

## Virtuaalilaboratoriot kemian opetuksessa

Marko Telenius

Turun normaalikoulu, Turun yliopisto • mjtele@utu.fi

**Tiivistelmä** Virtuaalilaboratorioita on eri muodoissaan kehitetty koulutuksen tarpeisiin jo kauan, mutta kemian lukio-opetukselta on puuttunut selvä tarve tällaisten simulaatioiden soveltamiseksi. Parhailaan käynnissä oleva lukiouudistus ja ylioppilaskirjoitusten muuttuminen sähköisiksi haastavat kuitenkin lukiot muuttamaan opetustaan ja voimistamaan tieto- ja viestintäteknikan asemaa oppitunneilla. Tähän saumaan virtuaalilaboratoriot sopivat mainiosti, koska niiden etuja ovat edullisuus, vuorovaikutteisuus, vaikeiden käsitteiden esittämisen selkeys ja vapautuminen tietyn tilan tai kellonajan asettamista rajoitteista. Oppituntien ohella erityisesti osa sähköisten kurssikokeiden tai ylioppilaskirjoitusten tehtävistä voidaan rakentaa virtuaalisten simulaatioiden ja laboratorioiden ympärille, jolloin kokeelliset tehtävät saadaan eromaan jo huomattavasti teoriehtävistä. Useita lukioon ja yläkouluunkin soveltuvia virtuaalilaboratorioita on saatavilla täysin ilmaiseksi, mutta niistä useimpia ei voida ottaa tunnilla käyttöön sellaisenaan. Opettajan vastuulle jääkin huolehtia pedagogiikasta, jotta ohjelma täyttää tunnin opetustavoitteet. Virtuaalilaboratoriot myös vaihtelevat suljetuista, tietyn käsitteen opettamiseen suunnatuista ohjelmista useilta työvaiheiltaan avoimiin, todellista laboratoriotyöskentelyä jäljitteleviin simulaatioihin.

### 1 Taustaa: Mikä virtuaalilaboratorio on ja miksi kemian opetus tarvitsee sellaista?

Virtuaalilaboratorio voidaan määritellä usealla tavalla, joista tavallisin lienee se, että virtuaalilaboratorio on vuorovaikutteinen ympäristö, jossa on mahdollista suorittaa erilaisia todellisia tilanteita matkivia tutkimuksia. Usein keskeistä on myös, että kyseinen aktiviteetti toteutetaan tietokoneiden avulla ja että virtuaalilaboratorion puitteissa käytetään virtuaalista koelaitteistoa. Tällaisessa laboratoriotyön simulaatiossa oppilaalle luodaan illuusio siitä, että hän työskentelisi oikeassa kemian laboratoriossa, ja hänelle annetaan vapaus valita tarvitsemansa kemikaalit, lasitavarat ja työvälineet suorittaakseen kokeensa (Waldrop, 2013). Yliopistotasolla virtuaalilaboratoriolla voidaan ymmärtää ongelmanratkaisuympäristöä, jossa tutkijat voivat työskennellä etäältä yhteisen projektin parissa. Määritelmästä riippumatta oleellista on, että laboratoriossa käytetään vain todellisten laitteiden ja koejärjestelyjen virtuaaliversioita. Toisinaan virtuaalilaboratorioiden piiriin lasketaan myös oikean laboratoriolaitteen etäkäyttö, mutta kyseessä ei enää ole varsinainen virtuaalilaboratorio, koska tällöin ainoastaan laboratoriossa käynti on virtuaalista (Nedic ym. 2003).

Etenkin lukiokoulutuksessa virtuaalilaboratorioiden merkityksen voidaan olettaa kasvavan, koska kemian ylioppilaskirjoitukset muuttuvat sähköisiksi vuoden 2018 syksyllä. Kemian ylioppilaskokeissa on jo nyt tehtävä, joka on nimellisesti kokeellinen, siis sellainen, josta ei pitäisi pystyä suoriutumaan vain teoretiedon perusteella. Tämänkaltainen tehtävä olisi siten erittäin herkullinen lähtökohta vuorovaikutteiselle simulaatiolle. Tehtävän

sähköistetyssä versiossa voitaisiin tehdä jokin virtuaalinen työ luokkatilaa imitoivassa tietokoneympäristössä. Virtuaalikokeen tulokset olisi sitten esitettävä taulukkona tai kuvaajana, jonka pohjalta pitäisi kyetä vastaamaan esitettyihin kysymyksiin. Perinteiset teoriat tehtävätkin saataisiin kertaluokkaa nykyistä kiinnostavammiksi, kun niiden yhteydessä esitettäisiin lyhyt video tai vuorovaikutteinen simulaatio, joka opiskelijan olisi selitettävä kemian tietämyksensä avulla. Tämänlaisia tehtäviä voi suhteellisen helposti testata jo sähköisissä kurssikokeissa.

