



Mikroskooppidatan visualisointi VR-teknologialla molekyyliä- ketieteessä

Kati Mustonen

Sara Reipas

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2021

Sosiaali- ja terveysalan ylempi AMK
Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sosiaali- ja terveysalan ylempi AMK
Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

MUSTONEN, KATI & REIPAS, SARA:
Mikroskooppidatan visualisointi VR-teknologialla molekyyliäätieteessä

Opinnäytetyö 105 sivua, joista liitteitä 16 sivua
Maaliskuu 2021

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda työnkulku mikroskooppikuvan viemisestä VR-ympäristöön ja tehdä prototyyppi mikroskooppidatan visualisointimallista VR-ympäristöön. Tarkoituksena oli selvittää, mitä 2D-kuvan muuttaminen VR-muotoon vaatii sekä miten VR-visualisointimallia voidaan hyödyntää Covid-19-vastainetutkimuksen mikroskooppikuvadatan tarkastelussa. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, miten Suomen molekyyliäätieteen instituutin (FIMM) tutkijat kokevat virtuaalitodellisuuden osana tutkimustulosten tarkastelua.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valittiin konstrukttiivinen tutkimusote, koska tarkoituksena oli luoda konkreettinen tuotos. Opinnäytetyön kehitysosassa luotiin VR-visualisointimallin prototyyppi mikroskooppidatasta. VR-visualisointimallin prototyyppi koostui varsinaisesta mikroskooppikuvan VR-mallista sekä sen käyttöliittymäluonnoksesta. Tutkimusosassa FIMM:n tutkijoiden kokemuksia VR-visualisointimallin prototyypistä tutkittiin teemahaastattelulla. Teemahaastatteluun osallistui seitsemän (n=7) kokenutta tutkijaa. Haastattelut analysoitiin teemoittain ja niiden kuvailevat tunnusluvut on kirjattu.

VR-visualisointimallin prototyyppi luotiin eri kuvankäsittelyohjelmia käyttäen ja valmis työ esiteltiin FIMM:n tutkijoille. Haastatteluista kävi ilmi, että tutkijat kokivat VR-visualisointimallin prototyypin hyväksi tavaksi visualisoida Covid-19-vastainetutkimuksen mikroskooppidataa. Tutkijat kokivat prototyypin hyödylliseksi tutkimusaineiston tarkastelussa ja uskoivat, että tulevaisuudessa tämänkaltaisesta visualisointitavasta olisi hyötyä myös muunlaisen tutkimusaineiston tarkastelussa.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa molekyyliäätieteeseen suunnatun VR-visualisointiohjelman suunnittelussa. Jatkokehitysehdotuksena mallista voisi luoda interaktiivisen, jolloin mikroskooppikuvasta voisi valita haluamiaan tietoja näkyville. Haastateltavat toivat esille useita hyviä jatkokehitysehdotuksia helpottamaan mikroskooppikuvan tarkastelua. Jatkotutkimusehdotuksena nousi esille 3D-mallin visualisointi VR-ympäristössä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Master's Degree Programme in Wellbeing Technology

MUSTONEN, KATI & REIPAS, SARA:
The Visualization of Microscopic Data in Virtual Reality in Molecular Medicine

Master's thesis 105 pages, appendices 16 pages
March 2021

The aim was to create a workflow for exporting a microscopic image to VR environment and to make a prototype of a VR visualization model. The purpose was to find out how to convert a 2D image into VR and how the VR visualization model can be utilized in the examination of microscopic image data. The purpose was to find out how the researchers of the Finnish Institute of Molecular Medicine perceive VR as part of reviewing research results.

The research method was a constructive research approach. A prototype was created from microscopic data. The experiences of the prototype were collected through thematic interviews in which seven experienced researchers participated. The data were analyzed thematically and organized into groups based on the themes that emerged from the interviews.

Interviews revealed that the researchers found the prototype to be a good way to visualize microscopic data from the Covid-19 antibody study. The researchers found the prototype useful in reviewing the research material and believed that in the future this kind of visualization method would also be useful in reviewing other types of research material.

The results can be utilized in the future in designing of a VR visualization program for molecular medicine. The visualization of a 3D model in a VR environment emerged as a proposal for further research.

Key words: virtual reality, image processing, molecular medicine

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA JA YHTEISTYÖKUMPPANI ..	8
3	OPINNÄYTETYÖN TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	9
4	KÄSITTEELLINEN VIITEKEHYS	10
4.1	Mikroskopian käyttö virusten diagnostiikassa	10
4.1.1	Fluoresenssimikroskopia	12
4.1.2	Immunofluoresenssimikroskopia	14
4.1.3	COVID-19-pandemia ja SARS-CoV-2	15
4.1.4	Vasta-ainemääritysten diagnostiikka SARS-CoV-2-infektiossa	17
4.2	Datan visualisointi	18
4.3	Kuvankäsittely	19
4.4	Virtuaalitodellisuus (VR)	22
4.4.1	Virtuaalitodellisuuden historia	23
4.4.2	VR-laitteistot	26
4.4.3	VR-tekniikan soveltaminen biolääketieteen tutkimuksessa ja diagnostiikassa	29
4.4.4	VR-tekniikan soveltaminen lääketieteessä	36
4.4.5	Käyttäjäkokemus ja käytettävyys virtuaalitodellisuudessa ..	40
4.5	Ketterä ohjelmistokehitys	41
4.6	Vaatimusmäärittely	44
4.6.1	Vaatimusmäärittelyn vaiheet	45
4.6.2	Toiminnalliset ja ei-toiminnalliset vaatimukset	47
4.6.3	Käyttötapaukset ja käyttäjätarinat vaatimusmäärittelyssä ..	49
4.7	Tietoturva ja tietosuoja	51
5	AINEISTO JA MENETELMÄT	53
5.1	Konstruktivinen tutkimus	53
5.2	Teemahaastattelu	54
5.3	Aineiston kerääminen	55
5.4	Aineiston analyysimenetelmät	58
6	TULOKSET	60
6.1	Prototyypin toiminnallisten vaatimusten määrittely	60
6.2	Kuvankäsittelyohjelmat prototyypin luomisessa ja valmis VR-visualisointimallin prototyyppi	61
6.3	Käyttöliittymän suunnittelu	66
6.4	Prototyypin ja käyttöliittymän esittely	70

6.5 Haastattelut.....	71
7 POHDINTA	74
7.1 Opinnäytetyön tulosten tarkastelu	74
7.2 Opinnäytetyön luotettavuus.....	75
7.3 Opinnäytetyön eettisyys	77
7.4 Jatkotutkimusehdotukset.....	79
8 KIITOKSET	80
LÄHTEET	81
LIITTEET	90
Liite 1. Vaatimusmäärittelyn toiminnalliset vaatimukset	90
Liite 2. Vaatimusmäärittelyn ei-toiminnalliset vaatimukset	91
Liite 3. Vaatimusmäärittelyssä esitettäviä kysymyksiä	92
Liite 4. VR-sovelluksen käyttäjätarinakartta	93
Liite 5. Käyttöliittymän vuokaavio	94
Liite 6. Kuvankäsittelyprosessi.....	95
Liite 7. Teemahaastattelurunko.....	105

1 JOHDANTO

Tutkimustiedon visualisointi on tärkeää, ei ainoastaan tieteellisten löydösten vuoksi, vaan myös tieteen, kuten lääketieteen, tuomiseksi sekä asiantuntijoiden että yleisön tietoisuuteen. Tällä hetkellä on olemassa vain vähän ratkaisuja potilasdatan visualisointiin tutkijoille ja klinikoille. Viime aikoihin asti kolmiulotteisen (3-dimensional; 3D) biologisen datan visualisointi on rajoittunut enemmän kaksiulotteiseen (2-dimensional; 2D) käyttöympäristöön. Kolmiulotteiset solut esitetään edelleen perinteisesti kaksiulotteisina esimerkiksi tietokoneen näytöllä. (Aparicio & Costa 2014; Chen, Härdle & Unwin 2008; Preim & Bartz 2007.) Virtuaalitodellisuuden tultua kuluttajienkin saataville halusimme tässä työssä selvittää tieteellisen datan visualisointimahdollisuuksia virtuaalitodellisuustekniikan keinoin, jolloin data on aidosti käytettävissä kolmiulotteisesti.

Viime vuosien VR-teknologiaa on käytetty apuna monissa lääketieteellisissä tutkimuksissa. VR-teknologiaa on kokeiltu tukena muun muassa kirurgiassa sydänvian korjaamiseen (Ayerbe ym. 2020), synnynnäisen sydänvian hoidossa apuna visualisointiin (Goo ym. 2020), potilaiden motivoimisessa hoitoonsa, erilaisissa terapioissa ja kivun hoidossa. Useat tutkimustulokset osoittavat virtuaalitodellisuuden hyödyllisyyden lääketieteellisessä toimenpideharjoittelussa, koulutuksessa ja opetuksessa (Safadel & White 2020; Sutherland ym. 2019). Biolääketieteen saralta VR-visualisoinnista on kuitenkin vain vähän tutkimusta. Cassidy ym. (2020) tekivät tutkimuksessaan solusta 3D-virtuaalimallin, jotta solua pääsee havainnoimaan, kuten oikeaa solua ja totesivat opiskelijoiden oppivan nopeammin virtuaalisolumallin avulla kuin pelkästään luennolla.

Opinnäytetyömme toimeksiantajana on Suomen molekyyllilääketieteen instituutti (FIMM) ja teemme yhteistyötä Teatime Research -yrityksen kanssa. FIMM:ssa aloitettiin keväällä 2020 tutkimus, jossa kehitetään mikroskooppikuvantamispohjaista SARS-CoV-2 (Covid-19)-vasta-ainetestausta immunitetin osoittamiseksi luovuttajien seeruminäytteistä. Vasta-ainetutkimuksella edesautetaan ymmärtämään, miten immunitetti kehittyy ja kuinka kauan se kestää sekä myös rokotteiden kehittämistä sekä niiden tehon tutkimista. Kyseisestä tutkimuksesta saadun potilasdatan visualisoinnille on tarve, jotta tutkijoilta tuleva data saadaan käyttöön

kliinikoille helpommin tulkittavaan muotoon. Visualisointia voidaan käyttää myös opetus- ja esittelytilanteissa. VR-teknologiaa halutaan käyttää, koska sillä voi olla merkittävää lisäpotentiaalia biolääketieteen tutkimustulosten analysoinnissa.

Pääsääntöisesti biolääketieteelliseen ja lääketieteelliseen VR-visualisointiin liittyvät aiemmin tehdyt tutkimukset tutkivat virtuaalimaailmaa oppimisen kannalta, joten sen vuoksi koemme työme hyödyttävän ja tuovan uutta tietoa siitä, miten VR-visualisointi voidaan luoda tutkijoiden käyttöön. Opinnäytetyömme tavoitteena oli luoda työnkulku mikroskooppikuvan viemisestä VR-ympäristöön ja tehdä prototyyppi mikroskooppidatan visualisointimallista VR-ympäristöön. Toitimme VR-visualisointimallin prototyypin toiminnallisen vaatimusmäärittelyn mukaisesti kuvankäsittelyohjelmilla. Opinnäytetyömme tutkimuksellisessa osuudessa tutkimme teemahaastattelussa tutkijoiden kokemuksia prototyypin käytöstä ja hyödynnettävyydestä heidän työssään.

2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA JA YHTEISTYÖKUMPPANI

Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Suomen molekyyllilääketieteen instituutti (FIMM). FIMM on kansainvälinen tutkimuslaitos, jonka toiminta keskittyy sairauksien molekyyllitason mekanismien selvittämiseen genetiikan ja lääketieteellisen systeemibiologian menetelmin. Tutkimustyössä yhdistyvät korkeatasoinen tutkimus ja teknologia sekä ainutlaatuiset potilas- ja biopankkiaineistot. Tavoitteena on tutkimustiedon siirtäminen terveydenhuollon käyttöön muun muassa henkilökohtaista lääketiedettä edistämällä. FIMM:n ylläpitämä Teknologiakeskus ja biopankkipalvelut tarjoavat tutkijoiden käyttöön alan huippuosaamista osana kansallisia ja kansainvälisiä yhteistyöverkostoja. (FIMM 2018.)

