuu ilmaan. Muu osa joko hajoaa tai muodostaa tervapalloja, jotka kulkeutuvat ajan mittaan rannikolle.



https://gl.wikipedia.org/wiki/Desastre_ambiental CC BY-SA 3.0

Kaikkien aikojen pahin öljyonnettomuus oli kun Prestige upposi marraskuussa 2002 Espanjan rannikolla: 60 000 tonnin öljypäästöt, menetykset yli kaksi miljardia euroa, 300 000 lintua kuoli.

Suomessa suurin öljyonnettomuus (Suomen ympäristökeskus) oli Antonio Gramsci laiva (1979) 5500 tonnin päästö, jonka seurauksena Ahvenanmaan rannoilta kerättiin 650 tonnia öljyä.

http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Oljy_ja_kemikaalivahingot

<http://www.wreckedexotics.com/articles/011.shtml>

JÄTEÖLJY

Jäteöljy on ongelmajätettä, jota ei saa polttaa eikä kaataa maahan, sillä pienikin määrä öljyä pystyy pilaamaan pohjaveden maun. Huoltoasemilla on yleensä jäteöljyn keräyspaikka. Sieltä jäteöljy viedään puhdistettavaksi uudelleenkäyttöä varten tai poltettavaksi ongelmajätelaitokselle.



<https://pxhere.com/en/photo/724626>
CC0

Käytetyt öljyt saadaan puhdistettua prosessissa, kunhan laaduiltaan erilaiset jäteöljyt pidetään toisistaan erillään jätteen syntypaikalta lähtien.

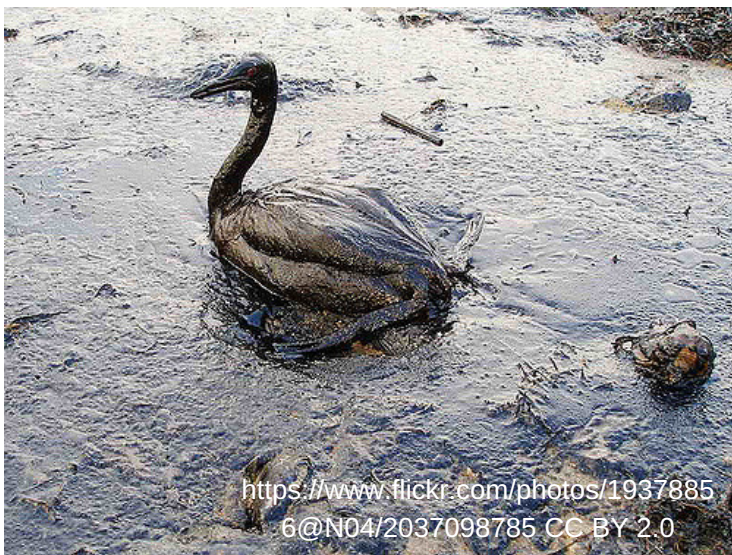
Käytetyt öljyt lajitellaan seuraavasti:

1. Mustat jäteöljyt eli moottoreista syntyneet jäteöljyt
2. Kirkkaat jäteöljyt eli noettomat voiteluöljyt, kuten hydraulikka-, vaihteisto-, kiertovoitelu-, kompressori- voimansiirto-, turbiini- ja muuntajaöljyt

http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Jatteen_ja_jatehuolto

VAIKUTUKSET LUONTOON

Vaikutukset kasvi- ja eläinplanktoneihin eivät ole pitkäkestoisia, koska uusiutuminen on nopeaa. Kuitenkin ravintoketjun seuraaville tasoille, kuten kalakannoille, planktoniyhteisön romahtamisella on vaikutuksia.



