



## **VIRTUAALILABORATORIOIDEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET KEMIAN- TEKNIIKAN OPETUKSESSA**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Kemiantekniikan kandidaatintutkielma

2022

Emma Pukki

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Ritva Tuunila

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Kemiantekniikka

Emma Pukki

### **Virtuaalilaboratorioiden käyttömahdollisuudet kemiantekniikan opetuksessa**

Kemiantekniikan kandidaatintyö

33 sivua, 7 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Ritva Tuunila

Avainsanat: digitalisaatio, etäopetus, kemiantekniikka, simulaatio, virtuaalilaboratorio

Koulutuksen globalisoituessa etäopetus on yleistynyt. Koulutus on saavutettavissa yhä helpommin ilman rajoitteita, kuten aika- tai paikkasidonnaisuutta. Etäopetus insinööri- ja luonnontieteiden laboratorio-opetuksessa voidaan toteuttaa käyttämällä virtuaalilaboratorioita, jotka perustuvat fyysisten laboratorioiden mallinnuksiin, simulaatioihin ja teorian käsitteilyyn. Maailmanlaajuisen COVID19-pandemian takia perinteisestä luokkahuone- ja laboratorio-opetuksesta jouduttiin luopumaan väliaikaisesti. Opetus siirtyi suurelta osin etäopetukseen, jolloin virtuaalilaboratorioiden käyttäminen opetusvälineenä nousi yhä ajankohtaisemmaksi, vaikka niitä on käytetty jo ainakin 2000-luvun alusta alkaen.

Virtuaalilaboratorioita käytetään pääsääntöisesti lähiopetuksen tukena. Tässä kirjallisuuskatsauksessa tutkitaan, millaisia vaatimuksia virtuaalilaboratorioiden käyttämisellä on ja vertaillaan olemassa olevien ohjelmistojen erityispiirteitä sekä pohditaan, soveltuvatko olemassa olevat laboratoriot kemiantekniikan opetukseen.

Virtuaalilaboratorioiden suurin etu on kustannustehokkuus ja simulaatioiden tarjoamat mahdollisuudet opettaa asioita, joita ei voida välttämättä muuten harjoitella. Opetushenkilöstön rooli korostuu virtuaalilaboratorioita valittaessa, jolloin heidän tulee osata valita opetustarkeituuksiinsa parhaiten soveltuvat ohjelmistot. Virtuaalilaboratorioiden käytön aloittaminen vie valmisteluineen huomattavasti aikaa.

Markkinoille on julkaistu useita virtuaalilaboratorioita, jotka soveltuvat erilaisiin opetustarkeoituksiin. Kemiantekniikan opetukseen soveltuvia laboratorio-ohjelmistoja ovat esimerkiksi AALTOLAB, Dr. Red's Virtual Labs ja Labster. Markkinoilta löytyvät laboratorio-ohjelmistot ovat keskenään hyvin erilaisia niin sisällöltään kuin ulkoasultaan.

Tulevaisuudessa virtuaalilaboratorioiden rooli tulee todennäköisesti kasvamaan ja niitä tultaneen käyttämään enenevässä määrin myös työelämän koulutusvälineenä, esimerkiksi

työturvallisuuskoulutuksessa. Vaikka virtuaalilaboratorioita käytetään jo nyt paljon, tulee niiden käyttämistä opetuksen tukena tutkia lisää, jotta digiteknologiaa opittaisiin hyödyntämään yhä paremmin parempien oppimistuloksien saavuttamiseksi.

## Sisällysluettelo

### Tiivistelmä

1	Johdanto.....	4
2	Virtuaalilaboratorioiden tehokas hyödyntäminen osana opetusta.....	6
3	Virtuaalilaboratorioiden edut ja haitat .....	8
3.1	Virtuaalilaboratorioiden edut .....	8
3.2	Virtuaalilaboratorioiden haitat .....	10
4	Virtuaalilaboratorioihin liittyvät vaatimukset.....	12
4.1	Vaatimukset opiskelijalle .....	12
4.2	Vaatimukset opettajalle.....	13
5	Kemiantekniikan opetukseen soveltuvia virtuaalilaboratorioita .....	15
5.1	AALTOLAB.....	15
5.2	Dr Red’s Virtual Labs .....	17
5.3	Labscape.....	20
5.4	Labster.....	21
5.5	Virtual Labs.....	22
5.6	Virtuaalilaboratorioiden vertailu .....	23
6	Virtuaalilaboratorioiden käyttökokemuksia LUT-yliopistossa .....	25
7	Johtopäätökset.....	28
	Lähteet .....	30

# 1 Johdanto

Etäopetus, virtuaalilaboratoriot ja -todellisuus mahdollistavat tekniikan ja luonnontieteiden koulutukseen uusia ratkaisuja. Koulutuksen globalisaation kasvaessa internetpohjainen etäopetus yleistyy, mikä tarkoittaa koulutuksen saatavuutta rajoittavien esteiden poistumista. Potkonjak et al., (2016) mukaan rajoitteita ovat esimerkiksi paikkasidonnaisuus, henkilökohtaiset rajoitteet sekä sosiaalinen status. Korkeakoulujen on toteutettava digitalisaatiostrategioita, jotka antavat opiskelijoille mahdollisuuden käyttää teknologiaa innovatiivisesti, mukautuvasti ja joustavasti (Bond et al., 2018). Etäopetus sekä avoimet yliopistot vahvistavat jalansijaansa opetusmaailmassa koko ajan. Tekniikan ja luonnontieteen aloilla on hyödyntämätöntä potentiaalia uusien teknologioiden käyttämisessä erityisesti etäopetuksessa, sillä kyseisillä aloilla tehdään laboratoriotöitä lähiopetuksessa käytännön kokemuksen tarjoamiseksi. (Potkonjak et al., 2016.)

Virtuaalilaboratoriot perustuvat fyysisten laboratorioiden mallinnuksiin ja simulaatioihin, joissa voidaan suorittaa kokeellisia prosesseja kuten fyysisissä laboratorioissa. Niissä voidaan havainnollistaa esimerkiksi kemiallisen reaktiotekniikan käsitteistöä, kuten lämpötilan ja reaktionopeuden välistä suhdetta. (Ramírez et al., 2020.) Virtuaalilaboratorioita käytetään koulutusvälineenä yhä enemmän varsinkin terveydenhuollossa, kemiassa, biotekniikassa ja genetiikassa (Makransky et al., 2016). Virtuaalilaboratorioiden rakentaminen on ollut hidasta, sillä aiemmin teknologia on ollut rajallista erityisesti tietokonegrafiikassa ja lisätyssä todellisuudessa. (Potkonjak et al., 2016.)

Virtuaalilaboratorioita on käytetty jo 2000-luvun alusta (Selmer et al., 2007) nykyhetkeen saakka. Koronaviruspandemian leviäminen maailmanlaajuisesti vuonna 2019 toi mukanaan uusia haasteita opetukseen, kun suurin osa maailman koulutusyhteisöistä suljettiin väliaikaisesti. Koronaviruksen leviämisen rajoittamiseksi oppilaitokset joutuivat monin paikoin siirtymään etäopetukseen (Abumalloh et al., 2021). Laboratorio-opetuksen mahdollistaminen etänä tuli ajankohtaisemmaksi kuin ennen. Virtuaalilaboratorioita käytettiin aiemmin pääasiallisesti täydentävänä oppimistoimintana ennen varsinaisia käytännön laboratorioita. Pandemian aikana niiden rooli muuttui osittain laboratorioita korvaaviksi oppimisvälineiksi. (Yap et al., 2021.)

Virtuaalilaboratoriot tarjoavat tehokkaan koulutuksellisen työkalun, jonka avulla opiskelijat voivat suorittaa laboratorioharjoittelua kotonaan ja osallistua opetukseen ilman odottamattomia häiriötekijöitä, kuten pandemiaa (Vasiliadou, 2020). Käyttämällä virtuaalilaboratorioita, opiskelijoiden sairastuminen ei lisää opetushenkilöstön työkuormaa (Viitaharju et al., 2021), sillä virtuaalilaboratoriot eivät ole aikasidonnaisia eikä opetushenkilöstön tarvitse järjestää korvaavia laboratorioita poissaolleille. Tutkimustiedon mukaan virtuaalinen ja fyysinen laboratorio voivat tukea toisiaan. Opiskelijat ovat valmistautuneet tehokkaammin fyysisiin laboratorioihin käyttämällä virtuaalilaboratorioita: Erityisesti pandemia-aikana opiskelijat ovat suorittaneet kokeita online-ympäristössä ilman aikarajoitteita. He ovat saaneet välitöntä palautetta ohjelmistolta ja tutustuneet erityisesti laboratorioturvallisuuden demojen avulla. (Vasiliadou, 2020). Laboratoriokokeiden lisäksi virtuaalilaboratorioita käytetään myös laboratorioturvallisuuden opettamiseen. Laboratorioturvallisuus on alan perusta, sillä ilman opittua turvallista työskentelytapaa laboratorioharjoitteita ei voida suorittaa. Tämän takia laboratorioturvallisuusdemoja hyödynnetään paljon.

Virtuaalilaboratorioiden käytöllä ei voida korvata kokonaan fyysistä laboratoriotyöskentelyä, sillä yksityiskohtaisten taitojen kerryttämiseen tarvitaan käsillä tekemistä. Tällaisia hienomotorisia taitoja vaativat esimerkiksi titraaminen ja tarkkuuspipetointi. Potkonjak et al. (2016) mukaan virtuaalilaboratorioiden käyttö voi lisätä opiskelijoiden varomattomuutta ja heikentää vastuullisuutta, sillä vahingoista sekä inhimillisistä virheistä ei ole konkreettisia seuraamuksia. Toisaalta virtuaalilaboratoriot tarjoavat mahdollisuuden opiskella vaaratekijöitä turvallisesti, sillä reaali maailmassa niiden harjoittelu ei ole mahdollista.

Tekniikan kehittyessä virtuaalilaboratorioiden käyttö saattaa tulevaisuudessa vähentää reaali maailman laboratorio-opetuksen tarvetta. Laboratorio-opetus on kallista, sillä laitteistot, tilat sekä kemikaalit muodostavat ison kuluerän. Laboratorioissa on yleensä opetushenkilöstöä koko ajan läsnä, joten sekin osaltaan lisää laboratorioiden kalleutta. Toistokokeita ei voida suorittaa laboratorioissa lukemattomia määriä, sillä ne maksavat ja sitovat resursseja. Laboratoriokokeet vaativat esivalmisteluja ja työskentelyn jälkeen aikaa kuluu esimerkiksi siivoamiseen. Yliopistot voisivat säästää virtuaalilaboratorioiden avulla: Toistokokeita erilaisilla koejärjestelyillä voidaan suorittaa käytännössä rajattomasti (Potkonjak et al., 2016), laitteisto ei voi rikkoutua eikä kemikaaleja mene hukkaan. Virtuaalilaboratoriot eivät yleensä sido opetushenkilöstöä koko suoritusajaksi, jolloin opettajille vapautuu aikaa muihin

tehtäviin. Opettajien tulee kuitenkin huolehtia, että opiskelijat oppivat käyttämään virtuaalilaboratoriota, jotta opiskelijoiden itsenäinen työskentely mahdollistuu.

