

# **Virtuaalilaboratorioiden käyttö kemian etäopetuksessa**

Verna Moisander

Kemia

LuK-tutkielma

Laajuus:6 op

11.5.2026

Turku

## LuK-tutkielma

**Pääaine:** : Kemia

**Tekijä:** Verna Moisander

**Otsikko:** Virtuaalilaboratorioiden käyttö kemian etäopetuksessa

**Ohjaaja(t):** Veli-Matti Vesterinen

**Sivumäärä:** 15 sivua

**Päivämäärä:** 11.5.2026

Laboratoriontyöskentelytaitoja pidetään tärkeänä osana kemian opetusta. Oppilaat pääsevät toimimaan normaalista poikkeavassa ympäristössä, jossa pitää osata soveltaa tietoa käytännössä.

Laboratorio-osaamisen opetus kuitenkin vaikeutuu etäopetuksessa, jossa suurin osa oppimisesta tapahtuu muualla kuin perinteisissä kemian oppimisympäristöissä. Tämä herättää kysymyksen siitä, mitä opetusvälineitä voidaan käyttää osana etäopetusta, jotta oppilaat pääsisivät harjoittelemaan laboratoriotyöskentelyn kaltaista aktiivista oppimista.

Virtuaalilaboratoriot ovat aktiivisen opetuksen muoto, joka mahdollistaa laboratoriokokeiden tekemisen missä ja milloin tahansa teknologian avulla. Virtuaalilaboratorioita on monenlaisia ja niiden käyttöä rajoittavina tekijöinä ovat pääosin saatavuus ja sopivaa oppimisteoriaa soveltavan laboratorion löytäminen

Virtuaalilaboratoriot ovat yksi työkalu, jota opettajat voivat harkita soveltavansa osana etäopetusta. Ne toimivat hyvin, koska hinnat ovat alhaiset ja eikä niiden käyttö vaadi oppilaan läsnäoloa fyysisessä laboratoriossa. Tämän lisäksi on todisteita siitä, että virtuaalilaboratorioilla on positiivinen vaikutus oppimiseen etenkin kun niitä verrataan pelkästään passiiviseen oppimiseen. Perinteisiin laboratorioihin verrattessa erot eivät ole suuria kun tehtävät kokeet eivät ole monimutkaisia. On kuitenkin tärkeää huomioida, että parhaat oppimistulokset saatiin kun virtuaalilaboratorioita käytettiin osana monipuolista opetusta.

Virtuaalilaboratorioissa on kuitenkin vielä kehitettävää, koska suuri osa niistä ei noudata mitään pedagogisesti hyväksi tunnistettua opusteoriaa. Tämän lisäksi niitä tulee vielä kehittää niin ettei niiden käyttöön liittyvä kognitiivinen kuorma kasva liian suureksi.

**Avainsanat:** Virtuaalilaboratorio, etäopetus, kemia, pedagogia, aktiivinen oppiminen

## **Sisällys**

<b>1. Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2. Virtuaalilaboratoriot ja etäopetus</b>	<b>1</b>
<b>2.1 Virtuaaliset laboratoriot</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Etäopetus</b>	<b>3</b>
<b>3. Virtuaalisten laboratorioden edellytykset</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Käyttöön otolliset edellytykset</b>	<b>4</b>
<b>3.2 Graafiset edellytykset</b>	<b>5</b>
<b>4. SWOT-analyysi virtuaalilaboratorioiden käytöstä osana etäopetusta</b>	<b>7</b>
<b>4.1 Vahvuudet</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Heikkoudet</b>	<b>10</b>
<b>4.3 Mahdollisuudet</b>	<b>12</b>
<b>4.4 Uhat</b>	<b>13</b>
<b>5. Johtopäätökset ja pohdinta</b>	<b>14</b>
<b>Lähteet</b>	<b>16</b>

## **1. Johdanto**

Tässä tutkielmassa harkitaan kemian virtuaalilaboratorioiden käytettävyyttä osana etäopetusta. Etäopetuksen tutkiminen on erityisen tärkeää, koska tulevaisuudessa osa koulun käynnistä saatetaan joutua hoitamaan etänä. Syyt tähän ovat moninaiset esim. pandemiat tai pienten koulujen sulkemiset (Kobayashi ym., 2021, s.3169). Näiden tilanteiden varalta on tärkeä tietää, millainen etäopetus on pedagogisesti mahdollisimman tehokasta. Tämän lisäksi on tiedettävä, mitä edellytyksiä virtuaalilaboratorioiden käyttöönotolla on ja, miten nämä käyttöönottoon liittyvät tekijät saattavat vaikuttaa sopivan virtuaalilaboratorion valintaan. Virtuaalilaboratorioiden oppimistuloksia verrataan fyysisesti tehtyihin laboratorio töihin, joihin viitataan perinteisinä laboratorioina. Virtuaali- ja perinteisten laboratorioiden vertaileminen on tärkeää, koska molemmissa pyritään oppimaan tieteellisen ajattelun ja toiminnan kautta. Virtuaaliset laboratoriot voivat myös etäopetuksessa joutua korvaamaan perinteisessä laboratoriossa työskentelyn, jos oppilailla ei ole pääsyä perinteisiin laboratorio ympäristöihin. Tämän takia on tärkeä tietää, miten virtuaalilaboratoriot menestyvät pedagogisesti opetusvälineenä.

Käytän tässä työssä apuna SWOT-analyysiä, koska analysoidakseni virtuaalilaboratorioiden käyttöä etäopetuksesta mahdollisimman monelta eri kannalta. SWOT-analyysissä luodaan matriisi, jolla arvioidaan tietyn aiheen vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia (Benzaghta ym., 2021, s.57). Tällainen tutkimus mahdollistaa monipuolisen tavan analysoida virtuaalisten laboratorioiden tämänhetkisiä vahvuuksia ja heikkouksia etäopetuksessa. Tämän lisäksi sen avulla voidaan arvioida virtuaalilaboratorioiden käytön mahdollisuuksia ja uhkia tällä hetkellä ja tulevaisuudessa. SWOT-analyysi on alunperin kehitetty kauppatieteiden tutkimukseen, mutta sitä sovelletaan nykyään myös muilla tieteenaloilla, koska se on hyvä tapa analysoida tiettyyn tekijään vaikuttavia ongelmia ja tehdä suunnitelmia niiden muuttamiseksi (Benzaghta ym., 2021, s.60).

