

Virtuaalilaboratorioiden käyttö kemian opetuksessa opettajien näkökulmasta

Pro gradu -tutkielma

Jyväskylän yliopisto

Kemian laitos

Kemian opettajankoulutus

30.05.2022

Pekka Rautanen

Tiivistelmä

Tutkielman kirjallisessa osassa käsiteltiin kemian opetuksen ominaispiirteitä ja niiden yhteyksiä virtuaalilaboratorio-ohjelmiin. Vuoden 2019 lukion opetussuunnitelman perusteita analysoitiin virtuaalilaboratorioiden näkökulmasta. Kyseisessä analyysissä käsiteltiin suoria mainintoja virtuaalilaboratorioiden käytöstä sekä tavoitteita ja sisältöjä, jotka liittyvät virtuaalilaboratorioihin ja niiden ominaisuuksiin. Lisäksi kirjallisessa osassa esiteltiin virtuaalilaboratorio-käsitteelle määritelmä ja tapoja luokitella erilaisia virtuaalilaboratorio-ohjelmia. Kirjallisessa osassa tarkasteltiin myös eri luokkiin kuuluvien virtuaalilaboratorio-ohjelmien mekaanisia, taloudellisia, logistisia ja muita käytännön ominaisuuksia sekä pedagogisia ominaisuuksia. Erityisesti virtuaalilaboratorioiden etäopetuskäyttöä käsiteltiin kirjallisessa osassa. Lopuksi esiteltiin opettajien ja opiskelijoiden asenteita virtuaalilaboratorioiden käyttöön liittyen.

Aiemman tutkimustiedon mukaan useat klassisiin simulaatioihin perustuvat virtuaalilaboratoriot soveltuvat hyvin kehittämään oppilaiden ymmärrystä kemiallisen tiedon moniulotteisuudesta. Toisaalta osa virtuaalilaboratorio-ohjelmista on suunniteltu siten, että käyttäjän on tehtävä jokainen kokeen työvaihe itse. Tällaiset monivaiheiset virtuaalilaboratorio-ohjelmat toimivat hyvin ongelmanratkaisutehtävien järjestämiseen ja oppilaiden korkeampien ajattelutaitojen kehittämisessä. Kirjallisessa osassa havaittiin myös, että opettajien ja opiskelijoiden mielestä eräs yleisimmistä virtuaalilaboratorioiden haasteista on niiden autenttisuuden puute. Opettajat arvostivat virtuaalilaboratorioiden mahdollistamaa paikasta riippumatonta kokeellista työskentelyä ja visualisointimahdollisuuksia.

Kokeellisessa osassa selvitettiin opettajien käyttötottumuksia virtuaalilaboratorioihin liittyen. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin opettajien kohtaamia hyötyjä ja haasteita virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä. Tutkimuksessa selvitettiin myös opettajien näkemyksiä virtuaalilaboratorioista opetusmenetelmänä. Tutkimus toteutettiin sähköisenä kyselytutkimuksena, johon vastasi 15 opettajaa.

Kokeellisessa osassa havaittiin, että opettajat arvostivat mahdollisuutta visualisoida mikrotason kemiaa virtuaalisen kokeellisen työn yhteydessä. Lisäksi opettajien mukaan virtuaalilaboratorioiden soveltaminen etäopetuksessa oli erityisen hyödyllistä. Merkittävimpiä opettajien kohtaamia haasteita olivat virtuaalilaboratorioiden autenttisuuden puute sekä virtuaalilaboratorioiden yhteensopivuusongelmat oppilaiden laitteilla.

Esipuhe

Tutkielman suunnittelu aloitettiin syksyllä 2020. Aiemmin kirjoittamassani kandidaatin tutkielmassa tarkasteltiin lyhyesti erilaisia kemian opetukseen soveltuvia mallinnusohjelmia. Näihin mallinnusohjelmiin sisältyivät myös virtuaalilaboratoriot. Opintoissani ei oikeastaan käsitelty virtuaalilaboratorioita, minkä vuoksi kyseisen aiheen tarkastelu oli erityisen kiinnostavaa. Myös kiinnostukseni teknologiaan perustuvia opetusmenetelmiä kohtaan vaikutti aiheen valintaan.

Aiheen rajauksessa otettiin huomioon, että virtuaalilaboratorio on varsin uusi opetusmenetelmä. Tämän vuoksi todettiin, että on tarkoituksenmukaista selvittää opettajien kokemuksia ja näkemyksiä virtuaalilaboratorioiden käytöstä yleisellä tasolla yksittäisen kemian aihealueen painottamisen sijaan. Aihetta rajatessa haluttiin painottaa opettajien näkökulmaa, koska konkreettiseen opetuskokemukseen perustuvat havainnot ja näkemykset virtuaalilaboratorioista olivat erittäin mielenkiintoisia.

Tutkielmassa hyödynnetty kirjallisuus hankittiin Google Scholar -hakukonetta sekä ERIC- ja Mendeley-tietokantaa käyttäen. Kirjallisen osan työstäminen aloitettiin syksyllä 2020 ja kirjoitettiin valmiiksi alkukeväällä 2022. Tutkielman kokeellista osaa varten toteutettiin kyselytutkimus keväällä 2021. Kerätyn datan avulla kirjoitettiin kokeellinen osa kevään 2022 aikana. Kokonaisuudessaan tutkielma viimeisteltiin keväällä 2022. Tutkielma toteutettiin Jyväskylässä. Tutkielman ohjaajana toimi FT yliopistonopettaja Jouni Välisaari.

Haluan esittää kiitokset ohjaajalleni Jouni Välisaarelle erinomaisesta, kannustavasta ja inspiroivasta ohjauksesta koko tutkielman suunnittelu- ja kirjoitusprosessin ajalta. Keski-Suomen LUMA-keskuksen koordinaattori Anniina Koliseva avusti kyselytutkimuksen toteuttamisessa, joten kiitokset kuuluvat myös hänelle. Lisäksi kiitän kyselytutkimukseen osallistuneita opettajia, joiden vastauksista selvisi hyvin mielenkiintoisia havaintoja ja näkemyksiä virtuaalilaboratorioiden opetuskäyttöön liittyen. Lopuksi haluan kiittää vaimoani, vanhempiani, sisaruksiani ja ystäviäni tuesta työn aikana.

Jyväskylässä 30.05.2022

Pekka Rautanen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	i
ESIPUHE.....	ii
SISÄLLYSLUETTELO.....	iii
<u>KIRJALLINEN OSA</u>	
1 Johdanto.....	1
2 Kemia oppiaineena.....	2
2.1 Kemiallisen tiedon moniulotteisuus.....	2
2.2 Kokeellinen työskentely kemian opetuksessa.....	4
2.3 Korkeammat ajattelutaidot kokeellisessa työskentelyssä.....	5
2.4 Mallit ja mallinnus kemian opetuksessa.....	8
2.5 Dynaamiset visualisointimenetelmät kemian opetuksessa.....	10
3 Virtuaalilaboratoriot lukion opetussuunnitelman perusteissa.....	13
4. Virtuaalilaboratoriot.....	17
4.1 Virtuaalilaboratorioiden määrittely ja luokittelu	17
4.2 Klassisiin simulaatioihin perustuvat virtuaalilaboratoriot.....	18
4.3 Realismia painottavat virtuaalilaboratoriot.....	21
4.4 Etälaboratoriot.....	23
4.5 Virtuaalitodellisuutta ja laajennettua todellisuutta hyödyntävät virtuaalilaboratoriot.....	24
5 Virtuaalilaboratorioiden käyttö etäopetuksessa.....	29
6 Virtuaalilaboratorioiden inklusiiviset ominaisuudet.....	30
7 Virtuaalilaboratorioiden logistiset, taloudelliset ja muut käytännön ominaisuudet.....	32
8 Opettajien ja opettajaopiskelijoiden asenteita virtuaalilaboratorioihin liittyen.....	34
9 Opiskelijoiden asenteita virtuaalilaboratorioihin liittyen.....	36
<u>KOKEELLINEN OSA</u>	
10 Tutkimuskysymykset.....	38
11. Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto.....	38
11.1 Kyselylomake tutkimusmenetelmänä.....	39
11.2 Sisällönanalyysi tutkimusmenetelmänä.....	40
12 Tutkimustulokset ja tulosten analysointi.....	41
12.1 Taustakysymykset.....	41
12.2 Opettajien virtuaalilaboratorioiden käyttötottumukset kemian lähi- ja etäopetuksessa...	42

12.3 Opettajien havaitsemat logistiset ja käytännön hyödyt ja haasteet virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä.....	45
12.4 Opettajien havaitsemat pedagogiikkaan liittyvät hyödyt ja haasteet virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä.....	49
12.5 Opettajien asenteet ja kiinnostus virtuaalilaboratorioita kohtaan.....	52
13 Pohdinta.....	54
13.1 Opettajien käyttämät virtuaalilaboratorio-ohjelmat ja virtuaalilaboratorioiden käytön määrä kemian opetuksessa.....	54
13.2 Opettajien havaitsemat hyödyt ja haasteet virtuaalilaboratorioiden käytössä.....	55
13.3 Opettajien näkemykset ja kokemukset virtuaalilaboratorioista.....	56
13.4 Virtuaalilaboratorioiden käyttö etäopetuksessa.....	57
13.5 Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys.....	57
13.6 Jatkotutkimusideoita.....	59
14 Kirjallisuus.....	61
Liitteet	

KIRJALLINEN OSA

1 Johdanto

Virtuaalilaboratoriot ovat digitaalisia ohjelmia, joiden avulla voidaan suorittaa simuloitu kokeellinen työ interaktiivisesti. (Telenius, 2010; Abdjul & Ntobuo, 2018; Tatli, Ayas, 2010). Tiettyjen virtuaalilaboratorio-ohjelmien avulla voidaan tehostaa mikrotason kemian oppimista hyödyntäen mikrotason kemian malleja (Moore ynnä muut, 2014). Lisäksi useat virtuaalilaboratoriot soveltuvat hyvin korkeampia ajattelutaitoja kehittävien kokeellisten töiden suorittamiseen. Virtuaalilaboratorioissa kokeellisen työn suorittaminen on usein nopeampaa ja helpompaa verrattuna perinteiseen kokeelliseen työskentelyyn, minkä vuoksi virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan keskittyä tutkimusmenetelmän arviointiin ja kehittämiseen (Domin, 1999). Virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan myös sisällyttää kokeellista työskentelyä etäopetukseen, mikä on osoittautunut merkitykselliseksi COVID-19 pandemian myötä (Serevina & Kirana, 2021; Usman ynnä muut, 2021).

Edellä mainittujen ominaisuuksien ja olosuhteiden vuoksi virtuaalilaboratorioiden käyttö kemian opetuksessa on kiinnostava ja ajankohtainen aihe. Nykypäivänä virtuaalilaboratorioiden käyttöön soveltuvia laitteita, kuten kannettavia tietokoneita ja tablettitietokoneita, on hyvin saatavilla. Näin ollen mahdollisuudet soveltaa virtuaalilaboratorioita kemian opetuksessa ovat varsin hyvät. Oli kuitenkin kiinnostavaa selvittää, miten paljon kemian opettajat ovat hyödyntäneet kirjallisuudessa esiteltyjä virtuaalilaboratorioiden hyödyllisiä ominaisuuksia. Toisaalta oli myös kiinnostavaa selvittää, minkälaisia haasteita opettajat ovat havainneet virtuaalilaboratorioiden käytössä omassa työssään.

Tutkielma koostuu kirjallisesta osasta ja kokeellisesta osasta. Kirjallisessa käsitellään virtuaalilaboratorioiden kannalta merkityksellisiä kemian oppiaineen ominaispiirteitä, virtuaalilaboratorioiden määrittely ja luokittelu sekä yleisiä virtuaalilaboratorioiden ominaisuuksia. Lisäksi kirjallisessa osassa tarkastellaan opettajien ja opiskelijoiden kokemuksia virtuaalilaboratorioiden käytöstä. Kokeellisessa osassa tarkastellaan opettajien käyttämiä virtuaalilaboratorio-ohjelmia sekä virtuaalilaboratorioiden käytön säännöllisyyttä. Lisäksi kokeellisessa osassa kuvaillaan opettajien havaitsemia hyötyjä ja haasteita

virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä, opettajien näkemyksiä virtuaalilaboratorioista opetusmenetelmänä sekä virtuaalilaboratorioiden etäopetuskäyttöä.

2 Kemia oppiaineena

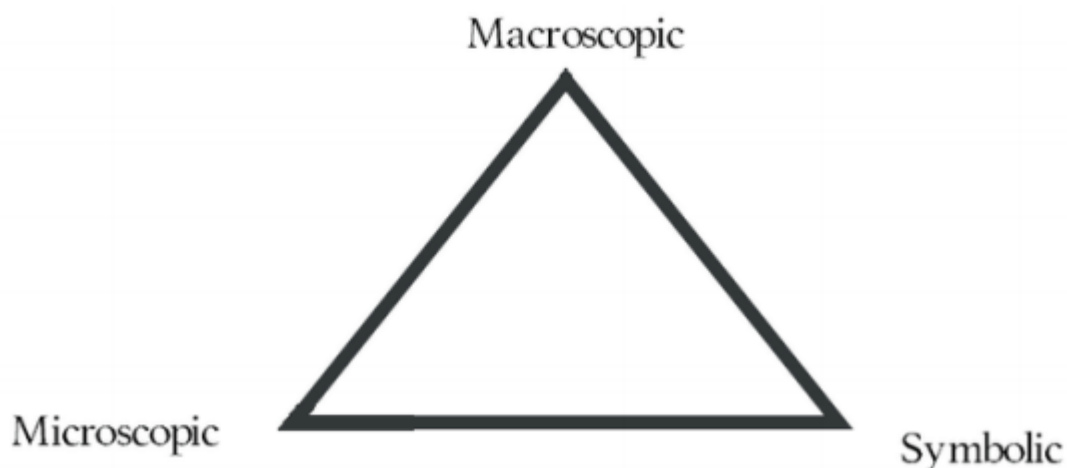
Kemian opetukseen sisältyy hyvin monipuolisesti erilaisia oppimisen osa alueita. Kemian opetuksella on merkittävä yhteiskunnallinen merkitys: kestävä kehitys, ympäristöongelmat ja luonnontieteiden merkitys ympäristön suojelussa ovat esimerkkejä kemian oppimäärään sisältyvistä yhteiskunnallisista aiheista. Muita yleisiä kemian tunneilla opittavista taitoja ovat mallien käyttö, ongelmanratkaisu ja tiettyjen aineiden vaarallisuuden tiedostaminen, sekä turvallinen kokeellinen työskentely. (Eilks & Hofstein, 2013) Näiden hyötyjen ja mahdollisuuksien lisäksi kemian oppimiseen liittyy tiettyjä haasteita. Kaikkiin näihin kategorioihin kuuluvia kemian osa-alueita käsitellään luvuissa 2.1-2.5.

2.1 Kemiallisen tiedon moniulotteisuus

Eräs kemian opettamisen kannalta keskeinen tekijä on kemiallisen tiedon moniulotteisuus. Johnstone'n kemiallisen tiedon kolmitasomallin mukaan kemian tieto voidaan jakaa mikrotasoon, makrotasoon ja symboliseen tasoon (kuva 1). Makroskooppisen tason tietoon sisältyvät asiat, joita voidaan havaita aistein, kuten katsomalla, haistamalla, tai tuntemalla. Esimerkiksi natriumkloridia eli ruokasuolaa voitaisiin kuvailla makroskooppisen tason suhteen mainitsemalla sen kiteinen rakenne, valkoinen väri ja suolainen maku. Lisäksi aistein voidaan havaita, että ruokasuola liukenee veteen. (Eilks & Hofstein, 2013)

Mikrotasoon kuuluvat hiukkaset ja niiden väliset vuorovaikutukset. Ruokasuolan tapauksessa mikrotason tietoa olisi esimerkiksi sen kuvaus sen ionirakenteesta, jossa natriumionit ja kloridi-ionit ovat säännöllisesti järjestäytyneet kiderakenteeseen. (Eilks & Hofstein, 2013)

Symbolisen tason tietoa ovat esimerkiksi yhdisteiden kemialliset kaavat, reaktioyhtälöt ja sähkövarausmerkinnät. Esimerkiksi ruokasuolan liukenemista veteen voidaan havainnollistaa reaktioyhtälöllä: $\text{NaCl (s)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow \text{Na}^+ \text{(aq)} + \text{Cl}^- \text{(aq)}$. (Eilks & Hofstein, 2013)



Kuva 1. Johnstonen kemiallisen tiedon kolmitasomalli (Johnstone, 1991)

Eräs kemianopetukseen liittyvistä haasteista on auttaa oppilaita näkemään yhteyksiä kemiallisen tiedon eri tasojen välillä. Erityisesti mikrotason kemian sisäistäminen on haastavaa, koska sitä ei voida tarkastella aistihavaintojen avulla. Kun oppilaat ymmärtävät jonkin kemiallisen ilmiön mikrotason, makrotason ja symbolisen tason osalta, ja he näkevät yhteydet näiden tasojen välillä, saadaan positiivisia oppimistuloksia. Näiden yhteyksien havaitseminen ja muodostaminen sisältää tiettyjä haasteita. Aineiden makroskooppisella tasolla havaittavat ominaisuudet, kuten kuparin tunnusomainen väri, selitetään useimmiten yksittäisten hiukkasten ominaisuuksien avulla. Tämän vuoksi opiskelijat voivat erehtyä luulemaan, että yksittäinen kupariatomi on kuparin värinen. Opiskelijat toisinaan myös luulevat, että yksittäisellä molekyyllillä on makroskooppisesti kuvattavia ominaisuuksia, joita ovat esimerkiksi laajeneminen ja olomuodonmuutokset. Nämä ovat yleisiä haasteita makro- ja mikrotason välisen yhteyden havaitsemisessa. (Eilks & Hofstein, 2013)

Myös symbolisen tason sekä mikro- ja makrotasojen välisien yhteyksien muodostaminen voi olla haastavaa. Erilaiset molekyylikaavat eivät välttämättä auta opiskelijoita havaitsemaan, millaisesta hiukkasrakenteesta on kyse. Esimerkiksi jotkut opiskelijat tulkitsevat merkinnän 3H_2 piirtämällä kuusi vetyatomia lineaarisesti, tai tasapainottavat reaktioyhtälöitä muokkaamalla molekyylikaavojen alaindeksejä niiden kertoimien sijaan. (Eilks & Hofstein, 2013)

2.2 Kokeellinen työskentely kemian opetuksessa

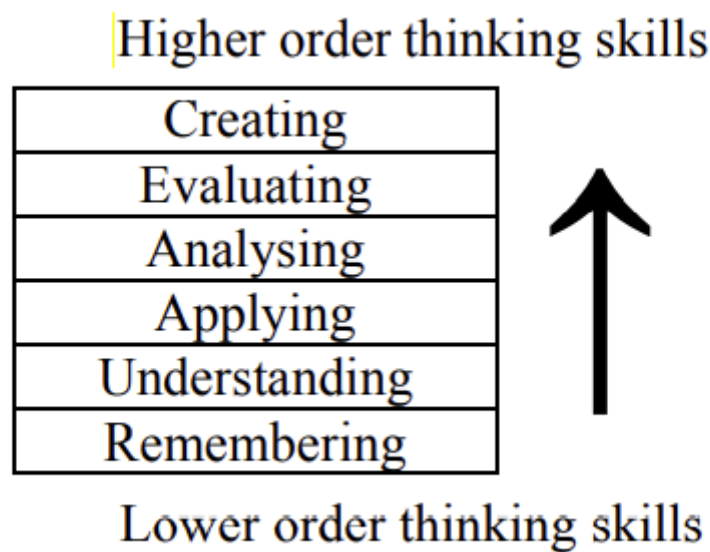
Kokeellinen työskentely on keskeinen menetelmä kemian opetuksessa. Se on keino auttaa ymmärtämään ympäröivän maailman toimintaa. Kokeellisen työskentelyn merkitys voidaan nähdä myös opetussuunnitelman perusteissa. Esimerkiksi useat vuoden 2014 perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden tavoitteista (POPS 2014) liittyvät vahvasti kokeelliseen työskentelyyn. Näitä ovat esimerkiksi kokeellisen tutkimuksen toteuttaminen, havainnointi ja tulkitseminen, sekä tulosten esittely ja arviointi. (Opetushallitus, 2014)

Kokeellisella työskentelyllä on havaittu olevan merkittäviä hyötyjä kemian oppimisen kannalta. Erään tutkimuksen mukaan kokeelliset työskentelyt tarjoavat oppilaille mahdollisuuden kehittää omaa kemiallisen tiedon ymmärrystään konkreettisen tieteellisen prosessin - eli laboratoriotyöskentelyn - avulla (Tobin, 1990). Toisaalta joidenkin tutkijoiden mukaan kemiallisen tiedon ilmiöiden ymmärryksen kehittyminen kokeellisen työskentelyn avulla on mahdollista vain, jos oppilailla on riittävästi aikaa ja mahdollisuuksia havaita ja pohtia tutkittavan ilmiön yhteyttä itse kokeeseen. Oppilailla ei välttämättä ole tällaisia mahdollisuuksia, jos kokeellisessa työskentelyssä painotetaan vain itse työn mekaanista suorittamista (Hofstein & Lunetta, 2004). Tällaiset mekaanista suorittamista painottavat työt ovat varsin yleisiä rajallisen käytettävissä olevan ajan vuoksi. Koska tällainen mekaaninen työskentely ei tehokkaasti edistä ilmiöiden ymmärtämistä, voi olla aiheellista jakaa kokeelliseen työskentelyyn keskittyvä oppitunti tasaisemmin uuden ilmiön opetteluun ja kokeellisen työn suorittamisen välillä (Eilks & Hofstein, 2013). Oppimisen tehostamiseksi kokeellista työskentelyä sisältävän opetuksen suunnittelussa on keskeistä tarjota oppilaille mahdollisuuksia esittää kysymyksiä, arvioida kokeellisen työn tuloksia sekä pohtia ja esittää omia hypoteeseja (Hofstein & Lunetta, 2004).

Kokeellisessa työskentelyssä ryhmätyöskentely on hyvin yleistä. Eräs ryhmätyöskentelyn hyödyistä on se, että silloin oppilaat joutuvat olemaan aktiivisia oppijoita, koska he työskentelevät ja kommunikoivat muiden oppilaiden kanssa. Tämä on erityisen hyödyllistä silloin, kun laboratoriotyöskentely on suunniteltu siten, että se aktivoi oppilaita ajattelemaan kokeellisen työskentelyn ja tarkasteltavan ilmiön välistä yhteyttä, jolloin oppilaat pääsevät jakamaan ideoita ryhmän kesken. Toisaalta monimutkainen tai hyvin avoin kokeellinen työ voi olla tietyille oppijoille vaikea suoritettava. (Eilks & Hofstein, 2013)

2.3 Korkeammat ajattelutaidot kokeellisessa työskentelyssä

Tietyllä tavalla suunniteltu kokeellinen työskentely tarjoaa oppilaille mahdollisuuksia kehittää korkeampia ajattelutaitojaan, jotka on esitetty Bloomin taksonomian mukaisesti kuvassa 2. Kyseisen luokittelun mukaan erilaiset ajattelutaidot voidaan luokitella eri tasoille, ja korkeampien ajattelutaitojen käyttö auttaa oppilaita sisäistämään ainesisällön. lähtökohtaisesti samaa ilmiötä tarkasteltaessa oppilaiden on ensin hyödynnettäviä matalampien tasojen ajattelutaitoja ennen seuraavalle tasolle siirtymistä. (Collins, 2014)



Kuva 2. Bloomin taksonomia ajattelutaidoille (Bloom, 1956)

Soveltamisella tarkoitetaan ilmiön hyödyntämistä uudessa yhteydessä, ja se on laboratoriotyöskentelyssä hyvin yleistä. Oppilaat voivat ensin opiskella jonkin teorian tai mallin, ja sitten soveltaa sitä laboratoriotyössä. Jos oppilaat ovat aiemmin tutustuneet haihtumiseen, he voivat soveltaa tietoaan kyseisestä ilmiöstä selittääkseen, miksi pH-indikaattoripaperi muuttaa väriään, kun sen asettaa happaman tai emäksisen liuoksen yläpuolelle ilman, että paperi koskettaa nesteen pintaa (Eilks & Hofstein, 2013). Soveltaminen luonnollisesti edellyttää, että oppilaat ovat aiemmin muistaneet ja ymmärtäneet tarvittavat tiedot kyseiseen aiheeseen liittyen. Tässä tapauksessa olisi esimerkiksi aiheellista muistaa, että haihtumista tapahtuu missä tahansa lämpötilassa, jossa aine on nestemäistä. Tällöin heidän olisi mahdollista sisäistää, että liuoksen pinnasta lähtee jotain ylöspäin, vaikka sitä ei huomaa paljain silmin. Lisäksi oppilaiden tulisi ymmärtää, että aineen haihtuessa kyseisen aineen molekyylejä

kohoaa nesteen pinnasta ylöspäin. Näitä tietoja soveltamalla voidaan selittää pH-paperin värin muutos, sillä molekyylijä törmää pH-paperiin, vaikka se onkin nesteen yläpuolella.

Kokeellisessa työskentelyssä on myös mahdollista tehdä analysointia. Analysointi voidaan määrittellä kyvyksi ymmärtää laajemman ilmiön koostuvan useista eri osa-alueista, ja ymmärtää näiden eri osa-alueiden väliset suhteet (Domin, 1999). Oppilaat voivat esimerkiksi analysoida eri aineiden molekyyliarakennetta, ja selittää sen perusteella aineiden erilaisia ominaisuuksia. Molekyyliarakenteet voidaan selvittää kokeellisessa työskentelyssä esimerkiksi IR-spektroskopiolla (Eilks & Hofstein, 2013).