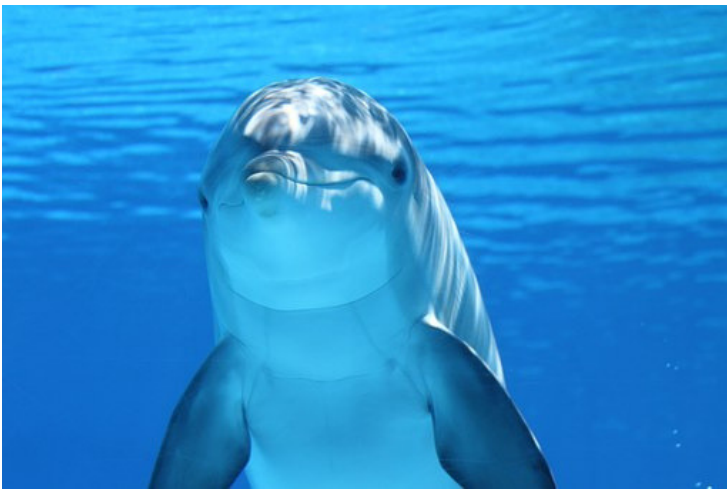
Öljy tarttuu helposti lintujen höyhenpeitteisiin ja nisäkkäiden, kuten norpan turkkiin. Eläimet eivät osaa itse puhdistaa pois öljyä, joten ne kuolevat, kun öljy vie niiltä veden- ja lämmöneristyskyvyn.

Itämeren pohjukassa Suomenlahden norppakanta on heikko. Öljyn tahrimien norppien ja muidenkin eläinten puhdistuessa turkkiaan öljyä menee helposti ruuansulatuskanavaan, jolloin pahat myrkytystapaukset ovat yleisiä



LUONNON PALAUTUMISKYKY

Raakaöljyssä on mukana jonkin verran kevyitä, helposti haihtuvia hiilivetyjä, jotka haihtuvat tai liukenevat muutamassa päivässä jopa kylmissä olosuhteissa



Claudia14 / Pixabay CC0

Öljy sisältää kuitenkin myös mm. raskaita pitkäketjuisia hiilivetyjä, jotka muodostavat öljylauttoja. Niiden hajoaminen pienemmiksi osiksi voi kestää kuukausia, jonka jälkeen ne vajoavat pohjaan. Pohjaeliöstö on siten vaarassa myrkyttyä.

Hävinneet lajit runsastuvat vähitellen uudelleen, mutta se riski on aina olemassa, että lajit eivät palaudukaan, varsinkin jos kyseessä ovat olleet mittavat tuhot

PALAPELIMALLI

- Oppilaat jaetaan tasakokoisiin ryhmiin (esim 5 hengen)
- Opetettava aihe jaetaan yhtä moneen osioon
- Jokainen opiskelija saa opiskeltavaksi yhden osion
- Annetaan tarvittaessa opiskelijoille aikaa tutustua omaan aiheeseen
- Tämän jälkeen saman aiheen opiskelijat kokoontuvat asiantuntijaryhmiin
- Asiantuntijaryhmissä valmistaudutaan opettamaan aihe toisille opiskelijoille
- Opiskelijat palaavat takaisin alkuperäisiin ryhmiin
- Jokainen opettaa oman aiheensa muille ryhmän jäsenille
- Loppuun voidaan tehdä yhteinen koonti aiheista tai vaikka kahoot...

TESTAA TÄTÄ

Jaaj opiskelijat neljään ryhmään ja anna heille vieressä olevat aiheet. Toteuta yllä olevan ohjeen mukaan.

Esimerkki on testattu yliopisto-opiskelijoilla, mutta suunnattu lukiolaisille

1. Poolisuuden vaikutus liukoisuuteen
2. Moolimassan vaikutus kiehumispisteeseen
3. Rakenteen vaikutus kiehumispisteeseen (vrt. rakenneisomeereja)
4. Poolisuuden vaikutus kiehumispisteeseen

HUOMIOITAVAA PALAPELIMALLISTA

Hyödynnä vaikka

- oppitunnin alussa aiheeseen tutustumisena
- koko oppitunnin voi käyttää palapelimallinna, jolloin opiskelijat voisivat etsiä tietoa eri lähteistä
- oppitunnin lopussa kertauksena

Kehittää
opiskelijoiden
ryhmätyötaitoja



GDJ / Pixabay CC0

Huomioi heikommat opiskelijat jakamalla kotiryhmiin kaksi asiantuntijaa.