## **2. Virtuaalilaboratoriot ja etäopetus**

Tässä kappaleessa käsitellään virtuaalilaboratorioiden ja etäopetuksen luonnetta. Tarkoituksena on esitellä ne yleisellä tasolla, jotta tekstissä käytetyt termit ovat säännölliset.

## 2.1 Virtuaaliset laboratoriot

Laboratoriotyöskentelyä on pitkään pidetty tärkeänä osana kemian opetusta (Chan ym., 2021, s.1). Pedagogisesti laboratoriotyöskentelyä pidetään tärkeänä monista syistä, mutta ehkä tärkeimpänä syynä nähdään se, että laboratoriotyöskentely vaatii monenlaista osaamista, jonka avulla opiskelijat voivat testata ja nähdä teoreettisia konsepteja käytännössä (Chan ym., 2021, s.1). Laboratoriotyöskentelyssä opitaan myös turvallisuustaitoja, jotka ovat hyödyksi niin oppilaiden arkielämässä kuin työelämässäkin. Siksi on tärkeää, että oppilailla on mahdollisuus päästä tekemään laboratoriotöitä myös etäopetuksen aikana. Perinteisten laboratorio-olosuhteiden saavuttaminen etäopetuksessa ei kuitenkaan aina ole mahdollista useista eri syistä, joten opetuksessa voidaan käyttää myös virtuaalisia laboratorioita.

Virtuaaliset laboratoriot mahdollistavat luonnontieteellisten kokeiden tekemisen missä tahansa ympäristössä, milloin tahansa teknologian avulla (Ali ja Ullah, 2025, s.18874). Tämän lisäksi niissä voidaan visualisoida myös ominaisuuksia ja tapahtumia, jotka normaaleissa koeolosuhteissa ovat näkymättömissä tai liian vaarallisia demonstroida. Esimerkiksi reaktiot, joissa syntyy hajutonta kaasua, jonka havaitseminen on normaaleissa olosuhteissa vaikeaa, voidaan esittää virtuaalisessa laboratoriossa visuaalisesti näkyvämmiin. Tämä mahdollistaa joissakin kokeissa selvemmän informaation havaittavuuden kuin perinteisissä laboratorioissa.

Nykyään virtuaalilaboratorioita on monenlaisia, monilla eri tieteen aloilta. Myös kemian virtuaalilaboratorioita on hyvin moninainen valikoima ja oikean valitseminen riippuu täysin opetettavasta aiheesta ja oppilaiden tarpeista (Chan ym., 2021, s.12). Niiden avulla voidaan kuvata erilaisia kemian koejärjestelmiä yksinkertaisesta molekyylin mallinnuksesta aina kokonaisten laboriokokeiden suorittamiseen.

Monien vaihtoehtojen vuoksi melkein mitä tahansa asiaa voidaan tutkia virtuaalilaboratorion avulla. Rajoittavina tekijöinä voivat kuitenkin olla esim. haluttuun aiheeseen liittyvien virtuaalilaboratorioiden saatavuus ja itse virtuaalilaboratorioiden tekniset edellytykset. Tekniset edellytykset liittyvät usein ohjelmien esitystapojen eroihin. Tällä hetkellä esitystapoihin kuuluvat mm. 2D, 3D ja virtuaalinen todellisuus (VR). Esitystavat kehittyvät jatkuvasti, joten uudenlaisia menetelmiä kokea ja toimia virtuaalilaboratorioissa syntyy koko ajan.

Virtuaalilaboratoriot pyrkivät olemaan kuvaus jostakin ilmiöstä tai spesifisestä kokeesta. Näin ollen virtuaalilaboratorio mahdollistaa tietyn kokeen tekemisen teknologian avulla. Kuten perinteisissäkin laboratorioissa vain virtuaalilaboratorion käyttäminen opetuksessa ei usein riitä, vaan se toimii yhtenä opettajan työkaluna kemian opetuksessa (Mercier ym., 2021, s.62). On siis tärkeää tietää, onko virtuaalisten laboratorioiden käyttö etäopetuksessa pedagogisesti järkevää. Ja jos on niin, miten opettajan on mahdollista valita pedagogisesti sopiva virtuaalilaboratorio tukemaan etäopetusta.

## 2.2 Etäopetus

Etäopetuksen tutkiminen on noussut tärkeäksi nyky-yhteiskunnassa, koska teknologia on kehittynyt tasolle, joka mahdollistaa koulutuksen siirtymisen pois kouluista (Kobayashi ym., 2021, s.3169). Tämä on erityisen tarpeellista etenkin silloin kun koulurakennukseen ei ole mahdollista tulla erilaisten syiden, esimerkiksi pandemioiden takia. Etäopetuksessa melkein kaikki opetus ja siihen liittyvä materiaali jaetaan internetin välityksellä erilaisilla alustoilla, esimerkiksi Zoomissa ja Google Classroomissa. Opettaja ei pysty tällöin suoraan valvomaan oppilaan toimintaa ja ohjeistamaan häntä suoraan näkemänsä perusteella. Tämä poikkeaa normaalista opetuksesta, jossa opettaja ja oppilas ovat suorassa vuorovaikutuksessa toisiinsa. Tästä johtuen etäopetus on itsenäisempää ja oppilas joutuu suurempaan vastuuseen kuin perinteisessä opetuksessa (Mercier ym., 2021, s.58).

On huomattu, että etäopetuksen yksi suurimmista ongelmista on oppilaiden motivaation heikkeneminen, koska häiriötekijöitä on enemmän etäopetuksessa kuin perinteisessä lähiopetuksessa (Mercier ym., 2021, s.60). Koska etäopetus on itsenäisempää työskentelyä kuin perinteinen opetus, se vaatii suurta määrää motivaatiota, jotta oppilas jaksaa pysyä mukaana opetuksessa. Tämän lisäksi kolmasosa oppilaista koki, että kommunikointi muiden oppilaiden ja opettajan kanssa oli vaikeampaa kuin lähiopetuksessa (Mercier ym., 2021, s.60). Kommunikoinnin vaikeutuminen voi aiheuttaa ongelmia oppilaan motivaatiossa, joka heikentää etäopetuksessa menestymistä. Motivaation ylläpitämiseksi etäopetuksessa kannattaa soveltaa aktiivisia opetusmenetelmiä (Mercier ym., 2021, s.60). Aktiiviset opetusmenetelmät innostavat oppilaita enemmän, jolloin heillä on vähemmän mahdollisuuksia altistua häiriötekijöille (Mercier ym., 2021, s.60). Näin ollen virtuaalilaboratoriot voisivat motivoida opiskelijaa lisäämällä aktiivista työtä etäopetuksessa.