Arvioinnilla tarkoitetaan kykyä tarkastella jotain ideaa tai materiaalia, ja muodostaa johtopäätöksiä sen laadun suhteen. Kokeellisen työskentelyn kontekstissa arviointia on esimerkiksi se, kun oppilaat vertailevat saadusta datasta muodostettuja kuvaajia, kun kyseinen kokeellinen työ on suoritettu kahdesti eri lämpötiloissa. Oppilaat voivat myös arvioida saadun datan luotettavuutta. (Eilks & Hofstein, 2013).

Yleisesti luomisella tarkoitetaan jonkinlaisen uuden kokonaisuuden rakentamista erilaisista osista (Eilks & Hofstein, 2013). Laboratoriotyöskentelyssä luomista on esimerkiksi se, kun oppilaille on annettu jokin tutkimusongelma tai jokin tavoite, mutta heille ei ole annettu työohjetta. Tällöin heidän on itse suunniteltava sopiva menetelmä ja toimintamalli kokeellisen työskentelyn suorittamiseksi.

Eräissä tutkimuksissa havaittiin, että vain pieni osa laboratoriotöistä edellyttää korkeampien ajattelutaitojen käyttöä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kymmentä eri kemian laboratoriotyökirjaa, joiden työt on suunnattu alemmaa korkeakoulututkintoa suorittaville kemian opiskelijoille. Tutkimuksen mukaan 54 % töistä edellytti analysointia, 4 % edellytti arviointia ja 4 % edellytti luomista. Eräänä syynä tälle tulokselle pidetään sitä, että yksityiskohtaisen työohjeen seuraaminen, ja työvaiheiden manuaalinen suorittaminen ei tarjoa oppilaille mahdollisuuksia käyttää korkeampia ajattelutaitoja. Eräs keino korkeampien ajattelutaitojen painottamista varten olisi töiden suorittaminen ilman valmista työohjetta. Sen sijaan oppilaita edellytettäisiin itse suunnittelemaan, laatimaan ja suorittamaan kokeellinen tutkimus. Tällainen työtapakin vie huomattavasti enemmän aikaa verrattuna valmiin työohjeen käyttöön. Oppilailla on oltava runsaasti tietoa tutkittavasta ilmiöstä, jotta hänen on mahdollista kehittää sopiva menetelmä, ja soveltaa pohjatietojaan kyseistä tutkimusta varten. Lisäksi eri oppilaat voivat suunnitella saman kokeen useilla eri tavoilla, jolloin erilaisia

reagensseja, välineitä ja mahdollisesti myös laitteita tarvitaan enemmän, mikä tekee tällaisesta työtavasta logistisesti haastavamman toteuttaa. On huomionarvoista tarkastella, että onko virtuaalilaboratorioiden käytöllä vaikutusta siihen, miten haastavaa avoimemman kokeellisen työskentelyn toteuttaminen on. (Domin, 1999)

Korkeampien ajattelutaitojen käyttö on kuitenkin myös mahdollista ottaa huomioon työohjeessa. Tutkimuksessa löydettiin kaksi laboratoriotyökirjaa, jotka sisälsivät useita kokeellisia töitä, joissa kannustettiin oppilaita käyttämään korkeampia ajattelutaitojaan. Ensimmäisen kirjan työt koostuivat tutkimuksista, joissa oppilaiden oli itse kokonaan suunniteltava työn suoritustapa. Lisäksi osassa tutkimuksista kuvailtiin yleisellä tasolla kokeellisen työskentelyn suorittamista, mutta oppilaiden oli kuitenkin itse täydennettävä työohjetta, koska kaikkia vaiheita ei näytetty ohjeessa (Domin, 1999). Toinen näistä työkirjoista sisälsi tutkimuksia, jotka koostuivat useammasta samaan ilmiöön liittyvästä työstä. Ensimmäisessä työssä jokainen vaihe oli esitetty yksityiskohtaisesti, mutta jälkimmäisissä töissä oppilaiden oli kehitettävä oma työmenetelmä uuden tilanteen ratkaisemiseksi (Domin, 1999). Tällöin oppilailla on pohjatietoa kyseiseen ilmiöön liittyvän työn suorittamisesta, mutta he saavat kuitenkin mahdollisuuksia hyödyntää korkeampia ajattelutaitojaan. Näin ollen korkeampien ajattelutaitojen huomioon ottaminen on mahdollista, vaikka laboratoriotyöskentelyssä käytettäisiin työohjetta. Voidaan todeta, että kokeellisessa työskentelyssä voidaan kehittää korkeampia ajattelutaitoja, jos koe on suunniteltu hyvin soveltuvalla tavalla.

Laboratoriotyöskentelyllä on merkittävä rooli oppilaiden kiinnostuksen herättämisessä ja ylläpitämisessä kemiaa kohtaan. Eräässä tutkimuksessa on havaittu, että konkreettinen, omilla käsillä tehty kokeellinen työskentely oli kaikista parhaiten kiinnostusta herättävä opetusmenetelmä verrattuna useisiin eri menetelmiin. Muita tarkasteltuja menetelmiä olivat ryhmäkeskustelut, opettajan suorittamat demonstraatiot, kokeellisuutta sisältävät videot sekä opettajan luento-opetus. (Ben-Zvi ynnä muut, 1976).

Erään tutkimuksen mukaan yksi laboratoriotyöskentelyn merkittävistä hyödyistä oppilaiden motivaation kannalta on mahdollisuus aktivoida oppilasta ajattelemaan. Oppilaiden motivaatio kasvaa, kun heillä on vapaus itse tehdä jonkinlaisia päätöksiä kokeellisen työn sisällön tai työtavan suhteen. Erityisesti oppilaat ovat halukkaita suorittamaan tällaisen kokeen loppuun, vaikka työn toteutuksessa esiintyisi ongelmia. Toisaalta verrattain avoimen laboratoriokokeen toteuttaminen edellyttää, että oppilailla on riittävästi tietoa ja osaamista suunnitellakseen

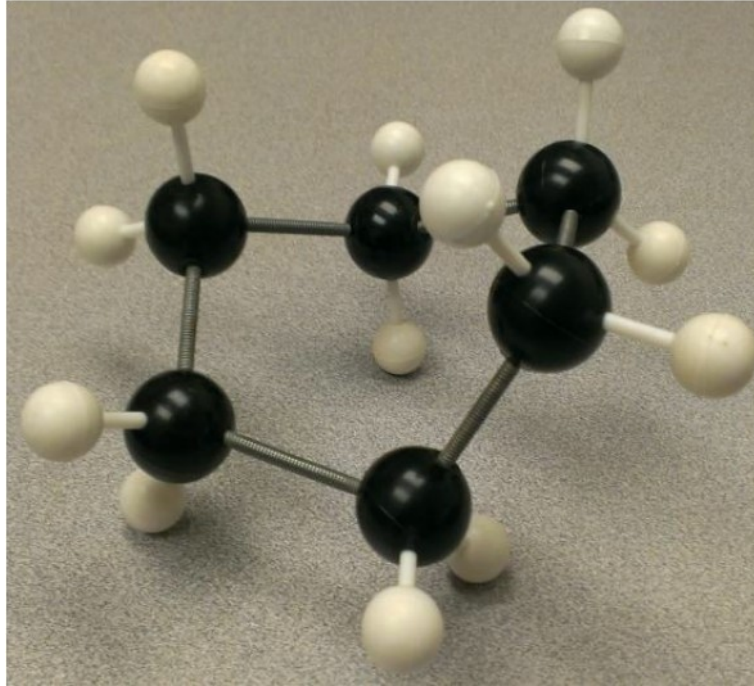
kokeen sisältöä itse (Berry ynnä muut, 1999). On aiheellista tarkastella, millainen vaikutus virtuaalilaboratorioiden käytöllä on oppilaiden kiinnostuksen herättämisen ja motivoinnin kannalta.

2.4 Mallit ja mallintaminen kemian opetuksessa

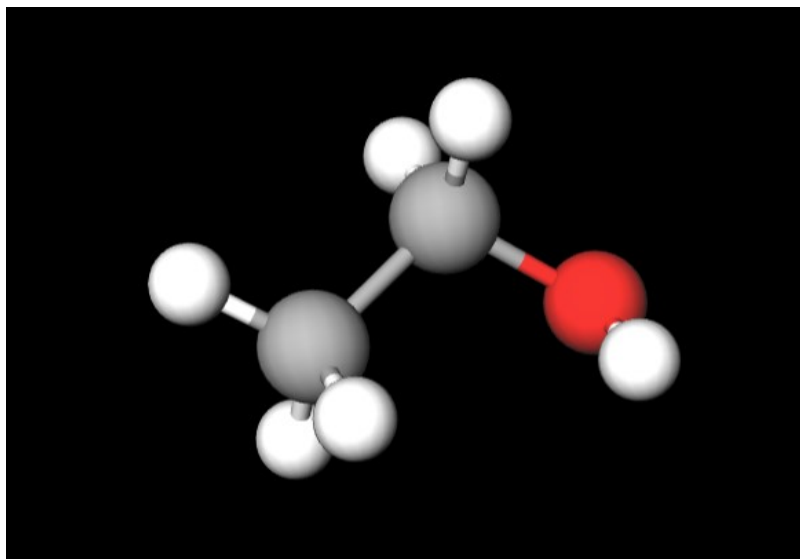
Kemian opetuksessa mallien käyttö on hyvin yleistä ja merkittävää. Mallilla tarkoitetaan yksinkertaistettua tapaa havainnollistaa jotain kemian ilmiötä tai ainetta. Koska malli on aina yksinkertaistettu kuvaus, niin sillä on tiettyjä yhtäläisyyksiä sekä eroavaisuuksia todellisen ilmiön kanssa. Esimerkiksi pullossa olevien, nestemäisessä olomuodossa esiintyvien molekyylien liikettä voidaan esittää mallina, eli mallintaa, tarkastelemalla pienten pallojen liikettä laatikossa. Tällaisella mallilla on kuitenkin tiettyjä eroja todelliseen ilmiöön verrattuna. Mallista voi aiheutua virhekäsitys, jonka mukaan molekyylien välissä olisi ilmaa, vaikka näin ei todellisuudessa ole. (Eilks & Hofstein, 2013)

Malleja tarvitaan kemian opetuksessa erityisesti siksi, että niiden avulla voidaan esittää ja kuvailla ilmiöitä, joita ei voida suoraan havaita paljain silmin, tai mitata. Esimerkiksi hiukkasten välisiä vuorovaikutuksia esitetään usein mallien avulla, mikä mahdollistaa esimerkiksi aineiden välisten reaktioiden kuvailun. Lisäksi mallien avulla voidaan ennustaa, millainen kemiallinen reaktio tulee tapahtumaan eri hiukkasten välillä. Mallit ovat myös merkittävässä roolissa ongelmanratkaisutaitojen kehittämisessä sekä teorioiden laatimisessa. (Eilks & Hofstein, 2013)

Esimerkkejä malleista ovat fyysiset pallotikkumallit (kuva 3.), joiden avulla voidaan rakentaa erilaisia molekyyliä. Lisäksi on olemassa erilaisia sähköisessä muodossa olevia malleja, joilla voidaan animaation keinoin esittää erilaisia kemiallisia prosesseja. Myös pallotikkumalleja voidaan esittää mallinnusohjelmien avulla (kuva 4.) (Eilks & Hofstein, 2013). Toinen esimerkki sähköisestä mallinnusohjelmasta on virtuaalilaboratoriot. Niitäkin voidaan pitää malleina, koska niiden avulla suoritetaan sähköisesti tutkimuksia, jotka mukailevat reaali maailman laboratoriotyöskentelyä (Telenius, 2014).



Kuva 3. Sykloheksaania kuvaava pallotikkumalli (Garcia-Ruiz ynnä muut, 2014)



Kuva 4. Etanolimolekyylä visualisoituna MolView-ohjelmalla (Herman Bergwerf, 2014)

Mallintaminen voidaan määritellä mallien laatimisena, testaamisena, kehittämisenä ja korvaamisena. Malleja laadittaessa tehdään valintoja sen suhteen, että mitä yhtäläisyyksiä ja eroja todelliseen ilmiöön nähden halutaan mallin sisältävän. Nämä valinnat perustuvat kokeellisiin tai teoreettisiin keinoihin kerättyyn dataan, jonka jälkeen mallin ensimmäistä versiota voidaan kokeilla ja arvioida tarkemmin. Tämän jälkeen mallin kehittäjä päättää, että tuleeko mallia kehittää jotenkin, tai korvata se kokonaan. Historiallinen esimerkki mallintamisesta on atomimallien kehitys. Kyseistä ilmiötä oli esitetty useilla eri malleilla läpi historian. Esimerkiksi antiikin Kreikan aikoina, 500-luvulla ennen ajanlaskun alkua Democrituksen

kehittämä malli esitti, että atomit ovat jakamattomia hiukkasia. Bohrin atomimalli vuonna 1913 kuvasi atomeja siten, että elektronit sijaitsevat ytimen ympärillä kiertoradoilla. Nykyisin käytössä on kvanttimekaaninen atomimalli. (Eilks & Hofstein, 2013)

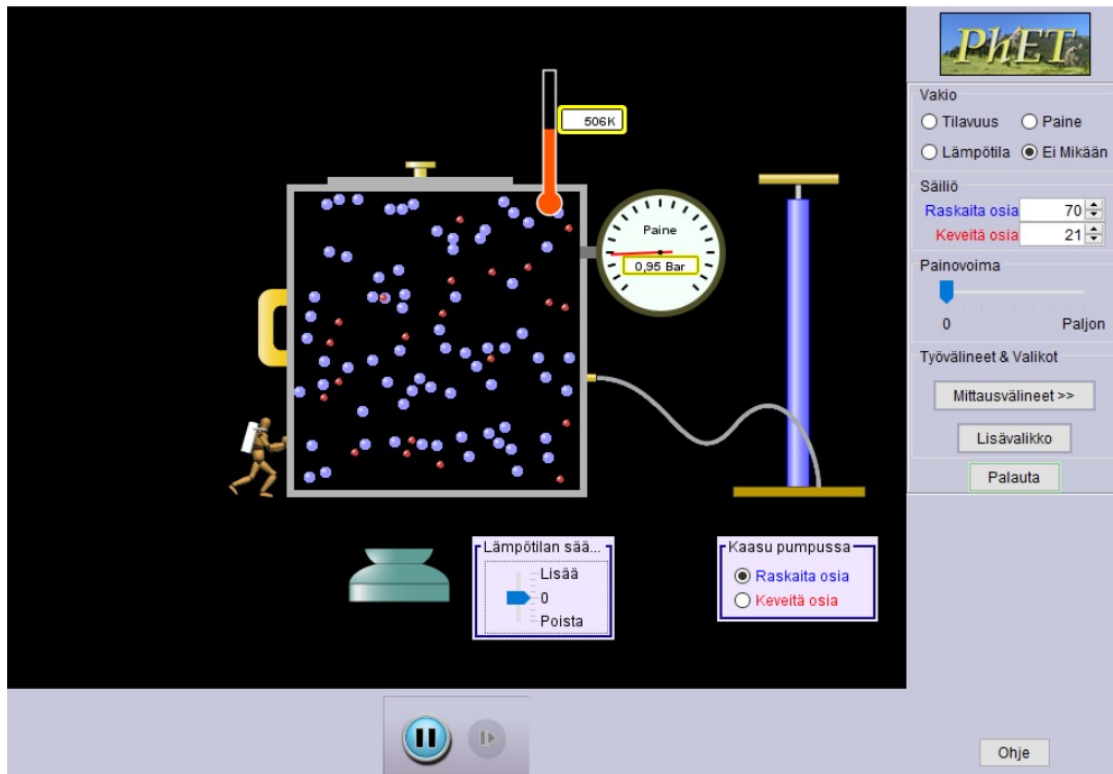
Mallit ovat hyödyllisiä kemian opettamisen ja oppimisen kannalta, mutta niiden käyttöön liittyy useita haasteita. Opiskelijat eivät usein havaitse, että malli ei ole täydellinen kopio todellisesta ilmiöstä, vaan yksinkertaistettu kuvaus. Toinen mallien käyttöön liittyvä ongelma ilmenee, jos opiskelijat eivät pidä mallia järkevänä tai ymmärrettävänä. Esimerkiksi hapetus- ja pelkistysreaktioita kuvaavissa malleissa opiskelijat usein olettavat, että hapetusluku on sama kuin samaa alkuainetta vastaavan ionin varaus. Tällöin he ymmärtävät, että H₂O-molekyylissä vedyn hapetusluku on +1, ja hapen hapetusluku on -2, koska ne ovat yhtä suuret ionien varausten kanssa. On kuitenkin useita molekyyylejä, joissa tuo päätelmä ei päde, esimerkiksi vetyperoksidi H₂O₂, jossa vedyn hapetusluku on +1, ja hapen hapetusluku on -1. (Eilks & Hofstein, 2013)

2.5 Dynaamiset visualisointimenetelmät

Dynaamiset visualisointimenetelmät ovat eräänlaisia malleja. Niiden määritelmänä voidaan pitää sähköisessä muodossa olevia, animaation keinoin toteutettuja havainnollistuksia tieteellisistä ilmiöistä. Nämä visualisointimenetelmät voivat olla yksinkertaisia GIF-kuvia tai monimutkaisia, interaktiivisia tietokoneohjelmia. Tällaisia tietokoneohjelmia ovat esimerkiksi useat useat molekyyylimallinnusohjelmat, tietyt virtuaalilaboratoriot, sekä PhET:in simulaatiot (University of Colorado Boulder, 2021). Monia näistä ohjelmista voidaan käyttää älylaitteen selaimella ilman, että käyttäjän tarvitsee asentaa minkäänlaista ohjelmistoa. (McElhaney ynnä muut, 2014)

Dynaamiset visualisointimenetelmät soveltuvat hyvin havainnollistamaan useita kemian ilmiöitä, joita on haastavaa kuvailla kattavasti käyttäen vain staattisia materiaaleja, kuten oppikirjan kuvia. Tällaisia ovat esimerkiksi sellaiset ilmiöt, joihin liittyy jonkinlainen hiukkasten tai muun aineen jatkuva liike. (McElhaney ynnä muut, 2014) Esimerkki tällaista ilmiötä havainnollistavasta dynaamisesta visualisointimenetelmässä on esitetty kuvassa 5. Kyseisessä simulaatiossa havainnollistetaan ideaalikaasujen ominaisuuksia ja käyttäjä voi

vapaasti muuttaa kaasusäiliön lämpötilaa, painetta sekä tilavuutta. Tällöin kaasusäiliössä olevat hiukkasia esittävien pallojen nopeus muuttuu.



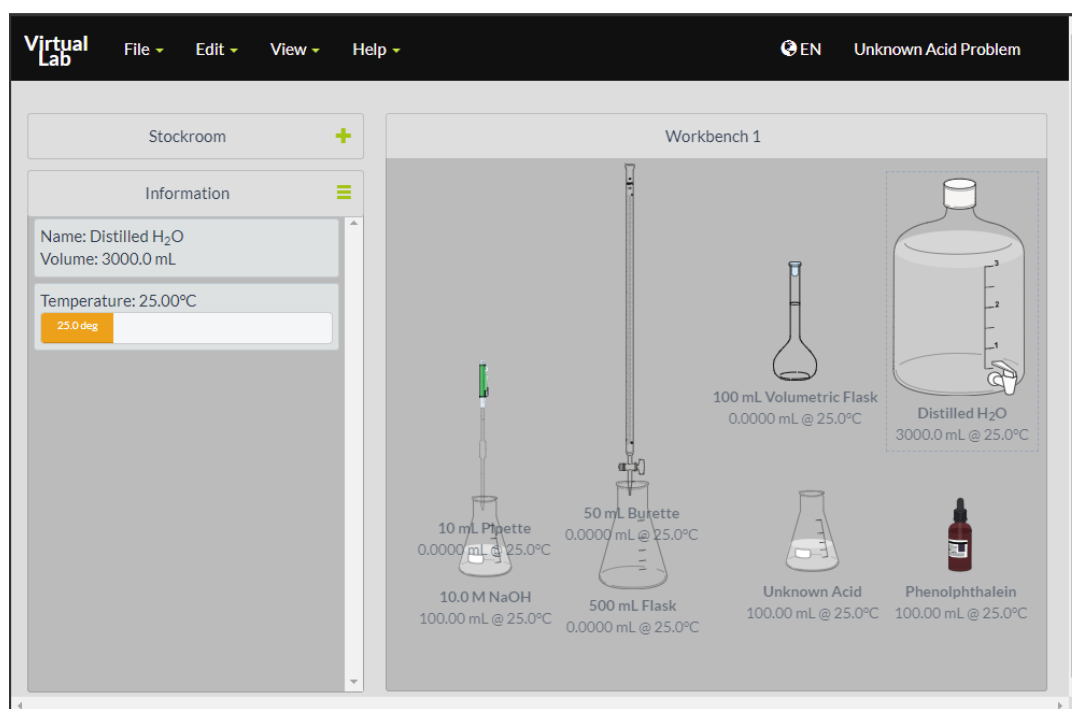
Kuva 5. Kaasun ominaisuudet -simulaatio (University of Colorado Boulder, 2021)

Dynaamisten visualisointimenetelmiin usein sisältyy interaktiivisuutta, minkä on havaittu tehostavan oppimista. Interaktiivisuus antaa oppijalle mahdollisuuden tarkastella visualisoitua ilmiötä itselleen sopivalla nopeudella sekä kokeilla itse omia ideoitaan. (Cook, 2006; Tversky ynnä muut, 2002). Useissa simulaatioissa käyttäjän on mahdollista halutessaan pysäyttää ohjelma ja keskittyä tietyn osa-alueen tarkasteluun. Tietyissä ohjelmissa on myös mahdollista vaihtaa kuvakulmaa tai kuvan suuruutta. Nämä runsaat mahdollisuudet mukauttaa simulaatioita oppijalle itselleen sopivaksi ulkoasun ja nopeuden suhteen helpottavat hahmottamista ja tehostavat oppimista. (Tversky ynnä muut, 2002)

Dynaamisiin visualisointimenetelmiin liittyy myös useita haasteita. Jos oppija ei ole taitava prosessoimaan visuaalista sisältöä, hänelle on haastavaa oppia dynaamisten visualisointimenetelmien avulla niiden monimutkaisuuden vuoksi. Ne sisältävät runsaasti informaatiota, joka on myös monimutkaisempaa staattisten visualisointimenetelmien sisältöihin verrattuna. On myös havaittu, että staattisten kuvien avulla oppiminen edellyttää, että oppija aktiivisesti sisäistää kyseisen informaation, ja kykenee luomaan ajatusmalleja (*mental models*). Dynaamisen visualisointimenetelmän tarkastelu saattaa estää tällaisen

ajatusmallin muodostamisen. Koska dynaaminen visualisointimenetelmä kuvaa ilmiön yksityiskohtaisesti, oppijalle saattaa virheellisesti muodostua kuva siitä, että hän on sisäistänyt kyseisen ilmiön (McElhaney ynnä muut, 2014).

Useita virtuaalilaboratorioita voidaan pitää dynaamisina visualisointimenetelminä, mikäli ne sisältävät jonkinlaisia animaatioita, jotka havainnollistavat kemiallista prosessia. On kuitenkin huomionarvoista, että kaikki virtuaalilaboratoriot eivät ole dynaamisia visualisointimenetelmiä. Osa virtuaalilaboratorioista ei sisällä lainkaan animaatioita, vaan lähinnä tarjoavat digitaalisen ympäristön kokeen suorittamista varten, yksityiskohtaisesti vaihe vaiheelta. Esimerkki tällaisesta virtuaalilaboratoriosta on esitetty kuvassa 6. (McElhaney ynnä mut, 2014). Kuvan virtuaalilaboratoriossa on koottu reagenssit ja välineet tuntemattoman hapon titrausta varten. Käyttäjä voi suorittaa titrauksen virtuaalisesti samoilla työvaiheilla kuin perinteisessä laboratoriossa. Jokainen pipetointi, byretin venttiilin avaus ja liuoksen laimennos on tehtävä itse, mikä auttaa simuloimaan kokeellista työskentelyä. (Garnegie Mellon University, 2021)



Kuva 6. ChemCollective-virtuaalilaboratorio (Garnegie Mellon University, 2021)

3 Virtuaalilaboratoriot lukion opetussuunnitelman perusteissa

Vuoden 2019 Lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS 2019) (Opetushallitus, 2019) ei ole nähtävissä suoria mainintoja virtuaalilaboratorioiden käytöstä kemiaa käsittelevässä osassa. Opetussuunnitelman perusteissa kuvaillaan kuitenkin useita tavoitteita, joiden saavuttamista voidaan edesauttaa käyttämällä virtuaalilaboratorio-ohjelmia. Lisäksi useiden moduulien keskeiset sisällöt liittyvät virtuaalilaboratorioihin. Kemian laaja-alaisen osaamisen tavoitteissa lukee:

”tieto- ja viestintäteknologian käyttö osana nykyaikaista ja monitieteistä osaamista tukevaa kemianopetusta” (Opetushallitus, 2019)

Tieto- ja viestintäteknologialle (TVT) on mainittu useita käyttökohteita, joista kokeellisten havaintojen kerääminen ja kokeellisten töiden simulointi liittyvät selkeästi virtuaalilaboratorioihin. Kokeellisen työn suorittaminen virtuaalilaboratorio-ohjelmalla on tehokas keino kerätä kokeellisia havaintoja, mikä perustuu esimerkiksi mahdollisuuteen suorittaa simuloituja laboratoriotöitä oppijalle sopivalla nopeudella. (Cook, 2006; Tversky ynnä muut, 2002). Havaintojen keräämisestä on maininta myös ”oppiaineen tehtävä” -osiossa:

”Kemian opetuksessa käytetään vaihtelevia ja monipuolisia opetus- ja opiskelumenetelmiä, joilla kehitetään opiskelijan käsitteellistä ja menetelmällistä osaamista. Opetuksen keskeisiin lähtökohtiin kuuluu havainnointi ja tutkiminen.” (Opetushallitus, 2019)

Vaihtelevien ja monipuolisten menetelmien käyttö on luonnollisesti hyvin avoin tavoite. Opiskelu- ja opetusmenetelmien monipuolistamista voitaisiin edesauttaa ottamalla mikä tahansa uusi menetelmä käyttöön. Näin ollen myös virtuaalilaboratorioiden käytöllä voidaan monipuolistaa opiskelua. Toisaalta havainnoinnin tehostaminen (Cook, 2006; Tversky ynnä muut, 2002) ja myös monet muut virtuaalilaboratorioiden käyttökelpoiset ominaisuudet tekevät kyseisestä opetusmenetelmästä perustellun tavan lisätä monipuolisuutta.