Kaikki osallistuvat

Tarkista,
ettei opiskelijoille
jää virhekäsityksiä

OPPIMISTEHDAS

Learning company/Learning factory

(Eilks, I., Prins, G. T., Lazarowits, R., 2013)

Kemia opetuksessa voi soveltaa oppimistehtaan mallia

Hyödynnä oppilaiden motivoinnissa ja yhteistyöhön rohkaisussa

Toteuta vaikka vapaavalintaisella labrakurssilla

Luokkahuone toimii ns. ideaalisena yrityksenä/tehtaana

Kokeile varsinkin oppiainerajoja ylittävässä laaja-alaisessa opetuksessa

YLEISOHJEET

1. Jaa oppilaat 4-5 hengen osastoihin
2. Anna jokaiselle osastolle oma ongelma ratkaistavaksi
3. Anna tarvittavat materiaalit, mutta älä ohjaa liikaa
4. Kerro aikataulu (suunnitteluun ainakin yksi oppitunti, toteutukseen voi kurssista riippuen käyttää useamman oppitunnin)
5. Lopuksi jokainen osasto esittää ongelmansa ratkaisun koko yritykselle



Opettajana toimit yrityksen johtajana



**TÄHÄN KOOTTU VINKKEJÄ ORGAANISEN KEMIAN NÄKÖKULMASTA,
MUOKKAA IDEOITA OMAAN KURSSIIN SOPIVAKSI**

Kerää oppilaille aiheeseen sopivia kokeellisia työohjeita esim:

Energiaa tärkkelyksestä

Muovia maidosta

Saippuan valmistus

Kasvien piilotetut väriaineet

VAIKEUTA VÄHÄN

Älä anna suoraan työohjeita, vaan anna oppilaiden etsiä kirjoista tai netistä sopiva työohje

Esimerkkejä yrityksen osastoista ja niiden ongelmista

Keittiö / Lounaan ravintoarvon selvitys

Huolto / Muovia tarvitaan nopeasti

Siivous / Saippua on loppunut

Puutarha / Vaaditaan selvitys kasvien väriaineista

Työterveys / Alkoholitiedotteen laatiminen

Esimerkki
työterveysosastosta



Oppimisen tavoitteet:

Selvittää alkoholin rakenne

Tunnistaa alkoholi

Tutustua alkoholin reaktioihin

Pohtia alkoholin ominaisuuksia

Löytää alkoholin hyödyt ja haitat

Oppilaita ohjeistetaan tekemään työ/töitä alkoholiin liittyen esim.

Erilaisten alkoholien vertailu

Alkoholien tunnistaminen

Oppilaat oppivat hakemaan tietoa eri lähteistä

Muista painottaa lähdekritiikkiä!

Raporttiin lisätään alkoholin reaktiot, jolloin mukaan tulee myös symbolinen taso

Sopivat reaktiot:

Alkoholin muodostuminen (valmistus)

Alkoholin palaminen (krapula)

DRAAMATYÖTAPOJA

Opettajan puhetapa mielletään hallitsevaksi ja auktoriteettiin nojaavaksi, näin ollen opettajan on hyvä monipuolistaa vuorovaikutusta oppilaiden kanssa (Lehesvuori, 2013). Draama antaa tähän hyvän mahdollisuuden.

OPS:ssa korostuu oppiainerajat ylittävä kokonaisvaltainen oppiminen. Draaman avulla toteutettava oppiminen mahdollistaa sisällön oppimisen lisäksi mahdollisuuden oppia mm. itsestä, sosiaalisesta vuorovaikutuksesta ja draamasta (O'Toole, 2003).

Kehollinen kokemus opiskeltavasta asiasta tukee oppilaiden päättelyä (Kontra, 2015).

Ideoita draaman hyödyntämisestä tiedekasvatuksessa ja erilaisia draamatyötapoja on koottu jaettavaksi Tiedekasvattajan draamaoppaaseen



CHECK THIS

Pixaline / Pixabay CC0

Tämä esimerkki perustuu Tiedekasvattajan draamaoppaassa esiteltyyn Kasvavat Patsaat -työtapaan. Ideana on muodostaa opiskelijoista kolmiulotteisia malleja orgaanisista yhdisteistä ja pohtia niiden valmistuttua rakenteen kautta ilmeneviä ominaisuuksia.

Työohjeet

- Aseta opiskelijat riviin.
- Määrää muodostettava yhdiste. (esim. aminohappo, alkoholi, tolueeni...)
- Opiskelijat asettuvat rivin määräämässä järjestyksessä esittämään tiettyä yhdisteen atomia samalla kertoen, mitä kukin esittää: "olen hiili", "olen happi", "olen typpi".
- Kun yhdiste on valmis, opiskelijat pohtivat sen ominaisuuksia. Johda tarvittaessa pohdintaa.