Tämä kandidaatintyö on kirjallisuuskatsaus, jonka tavoitteena on selvittää, kuinka virtuaalilaboratorioita voitaisiin hyödyntää varsinkin kemiantekniikan opetuksessa. Työn aluksi tarkastellaan sitä, miten virtuaalilaboratorioita käytetään tällä hetkellä. Erityisesti tutkitaan, toimivatko virtuaalilaboratoriot paremmin fyysisen opetuksen tukena vai omina opetuskokonaisuuksinaan. Työssä perehdytään myös virtuaalilaboratorioiden etuihin ja haittoihin. Tämän jälkeen pohditaan millaisia vaatimuksia laboratorioiden etäopetus asettaa niin opiskelijalle kuin opettajalle, sekä tutustutaan kemiantekniikan kannalta potentiaalsiin laboratorio-ohjelmistoihin. Työn lopuksi pohditaan virtuaalilaboratorioiden tulevaisuutta yliopisto-opetuksessa.

## 2 Virtuaalilaboratorioiden tehokas hyödyntäminen osana opetusta

Stieff et al. (2018) tutkimuksen mukaan laboratoriotöitä käsittelevät opetusvideot parantavat opiskelijoiden itseluottamusta sekä oppimistuloksia. Videoiden avulla opiskelijat ymmärtävät paremmin laboratoriokäsitteistöä. Oppitunnit, jotka pidettiin vastaavasti ennen laboratorioita, eivät olleet yhtä tehokkaita esiopetuskeinoja kuin videot. Videoita katsoneet opiskelijat osasivat kasata laitteistoja paremmin eivätkä he tarvinneet yhtä paljon apua ohjaajilta kuin verrokkiryhmä. Ennen laboratorioita näytettävät videot vähentävät ohjaajien tarvetta pitää varsinaista esiluentoa. Koska opiskelijat saavat videoista laboratoriotyöskentelyn perustietoja – laitteistoon sekä instrumentteihin perehtymistä, terminologiaa sekä turvallisuusohjeita – he ovat todennäköisemmin paremmin valmistautuneita laboratorioihin. Opiskelijat osaavat kysyä ohjaajalta tarkempia kysymyksiä käsiteltävästä aihealueesta katsottuaan videoita. Opiskelijoiden mielestä opetusvideot ovat relevantteja, käytännöllisiä ja kiinnostavia. (Stieff et al., 2018.) Erilaiset simulaatiot sisältävät usein videoita, sillä niiden katselu on tehokas oppimistapa. Simulaatioita käytetään tekniikan opetuksessa, jotta opiskelijat ymmärtäisivät ja omaksuisivat laboratoriotaitoja ja -käytäntöjä (Sypsas & Kalles, 2018).

Virtuaalilaboratoriosimulaatio on lupaava opetusväline, sillä se mahdollistaa eri tasoisten opiskelijoiden opettamisen. Käyttämällä virtuaalilaboratorioita opiskelijat ovat aktiivisia jatkuvasti, varsinkin jos simulaatioon yhdistetään animaatioita, kyselyitä sekä teoreettista taustatietoa. (de Vries & May, 2019.) Käytännön laboratorioissa opiskelijat toimivat usein pienryhmissä, joten yksilöllinen oppiminen virtuaaliympäristössä voisi aktivoida opiskelijoita enemmän. Makransky et al. (2016) mukaan opiskelijoiden motivaatio ja työskentelyn tehokkuus kasvavat virtuaalilaboratorioiden avulla. Virtuaalilaboratorioita voidaan käyttää tavallisen laboratorion rinnalla, jolloin niiden avulla voidaan valmistautua fyysiseen laboratorioon. Samalla suoriutuminen ja oppiminen paranevat. (Makransky et al., 2016.) Lisäksi luentojen apuna voidaan käyttää simulaatioita, joiden avulla voidaan täydentää jo annettua laboratoriokoulutusta.

Parhaan oppimistuloksen saavuttamiseksi laboratoriotyössä on opiskelijan tunnettava laboratoriotyöskentelyn perusteet ja heillä on oltava esitietoa käytettävästä laitteistosta. Jos opiskelija ei tunne perusasioita, hän tuhlaa aikaansa ja kognitiivisia resurssejaan yrittäessään ymmärtää laboratoriotyöskentelyn kulkua. Tämän perusteella opiskelijan tulee valmistautua perusteellisesti laboratoriotyöskentelyyn, jotta hän voi oppia laboratoriosta mahdollisimman paljon. Esitieto voidaan opettaa käyttämällä virtuaalilaboratorioita, joissa käytännön harjoittelu on mahdollista. (Makransky et al., 2016.)



### 3 Virtuaalilaboratorioiden edut ja haitat

Virtuaalilaboratorioiden tehokkuus opetusvälineenä jakaa paljon mielipiteitä. Yleinen mielipide on, että niiden käyttämisestä on enemmän hyötyä kuin haittaa. Brinsonin (2015) mukaan virtuaalilaboratoriot ovat yhtä tehokkaita tavallisiin laboratorioihin verrattuna, sillä ne tarjoavat konstruktivisen lähestymistavan. Makransky et al. (2016) on asiasta eri mieltä: Hänen mukaansa virtuaalilaboratorion ja tavallisen laboratorion hybridimalli saa aikaan parhaimman oppimistapahtuman. Bond et al. (2018) on Makranskyn kanssa samaa mieltä, sillä heidän mukaansa opiskelijoista saadaan aktiivisia sekä parannetaan oppimistuloksia, kun käytetään lähiopetuksen lisäksi edistyksellistä tekniikkaa, kuten virtuaalilaboratorioita. Brinsonin (2015) mukaan laboratorioympäristöt sisältävät itsessään paljon käytännönläheisiä, tietokonevälitteisiä simulaatioita, jolloin ero todellisen virtuaali- ja käytännön laboratorion välillä ei ole suuri. Tällaisia ovat esimerkiksi tietokoneellisesti suoritettavat mittaukset. Virtuaalilaboratorioilla on oppimisen kannalta käyttöä puoltavia etuja, mutta niillä on myös haittapuolia sekä kehityskohteita.

#### 3.1 Virtuaalilaboratorioiden edut

Virtuaalilaboratorioilla on monia etuja, joita ovat esimerkiksi kustannustehokkuus, ajan ja resurssien säästäminen sekä vaikeiden asioiden simuloiminen. Virtuaalilaboratorioiden huomattavin etu on korkealaatuisen oppimismahdollisuuden kustannustehokkuus (Potkonjak et al., 2016.) Niiden käyttö opetuksessa säästää rahaa ilman merkittäviä lisäkuluja (Viitaharju et al., 2021), sillä tarvittavat opetusresurssit ovat pienemmät kuin lähiopetuksessa. Virtuaalilaboratorioihin tarvittavat lisenssit muodostavat suhteellisen pienen kuluerän verrattuna laboratorio-opetukseen: de Vries & May (2019) mukaan Labster virtuaalilaboratorio maksaa yhdelle opiskelijalle lukukauden aikana noin 199 Yhdysvaltain dollaria, mutta todellisuudessa hinta riippuu esimerkiksi ostettavien lisenssien määrästä. Labster tarjoaa yliopisto-opiskelijoille erilaisia simulaatioita matemaattisluonnontieteellisiltä aloilta (Labster, 2022). Labsteria käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.4.

Koska virtuaalilaboratorion kulut ovat pääosin kiinteät, ne mahdollistavat toistokokeiden suorittamisen niin monesti, että opiskelija on oppinut asian. Opiskelijat voivat siis määrittää, kuinka kauan käyttävät aikaansa virtuaalilaboratorioon (Makransky et al., 2016). Virtuaalilaboratoriossa sekä kemikaalien ja laitteistojen määrä on käytännössä rajaton. Toistokokeita voidaan suorittaa ilman huomattavia lisäkuluja eikä laitteistolle tarvitse jonottaa. Jos virtuaalilaboratorioon ei tarvitse opettajaa, vapautuu opettajalle työtunteja käytettäväksi muualle. Tämä korostuu laboratoriotöissä, joissa opiskellaan pienryhmissä ja jokaiselle ryhmälle tulee kertoa ennen työn aloittamista ohjeet työn suorittamisesta (Makransky et al., 2016) sekä valvoa työn suoritusta.

Simulaatiot auttavat opiskelijoita kahdella tapaa: Ne visualisoivat teoriaa ja varsinaisen virtuaalilaboratorio auttaa oppimaan laitteistojen käyttötekniikoita (de Vries & May 2019). Molemmat tavat tukevat oppimista. Virtuaalilaboratorioiden käyttäminen on monimuotoista, sillä sen avulla laboratorioparametrien muuttaminen sekä laitteiston säätäminen on helppoa. Laboratorioparametrejä voivat olla esimerkiksi lämpötila ja ilmankosteus. Toisaalta virtuaaliympäristössä pystytään muokkaamaan ja havaitsemaan jopa sellaisia asioita, joita ei voitaisi tehdä tosielämässä (Potkonjak et al., 2016) tai se olisi erittäin vaikeaa, kuten steriiliyden säätely. Virtuaalilaboratoriolla voidaan esimerkiksi pysäyttää kemiallinen reaktio täydellisesti tietyssä kohtaa, jolloin opiskelija voi tutkia mitä tähän asti on tapahtunut (Brinson, 2015; Potkonjak et al., 2016). Virtuaalilaboratorioissa saadaan minimoitua niin laitepoikkeamat, häiriötekijät kuin mittausvirheetkin ja kokeiden tulokset saadaan nopeasti (Brinson, 2015).

Virtuaalilaboratoriot ovat myös vahingonkestäviä: mitään vakavaa onnettomuutta ei voi tapahtua (Potkonjak et al., 2016). Tämä mahdollistaa erilaisten skenaarioiden luomisen: opiskelija voi luoda erittäin vaarallisia tai muuten tosielämässä saavuttamattomia tapahtumia ja oppia niistä. Tämän perusteella laboratoriosimulaatiot motivoivat opiskelijoita ja parantavat oppimistuloksia perinteiseen luokkaopetukseen verrattuna. (Yap et al., 2021.) Esimerkiksi laboratorioturvallisuuden opettaminen luentomaisesti lähiopetuksessa on Viitaharjun et. al. (2021) mukaan liian irtonaista todellisesta laboratorioturvallisuudesta.

Käytettäessä virtuaalilaboratorioita opiskelijoiden oma aktiivisuus korostuu (Brinson, 2015). Koska virtuaalilaboratoriot ovat usein sekoitus teoriaa ja käytännön lähestymistapaa, opiskelijoiden ongelmanratkaisukyky sekä analyyttiset taidot kehittyvät (Radhamani et al., 2021). Opiskelijoiden oppimisintensiteetti, itseluottamus ja motivaatio kasvavat (Yap et al.,

2021), sekä samalla opiskelijoiden itsenäisyys paranee (Makransky et al., 2016), kunhan opiskelijat ensin oppivat käyttämään virtuaalilaboratoriota. Koska virtuaalilaboratorioilla voidaan ratkaista todellisen elämän ongelmia, on virtuaaliohjelmistojen käyttäminen erittäin perusteltua. Virtuaalilaboratorio ei eriarvoista opiskelijoita, sillä kaikilla opiskelijoilla on tasavertainen mahdollisuus osallistua henkilökohtaisista rajoitteista huolimatta (Brinson, 2015). Rajoitteita voivat olla esimerkiksi kuulovammaisuus tai liikuntarajoitteisuus.