Virtuaalilaboratorioiden määritelmä esitellään tarkemmin luvussa 4.1. Opetussuunnitelman perusteiden analysoimisen näkökulmasta on kuitenkin olennaista todeta, että virtuaalilaboratorio-ohjelma on malli, joka havainnollistaa kokeellista työskentelyä. (Telenius, 2010; Abdjul & Ntobuo, 2018; Tatli, Ayas, 2010). Lukion opetussuunnitelman perusteissa on useita mainintoja mallien käytöstä ja mallintamisen opettelusta. Näin ollen virtuaalilaboratorioiden käyttö, tarkastelu ja arviointi mallina edesauttaa näiden tavoitteiden

saavuttamista. Kemian opetuksen yleisissä tavoitteissa on selkeä maininta juuri tietokonepohjaisesta mallintamisesta:

”Osaa käyttää monipuolisesti asianmukaisia ohjelmia mallintamisen, laskennallisten ja graafisten ratkaisujen sekä tulosten ilmaiseksen välineenä”.
(Opetushallitus, 2019)

Myös yksittäisten kemian moduulien kuvauksissa korostetaan sähköistä mallintamista. Esimerkiksi KE3 Molekyylit ja mallit (2 op) -moduulin tavoitteissa on merkittävä maininta:

”Osaa käyttää tieto- ja viestintäteknologiaa mallintamisen välineenä.”
(Opetushallitus, 2019)

Myös KE6 Kemiallinen tasapaino (2 op) -moduulin keskeisissä sisällöissä on oleellinen maininta:

”Reaktionopeuteen ja tasapainoreaktioihin liittyvien ilmiöiden tutkiminen kokeellisesti sekä ilmiöiden mallintaminen ja analysointi graafisesti tietokonesovelluksella” (Opetushallitus, 2019)

Nämä lainaukset ovat selkeitä esimerkkejä tietokonepohjaisen mallintamisen käytön korostamisesta lukion kemian opetuksessa. Erityisesti reaktionopeuteen ja tasapainoreaktioihin liittyvien reaktioiden mallintamista digitaalisesti voidaan luonnollisesti toteuttaa virtuaalilaboratorio-ohjelmilla. Tämäkään ei ole suora maininta virtuaalilaboratorioiden käytöstä, mutta reaktionopeuden ja tasapainoreaktioihin liittyvien ilmiöiden mallintaminen liittyy kuitenkin todella läheisesti virtuaalilaboratorioiden ominaisuuksiin. Näin ollen virtuaalilaboratorioiden käyttö edesauttaa useiden mallintamiseen liittyvien tavoitteiden saavuttamista. Myös yleisemmällä tasolla voidaan hyvin tulkita, että asianmukaisten ohjelmien käyttö mallintamiseen on tavoite, jonka saavuttamiseksi voidaan työskennellä hyödyntäen virtuaalilaboratorio-ohjelmia.

Kemian laaja-alaisen osaamisen tavoitteissa kuvaillaan TVT:n käyttöä seuraavanlaisesti:

”Tietokonepohjaisella mittausjärjestelmällä voidaan korvata perinteisiä välineitä, ja tutkimusaineistoa on mahdollista taltioida myös kuvina ja videoina.”
(Opetushallitus, 2019)

Tietokonepohjaisen mittausjärjestelmän käyttö perinteisten välineiden korvaamiseen voitaisiin tulkita virtuaalilaboratorio-ohjelmien käytön suositteluksi. Toisaalta tietokonepohjainen

mittausjärjestelmä voisi viitata erilaisten mittausautomaatiolaitteiden käyttöön. Erityisesti sana ”mittausjärjestelmä” tekee lainauksen merkityksestä jokseenkin tulkinnanvaraisen. Virtuaalilaboratoriossa simuloidaan kokonaisuudessaan kokeellinen työ, johon liittyen ohjelman sisällä voidaan myös tehdä mittauksia. Luonnollisesti virtuaalilaboratorio-ohjelman avulla ei voida kuitenkaan mitata reaali maailmassa tapahtuvaa kokeellista työtä. Kyseisen lainauksen sisällöstä on haastavaa tehdä täysin varmaa päätöstä sen suhteen, että onko kyseessä maininta virtuaalilaboratoriosta.

Eräs laaja-alaiseen osaamiseen liittyvistä tavoitteista on monilukutaidon kehittäminen simulaatioita hyödyntäen. Simulointi on varsin laaja käsite, ja virtuaalilaboratorioita voidaan pitää simulaationa perinteiselle kokeelliselle työlle. Joissakin tutkimuksissa käytetään termejä ”virtuaalilaboratorio” ja ”simuloitu laboratorio” tarkoittaen täsmälleen samaa asiaa. (Bonde ynnä muut, 2014) Lisäksi joissakin tutkimuksissa määritellään tiettyjä PhET:in simulaatioita virtuaalilaboratorioiksi. (Abdjul & Ntobuo, 2018). Luonnollisesti monilukutaitoa voidaan kehittää mahdollisimman monipuoliseksi tarkastelemalla useita erilaisia materiaaleja, joten myös virtuaalilaboratorioiden ominaispiirteet voivat osoittautua hyödyllisiksi. Näin ollen voidaan perustellusti todeta, että kokeellisen työskentelyn toteuttaminen virtuaaliympäristössä toteuttaa tavoitteen käyttää simulointia LOPS 2019 suositusten mukaisesti. (Opetushallitus, 2019)

Kemiallisen tiedon moniulotteisuus on merkittävä kemian ominaispiirre. Lukion opetussuunnitelman perusteissa korostetaan kemiallisen tiedon tasoja ja niiden välisiä yhteyksiä seuraavanlaisesti:

”Kemian opetus tukee opiskelijan käsitteiden ja ilmiöiden ymmärtämistä siten, että niiden makroskooppinen, mikroskooppinen ja symbolinen taso muodostavat loogisen kokonaisuuden.” (Opetushallitus, 2019)

Mikrotason, makrotason ja symbolisen tason välisten yhteyksien ymmärtäminen aiheuttaa usein haasteita oppilaille tai opiskelijoille. Erityisesti mikrotason kemian ymmärtäminen on haastavaa kyseisen tason abstraktin luonteen vuoksi. Kemian opetuksessa näitä haasteita voidaan helpottaa hyödyntämällä erilaisia visualisointimenetelmiä. Tietty virtuaalilaboratoriot sisältävät kemian ilmiöiden havainnollistuksia siten, että käyttäjä voi tarkastella mikrotasoa, makrotasoa ja symbolista tasoa samanaikaisesti. Tällaiset virtuaalilaboratoriot ovat osoittautuneet toimivaksi menetelmäksi, kun tavoitteena on muodostaa yhteyksiä kemiallisen tiedon tasojen välille. (Rizman Herga ynnä muut, 2016) Voidaan siis todeta, että

virtuaalilaboratorioiden käytön avulla voidaan saavuttaa kemiallisen tiedon moniulotteisuuden ymmärtämiseen liittyviä tavoitteita, jotka ovat asetettu lukion opetussuunnitelman perusteissa. (Opetushallitus, 2019)

LOPS 2019:ssa on kuvattu arviointia monipuolisesti. Kokeellisen työskentelyn merkitys on nähtävissä kemian arviointia kuvailevassa osassa:

”Arvioinnissa otetaan huomioon taito työskennellä kokeellisesti, hankkia tietoa ja soveltaa sitä” (Opetushallitus, 2019)

Virtuaalilaboratoriotyöskentelyn perusteella voidaan arvioida eräitä opiskelijan kokeellisen työskentelyn taitoja, erityisesti työn taustalla olevan ilmiön sisäistämistä, ja työvaiheiden merkityksen ymmärtämistä. Toisaalta virtuaalilaboratoriotyöskentelyn perusteella on huomattavasti haastavampaa arvioida opiskelijan kykyä työskennellä huolellisesti ja turvallisesti (Lynch & Ghergulescu, 2017). Kuitenkin virtuaalilaboratorioita voidaan hyödyntää kokeellisen työskentelyn arvioinnissa, mikä voi olla tarpeen erityisesti tapauksissa, jossa perinteistä kokeellista työskentelyä ei ole mahdollista toteuttaa tarpeeksi, kuten etäopetuksessa. Lisäksi virtuaalilaboratorioita voidaan käyttää myös perinteisten kokeellisten töiden lisäksi. Arvioinnin kannalta useihin virtuaalilaboratorio-ohjelmiin sisältyy hyödyllisiä ominaisuuksia. Eräs tällainen ominaisuus on opettajan mahdollisuus vastaanottaa dataa automaattisesti opiskelijoiden työskentelystä virtuaalilaboratorioympäristössä (Koretsky ynnä muut, 2006). Näin ollen voidaan todeta, että virtuaalilaboratorioita voidaan hyödyntää kemian oppimisen arvioinnissa lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisesti. (Opetushallitus, 2019)

Myös muiden luonnontieteiden tavoitteita voidaan selkeästi saavuttaa virtuaalilaboratorioiden avulla. Biologiset taidot ja niiden soveltaminen -osiossa on eräänä tavoitteena listattu kokeellisen työskentelyn toteuttaminen virtuaalisissa ympäristöissä. Tämä on varsin selkeä viittaus virtuaalilaboratorioiden käyttämiseen, mikä voi myös näkyä muissa oppiaineissa, etenkin luonnontieteissä. Eräs opetussuunnitelman perusteiden yleisistä tavoitteista onkin oppiminen oppiainerajat ylittäen. Kemian ja biologian ainesisällöissä käsitellään joitakin samoja aiheita eri näkökulmista, kuten BI3 Ihmisen vaikutukset ekosysteemeihin, ja KE2 Kemia ja kestävä tulevaisuus -kursseilla. Molemmilla kursseilla käsitellään ympäristöongelmia ja kestävää kehitystä, joten kyseisillä kursseilla oppiainerajat ylittävää opetusta voisi hyvinkin tapahtua – mahdollisesti myös virtuaalilaboratorioita hyödyntäen (Opetushallitus, 2019).

Kokonaisuutena vuoden 2019 lukion opetussuunnitelman perusteiden tarkastelun perusteella voidaan todeta, että useiden tavoitteiden saavuttamista ja keskeisten sisältöjen oppimista voidaan edesauttaa virtuaalilaboratorioita hyödyntäen. Erityisesti tietokonepohjaiseen mallintamiseen ja simulointiin liittyviä tavoitteita voidaan saavuttaa virtuaalilaboratorioiden avulla.

4 Virtuaalilaboratoriot

4.1 Virtuaalilaboratorioiden määrittely ja luokittelu

Virtuaalilaboratorion määritelmä ei ole yksikäsitteinen. Yhtäläisyytenä useimmissa määritelmissä on tyypillisesti kokeellisen työn suorittamisen simulointi virtuaalisessa ympäristössä interaktiivisesti (Telenius, 2010; Abdjul & Ntobuo, 2018; Tatli, Ayas, 2010). Virtuaalilaboratorio-termin alle usein määritellään toisistaan merkittävästi poikkeavia ohjelmia. Nämä erot voivat liittyä esimerkiksi ohjelman käyttöliittymään, visualisointimenetelmiin tai realistisuuteen (Harms, 2000). Toisinaan myös virtuaalilaboratorio-ohjelman yhteydessä käytetty laitteisto voi olla muutakin kuin vain älylaite, kuten tietokone tai älypuhelin. Esimerkiksi realismia voidaan tavoitella erilaisten lisälaitteiden avulla ja tällainen lisälaite voi olla keskeinen osa kyseisen virtuaalilaboratorion käytössä. Eräässä tislauksen realistiseen simulointiin tarkoitettussa virtuaalilaboratoriossa sovellettiin eräänlaista virtuaaliodellisuushanskaa, joka seuraa opiskelijan käsien liikkeitä ja sijaintia, minkä ansiosta voidaan simuloida mekaanista laboratoriotyöskentelyä mahdollisimman tarkasti. Työn suorittaminen tällaisen virtuaalilaboratorion avulla siis perustuu liiketunnistukseen, eikä esimerkiksi näppäimistön ja hiiren käyttämiseen. (Bolaños & Conteras, 2010)

Toisinaan kirjallisuudessa kuvaillut virtuaalilaboratoriot sisältävät simuloitun kokeellisen työn suorittamisen lisäksi myös havainnollistavia videoita (O'Malley ynnä muut, 2015). Joissain epävirallisissa yhteyksissä kokeellista työtä havainnollistavista videoista puhutaan myös virtuaalilaboratorioina, mutta kirjallisuudessa yleisesti määritellään virtuaalilaboratoriot ohjelmiksi, joiden avulla suoritetaan simuloitu kokeellinen työ interaktiivisesti (Telenius, 2010; Abdjul & Ntobuo, 2018; Tatli, Ayas, 2010).

Tässä tutkimuksessa virtuaalilaboratorioksi määritellään kaikki digitaaliset ohjelmat, joiden avulla mallinnetaan tai simuloidaan kokeellisen työn suorittamista siten, että ohjelma sisältää jonkinlaista interaktiivisuutta. Ohjelmasta riippuen käyttäjällä on vaihtelevasti mahdollisuuksia itse vaikuttaa kokeellisen työn suoritukseen, mutta käyttäjän rooli ei kuitenkaan ole täysin passiivinen minkään virtuaalilaboratorio-ohjelman käytössä. Näin ollen pelkkiä videoita ei määritellä virtuaalilaboratioiksi. Lisäksi tutkimuksessa kuvatus määritelmän täyttämiseksi ei edellytetä minkäänlaisen liiketunnistimen tai muun erityisen laitteen käyttöä. Tällainen määritelmä on kirjallisuushaun perusteella tiedeyhteisön keskuudessa yleisin vaihtoehto. (Telenius, 2010; Abdjul & Ntobuo, 2018; Tatli, Ayas, 2010) Erityisesti opetusvideot sivuutettiin tässä tutkimuksessa, koska kokeellista työtä simuloiva interaktiivinen ohjelma on ominaisuuksiltaan hyvin erilainen videoihin verrattuna.

Virtuaalilaboratorioita voidaan luokitella erilaisiin kategorioihin ohjelman ominaisuuksien perusteella. Koska virtuaalilaboratorio-termin alle on luettu useita toisistaan merkittävästi eroavia ohjelmia, on mielekästä kategorisoida näitä erilaisia ohjelmia. Erään luokittelun mukaan virtuaalilaboratorio-ohjelmat voidaan eritellä seuraaviin kategorioihin:

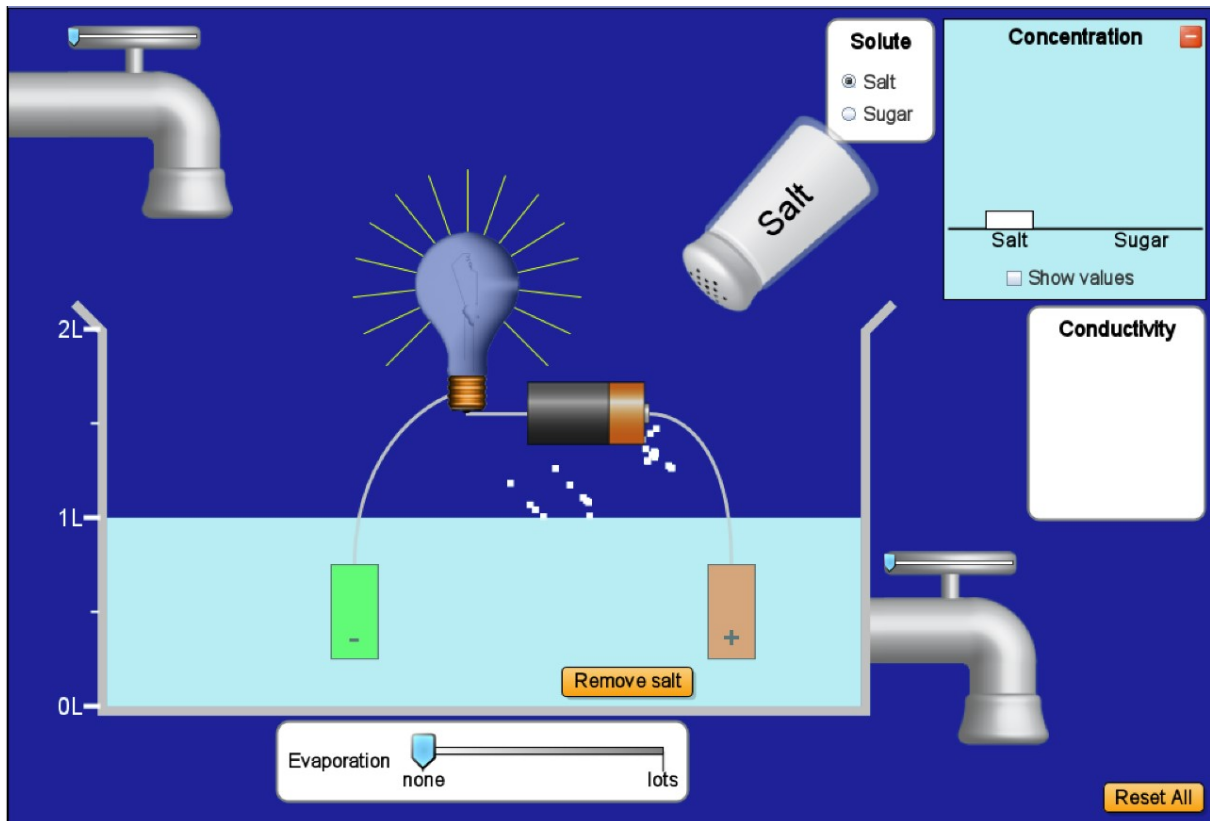
1. Klassiset simulaatiot, joihin sisältyy joitakin kokeellisen työn suorittamisen vaiheita
 2. Ohjelmat, jotka mallintavat kokeellisen työn suorittamista mahdollisimman tarkasti
 3. Virtuaalitodellisuutta (VR) ja laajennettua todellisuutta (*augmented reality*, AR) hyödyntävät ohjelmat
 4. Tietokoneella ohjattavat etälaboratoriot
- (Harms, 2000; Gavronskaya & Larchenkova, 2021)

4.2 Klassisiin simulaatioihin perustuvat virtuaalilaboratoriot

Useat virtuaalilaboratoriot ovat niin sanottuja klassisia simulaatioita (*classical simulations*), jotka sisältävät useita kokeellisen työn ominaisuuksia, mutta niiden tarkoituksena ei ole mallintaa laboratoriotyön mekaanista suorittamista realistisesti. Klassisia simulaatioita sisältävät virtuaalilaboratoriot voidaan edelleen eritellä käyttöalustan perusteella. Tähän kategoriaan kuuluvat virtuaalilaboratoriot voivat olla saatavilla ja käytettävissä Internetin välityksellä ilman, että käyttäjän tarvitsee asentaa laitteelleen ohjelmistoa. Toisaalta

vastaavanlaisia ohjelmia on myös saatavilla laitteelle asennettavaksi, jolloin asennuksen jälkeen virtuaalilaboratorion käyttö ei edellytä käytössä olevaa Internet-yhteyttä (Harms, 2000).

Esimerkki tällaisesta klassista simulaatiota hyödyntävästä virtuaalilaboratoriosta on esitetty kuvassa 7. Tässä ohjelmassa käyttäjä voi itse säätää suolan ja sokerin määrää liuoksessa, mutta työlaitteisto on koottu valmiiksi ja astiassa on jo valmiiksi vettä sokerin tai suolan liuottamista varten. Käyttäjän ei myöskään tarvitse sekoittaa liuosta, vaan liuotettava aine liikenee täydellisesti ilman viivettä. Lisäksi käyttäjä voi vapaasti poistaa liuoksesta jo liuennutta sokeria tai suolaa. Näin ollen on perusteltua luokitella kuvassa esiintyvä ohjelma klassista simulaatiota hyödyntäväksi virtuaalilaboratorioksi.



Kuva 7. Klassisiin simulaatioihin perustuva virtuaalilaboratorio: PhET:in Sugar and Salt Solutions -ohjelma (University of Colorado Boulder, 2022)

PhET:in Sugar and Salt Solutions -simulaatiossa käyttäjä suorittaa kokeen, jonka aikana vertaillaan molekyyliyhdisteen ja ioniyhdisteen vesiliuosten sähkönjohtokykyä. Kuvassa 7 näkyvään liuokseen voi lisätä suolaa tai sokeria. Jos liuos johtaa sähköä, niin lamppu syttyy. (Moore ynnä muut, 2014)

Useat PhET:in simulaatiot soveltuvat kehittämään oppijan ymmärrystä kemiallisen tiedon moniulotteisuudesta, sekä edistämään yhteyksien muodostamista mikrotason, makrotason ja symbolisen tason välille. Sugar and Salt Solutions -simulaatiossa käyttäjä voi tarkastella laboratoriotyön reagensseja makro- ja mikrotasolla. Oppijan on tarkoitus tehdä havaintoja sokerin ja suolan käyttäytymisestä vesiliuoksessa mikrotasolla ja perustella näiden havaintojen avulla ero sokeri- ja suolaliuoksen sähkönjohtokyvyssä. (Moore ynnä muut, 2014)

Klassisia simulaatioita, kuten useita PhET:in simulaatioita, voidaan hyödyntää perinteisten laboratoriotöiden yhteydessä kemiallisen tiedon moniulotteisuuden ymmärtämisen kehittämiseksi. Opiskelijoille voi antaa tehtäväksi käyttää ja tarkastella simulaatiota ennen vastaavaa ilmiötä käsittelevän laboratoriotyön tekemistä. Toisaalta simulaatioita voi hyödyntää myös laboratoriotyön suorittamisen aikana. Esimerkiksi Sugar and Salt Solutions -simulaation avulla opiskelija voi tarkastella ja havainnoida molekyyliyhdisteen ja ioniyhdisteen eroja mikrotasolla. Tällainen simulaation hyödyntäminen mikrotason tiedon keräämistä varten soveltuu hyvin perinteisen laboratoriotyön suorittamisen yhteyteen. (Moore ynnä muut, 2014)

Tietyt PhET:in simulaatiot on suunniteltu siten, että ne ovat interaktiivisia ja niiden avulla voidaan visualisoida kemiallisten prosessien dynaamisuutta hyödyntäen animaatioita. Ohjelman käyttäjän tekemistä ratkaisuista seuraa välittömästi jonkinlainen visuaalinen havainnollistus. Esimerkiksi molekyylien nopeus kasvaa, kun käyttäjä nostaa lämpötilaa. Nämä välittömästi käyttäjän toiminnan seurauksena välittömästi tapahtuvat visuaaliset muutokset (*instant feedback*) ovat pedagogisesti hyödyllisiä. Niiden ansiosta käyttäjä voi tehokkaasti kokeilla omia ideoitaan ja sisäistää tarkasteltavan kemiallisen ilmiön. Lisäksi tällaisen interaktiivisuuden ja dynaamisuuden perustuvan virtuaalisen ympäristön avulla opiskelijat voivat luoda ja rakentaa omaa tietoansa. Koska monet tällaisista dynaamisista muutoksista liittyvät aineen konkreettisiin fyysisiin ominaisuuksiin, opiskelijat voivat kehittää ideoita reaali maailman kokeellista työskentelyä varten hyödyntäen virtuaaliympäristön visualisointimenetelmiä. (Lancaster ynnä muut, 2013)

Eräs PhET:in simulaatioiden yleisistä peruseriaatteista on käyttöliittymän intuitiivisuus. Simulaatioiden on tarkoitus olla helppokäyttöisiä ja antaa käyttäjälle rajoitettu määrä valintoja. Tämän toimintaperiaatteen ansiosta oppijan ei tarvitse nähdä vaivaa oppiakseen käyttämään simulaatiota, vaan hänen tarvitsee ainoastaan keskittyä taustalla olevan kemiallisen ilmiön ajattelemiseen. (Moore ynnä muut, 2014) Luonnollisesti tämä valintojen määrän rajaaminen hyvin pieneen määrään tarkoittaa, että kyseiset simulaatiot eivät ole luonteeltaan samanlaisia

kuin perinteiset laboratoriotyöt, joissa työn suorittajalla on määrittelemätön määrä mahdollisia valintoja.