Yhteistyökumppani

Teatime Research on XR (extended reality) -studio, jolla on intohimo kehittyviin tekniikoihin. Tuotanto koostuu yksinkertaisesta tarinankerronnasta monimutkaiseen ohjelmistoihin ja kaikesta siltä väliltä. XR:n lisäksi yrityksessä työskennellään myös perinteisempien työkalujen kanssa. Yritys on mukana tieteellisessä toiminnassa ja toimii yhteistyössä yliopistojen, instituuttien ja museoiden kanssa. (Teatime Research 2020.)

Teatime Research tekee tiivistä yhteistyötä koulutus-, tiede- ja teknologiayhteisöjen kanssa. Yhteistyötä on monien instanssien kuten Helsingin yliopiston, Turun yliopiston ja Aalto-yliopiston kanssa ja Teatime Research on Suomen virtuaalitodellisuusyhdistyksen, FIVR:n, ydinjäsen. Yksi Teatimen keskeisistä toiminta-alueista on tarjota työkaluja tutkijoille ja kouluttajille.

3 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tavoite

Opinnäytetyömme tavoitteena on luoda työnkulku mikroskooppikuvien viemisestä VR-ympäristöön ja tehdä prototyyppi mikroskooppidatan visualisointimallista VR-ympäristöön.

Tarkoitus

Opinnäytetyömme tarkoituksena on selvittää, mitä 2D-mikroskooppikuvan muuttaminen VR-muotoon vaatii kuvankäsittelyn näkökulmasta. Tarkoituksena on myös selvittää, miten VR-visualisointimallia voidaan hyödyntää Covid-19 –vasta-ainetutkimuksen mikroskooppikuvadatan tarkastelussa. Lisäksi tarkoituksena on selvittää, miten FIMM:n tutkijat kokevat virtuaalitodellisuuden osana tutkimustulosten tarkastelua.

Tutkimuskysymykset

Mitä 2D-kuvan muuttaminen VR-muotoon vaatii kuvankäsittelyn näkökulmasta?
Miten Covid-19 –vasta-ainetutkimuksen mikroskooppikuvadataa voidaan käyttää VR-visualisoinnissa?

Miten FIMM:n tutkijat kokevat virtuaalitodellisuuden osana tutkimustulosten tarkastelua?

4 KÄSITTEELLINEN VIITEKEHYS

4.1 Mikroskopian käyttö virusten diagnostiikassa

Solujen toimintaa ja rakennetta voidaan tutkia mikroskopian avulla. Mikroskopia pohjautuu valon tai elektronien aaltoliikkeeseen. Valomikroskopia on yksi helpoimmista ja usein ensisijaisesti käytettävistä mikroskopian menetelmistä. Sen avulla voidaan tutkia muun muassa eläviä soluja. 1600-luvulla hollantilainen keksijä teki alkeellisen mikroskoopin, kun hän asetti erilaisia linsejä kiinteään runkoon. Valomikroskoopin käytön suurempi kehitys on kuitenkin tapahtunut 1800-luvulla. Tuolloin keksittiin sähkövalot sekä lasinvalmistus kehittyi ja ne toimivat osaltaan mikroskopian kehittymisen vauhdittajina. Kuvassa 1 on valomikroskooppi pystysuoralla jalustalla. (Leng 2013, 1.)

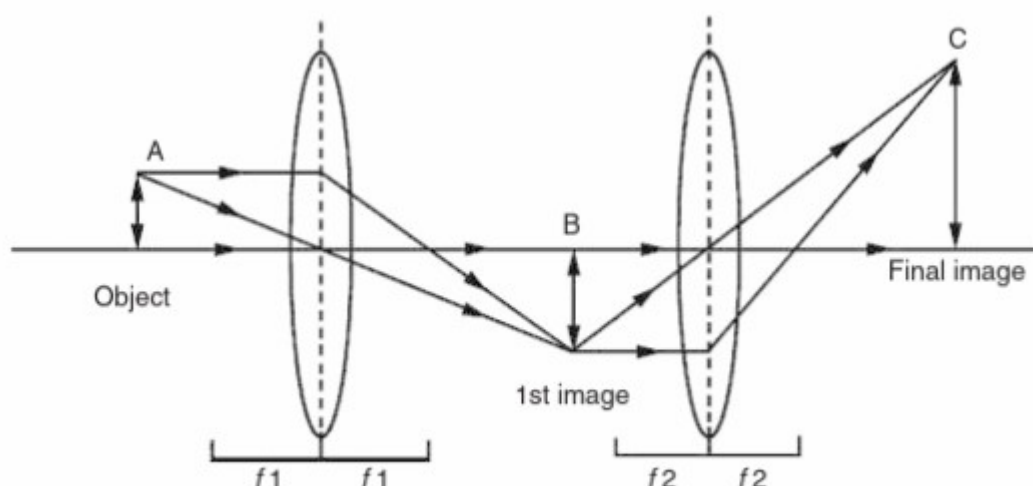


KUVA 1. Mikroskooppi (Murphy ym. 2012, 3)

Mikroskooppien optisiin periaatteisiin kuuluvat kuvanmuodostus, magnifikaatio ja resoluutio. Magnifikaation avulla kuvaa pystytään suurentamaan, jolloin näyte vaikuttaa suuremmalta. Resoluutio tarkoittaa sitä, että pystytään erottamaan

kaksi objektiä toisistaan. Resoluutio on niin sanotusti lyhin etäisyys kahden pisteen välillä, jotka voidaan silti erottaa visuaalisesti erillisinä. Tyypillisen ihmissilmän resoluutio on noin 200 μm . Mikroskoopin käyttö pienentää resoluutiota 0,2 μm :iin. Valomikroskoopissa on useita linsejä, joiden avulla ohjataan valoa tutkitavan näytteen läpi. Valon ohjaamisessa on apuna kollektori ja kondensori. Kondensorin tehtävänä on ohjata valon suunta niin, että valonsäteet leikkaavat tutkitavan näytteen oikeassa kohdassa. Tällöin mikroskoopin näyttämästä kuvasta saadaan mahdollisimman tarkka. Sen jälkeen valo kerätään ja syntyvää kuvaa pystytään suurentamaan ja pienentämään objektiivin ja okulaarin avulla. Kuvaa voidaan suurentaa jopa 1500-kertaiseksi. (Leng 2013, 1-2.)

Kuvan muodostumista voidaan havainnollistaa valopolun käyttäytymisellä valomikroskoopissa kuvan 2 avulla. Näyte sijoitetaan kohtaan A, jossa se on kahden polttovälin päässä objektiivista. Ensimmäisen kohteen valonsäteet yhtyvät objektiiviin ja kohdistuvat sitten kohtaan B muodostaen suurennetun käännetyin kuvan. Kuvan valonsäteet yhdistyvät edelleen toisella linssillä (projektorilinssi) muodostaen lopullisen suurennetun kuvan objektista kohdassa C. Tätä kuvaa voidaan myös kutsua todelliseksi välikuvaksi. Kun tutkimme kuvaa silmillämme, mikroskoopin valopolku kulkee okulaarin läpi projektorilinssin sijasta muodostaen virtuaalisen kuvan ihmissilmän verkkokalvolle. Virtuaalikuva on käännetty esineeseen nähden. Virtuaalikuva säädetään usein sijoitettavaksi silmän tarkennuksen vähimmäisetäisyydeksi, joka on tavallisesti 25 senttimetrin päähän okulaarista. Moderni mikroskooppi on yleisesti varustettu laitteella, jolla pystytään esimerkiksi lähettämään kuvat tietokoneen näytölle. (Leng 2013, 2-3; Murphy ym. 2012, 5.)

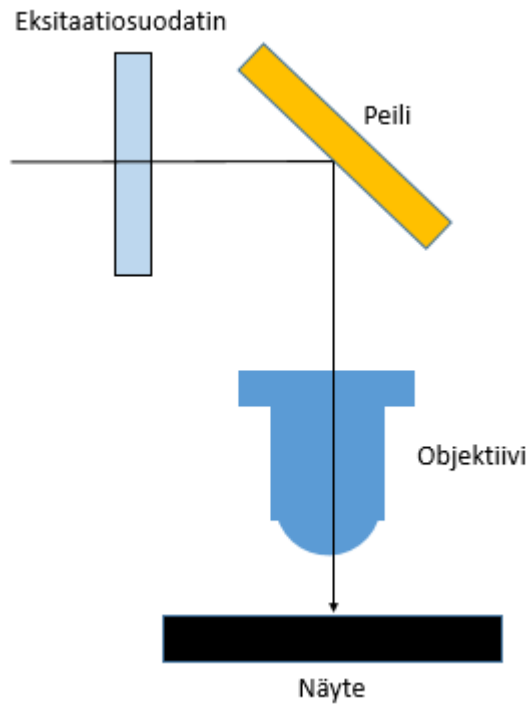


KUVA 2. Mikroskoopin toimintaperiaate (Leng 2014, 2)

4.1.1 Fluoresenssimikroskopia

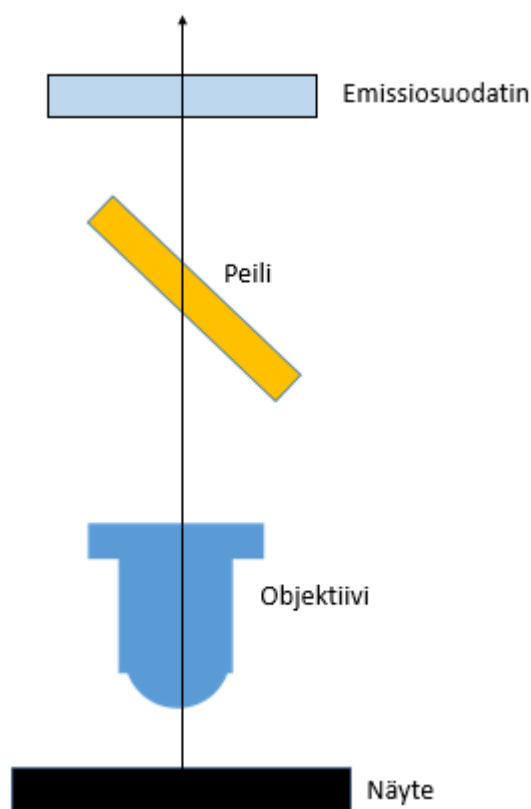
Yksi mikroskopian menetelmistä on fluoresenssimikroskopia. Fluoresenssimikroskopia pohjautuu fluorokromeiksi tai fluoroforeiksi nimettyjen kemiallisten yhdisteiden käyttöön. Niiden avulla tutkittavasta kohteesta saadaan värjättyä haluttuja kohteita, kuten solun valkuaisaineita tai soluorganelleja. Fluorokromit imevät itseensä ultraviolettisäteilyä ja vapauttavat osan energiasta näkyvinä valon aallonpituuksina, joita kutsutaan fluoresenssiksi. Fluoresenssimikroskooppi rakentuu yleisestä optisesta mikroskoopista ja tietyistä lisävarusteista, kuten fluoresoivasta valonlähteestä ja erilaisista suodattimista. Fluoresenssimikroskoopin valonlähteenä käytetään ultraviolettivaloa. (Sanderson ym. 2014; Lounatmaa ym. 1998.)

Valon säteet ohjataan sopivan suodattimen (eksitaatiosuodatin) läpi, jonka tarkoituksena on pidättää muut aallonpituudet ja päästää läpi vain käytetyn fluorokromin aallonpituus. Yleensä suodattimena käytetään kaistanpäästösuodatinta, jossa on 20nm valitun aallonpituusalueen läpäisevä aukko. Suodattimen läpi tuleva valo kulkee seuraavaksi peiliin, joka taittaa säädettyä kynnysarvoa lyhemmän aallonpituuden suorassa kulmassa. Kuvassa 3 näkyy ultraviolettivalon kulureitti. (Sanderson ym. 2014; Lounatmaa ym. 1998.)



KUVA 3. Viritinvalon kulkureitti (mukaillen Lounatmaa & Rantala 1998)

Yksivärinen valo kohdistetaan näytteeseen ja näytteen sisältämä fluorokromi aktivoituu ja säteilee näkyvän aallonpituuden valoa. Fluorokromien säteilemä valo on aallonpituudeltaan pidempää kuin suodattimen läpi näytteeseen tuleva valo, joten se kulkee peilin läpi kohtisuoraan toiseen suodattimeen (emissiosuodatin). Emissiosuodatin pitää huolen, että fluoresenssimikroskoopin käyttäjälle näkyy näytteestä peräisin oleva valo. Kuvassa 4 näkyy emissiovalon kulkureitti. Fluorokromia sisältävät, kiinnostuksenalaiset osat näkyvät näytteessä kirkkaina mustaa taustaa vasten. (Sanderson ym. 2014; Lounatmaa ym. 1998.)