### 3.2 Virtuaalilaboratorioiden haitat

Virtuaalilaboratorioiden käytöllä on myös haittapuolia, joista tärkeimpiä ovat esimerkiksi virheellinen turvallisuusilluusio, resurssien puute sekä ICT-vaikkeudet. Turvallisuusilluusio tarkoittaa opiskelijan siedättymistä vaarallisiin tilanteisiin, jolloin opiskelija altistaa itsensä vaaratilanteille työskennellessään reaalilaboratoriossa: Koska virtuaalilaboratorioissa ei voi tapahtua mitään vakavaa, voi opiskelija asennoitua vastuuttomasti ja varomattomasti oikeaan laboratoriotyöskentelyyn tai suhtautua virtuaalilaboratorioon pelinä. (Potkonjak et al., 2016; Viitaharju et al., 2021.)

Jos oppilaitos päättää kehittää oman virtuaalilaboratorion valmiin kaupallisen ohjelman sijaan, se vaatii merkittävää taloudellista panostusta. Ohjelmiston kehittäminen voi olla monimutkaista sekä vaativaa (Potkonjak et al., 2016). Koska virtuaalimaailma ei voi täysin korvata fyysisiä laboratorioita, on rahan tarve molempien, oman ohjelman luomiseen ja fyysisien laboratorioiden ylläpitämiseen huomattava (Viitaharju et al., 2021): Kustannuksia aiheutuu rinnakkain niin virtuaali- kuin lähiopetuslaboratoriostakin. Välttääkseen suuria oman kehitystyön aiheuttamia kustannuseriä, oppilaitoksille voi olla edullisempaa ostaa lisenssejä jo olemassa oleviin virtuaalilaboratorioihin.

Fyysisessä laboratorio-opetuksessa toimitaan yleensä erikokoisissa pienryhmissä, jolloin opiskelijat ovat vuorovaikutuksessa niin toistensa kuin opettajien kanssa. Pienryhmän suurin etu on ryhmätyöskentely, sillä opiskelijat täydentävät toisiaan. Ryhmätyöskentelyssä korostuu asioiden ratkaiseminen yhteistyön avulla. Toisaalta osa opiskelijoista voi käyttäytyä passiivisesti ryhmätyöskentelyssä. Vaikka laboratoriossa toimitaan pienryhmissä, tulee opiskelijoiden tehdä myös itsenäistä työskentelyä. Etäopetuksen lisääntyessä on pohdittu, kärsivätkö opiskelijoiden vuorovaikutustaidot ja heikkeneekö ihmissuhteiden muodostuminen

(Abumalloh et al., 2021). Virtuaalilaboratorio-opetuksessa on huomioitava opiskelijoiden välisen kommunikoinnin mahdollistaminen ja yksinäisyyden ehkäiseminen (Vasiliadou, 2020). Opiskelijoiden ja ohjaajien välinen kommunikaatio edistää opiskelijoiden osallistumista koulutustapahtumiin. Vuorovaikutukseen tulisi panostaa, sillä se myös parantaa osallistujien välistä tiedonvaihtoa. Opiskelijoiden ja ohjaajien välinen tiedonvaihto on välttämätöntä, sillä se antaa opiskelijoille paremmat valmiudet käsitellä epävarmuutta. Kun opiskelijat ovat aktiivisesti vuorovaikutuksessa mukana sekä jakavat tietoa keskenään, on oppimistavoitteiden saavuttaminen helpompaa.

Virtuaalilaboratorioihin liittyy usein teknisiä ongelmia, jonka suurin aiheuttaja on simulaatioiden monimutkaisuus. Opiskelijat mainitsivat isoksi haitaksi simulaatioiden sisältävän liikaa hiirellä napauttelua, joka koettiin väsyttävänä. Osassa virtuaalilaboratorioissa voidaan toimia vain yksikäsitteisesti, jolloin hiiren käyttäminen korostuu. (de Vries & May, 2019.) Virtuaalilaboratoriot voivat myös kaatua tai mennä jumiin. Samanaikaisten pyyntöjen määrä voi aiheuttaa ongelmia, jolloin ohjelmistotoimittajien apua tarvitaan. Virtuaalilaboratorioiden selväksi heikkoudeksi koettiin myös se, etteivät opiskelijat voineet käyttää tuettua online-tukea (Ramírez et al., 2020) tai tuen saamiseen menee aikaa. Toisaalta kyseiset ongelmat valmistavat tosielämän insinööriyön haasteisiin. Virtuaalilaboratorion ohjaajan tai valvojan tulisi saada minimoitua tekniset ongelmat, jotta opiskelijan ei tarvitsisi välittää niistä.

Koska virtuaalilaboratoriot ovat melko uusi ilmiö, ei tehtäviin löytyne suoria ratkaisuja. Tulevaisuudessa ratkaisuja voi olla helposti saatavilla, jolloin virtuaalilaboratoriokehittäjien tulee reagoida toiminnallaan. Virtuaalilaboratorioiden käyttö vaatii myös luottamista opiskelijoihin: Mistä voidaan tietää, että jokainen opiskelija on suorittanut tehtävät henkilökohtaisesti eikä antanut toiselle opiskelijalle tunnuksiaan? Opiskelijoiden valvominen itsenäisestä työskentelystä on käytännössä mahdotonta niin virtuaalilaboratoriotyöskentelyssä kuin muissakin itsenäisissä tehtävissä. Käytännössä huonosti toteutettu virtuaalilaboratorio-opetus voisi aiheuttaa turvallisuusriskin lähilaboratoriossa, jos opiskelijat eivät opiskele virtuaalilaboratorioiden aiheita itsenäisesti. Toisaalta virtuaalilaboratoriot tulisi olla arvioitavissa opiskelijakohtaisesti suorituksien perusteella, sillä opiskelijoiden motivoiminen niiden käyttämiseen vapaaehtoisesti voi olla haastavaa.

## 4 Virtuaalilaboratorioihin liittyvät vaatimukset

ICT-taidot ovat yhteiskunnalliseen osallistumiseen vaadittava elintärkeä taito, jonka tarve kasvaa myös korkeimmilla koulutusasteilla, vaikkakaan digitaalisuus ei takaa opiskelijoiden aktiivista sitoutumista tai hyviä saavutuksia. Digitaalisuuden hyödyntäminen mahdollistaa joustavamman opetuksen, lisää opiskelijakeskeisyyttä sekä kasvattaa elinikäisen oppimisen taitoja. Siirryttäessä yhä enemmän erilaisten teknologioiden käyttöön, on opettajien pedagoginen osaaminen ratkaisevassa roolissa. Aloittelevat opettajat ovat taitavampia teknologian aiheuttamissa nopeissa muutoksissa kuin kokeneemmat opettajat. Opettajat kokevat teknologioiden käyttöön liittyviä rajoituksia, kuten digitaalisten valmiuksien vähyys, teknologioiden saatavuus ja työtaakka. Teknologiaa käytetään usein varovasti. (Bond et al., 2018.)

Tutkimusten mukaan opiskelijat ovat joustavampia ajattelihoita sekä yhteisöllisiä oppijoita, jos heillä on hyvät ICT-taidot. Opettajat käyttävät instituutionaalisia alustoja (esimerkiksi Moodle) lähinnä organisaatiotyökaluna, kuten ilmoittautumisten tarkistamiseen ja materiaalin lataamiseen. Tällöin opetustyyli pysyy opettajakeskeisenä ja digitaalisuuden hyödyntäminen teoreettisena. (Bond et al., 2018.) Opetustyylin tulisi kuitenkin olla opiskelijakeskeisempi, jolloin opiskelijat ovat usein motivoituneempia. Koska virtuaalilaboratoriot vaativat opiskelijoilta ja opettajilta tahtoa oppia ja omaksua tietoa uusien ohjelmistojen kautta sekä tahtoa muokata jo muodostettuja toimintatapoja, käsitellään seuraavaksi virtuaalilaboratorioiden luomia vaatimuksia molemmille osapuolille.

### 4.1 Vaatimukset opiskelijalle

Opiskelijoiden on osattava etsiä teoriaa ja ohjeita virtuaalilaboratorioista, jos opetushenkilöstön puolesta jaettu materiaali ei riitä, sillä valmiita opetusmateriaaleja on hyvin vähän. Uuden ohjelmiston opettelu vie aikaa, joten opiskelijan tulee olla itseohjautuvainen sekä suhtautua positiivisella asenteella uutta ohjelmistoa kohtaan. Opiskelijan tulee varata aikaa ohjelmiston käytön opetteluun sekä käyttöön. Opiskelijan kynnys pyytää apua voi olla isompi kuin oikeassa laboratoriossa, kun ohjaaja ei ole paikalla – keskusteluyhteyden luomiseen tulee siis panostaa. Opiskelijan on helpompi pyytää apua heti ongelman ilmetessä,

kun ohjaajan ja opiskelijan välillä on hyvä keskusteluyhteys. Lähtökohtaisesti opiskelijan tulee yrittää ratkaista ongelma itse. Toisaalta diginatiivien ikäpolvien voi olla vaikeaa pyytää apua tietotekniikassa, sillä se voi tuntua kiusalliselta.

Opiskelijalla pitää olla motivaatiota virtuaalilaboratorio-oppimiseen: ohjelmistoa tulee opetella käyttämään ja sieltä tulee osata etsiä tarvittaessa kerrattavat asiat, eikä ”pelata” virtuaaliohjelmistoa läpi kerran ja jättää asia sikseen. Tämä on toisaalta haaste virtuaalilaboratorioiden kehittäjille, sillä opiskelija pitää saada motivoitumaan kertaamaan opeteltavia asioita ohjelmiston kautta: Laboratorio-ohjelmisto ei saisi olla kerran läpipelattava ja unohdettavissa oleva opetusväline. Virtuaalilaboratorioiden tarkoitus on helpottaa oppimista eikä vaikeuttaa sitä.

#### 4.2 Vaatimukset opettajalle

Opettajien tulee ottaa käyttöön uudenlainen digitaalinen opetusteknologia (Blomberg et al., 2021), mikä korostaa opettajien ICT-taitoja. Opetushenkilöstölle muodostuu uudenlaisia haasteita, kun digitaalisen teknologian käyttö lisääntyy opetustyössä. Samalla syntyy paine opettajan asiantuntijuuden uudelleenmäärittelylle sekä opettajan identiteetin muovaamiseen, kun perinteisestä lähiopetusmallista siirrytään yhä enemmän digitaalisten opetustapojen käyttöön. Opettajien mielestä verkko-opetus johtaa opetustilanteiden kontrollin menettämiseen sekä vuorovaikutuksen vähenemiseen opiskelijoiden kanssa. (Blomberg et al., 2021.)