4.3 Realismia painottavat virtuaalilaboratoriot

On olemassa myös sellaisia virtuaalilaboratorioita, jotka eivät perustu klassisiin simulaatioihin. Eräät virtuaalilaboratorio-ohjelmat on suunniteltu siten, että niiden käyttö muistuttaa mahdollisimman paljon perinteisen laboratorioden käyttöä. Tällaisissa virtuaalilaboratorioissa käyttäjällä on mahdollisuus suorittaa mahdollisimman paljon perinteisiin laboratorioitöihin kuuluvia työvaiheita. Esimerkiksi kaikkien reagenssien lisäykset ja sopivien välineiden valinta on tehtävissä itse. Työ ei tapahdu itsestään napin painalluksella, vaan käyttäjän tulee tehdä merkittävä määrä ratkaisuja itse työn viemiseksi eteenpäin. Esimerkki tällaisesta virtuaalilaboratorio-ohjelmasta on ChemCollective, joka on esitetty aiemmin tässä työssä kuvassa 6. (Carnegie Mellon University, 2022)

Virtuaalilaboratorio-ohjelmat, jotka edellyttävät käyttäjää tekemään merkittävän määrän työvaiheita itse soveltuvat hyvin ongelmanratkaisutehtävien suorittamiseen. Opiskelijalla on hyvin suuri määrä vaihtoehtoja sen suhteen, että miten hän haluaa suunnitella ja toteuttaa laboratoriotyön. Eräs tällainen työ on ChemCollective-virtuaalilaboratorion avulla tehtävä stoikiometriaan liittyvä koe. Kyseisessä laboratoriotyössä opiskelijan tulee selvittää neljän tuntemattoman yhdisteen sisältävän reaktion rajoittava tekijä. Jokaiselle yhdisteelle on annettu oma kirjain: A, B, C ja D. Opiskelijoiden tehtävänä kyseisessä virtuaalilaboratoriossa on suunnitella ja suorittaa koe, jonka avulla reaktion rajoittava tekijä voitiin selvittää. Tutkimuksessa tarkastellulla kurssilla havaittiin, että yli 50 %:lla tutkimukseen osallistuneista opiskelijoista on virhekäsityksiä reaktioiden rajoittavaan tekijään liittyen. Eräät sekoittivat yhdisteitä A ja C. Kun yhdistettä A jäi jäljelle, kyseiset opiskelijat tulkitsivat yhdisteen A olevan reaktiotuote, vaikka se oli todellisuudessa yli jäänyttä lähtöainetta. Tämän virhetulkinnan perusteella opiskelijat kirjoittivat reaktioyhtälön, jossa A esiintyi sekä lähtöaineena että tuotteena. (Yaron ynnä muut, 2010)

Tutkimuksessa analysoidulle kurssille oli mahdollista osallistua vain, jos opiskelija oli saanut vähintään 85 % pisteistä stoikiometria käsittelevästä kokeesta. Näin ollen kurssin opiskelijoilla oli vahvat taidot stoikiometriaan liittyvissä laskuissa. ChemCollective-virtuaalilaboratorion

avulla havaittiin, että opiskelijoilla voi olla virhekäsityksiä kemialliseen ilmiöön liittyen, vaikka matemaattinen käsittely olisi hyvin hallinnassa. Tämän virtuaalilaboratorio-ohjelman avulla virheen tehnyt opiskelija saa suoraan palautetta, joka sisältää hyödyllistä tietoa stoikiometriasta. Näin ollen opiskelija voi syventää ymmärrystään tarkasteltavasta kemiallisesta ilmiöstä ChemCollective-ohjelman avulla tehtyjen ongelmanratkaisutehtävien avulla (Yaron ynnä muut, 2010).

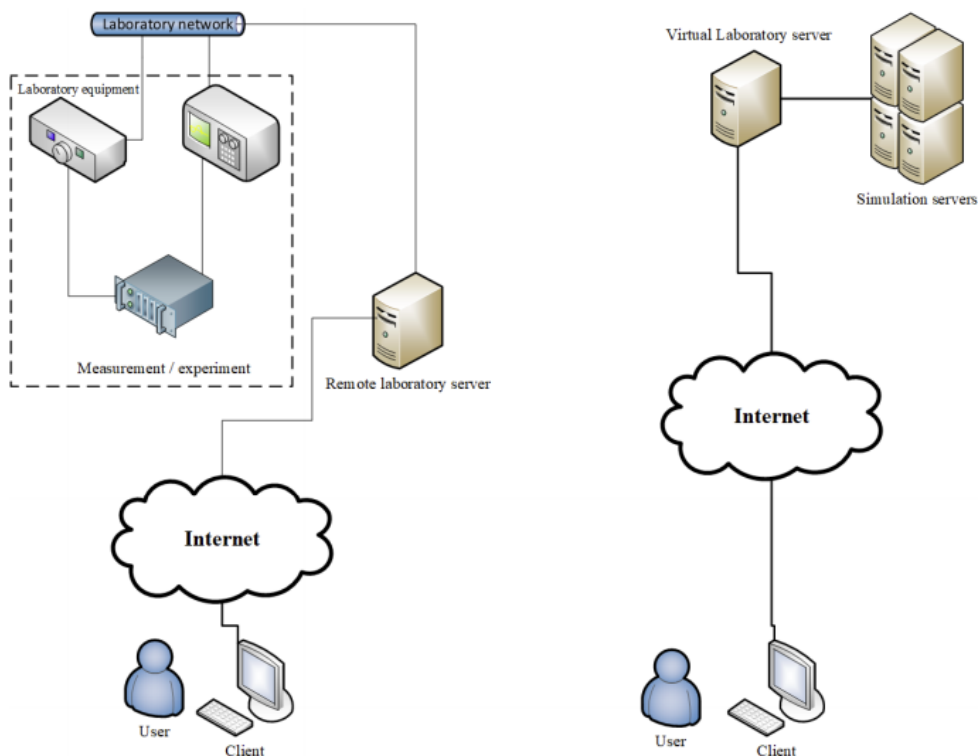
Monimutkaisia ongelmanratkaisutehtäviä, joissa opiskelijoiden tulee itse suunnitella ja toteuttaa kokeellinen tutkimus, voidaan toteuttaa myös perinteisissä laboratoriotöissä. Tällainen työskentely edistää korkeampien ajattelutaitojen kehittämistä, kuten luvussa 2.3 on kuvattu. Tällaiseen työtapaan liittyy kuitenkin tiettyjä haasteita, kuten käytettävissä olevan ajan rajallisuus. Suunnittelu vie aikaa, reagensseja sekä välineitä on rajallinen määrä ja kaikkia opiskelijan suunnitelmassa olevia reagensseja ei välttämättä ole käytettävissä.

Virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan tehdä työajan käytöstä tehokkaampaa verrattuna perinteiseen kokeelliseen työskentelyyn (Domin, 1999). Esimerkiksi ChemCollective-virtuaalilaboratoriossa opiskelija näkee suoraan käyttöliittymästä, mitä reagensseja ja välineitä on mahdollista käyttää. Lisäksi reagensseja ja välineitä on käytettävissä rajaton määrä (Carnegie Mellon University, 2022). Yleensä virtuaalilaboratorioiden avulla kokeen suorittaminen on myös huomattavasti nopeampaa kuin perinteisellä työskentelyllä. Näin ollen kokeen voi virtuaalilaboratoriossa suorittaa useita kertoja tarvittaessa. Näiden ajansäästökeinojen ansiosta virtuaalilaboratorioiden käyttö tarjoaa opiskelijalle mahdollisuuksia keskittyä enemmän sopivan tutkimusmenetelmän suunnitteluun ja arviointiin (Domin, 1999).

Yleisesti voidaan todeta, että eräs realismia painottavien virtuaalilaboratorioiden merkittävimmistä ominaisuuksista on niiden soveltuminen monimutkaisten tehtävien laatimiseen ja ratkaisemiseen. Lisäksi tällaisten ohjelmien avulla voidaan myös hyödyntää, tukea ja arvioida opiskelijoiden osaamista laboratoriotöiden suunnitteluun, havainnointiin ja toteuttamiseen liittyen (Harms, 2000).

4.4 Etälaboratoriot

Etälaboratorio määritellään siten, että kyseessä on digitaalisen käyttöliittymän avulla ohjattava fyysinen laboratoriolaitteisto. Edelleen eräänä virtuaalilaboratorioiden kategoriana voidaan pitää etälaboratorioita (Harms, 2000; Gavronskaya & Larchenkova, 2021). On huomionarvoista, että etälaboratoriot poikkeavat ominaisuuksiltaan muista virtuaalilaboratorioista merkittävästi. Käyttäjän näkökulmasta ohjelmat voivat näyttää varsin samanlaisilta, koska etälaboratorioiden käyttöliittymä voi visuaalisesti olla samankaltainen kuin virtuaalilaboratorioissa. Käytännön tasolla virtuaali- ja etälaboratoriot ovat kuitenkin hyvin erilaisia. Etälaboratoriossa ohjataan fyysisesti olemassa olevaa laboratoriolaitteistoa tietokoneen avulla etänä. Sen sijaan virtuaalilaboratoriossa kokeellisuus on täysin simuloitua. Ero simuloituihin kokeisiin perustuvien virtuaalilaboratorioiden ja etälaboratorioiden välillä on havainnollistettu kuvassa 9 (Budai, Kuczmann, 2018).



Kuva 9. Etä- ja virtuaalilaboratorioiden ero havainnollistettuna (Budai, Kuczmann, 2018)

Etälaboratorioita voidaan soveltaa kemian opetuksessa, mutta niiden ominaisuudet ja saatavuus poikkeavat merkittävästi useimpien virtuaalilaboratorioiden ominaisuuksista usealla eri tavalla.

Kuka tahansa voi asentaa äylaitteellensa virtuaalilaboratorio-ohjelman, ja simuloida kokeellista työskentelyä sen avulla. Etälaboratorio luonnollisesti vaatii enemmän resursseja, koska sellaisen käyttö edellyttää ohjelmaan yhdistettyä laboratoriolaitteistoa. Etälaboratorioiden käyttötarkoitus on myös erilainen kuin pelkkään digitaaliseen ohjelmaan perustuvat virtuaalilaboratorioilla. Sekä yleisimpiä virtuaalilaboratorioita että etälaboratorioita voidaan käyttää opetustarkoitukseen, mutta etälaboratorioita hyödynnetään myös luonnontieteellisessä tutkimuksessa. Koska etälaboratoriossa ohjataan reaali maailman laboratoriolaitteistoa, sen avulla voidaan saada hyödyllisiä tutkimustuloksia ja kerätä dataa. Luonnollisesti malleihin perustuva simulaatio kokeellisesta työstä ei sovellu samaan käyttötarkoitukseen (Budai, Kuczmann, 2018).

Virtuaalilaboratorio voidaan terminä kuitenkin määritellä hyvin monella tavalla, ja useissa tutkimuksissa myös etälaboratoriot ovat määritelty virtuaalilaboratorioiksi (Gavronskaya & Larchenkova, 2021; Harms, 2000). Kyseistä määritelmää voidaan perustella siten, että täysin digitaaliset virtuaalilaboratoriot ja etälaboratoriot voivat vaikuttaa käyttäjän näkökulmasta hyvin samanlaisilta. Näin ollen myös etälaboratorioita voisi soveltaa kemian opetukseen samalla tavalla kuin täysin digitaalisia virtuaalilaboratorioita. (Budai, Kuczmann, 2018)

4.5 Virtuaalitodellisuutta ja laajennettua todellisuutta hyödyntävät virtuaalilaboratoriot

Eräs virtuaalilaboratorioiden kategoria on virtuaalitodellisuutta hyödyntävät virtuaalilaboratoriot. Tällaisissa ohjelmissa simuloidaan laboratoriotöitä hyödyntäen jonkinlaisia virtuaalitodellisuusmenetelmiä ja laitteita (Harms, 2000). Tarkemmin voidaan kuvailla, että virtuaalitodellisuuteen liittyy olennaisesti välineet, jotka keskittävät käyttäjän aistit – vähintään näköaistin – digitaaliseen sisältöön. Esimerkki tällaisesta välineestä on virtuaalitodellisuuslasit (VR-lasit). Tällaisten lasien avulla käyttäjän näkökentässä esiintyy ainoastaan kuvaruudun sisältö. Esimerkki virtuaalitodellisuuslaseista on esitetty kuvassa 10. Käyttäjä kiinnittää puhelimensa näihin virtuaalitodellisuuslaseihin, ja katsoo kuvaruutua lasien linssien läpi. Saatavilla on myös sellaisia virtuaalitodellisuuslaseja, joissa on sisäänrakennettu näyttö, kuten useat Reality Labs -valmistajan VR-lasit (Reality Labs, 2022).



Kuva 10. Samsung Gear VR -virtuaalitodellisuuslasit ja ohjain (Samsung, 2022)

Riippumatta näytön toteutustavasta VR-laseille on ominaista hyödyntää stereoskopiaa, eli syvyysvaikutelman luomista kaksiulotteiseen kuvaan. Virtuaalitodellisuuslasit sisältävät kahteen osaan jaetun kuvaruudun. Molemmissa ruudun osissa esiintyy sama kuva, mutta yhden linssin läpi näkyy ainoastaan yksi kuva. Tällainen stereoskooppinen menetelmä ottaa huomioon sen, että ihmisen silmät näkevät kohteen hieman eri kulmista. Molemmat silmät näkevät samanlaisen kuvan, mutta koska molemmille silmille on oma versionsa kyseisestä kuvasta, muodostuu uskottava syvyysvaikutelma. (Artun ynnä muut, 2020)

Virtuaalitodellisuuden eräs keskeisistä ominaisuuksista on immersion luominen (Su & Cheng, 2019). Toisin sanoen käyttäjälle luodaan vaikutelma siitä, että hän on oikeasti läsnä virtuaalisessa ympäristössä. Usein VR-virtuaalilaboratoriot hyödyntävät aidolta tuntuvaan virtuaaliympäristöä siten, että käyttäjä pääsee käyttämään eri laboratoriovälineitä ja toteuttamaan työvaiheita monipuolisesti (Su & Chen, 2019; Singh ynnä muut, 2020). Esimerkki tällaisen VR-virtuaalilaboratorion käyttöliittymästä on esitetty kuvassa 11.



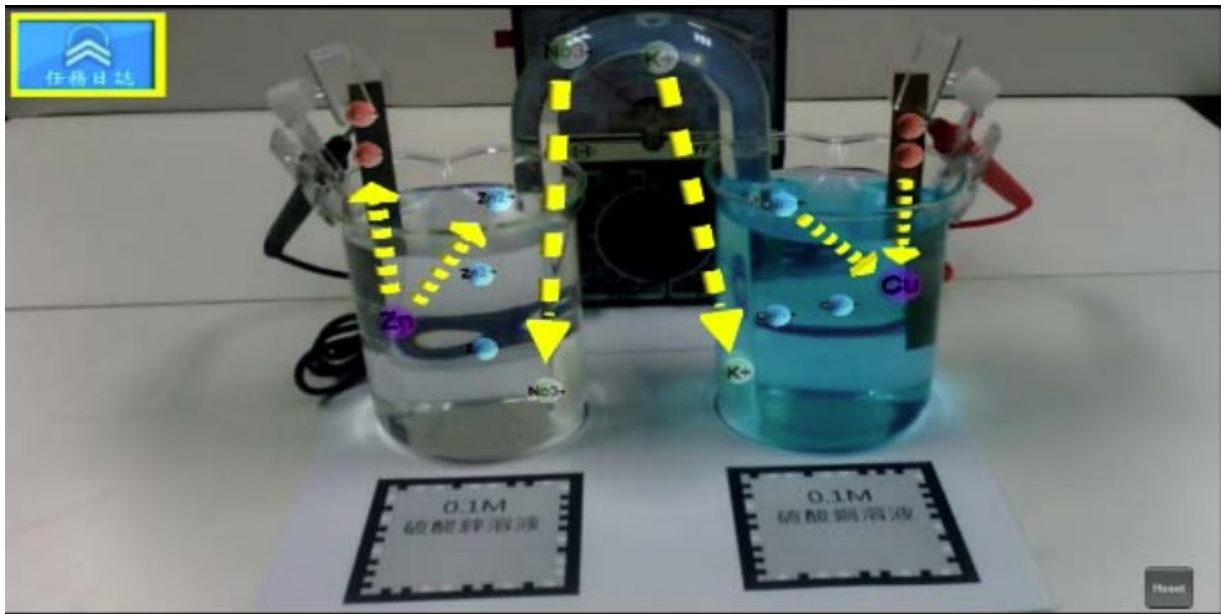
Kuva 11. Virtuaalitodellisuutta hyödyntävä virtuaalilaboratorio (Shu-Te University, 2019)

Kyseisessä VR-virtuaalilaboratoriossa käyttäjä suorittaa kokeen, jossa kerätään talteen hiilidioksidikaasua. Tämä prosessi on jaettu ohjelmassa yhteentoista työvaiheeseen, joten voidaan perustellusti todeta, että kyseisessä ohjelmassa pyritään simuloimaan todellisen maailman kokeellista työtä varsin yksityiskohtaisesti. Kuvan 11 virtuaalilaboratorio sisältää myös pelillistämistä (*gamification*), eli elementtejä, joiden avulla voidaan saada ohjelman käyttö tuntumaan pelin pelaamiselta. Tässä ohjelmassa oppijat saavat ansiomerkin ja virtuaalisia pisteitä suoritettuaan hiilidioksidin keräämistyön. Tällaisilla pelillistävillä opetusmenetelmillä voidaan lisätä oppijoiden motivaatiota ja vähentää koulutyön suorittamiseen aiheutuvaa stressiä. (Su & Cheng, 2019)

Kuvan 11 VR-virtuaalilaboratoriota käytettiin oppimisvälineenä eräässä tutkimuksessa. Kyseisen ohjelman käyttö havaittiin toimivaksi menetelmäksi opiskelijoiden motivaation lisäämiseen. Koska VR-tekniikan avulla luotu virtuaalinen laboratorioympäristö tuntuu uskottavalta ja aidolta, sitä voidaan soveltaa tarjoamaan opiskelijoille mahdollisuuksia suorittaa tarkoituksenmukaisia tehtäviä, joissa opiskelija on itse aktiivinen toimija. Näin ollen tämä virtuaalilaboratorio tukee kokemuksellista oppimista (*experiential learning*), jossa opiskelija kehittää osaamistaan käytännön kokemusten kautta. Tämän kokemuksiin perustuvan oppimisen on havaittu lisäävän opiskelijoiden motivaatiota. (Su & Cheng, 2019)

Laajennettu todellisuus on virtuaalitodellisuuden tavoin keino tehostaa digitaalisen sisällön luomaa immersiota. Kyseisen teknologian toteutustapa ja ominaisuudet eroavat kuitenkin virtuaalitodellisuudesta merkittävästi. AR voidaan määritellä siten, että kyseessä on teknologia, jonka avulla fyysistä maailmaa täydennetään dynaamisesti virtuaalisella informaatiolla. Tämän dynaamisesti esiintyvän virtuaalisen informaation sisältö on jollain tavalla sidottu sijaintiin tai muuhun kontekstiin (Klopfer & Squire, 2007). Muita AR-teknologian tyypillisiä ominaispiirteitä on digitaalisen sisällön interaktiivisuus ja reaaliaikaisuus (Azuma ynnä muut, 2001).

Koska AR-teknologia perustuu reaali maailman yhdistämiseen virtuaalisen informaation kanssa, usein kyseistä teknologiaa hyödynnetään perinteisten kokeellisten töiden täydentämiseen sen sijaan, että kyseessä olisi täysin digitaalinen simulaatio. AR-teknologian avulla voidaan esimerkiksi tuoda mikrotason ja symbolisen tason kemian havainnollistuksia perinteisen laboratoriotyön ohen. (Chen & Liao, 2015) Esimerkki tällaisesta AR:n hyödyntämisestä on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. AR-teknologian avulla havainnollistettua mikrotason kemiaa sähkökemian laboratoriotyössä (Chen & Liao, 2015)

Näiden mikrotason ja symbolisen tason havainnollistusten esittäminen ja tarkastelu perustuu siihen, että AR:lle ominaisesti ympäristön objekteja skannataan jonkinlaisella sensoreja sisältävällä laitteella. Nykyään yleisin laite AR-sisällön tarkasteluun on jonkinlainen mobiililaitte, kuten älypuhelin tai tablettitietokone. Modernien älypuhelimien GPS-ominaisuuksien avulla voidaan esimerkiksi hyödyntää reaali maailman sijaintiin perustuvaa

digitaalisen sisällön esittämistä, ja langattoman verkkoyhteyden avulla kyseinen sisältö voidaan ladata puhelimelle. Lisäksi älylaitteen kameran avulla käyttäjä voi skannata reaali maailman sisältöä, joka edelleen tulee täydennettynä käyttäjälle tarkasteltavaksi laitteen näytölle.

Koska AR-sovelluksia voidaan käyttää yleisillä älylaitteilla, AR-teknologiaa käyttäviä ohjelmia on helposti saatavilla ja niiden käyttöönotto on aiempaa helpompaa. Toinen tapa tarkastella AR-sisältöä on käyttäjän päähän kiinnitettävän näytön (*Head mounted display, HMD*) käyttäminen. (Akçayır ynnä muut, 2015) Esimerkki tällaisesta HMD:n sisältävästä laitteesta on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Google Glass Enterprise Edition 2 -tietokone, joka sisältää HMD:n (Discover Glass Enterprise Edition 2, 2022)

HMD:n toimintaperiaate riippuu laitteen ominaisuuksista. Eräs toteutustapa perustuu siihen, että käyttäjä tarkastelee ympäristöään läpinäkyvän näytön läpi. Tämän läpinäkyvän näytön ansiosta käyttäjä voi havaita AR:n avulla luodut elementit. Esimerkiksi kuvan 2 laitteessa sovelletaan tätä toteutustapaa. HMD:n voi laatia myös siten, että laitteeseen sisäänrakennettu kamera skannaa ja kuvaa ympäristöä, minkä jälkeen tämä videokuva peilataan läpinäkymättömälle näytölle. (Azuma ynnä muut, 2001)

Eräs virtuaalilaboratorioihin yleisellä tasolla liittyvistä haasteista on se, että usein niiden avulla ei voida luoda uskottavalta ja realistiselta tuntuvaan työskentely-ympäristöä. AR- ja VR-

teknologioiden avulla voidaan kuitenkin luoda mahdollisimman aidolta tuntuva laboratorioympäristö. Erityisesti erilaisten liiketunnistimien ja tuntoaistiin perustuvien (*haptic*) laitteiden avulla voidaan luoda uskottava vaikutelma kokeellisesta työskentelystä. Toisaalta edes hyvin realistisessa virtuaalisessa ympäristössä on haastavaa opettaa turvallista laboratoriotyöskentelyä, koska sen merkitys ei ole kyseisessä kontekstissa yhtä suuri kuin reaalimaailman kokeellisissa töissä (Lynch & Ghergulescu, 2017).

5 Virtuaalilaboratoriot etäopetuksessa

Virtuaalilaboratorioiden avulla opiskelijat voivat harjoitella laboratoriotyöskentelyä ilman tarvetta fyysiselle laboratorioluokalle. Erityisesti tietyissä virtuaalilaboratorioissa voidaan kokeen taustalla olevan ilmiön lisäksi harjoitella tiettyjä kokeelliseen työskentelyyn liittyviä taitoja, kuten mittausten tekemistä ja kokeen tuloksen ennustamista (Usman ynnä muut, 2021). Näiden hyötyjen vuoksi kokeellisuuden toteuttaminen virtuaalilaboratorioiden avulla on mahdollinen ratkaisu etäopetustilanteissa erityisesti, kun COVID-19 pandemian myötä tarve korvata perinteisen laboratoriotyöskentelyn järjestäminen etäopetuksessa on kasvanut (Serevina & Kirana, 2021; Usman ynnä muut, 2021).

Eräs etäopetukseen liittyvistä yleisistä haasteista on opiskelijoiden aktivointi ja osallistaminen. Koska etäopetukseen osallistuvat opiskelijat ovat eri paikoissa, on haastavaa järjestää ryhmässä tapahtuvaa oppimista. Tämän vuoksi opiskelijat eivät usein pääse olemaan vuorovaikutuksessa opettajan ja muiden opiskelijoiden kanssa, mikä vähentää opiskelijoiden motivaatiota. Lisäksi suuri osa etäopetuksessa suoritettavista tehtävistä tehdään yksilötyönä, mikä entisestään vähentää vuorovaikutusten määrää (Usman ynnä muut, 2021).

Virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan ratkaista kyseisiä etäopetuksen ongelmakohtia. Toisin kuin perinteisessä kokeellisessa työskentelyssä, etäopetuksena toteutetuissa virtuaalilaboratorioissa opiskelijat voivat suorittaa kokeellisen työn milloin vain, missä vain sekä opiskelijalle itselleen sopivalla nopeudella. Tämän ansiosta opiskelijat voivat keskustella oppimisalustalla kokeiden suorittamisesta sekä jakaa ja vertailla tuloksiaan. Lisäksi kokeellisen työn suorittaminen virtuaalisessa ympäristössä edellyttää opiskelijan aktiivista työskentelyä. Näiden virtuaalilaboratorioiden ominaisuuksien ansiosta etäopetuksen toteuttaminen

virtuaalilaboratorioita hyödyntämällä soveltuu hyvin opiskelijoiden motivointia ja aktivointia varten. (Usman ynnä muut, 2021)

Mikäli virtuaalilaboratorioita hyödynnetään etäopetuksessa, on olennaista ottaa huomioon, minkä oppimistavoitteiden saavuttamiseen virtuaalilaboratoriot soveltuvat. Virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan tehokkaasti opettaa kokeen taustalla olevan kemiallisen ilmiön ymmärtämistä, mutta tiettyjä mekaanisia työskentelytekniikoita ei voida opettaa täysin virtuaalisilla menetelmillä. Tällaisia tekniikoita ovat esimerkiksi tiettyjen laitteiden käyttö laboratoriossa sekä työlaitteiston rakentaminen. Opettajien on hyvä tiedostaa mahdolliset puutteet opiskelijoiden kokeellisen työskentelyn taidoissa, mikäli tiettyä menetelmää opetetaan ainoastaan etäopetuksessa virtuaalilaboratorion avulla ja pyrkiä löytämään ratkaisuja näihin puutteisiin (Stefanovic, 2013).

6 Virtuaalilaboratorioiden inklusiiviset ominaisuudet

Inklusiivinen opetus voidaan määritellä opetuksiksi, jossa opiskelijoiden tarpeet on otettu huomioon riippumatta heidän fyysisistä, sosiaalisista, emotionaalisista, kielellisistä ja useista muista ominaisuuksista. Opiskelun inklusiivisuutta kehittämällä voidaan tasa-arvoisesti tarjota opiskelijoille mahdollisuuksia toteuttaa itseään. (Gavronskaya & Larchenkova, 2021)

Useimmat nykyisistä virtuaalilaboratorio-ohjelmista eivät sisällä ominaisuuksia, jotka tukevat käyttäjiä, joilla on erityistarpeita (Gavronskaya & Larchenkova, 2021; Ghergulescu ynnä muut, 2018). Virtuaalilaboratorioilla on kuitenkin potentiaalia lisätä inklusiota luonnontieteiden opetuksessa, jos ohjelma suunnitellaan siten, että inklusio on otettu huomioon (Gavronskaya & Larchenkova, 2021).