Tavallisilla kemian tunneilla virtuaalilaboratorio puolustaa taas paikkaansa sillä, että se sallii sellaisten laitteiden ja aineiden käsittelyn, mikä ei olisi muuten mahdollista. Samoin virtuaaliympäristöjen avulla voidaan suorittaa töitä, jotka olisivat muutoin mahdottomia. Hyvä esimerkki tällaisesta kokeesta on Kemian opetuksen päivien työpajassa esitetty, Göteborgin yliopiston kehittämä ”Virtual Marine Scientist” – virtuaalilaboratorio (lyh. VMS), jonka pohjalla olevan aineiston kerääminen veisi toista kymmentä vuotta. Virtuaalilaboratorioiden puitteissa voidaan myös syventyä annettuun aiheeseen perinteistä kokeellista työtä laajemmin, koska virtuaaliympäristö on aina pelkistetty, häiriötekijöistä riisuttu kuva todellisesta maailmasta. Tällöin opiskelijan mielenkiinto saadaan kohdistettua juuri opiskeltavana olevaan aiheeseen ja esitettyä teoriaa voidaan vahvistaa. Kuten kaikki sähköiset alustat, virtuaalilaboratorio sallii opettajan ja oppilaan välisen vuorovaikutuksen irtautumisen oppituntien ja luokkatilojen rajoitteista.

Toisaalta opettajan toimintaa ohjaa vahvasti lukion opetussuunnitelmien perusteet, joka vihjaa myös virtuaalilaboratorioiden hyödyntämiseen opetuksessa, vaikei se sitä suorasanaisesti esitäkään. Opetussuunnitelmissa asetetaan kuitenkin yhdeksi opetuksen tavoitteeksi ”perehtyä tieto- ja viestintäteknikan mahdollisuuksiin tiedonhankinnan ja mallintamisen välineinä”, mikä on suora toteamus esimerkiksi juuri virtuaalilaboratorioiden tai simulaatioiden puolesta. Opetussuunnitelmien perusteissa myös todetaan, että oppilas osaa ”tulkita ja arvioida kokeellisesti tai muutoin hankkimaansa tietoa ja keskustella siitä sekä esittää sitä muille”. Väitteessä on virtuaaliympäristöjen kannalta merkittävää kohta ”tai muutoin hankkimaansa tietoa”, joka voidaan tässä yhteydessä ymmärtää virtuaalilaboratorioksi. Opetuksen tavoitteiksi on kirjattu myös vaatimus siitä, että opiskelija osaa käyttää kemiallista tietoa terveyttään, luontoa ja ympäristöään koskevassa keskustelussa ja päätöksenteossa, jota muun muassa edellä mainittu VMS-laboratorio tukee omalta osaltaan erinomaisesti. Koska kemian arvioinnissa on huomioitava lukuisia kokeellisen tiedonhankinnan ja -käsittelytaitojen kehittymiseen kuuluvia seikkoja, joista monia voidaan havainnoida virtuaalisessakin ympäristössä, tarjoavat virtuaalilaboratoriot uuden tavan arvioida opiskelijaa ja huomioida erilaisia oppijoita. Erityisen merkittävää tämä on, jos opiskelija ei voi esimerkiksi pitkän koulumatkan tai fyysisen ominaisuutensa vuoksi osallistua tavanomaisiin kokeellisiin töihin. (Lukion opetussuunnitelmien perusteet 2003)