### **3. Virtuaalisten laboratorioiden edellytykset**

Tässä kappaleessa käsitellään virtuaalilaboratorioiden teknisiä ja käytännön vaatimuksia. Tämä mahdollistaa virtuaalilaboratorioiden käytännöllisyyden analysoimisen osana etäopetusta, kun tiedetään siihen vaikuttavat tekijät.

#### **3.1 Käyttönoton edellytykset**

Virtuaalilaboratorioiden käyttöönottoon on useita eri tapoja. Useimmiten virtuaalilaboratorio on ohjelmisto, joka otetaan käyttöön lataamalla se jollekin laitteelle, käyttämällä sitä pilvipalvelun kautta tai käyttämällä sitä internetselaimen kautta (Kobayashi ym., 2021, s.3164). Koska virtuaaliset laboratoriot ovat hyvin riippuvaisia käytössä olevan teknologian tehosta sen valinnassa tulee ottaa huomioon monet erilaiset tekijät. Yleisimmät rajaavat tekijät ovat teknologian rajoitukset, kuten käytettävissä olevan tallennustilan suuruus tai opetuksen pedagogiset tavoitteet (Kobayashi ym., 2021, s.3163).

Jos virtuaalilaboratorion ohjelmisto on saatavilla lataamalla, se on usein ladattava oppilaan omalle koneelle tai koulun palvelimelle, josta lisenssi on usein avoimesti käytettävissä vain koulun oman wifin kautta (Kobayashi ym., 2021, 3164). Tämä rajoitettu saatavuus johtuu usein siitä, että ohjelmiston lisenssin hinta määräytyy käyttäjien määrän mukaan, tai jos se on koko koulun laajuinen, sen käyttö on lisenssin mukaan rajoitettu vain ostajan eli koulun alueelle (Kobayashi ym., 2021, 3164). Tämä voi olla ongelmallista etäopetuksessa, koska ohjelmiston täytyy olla ladattuna oppilaan koneelle sillä hän ei voi liittyä koulun internetiin, ellei käytössä ole erillistä virtuaalista erillisverkkoa eli VPN:ää (Kobayashi ym., 2021, 3164). VPN:n käyttöönotto vaatii lisäresursseja liittyen sen käytön opettamiseen ym., joten se on monimutkainen tapa ottaa virtuaalilaboratoriot käyttöön osana opetusta. Koska etäopetuksessa on käytettävissä samat tunnit kuin perinteisessä opetuksessakin, ylimääräinen teknologia vaikeuksien takia käytetty aika, joka voitaisiin käyttää tehokkaammin aktiiviseen opetukseen. Koulun wifiin liittyvän ohjelmiston tilalle on kuitenkin jo uusia mahdollisuuksia, joissa ohjelmisto ladataan pilvipalveluun, josta oppilaat voivat käyttää sitä omilta laitteiltaan missä tahansa (Kobayashi ym., 2021 s. 3164).

Lisäksi moni virtuaalilaboratorio edellyttää hyvää nettiyhteyttä toimiakseen (Kobayashi ym., 2021, s.3164). Tämä vaikuttaa siihen, miten ja missä ohjelmistoa voidaan käyttää. Nettiyhteyden tehokkuudessa ei ole yleensä rajoittava tekijä suomalaisissa kouluissa, joissa nykyään on usein yhteinen internet-yhteys käytettävissä. Sama ei kuitenkaan päde etäopetuksessa, johon oppilas joutuu osallistumaan omilla resursseillaan. Internetyhteys saattaa olla huono, josta johtuen työskentely voi vaikeutua esim. ohjelman hitauden tai muun teknisen ongelman vuoksi (Kobayashi ym., 2021, s.3164). Silloin kokemus virtuaalilaboratorioissa työskentelystä voi jäädä negatiiviseksi. Tämän lisäksi, jos oppilaan internet yhteys on huono, hän ei välttämättä pysty etäopetuksen aikana suorittamaan virtuaalilaboratorioita, jolloin hän jää epätasa-arvoiseen asemaan muihin oppilaisiin verrattuna.

### **3.2 Graafiset edellytykset**

Internet- ja latausedellytykset ovat usein suurempia ohjelmistoissa, joissa on paljon ominaisuuksia ja realistiset grafiikat (Kobayashi ym., 2021, s.3164). Tämän lisäksi, mitä enemmän ominaisuuksia ja mitä parempia grafiikoita virtuaalilaboratoriot käyttävät, sitä tehokkaampaa teknologiaa niiden käyttämiseen vaaditaan (Kobayashi ym., 2021, s.3164). Yleisesti ottaen tietotekniikalla kuva voidaan esittää 2D, 3D sekä VR eli virtuaalitodellisuus esityksenä. Näiden lisäksi on myös NUI-syöttölaitteita (Natural user interface) eli luonnollisia käyttöliittymiä, joilla voidaan lisätä oppilaan immersiota virtuaalisessa laboratoriossa (Chan ym., 2021, s.1). NUI-syöttölaitteet mahdollistavat virtuaalilaboratoriossa työskentelyn oppilaan liikkeitä seuraamalla. Tällainen teknologia mahdollistaa hyvinkin realistisen tuntuksen kokemuksen, jossa oppilaalla on mahdollisuus työskennellä virtuaalisessa laboratoriossa omien liikkeiden avulla.

NUI-syöttölaitteiden käyttö on kuitenkin hyvin uutta, siihen tarvittavan teknologian uutuuden takia. Chan ym. kirjallisuuskatsauksessa, jossa tutkittiin kemian virtuaalilaboratorioita koskevaa tutkimusta vuosilta 2003-2020 huomattiin, että kirjallisuuskatsauksen kriteerit täyttävästä kirjallisuudesta 76 artikkelista vain 14 artikkelissa mainitsee näiden syöttölaitteiden käytöstä (Chan ym., 2021, s. 7). Katsaus on vuodelta 2021, joten tutkimuksia on tehty enemmän julkaisuvuoden jälkeen. On kuitenkin myös hyvä huomata, että

NUI-syöttölaitteiden käyttö edellyttää lisää teknologiaa ja niihin erikoistuneita virtuaalilaboratorioita, joten niiden käyttöönotto lisää kustannuksia sekä teknisiä edellytyksiä.