Gavronskaya ja Larchenkova (2021) esittelevät mallin inklusiivisten virtuaalilaboratorio-ohjelmien kehittämiseksi. Kyseisessä mallissa on erityisesti otettu huomioon käyttäjien mahdolliset erityistarpeet useiden fyysisten ominaisuuksien suhteen.

Virtuaalilaboratorio-ohjelman asetuksiin voidaan lisätä erilaisia vaihtoehtoja ohjelman värien muokkaamiseksi. Tällaisten asetusten avulla voidaan ottaa huomioon käyttäjät, joilla on värisokeus. Koska erilaisia värisokeustyyppisiä on useita, inklusiivisessa virtuaalilaboratorio-ohjelmassa tulee olla useita väriprofiileja, joiden avulla kenen tahansa käyttäjän on mahdollista

erottaa värit toisistaan. Lisäksi ohjelman saavutettavuutta (*accessibility*) visuaalisuuden suhteen voidaan lisätä tarjoamalla vaihtoehtoja värien kontrastin ja kirkkauden muokkaamiseksi. (Gavronskaya & Larchenkova, 2021)

Artikkelissa esitetty malli suosittaa myös virtuaalilaboratorioiden suunnittelua siten, että käyttäjien mahdolliset tuki- ja liikuntaelinhäiriöt ovat otettu huomioon. Haasteita tällaisille käyttäjille ovat datan syöttäminen virtuaalilaboratoriossa ja työlaitteiston hallinta. Kyseisten käyttäjien huomioimiseksi ohjelman käyttämisen tulisi olla mahdollisimman yksinkertaista siten, että käyttäjän ei tarvitse suorittaa suurta määrää mekaanisia toimintoja näiden toimintojen suorittamiseksi (Gavronskaya & Larchenkova, 2021).

Virtuaalilaboratorion hallintaa voidaan helpottaa vaihtoehtoisilla ohjausmenetelmillä. Esimerkiksi näppäimistön käyttö voidaan korvata äänentunnistukseen perustuvalla ohjauksella. Toisaalta äänentunnistus voidaan toteuttaa myös siten, että äänikomennon avulla voidaan suoraan valita haluttu toiminto virtuaalilaboratoriossa. Näppäimistön käytön tarvetta voidaan myös vähentää hyödyntämällä järjestelmää, jossa datan syöttäminen tapahtuu siirtämällä hiiren osoittimen korostetun syöttökentän kohdalle (Gavronskaya & Larchenkova, 2021).

Inklusiivisen virtuaalilaboratorion kehittämismallissa otetaan huomioon myös käyttäjän mahdolliset kuulemisen ongelmat. Kyseisiä käyttäjiä varten virtuaalilaboratorion sisällön tulee perustua visuaalisiin menetelmiin. Esimerkiksi ohjelmaan sisällytettyjen opetusvideoiden tulee sisältää tekstityksiä tai viittomakielisiä käännöksiä. Lisäksi virtuaalilaboratorion mahdolliset äänitehosteet voidaan esittää tekstitysten tai viittomakielisten käännösten avulla, mikä tekee laboratoriotyön kokonaisvaltaisen ymmärtämisen helpommaksi. (Gavronskaya & Larchenkova, 2021). Viittomakielisiä käännöksiä sovelletaan tietyissä jo saatavilla olevissa virtuaalilaboratorio-ohjelmissa. Tällaisten käännösten ansiosta virtuaalilaboratorion sisältämä visuaalisesta informaatiosta voidaan tehdä vähemmän abstraktia (Ghergulescu ynnä muut, 2018).

7 Virtuaalilaboratorioiden logistiset, taloudelliset ja muut käytännön ominaisuudet

Tässä luvussa tarkastellaan virtuaalilaboratorioiden logistisia, taloudellisia ja muita käytännön ominaisuuksia yleisellä tasolla, sekä vertaillen niitä perinteisiin laboratoriotöihin. Virtuaalilaboratorioiden käytön tarkoituksena ei lähtökohtaisesti ole käyttää niitä perinteisen kokeellisen työskentelyn sijaan, tai edes mukailla perinteistä kokeellista työskentelyä täysin tarkasti (Yaron ynnä muut, 2010). Joissain tapauksissa tiettyjä kokeellisia töitä ei voida suorittaa erilaisista käytännön syistä johtuen. Tällöin kyseinen kokeellinen työ voidaan kuitenkin suorittaa virtuaalilaboratorioiden avulla. Koska toisinaan virtuaalilaboratorioita käytetään perinteisen kokeellisen työskentelyn sijaan, on perusteltua tarkastella virtuaalilaboratorioiden käytännön ominaisuuksia suhteessa laboratoriotyöskentelyyn.

Eräs yleisimmin mainituista virtuaalilaboratorioiden on virtuaalilaboratorioiden edullisuus (Alexiou ynnä muut, 2005; Hawkins & Phelps, 2013; Rizman Herga ynnä muut, 2014). Useita virtuaalilaboratorioita on saatavilla Internetistä täysin ilmaiseksi (Alexiou ynnä muut, 2005). Esimerkkejä tällaisista ilmaisista virtuaalilaboratorio-ohjelmista ovat aiemmin työssä mainitut PhET:in simulaatiot (Moore ynnä muut, 2014) sekä ChemCollective-virtuaalilaboratoriot (Yaron ynnä muut, 2010).

Koska virtuaalilaboratoriossa simuloitu kokeellinen työ tapahtuu virtuaalisessa ympäristössä, kyseinen koe voidaan suorittaa useita kertoja ilman, että on tarpeen kuluttaa reagensseja. Erityisesti virtuaalilaboratorioita voidaan hyödyntää tiettyjen kokeellisten töiden virtuaalista suorittamista varten, mikäli kyseinen työ perinteisessä muodossa edellyttäisi joitakin reagensseja tai laitteita, joiden hankkiminen ei ole taloudellisista syistä mahdollista. Virtuaalilaboratorio-ohjelmissa voi olla saatavilla rajaton valikoima ja määrä välineitä ja reagensseja. (Rizman Herga ynnä muut, 2014).

Joissain tapauksissa ei välttämättä ole taloudellisia edellytyksiä rakentaa tai ylläpitää laboratorioluokkaa. Tällöin virtuaalilaboratorioilla voidaan käyttää perinteisen kokeellisen työskentelyn sijaan. Virtuaalilaboratorio-ohjelmia voidaan esimerkiksi asentaa jo mahdollisesti olemassa olevan tietokonealueen laitteille (Alexiou, 2005). Opiskelijat voivat myös käyttää virtuaalilaboratorio-ohjelmia omilla tietokoneillaan. Lisäksi HTML5-teknologiaa hyödyntävät

ohjelmat, kuten useat PhET:in simulaatiot ovat käytettävissä myös tablettitietokoneilla ja älypuhelimilla (Moore ynnä muut, 2014).

Virtuaalilaboratorioiden käytön hintaan ja muihin ominaisuuksiin vaikuttaa kuitenkin merkittävästi ohjelmaa varten käytettävä laite. Vaikka ohjelmistoa on usein saatavilla ilmaiseksi (Alexiou ynnä muut, 2005; Moore ynnä muut, 2014; Yaron ynnä muut, 2010), on aiheellista tarkastella mahdollisten lisälaitteiden hankintojen vaikutuksia.

Vielä 1990-luvulla AR-tekniikan hyödyntäminen edellytti huomattavaa investointia laitteisiin. Tuolloin kyseisen tekniikan hyödyntämiseksi tarvittiin jonkinlainen erillinen HMD, jonka tuli olla yhdistettynä tietokoneeseen käytön aikana. Näiden tekniikoiden rajoitteiden vuoksi 1990-luvun AR tekniikan hyödyntäminen oli hintavaa ja logistisesti haastavaa. Tarvittavien laitteiden määrä ja paino tekivät AR-tekniikan hyödyntämisestä epäkäytännöllistä erityisesti kenttätyöskentelyssä (Azuma ynnä muut, 2001).

Modernien älylaitteiden edistyneiden ominaisuuksien ansiosta AR-tekniikan hyödyntäminen on huomattavasti helpompaa ja edullisempaa kuin 1990-luvulla (Akçayir ynnä muut, 2016). Esimerkiksi älypuhelimet ja tablettitietokoneet ovat huomattavasti kevyempiä ja pienempiä kuin vanhat AR-järjestelmät. Lisäksi useimmat moderneista älylaitteista ja tablettitietokoneista sisältävät AR-tekniikan hyödyntämiseen tarvittavat sensorit, kuten kompassin, gyrokoopin, GPS-sensorin ja kiihtyvyyssmittarin. Älypuhelimien sisäänrakennetut kamerat ja näytöt ovat myös riittävän edistyneitä AR-tekniikaa varten. Tämän tekniikoiden kehityksen ansiosta AR-tekniikan soveltaminen on hyvin mahdollista, koska sitä varten ei tarvita erillisiä laitteita, ja älypuhelimet ovat erittäin yleisiä (Gervautz & Schmalstieg, 2012).

Toisin kuin AR-tekniikan sovelluksissa, VR-tekniikan käyttö edellyttää jonkinlaisen lisälaitteen hankkimista stereoskooppisen 3d-efektin luomista varten. Etenkin sisäänrakennettua näyttöä hyödyntävät VR-lasit ovat kalliita. Tämänkin tekniikoiden edullisuuden ja saatavuuden parantamiseksi ratkaisuna on hyödyntää käyttäjien omia älypuhelimia. Kyseisellä tavalla suunnitellut VR-lasit ovat huomattavasti edullisempia. Tästä huolimatta jonkinlainen laitehankinta on välttämätöntä tehdä VR-tekniikan käyttöä varten. (Artun ynnä muut, 2020) Näin ollen voidaan perustellusti todeta virtuaalitodellisuuteen perustuvien sovellusten hyödyntämisen olevan logistisesti ja taloudellisesti haastavampaa verrattuna ainoastaan älypuhelimien tai tietokoneeseen perustuvien sovellusten käyttö.

Tiettyihin kokeellisiin töihin liittyy myös muita käytännön haasteita, joita voidaan ratkaista hyödyntämällä virtuaalilaboratorioita. Joidenkin kokeiden suorittaminen perinteisillä menetelmillä vaatisi liikaa aikaa, jolloin simuloidun version toteuttaminen on käytännöllisempää (Rizman Herga ynnä muut, 2014; Alexiou ynnä muut, 2005).

Myös työturvallisuus on eräs riskitekijä perinteisessä kokeellisessa työskentelyssä. Jotkut kokeelliset työt ovat liian vaarallisia suoritettavaksi koululaboratoriossa. Tällöin voidaan hyödyntää virtuaalilaboratorioita kokeen suorittamiseen sen sijaan, että kyseinen koe jätettäisiin tekemättä työturvallisuusriskien vuoksi. Luonnollisesti myös yleisellä tasolla kokeen suorittaminen virtuaalilaboratoriossa on turvallisempaa kuin perinteisessä laboratoriossa (Rizman Herga ynnä muut, 2014).

Toisinaan perinteisen kokeellisen työskentelyn mielekäs hyödyntäminen opetuksessa voi olla haastavaa, jos kyseisen työn suorittaminen on erityisen vaikeaa tai tarkkuutta vaativaa. Sen sijaan virtuaalilaboratoriossa suoritettu työ ei edellytä samanlaista tarkkaa työskentelyä kuin perinteinen kokeellinen työskentely. Lisäksi virtuaalilaboratoriossa kokeellisen työn tulokset ovat aina samanlaiset (Rizman Herga ynnä muut, 2014).

Kokonaisuutena virtuaalilaboratorioiden voidaan todeta mahdollistavan jonkinlaisen kokeellisen työskentelyn järjestämisen vähemmillä resursseilla verrattuna perinteiseen kokeelliseen työskentelyyn. (Alexiou ynnä muut, 2005; Hawkins & Phelps, 2013; Rizman Herga ynnä muut, 2014). Virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan myös suorittaa laboratorioita nopeammin ja turvallisemmin kuin perinteisillä menetelmillä (Rizman Herga ynnä muut, 2014).

8 Opettajien ja opettajaopiskelijoiden asenteita virtuaalilaboratorioihin liittyen

Opettajien asenteita virtuaalilaboratorioita kohtaan sekä virtuaalilaboratorioiden käytön määrää on tutkittu varsin vähän. Kuitenkin erään tutkimuksen mukaan opettajat suhtautuvat myönteisesti virtuaalilaboratorioihin ja pitävät niitä hyödyllisenä opetusvälineenä opiskelijoiden motivaation ja luonnontieteellisten taitojen kehittämistä varten. Tästä huolimatta suurin osa tutkimukseen osallistuneista opettajista käytti virtuaalilaboratorioita harvoin, tai ei

lainkaan. Tutkimuksessa havaittiin virtuaalilaboratorioiden käytön perustuvan yksittäisten opettajien aloitteellisuuteen (Alneyadi, 2019).

Eräs yleisimmistä opettajien sekä opettajaopiskelijoiden esittämästä kritiikistä virtuaalilaboratorioita kohtaan liittyy autenttisuuden puutteeseen (Alneyadi, 2019; Penn & Mavuru, 2020). Virtuaalilaboratoriossa ei tarvitse harjoitella laboratoriovälineiden mekaanista hallintaa ja tarkkojen mittausten tekemistä, joten virtuaalilaboratoriot eivät ole vertailukelpoisia perinteisiin kokeellisiin töihin (Penn & Mavuru, 2020). Opettajat ovat myös virtuaalilaboratorioiden käyttökokemustensa perusteella havainneet, että myös oppilaille kokeellisen työskentelyn autenttisuus on tärkeää, joten he pitävät enemmän fyysisten kokeellisten töiden suorittamisesta (Alneyadi, 2019)

Toisaalta opettajaopiskelijat olivat myös arvostaneet useita virtuaalilaboratorioiden ominaisuuksia, jotka ovat seurauksia autenttisuuden puutteesta. Heidän mukaan virtuaalilaboratorioiden käyttö rohkaisee käyttäjiä kokeilemaan monipuolisia vaihtoehtoja ongelmanratkaisutehtävissä, koska kyseisessä virtuaalilaboratorio-ohjelmassa ei ollut mahdollista tehdä virheitä, joiden seurauksena työ epäonnistuisi (Penn & Mavuru, 2020).

Opettajaopiskelijat näkivät useita hyviä puolia virtuaalilaboratorioiden suoraviivaisessa luonteessa. Kokeellisen työn suorittaminen virtuaalilaboratoriossa on nopeaa, eikä työn onnistuminen riipu reagenssien saatavuudesta. Koska virtuaalilaboratorioiden avulla kokeellisten töiden suorittaminen koettiin helpoksi, niiden havaittiin soveltuvan hyvin tutkivaan oppimiseen ja hypoteesien paikkansapitävyyden kokeiluun. Myös mahdollisuudet hallita eri muuttujia virtuaalilaboratorioissa ja kerätä dataa kokeellisesta työstä reaaliaikaisesti nähtiin arvokkaana ominaisuutena tutkivan oppimisen tukemista varten (Penn & Mavuru, 2020).

Useiden opettajaopiskelijoiden mukaan virtuaalilaboratoriot soveltuivat hyvin itseohjautuvan oppimisen tukemiseen. Virtuaalilaboratorio-ohjelman käyttö koettiin yksinkertaiseksi ja virtuaalilaboratorioille ominaisesti käyttäjän oli mahdollista suorittaa kokeellinen työ niin monta kertaa kuin käyttäjä halusi. Lisäksi opettajaopiskelijoiden mielestä oli hyödyllistä, että virtuaalilaboratorioiden avulla oli mahdollista harjoitella laboratoriotyöskentelyä paikasta riippumatta. (Penn & Mavuru, 2020)

Opettajaopiskelijoiden on havaittu pitävän virtuaalilaboratorioita hyödyllisenä visualisointimenetelmänä. Useiden virtuaalilaboratorio-ohjelmien avulla voidaan tarkastella mikrotason visualisointeja luonnontieteellisistä ilmiöistä samalla, kun käyttäjä suorittaa simuloitua koetta virtuaalisessa ympäristössä. Virtuaalilaboratorioiden visualisointimahdollisuudet olivat erityisen arvostettu ominaisuus tutkimukseen osallistuneiden opettajaopiskelijoiden keskuudessa (Penn & Mavuru, 2020).

9 Opiskelijoiden asenteita virtuaalilaboratorioihin liittyen

Virtuaalilaboratorion käyttö mahdollistaa simuloitun laboratorio työskentelyn harjoittelun koulun ulkopuolella. Tämän ansiosta opiskelijat voivat harjoitella kokeelliseen työskentelyyn liittyviä taitoja sekä kehittää kokeen taustalla olevan ilmiön ymmärtämistä missä ja milloin tahansa. Tutkimuksissa on havaittu, että opiskelijat arvostivat erityisesti tätä virtuaalilaboratorioiden tarjoamaa mahdollisuutta harjoitella kokeellista työskentelyä vapaasti (Josephsen & Kristensen, 2006; Lynch & Ghergulescu, 2017).

Eräät opiskelijat kokevat keskittyvänsä paremmin kokeellisen työn sisältöön virtuaalilaboratorioympäristössä, koska tällöin ei tarvitse ottaa huomioon perinteiseen kokeelliseen työskentelyyn liittyvää työturvallisuutta. Toisaalta useat opiskelijat pitivät tätä työturvallisuuden sivuuttamista myös negatiivisena asiana, koska virtuaalisessa ympäristössä opiskelijat eivät voi tehokkaasti opetella huolellista ja turvallista laboratorio työskentelyä. (Lynch & Ghergulescu, 2017)

Opiskelijat ovat myös kommentoineet, että virtuaalilaboratorio-ohjelmiston yksinkertaisuus on tehnyt työn suorittamisesta miellyttävää. Kyseisessä virtuaalilaboratorio-ohjelmassa kokeellisen työn suorittaminen eteni ainoastaan, jos valitsi oikean toiminnon. Tämän vuoksi opiskelijat kokivat ymmärtävänsä paremmin kokeellisen työn eri vaiheiden merkityksen ja kykenivät keskittymään eri työvaiheiden merkitykseen paremmin, koska virtuaalilaboratorioympäristössä ei ollut edes mahdollista tehdä työtä väärin (Lynch & Ghergulescu, 2017).

Toisaalta virtuaalilaboratorioiden käyttö ei välttämättä ole helppoa kaikille opiskelijoille. Eräissä tutkimuksissa haastateltiin lukio-opiskelijoita ja kysyttiin heidän mielipiteitään erään

fysiikan virtuaalilaboratorion käyttöön liittyen. Vastauksista havaittiin, että joillekin opiskelijoille oli haastavaa keskittyä virtuaalilaboratoriossa tehtävien kokeiden tekemiseen, koska he kokivat ohjelmiston käytön vaikeaksi. Tällöin ohjelmiston käytön opetteluun kului huomattava määrä aikaa (Asiksoy & Islek, 2017).

Opiskelijoiden mielestä eri työvaiheiden merkitykseen oli helpompi syventyä virtuaalilaboratoriossa myös siksi, että he toisinaan kokevat perinteisen laboratoriotyön mekaanisessa suorittamisessa olevan kiire. Nämä työvaiheiden merkityksen ymmärtämistä helpottavat tekijät myös kasvattivat opiskelijoiden työskentelymotivaatiota, koska kokeellinen työskentely on mielekkäämpää, kun opiskelijat tietävät, miksi heidän tulee suorittaa tiettyjä työvaiheita (Lynch & Ghergulescu, 2017).

Virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan suorittaa simuloituja kokeita tietokoneella. Useiden opiskelijoiden mukaan työskentely omalla tietokoneella oli miellyttävää. Lisäksi tietokoneella työskentely mahdollisti simuloitujen kokeellisen työn suorittamisen yksilötyönä. Eräät opiskelijat pitivät enemmän virtuaalilaboratorioista kuin perinteisestä kokeellisesta työskentelystä siksi, että he saivat suorittaa työn kokonaan yksin. (Asiksoy & Islek, 2017)

Opiskelijat ovat painottaneet, että virtuaalilaboratorioita ei kuitenkaan tule käyttää perinteisen kokeellisen työskentelyn korvaamiseen. Heidän mielestään perinteiset laboratoriot antavat kokonaisvaltaisemman ja realistisemman kuvan kokeellisesta työskentelystä kuin virtuaalilaboratoriossa suoritettavat kokeet. Virtuaalilaboratorioiden avulla ei voida havainnollistaa aineiden ominaisuuksia ja reaktioiden luonnetta yhtä tarkasti kuin reaali maailman kokeilla (Josephsen & Kristensen, 2006). Lisäksi eräät opiskelijat ovat myös sanoneet pitävänsä enemmän perinteisistä laboratoriotöistä, joissa he pääsevät fyysisesti koskemaan ja käyttämään työvälineistöä (Asiksoy & Islek, 2017). Voidaan todeta, että opiskelijat arvostavat perinteisen laboratoriotyöskentelyn autenttisuutta, eikä sitä voida korvata simuloituilla laboratoriotöillä (Josephsen & Kristensen, 2006).

KOKEELLINEN OSA

10 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksessa selvitettiin, minkä verran kemian opettajat käyttävät virtuaalilaboratorioita kemianopetuksessa. Lisäksi haluttiin selvittää kemian opettajien asenteita virtuaalilaboratorioita kohtaan. Myös virtuaalilaboratorioiden hyötyjä ja haasteita tarkasteltiin tutkimuksessa. Erityisesti virtuaalilaboratorioiden soveltamista etäopetukseen selvitettiin tutkimuksessa.

Tutkimuskysymyksiksi valittiin:

1. Miten usein ja millä ohjelmistoilla opettajat käyttävät virtuaalilaboratorioita?
2. Millaisia hyötyjä ja haasteita virtuaalilaboratorioiden opetuskäyttöön liittyy?
3. Millaisia näkemyksiä ja kokemuksia opettajilla on virtuaalilaboratorioiden käytöstä?
4. Miten virtuaalilaboratorioita voidaan hyödyntää etäopetuksessa?

11 Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto

Tutkimus toteutettiin kyselytutkimuksena, joka perustui verkkopohjaiseen Google Forms - palveluun. Kyselylomake koostui 21 kysymyksestä, joista noin puolet oli monivalintakysymyksiä. Toinen puolisko kysymyksistä sisälsi avoimia kysymyksiä. Lomakkeen alkuosan kysymysten avulla selvitettiin vastaajien taustatietoja, kuten opettajien koulutustasoa ja opetuskokemuksen määrää. Muiden kysymysten tarkoituksena oli kerätä tietoa vastaajien kokemuksista ja asenteista virtuaalilaboratorioihin liittyen. Kyselylomake on esitetty liitteessä 1. Tutkimus toteutettiin ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettisten periaatteiden mukaisesti (Tutkimuseettinen neuvottelukunta, 2019).

Tutkimusaineisto muodostuu 15 kemian opettajan palauttamista kyselylomakkeista. Tutkimukseen osallistuttiin anonymisti.

11.1 Kyselylomake tutkimusmenetelmänä

Eräs kyselytutkimuksen hyödyistä on maantieteellinen joustavuus. Tutkimuksen kohderyhmä voidaan helposti tavoittaa ja tunnistaa riippumatta siitä, miten kaukana vastaajat sijaitsevat. (Marshall, 2004) Tämä on eräs syy kyselylomakkeen käyttämiselle tässä tutkimuksessa.

Vastaajiksi tarvittiin kemian opettajia, mikä on jokseenkin spesifi joukko. Vastauksia haluttiin keneltä tahansa kemian opettajalta riippumatta hänen virtuaalilaboratorioiden käyttökokemuksen määrästä. Kuitenkin tutkimuskysymysten kannalta tärkeää oli saada edes joitakin vastauksia sellaisilta kemian opettajilta, jotka ovat käyttäneet virtuaalilaboratorioita. Koska virtuaalilaboratoriota työssään käyttävät kemianopettajat on melko rajattu kohderyhmä, kyselytutkimuksen maantieteellisen joustavuuden avulla pystyttiin varmistamaan vastaajien löytäminen.

Kyselytutkimukseen voidaan sisällyttää avoimia kysymyksiä tilanteissa, joissa tarvitaan kvalitatiivista informaatiota (Marshall, 2004). Tässä tutkimuksessa tarvittiin avoimien kysymysten käyttöä, koska esimerkiksi mahdollisia virtuaalilaboratorioiden käytössä esiintyneitä hyötyjä ja haasteita voi olla rajattomasti erilaisia. Näin ollen tutkimusta laadittaessa todettiin, että kvalitatiivisen informaation avulla voidaan vastata tutkimuskysymyksiin mielekkäämmin kuin ainoastaan kvantitatiivisella datalla.

Kyselytutkimukseen liittyy myös useita haasteita. Tutkimuksen tekijän on usein vaikeaa varmuudella selvittää, että kyselyn vastaaja kuuluu varmasti tutkimuksen kohderyhmään. Lisäksi kyselytutkimukseen osallistuva henkilö ei voi esittää kysymyksiä tutkijalle, mikä voi olla ongelmallista tilanteissa, joissa osallistujia ei ole ymmärtänyt kysymystä täysin. (Marshall, 2004)

Kyselytutkimus ei välttämättä anna realistista kuvaa kohderyhmästä kokonaisuudessaan. Tähän vaikuttaa merkittävästi tapa, jolla kyselylomaketta on välitetty eteenpäin. Mikäli kyselytutkimukseen osallistuminen edellyttää jonkinlaista aktiivisuutta osallistujalta, vastaajat saattavat olla huomattavasti keskimääräistä kohderyhmän jäsentä motivoituneempia. Täysin satunnaisella lomakkeen jakamisella kohderyhmän kesken voidaan saada realistisempi kuva kohderyhmästä (Marshall, 2004). Tässä tutkimuksessa ei voitu toteuttaa satunnaisuuteen perustuvaa lomakkeen jakamista kohderyhmän sisällä ja siitä seuraava mahdollinen epätarkkuus tuloksissa on otettu huomioon tulosten analysoinnissa.