Blomberg et al. (2021) yliopisto-opettajille tekemän haastattelututkimuksen mukaan digitaalisten teknologioiden käyttöönotto on lisännyt opettajien toimintaympäristön epävarmuutta. Haastatteluun osallistuneet opettajat kokivat uusien teknologioiden opetteluun henkisesti kuormittavaksi ja aikaa vieväksi prosessiksi. Tutkimuksen mukaan opettajat eivät hallinneet täysin vanhoja digiteknologioita, kun samaan aikaan uusia ohjelmistoja tuli koko ajan lisää. Osa haastatelluista opettajista koki digitaaliopetuksen mahdollistavan uusien asioiden kokeilemista, vahvistavan luovuutta sekä vähentävän rutiiniväilyä. Toisaalta opettajat kokivat opetusteknologioiden sujuvoittavan opettamista, mutta samalla haastavan heitä opettajaidentiteettinsä suhteen. (Blomberg et al., 2021.) Radhamani et al., (2021) mukaan opettajat kokivat virtuaalilaboratorioiden parantavan heidän opetustaitojaan sekä auttoivat opiskelijoita suorittamaan laboratorio-osuuksia ilman, että oppimisen laatu muuttui.

Blomberg et al., (2021) tutkimuksessa haastatellut opettajat mielsivät ydintehtävikseen luennoinnin, opintojaksojen suunnittelun, sekä tehtävien tarkistamisen ja tuottamisen. Kun digiopetus on lisääntynyt, ovat edellä mainitut ydintehtävät vähentyneet tai poistuneet jopa kokonaan. Koska muutos on ollut niin suurta, osa opettajista koki itsensä tarpeettomiksi ja teknologian korvaamiksi. Opettajaidentiteettiä haastavat myös teknologioiden toimimattomuus ja epävarmuus niiden käyttämisestä. Tutkimuksen mukaan tärkeimmät opettajaidentiteettiin vaikuttavat asiat olivat toimintaympäristön muutokset, digiteknologioiden nopea kehittyminen sekä tuen puuttuminen. (Blomberg et al., 2021.)

Digiteknologioiden koettiin tarjoavan myös erilaisia mahdollisuuksia: opettajien työ helpottuu, kunhan opettajat hyväksyvät ja rakentavat itselleen uudenlaisen mallin opettaa. Opettajat tarvitsevat kannustusta ja tilaa pedagogisen ajattelun muutokselle, sekä luoda positiivisia mielleyhtymiä. (Blomberg et al., 2021.)

Jotta virtuaalilaboratorioiden käyttäminen olisi mahdollisimman matalalla kynnyksellä, tulisi opettajille järjestää koulutuksia niin ohjelmistojen käyttämisestä, kuin digitaalisen oppimisympäristön hyödyntämisestä pedagogisesti. Tiettyyn opetustarkoitukseen soveltuvia virtuaalilaboratorioita voi olla tarjolla useita. Opetushenkilöstön tulee varata aikaa eri ohjelmistovaihtoehtoihin tutustumiseen ja niistä sopivimman valitsemiseen. Opettajan pitää samalla arvioida opiskelijoiden valmiudet käyttää valitsemaansa ohjelmaa. Ohjelmiston valinnassa tulee myös pohtia, voiko samaa ohjelmistoa hyödyntää muissakin opetuskokonaisuuksissa. Koska ohjelmiston sisäistäminen vie paljon aikaa, voi ajatus virtuaaliosion lisäämisestä opetukseen tuntua haastavalta. Toisaalta kun virtuaalilaboratorion käyttö on tuttua, jää aikaa myös muuhun. Opettajan tulee myös tietää mitä virtuaaliohjelmistossa oikeasti tapahtuu ja mihin ne soveltuvat pedagogisesti. Virtuaalilaboratorioita käytettäessä ajan pitäisi kulua opettamiseen ja siitä huolehtimiseen, eikä teknisten vaatimusten ja ongelmien selättämiseen. Toisaalta yliopistojen tulee tunnistaa digitekniikoiden sitovan resursseja ja aikaa, jolloin henkilöstöä tulisi jopa lisätä - varsinkin jos opiskelijamäärät kasvavat.

## 5 Kemianteekniikan opetukseen soveltuvia virtuaalilaboratorioita

Teknis-luonnontieteellisten alojen tarjoamien verkkokurssien määrä on nousussa. Virtuaalilaboratorioiden suosio on kasvanut, sillä myös yritykset haluavat tarjota koulutusta työntekijöilleen sekä asiakasyritysten henkilökunnille virtuaalisesti. Nykyinen yleiskäsitys on, että opiskelijat tarvitsevat käytännön kokemusta virtuaalilaboratorioiden ohelle. Tulevaisuudessa virtuaalitekniikoiden kehittyessä ja teknisten haasteiden pienentyessä virtuaalilaboratoriot ovat melko samankaltaisia kuin fyysiset laboratoriot. (Potkonjak et al., 2016.) Brinson (2015) on virtuaalilaboratorioiden tulevaisuudesta samaa mieltä, sillä virtuaalitekniikka on tulevaisuudessa interaktiivisempaa ja todennukaisempaa. Potentiaalisia kaupallisia laboratorio-ohjelmistoja kemianteekniikan koulutuksen tueksi on vielä verrattain vähän ja kilpailu alalla on rajallista. Tässä osiossa tutustutaan seuraaviin virtuaalilaboratorioihin: AALTOLAB, Dr. Red's Virtual Labs, Labscape, Labster ja Virtual Labs sekä vertaillaan niiden ominaisuuksia.

### 5.1 AALTOLAB

AALTOLAB on Aalto-yliopiston kehittämä laboratorioturvallisuuden koulutusala, joka on julkaistu vuonna 2017. Sen kohderyhmänä ovat pääsääntöisesti kandi-, maisteri- ja tohtoriopiskelijat sekä yliopiston henkilökunta. Ohjelmiston pääkohdealat ovat kemianteekniikka, kemia, biotieteet, materiaalitekniikka sekä puukemia. AALTOLAB-ohjelmiston tarkoitus on kannustaa opiskelijoita pohtimaan turvallisia laboratoriokäytäntöjä sekä saada opiskelija ymmärtämään turvallisuuden liittyvän kaikkien laboratoriotyöskentelyyn. AALTOLAB on creative commons -lisenssin alla, eli se on vapaasti käytettävissä, kopioitavissa ja jaettavissa. Opetushenkilöstön on helppo muokata laboratorio-ohjelmistoa, sillä siihen ei tarvitse koodausta. (Viitaharju et al., 2021.)

AALTOLAB koostuu moduuleista, joista jokaisessa on virtuaalilaboratorio-osio sekä siihen integroitu Moodle-pohjainen koe. Moodle-kokeissa on erilaisia tehtävätyyppejä kuten



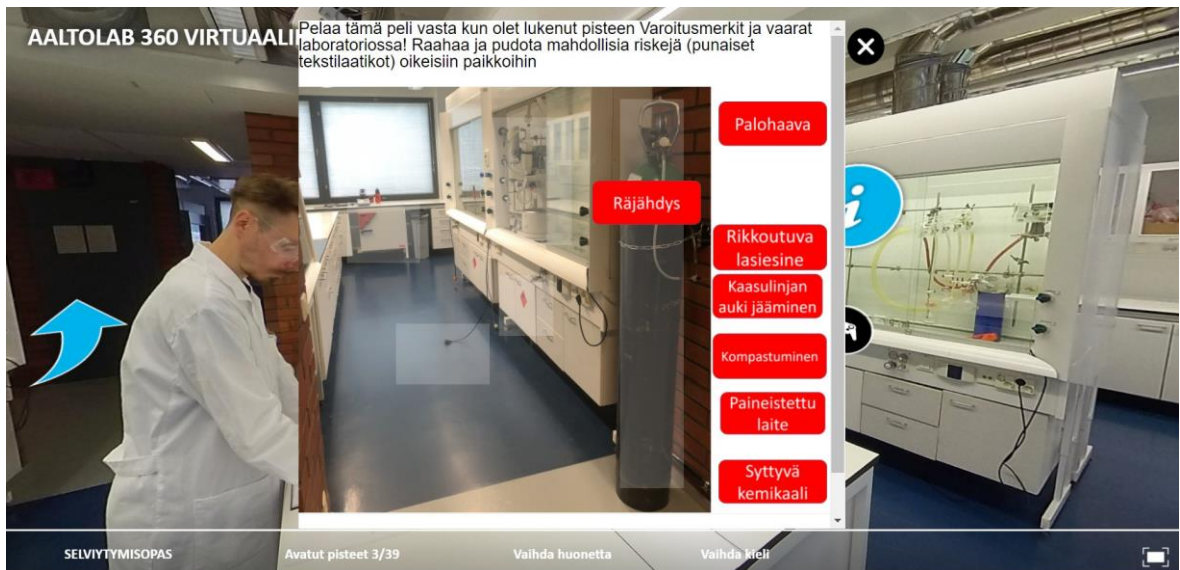
monivalintatehtäviä, mitkä arvioidaan automaattisesti. Opiskelija saa automaattisen ja välittömän palautteen kokeen yhteydessä. Kokeita voi suorittaa useita kertoja ilman toistorajoituksia. AALTOLAB suoritetaan henkilökohtaisesti, eikä sen suorittamiseen tarvita ryhmätyöskentelyä. Virtuaalilaboratorio on aina avoinna ja käytettävissä mihin aikaan tahansa. (Viitaharju et al., 2021). Moduuleja on neljä, jotka ovat Common, CHEM Staff, Biosafety ja Labventure. Common-moduuli käsittelee laboratorioturvallisuutta kemiantekniikan näkökulmasta ja Biosafety käsittelee bioturvallisuutta. Labventuressa toimitaan tarinankerrollisesti ja valmistetaan suprajohdemateriaalia. Henkilöstön moduulissa käsitellään esimerkiksi laboratoriokokeiden suunnittelua, riskinarviointia sekä jätteiden hallintaa. (AALTOLAB, 2022). Viitaharjun et al. mukaan (2021) virtuaalilaboratorioon on kehitteillä viides moduuli säteilyturvallisuudesta.

Virtuaalilaboratorio on saatavilla pääosin englanniksi, mutta osa moduuleista on tarjolla myös suomeksi tai ruotsiksi. AALTOLAB on rakennettu mahdollisimman todennukaiseksi käyttämällä 360° panoraamakuvia Aalto-yliopiston opiskelijalaboratorioista (Kuva 1). (Viitaharju et al., 2021).



Kuva 1. AALTOLAB toimintapiste Common -moduulin huoneesta SUN2 (AALTOLAB, 2022)

Virtuaalilaboratoriossa navigoidaan hiiren tai kosketusnäytön avulla. Virtuaaliympäristössä on toimintapisteitä, joissa opiskellaan interaktiivisesti laboratorioturvallisuutta. Opiskelijan saatavilla on lyhyitä esityksiä, kuvia, minipelejä (Kuva 2) sekä videoita, joihin on upotettu kysymyksiä käsiteltävästä aihealueesta. (Viitaharju et al., 2021.)