Graafiset esitystavat voivat lisätä virtuaalilaboratorion kuluja, koska esim. VR-työskentelyä varten tarvitaan erilliset virtuaalilasit, jotka ovat edelleen varsin kalliita. Lisäksi virtuaalitodellisuuden ei ole osoitettu tehostavan oppimistuloksia muihin esitystapoihin verrattessa (Chan ym, 2021, s.11). VR-teknologia on vielä kuitenkin kehittyvää ja opetuskäytössä pitää edelleen huomioida, että monet oppilaat eivät ole käyttäneet virtuaalitodellisuutta aikaisemmin, ja täten tämä voi aiheuttaa haasteita. Yksi esimerkki tästä on kasvanut kognitiivinen kuorma, joka vaikuttaa negatiivisesti oppilaiden opiskelu tehoon (Ali ja Ullah, 2025, s.18890). VR:n käyttöönotossa pitää harkita ylimääräisen kalliin laitteiston hankintaa osana opetukseen meneviä kuluja. Korkean hinnan ja vähäisen käyttökokemuksen takia oppilaille ei todennäköisesti olisi omia virtuaalitodellisuuslaseja vaan ne pitäisi aina lainata koululta, jos niitä halutaan käyttää osana etäopetusta.

Pedagogista näyttöä on osasta kemian virtuaalilaboratorioiden tyypeistä hyvin vähän. Chan ym. kirjallisuuskatsauksesta nähdään, että suurin osa kemian virtuaalilaboratorioihin liittyvistä tutkimuksista on kohdistettu 11-18-vuotiaisiin ja 3D esitys muotoihin (Chan ym., 2021, s.11). Tämä jättää erityisen ison aukon alakouluikäisten kohdalle, jotka voisivat suurestikin hyötyä virtuaalilaboratorioista, koska suomalaisissa alakouluissa ei usein ole saatavuutta perinteisiin laboratorio olosuhteisiin. Tämän lisäksi 3D esitysmuotoihin painottunut tutkimus jättää suuria aukkoja virtuaalilaboratorioihin liittyvään tietämykseen, koska kaikkein saatavimmilla olevat virtuaalilaboratoriot ovat internetselaimesta saatavat ohjelmat, joiden esitysmuoto on usein 2D.

Vaikka suurin osa virtuaalilaboratorioista tehdystä tutkimuksesta koskee maksullisia ohjelmistoja, nykyään on myös ilmaisia ohjelmistoja saatavilla (Chan ym., 2021, s.11). Nämä ilmaiset vaihtoehdot ovat avoimen saatavuuden kurseja tai alustoja, jotka mahdollistavat työskentelyn esim. mobiililaitteilla (Mercier ym., 2021, s.60). Avoimen saatavuuden virtuaalilaboratoriot ovat kaikkein helpoimmin käytettävissä niin koulussa kuin kotonakin, koska niitä voi käyttää monilla laitteilla ilmaiseksi. Näin ollen ne ovat myös käyttökelpoisimpia tilanteissa, joissa oppilaille ei ole pääsyä tietokoneelle. Lisäksi Suomessa on nykyään useilla kouluilla lainattavia tietokoneita tai tabletteja, joilla oppilaat voivat

työskennellä niin kotona kuin koulussakin. Tämä vahvistaa oppilaiden mahdollisuutta osallistua etäopetukseen ja virtuaalilaboratorioihin.

Tutkimuksissa on havaittu että 2D esitystapa on hyvin epärealistinen, kun taas 3D ja VR esitystavat koettiin realistisempina, etenkin, jos niihin oltiin yhdistetty NUI-teknologiaa (Chan ym. 2021, 7). Todennäköisesti tästä realismista johtuen 3D-grafiikat todettiin parhaaksi esitysmuodoksi etäopetuksessa (Kobayashi ym., 2021 s.3169). Nämä realistisemmat esitystavat usein kuitenkin edellyttävät ladattavaa ohjelmistoa ja/tai vahvempaa internet yhteyttä, joten realismin saavuttaminen virtuaalilaboratoriossa vaatii teknologisesti enemmän (Kobayashi ym., 2021 s.3164). Internet ja lataus edellytykset haittaavat etenkin etäopetuksessa, jossa internetin laatu ja aika ohjeistaa lataamisen liittyviä asioita läpi oppilaiden kanssa on rajattua. Tämän lisäksi nämä ohjelmistot ovat usein kalliimpia (Chan ym., 2021, s.12). Toisin sanoen realismin saavuttaminen virtuaalilaboratorioissa edellyttää enemmän resursseja, joka pitää ottaa huomioon, kun niitä verrataan muihin virtuaalilaboratorioihin.

#### **4. SWOT-analyysi virtuaalilaboratorioiden käytöstä osana etäopetusta**

Tämän tutkielman päälähteinä SWOT-analyysissä toimivat Chan ym. (2021) kirjallisuuskatsaus, Mercier ym.(2021), Kobayashi ym.(2021), sekä Ali ja Ullahin (2024) tutkimusartikkelit. Chan ym. vuonna 2021 tekemä kirjallisuuskatsaus koostuu 76:desta englanninkielisestä artikkelista, jotka on toteutettu vuosina 2000-2020. Artikkelit on rajattu niin, että tutkittua virtuaalilaboratoriota on täytynyt kuvailla ja sen on täytynyt olla simulaatio laboratorio-olosuhteista. Sisällytetyt artikkelit ovat toteutettu useissa maissa ja tutkimuksien otoskoot vaihtelivat suuresti tutkimusten välillä.

Mercier ym. vuonna 2021 kirjoittama artikkeli tutkii kemian etäopetusta se pohjautuu muihin kemian tutkimus artikkeleihin sekä Sveitsiläisessä yliopistossa vuonna 2020 toteutettuun 19 opettajan ja 73 oppilaan vastaamaan kyselyyn. Kobayashi ym. vuonna 2021 kirjoittama artikkeli tutkii kemian etäopetusta virtuaalilaboratorioiden avulla ja se koostuu neljästä erilaisesta tapaustutkimuksesta, jotka suoritettiin Australialaisessa yliopistossa osana hybridi- tai etäopetusta. Ali ja Ullahin vuonna 2024 tekemä tutkimus keskittyi kognitiivisen kuorman

vähentämiseen virtuaalilaboratorioissa. Tutkimus toteutettiin 48:lla 15-17v oppilaalla, joiden kansalaisuutta ei määritelty tarkasti artikkelissa.