11.2 Sisällönanalyysi tutkimusmenetelmänä

Sisällönanalyysillä voidaan arvioida useita erilaisia aineistoja. Sitä voidaan soveltaa kvalitatiiviseen ja kvantitatiiviseen dataan useilla eri tieteenaloilla. Yleisimmin sisällönanalyysiä käytetään sanallisen datan sisältämän informaation kategorisointiin ja tarkasteluun. Esimerkiksi kohderyhmän asenteita ja kiinnostuksen kohteita käsittelevässä tutkimuksessa voidaan soveltaa sisällönanalyysiä (Harwood & Garry, 2003).

Sisällönanalyysin liittyy muitakin hyödyllisiä ominaisuuksia menetelmän monipuolisen soveltuvuuden lisäksi. Sen avulla voidaan helposti analysoida runsasta määrää dataa (Harwood & Garry, 2003; Elo & Kyngäs, 2008). Sisällönanalyysi valittiin tässä tutkimuksessa tutkimusmenetelmäksi osittain siksi, että tutkimuksessa oli analysoitavana melko paljon dataa.

Sisällönanalyysi menetelmänä on luonteeltaan jossain määrin subjektiivista, mikä on eräs kyseisen menetelmän haasteista. Tutkijan omat asenteet tutkittavaa ilmiötä kohtaan voivat vaikuttaa tulosten analysointiin ja tulkintaan. Tämä haaste voi vaikuttaa raportoituihin tutkimustuloksiin erityisesti tapauksissa, joissa ainoastaan osa kerätystä datasta analysoidaan ja esitetään. Toisinaan tutkimuksissa kerätty data saatetaan esittää valikoidusti siten, että tulokset tukevat tutkijan ensisijaisia mielenkiinnon kohteita. Kategorisoimalla ja esittämällä kaiken kerätyn datan voidaan vähentää todennäköisyyttä epätarkkojen johtopäätösten esittämiseksi. Tutkijan omien asenteiden vaikutusta tulosten esittämisessä voidaan vähentää käyttämällä koodaus- tai luokittelutekniikoita sanallisen datan esittämisessä. Luotettavuutta voidaan parantaa myös siten, että pyydetään useampi puolueeton tutkija arvioimaan dataa. (Harwood & Garry, 2003)

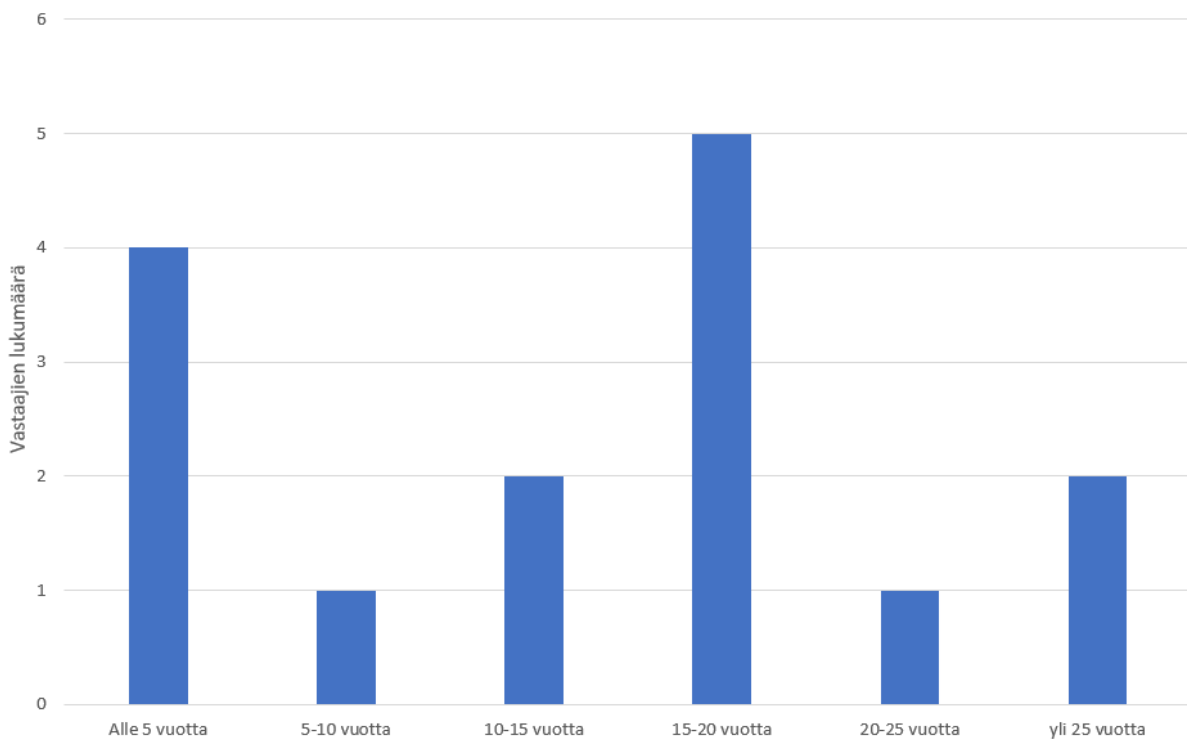
12 Tutkimustulokset ja tulosten analysointi

12.1 Taustatiedot

Tutkimukseen osallistuneista opettajista suurin osa (11/15) oli koulutukseltaan filosofian maistereita. Kyselylomakkeeseen oli vastannut myös yksi luonnontieteiden kandidaatti, yksi filosofian lisensiaatti ja kaksi filosofian tohtoria.

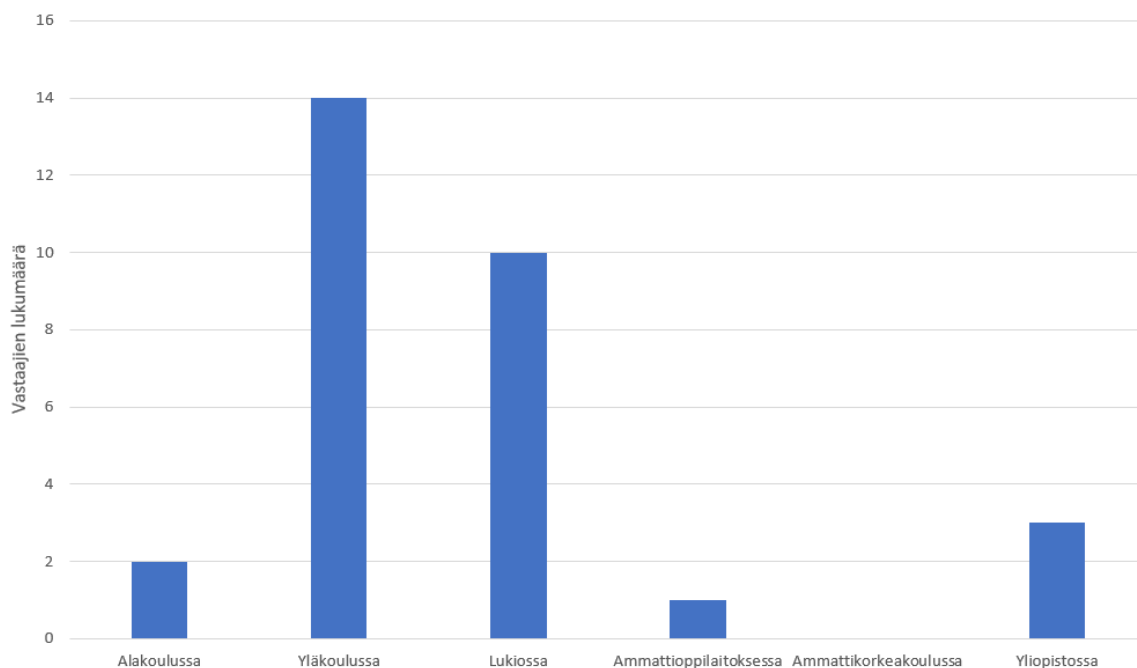
Kemia oli selkeästi yleisin pääaine vastaajien kesken (11/15). Kolmen vastaajan pääaine oli matematiikka, ja yhden vastaajan pääaine oli fysiikka.

Taustakysymyksissä kartoitettiin myös opetuskokemusta. Vastaajien työkokemuksen määrä vaihteli runsaasti. Vastaajien opetusvuosien määrä on esitetty kuvassa 14. Kerätyn datan perusteella voidaan todeta, että tutkimukseen osallistuneet opettajat muodostavat varsin edustavan otoksen kentällä työskentelevistä opettajista opetuskokemuksen määrän suhteen.



Kuva 14. Kyselyyn vastanneiden opettajien opetuskokemuksen määrä

Viimeisellä taustakysymyksellä selvitettiin kouluasteita, joilla vastaajat olivat opettaneet kemiaa. Tähän kysymykseen oli mahdollista valita useita vastausvaihtoehtoja. Vastaukset ovat esitetty kuvassa 15. Kyseisen kuvan perusteella nähdään, että yläkoulu ja lukio olivat selkeästi yleisimmät kouluasteet vastaajien keskuudessa, mikä on kemian opettajille tavallista.



Kuva 15. Eri kouluasteet, joilla vastaajat ovat opettaneet kemiaa

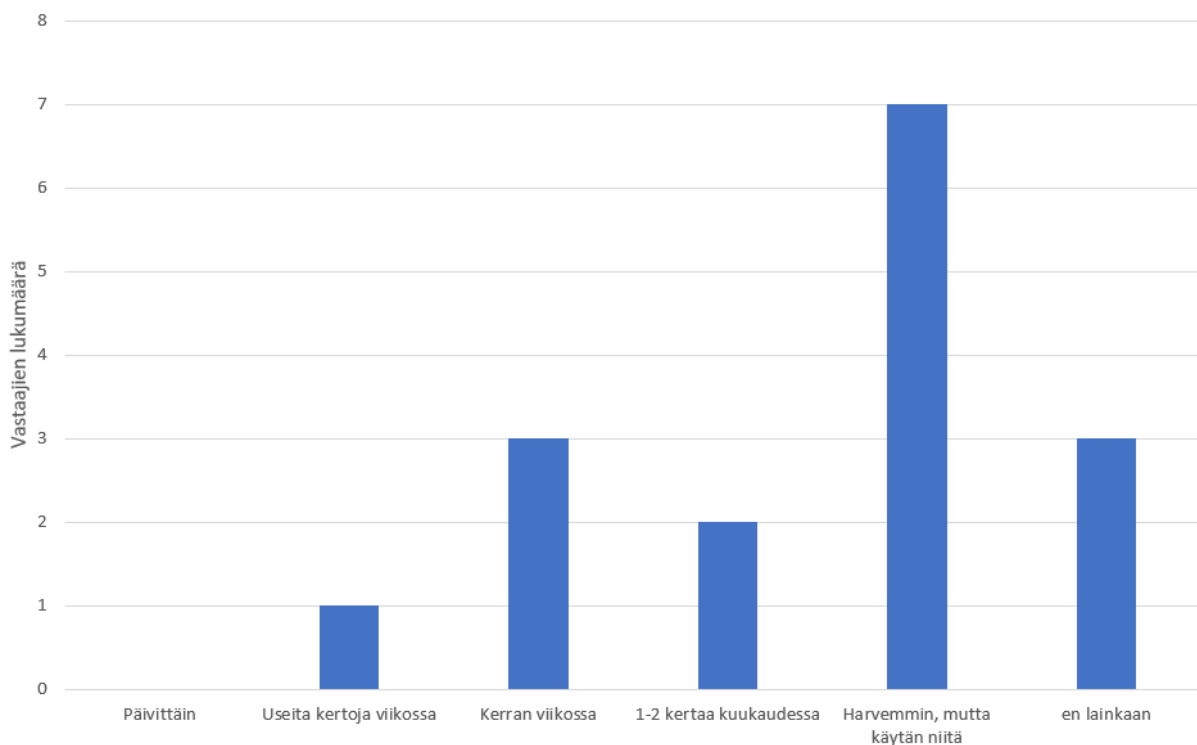
12.2 Opettajien virtuaalilaboratorioiden käyttötottumukset kemian lähi- ja etäopetuksessa

Ensimmäinen virtuaalilaboratorioihin liittyvällä kysymyksellä selvitettiin, kuinka usein vastaajat käyttävät virtuaalilaboratorioita kemian lähiopetuksessa. Enemmistö vastaajista (10/15) vastasi käyttävänsä niitä harvemmin kuin kerran kuukaudessa. Muutama vastaaja (4/15) kertoi käyttävänsä virtuaalilaboratorioita 1-2 kertaa kuussa. Yksi vastaaja ei ollut käyttänyt niitä lainkaan.

Virtuaalilaboratorioiden käytön määrään liittyvät tulokset poikkeavat huomattavasti Alneyadin (2019) tutkimustuloksista. Kyseisessä tutkimuksessa yli puolet vastanneista opettajista ei ollut käyttänyt virtuaalilaboratorioita lainkaan. On kuitenkin huomionarvoista, että tutkimuksen toteutustapa voi vaikuttaa siihen, millaisia vastaajia osallistuu tutkimukseen. Tähän

tutkimukseen osallistuminen perustui jossakin määrin vastaajien aktiiviseen toimintaan, koska opettajia ei erikseen valittu ja kutsuttu tutkimukseen henkilökohtaisesti. Sen sijaan linkki kyselytutkimukseen oli jaettu useille opettajille digitaalisesti. Aktiivista osallistumista edellyttävät tutkimukset houkuttelevat vastaajia, jotka ovat keskimääräistä kiinnostuneempia aiheesta (Marshall, 2004). Siten on mahdollista, että kyselylomakkeen täyttäneet opettajat ovat kiinnostuneempia virtuaalilaboratorioista kuin täysin satunnaisesti valitut opettajat olisivat olleet. Alneyadin (2019) tutkimuksessa käytettiin satunnaista valintaa.

Opettajilta kysyttiin myös, kuinka usein he käyttävät virtuaalilaboratorioita kemian etäopetuksessa. Vastausten jakauma oli monipuolisempi verrattuna lähiopetusta käsittelevään kysymykseen. Virtuaalilaboratorioiden etäopetuskäyttöä koskevan kysymyksen tulokset on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Virtuaalilaboratorioiden käytön määrä etäopetuksessa

Tutkimustuloksista huomataan, että vastaajat käyttivät virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa säännöllisemmin kuin lähiopetuksessa. Lähiopetuksessa yksikään opettaja ei vastannut käyttävänsä virtuaalilaboratorioita useammin kuin 1-2 kertaa kuukaudessa. Sen sijaan etäopetuksessa muutama opettajista (4/15) vastasi käyttävänsä virtuaalilaboratorioita kerran viikossa tai useita kertoja viikossa.

Kyselylomakkeessa opettajilta ei suoraan kysytty perusteluja sille, miksi he ovat käyttäneet virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa enemmän kuin lähiopetuksessa. Lomakkeessa kuitenkin kysyttiin, että mikä tekijä sai opettajat kokeilemaan virtuaalilaboratorioita yleisellä tasolla. Kaksi vastaajaa (2/14) mainitsi etäopetuskäytön syyksi käyttää virtuaalilaboratorioita. Yksi näistä vastaajista painotti mahdollista suorittaa happo-emästitrausta kevään 2020 etäopetusjakson aikana. Myös kirjallisuudessa on havaittu virtuaalilaboratorioiden soveltuvan kokeellisen työskentelyn taitojen opettelemiseen etäopetuksessa (Usman ynnä muut, 2021). Toinen vastaaja perusteli virtuaalilaboratorioiden käyttöönsä seuraavanlaisesti:

”Etäkoulu viime keväänä oli suuri sysäys. Käytin niitä jonkun verran myös aiemmin, mutta nyt kuluneen vuoden aikana käyttö on lisääntynyt valtavasti myös lähiopetuksessa”

Lomakkeessa kysyttiin, millainen pysyvä vaikutus kevään 2020 jälkeisellä etäopetusjaksolla on ollut opettajien virtuaalilaboratorioiden käytön määrään lähiopetuksessa. Kysymykseen vastattiin valitsemalla sopivin vaihtoehto. Suurin osa vastaajista (8/15) totesi, että etäopetusjaksolla ei ollut pysyvää vaikutusta virtuaalilaboratorioiden käytön määrään. Yksi vastaaja (1/15) kuitenkin sanoi, että hänen virtuaalilaboratorioiden käyttönsä on lisääntynyt paljon. Lisäksi osa vastaajista (4/15) kertoi, että he ovat alkaneet käyttää virtuaalilaboratorioita hieman enemmän. Kaksi vastaajaa (2/15) valitsi vaihtoehdon ”En osaa sanoa”. Näin ollen kolmasosalle (5/15) vastaajista kevään 2020 etäopetuksella oli jonkinlainen vaikutus virtuaalilaboratorioiden käytön lisääntymiseen heidän järjestämässä kemian lähiopetuksessa. Mahdollinen syy virtuaalilaboratorioiden käytön lisääntymiselle on se, että kevään 2020 etäopetusjakson aikana virtuaalilaboratorioiden käyttö mahdollisti jonkinlaisen kokeellisen työskentelyn sisällyttämisen opetukseen. Näin ollen kyseisen etäopetusjakson aikana opettajat saattoivat käyttää virtuaalilaboratorioita aiempaa säännöllisemmin. Tällaisen säännöllisen käytön seurauksena opettajat saattoivat havaita virtuaalilaboratorioiden tuovan lisäarvoa kemian opetukseen yleisellä tasolla.

Opettajilta kysyttiin myös heidän näkemyksiä virtuaalilaboratorioiden opetuskäytön hyvistä puolista. Näissäkin vastauksissa useat opettajat (7/15) mainitsivat vastauksissaan etäopetuksen tai mahdollisuuden suorittaa jonkinlaista kokeellista työskentelyä paikasta riippumatta. Kyseinen näkemys opettajien keskuudessa esiintyy myös kirjallisuudessa (Penn & Mavuru, 2020). Näiden vastausten perusteella on johdonmukaista, että opettajat käyttävät virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa enemmän kuin lähiopetuksessa.

Kyselylomakkeessa kerättiin tietoa myös opettajien käyttämistä virtuaalilaboratorio-ohjelmista avoimen kysymyksen avulla. Jokainen virtuaalilaboratorioita käyttänyt opettaja (14/14) vastasi käyttäneensä PhET-simulaatioita. Muiden ohjelmien käyttö oli kuitenkin huomattavasti vähäisempää. Alle kolmasosa vastaajista (4/14) oli käyttänyt joitakin muita virtuaalilaboratorio-ohjelmia kuin PhET-simulaatioita. ChemCollective-virtuaalilaboratorio oli mainittu kahdessa vastauksessa (2/14). Sen lisäksi yksittäisissä vastauksissa oli mainittu esimerkiksi Labster-virtuaalilaboratoriot, AACT-simulaatiot (American Association of Chemistry Teachers) sekä Javalab-simulaatiot. PhET-simulaatioiden käytännöllisiä ja pedagogisia ominaisuuksia on tutkittu kirjallisuudessa (Lancaster ynnä muut, 2013; Moore ynnä muut, 2014). Myös ChemCollective-virtuaalilaboratorioita on käsitelty kirjallisuudessa (Yaron ynnä muut, 2010). Tämän tutkielman kirjallisessa osassa ei kuitenkaan tarkasteltu AACT- eikä Javalab-simulaatioita. Myöskään Labster-virtuaalilaboratorioita ei esiintynyt tämän tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa.

Tämän kysymyksen muotoilu on mahdollisesti vaikuttanut vastauksissa mainittuihin virtuaalilaboratorioihin. Kysymyksessä on annettu virtuaalilaboratorioista esimerkkejä mainitsemalla aiemmin työssä kuvassa 7 esitetty PhET Sugar and Salt Solutions -simulaatio, useat muut PhET:in simulaatiot sekä ChemCollective. Voidaan pitää mahdollisena, että opettajat ovat todennäköisemmin muistaneet nämä kysymyksessä mainitut virtuaalilaboratorio-ohjelmat kuin joitakin muita käyttämiään virtuaalilaboratorioita. Eräs opettaja totesikin vastauksessaan, ettei muista minkä nimisiä ohjelmia hän oli käyttänyt PhET-simulaatioiden ja Javalab-simulaatioiden lisäksi.

Tämän kysymyksen vastausten perusteella voidaan todeta PhET-simulaatioiden olevan hyvin suosittu ohjelma opettajien keskuudessa. Mikään muu virtuaalilaboratorio-ohjelma ei näytä olevan yhtä runsaassa käytössä. Aivan kaikkien yksittäisten ohjelmien nimistä ei kuitenkaan saatu tietoa, koska monipuolisesti virtuaalilaboratorioita käyttäneet vastaajat eivät muistaneet kaikkien ohjelmien nimiä.

12.3 Opettajien havaitsemat logistiset ja muut käytännön hyödyt virtuaalilaboratorioiden käytössä

Opettajia pyydettiin kertomaan havaitsemiaan hyötyjä ja haasteita virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä kyselylomakkeessa avoimen kysymyksen avulla. Opettajat mainitsivat useita

pedagogisia hyötyjä ja haasteita. Monet maininnat liittyivät myös virtuaalilaboratorioiden logistisiin ja muihin käytännön ominaisuuksiin.

Viiden vastaajan mukaan (5/14) mahdollisuus suorittaa kokeellista työskentelyä riippumatta saatavilla olevista välineistä tai tiloista on hyödyllinen virtuaalilaboratorioiden ominaisuus. Kolmessa tällaisessa vastauksessa (3/14) opettajat olivat korostaneet mahdollisuutta hyödyntää virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa. Yksi opettaja oli tarkentanut, että erityisesti titrauksen ja liuosten valmistuksen opettelu virtuaalilaboratorioiden avulla on osoittautunut hyödylliseksi etäopetuksessa. Kaksi vastaajaa (2/14) mainitsi etäopetuskäytön mahdollisuuden lisäksi, että virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan suorittaa jonkinlaista kokeellista työskentelyä, vaikka koululla olisi liian vähän laboratoriotiloja käytössä, tai liian vähän välineitä tiettyä kokeellista työtä varten. Mahdollisuus tehdä kokeellisia töitä virtuaalilaboratorioiden avulla riippumatta saatavilla olevista välineistä on nostettu esiin myös kirjallisuudessa virtuaalilaboratorion opetuskäytön hyötynä (Rizman Herga ynnä muut, 2014). Virtuaalilaboratorioita on myös kirjallisuudessa esitetty ratkaisuksi tilanteissa, jossa koululla ei ole riittävästi laboratoriotiloja (Alexiou, 2005).

Eräs vastaaja kertoi virtuaalilaboratorioiden hyödyistä seuraavasti:

”Pystyy tutkimaan pH-arvoja ja muita ominaisuuksia kuten liukoisuutta eri aineista ilman välineitä missä tahansa. Lähiopetuksessa voi olla näppärä keino säästää aikaa”

Tässä vastauksessa opettajan tulkittiin korostavan virtuaalilaboratorioiden mahdollistamaa luokkahuoneen ulkopuolista kokeellista työskentelyä missä tahansa kontekstissa, eli ei ainoastaan etäopetuksessa. Aiempien tutkimustulosten mukaan opettajat ovat maininneet arvostavansa virtuaalilaboratorioiden ominaista kokeellisen työskentelyn harjoittelun mahdollisuutta paikasta riippumatta (Penn & Mavuru, 2020).

Osa kyselyyn vastanneista opettajista (3/14) mainitsi virtuaalilaboratorioiden turvallisuuden hyväksi puoleksi virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä. Myös kirjallisuudessa on mainittu virtuaalilaboratorioiden mahdollistama täysin turvallinen kokeellinen työskentely ja korostettu sitä arvokkaana ominaisuutena (Lynch & Ghergulescu, 2017; Rizman Herga ynnä muut, 2014).

Viimeisenä käytännön asioihin liittyvänä virtuaalilaboratorioiden hyödyllisenä ominaisuutena kaksi vastaajaa (2/14) mainitsi mahdollisuuden säästää aikaa. Virtuaalilaboratorioiden avulla

voidaan yleensä suorittaa kokeellisia töitä nopeammin, kuin perinteisessä laboratoriotyöskentelyssä. Myös kirjallisuudessa on havaittu virtuaalilaboratorioiden mahdollistama aikaresurssien tehokas käyttö kokeellisessa työskentelyssä (Alexiou ynnä muut, 2005; Domin, 1999; Rizman Herga ynnä muut, 2014).

Opettajia pyydettiin kertomaan kohtaamiaan haasteita virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä. Puolet vastaajista (7/14) kertoi kohdanneensa teknologiaan liittyviä haasteita. Näitä teknologisia haasteita oli useanlaisia.

Yleisin opettajien mainitsemista virtuaalilaboratorioiden opetuskäyttöön liittyvistä teknisistä ongelmista liittyi yhteensopivuusongelmiin. Monet vastaajat (5/14) kertoivat, että virtuaalilaboratorio-ohjelmat eivät välttämättä ole toimineet käytettävissä olevilla laitteilla. Opettajat olivat myös eritelleet syitä sille, miksi ohjelmat eivät ole aina toimineet. Yksi opettaja huomautti, että koulun tietokoneille ei voi itse ladata mitään. Näin ollen kyseisillä laitteilla voidaan käyttää ainoastaan verkkopohjaisia virtuaalilaboratorioita.