Kuva 2. AALTOLAB ”Vaarat labrassa -minipeli” Common moduulin huoneesta FLaSH (AALTOLAB, 2022)

## 5.2 Dr Red’s Virtual Labs

Dr. Red’s Virtual Labs on suomalainen Dr. Red Oy:n kehittämä virtuaalilaboratorio, joka tarjoaa opetusta reaktiotekniikasta ja -kinetiikasta sekä erotusmenetelmistä. Ohjelmistoon ei sisälly teoriaosuutta eikä siinä yritetä opettaa laboratoriotyöskentelyä. Dr Red’s Virtual Labs keskittyy pelkästään virtuaalilaboratoriokokeiden suorittamiseen sekä opiskelijan kognitiivisen prosessin aktivointiin. Virtuaalilaboratorion yksi pääideoista on lisätä opiskelijoiden ymmärtämystä kokeiden suunnittelusta. Dr. Red’s Virtual Labs maksaa opiskelijamäärästä riippuen alle 10 € lukukaudessa opiskelijaa kohti. (Sainio, 2022.)

Virtuaalilaboratoriossa opetushenkilöstö pystyy luomaan aihealueisiin liittyviä tehtäviä itse tai käyttämään valmiiksi luotuja tehtäviä. Tehtävien laatiminen lisää laboratorion mukautuvuutta erilaisiin opetustyyliin. Tehtäviä luodessa on mahdollista valita reaktiomekanismi sekä systeemin terminen käyttäytyminen isotermisen ja adiabaattisen systeemin väliltä. Virtuaalikokeet voidaan suorittaa joko nopeutetusti tai reaaliajassa, jolloin kokeen suoritus kestää yhtä kauan kuin se kestäisi oikeasti. Reaaliajan koejärjestely kannustaa opiskelijoita ajattelemaan ennen kokeen käynnistämistä. Kokeita suunniteltaessa voidaan valita reaktori-tyyppi tai mahdollistaa kaikkien valittavissa olevien tyyppien käyttäminen. Valittavia reaktori-tyyppisiä ovat yksittäiset panos-, sekoitusäiliö- ja putkireaktorit. Ideaalisen

sekoitussäiliöreaktorin voi valita putkireaktorin kanssa ja sekoitussäiliöreaktorin voi valita myös kaskadina. (Sainio, 2022.)

Kokeisiin on mahdollista valita, saako opiskelija päättää lämpötilan sekä määrätä koejärjestyksen datapisteiden maksimimäärän. Datapisteiden alhainen lukumäärä valmistelea opiskelijoita työelämään, sillä todellisuudessa näytteitä ei voida välttämättä ottaa montaa. (Dr. Red's Virtual Labs, 2022.) Kuvassa 3 on esitetty opiskelijan näkymä reversiibelin reaktorin harjoitustehtävässä.

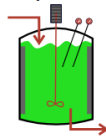
#### IDEAL-05 Reversiibeli reaktio sarjareaktorissa .

Tarkastellaan reversiibeliä alkeisreaktiota  $2A \rightleftharpoons P + R$ , jolle  $k_1 = 8.5 \text{ L/mol/h}$  ja  $K_{eq} = 15.2$ .

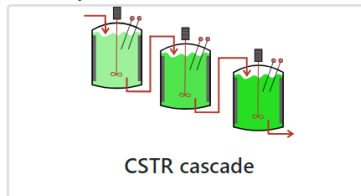
A) Yhtä tilavuudeltaan  $V_R = 10 \text{ m}^3$  CSTR-reaktoria operoidaan syöttövirtauksella  $F_0 = 20 \text{ m}^3/\text{h}$  ja lähtöaineen A pitoisuus tuoesyötössä on  $c_{0,A} = 1.2 \text{ mol/L}$ . Laske konversio  $X_{1,A}$  reaktorin ulostulossa. Käytä konversion ratkaisemiseen mitoitusyhtälöstä Excelin Solver-toimintoa. Tutki, miten konversio riippuu tila-ajasta tekemällä kokeita virtuaalilaboratoriossa.

B) Mitoita kolmesta sarjaan kytketystä samankokoisesta CSTR-reaktorista koostuva prosessi, joka antaa kokonaiskonversion  $X_{3,A} = 0.85$ , kun syötön tilavuusvirta ja lähtöaineen syöttökonsentraatio ovat samat kuin edellä. Käytä ratkaisuun Excelin Solver-toimintoa ja tarkasta tulos virtuaalilaboratoriossa.

Choose a reactor setup for a new run or to review previous experiments



CSTR



CSTR cascade

This cascade of ideal CSTRs is operated at constant temperature and volumetric flow rate.

There are **3 reactors** connected in series. Is the space time equal in all reactors in the cascade?

Yes  No. I want to give  $\tau_0$  for each reactor.

How long is the space time **in a single CSTR** in the cascade?

$\tau_0$  (min)

What are the concentrations in the fresh feed (FF) to the reactor?

$c_A^{FF}$  (mol/L)

How long do you run the reactor and how often do you take samples? Maximum number of samples in this task is 30.

$t_{max}$  (min)   $\Delta t_{sample}$  (min)

Write a few words for a description... you might wonder later what this experiment was about...

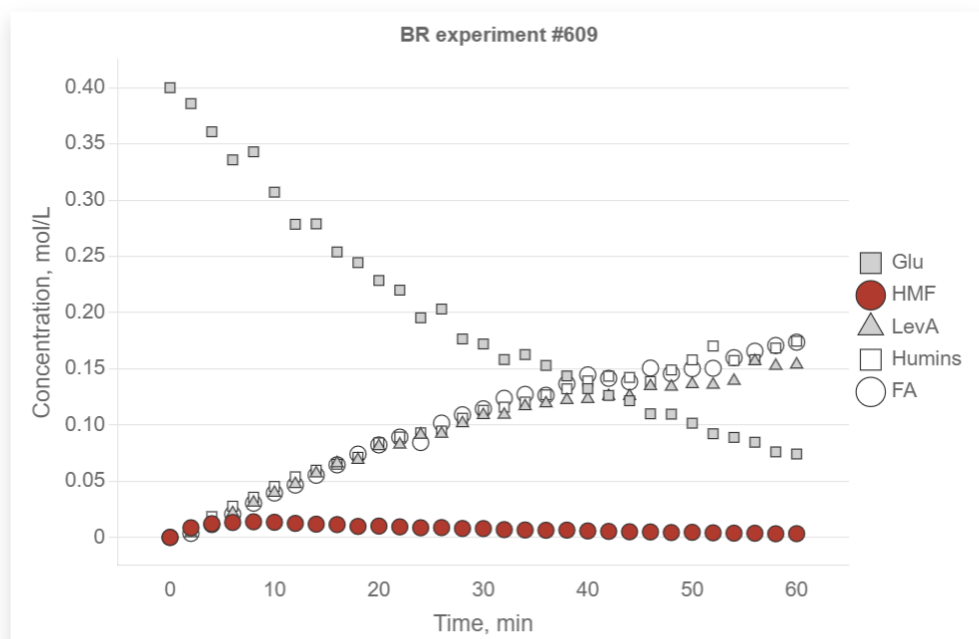
Description

**Run and save data**

Run without saving data

Kuva 3. Opiskelijan näkymä virtuaalilaboratorion reversiibelin reaktorin tehtävässä (Sainio, 2022.)

Opettaja voi valita kokeisiin satunnaista mittausvirhettä ja määrätä sen voimakkuutta, jolloin tulokset ovat todenmukaisempia. Ohjelmiston yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on kineettisten parametrien satunnainen vaihtelu, jolloin opiskelijat eivät voi vertailla omia tuloksia muiden opiskelijoiden tuloksiin. Virtuaalilaboratorion mittaustulokset ovat siirrettävissä helposti Microsoft Excel -ohjelmistoon. (Sainio, 2022.) Kuvassa 4 on esitetty panosreaktorissa tehdyn koeajon tuloksia, joissa näkyy kohinaa.



Kuva 4. Panosreaktorissa tehdyn koeajon tuloksia. Mittauksissa on satunnaista virhettä (Sainio, 2022.)

Kurssille liitytään koodiavaimilla, jotka opetushenkilöstö luo nettisivuilla. Tämän jälkeen koodiavain voidaan jakaa opiskelijoille, jolloin he voivat liittyä simulaatioihin itsenäisesti. Koodiavainten avulla voidaan luoda joko yksilö- tai ryhmätöitä. Henkilökohtaisissa töissä opiskelijat eivät näe toistensa tuloksia. Ryhmätöissä opiskelijat pystyvät seuraamaan vain oman ryhmänsä suorituksia. (Dr. Red's Virtual Labs, 2022.) Opetushenkilöstö näkee opiskelijoiden suorittamien kokeiden määrän sekä heille arvotut parametrit. Sivustolla on saatavilla esimerkkitehtäviä niin opettajille kuin opiskelijoille. (Sainio, 2022). Kappaleessa 6 käsitellään omakohtaisia kokemuksiani kyseisen virtuaalilaboratorion käytöstä.

### 5.3 Labscape

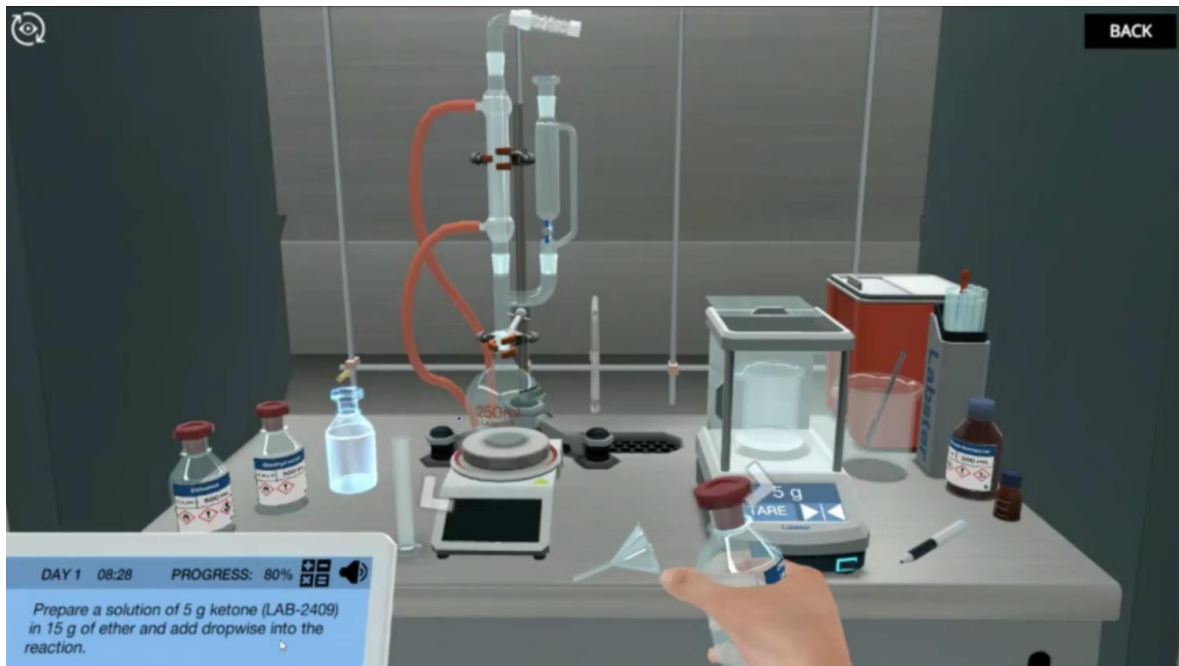
Tšekkiläisen Pardubicen yliopiston suunnittelema Labscape (Kuva 5) on kehitelty parantamaan laboratorioturvallisuutta. Laboratorio-ohjelmisto on rakennettu pelinomaiseksi, jossa on kolme eri tasoa laboratorioturvallisuuden kehittämiseen. Pelin ensimmäisellä tasolla käsitellään laboratorioturvallisuuden perussääntöjä, kuten henkilösuojaimien käytön tärkeyttä, vaarallisten kemikaalien käsittelyä sekä varastointia. Pelin toisella tasolla käsitellään vaarallisia reaktioita, joissa pelaaja voi aiheuttaa onnettomuuden tekemällä erilaisia virheitä. Viimeisellä tasolla opiskelija analysoi onnettomuuksia turvallisuusteknisten teorioiden avulla, joita ovat esimerkiksi juurisyyanalyysi. Pelissä voi edetä vain kronologisessa järjestyksessä, jotta pelaaja saadaan pysymään motivoituneena. Seuraavalle tasolle pääsee siis vasta suoritettuaan ensimmäisen tason. Pelin tarkoituksena on saada opiskelijat keskustelemaan keskenään pelituloksista ennen fyysisiä laboratoriotunteja. (Dholakiya et al., 2019.) Labscapesta saa melko suppean käsityksen eikä sen käyttöönottamista voine suositella suoraan ilman lisäperehtymistä.