KUVA 4. Emissiovalon kulkureitti (mukaillen Lounatmaa & Rantala 1988)

Fluoresenssimikroskoopista poiketen konfokaalimikroskoopissa valonlähteenä toimii laser, joka kohdennetaan pieneksi ja kirkkaaksi pisteeksi haluttuun näytteen syvyystasoon. Konfokaalimikroskoopilla laservalo keskitetään hyvin tarkkaan yhdelle optiselle tasolle, jolloin sen pyyhkäisy antaa kuvan kyseisestä solutasosta. Muodostuvan kuvan terävyys on tavallista mikroskooppikuvaa parempi, ja näytettä voidaan tarkastella ohuina optisina leikkeinä eri tasoilla. Optisten leikkeiden perusteella koko tarkasteltavasta kohteesta voidaan tehdä tietokoneella kolmiulotteinen malli. FIMM:illä on käytössä Opera Phenix High Content Screening System –konfokaalimikroskooppi (PerkinElmer, 2014, USA), jonka mikroskooppilevyssä on 384 kuoppaa. Jokaisesta kaivosta on otettu yhdeksän kuvaa kahdesta eri syvyydestä. (Ibidi, 2021.)

4.1.2 Immunofluoresenssimikroskopia

Immunofluoresenssimäärityksen (immunofluorescence assay, IFA) avulla voidaan tutkia tarkemmin soluja, viljeltyjä soluja sekä kudospaloja. Sen avulla voi-

daan määrittää antigeenin ja vasta-aineen välisiä vuorovaikutuksia solujen eri rakenteissa, kuten mitokondrioissa, mikrosomeissa tai solujen proteiineissa. Immunofluoresenssi-tutkimuksissa käytetään vasta-aineita, jotka on leimattu fluoresoivalla väriaineella tai jotka tunnistetaan sekundäärisellä fluoroforilla leimatulla vasta-aineella. Primäärivasta-aine kiinnittyy spesifisesti kohdeantigeeniin, jolloin antigeeni voidaan havaita fluoresenssimikroskoopilla. (Martin & Hine 2015.)

Immunofluoresenssin etuna tavanomaisiin immunologisiin menetelmiin kuten entsyymivälitteisiin immunosorbenttimäärityksiin (enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA) on se, että sen avulla pystytään paikantamaan antigeenin ja vasta-aineen välisen reaktion sijainti kudoksessa. Immunofluoresenssivärjäys voidaan tehdä joko suoralla tai epäsuoralla menetelmällä. Suora menetelmä on usein nopeampi ja helpompi, mutta sen käyttöä rajaavat heikompi signaali ja kallis hinta. Epäsuora menetelmä on herkempi ja halvempi käyttää. Epäsuoraa immunofluoresenssimenetelmää käytetään osoittamaan haluttuja proteiineja tai antigeenejä fiksatuista soluista tai kudosleikkeistä käyttämällä vasta-aineita, joihin on liitetty fluoresoiva merkkiaine. (Odell & Cook 2013.)

Immunomääritysten käyttö diagnostiikassa ja vierianalytiikassa on lisääntynyt. Esimerkkinä tästä on muun muassa raskaustesti. Immunomääritysten hyötyjä ovat niiden spesifisyys, helppokäyttöisyys ja herkkyys. Immunomääritysten avulla voidaan havaita erilaisia tutkittavia kohteita, kuten proteiineja, hormoneja tai lääkaineita. (Martin & Hine 2015.)

4.1.3 COVID-19-pandemia ja SARS-CoV-2

Joulukuussa 2019 Wuhanissa Hubein maakunnassa Kiinassa sairaalat raportoivat joukosta keuhkokuumeetapauksia, joissa syy oli tuntematon, keräten paljon kansallista ja kansainvälistä huomiota. Tammikuussa 2020 Wuhanin terveystoimielimet sulki Huanin villieläintorin, jonka epäiltiin olevan yhteydessä taudin leviämiseen. Tämän jälkeen tutkijat eristivät nopeasti uuden koronaviruksen (SARS-CoV-2) keuhkokuumeen saaneista potilaista. Kyseinen uusi koronavirus nimettiin sen sukulaisviruksen, SARS-koronaviruksen (Severe Acute Respiratory Syndrome, äkillinen vakava hengitystieoireyhtymä) mukaisesti. Tautia kutsutaan

nimellä COVID-19, joka tulee sanoista corona, virus ja disease. (Terveiden ja hyvinvoinnin laitos 2021.) Uusi löydetty RNA-koronavirus (virus, jonka perintöaines on ribonukleiinihappo) kuuluu samaan perheeseen MERS-CoV (Middle East Respiratory Syndrome, Lähi-idän hengitysoireyhtymä) ja SARS-CoV-virusten kanssa. Kun virus oli levinnyt ja aiheuttanut tuhansia kuolemia laajalti Kiinassa, se levisi ympäri maailmaa. Maailman terveysjärjestö julisti pandemian taudin laajan tartuttavuuden ja korkean tartuntaprosentin vuoksi. (Fang Jiang ym. 2020; Pascarella ym. 2020.) Tätä tekstiä kirjoittaessa 19.2.2021 tuoreimman Maailman terveysjärjestön (World Health Organization, WHO) raportin mukaan tartuntoja on koko pandemian aikana ~108 miljoonaa ja tautiin kuolleita ~2,4 miljoonaa (World Health Organization 2021).

SARS-CoV-2, on vaipallinen virus, jolla on yksisäikeinen RNA geneettisenä materiaalina. SARS-CoV-2, kuten muutkin koronavirukset, aiheuttaa pääasiallisesti flunssan kaltaisia oireita, kuten kuumetta, yskää, voimattomuutta, kurkkukipua, hengenahdistusta, lihaskipuja ja nuhaa. Myös mahasuolikanavan oireita, kuten pahoinvointia ja ripulia on raportoitu pienemässä osassa tapauksia. Vakavia keuhkoinfektioita on kuvattu kaikissa ikäluokissa, monisairailta on suurempi todennäköisyys sairastua keuhkokuumeeseen tai äkilliseen hengitysvajausoireyhtymään (Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS) ja niitä seuraavaan monielinvaurioon, joista korkeat kuolleisuusluvut johtuvat. Valtaosalla vakavasti sairastuneista on altistava sairaus kuten verenpainetauti, diabetes tai jokin sydän- ja verisuonisairaus. Iso osa positiivisen tuloksen saaneista on kuitenkin oireettomia, sairaalahoitoa on tarvinnut Euroopan tautien ehkäisy- ja valvontakeskuksen (ECDC) mukaan noin 20-30% todetuista tapauksista ja heistä 4% on sairastunut vakavan taudin. (Pascarella ym. 2020; Terveiden ja hyvinvoinnin laitos 2020.)

Lajien välistä viruksen leviämisen mekanisme ei vielä kunnolla ymmärretä. Useat tutkimusryhmät ovat pystyneet itsenäisesti tunnistamaan SARS-CoV-2 kuuluvan β -koronavirus -ryhmään, jonka perimä on melkein identtinen lepakoilla tavattavan koronaviruksen kanssa. Niiden tutkimusten mukaan lepakot voivat toimia viruksen luonnollisena isäntänä. Uusi koronavirus käyttää angiotensiinikonvertaasi 2-reseptoria (ACE2), eli samaa reseptoria kuin SARS-CoV ja leviää pääasiassa hengitysteiden kautta. Pääasiallinen tarttumisreitti ihmisestä toiseen tapahtuu ae-

rosolien välityksellä, joko ilmasta, käsien tai pintojen välityksellä. Tartunnan saaneen henkilön hengitystie-eritteissä olevat viruspartikkelit tartuttavat muita suoran limakalvokontaktin, kuten yskimisen, niistämisen ja aivastamisen myötä. Keskimääräinen itämisaika on 2-12 päivää (mediaani 5,1 päivää). (Pascarella ym. 2020.)

4.1.4 Vasta-ainemäärittysten diagnostiikka SARS-CoV-2-infektiossa

Koronavirustartunnan seurauksena elimistön puolustusjärjestelmä käynnistyy, minkä seurauksena muodostuu muun muassa viruksen rakenteita tunnistavia vasta-aineita. Vasta-aineita kehittyy keskimäärin kahden viikon jälkeen oireiden alkamisesta, osalla vasta-aineita kehittyy hitaammin. (Pascarella ym. 2020.) Li:n artikkelissa vasta-ainemääritys tehtiin ELISA-tekniikalla, havaitsemisen tehokkuus oli korkeampi mitä PCR-tekniikalla viiden päivän jälkeen oireiden alkamisesta. (Meri 2011; Guo ym. 2020.)

Vasta-aineet jaetaan kolmeen pääluokkaan: IgG, IgA ja IgM. IgG jakautuu vielä neljään alaluokkaan: IgG1-IgG4. Alaluokkien biologiset funktiot poikkeavat toisistaan. On olemassa myös IgE-luokka, jolla on merkitystä allergisissa reaktioissa ja IgD, jonka merkitys on epäselvä. Plasmassa on eniten IgG:tä ja kaksi kolmasosaa koko elimistön immunoglobuliinituotannosta suoliston ja hengitysteiden limakalvoille erittynyttä IgA:ta. IgA estää taudinaiheuttajan tarttumisen limakalvon soluihin ja veressä sijaitseva IgG suoja jo elimistöön päässeeltä taudinaiheuttajalta. IgM-vasta-ainetta syntyy immuunivasteen alkuvaiheessa. (Jokiranta & Sepälä 2011.)

Vasta-ainemääritys voidaan tehdä esimerkiksi ELISA-tekniikalla (entsyymivälitteinen immunosorbenttimääritys) tai PCR-tekniikalla. Vasta-ainetestejä ei pidetä luotettavina primääri-infektion osoittamisessa, koska vasta-aineita voidaan havaita vasta 14 päivän kohdalla. Vasta-ainetesteillä pystytään havaitsemaan todennäköisimmin aikaisemmin sairastettu SARS-CoV-2-infektio, jos oireiden alusta on 15 päivää tai enemmän. (Deeks ym. 2020.)

Vasta-ainediagnostiikan hyötynä ovat väestön sairastavuuden arviointi, rokotteen kehitystyö, tautia vastaan syntyvän immuunisuojan selvittäminen sekä suojaavan immunitetin tunnistaminen yksilöillä, jotta voidaan tunnistaa mahdolliset COVID-19-toipilasplasman luovuttajat. Toipilasplasmaa voidaan mahdollisesti käyttää kriittisesti sairaiden potilaiden hoidossa. (Lappalainen & Julkunen 2020.)

4.2 Datan visualisointi

Data on tietoa, joka koostuu useimmiten numeroista. Data voi myös olla erilaisia merkkejä tai muuttujia, jotka on kerätty tarkoin. Pelkässä datassa ei automaattisesti ole merkitystä tai tietoja sisältävää järjestystä, mutta siitä löytyä myös sellaisia. Dataa tulee mitata, kerätä, käsitellä ja analysoida ennen kuin siitä saadaan tietoa. Analysoitua dataa voidaan visualisoida käyttäen esimerkiksi erilaisia kaa- viokuvia. Datan laadun takaaminen on hyvin tärkeää. Datan määrä on viime aikoina kasvanut valtavasti ja se korostaakin asiantuntijoiden merkitystä. (National Institute of Standards and Technology 2015; Dolley 2018; McGrant 2015; Tuomi 2015.) Tässä työssä datalla tarkoitetaan pääasiassa mikroskoopista tulevaa kuvadataa.

Datan visualisointi tarkoittaa datan jäsentämisen ja analysoinnin lisäksi sen esittämistä ja viestintää. Datamäärät voivat olla valtavia, ja siksi niiden esittäminen visuaalisesti on loistava tapa käydä dataa läpi ja esittää tuloksia. Datan visualisoinnin avulla voidaan muuttaa data tiedoksi, joka auttaa havainnollistamaan dataa ja ymmärtämään sen tuloksia. Datan visualisointi voi myös auttaa ihmisiä hahmottamaan paremmin erilaisia yhteyksiä ja niiden vaikutuksia. (Chen, Härdle & Unwin 2008; Aparicio & Costa 2014.)