Säännöt sidosten muodostamiseen

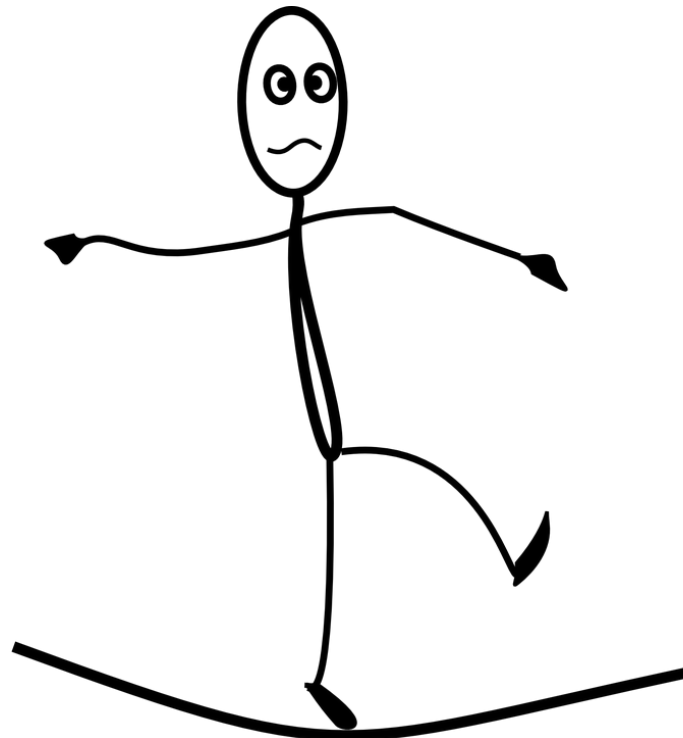
Hiili asettuu melko leveään haara-asentoon kädet levälleen ja muodostaa sidoksia sekä käsillä, että jaloilla.

Happi menee kyykkyyyn ja muodostaa sidoksia vain käsillään.

Vety seisoo tikkusuorana ja vain toinen käsi muodostaa sidoksen.

Typpi seisoo jalat yhdessä ja kädet levällään. Sidoksia se muodostaa kolme: jalat, käsi ja käsi.

Hiili-vety -sidosta ei tarvitse muodostaa, mutta vedyn sitoutuminen heteroatomiin tarvitsee. Miksi näin?



TEHTÄVIÄ ERI AJATTELUTASOILLE

Tälle sivulle olemme keränneet esimerkkejä kemian tehtävistä eri ajattelutasoille.

1. muistaa

Nimeä atomi symbolin perusteella:

a) C b) H c) O d) N e) F f) Br

3. Soveltaa

-Reaktio 1 (2007) tehtävä 130

Mitä seuraavista liuottimista käyttäisit rasvatahran poistoon:

a) vettä b) dietyylieetteriä
c) ruokasuolanvesiliuosta d) tolueenia?

6. Luoda

- Kevät 2002 tehtävä +8

Vahvat ja heikot kemialliset sidokset. Selosta myös, miten sidostyyppi vaikuttaa aineen ominaisuuksiin.