Kuva 5. Pelaaja tutkimassa laboratorio-oven varoitusmerkintöjä Labscapeissa (Dholakiya et al., 2019)

## 5.4 Labster

Labster on virtuaalilaboratorioita tarjoava ohjelmisto, joka on suunnattu matemaattisluonnontieteellisille aloille. Simulaatio-ohjelmistolla on yli 2000 instituutioasiakasta. Nettisivustolla on saatavilla yli 250 simulaatiota, jotka käsittelevät esimerkiksi kemiaa, fysiikkaa ja biologiaa. Kemiaa opetetaan esimerkiksi analyttisen, orgaanisen ja biokemian avulla. Labster sisältää noin 70 eri simulaatiota, jotka soveltuvat kemiantekniikan opetukseen. Simulaatiot on suunnattu yläkoulukäisistä aina yliopistoikäisiin saakka. Simulaatioissa ratkaistaan todellisia ongelmia tarinan avulla, missä opiskelijat perehtyvät 3D-maailmassa teoriaan, käyttävät erilaisia laitteistoja sekä oppivat erilaisia työskentelytekniikoita suorittamalla kokeita (Kuva 6). Opiskelija voi tutkia esimerkiksi DNA:n sekvensointia, kemiallisia reaktioita sekä syöpähoidon vasteita. Simulaatioiden kesto on noin 5–60 min. Opiskelijoiden suoritukset tallentuvat automaattisesti sekä simulaatioissa on erillisiä tallennuspisteitä. Simulaatioissa Labpad avustaa opiskelijaa suorittamaan tehtäviä antamalla yksityiskohtaisia ohjeita. (Labster, 2022.)

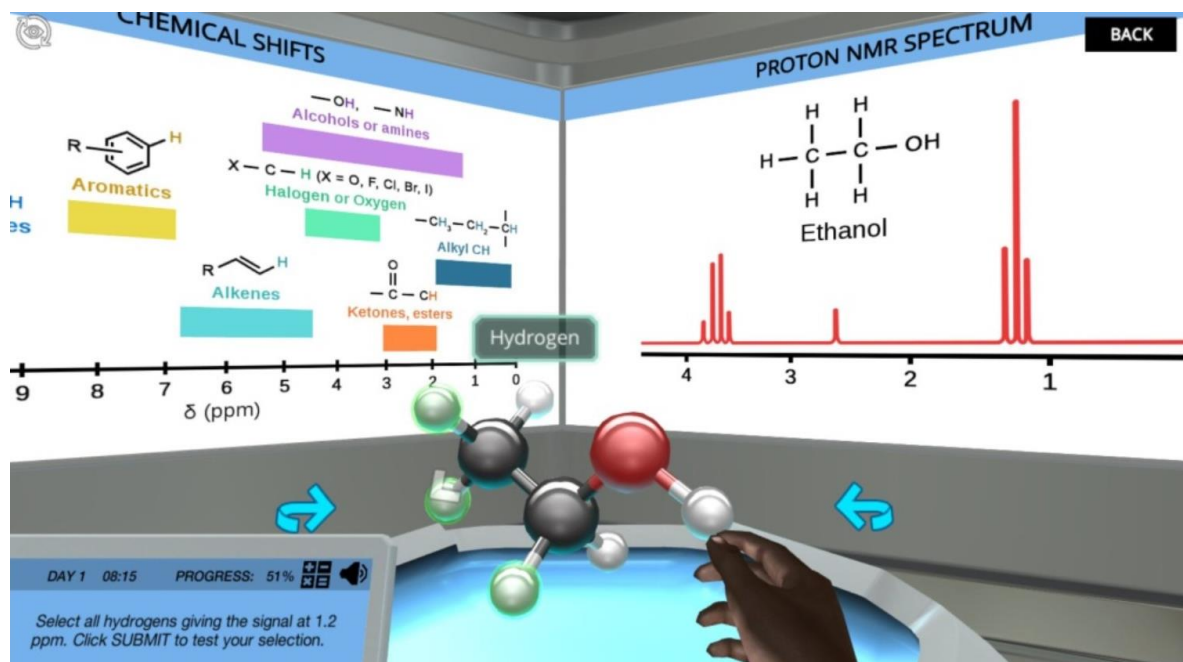


Kuva 6 Opiskelija pääsee tutustumaan erilaisiin laitteistoihin Labpadin neuvoessa simulaatiossa Explore Nucleophilic Addition (Labster, 2022)

Labsterin pääkieli on englanti. Ohjelmiston käännöstyötä tehdään espanjaksi, ranskaksi, saksaksi ja italiaksi. Ohjelmiston kehittäjät lupaavat ohjelmiston huomioivan näkö- ja



kuulovammaiset käyttäjät. Ohjelmisto adaptoituu yksilöllisesti opiskelijoille. Opettajat pysyvät tarkastamaan, onko opiskelija suorittanut simulaation kokonaan vai onko suoritus yhä kesken. Opetushenkilöstö näkee opiskelijoiden simulaatioiden suoritusajat, vastaukset sekä kysymyssarjojen suorituskerrat. Kysymyssarjoihin tulee vastata oikein, ennen kuin opiskelija pääsee etenemään simulaatiossa. Kuvassa 7 on esitetty simulaatioon kuuluva tehtävä. (Labster, 2022.)



Kuva 7. Tehtävä simulaatiosta Proton NMR: Spectra interpretation Virtual Lab (Labster, 2022)

Labsterin hinnoittelu riippuu ostettavasta lisenssien määrästä. Ostettava lisenssi on henkilökohtainen. Kaikki simulaatiot maksavat Yhdysvaltojen sisäisellä hinnoittelulla 99 dollaria opiskelijaa kohden, kun taas parhaan tarjouksen instituutiotasolla saa noin 4–20 \$ opiskelijaa kohti. Labsterin lisenssihintaa on sitä pienempi, mitä isommalle opiskelijamäärälle lisenssi hankitaan. Hintavaihtoehdot Yhdysvaltojen ulkopuolella ei ole saatavilla julkisesti. Labsteria päivitetään ja uutta sisältöä tuotetaan jatkuvasti. (Labster, 2022.)

## 5.5 Virtual Labs

Virtual Labs on Intian hallituksen käynnistämä hanke täysin internetpohjaisesta virtuaalilaboratoriosta, joka käsittelee insinööri- ja luonnontieteitä. Virtuaalilaboratoriossa on

saatavilla opetusta esimerkiksi kemiantekniikasta, kemiasta ja bioteknologiasta. (Virtual Labs, 2022a). Sivuston käyttäminen on ilmaista (Virtual Labs, 2022b). Ohjelmiston tavoitteena on herättää opiskelijoiden kiinnostusta ja tarjota mahdollisuus opiskella omaan tahtiin opiskelijakeskeisesti. Sivuston mukaan Virtual Labs mahdollistaa online-laboratorion käytön heille, joilla ei ole käytettävissä oikeita laboratorioita sekä täydentää jo annettua laboratoriokoulutusta. Virtual Labs sisältää videoluentoja, animoituja demonstraatioita ja itsearviointeja. Virtual Labs sisältää yli 100 simulaatiota, joissa on yli 700 nettipohjaista koetta (Virtual Labs, 2022a). Ohjelmisto tarjoaa kaiken simulaatioihin tarvittavan materiaalin yhdessä paikassa, kuten laboratorio-oppaat, kokeita edeltävät ja kokeiden jälkeen suoritettavat testit sekä lisämateriaalit varsinaisen virtuaalilaboratorion lisäksi. (Virtual Labs, 2022b). Simulaatioiden rakenne ja asettelu vaihtelevat paljon, sillä hanke perustuu 11 eri koulutusinstituution yhteistyöhön. Osallistuvat koulutusinstituutiot vastaavat eri simulaatioista. (Virtual Labs, 2022a). Kemiantekniikan näkökulmasta sivustolta löytyviä hyödyllisiä opetusaiheita ovat esimerkiksi virtaustekniikka, prosessitekniikka sekä pintakemiaa.

## 5.6 Virtuaalilaboratorioiden vertailu

Virtuaalilaboratorioiden valintaa tehdessä on tärkeää verrata niiden ominaisuuksia keskenään, jotta voidaan valita parhaiten käyttöön soveltuva alusta. Taulukossa I on koottuna virtuaalilaboratorioiden keskeisiä piirteitä kappaleesta 5. Virtuaalilaboratorioita vertailtaessa huomataan niiden eroavan toisistaan jonkin verran varsinkin sisällöltään. Ilmaisia virtuaalilaboratorioita on yllättävän monta, joka osaltaan kannustaa niiden käyttämiseen. Opetushenkilöstö voi luoda omia harjoitustehtäviä ja muokata virtuaalilaboratoriota AALTOLAB sekä Dr. Red's Virtual Labs -sivustoilla. Saatavilla olevan tiedon mukaan, Dr. Red's Virtual Labs on ainut näistä viidestä virtuaalilaboratoriosta, jonka tuloksiin voi sisällyttää kohinaa sekä määrätä opiskelijakohtaisesti parametrit.