Opettajat kertoivat myös verkkopohjaisiin virtuaalilaboratorioihin liittyvistä yhteensopivuusongelmista. Vastauksista tuli ilmi, että osa opettajien käyttämistä virtuaalilaboratorioista perustuvat Java-ohjelmistoalustaan. Kyseiseen ohjelmistoalustaan perustuvat verkkopohjaiset sovellukset eivät olleet toimineet älypuhelimilla, tablettitietokoneilla eikä Chromebook-tietokoneilla. Voidaan siis havaita, että virtuaalilaboratorion käyttämä ohjelmistoalusta määrittää, millä laitteilla sitä voidaan käyttää. Tämä selvästi asettaa haasteita virtuaalilaboratorioiden käyttämiseen, mikä nähdään merkittävästä määrästä (5/14) yhteensopivuusongelmiin liittyvistä kyselyn vastauksista.

Opettajat mainitsivat yhteensopivuusongelmia kuvaillaessaan HTML5-ohjelmistoalustan, jota hyödyntävät sovellukset toimivat mobiililaitteilla ja Chromebook-tietokoneilla. Yksi opettajista kertoi, että aikaisemmin HTML5-pohjaisten virtuaalilaboratorio-ohjelmien löytäminen oli haastavaa, mutta nykypäivänä tilanne on parempi. Toisaalta toinen vastaaja huomautti, että HTML5-ohjelmistoalustan käyttöönoton myötä joitakin hyödyllisiä simulaatioita ei ole enää saatavilla, koska niistä ei ole tehty uuteen ohjelmistoalustaan perustuvaa versiota.

Tässä tutkimuksessa hyödynnetyssä kirjallisuudessa ei esiintynyt virtuaalilaboratorio-ohjelmiin liittyviä yhteensopivuusongelmia. Mahdollisia syitä kirjallisuudesta poikkeavalle tulokselle on useita. On mahdollista, että suurin osa kirjallisuudessa esiintyneistä opettajista ja oppilaista

käytti virtuaalilaboratorio-ohjelmia Windows- tai Mac-pohjaisilla tietokoneilla, joiden kanssa lähes kaikki sovellukset ovat yhteensopivia. Tässä tutkimuksessa havaitut yhteensopivuusongelmat liittyvät Java-pohjaisten PhET:in simulaatioiden käyttöön älypuhelimilla, tablettitietokoneilla ja Chromebook-tietokoneilla. Huomattavaa on myös, että PhET:in simulaatiot olivat kaikista suosituimpia ohjelmia tämän tutkimuksen vastaajien keskuudessa. Useat virtuaalilaboratoriot eivät kuitenkaan ole Java-pohjaisia. Esimerkiksi aiemmin työssä esitelty ChemCollective-virtuaalilaboratorio perustuu HTML5-teknologiaan, joten se soveltuu käytettäväksi myös mobiililaitteilla ja Chromebook-tietokoneilla. Koska tässä tutkimuksessa korostui osittain Java-pohjaisten PhET:in simulaatioiden käyttö, on varsin loogista, että myös Java-ohjelmistoalustan aiheuttamat yhteensopivuusongelmat nousivat esille.

Vastauksissa esiintyi varsin vähän teknisiä haasteita, jotka liittyisivät itse virtuaalilaboratorio-ohjelman käyttämiseen. Yksi vastaaja (1/14) kuitenkin totesi, että oppilaiden tai opiskelijoiden TVT-aidot voivat vaikuttaa siihen, miten hyvin virtuaalilaboratorioita voidaan soveltaa opetuksessa. Hänen mukaan oppilaat tai opiskelijat, joilla on heikot TVT-aidot, kokevat virtuaalilaboratorioiden käytön epämiellyttäväksi. Lisäksi heikkoihin TVT-taitoihin liittyvien käyttövaikeuksien vuoksi oppilaat tai opiskelijat eivät onnistu palauttamaan virtuaalilaboratorioon liittyviä tehtäviä ajoissa. Myös aiemmassa kirjallisuudessa on havaittu, että jotkut oppilaat kokevat virtuaalilaboratorio-ohjelmien käytön haastavaksi (Asiksoy & Islek, 2017).

Kaksi vastaajaa (2/14) mainitsi virtuaalilaboratorioiden käyttöön liittyvän kielellisiä haasteita. Heidän mukaan on haastavaa löytää virtuaalilaboratorio-ohjelmia ja valmista oheismateriaalia suomenkielisenä. Toinen näistä vastaajista kuitenkin totesi, että englanninkielinen materiaali harvoin osoittautui todelliseksi ongelmaksi.

Viimeinen opettajien mainitsema käytännön haaste virtuaalilaboratorioiden käyttöön liittyen oli ajanpuute. Osa vastaajista (3/14) oli kommentoinut ajankäyttöön liittyviä haasteita. Työohjeiden ja tehtävien laatiminen virtuaalilaboratorioita varten vie heidän mukaan jonkun verran opettajan työaika.

12.4 Opettajien havaitsemat pedagogiikkaan liittyvät hyödyt ja haasteet virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä

Monet opettajien kertomista virtuaalilaboratorioiden hyvistä puolista liittyivät kyseisten ohjelmien pedagogisiin ominaisuuksiin. Kaikista yleisin opettajien mainitsemista pedagogisista hyödyistä oli virtuaalilaboratorioiden hyödyntäminen mikrotason kemian visualisointia varten. Lähes puolet vastaajista mainitsi kyseisen virtuaalilaboratorioiden ominaisuuden (6/14). Kaksi vastaajaa (2/14) täsmensi erityisesti, että virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan havainnollistaa kokeellisessa työssä tapahtuvaa mikrotason kemiaa, mikä ei olisi mahdollista ilman virtuaalilaboratorioiden käyttöä. Myös kirjallisuudessa on esitetty virtuaalilaboratorioiden soveltuvan hyvin mikrotason kemian havainnollistamiseen ja helpottamaan yhteyksien luomista kemiallisen tiedon eri tasojen välille (Moore ynnä muut, 2014; Rizman Herga ynnä muut, 2016).

Toinen muutaman vastaajan (3/14) mainitsemista virtuaalilaboratorioiden hyödyistä liittyy virtuaalilaboratorioiden luotettavuuteen. Näiden vastaajien mukaan virtuaalilaboratorioiden avulla saadaan kokeellisesta työskentelystä halutut tulokset joka kerta. Yksi näistä vastaajista painotti, että luotettavien tulosten ansiosta virtuaalilaboratorioita voidaan käyttää hypoteesien vahvistamiseen. Myös aiemmassa tutkimuksessa on havaittu, että virtuaalilaboratorioiden ennalta arvattava luonne mahdollistaa hypoteesien paikkansapitävyyden tutkimisen tehokkaasti. Koska useimmissa virtuaalilaboratorioissa kokeellinen työ ei edes voi epäonnistua, virtuaalilaboratorioiden avulla saatu tulos on usein varmempi, kuin perinteisessä kokeellisessa työskentelyssä (Penn & Mavuru, 2020).

Yksi vastaaja (1/14) vastasi pitävänsä hyödyllisenä virtuaalilaboratorioiden ominaisuutena sitä, että reaktio-olosuhteiden muuttaminen on helppoa ja nopeaa. Myös kirjallisuudessa on korostettu virtuaalilaboratorioiden mahdollistamaa reaktion olosuhteiden muuttamisen helpoutta. Erilaisten muuttujien arvojen kokeileminen virtuaalilaboratoriossa edesauttaa tutkivaa oppimista ja hypoteesien tukemista varten (Lancaster ynnä muut, 2013; Penn & Mavuru, 2020).

Useiden vastaajien (5/14) mukaan eräs virtuaalilaboratorioiden hyvistä puolista liittyy oppilaiden ja opiskelijoiden motivaation lisäämiseen. Kaksi vastaajaa korosti, että virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan auttaa erilaisia oppijoita keskittymään työskentelyyn.

Näiden vastaajien mukaan virtuaalilaboratorioiden avulla saadaan motivoitua ja aktivoitua sellaisia oppilaita, jotka eivät yleensä ole kiinnostuneita kemian opetuksen sisällöistä.

Lomakkeessa kysyttiin myös, miten oppilaat tai opiskelijat ovat suhtautuneet virtuaalilaboratorioiden käyttöön. Myös tästä kysymyksestä tulee ilmi, että opettajat ovat havainneet oppilaiden kokevan virtuaalilaboratoriotyöskentelyn mielekkääksi työtavaksi. Suurin osa vastaajista (10/14) kertoi oppilaiden ja opiskelijoiden suhtautuvan selkeästi positiivisesti. Muiden vastaajien (4/14) kokemukset olivat vaihtelevampia. Heidän mukaan osa oppilaista ja opiskelijoista pitää virtuaalilaboratorioiden käytöstä, mutta osa ei pidä. Yksi opettaja mainitsi mahdolliseksi syyksi vaihteleville mielipiteille sen, että osalla oppilaista ja opiskelijoista on haasteita virtuaalilaboratorio-ohjelmien käyttämisessä. Kirjallisuudessa havaitaan samankaltaisia tuloksia. On havaittu, että suurin osa oppilaista ja opiskelijoista pitää virtuaalilaboratorioiden käyttämistä mielekkäänä työtapana (Lynch & Ghergulescu, 2017). Toisaalta kaikki oppilaat ja opiskelijat eivät pidä virtuaalilaboratorioiden käytöstä ja eräs syy siihen liittyy ohjelmiston käyttöön liittyviin haasteisiin (Asiksoy & Islek, 2017).

Kaksi vastaajaa (2/14) oli maininnut TVT:n sisällyttämisen kemian opetukseen virtuaalilaboratorioiden avulla hyödylliseksi. Yksi heistä korosti, että virtuaalilaboratoriot tarjoavat oppilaille mahdollisuuden hyödyntää tietokonetta mielekkäällä tavalla. Toinen vastaaja painotti TVT-taitojen kehittämistä virtuaalilaboratorioiden avulla.

Kyselylomakkeessa pyydettiin opettajia kertomaan kohtaamiaan haasteita virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä yleisellä tasolla. Lomakkeella ei siis pyydetty erikseen kertomaan sekä opettajien kohtaamia käytännön haasteita sekä pedagogisia haasteita. Suurin osa vastauksista sisälsi lähinnä käytännön haasteita, mutta osa opettajista (4/14) oli maininnut myös pedagogiikkaan liittyviä haasteita.

Näistä opettajista kaksi painotti virtuaalilaboratorioille ominaista autenttisuuden puutetta. Yksi näistä vastaajista totesi, että virtuaalilaboratoriot ovat kömpelöitä ja yksipuolisia, eikä niiden avulla saada luotua samanlaisia elämyksiä monille aisteille kuin perinteisessä kokeellisessa työskentelyssä. Myös kirjallisuuden mukaan eräs virtuaalilaboratorioiden negatiivisista ominaisuuksista on se, ettei niiden avulla voida korvata kokeellisen työskentelyn tarjoamaa fyysisistä ja eri aisteihin perustuvaa kokemusta (Asiksoy & Islek, 2017; Lynch & Ghergulescu, 2017).

Toinen autenttisuuden puutetta korostaneista opettajista kuvaili hyvin monipuolisesti virtuaalilaboratorioiden puutteita perinteiseen kokeelliseen työskentelyyn verrattuna. Kyseisen opettajan mukaan virtuaalilaboratoriot ovat luonteeltaan liian ideaalisia. Esimerkiksi virhelähteiden etsimistä on vaikeaa harjoitella virtuaalilaboratorioiden avulla, koska virtuaalinen työ onnistuu aina täydellisesti, eikä esimerkiksi astioiden puhtaus voi vaikuttaa kokeen tulokseen. Tässä tutkimuksessa hyödynnetyssä kirjallisuudessa ei havaittu mainintoja virhelähteiden etsimiseen liittyen, mutta yleisellä tasolla virtuaalilaboratorioiden ideaalista luonnetta on kritisoitu. (Penn & Mavuru, 2020)

Virtuaalilaboratorioille ominainen epäautenttisuus näkyy myös työturvallisuudessa. Vaikka osa opettajista (3/14) oli maininnut virtuaalilaboratorioiden mahdollisen turvallisen työskentelyn hyvänä ominaisuutena, tästä täysin turvallisesta työskentelystä seuraa myös tiettyjä haasteita. Edelleen tämä monipuolisesti autenttisuuden puutetta kuvaillut opettaja totesi, että virtuaalilaboratorioiden avulla on haastavaa opetella turvallista kokeellista työskentelyä, koska oppilaat ovat tietoisia siitä, että virtuaalilaboratoriossa kokeellisen työn suorittaminen on täysin turvallista. Näin ollen oppilaat voivat esimerkiksi sekoittaa mitä tahansa aineita keskenään virtuaalilaboratoriossa, vaikka todellisuudessa niin ei voisi tehdä. Kirjallisuudessakin on esitetty, että virtuaalilaboratorioiden turvallisella luonteella on sekä positiivisia että negatiivisia seurauksia. Ongelmallisena pidetäänkin sitä, että virtuaalilaboratorion avulla on haastavaa opetella turvallista kokeellista työskentelyä (Lynch & Ghergulescu, 2017).

Edelleen tämä monipuolisesti virtuaalilaboratorioiden autenttisuuden puutetta kuvaillut opettaja kertoi, että virtuaalilaboratorio-ohjelmat ovat usein liian rajoittuneita sen suhteen, millaisia kokeellisia töitä niiden avulla voidaan tehdä. Hänen mukaan usein jokaista eri tilannetta varten tarvitaan erillinen simulaatio, eikä kaikkea haluttua tietoa saada välttämättä selville pelkästään yhdellä simulaatiolla. Sen sijaan perinteisessä kokeellisessa työskentelyssä voidaan jatkaa samaa koetta yhden havainnon jälkeen ja tutkia myös muita asioita. Kyseisestä vastauksesta ei tullut ilmi, missä virtuaalilaboratorio-ohjelmassa tämä opettaja oli kohdannut valintojen rajallisuuteen liittyviä haasteita. Kuitenkin useat klassisiin simulaatioihin perustuvat virtuaalilaboratoriot, joita on kuvailtu luvussa 4.2, on tarkoituksellisesti suunniteltu siten, että käyttäjällä on hyvin rajallinen määrä valintoja (Moore ynnä muut, 2014). Erityisesti tällaisten virtuaalilaboratorioiden avulla olisi hyvin haastavaa tehdä monipuolista tutkimista, kuten tämä opettaja oli kuvaillut.

Yksi opettaja oli havainnut, että oppilaat eivät välttämättä keskity riittävän hyvin virtuaalilaboratorio-ohjelmien käyttöön. Tällöin oppilaat pyrkivät suorittamaan työn mahdollisimman nopeasti ilman, että he syventyvät tarkasteltavaan ilmiöön.

12.5 Opettajien asenteet ja kiinnostus virtuaalilaboratorioita kohtaan

Kyselytutkimuksen avulla selvitettiin opettajien asenteita virtuaalilaboratorioita kohtaan. Eräässä kysymyksessä opettajille esitettiin seuraava väitelause: ”Koen virtuaalilaboratorioiden olevan tehokas opetusmenetelmä kemian lähiopetuksessa.” Kysymys oli muodoltaan monivalintakysymys 5-portaisella asteikolla. Suurin osa opettajista (10/15) vastasi olevansa jokseenkin samaa mieltä. Toiseksi useimmiten (3/15) opettajat vastasivat olevansa täysin samaa mieltä. Yksi (1/15) opettaja vastasi olevansa jokseenkin eri mieltä ja toinen opettaja vastasi olevansa täysin eri mieltä.

Vastausten perusteella voidaan todeta, että suurin osa kyselyyn osallistuneista opettajista on sitä mieltä, että virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä on positiivisia elementtejä. Toisaalta suurin osa opettajista ei ollut täysin samaa mieltä, että virtuaalilaboratoriot olisivat tehokas opetusmenetelmä kemian lähiopetuksessa. Luvuissa 13.3 ja 13.4 kuvailtiin virtuaalilaboratorioiden käyttöön liittyviä opettajien kohtaamia teknisiä ongelmia ja virtuaalilaboratorioiden epäautenttisuuden aiheuttamia haasteita. Nämä haasteet voivat olla eräs syy sille, ettei suurin osa opettajista todennut täysin varauksettomasti virtuaalilaboratorioiden olevan tehokas opetusmenetelmä kemian lähiopetuksessa.

Opettajia pyydettiin myös kertomaan näkemyksensä virtuaalilaboratorioiden tehokkuudesta etäopetuksessa. Kysymyksen muotoilu ja asteikko oli muilta osin samanlainen kuin lähiopetusta koskeva kysymys. Yli puolet vastaajista (8/15) kertoi olevansa täysin samaa mieltä. Toiseksi yleisimmin (5/15) vastasivat olevansa jokseenkin samaa mieltä. Muut vastaajat (2/15) valitsivat vastaukseksi ”ei samaa eikä eri mieltä”.

Vastauksista huomataan, että opettajat suhtautuvat virtuaalilaboratorioiden etäopetuskäyttöön selvästi positiivisemmin kuin virtuaalilaboratorioiden käyttöön lähiopetuksessa. Nämä vastaukset ovat johdonmukaisia myös opettajien virtuaalilaboratorioiden käyttötottumusten kanssa. Opettajien havaittiin käyttävän virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa useammin kuin lähiopetuksessa. Lisäksi kysyttäessä virtuaalilaboratorioiden opetuskäytön hyödyistä useat

opettajat olivat maininneet virtuaalilaboratorioiden soveltuvuuden etäopetukseen, kun perinteinen laboratoriotyöskentely ei ole mahdollista. Yksi vastaajista oli myös kommentoinut, että PhET:in animaatioita lukuun ottamatta virtuaalilaboratoriot ovat lähinnä korvaava menetelmä perinteiselle kokeelliselle työskentelylle. Lisäksi hän totesi, että lähiopetuksessa hän ehdottomasti käyttää mieluummin perinteisiä laboratorioita.

Opettajilta kysyttiin avoimella kysymyksellä, mikä tekijä sai heidät kokeilemaan virtuaalilaboratorioiden käyttöä opetuksessa. Kaksi vastaajaa (2/14) kertoi, että virtuaalilaboratoriot esiteltiin heille jo kemian opettajankoulutuksessa. Toinen näistä vastaajista täsmensi, että hänen mielestään virtuaalilaboratorioiden avulla voidaan selventää kemian ainesisältöjä hyvin.

Useissa vastauksissa korostui myös opettajien oma aktiivisuus, sekä kiinnostus opetuksen kehittämiseen, kuten seuraavista lainauksista nähdään:

”Kiinnostus modernin teknologian mahdollisuuksista sekä ajasta ja paikasta riippumattoman opiskelun mahdollisuudet.”

”Kokeilunhalu. Kaikki metodit, jotka tuovat vaihtelua oppitunnille, otetaan kokeiluun ja jatkokäyttöön, jos ne osoittautuvat hyödyllisiksi.”

”Uuden materiaalin etsiminen opetukseen.”

Opettajien kiinnostus opetuksen kehittämiseen nähdään myös heidän vastauksista täydennyskoulutusta käsittelevään kysymykseen. Lomakkeessa kysyttiin, että haluaisivatko opettajat saada täydennyskoulutusta virtuaalilaboratorioiden käyttöön liittyen. Enemmistö vastaajista (11/15) haluaisi saada tällaista täydennyskoulutusta. Muut vastaajat (4/15) vastasivat kieltävästi.

Opettajilta kysyttiin myös, minkälaisen virtuaalilaboratorioihin liittyvän täydennyskoulutuksen he kokisivat hyödylliseksi. Yksi vastaaja, joka ei ollut kiinnostunut täydennyskoulutuksesta totesi, että hän olisi kuitenkin kiinnostunut saamaan valmiita, suoraan sovellettavissa olevia ohjeistuksia virtuaalilaboratorioiden opetuskäyttöön.

Myös monet muut vastaajat (3/11) korostivat, että täydennyskoulutuksesta olisi hyötyä, mikäli siellä esiteltäisiin jonkinlaista konkreettista sisältöä, jota voisi suoraan käyttää opetuksessa. Tällainen sisältö voisi esimerkiksi olla valmiita työhjeita virtuaalilaboratorio-ohjelman oheen.

Monet opettajat (5/11) olivat kiinnostuneet myös saamaan tietoa eri virtuaalilaboratorio-ohjelmista. Yksi opettajista huomautti, että sopivan simulaation löytäminen käsiteltävää kemian ainesisältöä varten vie huomattavan määrän aikaa. Toinen opettaja kommentoi, että ainoastaan PhET:in simulaatioiden käyttö on hänelle tuttua ja hän haluaisi kuulla muista sovelluksista tietoa. Tässä tutkimuksessa hyödynnetyssä kirjallisuudessa ei tullut ilmi, mitä virtuaalilaboratorioita opettajat käyttivät työssään useimmin.

13 Pohdinta

13.1 Opettajien käyttämät virtuaalilaboratorio-ohjelmat ja virtuaalilaboratorioiden käytön säännöllisyys kemian opetuksessa

Tutkimuksessa selvitettiin opettajien käyttötottumuksia virtuaalilaboratorioiden suhteen. Tulosten perusteella opettajat käyttivät virtuaalilaboratorioita varsin epäsäännöllisesti lähiopetuksessa, mutta lähes kaikki opettajat ovat kuitenkin käyttäneet niitä. Etäopetuksessa käyttö oli säännöllisempää. Opettajat olivatkin selvästi arvostaneet mahdollisuutta hyödyntää kokeellista työskentelyä etäopetuksessa. Yksi mahdollinen syy virtuaalilaboratorioiden säännöllisemmälle etäopetuskäytölle on myös se, että etäopetuksessa ei lähtökohtaisesti tule tilannetta, jossa opettaja joutuisi valitsemaan perinteisen kokeellisen työskentelyn ja virtuaalilaboratorion käytön välillä. Etäopetuksessa virtuaalilaboratorio on yleensä ainoa vaihtoehto, joten sen käyttö on luonteva valinta virtuaalilaboratorioiden haasteista huolimatta.

Selkeästi suurin osa opettajista on käyttänyt PhET:in simulaatioita, mutta ei mitään muita virtuaalilaboratorio-ohjelmia. Näin ollen on aiheellista tarkastella, miksi muiden ohjelmien käyttö on hyvin vähäistä verrattuna PhET:in simulaatioihin. Opettajien vastauksista huomattiin, että opettajat toivoisivat täydennyskoulutusta, jossa esiteltäisiin eri sovellusten käyttöä.

13.2 Opettajien havaitsemat hyödyt ja haasteet virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä

Opettajien havaitsemissa virtuaalilaboratorioiden pedagogisissa hyödyissä mikrotason kemian visualisointi korostui kaikista eniten. Tämä vastaa odotuksia, sillä suurin osa opettajista oli käyttänyt ainoastaan PhET:in simulaatioita, joissa korostetaan kemiallisen tiedon tasojen välisten yhteyksien luomista esimerkiksi mikrotason visualisointimenetelmillä (Moore ynnä muut, 2014). Lisäksi kemiallisen tiedon moniulotteisuus aiheuttaa haasteita kemian opetuksessa, joten opettajat luonnollisesti ovat kiinnostuneet erilaisista ratkaisuista, joiden avulla voidaan auttaa oppilaita ymmärtämään kemiallisen tiedon eri tasot.

Kirjallisuudessa on kuvattu realismia painottavien virtuaalilaboratorioiden soveltamista ongelmanratkaisutehtävien suorittamiseen (Yaron ynnä muut, 2010). Lisäksi tällaisia virtuaalilaboratorioita voidaan hyödyntää korkeampien ajattelutaitojen kehittämiseen esimerkiksi tutkimusmenetelmien suunnittelun ja arvioinnin muodossa (Domin, 1999). Yksikään kyselylomakkeeseen vastanneista opettajista ei kuitenkaan kertonut hyödyntävänsä virtuaalilaboratorioita kuvailtuja tarkoituksia varten. Toisaalta vain pieni osa vastaajista oli käyttänyt sellaisia virtuaalilaboratorioita, jotka soveltuvat hyvin ongelmanratkaisutehtävien ratkaisemiseen ja korkeampien ajattelutaitojen kehittämiseen luvun 4.3 kuvauksen mukaisesti. Oli kuitenkin hieman yllättävää, etteivät esimerkiksi ChemCollective-virtuaalilaboratoriota käyttäneet opettajat kuvailleet näitä pedagogisia ominaisuuksia. Toisaalta on mahdollista, että vastaajat eivät lomaketta täyttäessään muistaneet kyseistä ominaisuutta. Tämä on yksi kyselytutkimuksen haasteista, koska vastaajille ei voitu esittää tarkentavia kysymyksiä aiheeseen liittyen (Marshall, 2004).

Opettajat olivat kuitenkin kiinnostuneita sellaisesta täydennyskoulutuksesta, jossa esiteltäisiin tapoja soveltaa virtuaalilaboratorio-ohjelmia. Näin ollen täydennyskoulutuksessa voisi olla hyödyllistä esitellä ongelmanratkaisutehtäviin soveltuva virtuaalilaboratorio-ohjelma ja kuvailla kyseisen ohjelman pedagogisia ominaisuuksia. Tällaisen täydennyskoulutuksen avulla voitaisiin lisätä opettajien tietoisuutta virtuaalilaboratorioiden soveltamisesta oppilaiden korkeampien ajattelutaitojen kehittämiseen ja ongelmanratkaisutehtävien suorittamiseen.

Autenttisuuden puute oli opettajien yleisin havaitsema pedagoginen haaste virtuaalilaboratorioiden käytössä. Myös kirjallisuudessa on kuvailtu virtuaalilaboratorioiden

autenttisuuden puutetta runsaasti (Asiksoy & Islek, 2017; Lynch & Ghergulescu, 2017; Penn & Mavuru, 2020). Esimerkiksi työturvallisuuden opettelu on virtuaalilaboratorioiden avulla haastavaa tästä syystä. Tietokoneohjelmalla on hyvin haastavaa asettaa työturvallisuudelle yhtä suurta merkitystä, kuin perinteisessä työskentelyssä. Toisaalta myös virtuaalilaboratorio-ohjelman suunnittelussa voitaisiin pyrkiä ottamaan työturvallisuuden opettaminen huomioon. Ohjelma voisi esimerkiksi näyttää varoitusviestin, mikäli käyttäjä yrittäisi tehdä jotain työturvallisuuden vastaista, kuten vahvan hapon laimentamista lisäämällä hapon astiaan ennen vettä. Tällainen suunnittelu olisi erityisen hyödyllistä etäopetusta varten, sekä tilanteissa, joissa fyysisen laboratorion käyttö ei ole mahdollista, mutta työturvallisuustaitojakin pitäisi opettaa oppilaille.