Datan visualisoinnin tarkoituksena on saada datan sisältämä tieto näkyväksi. Se auttaa tulkintaa ja analysointia sekä tuo asiaan uusia näkökulmia. Parhaimmassa tapauksessa se saa ihmisen huomaamaan jotain, mitä hän ei olisi olettanut aineistosta erottavan. Tiedon esittäminen visuaalisessa muodossa auttaa myös nostamaan esille datassa piileviä suuntauksia ja muita ominaisuuksia. Datan visualisointi helpottaa aineiston rakenteen hahmottamisessa ja kokonaiskuvan muodostamisessa. (Linsen, Hagen & Hamann 2008; Lampi & Hannus N.d.)

Tiedon esittämistä visuaalisessa muodossa voidaan hyödyntää erilaisille kohderyhmille. Tuolloin on hyvä pohtia, mitä tietoa ja viestiä välitetään ja kenelle. Datan lukutaito ja taustatiedot voivat vaihdella suuresti kohderyhmästä riippuen, siksi on muistettava, kenelle visualisointia esitetään. On tärkeää tarjota tieto oikealla tarkkuudella, sillä tiedon tarve voi vaihdella suuresti sen mukaan, onko kohderyhmä organisaation sisällä vai ulkopuolinen sidosryhmä. (Linsen, Hagen & Hamann 2008; Lampi & Hannus N.d.)

Datan visualisointia voi ajatella prosessina. Prosessi pitää sisällään tavoitteiden ja tarpeiden ymmärtämisen. Se on tärkein vaihe prosessissa, koska se auttaa rakentamaan pohjan suunnittelulle. On ymmärrettävä, kenelle visualisointia tehdään ja mihin kysymykseen se vastaa. Kun tavoite on tiedossa, voidaan esittää tarkoitus ja tehtävä, jonka jälkeen mietitään mahdollisia visuaalisia esitystapoja. On pidettävä mielessä kohderyhmä, jotta osataan valita kohderyhmän tarpeisiin ja datan lukutaitoon sopiva esitystapa. Seuraavaksi data tulee valmistella. Tämä vaihe voi kestää pitkään ja olla työläs, etenkin jos dataa on kertynyt paljon. Datan valmistelussa tulee ottaa huomioon tiedon oikeellisuus, joka tarkoittaa, että tieto on käyttökelpoista, ajantasaista ja tarkkaa. Dataa valmistellessa tulee huomioida myös muut laatukriteerit ja haluttu muoto. Prosessissa viimeisenä tehdään visuaalinen toteutus. Joskus on tärkeää osata kyseenalaistaa edelliset valinnat ja jopa palata datan valmistelun äärelle tai muuttamaan visuaalista esitystapaa. (Lampi & Hannus N.d.)

4.3 Kuvankäsittely

Konfokaalimikroskopiolla saadaan pistepilvi ja tämä mahdollistaa 3D-visuliasoinnin. Kolmikanavaisessa RGB-värikuvassa värit muodostetaan sekoittamalla punaista, vihreää ja sinistä valoa. RGB-värijärjestelmässä värejä yhdistellään, jolloin voidaan puhua additiivisesta (lisäävästä) värinmuodostuksesta, värivalon ja sähköisen värin sekoittumisesta – mitä enemmän valoa, sitä vaaleampi lopputulos. RGB-värijärjestelmää käytetään värien esittämiseen esimerkiksi tietokoneen näytöissä, televisioissa ja puhelimissa. Näiden näyttölaitteiden pikselit muodostuvat punaisen, vihreän ja sinisen värisistä valonlähteistä. Näillä kullakin värillä on 256 sävyä, joiden kylläisyys merkitään numeroilla: 0-255. RGB:ssä päävärien

sävyjen voimakkuuden kasvattaminen vaalentaa värejä niin, että täysien voimakkuuksien summa on valkoinen (RGB 255/255/255), matalimpien voimakkuuksien summa on musta (RGB 0/0/0) ja arvojen ollessa samat summa on harmaa (RGB 128/128/128). (Nikon 2021.)

Pyörivän levyn konfokaalimikroskopiassa (spinning disc confocal microscopy) yksittäisen reiän sijasta tässä laitteessa on satoja reikiä, jotka on järjestetty spiraleiksi suurilla nopeuksilla pyöriville levyille. Pyöriessään reiät skannaavat näytteen rivi riviltä ja muodostavat kuvan. Pyörivän levyn käyttö parantaa huomattavasti kuvanmuodostusta ja vähentää merkittävästi valokuvavaurioita. (George 2004.) Jokaiselle pisteelle saadaan siis kolmiulotteiset koordinaatit, jolloin lopputuloksena saadaan aikaiseksi pistepilvi kohteesta, jossa jokaisella pisteellä on x, y ja z-koordinaatit. Pistepilven pisteet voivat sisältää koordinaattien lisäksi myös muuta tietoa. Mikäli kyseinen pistetieto on suure, kutsutaan tätä pistepilven tietoa skalaariksi, esimerkiksi pisteen intensiteettiarvo on skalaari. Kun pistepilven kaikilla pisteillä on kymmentä ominaisuutta kuvaava suure, käytetään tästä nimitystä skalaarikenttä (scalar field). Pistepilven skalaarikenttää voi visualisoida suureen arvosta määräytyvällä värisävyllä tai värin kirkkaudella. (Cloud-to-cloud Distance 2016.)

Pistepilvet sisältävät yleensä koordinaattitiedon lisäksi kullekin pisteelle paluusignaalin voimakkuuden pohjalta määritetyn intensiteettiarvon. Kuvista voidaan lisätä väritieto eli RGB-tieto pistetietoon. Pistepilven avulla voidaan luoda 3D-malli. (Joala 2006, 1.) Pisteitä kutsutaan pilveksi, koska ne ovat olemassa ilman minäänlaista yhteyttä toisiinsa ja ne näyttävät vain leijuvan ilmassa (Kramer, Burrus, Echtler, Herrera & Parker 2012, 128). Jotta pistepilvimallia voidaan hyödyntää sellaisenaan virtuaalimaailmassa tai pistepilvi voidaan muuntaa kolmiulotteiseksi verkkomalliksi (mesh) (Mäenpää & Vihavainen 2021).

Kuvan analysointiin ja käsittelyyn on kehitetty erilaisia sovelluksia, joista osa on maksullisia, mutta on olemassa myös avoimen lähdekoodin pohjalta toimivia ilmaisohjelmistoja. Ilmaisohjelmistoista työssä on käytetty ja esitellään käyttöjärjestyksessä ImageJ, Cloudcompare, Meshlab, Steam, Steam VR, Vrifier ja Gravity Sketch. Valitsimme edellä mainitut ohjelmat yhteistyökumppanin suosituk-

sesta ja siksi, että osa ohjelmista oli jo valmiiksi ladattuna toimeksiantajan tietokoneille. Samankaltaisia ohjelmia on olemassa paljon, mutta nämä soveltuivat käyttöömme, koska yhteistyökumppanilla oli niistä jo aiemmin kokemusta.

Yksi kuvankäsittelyssä paljon käytetty ilmaisohjelmisto on ImageJ. Se on kehitetty Yhdysvaltain National Institute of Healthin työntekijän toimesta. Java-pohjaisena se on käytettävissä kaikilla yleisillä käyttöjärjestelmillä. Plugineilla, eli liitännäisillä tai laajennuksilla, ohjelmistoa saadaan käytettyä moniin erikoistarpeisiin, esimerkiksi solujen laskentaan on julkaistu plugineja. Ohjelman käytöstä lääketieteellisiin tarpeisiin on julkaistu useita artikkeleita. (ImageJ 2021; Guirado, Carceller, Castillo-Goméz, Castrén & Nacher 2018.)

CloudCompare on avoimen lähdekoodin 3D-pistepilvien käsittelyohjelma. Se on alun perin suunniteltu kahden tiheän 3D-pistepilven vertailuun tai pistepilven ja mesh-mallin vertailuun. Se perustuu tähän tehtävään suunniteltuun spesifiin rakenteeseen. Myöhemmin se on laajentunut yleisluontoisemmaksi pistepilvien käsittelyohjelmistoksi, joka sisältää monia edistyneitä algoritmeja muun muassa skalaarikenttien käsittely, tilastolaskenta, interaktiivinen tai automaattinen segmentointi jne. (CloudCompare 2021.)

Meshlab on myös avoimen lähdekoodin ohjelma kolmiulotteisten kolmioverkkojen (3D mesh) muokkaukseen ja käsittelyyn. Se tarjoaa työkaluja editoimiseen, siivoamiseen, tutkimiseen, renderöintiin ja kolmioverkkojen muuntamiseen. (Meshlab 2021.)

Steam on Valve Corporationin kehittämä videopelien digitaalinen jakelupalvelu. Steamillä avulla pelejä voi ladata ja päivittää sekä se mahdollistaa tiedon tallentamisen pilveen. Steam VR on myöskin Valven kehittämä ohjelmistoalusta VR-laitteille. Sen avulla voi käyttää esimerkiksi Oculus VR-laseja. (Steam 2021.)

Vrifier on ilmainen 3D-mallien ja datan katselualusta, jota käytetään pelinjakelualusta Steamillä kautta. Vrifierin avulla voi katsella suuria ja monimutkaisia 3D-malleja ja datamääriä. Käyttöliittymä on räätälöity nopeaa ja helppoa 3D-katselua varten sekä ammattikäyttöön että arkikäyttöön. Vrifierin ydinominaisuudet ovat

toiminnallisia ja hyödyllisiä 3D-verkkojen ja pistepilvien tuomiseen (import), optimointiin, katseluun ja navigointiin VR-maailmassa. Se tukee useita tiedostotyypppejä ja toimii esimerkiksi Oculus-lasien kanssa. Ohjelmisto on julkaistu ja aktiivisessa kehitysvaiheessa. (Teatime Research 2021.)

Gravity Sketch on intuitiivinen työkalu, jota käytetään 3D-mallien suunnitteluun ja luomiseen. Se tarjoaa mahdollisuuden toteuttaa ideat reaaliajassa ja käyttää digitaalisia työkaluja 3D-mallien luomiseen. Gravity Sketch mahdollistaa myös yhteistyön esimerkiksi kollegoiden kanssa, sillä samaan digitaaliseen tilaan voi tulla useampia ihmisiä luomaan ja arvioimaan kehitteillä olevia malleja. Gravity Sketchiä voi käyttää esimerkiksi Oculus-laseilla. (Gravity Sketch 2021.)

4.4 Virtuaalitodellisuus (VR)

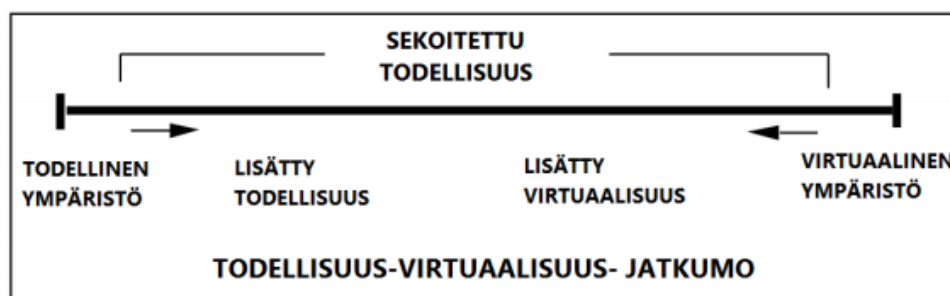
Virtuaalitodellisuus (VR) on täysin virtuaalinen ympäristö, jonka tapahtumia voisi luulla todellisiksi. Käyttäjä asettaa päähänsä virtuaalitodellisuuslasit, jotka sulkevat ympäröivän fyysisen maailman käyttäjän näkökentästä ja saa näin käyttäjän uppoutumaan virtuaalimaailmaan. Käyttäjä voi kokea juoksevana, kalastavana tai lentävänä. VR-teknologiaa voidaan käyttää apuna monella alalla. VR-teknologiasta on hyötyä eri alojen koulutuksessa, rakennuksien suunnittelussa ja esitelyssä, taiteessa, peliteollisuudessa ja terapiassa. (FiCom 2021; Mihelj, Novak & Beguš 2014.)