Taulukko I Virtuaalilaboratorioiden vertailua

	<b>VIRTUAALILABORATORIO</b>				
<b>OMINAI-SUUS</b>	AALTOLAB	Dr. Red's Virtual Labs	Labscape	Labster	Virtual Labs
Hinta per opiskelija	Ilmainen	10 €	Ei saatavilla	Noin 20–100 € riippuen ostettavien lisenssien määrästä. Tarkka hinta ei saatavilla	Ilmainen
Lisenssi	Ei	Opiskelijakohtainen	Ei saatavilla	Opiskelijakohtainen	Ei
Käyttöjärjestelmä	Web, <a href="https://lab.aalto.fi/">https://lab.aalto.fi/</a>	Web, <a href="https://www.vlabs.fi/">https://www.vlabs.fi/</a>	Web, -	Web <a href="https://www.labster.com/">https://www.labster.com/</a>	Web, <a href="https://www.vlab.co.in/">https://www.vlab.co.in/</a>
Kieli	englanti, suomi, ruotsi	englanti	englanti	englanti*	englanti
Esimerkki-aihealueita	Turvallisuus, henkilöstön koulutus	Reaktiitekniikka ja -kinetiikka, erotusmenetelmät	Turvallisuus	Analyyttinen-, orgaaninen-, ja biokemia	Virtaus- ja prosessitekniikka
Sisältää teoriaa	Kyllä	Ei	Ei saatavilla	Kyllä	Kyllä
Muokattavuus	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Soveltuvuus kemianteekniikkaan	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä

\*käännöstyö meneillään espanjaksi, italiaksi, ranskaksi ja saksaksi.

Kemiantekniikan opetuksessa voitaneen käyttää AALTOLABia turvallisuuskoulutuksen tukena varsinkin ensimmäisen vuosikurssin opintojaksoilla Sivuston käyttäminen on helppo opetella ja sen käyttäminen ei maksa mitään. Toisaalta opetushenkilöstön tulisi tutustua tarkemmin AALTOLABin moduuleihin, jotta niiden sisällöstä muodostuisi tarkempi käsitys. Parhaimman käsityksen sisällöstä saa suorittamalla moduulit itse. Virtuaalilaboratorioista kattavin opetustarjonta on Labsterilla, joka osaltaan voisi toimia parhaiten opetuksen tukena

pisimpään ja useammilla kursseilla, kuin muut tässä työssä käsitellyt virtuaalilaboratoriot. Dr. Red's Virtual Labs -sivustoa käytetään jo kemiantekniikan opetuksessa LUT-yliopistossa. Koska kurssikokonaisuudet toimivat hyvin ohjelmiston kanssa, on sen käyttöä syytä jatkaa edelleen. Labscapen toiminnan kuvaus on ainakin tässä vaiheessa sen verran vajaata, että kokonaiskäsitystä ohjelmiston soveltuvuudesta yliopisto-opetukseen on vaikea arvioida. Virtual Labs voi olla potentiaalinen vaihtoehto kemiantekniikan opetuksessa.

## 6 Virtuaalilaboratorioiden käyttökokemuksia LUT-yliopistossa

Omakohtaiset kokemukseni virtuaalilaboratorioiden käytöstä ovat peräisin Lappeenrannan Lahden teknillisen yliopiston kemiantekniikan opetusohjelmasta sekä osittain tämän kandidaatin työn aihealueeseen perehtymisestä. Kandidivaiheen kurssit reaktiokinetiikka ja -tekniikka sisälsivät virtuaalilaboratorion käyttämistä. Virtuaaliosuus suoritettiin Dr. Red's Virtual Labs -sivustolla. Reaktiokinetiikan kurssilla opeteltiin esimerkiksi reaktioiden nopeuslakia sekä reaktiomekanismia. Reaktiotekniikan kurssilla perehdyttiin muun muassa eri reaktorityyppeihin ja niiden kytkentöihin, mitoitukseen sekä aine- ja energiataseisiin.

Molemmilla kursseilla tutustuttiin ensin teoriaan, jonka jälkeen virtuaalilaboratoriossa suoritettiin kokeita ja tuotiin teoriaa käytäntöön tehtävien avulla. Laboratorioissa simuloitiin esimerkiksi erilaisten reaktorien toimintaa sekä määritettiin kertalukuja. Molemmilla kursseilla virtuaalilaboratorion käyttö oli mielestäni tarkoituksenmukaista; ne tukivat hyvin oppimista ja auttoivat käsittelemään teoriaa käytännönomaisesti. Dr. Red's Virtual Labs -sivusto toimi mielestäni hyvin. Työskentelyn mielekkyyttä lisäsi osissa tehtävissä reaaliaikainen suorittaminen sekä toisissa nopeutetut kokeet. Mittaustuloksiin syntyvä kohina todennukaisti virtuaalilaboratoriota mielestäni hyvin. Mielenkiinto virtuaalilaboratorion käyttämiseen säilyi hyvin, sillä siinä keskityttiin olennaiseen ja opettajalta sai koko ajan ohjausta sekä tukea sivuston käyttämisessä. Sivusto toimi pääosin moitteettomasti ja siihen on simuloituna vain itse ”kokeellinen osuus”, jolloin keskittyminen pysyi hyvin asiassa.

Tätä kirjallisuuskatsausta tehdessäni olen tutustunut myös muihin virtuaalilaboratorioihin, joista eniten AALTOLABIin ja Labsteriin. Muista sivustoista Virtual Labs vaikutti hieman sekavalta ja jäi siten vähemmälle kokeilulle, kun taas Labscapea en päässyt kokeilemaan. AALTOLAB vaikutti nopeasti opittavissa olevalta virtuaalilaboratoriolta ja se on ulkoasultaan miellyttävä. Tätä virtuaalilaboratoriota käyttäessä pystyi kuvittelemaan samoja asioita käytännön laboratorioon. Visuaalisuuteen panostaminen ja 360° kuvat oikeasta laboratoriosta tekivät käyttämisestä mielekästä. Suomenkielisyys helpotti AALTOLABin käyttöä huomattavasti.

Labsteria käytetään tietokoneella ja siinä edetään käyttämällä hiirtä. Asioiden tekeminen on kuitenkin melko hidasta ja simulaatioiden käyttämisen opettelu vie aikaa. Labster on hieman kömpelö, sillä simuloinnissa käytettävät esineet tulee osata poimia virtuaalisesti oikeassa järjestyksessä, vaikka todellisuudessa järjestyksellä ei ole väliä. Simulaatioiden tekeminen vaatii monta klikkausta ja kuvakulmien vaihtaminen on toisinaan vaikeaa. Koska Labsteria ei saa suomeksi, voi englanninkielisyys hämmentää opiskelijoita opintojen alkuvaiheessa. Toisaalta englanninkielisyys valmistaa opiskelijoita kansainvälisyyteen.

Labsterissa on monia mielenkiintoiselta vaikuttavia simulaatioita monesta eri aihealueesta. Pohtiessani kyseisen virtuaalilaboratorion käyttöä, voisin hyvin kuvitella sen monen teoriapainotteisen oppitunnin tueksi ja teorian opiskeluvälineeksi. Mielestäni en ehtinyt opetella vielä käyttämään ohjelmistoa tarpeeksi hyvin, joten sen käyttäminen tuntui paljolti mekaaniselta hiirellä klikkailulta sekä toisinaan turhauttavalta. Labster on visuaalisesti vakuuttava ja mielenkiintoinen. Englanninkielisyys hidasti työskentelyä, sillä useita sanoja joutui tarkistamaan sanakirjasta.

Oppimistyylliltään visuaalisille opiskelijoille luento-opetus voi vaatia ponnisteluja. Tunnistatan visuaalisen oppimistyylin itsessäni. Opin parhaiten, kun teoriaa käsitellään visuaalisin keinoin, kuten kuvien, videoiden ja värien kautta. Opin myös itse tekemällä ja kokeilemalla. Tätä kandidaatintyötä tehdessäni huomasin virtuaalilaboratorioiden palvelevan oppimistyyliäni parhaiten. Pystyn muistamaan yksittäisiä kuvia käyttämästäni virtuaalilaboratorioista sekä palauttamaan niiden avulla mieleen niiden käsittelemän asian. Koen virtuaalilaboratorioiden tarjoavan itselleni lisää oppimistyökaluja ja helpottavan oppimistäni huomattavasti. Virtuaalilaboratorioiden käyttäminen opetuksessa helpottanee muitakin visuaalisen oppimistyyppien opiskelijoita.

Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston epäorgaanisen ja analyttisen kemian kursseilla käytettiin Labsteria opetuksen tukena. Labsteria käytettiin kursseilla omatoimisesti ja vapaaehtoisesti. Kursseilla kannustettiin virtuaalilaboratorion käyttöön. Molemmilla kursseilla yksi luentokerta käytettiin simulaatioihin tutustumiseen. Opetushenkilöstö lähetti viikoittain opiskelijoille sähköpostin kertoen, mitkä simulaatiot soveltuivat kyseisiin viikon opetusaiheisiin. Epäorgaanisen kemian kurssille osallistui 49 opiskelijaa ja analyttisen kemian kurssille 45 opiskelijaa.

Epäorgaanisen kemian kurssilla oli käytettävissä 21 simulaatiota, joista 13:a oli käytetty opiskelijoiden toimesta. Opiskelijoiden keskimääräinen osallistumisprosentti käytettyjä 13:a simulaatiota kohden oli 7 %. Analyttisen kemian kurssilla oli käytettävissä 9 simulaatiota, joista viittä simulaatiota oli käytetty. Opiskelijoiden keskimääräinen osallistumisprosentti käytettyjä viittä simulaatiota kohden oli 3 %. Opiskelijoiden aktiivisuus oli siis hyvin pientä Labsterin käytössä.

Opetushenkilöstö keräsi palautetta Labsterin käytöstä kurssin päätyttyä kurssien Moodle-sivustoilla. Epäorgaanisen kemian kurssilla simulaatiokohtaista palautetta antoi 6 henkilöä eli 12 % kurssin osallistujista. Opiskelijoita pyydettiin nimeämään simulaatio, josta palautetta annettiin sekä kertomaan saivatko he hyödyllistä tietoa simulaatiosta. Viisi opiskelijaa oli sitä mieltä, että he saivat simulaatioista jonkin verran hyödyllistä tietoa. Yksi opiskelija puolestaan koki, ettei saanut simulaatiosta mitään hyötyä. Kun opiskelijoilta kysyttiin, tekisivätkö he simulaation uudestaan, kun tietävät mitä se sisältää, vastasi viisi opiskelijaa ehkä ja yksi opiskelija ei.

Opiskelijoilta kerättiin myös yleistä palautetta simulaatioista. Yleistä palautetta antoi yhteensä neljä opiskelijaa. Kaikki vastaajat kokivat simulaatioiden edistävän oppimista. Kaksi vastaajaa totesi simulaatioiden olevan tylsiä. Yksi vastaajista totesi simulaatioiden käytön olevan vaikeaa korkeatasoisen englannin kielen takia ja huolestui kielellisten ongelmien vaikuttavan negatiivisesti kurssiarvosanaan, jos Labsterin käyttö olisi yksi arviointiperusteista.

Analyttisen kemian kurssilla palautetta antoi 7 henkilöä eli 16 %. Opiskelijoilta kysyttiin, kokivatko he Labsterin käytön hyödylliseksi, johon neljä vastaajista vastasi ”osittain” ja kolme ”oli hyödyllinen”. Opiskelijoilta kysyttiin, miten todennäköisesti he käyttäisivät simulaatiota vapaaehtoisesti. Tähän neljä vastasi ”jonkun yksittäisen voisi käydä läpi” ja kolme ”hyödyntäisin luultavasti jonkin verran/paljon”. Opiskelijat saivat myös ilmaista

mielipiteensä vapaan sanan muodossa. Kahden vastaajan mielestä osa simulaatioista oli erittäin helppoja ja osa todella haastavia. Yhden vastaajan mielestä simulaatiot sisälsivät paljon ”turhauttavaa räpeltämistä”. Neljä vastaajista kehui simulaatioiden hyödyllisyyttä. Heistä yksi alleviivasi simulaatioiden käyttämisen hyvyyttä sivuaineopiskelijoiden oppimisen tukena. Molempien kurssien simulaatioiden käyttäjämäärät olivat hyvin alhaisia ja palautteeseen vastattiin vähän.