13.3 Opettajien näkemyksiä ja kokemuksia virtuaalilaboratorioista

Enemmistö opettajista suhtautui positiivisesti virtuaalilaboratorioiden käyttöön kemian lähi- ja etäopetuksessa. Kuitenkin virtuaalilaboratorioiden lähiopetuskäyttöön suhtauduttiin hieman varauksellisemmin kuin etäopetuskäyttöön. Useiden opettajien vastauksista kävi ilmi, että he arvostavat virtuaalilaboratorioiden tarjoamaa mahdollisuutta järjestää jonkinlaista kokeellista työtä etäopetustilanteissa.

Lähiopetuksessa voidaan usein tehdä perinteistä kokeellista työskentelyä virtuaalilaboratorioiden käytön sijaan. Tämä voi olla yksi syy sille, että opettajat suhtautuvat kriittisemmin virtuaalilaboratorioiden lähiopetuskäyttöön kuin etäopetuskäyttöön. Tämä suhtautuminen todennäköisesti johtuu opettajien mainitsemasta autenttisuuden puutteesta. Virtuaalilaboratorioiden avulla ei voida harjoitella työturvallisuutta ja laboratoriotyöskentelytaitoja yhtä tehokkaasti kuin perinteisillä laboratoriotöillä. Näin ollen opettajat saattavat ajatella, että useissa tapauksissa virtuaalilaboratorioiden käytölle ei ole tarvetta lähiopetuksessa, jos niiden avulla ei saada opetukseen olennaista lisäarvoa, mutta työturvallisuus- ja laboratoriotaidot jäisivät opettelematta. Koska virtuaalilaboratorioiden käyttö on usein ainoa tapa sisällyttää kokeellisuutta etäopetukseen, on opettajien helpompi hyväksyä virtuaalilaboratorioihin liittyvät haasteet.

Yksi vastaajista oli suoraan kommentoinut, että mikrotason havainnollistuksiin soveltuvia PhET:in simulaatioita lukuun ottamatta virtuaalilaboratoriot ovat lähinnä korvaava vaihtoehto

kokeelliselle työskentelylle etäopetuksessa, mutta lähiopetuksessa hän ehdottomasti järjestäisi mieluummin perinteisiä laboratoriotöitä. Tällaista näkemystä ei havaittu tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa.

13.4 Virtuaalilaboratorioiden käyttö etäopetuksessa

Tutkimuksessa havaittiin, että useat opettajat käyttivät virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa korvaavana menetelmänä perinteiselle kokeelliselle työskentelylle. Opettajat olivat myös korostaneet ja arvostaneet mahdollisuutta järjestää jonkinlaista kokeellista työskentelyä virtuaalilaboratorioiden avulla. Myös kirjallisuudessa on kuvailtu mahdollisuutta hyödyntää virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa kokeellista työskentelyä varten. (Serevina & Kirana, 2021; Usman ynnä muut, 2021)

Yksi vastaajista oli kertonut järjestäneensä titrausta ja liuosten valmistusta sisältäviä kokeellisia töitä virtuaalilaboratorioiden avulla etäopetuksessa, ja korosti kyseisten kokeellisten menetelmien opettelemisen tärkeyttä. Kyseistä vastaajaa lukuun ottamatta opettajat eivät juurikaan kuvailleet työskentelymenetelmien opettamista etäopetuksessa. Tämä oli hieman yllättävää, koska kirjallisuudessakin on korostettu työskentelymenetelmien opettelemista virtuaalilaboratorioiden avulla (Usman ynnä muut, 2021). Toisaalta kyselytutkimukseen vastanneista opettajista vähemmistö oli käyttänyt PhET:in lisäksi muita virtuaalilaboratorioita. Näin ollen suurin osa opettajista ei ollut edes käyttänyt sellaisia virtuaalilaboratorioita, joiden avulla voidaan harjoitella esimerkiksi liuosten valmistamisen työvaiheita.

13.5 Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys

Kyselytutkimukseen liittyy tiettyjä haasteita, jotka mahdollisesti vaikuttivat myös tämän tutkimuksessa luotettavuuteen. Ei voida varmuudella tietää, että muodostivatko tutkimukseen osallistuneet 15 opettajaa täysin todellisuutta vastaavan otoksen Suomessa työskentelevistä kemian opettajista virtuaalilaboratorioiden käytön suhteen. Tämän kyselytutkimuksen vastaajista ainoastaan yksi ei ollut käyttänyt virtuaalilaboratorioita. Kyseistä tulosta ei voida välttämättä kuitenkaan yleistää kaikkiin Suomessa työskenteleviin kemian opettajiin, sillä eräs kyselytutkimuksen haasteista on se, että aiheesta kiinnostuneet henkilöt osallistuvat

tutkimukseen keskimääräistä todennäköisemmin (Marshall, 2004). Kyselylomakkeen oheisessa saatekirjeessä kuitenkin painotettiin, että jokaisen opettajan näkemykset ovat tutkimuksen kannalta tärkeitä ja kiinnostavia riippumatta siitä, paljonko opettaja on käyttänyt virtuaalilaboratorioita. Tämän huomautuksen avulla pyrittiin kannustamaan osallistumaan myös sellaisia opettajia, jotka eivät ole käyttäneet virtuaalilaboratorioita lainkaan.

Useiden tutkimustulosten luotettavuutta lisää se, että kirjallisuudessa on havaittu vastaavanlaisia tuloksia. Esimerkiksi virtuaalilaboratorioiden autenttisuuden puute esiintyi useiden opettajien vastauksissa. Myös kirjallisuudessa on esitetty autenttisuuden puute eräänä virtuaalilaboratorioiden haasteena. (Asiksoy & Islek, 2017; Lynch & Ghergulescu, 2017, Penn & Mavuru, 2020).

Kyselytutkimukseen osallistui 15 opettajaa. Näin ollen tutkimuksen otoskoko ei ollut kovin suuri, joten datan kvantitatiivisella tarkastelulla ei voida välttämättä tehdä varmoja johtopäätöksiä. Vaikka tässä tutkimuksessa kolme vastaajaa (3/15) kertoi käyttävänsä virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa kerran viikossa, ei voida kuitenkaan yleistää, että juuri viidesosa Suomessa työskentelevistä kemian opettajista käyttää virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa kerran viikossa. Kerätyn datan avulla kuitenkin voitiin muodostaa jonkinlainen käsitys opettajien virtuaalilaboratorioiden käytöstä, sekä tehtyä vertailu lähiopetus- ja etäopetuskäytön välillä.

Useimmat vastaajista eivät maininneet pedagogisia haasteita virtuaalilaboratorioiden käytössä. Sen sijaan he mainitsivat lähinnä käytännön tason ongelmia, kuten ohjelmiston yhteensopivuusongelmat. Kyselylomakkeessa olisi voinut kysyä erikseen pedagogisia haasteita ja käytännön haasteita. Tällaisella lomakkeella olisi varmemmin saatu tietoa useampien eri opettajien kokemuksista pedagogisten haasteiden osalta.

Tutkimuksessa noudatettiin ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettisiä periaatteita (Tutkimuseettinen neuvottelukunta, 2019). Tutkimukseen osallistuminen oli täysin vapaaehtoista ja vastaajilla oli mahdollisuus halutessaan vastata vain osaan lomakkeen kysymyksistä. Kyselylomakkeen yhteydessä välitetyssä saatekirjeessä kuvailtiin edellä mainittua vapaaehtoisuutta.

Tutkimukseen osallistuttiin anonymisti ja ainoastaan tutkimuksen tekijän oli mahdollista tarkastella tutkimusaineistoa. Lisäksi tutkimusaineiston sisältävää tiedostoa säilytettiin

salasanasuojatulla käyttäjätillä pilvipalvelussa. Tutkimusaineiston sisältävä tiedosto tuhottiin tutkimuksen valmistumisen jälkeen.

13.6 Jatkotutkimusideoita

Tässä tutkimuksessa ei kutsuttu opettajia vastaamaan kyselyyn lähettämällä osallistumispyyntöjä yksittäisille opettajille satunnaisesti. Tarkemman luotettavuuden saamiseksi opettajien virtuaalilaboratorioiden käyttöä kartoittavassa jatkotutkimuksessa voitaisiin käyttää täysin satunnaista valintamenetelmää edustavamman tuloksen saamiseksi. Lisäksi jatkotutkimuksia varten olisi mielenkiintoista tutkia tarkemmin uusien virtuaalilaboratorio-ohjelmien käyttöönottoa opettajan näkökulmasta. Mahdollisia syitä eri ohjelmien vähäiselle käytölle voivat olla ajanpuute ja virtuaalilaboratorio-ohjelman käyttöönottoa edellyttävä taustatyö. On haastavaa tietää etukäteen, soveltuuko tietty virtuaalilaboratorio-ohjelma haluttujen oppimistavoitteiden saavuttamiseen. Tämänkin vuoksi virtuaalilaboratorioihin liittyvä täydennyskoulutus olisi varsin hyödyllistä.

Opettajien vastauksista ei tullut ilmi AR- tai VR-tekniikoiden hyödyntämistä virtuaalilaboratorioiden käytössä. Toisaalta lomakkeessa ei eksplisiittisesti kysyttykään kyseisten teknologian käyttöön liittyen. Näin ollen olisi mielenkiintoista tehdä tutkimusta kyseisten teknologioiden hyödyntämisestä virtuaalilaboratorioiden käytön yhteydessä. Erityisesti olisi kiinnostavaa selvittää, että voidaanko AR- tai VR-tekniikoiden avulla parantaa virtuaalilaboratorioiden käyttökokemuksen autenttisuutta, jonka puute on yksi virtuaalilaboratorioiden yleisistä haasteista.

Tähän tutkimukseen osallistuneet opettajat olivat käyttäneet lähinnä klassisiin simulaatioihin perustuvia virtuaalilaboratorioita. Jatkotutkimuksessa olisi kiinnostavaa kysyä kemian opettajilta eksplisiittisesti, että näkevätkö he realismia painottavien virtuaalilaboratorioiden tuovan lisäarvoa kemian lähiopetukseen. Mikrotason visualisointeja painottavat simulaatiot ja ongelmanratkaisutehtäviin soveltuvat kokeen suorittamisen realismia painottavat virtuaalilaboratoriot soveltuvat kuitenkin hyvin erilaisten oppimistehtävien saavuttamiseen, joten olisi perusteltua tarkastella opettajien asenteita näitä eri ohjelmatyyppejä kohtaan erikseen. Toisaalta kyselytutkimuksen vastaajille tällaisen erottelun käyttäminen voisi aiheuttaa tiettyjä haasteita, mikäli he eivät hahmottaisi täysin tätä jaottelua. Tällainen jaottelu voisi myös

tehdä kyselylomakkeen tulkinnasta vaikeampaa vastaajille, koska kaikki virtuaalilaboratoriot eivät välttämättä ole luonteeltaan täysin yhden kategorian mukaisia, vaan voivat sisältää elementtejä simulaatioista ja monivaiheisista, realistisista virtuaalilaboratorioista.

Tässä tutkimuksessa ei saatu haluttua määrää tietoa opettajien toimintamalleista virtuaalilaboratorioiden etäopetuskäyttöön liittyen. Jatkotutkimuksessa voitaisiin painottaa virtuaalilaboratorioiden käyttöä etäopetuksessa perinteisen laboratoriotyöskentelyn korvaavana menetelmänä ja kysyä opettajilta, miten hyvin virtuaalilaboratoriot soveltuvat kokeellisten menetelmien opettamiseen etäopetuksessa. Luonnollisesti myös tällaisessa tutkimuksessa olisi hyödyllistä jaotella virtuaalilaboratoriot klassisiin simulaatioihin ja realismia painottaviin virtuaalilaboratorioihin.

Puolistrukturoitu haastattelu olisi mahdollisesti toiminut paremmin opettajien virtuaalilaboratorioiden etäopetuskäyttöön liittyvien toimintamallien selvittämistä varten, koska suurin osa kyselytutkimuksen vastauksista etäopetukseen liittyvään avoimeen kysymykseen olivat varsin lyhyitä ja jokseenkin tulkinnanvaraisia. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin virtuaalilaboratorioiden käyttöä varsin yleisellä tasolla. Jatkotutkimuksena olisi kuitenkin mielenkiintoista syventyä ainoastaan virtuaalilaboratorioiden etäopetuskäyttöön ja selvittää tarkemmin opettajien tapoja hyödyntää virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa sekä juuri etäopetukseen liittyviä hyötyjä ja haasteita.

14 Kirjallisuus

- Abdjul, T., Ntobuo, N. (2018). Developing device of learning based on virtual laboratory through PhET simulation for physics lesson with sound material. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 39 (2), 105-115
- Akçayır, M., Akçayır, G., Pektas, H., Ocak, M. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, (57), 334-342
- Alexiou, A., Bouras, C., Giannaka, E. (2005). Virtual laboratories in education. a cheap way for schools to obtain laboratories for all courses, by using the computer laboratory. *VirRAD European project. Project No: IST-2001-32391*. https://doi.org/10.1007/0-387-24047-0_2
- Alneyadi, S.S. (2019). Virtual lab implementation in science literacy: Emirati science teachers' perspectives. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15 (12), 1-10
- Asiksoy, G. Islek, D. (2017). The Impact of the virtual laboratory on students' attitudes in a general physics laboratory. *iJOE*, 13 (4), 20-28
- Azuma, R. Bailiot, Y. Behringer, R. Feiner, S. Julier, S. MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics Applications*. November/December 2001, 34-47
- Ben-Zvi, R. Hofstein, A. Samuel, D. Kempa, R.F. (1976). The attitude of high school students towards the use of filmed experiments, *Journal of Chemical Education*, (53), 575-576
- Bergwerf, H. (2014). MolView. Haettu 26.5.2022. <https://molview.org/>
- Berry, A. Mulhall, P.J. Gunstone, R. Loughran, J. (1999) Helping students learn from laboratory work. *Australian Science Teachers' Journal*, (45), 27-31
- Bolaños J., Conteras L., (2010), Virtual Laboratory for supporting chemistry learning and practicing, *EDUCON Education Engineering – The future of Global Learning Engineering Education*, April 14-16, 2010, Madrid, Spain. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2010.5492444>
- Bonde, M.T. Makransky, G. Wandall, J. Larsen, M.V. Morsing, M. Jarmer, H. Sommer, M.O. (2014). Improving biotech education through gamified laboratory simulations. *Nature Biotechnology*, 32 (7)

- Budai T., Kuczmann M. (2018), Towards a modern, integrated virtual laboratory system, *Acta Polytechnica Hungarica*, 15 (3), 191-204
- Chen M-P., Liao B-C., (2015), Augmented reality laboratory for high school electrochemistry course, *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies*. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2015.105>
- Cook, M. (2006), Visual representations in science education: the influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*. 90 (6),1073-1091
- Discover Glass Enterprise Edition 2. Glass. Haettu 26.5.2022.
<https://www.google.com/glass/start/>
- Domin D. (1999). A content analysis of general chemistry laboratory manuals for evidence of higher-order cognitive tasks. *Journal of Chemical Education*, 76 (1), 109-111
- Eilks I., Hofstein A., (2013), *Teaching chemistry – a studybook A Practical Guide and Textbook for Student Teachers, Teacher Trainees and Teachers*. Sense Publishers Rotterdam / Boston / Taipei
- Elo, S. Kyngäs, H. (2007). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62 (1), 107-115
- Garcia-Ruiz, M.A. Santana, P.C. Molina, I. (2014). Using effective stereoscopic molecular model visualizations in undergraduate classrooms. *International Journal of Science Innovations and Discoveries*, 5 (1), 1593-1598
- Gervautz, M., Schmalstieg, D. (2012). Anywhere interfaces using handheld augmented reality, *IEE Computer Society*, 45, 26-31
- Ghergulescu, I. Lynch, T. Bratu, M. Moldovan, A-N. Muntean, C.H. Muntean, G.M. (2018) STEM education with atomic structure virtual lab for learners with special education needs. *10th International Conference on Education and New Learning Technologies*. <http://dx.doi.org/10.21125/edulearn.2018.2033>
- Hardwood, T. Garry, T. An overview of content analysis. *The Marketing Review*, 2003, 3, 479-498
- Hawkins, I. Phelps, A. (2013). Virtual laboratory vs traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry?. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 516-523
- Hofstein, A. Lunetta, V.N. (2004). The laboratory in science education: foundation for the 21st century. *Science education*, 88 (1), 28-54
- Johnstone, A. H. (1991). “Why is science difficult to learn? things are seldom what they seem.” *Journal of Computer Assisted Instruction*, 7, 75- 83

- Josephsen, J. Kristensen, A. (2006). Simulation of laboratory assignments to support students' learning of introductory inorganic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 7 (4), 266-279
- Klopfer, E. Squire, K. (2007). Environmental Detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, 56 (2), 203-228
- Koretsky, M. Amatore, D. Barnes, C. Kimura, S. (2006). The virtual CVD learning platform. *36th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference TIC-25*.
<http://dx.doi.org/10.1109/FIE.2006.322626>
- Lancaster, K. Moore, E. Parson, R. Perkins, K. (2013). Insights from using PhET's design principles for interactive chemistry simulations, pedagogic roles of animations and simulations in chemistry courses, *ACS Symposium Series*, 2013, 97-126
- Lynch, T. Ghergulescu, I. (2017). Review of virtual labs as the emerging technologies for teaching STEM subjects. *International Technology Education and Development Conference*, Valencia, Spain, 6082-6091
- Marshall, G., (2005), The purpose, design and administration of a questionnaire for data collection, *Radiography*, 11, 131-136
- Moore, E. Chamberlain, J. Parson, R. Perkins, K. (2014). PhET interactive simulations: transformative tools for teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 1191-1197, 43 (26)
- McElhaney, K.W. Chang, H-Y. Chiu, J.L. Linn, M.C. (2014). Evidence for effective uses of dynamic visualizations in science curriculum materials. *Studies in Science Education*, 51 (1), 49-85
- O'Malley, P.J. Agger, J.R. Anderson, M.W. (2015). Teaching chemistry MOOC with a virtual laboratory: lessons learned from an introductory physical chemistry course. *Journal of Chemical Education*, 92 (10), 1661-1666
- Penn, M. Mavuru, L. (2020). Assessing pre-service teachers' reception and attitudes towards virtual laboratory experiments in life sciences. *journal of baltic science education*, 19(6A), 2020
- Reality Labs. Oculus Quest 2 ja Rift S. Haettu 26.5.2022. <https://www.oculus.com/compare/>
- Rizman Herga, N. Dinevski, B.C. Dinevski, D. (2016). Virtual laboratory in the role of dynamic visualisation for better understanding of chemistry in primary school. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12 (3), 593-608

- Rizman Herga, N. Gmek, M. Dinevski, D. (2014). Virtual laboratory as an element of visualization when teaching chemical contents in science class. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 13 (4), 157-165
- Singh, G. Mantri, A. Sharma, O. Kaur, R. (2020). Virtual reality learning environment for enhancing electronics engineering laboratory experience. *Computer application engineering education*, 29 (1), 229-243
- Serevina, V. Kirana, D. (2021). The development of virtual laboratory assisted by flash and PhET to support distance learning. *Journal of Physics: Conference Series 2019 012030*
- Stefanovic, M. (2013). The objectives, architectures and effects of distance learning laboratories for industrial engineering education. *Computers & Education*, 69 (2013), 250-262
- Su, C-H. Cheng, T-W. (2019). A sustainability innovation experiential learning model for virtual reality chemistry laboratory: An Empirical Study with PLS-SEM and IPMA, *Sustainability*, 11 (4), 1027
- Telenius, M. (2014). Virtuaalilaboratoriot kemian opetuksessa. *LUMAT 2* (2), 125-130
- Tobin, K. G. (1990). Research on science laboratory activities. In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, (90), 403-418
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta, (2019), Ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettiset periaatteet ja ihmistieteiden eettinen ennakkoarviointi Suomessa, *Tutkimuseettisen neuvottelukunnan julkaisuja*, 3/2019
- Tversky, B. Morrison, J. Betrancourt, M. Animation: can it facilitate? (2002). *International Journal of Human-Computer studies*, 57,247-262
- University of Colorado Boulder. Sugar and Salt solutions. Haettu 03.04.2022.
<https://phet.colorado.edu/en/simulations/sugar-and-salt-solutions>
- Usman, M. Suyanta. Huda, K. (2020). Virtual lab as distance learning media to enhance student's science process skill during the covid-19 pandemic, *Journal of Physics: Conference Series 1882 012126*
- Yaron, D. Karabinos, M. Lange, D. Greeno, J. Leinhardt, G. (2010) the ChemCollective – virtual labs for introductory chemistry courses, *Science Prize for Online Resources in Education*, (328), 584-585

Liitteet:

Liite 1. Kyselylomake

1. Mikä on koulutuksesi?

- Luonnontieteiden kandidaatti
- Filosofian maisteri
- Filosofian lisensiaatti
- Filosofian tohtori
- Muu...

2. Mikä oli pääaineesi yliopistossa?

- Kemia
- Fysiikka
- Matematiikka
- Biologia
- Muu...

3. Kuinka pitkään olet työskennellyt opettajana?

- Alle 5 vuotta
- 5-10 vuotta
- 10-15 vuotta
- 15-20 vuotta
- 20-25 vuotta
- yli 25 vuotta

4. Millä kouluasteilla olet opettanut kemiaa? Voit valita useita vaihtoehtoja.

- Alakoulussa
- Yläkoulussa
- Lukiossa
- Ammattioppilaitoksessa
- Ammattikorkeakoulussa
- Yliopistossa

5. Kuinka usein käytät virtuaalilaboratorioita kemian lähiopetuksessa?

- En ole käyttänyt virtuaalilaboratorioita lähiopetuksessa
- Harvemmin, mutta käytän niitä
- 1-2 kertaa kuukaudessa
- Kerran viikossa
- Useita kertoja viikossa
- Päivittäin

6. Mitä virtuaalilaboratorio-ohjelmia olet käyttänyt? Näitä ovat esimerkiksi PhET suola- ja sokeriliuokset, useat muut PhET:in simulaatiot sekä ChemCollective Virtual labs

Pitkä vastauksesi

.....

7. Mitä hyviä puolia näet virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä?

Pitkä vastauksesi

.....

8. Mitä haasteita olet kohdannut virtuaalilaboratorioiden opetuskäytössä?

Pitkä vastausteksti

9. Jos et ole käyttänyt virtuaalilaboratorioita, minkä takia et ole käyttänyt niitä?

Pitkä vastausteksti

10. Jos olet käyttänyt virtuaalilaboratorioita, mikä tekijä sai sinut kokeilemaan niitä?

Pitkä vastausteksti

11. Koen virtuaalilaboratorioiden olevan tehokas opetusmenetelmä kemian lähiopetuksessa

- Täysin eri mieltä
- Jokseenkin eri mieltä
- Ei samaa eikä eri mieltä
- Jokseenkin samaa mieltä
- Täysin samaa mieltä
- En osaa sanoa

12. Minkä tyyppisiä töitä, ja mitä kemian ilmiöitä olet opettanut virtuaalilaboratorioiden avulla lähiopetuksessa?

Pitkä vastausteksti

13. Miten oppilaat tai opiskelijat ovat suhtautuneet virtuaalilaboratorioiden käyttöön?

Pitkä vastausteksti

14. Kuinka usein käytät virtuaalilaboratorioita kemian etäopetuksessa?

- En ole käyttänyt virtuaalilaboratorioita etäopetuksessa
- Harvemmin, mutta käytän niitä
- 1-2 kertaa kuukaudessa
- Kerran viikossa
- Useita kertoja viikossa
- Päivittäin

15. Koen virtuaalilaboratorioiden olevan tehokas opetusmenetelmä etäopetuksessa

- Täysin eri mieltä
- Jokseenkin eri mieltä
- Ei samaa eikä eri mieltä
- Jokseenkin samaa mieltä
- Täysin samaa mieltä
- En osaa sanoa

16. Oletko käyttänyt virtuaalilaboratorioita kevään 2020 jälkeisellä etäopetusjaksolla aiemmasta määrästä poikkeavasti?

- Olen käyttänyt niitä paljon vähemmän
- Olen käyttänyt niitä hieman vähemmän
- Ei vaikutusta käytön määrään
- Olen käyttänyt niitä hieman enemmän
- Olen käyttänyt niitä paljon enemmän
- En osaa sanoa

17. Millainen pysyvä vaikutus kevään 2020 jälkeisellä etäopetusjaksolla on ollut sinun virtuaalilaboratorioiden käytön määrään lähiopetuksessa?

- Käyttö on vähentynyt paljon
- Käyttö on vähentynyt hieman
- Ei vaikutusta käytön määrään
- Käyttö on lisääntynyt hieman
- Käyttö on lisääntynyt paljon
- En osaa sanoa

18. Minkä tyyppisiä töitä, ja mitä kemian ilmiöitä olet opettanut virtuaalilaboratorioiden avulla etäopetuksessa?

Pitkä vastausteksti

.....

19. Oletko saanut täydennyskoulutusta virtuaalilaboratorioiden opetuskäyttöön liittyen?

- Kyllä
- En

20. Haluaisitko saada täydennyskoulutusta virtuaalilaboratorioiden käyttöön liittyen?

- Kyllä
- En

21. Millaisen virtuaalilaboratorioihin liittyvän täydennyskoulutuksen kokisit hyödylliseksi?

Pitkä vastausteksti

.....