#### **4.1 Vahvuudet**

Yleisimpiä syitä, miksi virtuaalilaboratorioita pidetään tehokkaampina kuin perinteisiä laboratorioita ovat halvempi hinta ja laboratorio-olosuhteiden saatavuus (Chan ym., 2021). Tarvittavien laboratoriovälineiden ja reagenssien hankkiminen voi olla kallista, joten tietynlaiset kokeet voivat olla kannattavampia tehdä virtuaalisissa laboratorioissa, etenkin jos ne halutaan toistaa useita kertoja (Ali ja Ullah, 2025, s.18874). Etenkin kouluissa, joissa materiaali budjetti on hyvin rajallinen. Lisäksi jotakin kemiallisia reaktioita ei voi tehdä, jolloin virtuaalilaboratoriot voivat olla ainoa tapa toteuttaa koe käytännössä.

Jos reagenssit kuljettaisiin etäopetuksessa oppilaalle olisi seuraava ongelma etäopetuksessa laboratorio-olosuhteiden saatavuus. Virtuaalilaboratoriot mahdollistavat kokeiden tekemisen missä tahansa ympäristössä, kun perinteisten laboratoriotestien tekeminen etäopetuksessa ei välttämättä ole mahdollista oppilaan sijainti tilanteesta riippuen. Tämä on erityisen vaikeaa silloin kun etäopetuksen yhteydessä ei tarjota pääsyä perinteiseen laboratorioon osana opetusta. Jos perinteisten laboratorio-olosuhteiden saavuttaminen tai niissä vierailu ei ole mahdollista etäopetuksen ajan voivat virtuaalilaboratoriot olla ainoa tapa päästä tekemään kemiallisia kokeita etäopetuksessa.

Perinteisissä laboratorio-olosuhteissa vieraileminen osana etäopetusta voi olla erittäin hyödyllistä oppilaille, koska virtuaalilaboratoriot ovat kaikkien tehokkaimpia kun ne yhdistetään passiivisiin opetusmenetelmiin tai perinteisiin laboratorioihin (Chan ym., 2021, s.12). Näin ollen on kaikkein kannattavinta yhdistellä virtuaalilaboratorioita erilaisiin opetusmenetelmiin, mutta niillä on myös mahdollista korvata perinteiset laboratoriot, jos se on tarpeellista (Chan ym., 2021, s.12). Tämä johtuu siitä, että perinteisellä laboratorio opetuksella ja virtuaalilaboratorio-opetuksella ei olla havaittu suuria oppimis eroja (Chan ym., 2021, s.12).

Opetuksessa on tärkeää huomioida oppilaiden osallistuttaminen opetuksen aikana. Tällöin opetus voidaan jakaa passiiviseen ja aktiiviseen oppimiseen/opettamiseen. Passiivisessa oppimisessa oppilaiden ei tarvitse ottaa aktiivisesti osaa oppimisen aikana esim. luennot ja

demonstraatiot kun aktiivisessa oppimisessa oppilas ottaa aktiivisen roolin opetuksen aikana esim. perinteiset laboratoriotyöt (Chan ym., 2021, s.3). Virtuaalilaboratorioita pidetään aktiivisena opettamisen muotona, koska ne vaativat oppilaan osallistumista niiden hallitsemiseen (Chan ym., 2021, s.3). Kun virtuaalilaboratorioita verrattiin pelkästään passiivisiin opetusmenetelmiin huomattiin, että oppilaat saivat usein parempia oppimistuloksia deklarativisessa tiedossa, koetussa tehokkuudessa sekä syy-seuraussuhteissa (Chan ym., 2021, s.5). Näin ollen virtuaalilaboratorioita kannattaa käyttää opetuksessa ainakin tehostamaan passiivisia opetusmenetelmiä. Tämä on huomioitava etenkin etäopetuksessa, jossa aktiivinen opetus on tärkeää oppilaiden mielenkiinnon ylläpitämiseksi (Mercier ym., 2021, s.60). Koska aktiivinen opetus on tärkeää etäopetuksessa virtuaalilaboratoriot voisivat olla hyvä tapa sisällyttää lisää aktiivisuutta opetukseen.

Virtuaalilaboratorioita on nykyään monenlaisia (Kobayashi ym., 2021, s.3164). Tämä mahdollistaa sen, että erilaisiin opetus tarpeisiin löytyy todennäköisesti sopiva virtuaalilaboratorio. Monipuolisuus mahdollistaa sen, että virtuaalilaboratorio voidaan valita useamman tekijän perusteella. Näistä esim. oppimisteoria ja aihe ovat tärkeitä kun halutaan valita sopiva virtuaalilaboratorio opetuskäyttöön (Chan ym., 2021, s. 9). Tämä helpottaa opettajan työtä osana etäopetusta, koska monet opettajat kokevat, että oppimateriaalin tekeminen/löytäminen etäopetusta varten vie paljon aikaa (Mercier ym., 2021, s.63). Jos opettajilla on käytössään monipuolinen virtuaalilaboratorio, jota soveltaa useampaan tehtävään se voi vapauttaa aikaa suunnittelusta muuhun tarpeelliseen työhön.

Kun virtuaalisia laboratorioita verrataan perinteisiin laboratorioihin saadaan pääosin samanlaisia tuloksia oppilaiden itse koetusta tehokkuudesta sekä tunteista laboratoriotyöskentelyä kohtaan (Chan ym., 2021, s.5). Tämä osoittaa, että oppilaat saavat positiivisia kokemuksia laboratorioissa työskentelystä virtuaalilaboratorioissakin ja niissä työskentely auttaa oppilaita saavuttamaan positiivisemmän asenteen omaa työskentelyään kohtaan. Virtuaalilaboratoriot olivat yhtä hyviä opetusvälineitä ja välillä parempiakin kuin perinteiset laboratoriot, kun tutkittiin oppilaiden affektiivista oppimista, oppilaiden asennetta kemian laboratorioihin sekä käytettävyyttä (Chan ym., 2021, s.10). Tämä todistaa, että joissakin tapauksissa virtuaalilaboratorioissa työskentely voi korvata perinteisessä laboratorioissa työskentelyn. Tämän on tärkeää, etenkin jos etäopetuksessa ei ole pääsyä perinteiseen kemian laboratorioon.

Virtuaalilaboratoriossa tehtävässä työssä kuluu usein vähemmän aikaa kuin perinteisessä laboratoriossa tehtävässä kokeessa (Chan ym., 2021, s.10). Tämä vapauttaa enemmän aikaa muuhun opetukseen, jolloin opetustunnista jää enemmän aikaa muuhun työskentelyyn. Tämän lisäksi aikaa voidaan säästää perinteisissä laboratorioissa, jos oppilaat ovat saaneet harjoitella niissä työskentelyä ensin virtuaalisesti (Chan ym., 2021, s.11). Tämä voi olla erityisen tärkeää, jos oppilaat pääsevät perinteisiin laboratorioihin vain muutaman kerran. Tällöin virtuaalilaboratoriossa työskentely on voinut antaa heille valmiiksi perustaidot perinteisessä laboratoriossa työskentelyyn ja näin he voivat saada enemmän hyötyä lyhyestä työskentelystä perinteisessä laboratoriossa.