3dman_eu / Pixabay CC0

LISÄÄ ESIMERKKEJÄ TÄSTÄ

AJATTELUTASOTAUUKKO

Pääluokka	Alaluokat	Esimerkkejä	
L O C S	1. Muistaa	1.1 Tunnistaminen	Oppilas hakee tietoa muistista ja vertaa sitä annettuun tehtävään esim. kasvien lajintuntemus ja alkuaineiden kemiallisten merkkin tunnistaminen
		1.2 Mieleen palauttaminen	Oppilas palauttaa tiedon muistista, esim. suureiden ja yksiköiden symbolit
	2. Ymmärtää	2.1 Tulkitseminen	Oppilas osaa muuttaa tietoa toisesta muodosta toiseen esim. osaa laatia laskun tai reaktioyhtälön sanallisen tehtävänannon pohjalta, osaa selittää käsitteet omin sanoin
		2.2 Esimerkin antaminen	Oppilas osaa havainnollistaa käsitteitä tai periaatteita esimerkillä: osaa antaa esimerkin nisäkkäistä, poimuvuoresta, hiilivedystä ja energialähteestä
		2.3 Luokittelu	Oppilas osaa luokitella asioita kategorioihin esim. eliökunnan ja jätteiden luokittelu
		2.4 Yhteenvedon tekeminen (referointi)	Oppilas osaa tehdä olennaiset asiat sisältäviä yhteenvedoja: artikkelireferaatit tekeminen
		2.5 Päätely	Oppilas osaa tehdä loogisia johtopäätöksiä esitetyn tiedon pohjalta esim. populaation lisääntymisen, säätilan, voiman vaikutuksen ja yhdisteiden molekyyliarakenteen päättelemisen
	2.6 Vertaaminen	Oppilas havaitsee kahden asian välisiä yhtäläisyyksiä ja eroja esim. käsitteiden vertaaminen	
	2.7 Perusteleva	Oppilas osaa tehdä erilaisista systeemeistä syy-seuraus-malleja, esim. talvihoroksen, vuodenaikojen, nopeuden tai tasapainoreaktion suunnan perusteleva	
	3. Soveltaa	3.1 Menetelmän toteuttaminen	Oppilas osaa soveltaa rutiinomaista menetelmää tutun tehtävän ratkaisemiseen esim. elion tunnistaminen, kartan lukeminen, laskukaavojen käyttö ja tisläminen
3.2 Menetelmän käyttäminen		Oppilas osaa käyttää valitsemaansa menetelmää entuudestaan tuntemattoman tehtävän ratkaisemiseen: ongelmanratkaisutehtävät	
H O C S	4. Analysoida	4.1 Erotteleminen	Oppilas osaa erottaa tehtävänannosta tärkeät ja olennaiset asiat, joita tarvitaan tehtävän ratkaisemiseen
		4.2 Organisoiminen (jäsentäminen)	Oppilas tunnistaa tilanteeseen liittyvät perusosat ja osaa muodostaa niistä johdonmukaisia kokonaisuuksia, esim. tutkimusraportin laatiminen
		4.3 Piilomerkityksen havaitseminen	Oppilas tunnistaa materiaalista "rivien välistä luettavat" näkökulmat, ennakoasenteet, arvot tai aikomukset esim. artikkelin kirjoittajan asenteiden havaitseminen
	5. Arvioida	5.1 Tarkistaminen	Oppilas osaa tarkistaa ovatko prosessit tai tuotteet johdonmukaisia ja virheettömiä, esim. tehtävän tai tutkimuksen tuloksen järkevyyden tarkistaminen
		5.2 Arvosteleminen	Oppilas osaa arvostella tuotetta ulkoisten kriteerien ja standardien pohjalta, esim. luonnontieteiden menetelmien hyvien ja huonojen puolien arviointi
	6. Luoda	6.1 Kehittäminen	Oppilas osaa muodostaa hypoteeseja tai ratkaisutapoja esitettyjen kriteerien pohjalta
		6.2 Suunnitteleminen	Oppilas osaa suunnitella ratkaisutapoja tehtävän tai ongelman ratkaisuun, esim. kokeellisen menetelmän suunnitteleminen
		6.3 Tuottaminen	Oppilas osaa tehdä tehtävänannon vaatimusten mukaisen omaperäisen tuotoksen esim. esseevastauksen laatiminen

Ajattelutaitojen luokittelua luonnontieteiden kontekstissa (Tikkanen 2010; Anderson ym. 2001)

Lähde: Opetushallitus. (2012). Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita 2012. Koulutuksen