## 2 Virtuaalilaboratorioiden sulauttaminen osaksi kemian opetusta

Internetissä on nykyisin useita täysin ilmaisia ja vapaasti käytettäviä virtuaalilaboratorioita, mutta harvoja niistä voidaan käyttää sellaisenaan oppitunneilla. Suurimmassa osassa virtuaalisia simulaatioita ei ole edes kunnollista ohjeistusta tai tehtäviä, jotka ohjaisivat oppilaan toimimaan virtuaaliympäristössä tarkoituksenmukaisesti. Näin ollen pedagogiikka on tavallisesti lähes olematonta. Tämän vuoksi opettajan tehtävä onkin huolehtia siitä, että virtuaalilaboration tai simulaation ympärille luodaan pedagogisesti mielekäs tuntiharjoite, jolla on selkeät oppimistavoitteet. Virtuaalilaboratorioita voidaan käyttää esimerkiksi ennakkotehtävänä oikealle kokeelliselle työlle tai pilkkoa pieniksi aktiviteeteiksi kokeellisen työn lomaan (Nedic ym. 2003). Erityisesti vuorovaikutteiset simulaatiot ovat erinomaisia perinteisen kynän ja paperin avulla tehtävän käsitteenharjoitustehtävän korvikkeita, koska monimutkaista luonnonilmiötä voidaan tarkastella yksinkertaistetusti ja riittävästi suurennettuna (Waldrop, 2013).

Jos virtuaalilaboratoriota halutaan soveltaa käytännön kokeen korvikkeena, opettajan on yleensä ensimmäiseksi kirjoitettava selkeä ohjeistus ohjelman käytöstä. Tämän lisäksi on hyvä kokeilla yhdessä opiskelijoiden kanssa joitain ohjelman keskeisimpiä ominaisuuksia ja tutustuttaa opiskelijat pikkutehtävien kautta käyttöliittymään. Kun ohjelman peruskäyttö on varmistettu, oppilaille on annettava selkeät ohjeet ja tavoitteet, jotka heidän tulee saavuttaa virtuaalityön tekemällä. Näin varmistetaan, että ohjelmaa käytetään tavalla, joka oikeasti tukee opetusta ja kykenee samaan kuin perinteinen opetus. Työn päätteeksi oppilaita voidaan pyytää kirjoittamaan työraportti, kuten perinteisenkin kokeen jälkeen, tai tarvittaessa laatimaan työnsä tuloksista lyhyt esittely. Tulosten esittämisen yhteydessä on usein turvauduttava taulukko- tai piirto-ohjelmiin, koska virtuaalilaboratoriot harvoin sisältävät valmiita pohjia tulosten kirjaamiseen. Samoin tulosten analysoinnin ohjeistaminen kuuluu useimmiten opettajan tehtäviin.

On kuitenkin muistettava, että virtuaalilaboratoriot eivät voi koskaan täysin korvata todellista kokeellista työskentelyä, vaan parhaimmat oppimistavoitteet saavutetaan, kun nämä kaksi työmenetelmää yhdistetään toimivaksi kokonaisuudeksi (Nedic ym. 2003). Niinpä usein voi olla aiheellista antaa esimerkiksi kotitehtäväksi tutustua titrausta opettavaan virtuaalilaboratioon, minkä jälkeen seuraavalla tunnilla opiskelijat pääsevät itse titraamaan oikeilla välineillä. Laajaa kokeellista työtä voidaan myös rytmittää lyhyillä virtuaalitoilla: opettaja on esimerkiksi suorittanut jonkin erityisen hankalan tai aikaa vievän työvaiheen jo valmiiksi, mutta opiskelijat tekevät tämän vaiheen työnsä lomassa virtuaalisesti. Opettajan tehtäväksi jää myös aina sitoa tehty virtuaalilaboratorio esitettyyn teoriaan ja varmistaa, että jokainen opiskelija on huomannut tämän yhteyden.

### 3 Tapausesimerkki: Virtual Marine Scientist

Edellä esitettyjen väitteiden selventämiseksi on paikallaan esitellä lyhyesti Göteborgin yliopiston kehittämä virtuaalilaboratorio, Virtual Marine Scientist (<http://www.virtualmarinescientist.com/>), joka toteuttaa monia opetussuunnitelmien

perusteiden vaatimuksista. Tässä virtuaalilaboratoriossa opiskelijat omaksuvat jatko-opiskelijan roolin: lukiolainen on aloittanut juuri työnsä meribiologien tutkimusryhmässä, ja haettavana on rahoitusta tutkimuksiin, jotka käsittelevät ilmaston muutoksen vaikutusta merisimpukkaan joko suorasti tai epäsuorasti. Virtuaalilaboratorion tavoitteena on siis osallistaa lukiolaiset ympäristöään, erityisesti Itämeren, koskevaan keskusteluun käyttäen apunaan kemian ja biologian käsitteitä ja tutkimustuloksia. Samalla tavoitteena on opettaa luonnontieteellisen tutkimuksen tekemistä, mikä on myös osaltaan lukiokemian tavoite. Varsinainen virtuaalilaboratorio sisältää jo varsin kattavan ohjeistuksen ja materiaalipankin, joten opettajan on huolehdittava lähinnä alkuohjeistuksesta, kytkennästä tunnin aiheeseen ja tulosten käsittelystä tai esittämisestä. Tämä virtuaaliympäristö jakautuu kolmeen erilliseen osioon: kirjastoon, tietokoneeseen ja laboratorioon. Kirjastossa opiskelija tutustuu käsiteltävään aiheeseen, tutkittaviin lajeihin ja mahdollisiin tutkimusjärjestelyihin, mikä antaa vihjeitä siitä, miten oma tutkimus kannattaisi suorittaa. Virtuaalista tietokonetta käytetään lähinnä rahoitushakemuksen lähettämiseen, viestittelyyn opettajan ja lukiolaisen välillä sekä tutkimustulosten saamiseen. Laboratoriossa päästään sitten tekemään varsinaista tutkimusta.