Lisätty todellisuus (AR) on näkymä ympäröivästä fyysisestä maailmasta, johon on keinotekoisesti lisätty elementtejä. Se toteutetaan laseilla, silmikolla tai AR-laseilla, jotka eivät peitä käyttäjänsä näkökenttää. Nykyaikaiset AR-järjestelmät voivat olla muun muassa kädessä pidettäviä näyttöjä (älypuhelin), joissa näkyy tietokoneen malli reaali maailmaan sijoitettuna tai päässä pidettäviä laitteita, joissa on läpinäkyvät lasit, joiden avulla käyttäjät voivat visualisoida ympäröivään todelliseen ympäristöön päällekkäisiä virtuaalielementtejä. (FiCom 2021.)

Virtuaalitodellisuus (VR) ja lisätty todellisuus (AR) termeinä sekoitetaan usein, koska tiedotusvälineet käyttävät niitä ajoittain väärin uusien kuluttajalaitteiden

suosion kasvaessa. Ne ovat erillisiä, mutta molemmilla teknologisilla suuntauksilla on samat tunnusmerkit; reaaliaikainen simulaatio käyttämällä muun muassa tekstiä, kuvaa, ääntä ja liikettä kokonaisvaltaisen aistimuksen tuottamiseen tai virtuaalielementtien vuorovaikutus yhdistettynä asennon ja tilallisuuden tunnistukseen. Se, miten VR ja AR eroavat toisistaan on reaali maailman ja virtuaali maailman elementtien yhdistyminen niissä. Virtuaalitodellisuus sisältää ainoastaan virtuaalielementtejä ja lisätyssä todellisuudessa virtuaalielementit ovat päällekkäin ympäröivän todellisuuden kanssa. Sekoitettu tai yhdistetty todellisuus (MR) on näiden kahden yläkäsite ja laajennettu todellisuus (XR) viittaa kaikkiin ympäristöihin, joissa todellisuus ja virtuaali maailma kohtaavat. (Rudnäs 2019; Sutherland ym. 2019.)

1994 Paul Milgram määritteli virtuaalisen jatkumon. Lisätty todellisuus sijoittuu tässä jatkumossa laajennetun todellisuuden alakäsitteen alle. Kuva 5 kuvaa tätä jatkuvuutta kahden ääripään välillä, toisessa päässä todellinen maailma ja toisessa täysin virtuaalinen todellisuus. Niiden välinen tila määrittelee todellisuuden ja virtuaalisuuden elementtien yhdistelmiä. (Igram & Kishino 1994, 3; Sutherland ym. 2019.)



KUVA 5. Todellisuus-Virtuaalisuus-jatkumo (Milgram & Kishino 1994, 3)

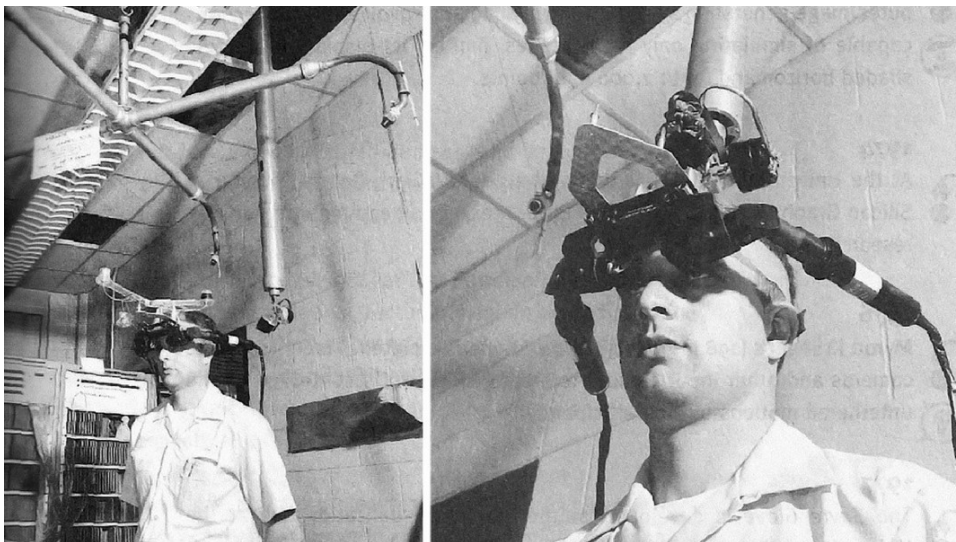
4.4.1 Virtuaalitodellisuuden historia

Brittiläinen tieteilijä Charles Wheatstone esitteli 1830-luvulla mielenkiintoisen ilmiön, jonka oli huomannut. Kun piirtää kaksi eri kuvaa samasta esineestä, hieman eri kulmasta ja katsoo niitä erikseen molemmilla silmillä yhtä aikaa, näkyy esine kolmiulotteisena. Näitä kuvia kutsutaan stereokuviksi. Hän huomasi, että juuri näin ihmisen näkö toimii, molemmat silmät näkevät saman kuvan hieman eri

kulmasta. Wheatstone rakensi pöytäkokoisen laitteen, jolla pystyi demonstroimaan ilmiötä näyttämällä molemmille silmille eri kuvaa, näin syntyi maailman ensimmäinen stereoskooppi. Tätä samaa ilmiötä käytetään VR-laseissa aikaansaamaan kolmiulotteinen ympäristö. Stereoskooppisella näöllä tarkoitetaan siis ihmisen kykyä nähdä objekti molemmilla silmillä ja luoda siitä yksi kuva ja saada aikaan syvyysvaikutelma. (Thompson 2017; Shugarman 2013.)

Digitaalisen tiedon visualisointi kolmiulotteisena alkoi VR-tekniikoiden varhaisilla prototyypeillä, jotka ovat peräisin 1950-luvulta. Morton Heilig esitteli ensimmäisenä ajatuksen monisensorisista elokuva- ja simulaatiokokemuksista. Heiligille myönnettiin patentti vuonna 1960 hänen ideastaan pään päällä pidettävästä analogisesta näytöstä, joka kattoi käyttäjän koko näköalueen ja sisälsi optiset säätimet, stereofoniset äänet ja tuoksut. Varhaisimmat näytöt olivat niin painavia, että ne piti kiinnittää kattoon. Vuoteen 1973 mennessä tietokoneella luotu grafiikka otettiin käyttöön ja se alkoi korvata panoraamakuvia. Ensimmäisten pään päällä olevien näyttöjen rinnalle kehitettiin oheislaitteita, jotka antoivat joitain varhaisimpia esimerkkejä haptisesta, tuntoaistiin perustuvasta palautteesta. (Sutherland ym. 2019.)

Kaikkien aikojen ensimmäisenä varsinaisena virtuaalitodellisuusjärjestelmänä pidetään Ivan Sutherlandin vuonna 1968 rakentamaa Sword of Damocles -järjestelmää (kuva 6). (Rheingold 1991, 79). Sword of Damocles oli katosta roikkuva tietokonenäyttö, jota voitiin ohjata mekaanisen varren avulla. Järjestelmän kyky muuttua vastaamaan reaaliajassa käyttäjän vaihtuvaa katselukohdetta oli erittäin merkittävä aikaansaannos. Sutherland loi Sword of Damoclesilla siis ensimmäisen virtuaalilaseilla koettavan tietokonemallinnetun tilan, joka simuloi perspektiivin ja näkökentän muutosta interaktiivisesti. (LaValle, 1991.) Morton Heiligin suunnittelemaa Sensoramaa (1962) pidetään myös varhaisena virtuaalitodellisuuden prototyyppinä, mutta se oli stereoskooppinen filmien katselulaite, se ei kuitenkaan ollut interaktiivinen tai tietokonegrafiikkaan perustuva laite. (Sutherland ym. 2019.)



KUVA 6. Sword of Damocles (Sutherland 1968)

Kehitystä tällä alueella ohjasivat suurelta osin NASA ja muut valtion virastot, jotka olivat kiinnostuneita kehittämään lentosimulaattoreita ja koulutusjärjestelmiä avaruuden tutkimiseen. Lopulta suuret videopelien kehittäjät ja viihdeteollisuus julkaisivat 1980-luvun lopulla ja 1990-luvun alkupuolella VR-järjestelmien kaupalliset versiot integroiduilla haptisen palautteen oheislaitteilla. Brittiläinen Jonathan Waldern oli ensimmäinen johtava VR-pelien suunnittelija ja sai lyötyä tekniikan läpi muuallekin maailmaan, mutta suorituskykyongelmat ja korkeat kustannukset nousivat ongelmiksi. (Sutherland ym. 2019; Sani 2020.)

Sellaisenaan VR/AR-tekniikat siirrettiin suuriin valtion akateemisiin ja yrityslaitoksiin, jotka kuitenkin ymmärsivät potentiaalin käyttää tekniikoita lääketieteellisiin sovellutuksiin. Viimeisen kahden vuosikymmenen aikana on arvioitu useiden lääketieteellisten VR/AR-tekniikoiden kykyä tukea lääketieteellisten toimenpiteiden visualisointia, simulointia ja ohjausta sekä kykyä auttaa diagnoosin tekemisessä, suunnittelussa tai hoidossa. Kuvantamisdatan katselu kolmiulotteisena on ollut muun muassa lääketieteen parissa erityisen tärkeä kehityskohde, sillä kaksiulotteiset kuvat esimerkiksi kasvaimista eivät anna parasta mahdollista informaatiota potilaan hoidon suunnittelussa. (Sani 2020; Sutherland ym. 2019; Rheingold 1991, 29-34.)

4.4.2 VR-laitteistot

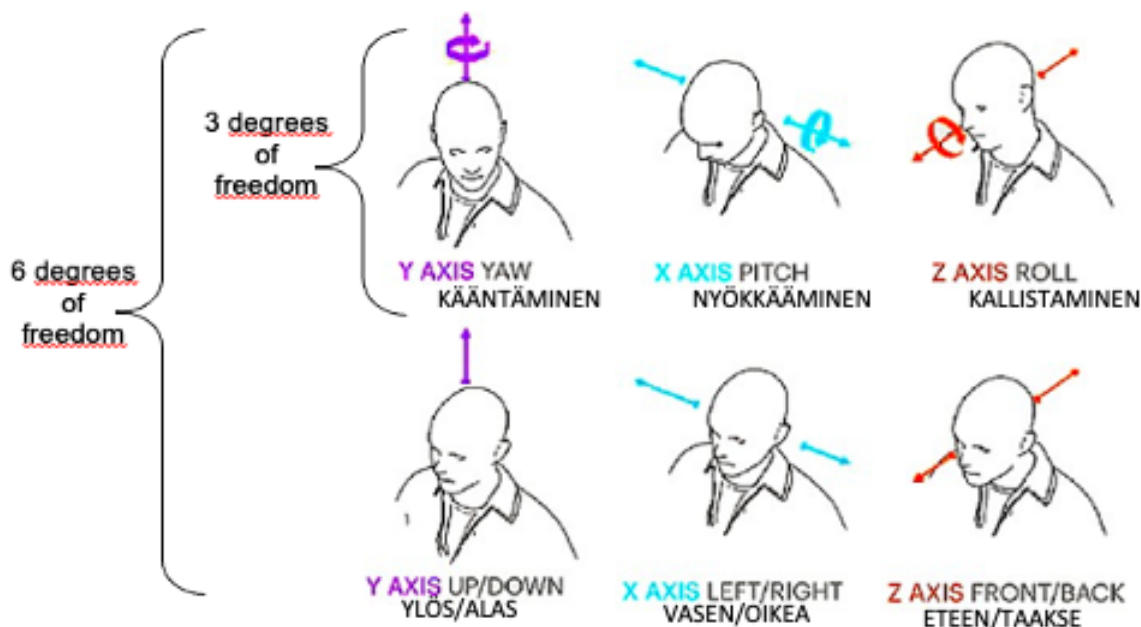
Tilallisuus on yksi tärkeimpiä osia VR-teknologiaa. Joissain ympäristöissä hyödynnetään ihmisen muita aisteja, kuten ääniaistia ja tuntoaistia, ja tarjotaan niitä stimuloivia ärsykyksiä (Mihelj, Novak & Beguš 2014). Kaksi virtuaalisen tai lisätyn todellisuuden kokemuksen luomiseen vaadittavaa vähimmäiskomponenttia ovat käyttäjän silmien tai pään asennon tunnistus ja virtuaalisten elementtien visualisointi käyttäjän näkökulmasta. Nämä kaksi komponenttia yhdessä luovat 3D-ympäristön, jonka kanssa käyttäjä voi olla vuorovaikutuksessa. (Sutherland ym. 2019; Charara 2017.)