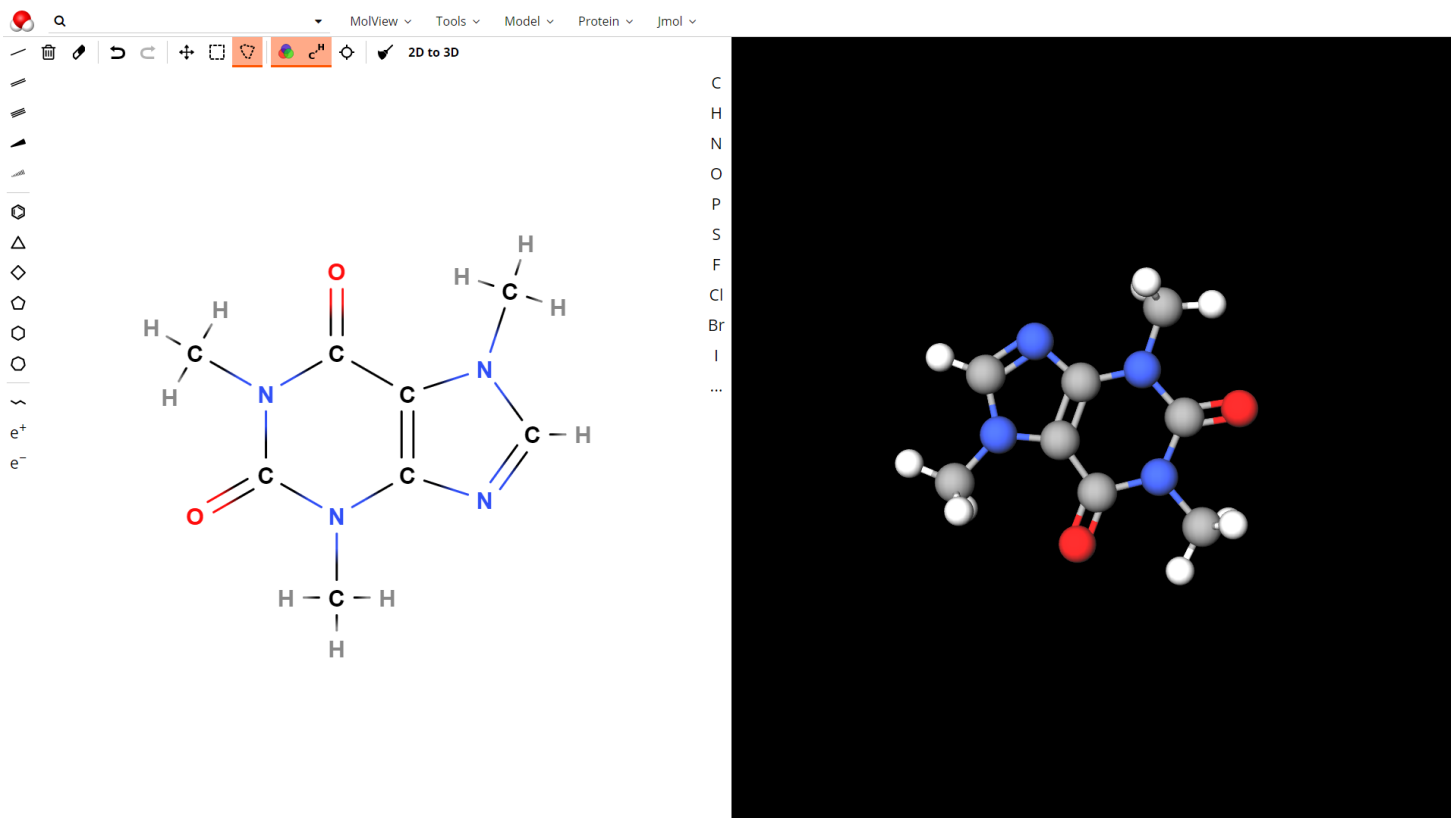
seurantaraportit 2012:10. Luettu osoitteesta:

http://www.opi.fi/download/145816_Luonnontieteiden_opetuksen_kehittamishaasteita_2012.pdf

MOLEKYYYLIEN MALLINTAMINEN

<http://molview.org/>

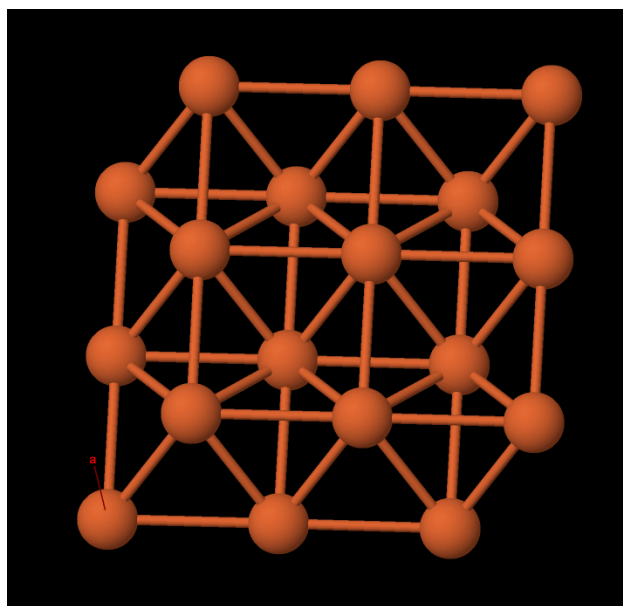
Molview on ilmainen, tehokas ja erittäin käyttäjäystävällinen ohjelma kaikenlaisten molekyylien mallintamiseen. Tietokoneiden lisäksi molview toimii mobiililaitteilla, kuten tableteilla ja älypuhelimilla, sillä poikkeuksella että makromolekyylien (kuten proteiinien) mallintaminen ei mobiililaitteilla ei aina onnistu