Virtuaalilaboratorion kulku on lyhykäisyydessään se, että ensin opiskelijoiden on tutustuttava kirjaston aineistoon ja luotavan tämän pohjalta oma tutkimussuunnitelmansa. Materiaaleissa ei siis sanota suoraan, millainen tutkimuksen on oltava tai mitä asiaa on tutkittava. Tutkimussuunnitelma on lähetettävä opettajalle tarkistettavaksi, mutta jälleen ohjelma ei sisällä valmista pohjaa suunnitelmalle: lähetettävään viestiin kirjoitetaan lyhimmillään vain hypoteesi ja kuvaus tutkimusjärjestelystä. Siten opettajan harteilla on jälleen selventää, millaisen suunnitelman hän haluaa arvioitavakseen, joten opettajan laatima mallisuunnitelma on erittäin suositeltava. Opettajan hyväksyttyä suunnitelman, oppilas saa viestiin virtuaalikannettavaansa ja on vapaa siirtymään laboratorion puolelle. Ennen laboratorioon pääsyä, opiskelijalta kysytään videoiden tukemia kysymyksiä tutkimuksen käytännön suorituksesta. Näiden kysymysten vastaukset ovat kirjaston materiaalissa, joten sen huolellinen lukeminen varmistetaan tässä vaiheessa. Arvaamallakin pystyy etenemään, mutta jokaisen väärän vastauksen jälkeen ohjelma muuttaa vaihtoehtojen järjestystä ja näyttää lyhyen videon, mikä karsii puhdasta arvaamista. Kuulustelun jälkeen oppilas voi katsoa vielä lyhyen opastusvideon, ja sitten hän voikin alkaa lisätä akvaarioita, joiden olosuhteita, lähinnä pH:ta, lämpötilaa, kasvatettavaa lajia ja ruokintaa, hän voi säädellä. Lopuksi opiskelijan on valittava, kuinka usein laboratorioavustaja mittaa hapenkulutuksen, eliöiden koon ja ruoan kulutuksen. Lopulta ohjelma antaa tulokset valmiina excel-taulukkona, jonka käsittely on taas vapaata. Kaikki ohjelman antamat tulokset pohjautuvat todelliseen kerättyyn aineistoon.

Virtuaalilaboratorion avulla on mahdollista siis opettaa muun muassa happamuuden käsite, pH-asteikko ja pH:n merkitys merien kemialliselle tasapainolle. VMS-virtuaalilaboratorio soveltuukin sellaisenaan esimerkiksi kemian ja biologian valinnaisille,

näitä aiheita käsitteleville tunneilla. Virtuaalilaboratoriossa on tällä hetkellä biologian osuus korostunut, koska se on meribiologioiden kehittämä, mutta kemian osuutta ollaan parasta aikaa lisäämässä Turun yliopistolla tehtävän tutkimushankkeen puitteissa. Toisaalta lukiouudistus ja sen mukanaan tuoma tuntijakomuutos korostavat valinnaisuutta ja luonnontieteiden yhteistyötä aiempaa enemmän, mitä tämä sovellus jo tukee. Tällaisenaankin ohjelman avulla on mahdollista harjoituttaa ympäristökeskustelua, joka pohjautuu kokeelliseen tieteelliseen tietoon, ja tutkimustulosten analysointia ja niistä keskustelua. Ohjelma antaa tutkimustulokset excel-tiedostona, jota opiskelijat voivat sitten opettajan johdolla alkaa muokata esitettävään muotoon ja analysoida. Samalla opiskelijat oppivat hankkimaan kokeellista tietoa muillakin tavoin, kuin kokeita suorittamalla, ja vaatimus tieto- ja viestintäteknikan käytöstä toteutuu myös. Lisäksi hyvin ohjattuna tämän kaltainen virtuaalilaboratorio mahdollistaa monipuolisen ja useiden erilaisten taitojen arvioimisen. Ohjelman ehdoton vahvuus on se, että se on osittain hyvin vapaa, mikä sallii ohjelman räätälöinnin oppitunnin tavoitteiden mukaiseksi.