Annettuihin palautteisiin tulee suhtautua kriittisesti, sillä se ei edusta koko opiskelijaryhmää. Näillä kahdella yksittäisellä kurssilla simulaatioiden käyttäminen vapaaehtoisesti ei ole kannattavaa osallistumisprosenttien perusteella. Aihetta tulisi tutkia lisää, jotta selviäisi vaikutiko käyttämättömyyteen vapaaehtoisuus vai oliko syynä esimerkiksi kannustuksen ja ohjauksen vähyys.

## 7 Johtopäätökset

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli selvittää, kuinka virtuaalilaboratorioita voidaan hyödyntää kemiantekniikan opetuksessa. Työssä tarkasteltiin kirjallisuuden avulla virtuaalilaboratorioiden hyöty- ja haittapuolia. Virtuaalilaboratorioiden tärkeimmät hyödyt ovat kustannustehokkuus ja simulaatioiden tarjoamat mahdollisuudet opetustilanteissa, joita ei voida tosielämässä opettaa tai harjoitella. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi eettiset ongelmatilanteet, biohasardit sekä toiminta vakavissa laboratorio-onnettomuuksissa. Virtuaalilaboratorioiden suurin epäkohta oli virheellinen turvallisuusnäkökulma, joka voi heijastua käytännön laboratoriotyöskentelyyn.

Työssä pohdittiin myös, millaisia vaatimuksia virtuaalilaboratoriot aiheuttavat opetushenkilöstölle sekä opiskelijoille. Vaatimuksista tärkein on motivoituminen uuden teknologian käyttöön. Opetushenkilöstön tulee muovata ammatti-identiteettiään ja kehittää pedagogisia valmiuksiaan digiteknologioiden käytössä. Virtuaalilaboratoriot tulisi saada opetuksen arviointiperusteiden piiriin, jolloin opiskelijat todennäköisesti motivoituvat käyttämään niitä enemmän sekä tehokkaammin. Jos virtuaalilaboratoriot mielletään lisätehtävämäisenä tai ylimääräisenä työnä, niiden käyttö vähentynee.

Virtuaalilaboratorioita on olemassa useilta eri kehittäjiltä ja ne palvelevat erilaisia opetus-tarkoituksia, kuten laboratorioturvallisuuskoulutusta, reaktiotekniikkaa ja biokemiaa. Virtuaalilaboratorioiden käyttöä ei tule karsastaa tai pelätä, sillä laboratorioissa työskennellään jo nyt paljon tietokoneavusteisesti ja käytetään erilaisia tietoteknisiä laitteistoja. Tällöin virtuaali- ja käytännönlaboratorioiden välinen kuilu ei todellisuudessa ole niin suuri, kuin yleisesti mielletään. Virtuaalilaboratoriot kehittyvät koko ajan opiskelija- sekä opettajaystävä-lisemmiksi ja niihin luodaan yhä erilaisempia oppimiskokonaisuuksia. Opetushenkilöstöllä on merkittävä rooli virtuaalilaboratorioiden käytössä ja soveltuvaa ohjelmistoa valittaessa. Kemiantekniikan opetuksessa voidaan käyttää virtuaalilaboratorioita muun opetuksen tukena. Tähän tarkoitukseen parhaiten soveltuvia Suomessa helposti saatavilla olevia ohjelmistoja tällä hetkellä ovat esimerkiksi AALTOLAB, Dr. Red's Virtual Labs ja Labster.

Tulevaisuudessa virtuaalilaboratorioiden rooli opetusvälineenä tulee todennäköisesti kasvaamaan ja ne voivat korvata kurssikirjoja. Opetuksessa yleistyneen virtuaalilaboratorioiden ja lähiopetuksen hybridimallit, jotka tukevat toisiaan mutta eivät sulje toisiaan pois. Kun teknologia kehittyy entisestään, on simulaatioiden käyttäminen yhä helpompaa ja monimuotoisempaa. Todennäköisesti uusia ohjelmistoja kehitetään lähivuosina lisää. Virtuaalilaboratorioita voitaneen luoda myös lisättyyn todellisuuteen. Virtuaalitekniikkaa tultaneen käyttämään myös työelämän koulutuksessa ja opetuksessa esimerkiksi työturvallisuuden osalta sekä enenevässä määrin fyysisiä ja muita rajoitteita omaavien opettamiseen.

Virtuaalilaboratorioiden ja etäopetuksen käyttö koronaviruskriisissä käynnisti opetuksen nopean kehittymisen ja tutkimisen. Koska koronapandemia on verrattain uusi ilmiö, tulee saatua tuloksia käsitellä kriittisesti. Etäopetus on voitu kokea ainoaksi ratkaisuksi, jotta opiskelijat voisivat jatkaa opintojaan: Tutkimustulokset voivat siis olla liian positiivisia. Virtuaalilaboratorioiden käyttöä ja tutkimista pitäisi jatkaa yhä, kun pandemiasta on toivuttu. Aihealueesta saatavat tulokset ovat pitkälti muutamissa yksittäisissä yliopistoissa tehdyistä, varsin pieniä aineistoja koskevista tutkimuksista, joten ne eivät ole täysin yleistettävissä. Opettajien kuormituksesta ja valmiuksista virtuaalilaboratorioiden käyttöön löytyy vasta vähän tutkimuksia. Jotta digiteknologian hyödyntäminen olisi mahdollisimman sujuvaa, tulisi opetushenkilöstölle ja opiskelijoille tarjota enemmän koulutusta sekä tutkia virtuaalilaboratorioiden vaikutusta molempiin osapuoliin.

## Lähteet

- AALTOLAB, 2022. *AALTOLAB Virtual Laboratories*. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.4.2022]. Saatavilla: <http://lab.aalto.fi/>.
- Abumalloh R., Asadi S., Nilashi M., Minaei-Bidgoli B., Nayer F., Samad S., Mohd S., Ibrahim O. 2021 The impact of coronavirus pandemic (COVID-19) on education: The role of virtual and remote laboratories in education. *Technology in Society* 67: 101728. [Viitattu 30.3.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101728>
- Blomberg A., Huhtasalo J., Kallio K., 2021. Digitaalisen opetusteknologian vaikutukset opettajien asiantuntijuuteen ja ammatti-identiteettiin yliopistossa. *Yliopistopedagogiikka*. [Verkkolehti]. [Viitattu 20.5.2022]. Saatavilla: <https://lehti.yliopistopedagogiikka.fi/2021/12/14/digitaalisen-opetusteknologian-vaikutukset-opettajien-asiantuntijuuteen-ja-ammatti-identiteettiin-yliopistoissa/>.
- Bond M., Marín V.I., Dolch C., Bedenlier S., Zawacki-Richter O., 2018. Digital transformation in German higher education: student and teacher perceptions and usage of digital media. *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 15(1): 1-20. [Viitattu 14.2.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0130-1>.
- Brinson J., 2015. Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers and Education* 87: 218-237. [Viitattu 2.5.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003>.
- de Vries L.E., May M., 2019. Virtual laboratory simulation in the education of laboratory technicians—motivation and study intensity. *Biochemistry and Molecular Biology Education; Biochem Mol Biol Educ* 47(3): 257-262. [Viitattu 5.5.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1002/bmb.21221>.
- Dholakiya N.D., Ferjencik M., Schofield D., Kubík J., 2019. Virtual learning for safety, why not a smartphone? *Process Safety Progress* 38(2): e12005-n/a. [Viitattu 10.2.2022]. Saatavilla: <https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1002/prs.12005>.
- Dr. Red's Virtual Labs. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.4.2022]. Saatavilla:<https://www.vlabs.fi/>.
- Labster, 2022. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.4.2022]. Saatavilla: <https://www.labster.com/>.
- Makransky G., Thisgaard M.W., Gadegaard H., 2016. Virtual Simulations as Preparation for Lab Exercises: Assessing Learning of Key Laboratory Skills in Microbiology and Improvement of Essential Non-Cognitive Skills. *PLoS One; PLoS One* 11(6): e0155895. [Viitattu 24.3.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155895>.

- Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl C., Petrović V. M., Jovanović K., 2016. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers and Education* 95: 309-327. [Viitattu 16.2.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>.
- Radhamani R., Kumar D., Nizar N., Achuthan K., Nair B., Diwakar S., 2021. What virtual laboratory usage tells us about laboratory skill education pre- and post-COVID-19: Focus on usage, behavior, intention and adoption. *Education and Information Technologies* 26(6): 7477-7495. [Viitattu 10.4.2022]. Saatavilla: <https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1007/s10639-021-10583-3>.
- Ramírez J., Soto D., López S., Akroyd J., Nurkowski D., Botero M.L., Bianco N., Brownbridge G., Kraft M., Molina A., 2020. A virtual laboratory to support chemical reaction engineering courses using real-life problems and industrial software. *Education for Chemical Engineers* 33: 36-44. [Viitattu 1.3.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.07.002>.
- Sainio, T. 2022. Professori., Dr. Red Oy. [Haastattelu 25.3.2022].
- Selmer A., Kraft M., Moros R., Colton CK., 2007. Weblabs in Chemical Engineering Education. *Education for Chemical Engineers* 2(1): 38-45. [Viitattu 26.2.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1205/ece06018>.
- Stieff M., Werner S.M., Fink B., Meador D., 2018. Online Prelaboratory Videos Improve Student Performance in the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education; J.Chem.Educ* 95(8): 1260-1266. [Viitattu 4.3.2022]. Saatavilla: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.8b00109>.
- Sypsas A., Kalles D., 2018. *Virtual Laboratories in Biology, Biotechnology and Chemistry Education: A Literature Review*. 2018.: ACM 70-75. [Viitattu 4.4.2022]. Saatavilla: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3291533.3291560>.
- Vasiliadou R., 2020. Virtual laboratories during coronavirus (COVID-19) pandemic. *Biochemistry and Molecular Biology Education; Biochem Mol Biol Educ* 48(5): 482-483. [Viitattu 5.3.2022]. Saatavilla: <https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1002/bmb.21407>.
- Viitaharju P., Yliniemi K., Nieminen M., Karttunen A.J., 2021. Learning experiences from digital laboratory safety training. *Education for Chemical Engineers* 34: 87-93. [Viitattu 10.2.2022]. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.11.009>.
- Virtual Labs, 2022a. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.8.2022]. Saatavilla:<https://www.vlab.co.in/>.
- Virtual Labs, 2022b. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.8.2022]. Saatavilla:<https://vlead.vlabs.ac.in/>.



Yap W.H., Teoh M.L., Tang Y.Q., Goh B., 2021. Exploring the use of virtual laboratory simulations before, during, and post COVID-19 recovery phase: An Animal Biotechnology case study. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 49(5): 685-691. [Viitattu 16.2.2022]. Saatavilla: <https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1002/bmb.21562>.