## 4.2 Heikkoudet

Vaikka monet oppilaat ovat nykyään jatkuvasti tekemisissä erilaisten teknologioiden kanssa ei pidä olettaa, että he pystyvät heti toimimaan tehokkaasti virtuaalisissa laboratoriossa (Mercier ym., 2021, s.63). Virtuaaliset laboratoriot voivat nimittäin toimia eri tavalla kuin heidän yleisesti käyttämänsä teknologiat. Tämä ja virtuaalisessa ympäristössä olevan tiedon määrä voi johtaa oppilaan liialliseen kognitiiviseen kuormaan (Ali ja Ullah, 2025, s.18873). Kognitiivinen kuorma aiheuttaa alentuneen suorituskyvyn, koska oppilaan täytyy ottaa huomioon ja soveltaa liian paljon informaatiota samaan aikaan (Ali ja Ullah, 2025, s.18874).

Suuri kognitiivinen kuorma on havaittu erityisesti VR-pohjaisten virtuaalilaboratorioiden yhteydessä (Chan ym., 2021, s.10). Kognitiivinen kuorma haittaa etenkin realistisempien virtuaalilaboratorioiden käyttöä, koska niiden käyttö on monimutkaisempaa ja erilaisia ärsykeitä tulee paljon samaan aikaan (Chan ym., 2021, s.10). Tämä on harmillista, koska oppilaat kokevat realististen virtuaalilaboratorioiden olevan autenttisempia ja realistisempia simulaatioita laboratorioskokeista (Chan ym., 2021, s.7). Autenttisuuden ja realismin kokeminen etenkin etäopetuksessa on tärkeää, jos oppilailla ei ole pääsyä perinteiseen laboratorioon. Tällöin virtuaalilaboratoriot ovat heidän ainoa kokemuksensa laboratoriossa työskentelystä. Epärealistinen laboratorio kokemus ei välttämättä täten hyödytä oppilasta, jos hänen pitää tulevaisuudessa pystyä toimimaan pätevästi perinteisissä laboratorio-olosuhteissa.

Opettajat kokevat, että etäopetuksessa heidän ja oppilaan välinen vuorovaikutus heikkenee (Kobayashi ym., 2021, s. 3169). Tämä vuorovaikutuksen heikkeneminen vaikuttaa erityisesti

virtuaalisten laboratorioden käyttöön, koska niiden käyttöönotto ja lisenssien hallinta vaatii huomattavan määrän ohjeistusta opettajalta (Kobayashi ym., 2021, s. 3163). Näin ollen virtuaalilaboratorioiden käyttöönotto ja hyödyntäminen opetuksessa voivat käydä liian vaivalloisiksi. Jos opettaja tekee ensin opetusmateriaalin virtuaalilaboratorion käyttöönotosta ja hallinnasta, antaa oppilaiden ladata tarvittavat tiedostot ja opettaa käyttämään niitä verrataan muuhun aktiivisen oppimiseen esim. laskutehtävien tekemiseen.

Etäopetuksessa on myös pystyttävä ottamaan huomioon oppilaiden käyttämän teknologian. Virtuaalilaboratorioiden käyttöönoton edellytykset vaativat riittävää teknologista ja internet tehokkuutta. Jos oppilailla on etäopetuksen aikana saatavilla vain itse hankittu teknologia, voi olla, että kaikki virtuaalilaboratoriot eivät ole saatavilla näillä laitteilla tai, että laitteilla ei ole tarpeeksi tilaa tai suorituskykyä virtuaalilaboratorioiden käyttöönottoon (Kobayashi ym., 2021, s. 3164). Tällöin sopivaa virtuaalilaboratoriota voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta löytää, jos oppilaiden teknologia ja internet tehokkuudet ovat hyvin erilaisia. Jos oppilaat jaetaan käyttämään erilaisia virtuaalilaboratorioita heidän teknologisen pystyvyyden mukaan voi tämä aiheuttaa eriarvoisuutta oppilaiden kesken esim. 3D virtuaalilaboratoriot ovat tutkitusti enemmän mielenkiintoa herättävämpiä kuin 2D virtuaalilaboratoriot (Kobayashi ym., 2021, s. 3163). Tämä saattaa johtaa siihen, että 3D-ympäristössä työskentelevät oppilaat osallistuvat tehokkaammin työskentelyyn kuin 2D-ympäristössä työskentelevät oppilaat. Tämä ei ole suotavaa, koska haluamme että kaikki oppilaat saavat tasavertaista opetusta.

Virtuaalilaboratorioiden avulla on vaikeaa opettaa oppilasta täysin kykeneväksi perinteisten laboratorioden käyttäjäksi. Tämä johtuu siitä, että virtuaalilaboratoriossa ei opita kaikkia laboratorio käytänteitä esim. siivoamista ja käytännön taitoja laboratorio välineistön kanssa työskentelystä (Ali ja Ullah, 2025, s. 18876), (Mercier ym. 2021 s. 62). Tämä johtaa siihen, että oppilaat saavat virtuaalilaboratorioiden avulla kokemusta laboratoriotyöskentelystä, mutta he eivät välttämättä ole yhtä päteviä kuin, jos heillä olisi kokemusta perinteisissä laboratorio-olosuhteissa työskentelystä.

Tämä on kuitenkin hieman epävarmaa, koska tutkimuksia siitä, että virtuaaliset laboratoriot olisivat huompia kuin perinteiset laboratoriot ei ole (Chan ym., 2021, s.10) On kuitenkin tärkeää huomioida, että tämän hetkinen data ei ole tältä osin täysin varmaa, koska tällä hetkellä virtuaalilaboratorioissa suoritettavat kokeet ovat huomattavasti yksinkertaisempia kuin perinteisissä laboratorioissa suoritettavat kokeet (Chan ym., 2021, s.10). Näin ollen

oppilaiden taidot ja käsitys kemian laboratoriossa työskentelystä voivat jäädä hyvinkin rajalliseksi perinteisten laboratorioiden osalta, jos etäopetuksessa on mahdollista käyttää vain virtuaalisia laboratorioita.