#### **4 Loppupäätelmät**

Virtuaalilaboratoriot ja erilaiset simulaatiot ovatkin varteen otettava opetus- ja arviointimenetelmä, kun lukiokoulutus uudistuu vuonna 2016. Tieto- ja viestintäteknikan ja aineryhmien välinen yhteistyö voimistunee uudistuksen myötä, joten virtuaalisten työtapojen hyödyntämistä kannattaa harjoitella jo ennen uudistusta. Sähköisiin ylioppilaskirjoituksiin virtuaaliset laboratoriot olisivat myös liitettävissä erittäin helposti ja todennäköisesti tulevaisuudessa tullaankin näkemään ylioppilaskirjoitusten tehtäviä, joissa on suoritettava jokin koe virtuaalilaboratoriossa, analysoitava tuloksia taulukkolaskenta- ja piirto-ohjelman keinoin ja lopulta vastattava annettuihin kysymyksiin. Tällaista voi ainakin harjoittaa ylioppilaskirjoituksiin valmentavissa sähköisissä kurssikokeissa, vaikkei tällaisia tehtäviä sitten olisikaan varsinaisissa ylioppilaskirjoituksissa. Joka tapauksessa edellä esitetty lähestymistapa kemian opetukseen olisi nykyisenkin opetussuunnitelman mukaista toimintaa, ja kokeellisuuden yhdistettynä lisäisi opiskelijoiden motivaatiota opiskella luonnontieteitä.

Virtuaalilaboratorioiden, kuten muidenkin vastaavien sähköisten opetusmenetelmien, kohdalla on kuitenkin muistettava, että ne eivät voi korvata kokeellista työskentelyä tai muuttaa yllättäen lukio-opiskelua täysin toisenlaiseksi. Perinteisilläkin tavoilla on edelleen paikkansa kemian tunnilla (Waldrop, 2013). Virtuaalilaboratorioiden keskeinen ongelma on myös liian idealisoitu data, joka on räikeimmillään vain matemaattisen funktion tuottamaa. On myös pidettävä mielessä se, että lukiokemian tavoitteena ei ole opettaa vain tietyn yhden laitteen tai koemenetelmän rutiininomaista käyttöä, koska kemistin tehtävät ovat hyvin monipuolisia. Valitettavan useat virtuaalilaboratoriot keskittyvät kuitenkin vain tietyn teeman tai laitteiston ympärille. Koska laboratoriossa käytetään vain virtuaalisia laitteita, todellisen laitteen käyttö voi jäädä myös hyvin epämääräiseksi. Tämän vuoksi

tunneilla on edellään huolehdittava monipuolisuudesta ja oppilaiden menetelmällisten taitojen kehittämisestä.

## Hyödyllisiä linkkejä

Vuorovaikutteisia simulaatioita: <http://employees.oneonta.edu/viningwj/sims/index.html>

Käsitteelliseen ymmärtämiseen tähtäviä virtuaalilaboratorioita:

<http://chemvlab.org/home/index.php>

Suomeksi käännettyjä simulaatioita ja tehtäväpohjia:

<http://phet.colorado.edu/fi/simulations/category/chemistry>

Göteborgin yliopiston laatima ympäristötieteellinen virtuaalilaboratorio:

<http://www.virtualmarinescientist.com/>

Useita oikeita töitä matkivia virtuaalilaboratorioita: <http://chemcollective.org/vlabs>

## Lähteet

Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Helsinki: Opetushallitus.

[http://www.oph.fi/download/47345\\_lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteet\\_2003.pdf](http://www.oph.fi/download/47345_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2003.pdf)

Nedic, Z., Machotka, J. & Nafalski, A. 2003. Remote Laboratories versus Virtual and real

Laboratories. 33<sup>rd</sup> ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Session T3E 1-6.

<http://www.icee.usm.edu/ICEE/conferences/FIEC2003/papers/1077.pdf>

Waldrop, M. M. 2013. The Virtual Lab. *Nature*, 499, 268–270.

[http://www.nature.com/polopoly\\_fs/1.13383!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/499268a.pdf](http://www.nature.com/polopoly_fs/1.13383!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/499268a.pdf)