Virtuaalilasit ovat HMD-mallisia (head-mounted display), ne asetetaan käyttäjän päähän ja ne pysyvät mukana liikkeessäkin. Virtuaalilasit ovat itsenäisiä tai ne liitetään tietokoneeseen, älypuhelimeen tai televisioon. Tähän samaan tarkoitukseen voidaan käyttää CAVE-ympäristöä, jossa käytetään kolmea tai useampaa projisointipintaa, jotka on synkronoitu käyttäjän käyttämien 3D-lasien kanssa. Käyttäjä voi seisoa kuvatilassa sisällä ja liikkua tai liikuttaa tilassa olevia kuvaobjekteja. (Sutherland ym. 2019; Charara 2017.)

Asennon ja tilallisuuden tunnistusta VR:ssa ja AR:ssa käytetään ensisijaisesti kuvan ja perspektiivin määrittämiseen reaaliajassa käyttäjän silmille näytettäväksi eli käyttäjän liikuttaessa päätä, laite tunnistaa tämän ja sen mukaan näyttää kuvan siitä kulmasta mistä sitä halutaan katsottavan. Tämän toiminnon lisäksi seuranta käytetään myös käyttäjän käsien tai kädessä pidettävien laitteiden (esimerkiksi ohjaimet) sijainnin määrittämiseen vuorovaikutuksen mahdollistamiseksi virtuaalielementtien kanssa. (Sharpless 2019; Sutherland ym. 2019.)

Asennon- ja tilallisuudentunnistustekniikkaa on yleensä kahta muotoa (kuva 7): täydellinen tunnistus eli liikeakselin kuuden asteen vapaus (6 degrees of freedom), joka sisältää kääntämisen, nyökkäämisen, kallistamisen ja ylös/alas, vasemmalle/oikealle, eteenpäin/taaksepäin liikesuunnat tai vain pyörivä tunnistus eli liikeakselin kolmen asteen vapaus (3 degrees of freedom), joka tunnistaa ainoastaan pään kääntämisen, nyökkäämisen ja kallistamisen. Pyörimissuuntaisen seuranta voidaan suorittaa yhdistämällä gyroskooppeja, kiihtyvyysmittareita

ja joskus magnetometrejä, joita kutsutaan inertiamittausyksiköiksi, joita tavallisesti esiintyy useimmissa älypuhelimissa. Täysi paikannusseuranta edellyttää tietokonenäön, laserpohjaisen seurannan, magneettisen seurannan tai näiden tekniikoiden yhdistelmän lisäkäyttöä. (Sharpless 2019; Sutherland ym. 2019.)



KUVA 7. Asennontunnistuksen vapausasteet (Sharpless 2019, muokattu)

Nykyisissä VR-laseissa visualisointi on toteutettu pienillä, korkean resoluution näytöillä. Hiljattain kehitetyt matalan viiveen (low latency) näyttötekniikat vähentävät merkittävästi pään liikkeistä johtuvaa näön hämärtymistä ja kuvan epäselvyyttä ja tekniikat ovat olleet edeltäjiinsä verrattuna keskeinen tekijä syvyyden tunteen luomisessa. Matalan viiveen näyttötekniikassa kuva näkyy vain osan aikaa koko kehysajasta ja lopuksi näkyy musta näyttö, ja koska kuvien päivittyminen tapahtuu vain millisekunneissa, se luo vaikutelman terävästä kuvasta. (Logical Increments 2020; Sutherland ym. 2019; Virtual reality society N.d.)

Hyvään VR-kokemukseen vaaditaan korkeaa frameratea (FPS, frames per second), eli kuinka monta kuvaa tietokone pystyy tuottamaan sekunnissa. Miniminä pidetään 90 FPS:ää, joka on suurempi kuin useimmiten tietokoneella käytetty 30-60 FPS. Liian pitkä viive kuvan vaihtumisessa päätä käännettäessä aiheuttaa sen, että kuva on aina hiukan jäljessä tai nykii ja johtaa epämiellyttävään koke-

mukseen. Päivitystaajuus tai virkistystaajuus kertoo kuinka usein kuva, jota katsotaan, päivitetään uuteen. Mitä korkeampi päivitystaajuus on, sitä vähemmän kuva tökkii. Korkea päivitystaajuus johtaa aina parempaan VR-kokemukseen, mutta vaatii laitteistolta myös paljon tehoa. (Logical Increments 2020; Sutherland ym. 2019; Virtual reality society N.d.)

Tunnetuimmat virtuaalilaseja valmistavat yhtiöt ovat Oculus, HTC, Valve, Microsoft, Samsung ja Google. Hintaluokka vaihtelee noin kahdesta sadasta eurosta tuhansiin euroihin. Halvimpia ovat pahvista valmistettavat ”Cardboard”-lasit, joihin kiinnitetään älypuhelin, ja jollaiset voi myös rakentaa itse. (Peckham 2016.) Alkuperäiset Google Cardboard lasit eivät olleet täysin oikeaa VR-teknologiaa ja niiden puutteet ja rajoitukset johtivatkin kehittyneempien lasien lanseeraukseen. Uudemman sukupolven lasien idea on sama, eli älypuhelin laitetaan sisään lasiin, se hoitaa kaiken prosessoinnin ja puhelimen ruutu toimii kuin VR-lasien näyttönä. Laseihin lisätyt napit, kosketuspaneelit, säätimet, sensorit ja pehmiikkeet parantavat elämystä huomattavasti. Uudet ominaisuudet mahdollistavat kuvan tarkkuuden ja linssivälin säädön, tarkemman päänsurannan ja vuorovaikutuksen virtuaalimaailman kanssa painikkeiden tai ohjaimen kautta. (Greenwald 2020; Noble 2020; Rubin & Grey 2020.)

Paranneltujen älypuhelimille suunniteltujen VR-lasien mukana markkinoille saapuivat myös kalliimmat täysin itsenäiset all-in-one (AIO) VR-lasit, sekä erittäin tehokkaan PC:n vaativat tietokone-VR-lasit. Tietokoneeseen liitettävät VR-laitteet tarjoavat parhaan kokemuksen, sillä ne saavuttavat korkeimman resoluution ja liikkeen tunteesta johtuva pahoinvoinnin riski on pienempi, mutta myös hinta on muita vaihtoehtoja huomattavasti korkeampi. All-in-one VR-lasit sisältävät kaikki tarvittavat komponentit ja käyttöjärjestelmä yleensä perustuu Androidiin. All-in-one lasien etuna on, että niiden käyttö on mahdollista lähes missä vain ja niitä voidaan käyttää usein myös tietokoneisiin kytkettyinä. (Greenwald 2020; Noble 2020; Rubin & Grey 2020.)

4.4.3 VR-teknologian soveltaminen biolääketieteen tutkimuksessa ja diagnostiikassa

Biolääketiede on yksi lääketieteen osa-alue, jossa sovitetaan biologista ja biokeemiallista tutkimusta ja kehittämistä kliniseen hoitoon. Biolääketieteessä otetaan selvää, mitä solutasolla tai kudostasolla tapahtuu. Biolääketieteellinen data on tutkimuksista, muun muassa laboratoriokokeista, saatavaa dataa, joka käytetään analysoimaan, ymmärtämään ja hyödyntämään biologisia prosesseja. (Gaines ym. 2003.)

Lääketieteessä on jo pitkän aikaa viety eteenpäin datan prosessoinnin ja visuaalisten esittämistekniikoiden kehitystä. Datan visualisoinnin haasteet kasvavat lääketieteen tuottaessa yhä laajempaa ja monimutkaisempaa dataa, kuten kuvia. Tämän vuoksi on kehitettävä jatkuvasti tehokkaita työkaluja, joilla biolääketieteen ja tutkimuksen dataa voidaan tulkita ja hyödyntää. (Linsen, Hamann, Hagen & Hege 2012.)

Datan visualisointi on lääketieteessä tärkeää, sillä sen avulla voidaan selventää lääketieteen kompleksisia ja dynaamisia ilmiöitä. Lääketieteellinen kuvantaminen alkoi 1800-luvun lopulla röntgenkuvilla. Aluksi diagnoosit saatiin tutkimalla filmiltä röntgenkuvia ja sittemmin siirryttiin digitaalisiin röntgenkuviin. Myöhemmin kehittyivät tietokonetomografiakuvaus, jossa röntgensäteiden avulla otetaan poikkileikkauskuvia ihmisestä tutkittavalta alueelta. Sen jälkeen on kehittynyt kuvien esittäminen 2D-muodon lisäksi myös 3D-muodossa. 3D-teknologia mahdollistaa usein kattavan kokonaiskuvan tilanteesta. (Preim & Bartz 2007.)

Tietokonekuvantamisen avulla ihmisestä saadaan useaa erilaista dataa, jota voidaan käyttää lääketieteessä hyödyksi. Tietokonekuvantamisen avulla voidaan saada dataa, jota pystytään analysoimaan, visuaalisesti esittämään ja tutkimaan. Tätä dataa voidaan käyttää myös opetustarkoitukseen, diagnosointiin, hoidon suunnitteluun ja leikkauksen aikaiseen tukeen. (Preim & Bartz 2007.)

Molekulaarinen visualisointi voi tarjota syvempää rakenteellista ymmärtämystä biologiasta ja farmakologiasta, jota ei saada millään muulla tavalla. Perinteisesti tutkijat ja kouluttajat ovat käyttäneet 2D-mallia edustamaan molekyyliarakenteita.

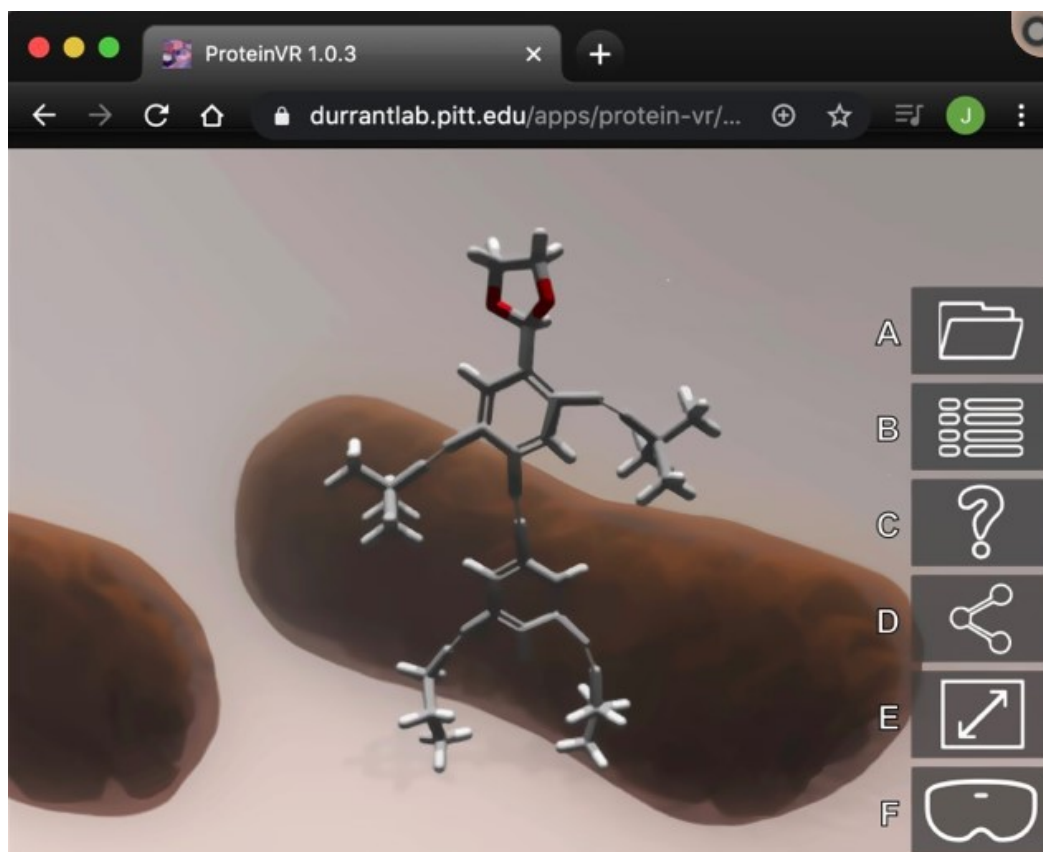
Huolellisesti varjostetut 2D-kuvat voivat välittää jonkin verran 3D-tietoa, mutta rakenteelliset yksityiskohdat, kuten syvyys, koko ja sijoittelu puuttuvat, mikä vaikeuttaa proteiinin aktiivisten kohtien, sitoutuvien domeenien ja toimintojen tarkkaa erottamista. Tavalliset molekyyli-visualisointiohjelmat, kuten avoimen lähdekoodin ohjelmat VMD (visual molecular dynamics) ja PyMOL parantavat 3D-ymmärrystä heijastamalla 3D-malleja 2D-näytöille, jolloin käyttäjät voivat kiertää ja tutkia niitä keinotekoisessa 3D-ympäristössä. Mutta nämä visualisoinnit ovat silti vain lähellä oikeita 3D-rakenteita - kuvia asioista ennemmin, kuin itse asioita. (Cassidy ym. 2020.)