VINKKEJÄ MOLVIEWIN KÄYTTÖÖN

3D-mallituksen lisäksi Molview pystyy esittämään makromolekyylejä, kuten proteiineja, havainnollistamaan mineraalien rakennetta, laskemaan sidosten ja molekyylien dipoleja, havainnollistamaan poolisuutta elektronitiheyden avulla (3D-heatmap), sekä kompensoimaan atomien merkitsemättä jääneitä varauksia. Kaiken tämän lisäksi ohjelmaan on integroitu hakutoiminto yhdisteille, joka kattaa Pubchemin yhdistetietokannan, RCSB-proteiini -datapankin ja Kristallografian avoimen tietokannan.

Proteiinit ja mineraalit

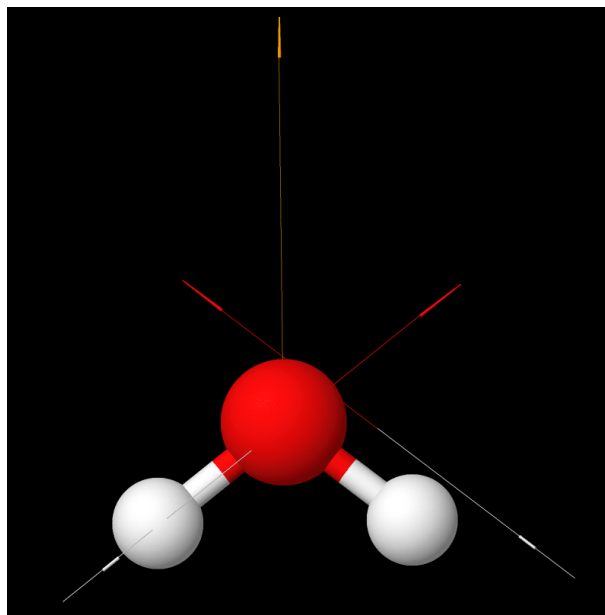


Vasemmalla kuvattuna aldoaasi ja oikealla rautamineraali 1x3x3 supersoluna. Mineraalit pystytään kuvaamaan myös yksikkö soluna tai 2x2x2 supersoluna

MOLWIEV JA JMOL-TYÖKALUT

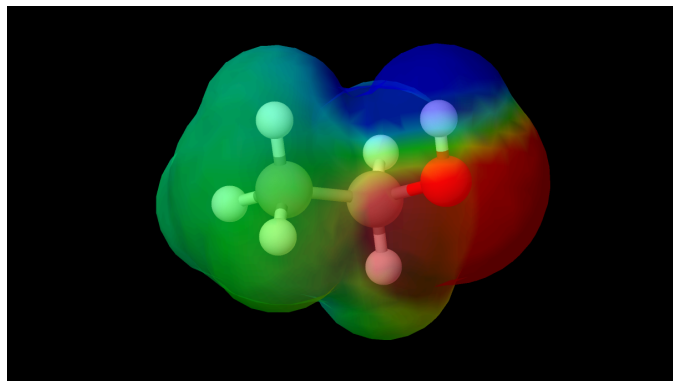
Dipolit

Jmol pudotusvalikosta löydät *bond dipole*- ja *overall dipole*-asetukset, joiden avulla saat 3D-malliin esille jokaisen sidoksen, jolla on dipoli sekä molekyylin kokonaisdipolin (oranssi nuoli)



Poolisuus

Jmol:ista löydät myös *MEP surface*-asetukset, joiden avulla pystyt havainnollistamaan molekyylien poolisuutta lämpökartan avulla