Tehokkaan oppimisteorian lisäksi on huomattu, että oppilaat tarvitsevat ohjeistusta etäopetuksen virtuaalilaboratorioissa menestyäkseen (Kobayashi ym., 2021, s.3165). Etäopetuksessa on huomattu, että parhaiten ohjeistusta voidaan antaa suullisesti (Kobayashi ym., 2021, s.3165). Näin ollen virtuaalilaboratoriot vaativat jatkuvaa seuranta opettajalta, jotta oppilaat voivat menestyä niissä. Tämä voi olla erityisen vaikeaa, jos oppilaat eivät voi jakaa ruutuaan opettajalle, jos he kohtaavat ongelmia virtuaalilaboratorioiden suorituksessa etenkin etäopetuksessa.

Tämän lisäksi on tärkeää, että opettajilla on itsellään hyvä osaaminen käytettävässä virtuaalilaboratoriossa. On huomattu, että ainoa selvästi negatiivinen kokemus virtuaalilaboratorioiden käytöstä liittyi ohjaajan osaamattomuuteen lähiopetuksessa (Chan ym. 2021). Tämä varmasti moninkertaistuu etäopetuksessa, kun opettaja ei usein pysty fyysisesti auttamaan oppilasta vaan hänen on usein selvittävä siitä itsenäisesti.

Yksi huomattava ongelma on myös oppilaiden tylsistyminen virtuaalilaboratorion käytön aikana (Ali ja Ullah, 2025, s. 18890). Tämä on erityisen yleistä oppilailla, jotka eivät ole motivoituneita tekemään kokeita virtuaalisessa laboratoriossa (Ali ja Ullah 2025, s. 18890). Tämä on erityisen vaikeaa etenkin jos virtuaalilaboratoriot ovat oppilaalle ainoa tapa toimia laboratoriossa. Jos oppilas ei tylsistymisen takia tee kokeita kunnolla hän ei hyödy virtuaalilaboratorion käytöstä.

### **4.3 Mahdollisuudet**

Tulevaisuudessa todennäköisesti paras tapa käyttää virtuaalilaboratorioita osana opetusta on yhdistää niitä perinteisissä laboratoriossa työskentelyn kanssa. Kun virtuaalilaboratorioita yhdistettiin passiivisen opetuksen tai perinteisten laboratorioiden kanssa oppimistulokset olivat parempia kuin jos oppilaat saivat pelkästään passiivista- tai perinteistä laboratorio opetusta (Chan ym., 2021, s.5-6). Etäopetuksessa tätä voitaisiin soveltaa niin, että oppilailla olisi välillä mahdollisuuksia käydä kokeilemassa perinteisiä laboratorio-olosuhteita paikan päällä tai pyrkimällä simuloimaan perinteisiä laboratorio-olosuhteita etäältä.

Tulevaisuudessa virtuaalilaboratorioita voidaan myös kehittää, kun niistä on saatu pedagogista tutkimustietoa. Esimerkiksi virtuaalisten laboratorioiden kognitiivista kuormaa voitaisiin vähentää yksinkertaistamalla virtuaalista ympäristöä niin, että saatavilla on vain meneillään olevaan työhön liittyvät tarpeet (Ali ja Ullah 2025, s.18890). Tämän lisäksi kognitiivista kuormaa voidaan vähentää ääni ohjeistuksella ja esittämällä tietoa siihen liittyvien esineiden lähellä (Chan ym., 2021, s.8). Kognitiivisen kuorman vähentämisen lisäksi tärkeä kehitys virtuaalilaboratorioihin olisi se, että ne perustuivat hyväksi todettuihin oppimistapoihin ja niissä olisi tarpeeksi tapoja tukea oppilasta (Chan ym., 2021, s.2). Tällaiset kehitysaskeleet ovat etenkin nykyään hyvin mahdollisia, koska virtuaalilaboratorioiden käyttöön osana opetusta on saatavilla paljon tutkimusta.

Oppilaiden kuorman vähentämisen lisäksi virtuaalilaboratoriot voivat vähentää opettajien työn kuormaa. Opettajat kokivat, että etäopetuksen soveltuvien materiaalien tekeminen vaatii paljon aikaa ja vaivaa verrattuna tutumpiin lähiopetuksen materiaaleihin (Mercier ym., 2021, s.63). Virtuaalilaboratoriot voivat keventää opettajan työkuormaa, koska ne ovat valmiiksi tehtyjä simulaatioita, joita opettaja voi käyttää apunaan opetuksessa. Jotkin virtuaalilaboratoriot voivat myös keventää kuormaa, jos niihin on sisällytetty ohjevideoita niiden käyttöönottoon ja käyttämiseen liittyen. Näin opettajalta vapautunut aika voidaan hyödyntää tehokkaammin esim. yksittäisten oppilaiden ohjaamiseen.

Virtuaalilaboratorioiden kanssa harjoittelu voi olla tulevaisuudessa myös apu työnhaussa. Koska useat yritykset pyrkivät palkkaamaan tietoteknisesti osaavia työntekijöitä, teknologinen osaaminen voi vaikuttaa oppilaiden työnhaku menestykseen (Mercier ym., 2021, s.62). Tämä on erityisen tärkeää koulutuksessa, joka johtaa kemiallisille aloille valmistumiseen, mutta tietoteknisestä osaamisesta on varmasti tulevaisuudessa kaiken tasoille opiskelijoille hyötyä.

#### **4.4 Uhat**

Eräs ongelmana virtuaalilaboratorioiden opetuskäytön kanssa on se, että suurin osa niihin liittyvästä tutkimuksesta on kohdistettu vain toisen asteen koulutukseen (Chan ym., 2021, s.2). Tämä voi vääristää tutkimustietoa kun arvioidaan virtuaalisten laboratorioiden käyttöä

eri ikätasoilla. Tämä on haaste, koska esimerkiksi alakouluissa ei ole aina mahdollisuuksia saavuttaa laboratorio-olosuhteita, jolloin virtuaalilaboratorioista voisi olla hyötyä. Tämän lisäksi toisen asteen laboratoriotyöt ovat vielä yksinkertaisia, joten virtuaali laboratorioista on puutteellista tietoa kun ajatellaan monimutkaisia laboratoriotoita (Chan ym., 2021, s.10). Näiden tiedollisten aukkojen täydentäminen vaatisi laajempaa tutkimusta virtuaalilaboratorioiden käytöstä kuin aiemmin.