Virtuaalitodellisuus päihittää nämä rajoitukset näyttämällä malleja stereoskooppisena 3D-muodossa. Käyttäjät pystyvät siten hahmottamaan paremmin proteiinien vuorovaikutuksia. Verrattuna perinteisiin visualisointitapoihin VR tarjoaa laajemman näkökentän ja antaa käyttäjille mahdollisuuden tarkkailla molekyyliä sisältä tarvitsematta kiinnitystasoja ja se vaatii vain pään liikkeitä näkökulman muuttamiseksi. (Cassidy ym. 2020.)

Cassidy ym. (2020) artikkelissaan esittelevät ProteinVR:n, uuden avoimen lähdekoodin järjestelmän, joka hyödyntää viimeaikaisia VR-saavutuksia proteiinien ja proteiini kompleksien visualisoinnissa. ProteinVR on VR-pohjaisten molekyyli-visualisointiohjelmien joukossa, koska se on kokonaan verkkopohjainen. ProteinVR:ää voi käyttää sekä tutkimus- että koulutusyhteisöissä. Sen avulla tutkijat voivat tutkia paremmin molekyyli rakenteita ja jakaa molekyylien visualisointeja yhteistyössä julkisten URL-osoitteiden kautta. (Cassidy ym. 2020.)

ProteinVR käyttää 3Dmol.js-kirjastoa molekyyli mallien luomiseen VR-katselua varten. 3Dmol.js on JavaScript-kirjasto, joka näyttää molekyyli rakenteet 2D:nä HTML-pohjaisena. Tätä varten sen on tallennettava nämä rakenteet 3D-malleina muistiin. Tärkeää on, että 3Dmol.js sisältää mahdollisuuden viedä nämä sisäiset mallit virtuaalitodellisuuden mallintamiskielen (VRML) muotoon. 3Dmol.js-kirjasto toimii taustalla ja lukee 3D VRML-tiedot suoraan. Se käyttää näitä tietoja muuntamaan molekyyli mallit VR-näkymään. ProteinVR käyttää 3D-ympäristöä molekyyli mallien tarkastelussa, jotta käyttäjä hahmottaa paremmin molekyylin rakenteen (kuva 8). Näiden ympäristöjen luomiseen on tässä käytetty avoimen lähde-

koodin 3D-mallinnusohjelmaa Blenderiä. Ohjelma laskee muuttumattomille ja liikukumattomille kohteille varjot ja tekstuurit. Tällaiset esirenderöintiympäristöt parantavat selaimen suorituskykyä. ProteinVR:ssä on käytetty 3D-grafiikkaa ja VR-laseja. Se on ohjelmoitu TypeScript-kielellä, joka voidaan muuntaa JavaScriptiksi, jotta sitä voi käyttää webiselaimella. (Cassidy ym. 2020.)



KUVA 8. Näkymä ProteinVR:n molekyylivisualisoinnista (Cassidy ym. 2020)

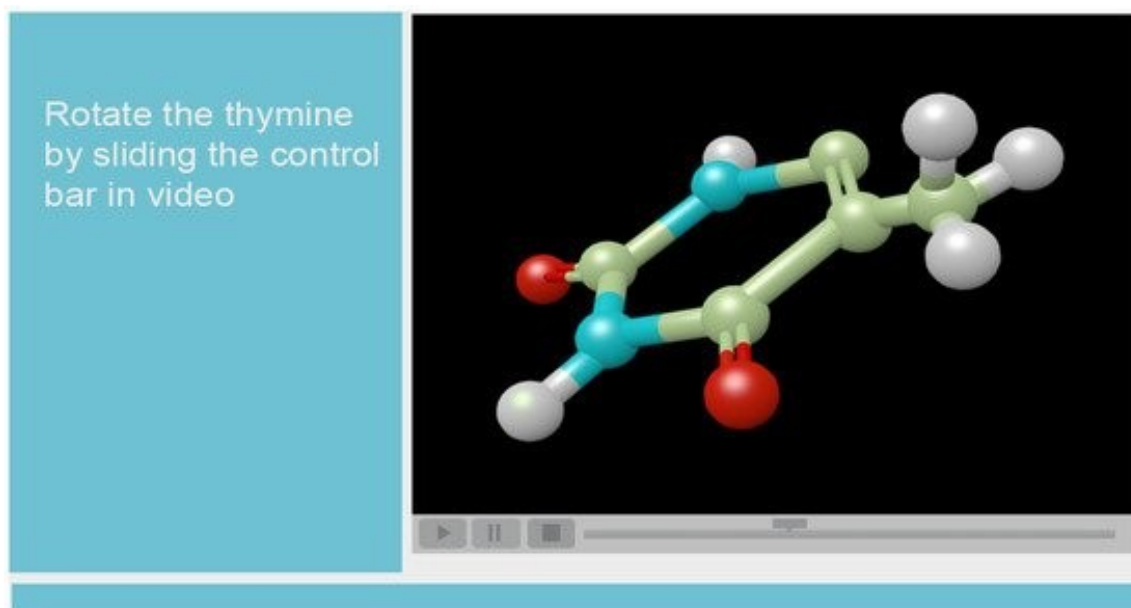
Johnston ym. (2018) ovat käyttäneet huipputeknologiaa tehdäkseen sarjamuotoisen skannauselektronimikroskoopin (SBEM) kuvantamisdatasta solun 3D-virtuaalimallin. Tämä malli antaa tutkijoille, opiskelijoille ja yleisölle mahdollisuuden tutkia "oikeaa" solua. Tämän virtuaaliympäristön varhainen testaus osoittaa merkittävän parannuksen opiskelijoiden ymmärtämisessä soluprosesseista ja viittaa oppimisen uuteen tulevaisuuteen sekä tutkijoiden ja yleisön keskinäiseen ja molemminpuoliseen vuorovaikutukseen. Artikkelissaan Johnston ym. (2018) ajattelevat VR:n voivan olla tulevaisuudessa uusi työkalu soluarkkitehtuuria ja -prosesseja tutkiville tutkijoille lisäämällä VR-malleihin molekyyli-tiedot.

Mikroskopiatietojen suoralla visualisoinnilla on kuitenkin useita haasteita, kuten kohina (esimerkiksi fluoresenssimikroskopia) ja kuinka kunkin kuvan sisältämä olennainen tieto saadaan korostettua. Hybridi-lähestymistapaa käyttämällä elektronimikroskopiolla saatu korkean resoluution ja kontrastin suhde voidaan yhdistää fluoresenssimikroskopiasta saatuihin dynaamisiin tietoihin. Raakamikroskopiakuvien kääntäminen 3D-malliksi vaatii tällä hetkellä merkittävää kuratointia kuvien kaikkien eri ominaisuuksien tunnistamiseksi. Johnstonin ym. (2018) artikkelissa kuvataan työnkulku rintasyöpäsolun VR-mallin kehittämiseksi sarjamuotoisen skannauselektronimikroskoopin kuvista.

Safadelin & Whiten (2020) tutkimuksessa tutkittiin tietokoneella generoidun virtuaalitodellisuuden etuja. Joukko opiskelijoita laitettiin suorittamaan ohjeellinen opetusohjelma DNA:sta ja nukleotidimolekyyleistä virtuaalitodellisuudessa ja tietokoneen ruudulla. Tutkimuksessa selvisi, että virtuaalitodellisuuden käytöstä oli selkeää hyötyä eniten niille, joiden avaruudellinen hahmotuskyky oli heikompi. Voidaan todeta, että ihmisten kyky nähdä asioita eri kulmista pelkän mielikuvituksen avulla vaihtelee yksilöllisesti. Monet tutkijat kertovat hahmotuskyvyn tason olevan merkittävä luonnontieteellisillä aloilla oleville henkilöille. Esimerkiksi kemian, biokemian, arkkitehtuurin ja lääketieteen aloilla on merkittävä ero asian oppimisessa, kun asian pystyy näkemään eri kulmista ja visualisoimaan mielessään. Virtuaalitodellisuuden avulla pystytään näillä aloilla opiskelevien ja työskentelevien avaruudenhahmotuskykyä stimuloimaan. (Safadel & White 2020.)

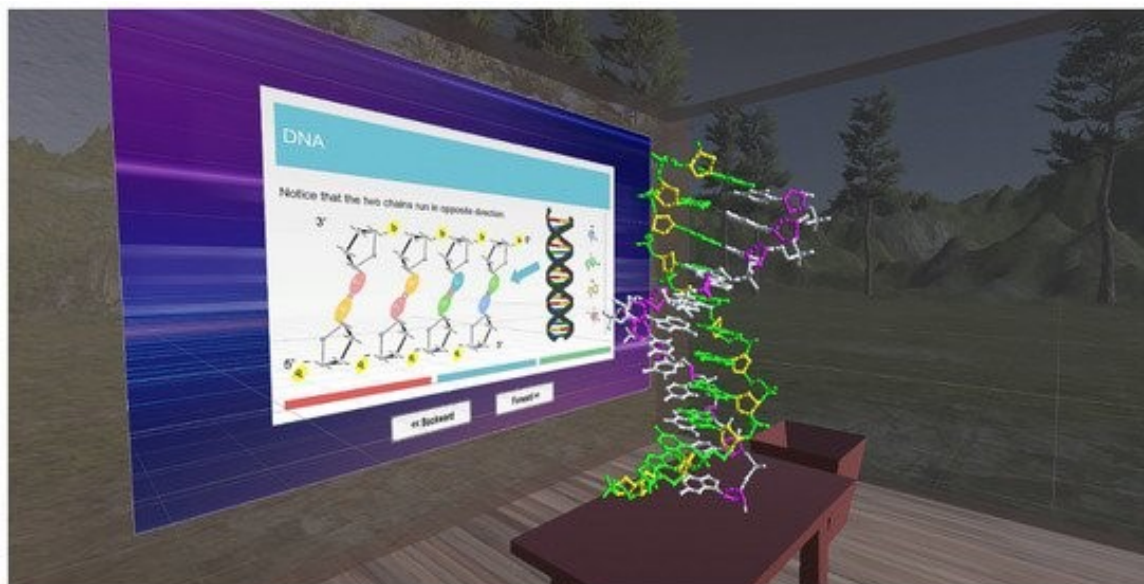
Samassa tutkimuksessa VR- ja 3D-ympäristöjen luomiseen käytettiin erilaisia 3D-visualisointiohjelmia. Näillä saatiin luotua tehokas VIE (virtual immersive environment). 3D-makromolekyylien luomiseen käytettiin Protein Data Bankia (PDB), joka on pankki kolmiulotteisille biologisille makromolekyyleille, kuten proteiineille ja nukleiinihapoille. Biokemian osaston asiantuntijat olivat luoneet oppimateriaalin. Opetusohjelmassa oppilaille esiteltiin nukleiinihappojen rakenne ja näytettiin esimerkiksi, että deoksiribonukleiinihappo (DNA) koostuu fosfaatista, deoksiriboosista ja neljästä pääemäksestä: adeniinista, guaniinista, sytosiinista ja tyymiinista (kuva 9). DNA on nukleotideistä koostuva polymeeri. Nukleotidi koostuu fosfaattiryhmästä, pentoosisokerista ja yhdestä neljästä vastaavasta emäksestä. DNA:n molekyylin selkäranka on ketju toistuvia deoksiriboosifosfaattiyksi-

köitä. DNA koostuu kahdesta ketjusta kaksoiskierteen muodossa. DNA:ssa adeniiini sitoutuu vain tymiiniin vastakkaisissa ketjuissa ja guaniini sitoutuu vain sytosiiniin vastakkaisissa ketjuissa. (Safadel & White 2020.)