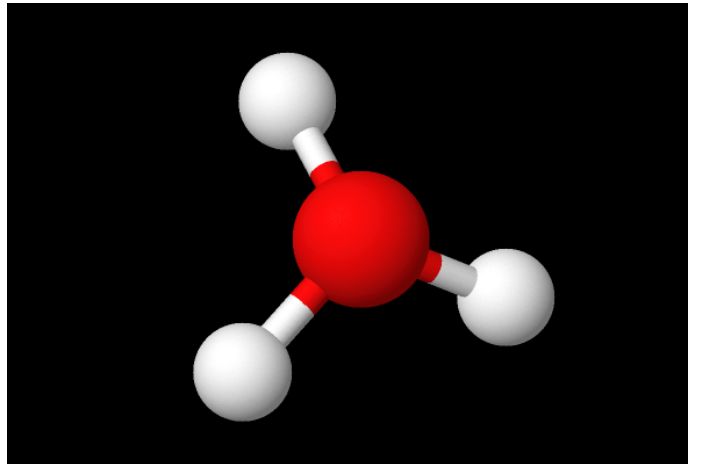
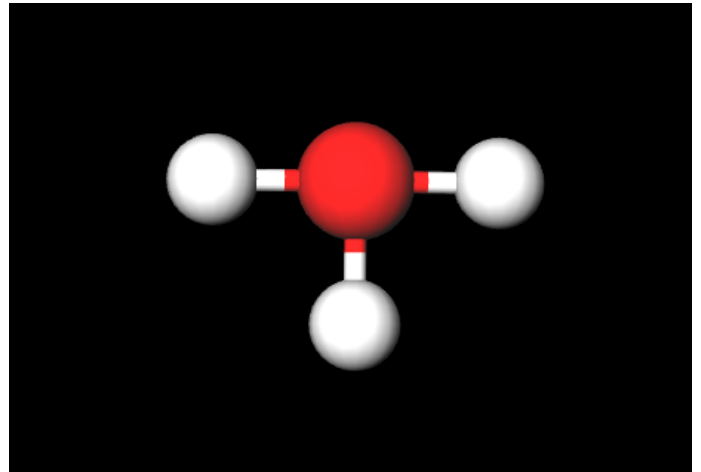
JMOL TYÖKALUT (MOLVIEW)

Energiaminimisaatio

Jmol:ista löydät myös asetuksen *energy minimization*, jonka avulla voit korjata 3D-mallinnuksen virheitä, jotka johtuvat rakennetta piirrettäessä *unohtuneista varauksista*.

Ylemässä kuvassa on unohdettu merkata, että happiatomilla on lievä positiivinen varaus ja alemmassa kuvassa on sama rakenne energiaminimisaation jälkeen

(huomaa että vedyt ovat hieman taaempana, joten ohjelma on osannut ottaa huomioon myös poolisuuden).



LÄHTEET



Eilks, I., Prins, G. T., Lazarowits, R. (2013) How to organise the chemistry classroom in a student active mode. Teoksessa I. Eilks & Hofstein, A. (toim.), *Teaching Chemistry - A Studybook: A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* (s.188-189) Rotterdam: Sense Publisher

Eilks, I., Prins, G. T., Lazarowits, R. (2013) How to organise the chemistry classroom in a student active mode. Teoksessa I. Eilks & Hofstein, A. (toim.), *Teaching Chemistry - A Studybook: A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* (s.203-205) Rotterdam: Sense Publisher

Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L. (2015). Physical experience enhances science learning. *Psychological Science*, 26(6), 737–749.

Lehesvuori, S. (2013). Towards Dialogic Teaching in Science: Challenging Classroom Realities through Teacher Education. *Nordic Studies in Science Education*, 9(2), 218.

Opetushallitus. (2015). Lukion opetussuunitelman perusteet. Luettu osoitteesta:
http://www.oph.fi/download/172124_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015.pdf , luettu 6.4.2017

O'Toole, J. (2003). *The process of drama: Negotiating art and meaning*. Routledge.

<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos/kasvihuonekaasut/metaani>, luettu 6.4.2017

<http://www.sll.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2004/oljyvaara>, luettu 6.4.2017

<https://tiededraamaopas.wordpress.com/kasvavat-patsaat/>, luettu 6.4.2017

<http://www.wreckedexotics.com/articles/011.shtml>, luettu 6.4.2017

http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Oljy_ja_kemikaalivahingot, luettu 6.4.2017

http://www.ymparisto.fi/fiFI/Kulutus_ja_tuotanto/Jatteet_ja_jatehuolto, luettu 6.4.2017