Tällä hetkellä kaikki virtuaalilaboratoriot eivät ole suunniteltu pedagogisesti tehokkaiksi. Chan ym. tekemässä analyysissä noin 72% artikkeleista ei ollut ilmoittanut sitä, mihin oppimisteorioihin tutkitut virtuaali laboratoriot perustuvat (Chan ym. 2021, s.9). Tällainen puute on suuri ongelma, koska opetuksen pitäisi pohjautua tutkimustietoon, jotta se tukisi oppimista mahdollisimman hyvin (Chan ym. 2021, s.12). Vaikka virtuaaliset laboratoriot tuottavat positiivisia oppimistuloksia jo nyt, on tärkeää huomata, että pedagogiikka painotteinen tutkimus voisi tuoda esille tehokkaampia opetusteorioita, joita virtuaalilaboratorioiden kannattaisi soveltaa tulevaisuudessa (Chan ym. 2021, s.12). Tehokkaan opetustavan valitseminen on tärkeää, koska opetukseen on varattu vain rajallinen aika ja sen hyödyntäminen mahdollisimman tehokkaasti on tärkeää.

Virtuaalilaboratorioiden suurimmat tulevaisuuden uhat riippuvat siitä, miten niiden kehityksessä otetaan huomioon tutkimustietoa. Virtuaalilaboratoriot kehittyvät muun teknologian mukana, mutta jotta ne ovat mahdollisimman tehokkaita opetuksessa niiden pitää perustua tutkimukseen ja oppilaiden tarpeisiin. Tämä on erityisen tärkeää, koska virtuaalilaboratorioissa käytetty teknologia kehittyy nopeasti.

## **5. Johtopäätökset ja pohdinta**

On tärkeää, että virtuaalilaboratorioiden käyttöä opetuksessa harkitaan siinä missä muitakin opetusvälineitä. Kemianopettajilla on suuri määrä välineitä, joita he voivat käyttää opetuksessa ja niiden valinta perustuu laajalti sen hetkisiin olosuhteisiin. Etäopetus rajoittaa suuresti etenkin perinteisiin laboratorioihin pääsyä, joten on tärkeää, että oppilaat saavat kokemusta myös laboratoriotyöskentelystä. Vaikka virtuaalilaboratoriot eivät voi korvata kaikkia perinteisissä laboratorioissa tehtyjä kokeita, ne toimivat hyvänä korvikkeena perinteisille laboratorioille, etenkin jos perinteisiin laboratorio-olosuhteisiin ei ole pääsyä.

Jos virtuaalisia laboratorioita käytetään opetuksessa, ei saa olettaa, että oppilaat osaisivat diginatiiveina käyttää kaikkea teknologiaa sujuvasti. Heille on tarjottava sopivaa ohjausta niin kuin perinteisissäkin laboratorioissa. Tämä ohjaus on soveliaista antaa virtuaalilaboratorioissa lähellä sitä paikkaa, jossa tieto on tärkeää ja on sopivaa käyttää ääniohjeistusta apuna oppilaan tutustuessa virtuaalilaboratorioon ympäristönä. Tämän lisäksi opettajan on myös oltava pätevä käyttämään valittua virtuaalilaboratoriota, jotta hän voi ohjeistaa oppilaita tarvittaessa.

On myös tärkeää huomioida, että virtuaalilaboratorioita ei vertailla pelkästään perinteisiin laboratorioihin, vaan ne otetaan huomioon yhtenä aktiivisen oppimisen välineenä. Oikein toteutettuna ne takaavat halvan, turvallisen ja melkein kaikkialla saavutettavan ympäristön, jossa oppilaat voivat oppia uutta ja harjoittaa jo oppimaansa. Tämä on erityisen tärkeää etäopetuksessa, jossa oppilaiden on saatava aktiivista tekemistä mielenkiinnon ylläpitämiseksi. Kaikkein toimivimmillaan virtuaalilaboratoriot ovat silloin kun niitä sovelletaan osana opetusta, joka sisältää sekä passiivista, että aktiivista opetusta.

Virtuaalilaboratorioiden oppimistulokset olivat erityisen hyvät silloin, kun niitä pystyttiin soveltamaan perinteisten laboratorioiden kanssa. Tarkoituksena ei ole korvata kaikkea vanhaa uudella, vaan soveltaa uutta teknologiaa, jotta oppiminen olisi mahdollisimman tehokasta ja tasapuolisesti saavutettavaa.

Virtuaalisilla laboratorioilla on vielä kehitettävää pedagogisen pohjan rakentamiseksi ja kognitiivisen kuorman vähentämiseksi. On kuitenkin tärkeää huomata, että virtuaalilaboratorioiden oppimistulokset ovat jo nyt hyvin positiivisia, joten jatkuva kehitys tekee niistä kokoajan tehokkaamman vaihtoehdon osaksi opettajan työkalupakkia.

Virtuaalilaboratorioita kannattaa soveltaa osana etäopetusta. Ne tuovat aktiivisen osan oppilaiden saataville etäopetukseen ja mahdollistavat kompetenssin laboratoriotyöskentelyn perusasioiden osaamiseen. Jos oppilailla ei ole mahdollisuutta päästä perinteiseen laboratorioon osana etäopetusta on erityisen tärkeää, että heillä olisi mahdollisuus päästä käyttämään virtuaalista laboratoriota, jotta he voivat kehittää kemian perustaitona pidettyä laboratorio-osaamista.

## Lähteet:

Ali, N., Ullah, S. (2025). The effect of interactive tutorial information and purpose built virtual chemistry laboratory on students' performance. *Multimedia Tools and Applications* 84, 18873–18892 . <https://doi.org/10.1007/s11042-024-19808-2>

Benzaghta, M. A., Elwalda, A., Mousa, M. M., Erkan, I., & Rahman, M. (2021). SWOT analysis applications: An integrative literature review. *Journal of Global Business Insights*, 6(1), 55-73. <https://www.doi.org/10.5038/2640-6489.6.1.1148>

Chan, P., van Gerven, T., Dubois, J., Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open* 2 100053. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>.

Kobayashi, R., Goumans, T., Carstensen, N., Soini, T., Marzari, N., Timrov, I., Poncé, S., Linscott, E., Sewell, C., Pizzi, G., Ramirez, F., Bercx, M., Huber, S., Adorf, C., Talirz L. (2021). Virtual Computational Chemistry Teaching Laboratories—Hands-On at a Distance. *Journal of Chemical Education* 2021, 98, 10, 3163–3171. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00655>

Mercier VB., Scholten U., Baltensperger R., Gremaud L., Dabros M (2021). Distance Teaching in Chemistry: Opportunities and Limitations. *Chimia (Aarau)*. 2021 28;75(1-2):58-63. <https://doi.org/10.2533/chimia.2021.58> .