KUVA 9. 3D-kuva tymiinistä (Safadel & White 2020)

Opetusohjeet heijastettiin virtuaalitodellisuudessa olevalle näytölle (kuva 10) kuin luokkahuoneen diaesityksessä ja oppilaat olivat vuorovaikutuksessa virtuaalitodellisuuden kanssa VR-ohjaimillaan. Esimerkiksi opiskelijat opettelivat, että jokaisella DNA-molekyyllä on kaksi nukleotidisädetä ja sokerimolekyylin suunta vastakkainen kahdessa säikeessä. He oppivat myös tunnistamaan pääurat sekä pienemmät urat, jotka johtuvat kahden selkärankaosan vastakkaisesta järjestelystä. Virtuaalitodellisuudessa oppilaat saivat myös välitöntä palautetta tekemistään. (Safadel & White 2020.)

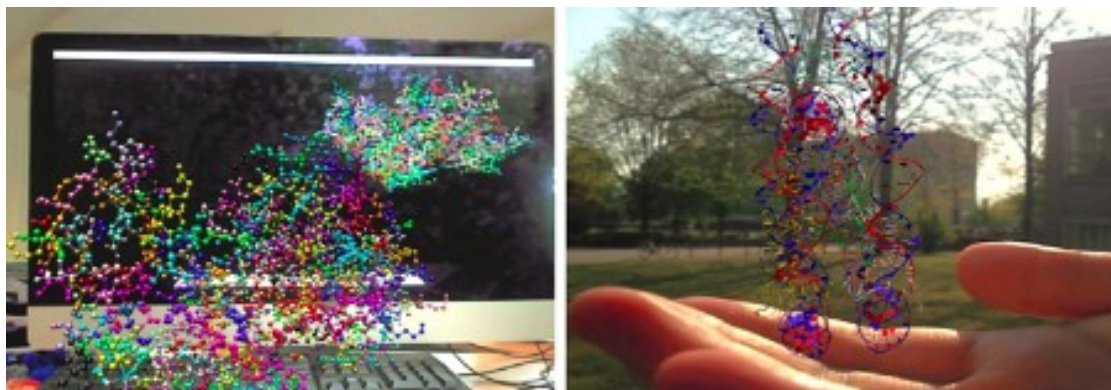


KUVA 10. Näyttökuva DNA-mallista VR-ympäristössä (Safadel & White 2020)

Müller ym. (2020) kertoo artikkelissaan HoloLens-lasien käytöstä interaktiivisessa molekulaaristen grafiikoiden esittämisessä. Microsoftin HoloLens-lasit ovat sekoitetun todellisuuden (mixed reality) lasit. HoloLens-lasien avulla voi katsella todellisen maailman päälle lisättyjä hologrammeja. Hologrammeja pystyy myös muokkaamaan erilaisiksi ja toimimaan niiden kanssa. Hologrammit voivat olla paikallaan tai liikkua. HoloLens-laseissa on Microsoftin käyttöjärjestelmä ja ne toimivat täysin langattomasti, eli niiden kanssa pystyy liikkumaan vapaasti. HoloLens-lasien ohjaaminen tapahtuu puhumalla tai käsielein. Päättä liikuttamalla liikkuu näkökentässä myös piste, jonka tarkoituksena on vastata tietokoneen hiirtä. Müller ym. (2020) kertoivat, että uudenlaiset HoloLens-lasit avaavat uusia mahdollisuuksia molekyylivisualisoinnissa. Ratkaiseva tekijä oli molekyylidatan hahmotusnopeus. (Müller ym. 2020.)

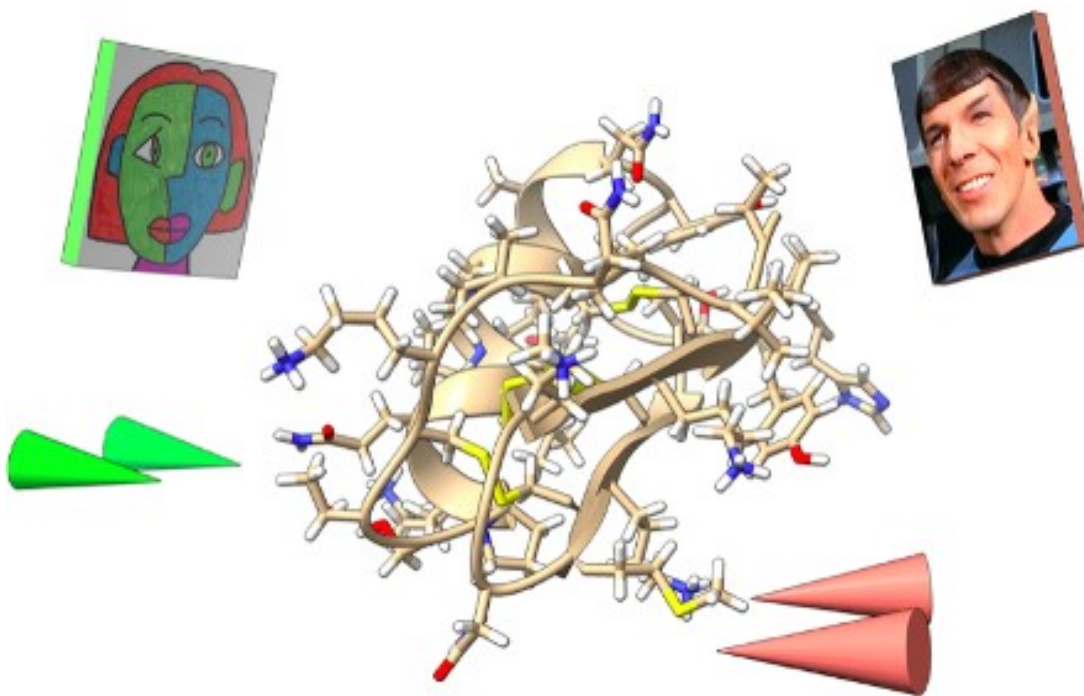
Vuonna 2017 tutkijat Zheng ja Waller kehittivät lisätyn todellisuuden sovelluksen, ChemPreview:n, jolla voi tarkastella ja muokata biomolekulaarisia rakenteita. Sovellusta voi käyttää käsieleiden (hand gestures) avulla. Kuvassa 11 on näyttökuvia ChemPreview-sovelluksesta. Esitettävä malli täytyy rakentaa atomeista ja liittää ne atomitasolla, jotta rakennemuutoksia voi tehdä. Mallit, jotka sisältävät tämän kaltaista yksityiskohtaisuutta vaativat tietokoneelta ison muistikapasiteetin. Tämä on ongelmallista varsinkin biomolekyylien mallintamisessa, joissa usein on

monia tuhansia atomeja. ChemPreview-sovellus on kirjoitettu C#-kielellä ollakseen vuorovaikutuksessa isojen biomakromolekyylien kanssa lisätyssä todellisuudessa. (Zheng & Waller 2017.)



KUVA 11. Näyttökuvia ChemPreview-sovelluksesta

VR-visualisointiin on tehty muitakin sovelluksia kuten esimerkiksi The Body VR, jonka avulla pääsee tutustumaan verenkiertoon ja solun ytimeen. NanoOne on sovellus, joka on oppimistyökalu orgaanisten molekyylien rakentamiseen. Lisäksi on muun muassa verkkotyökalut Autodesk Molecule Viewer ja RealityConvert, joilla voi visualisoida proteiinin rakenteita. The Molecular Zoo-sovellus on myös oppimistyökalu lapsille. ChimeraX on ohjelma biomolekyylisten rakenteiden visualisointiin ja analysointiin (kuva 12). (Goddard ym. 2018.)



KUVA 12. ChimeraX VR kokoustoiminto näyttää jokaisen osallistujan irrallisena päänä ja kartiokädet osoittamiseen (Goddard ym. 2018)

Teatime Research on myös tuonut saataville oman VR-visualisointiohjelmansa, Vrifierin, jonka avulla 3D-malleja voi tarkastella VR-ympäristössä. Teatime Research osallistui vuonna 2017 LUMAT (luonnontieteet-matematiikka) konferenssiin, jossa he esittelivät visualisointiohjelmansa yleisölle. Osallistujat pystyivät katsomaan ja käsittelemään muun muassa TT-skannatun gekon kalloa. Vrifier on suunniteltu käytettäväksi monenlaisten 3D-mallien tai paikkatietoaineistojen kanssa, olivatpa ne käyttäjän luomia tai online-tietokannoista hankittuja. Se on suunniteltu museoiden ja kouluttajien käytettäväksi suoraan ja helposti, se on melkein kuin VR-ympäristön PowerPoint. (Karme & Happonen 2017.)

4.4.4 VR-tekniikan soveltaminen lääketieteessä

Virtuaalinen ja lisätty todellisuus ovat pyrkineet vastaamaan lääketieteen 3D-visualisointitarpeisiin jo 1990-luvun alusta lähtien. Varhaiset sovellukset keskittyivät monimutkaisen anatomian visualisointiin kirurgisten toimenpiteiden suunnittelun ja koulutuksen ohessa. Kirurgisen suunnittelun prosessissa käytettiin laitteistoa, jonka oli kehittänyt Yhdysvaltain kansallinen ilmailu- ja avaruushallinto.

Nykyään lääketieteen virtuaalitodellisuus käsittää lääketieteellisen koulutuksen, kirurgisen suunnittelun, viestinnän helpottamisen ja laajan valikoiman terapeutisia toimenpiteitä. (Sutherland ym. 2019.)

Lääketieteellisillä aloilla virtuaalitodellisuuden avulla pyritään simuloimaan todellinen läsnäolo keinotekoisesti luodussa ympäristössä. Virtuaalitodellisuudelle on useita käyttökohteita lääketieteellisillä aloilla, joten sen soveltuvuutta pystytään myös arvioimaan. Alan asiantuntijat luovat vuorovaikutteisia 3D-maailmoja koulutukseen ja harjoitteluun esimerkiksi kriittisiä tilanteita varten. Tutkimusten mukaan virtuaalitodellisuuden käytön potentiaali lääketieteellisillä aloilla on yleisesti ottaen hyvä. Virtuaalitodellisuutta on käytetty tehokkaasti parempien kirurgisten tekniikoiden löytämiseksi. Potilaan anatomiasta voidaan luoda yksityiskohtainen malli ja lääkäri pystyy helposti liikkumaan ja katselemaan mallia eri kulmista. Tätä tekniikkaa käytetään apuna tällä hetkellä kardiologiassa ja neurologiassa potilaiden paranemisen seurantaan ja edistämiseen. VR-tekniikasta on apua trauma- ja murtumatilanteissa. VR-tekniikkaa kehitetään käytettäväksi sairaaloissa kuntoutus- ja koulutusmenetelmänä. VR-tekniikka on todettu tehokkaaksi ja positiiviseksi tulevaisuuden opetustekniikaksi ja se on johtanut luoviin ja jännittäviin löytöihin. (Javaid ym. 2019.)

Viime vuosien aikana on tehty lääketieteellisiä tutkimuksia, joissa VR-teknologiaa on käytetty apuna. Tutkimuksessaan Ayerbe ym. (2020) kertoivat, että yhdeksänvuotiaan tytön sydänvika oli pystytty korjaamaan VR-teknologiaa hyödyntäen. Kuvantamisen avulla saadut kuvat oli muutettu kolmiulotteisiksi malleiksi ja visualisoitu virtuaalitodellisuusjärjestelmässä, jotta sydämen synnynnäisten poikkeamien kirurginen korjaamisen suunnittelua voitiin helpottaa. VR-teknologian käyttäminen antoi suunnitteluun selkeämmän näkökulman. Myös toisessa tutkimuksessa (Goo ym. 2020) on tutkittu synnynnäisen sydänvian hoitoon apuna käytettyä visualisointitekniikkaa. Visualisoinnilla on todettu olevan merkittävä rooli synnynnäistä sydänvikaa sairastavien potilaiden diagnosoinnissa, hoidon suunnittelussa ja hoidon jälkeisessä seurannassa. Realistisemmat lääketieteelliset kokemukset hyödyntävät edistyneitä visualisointitekniikoita, kuten virtuaalitodellisuutta. Visualisointitekniikat parantavat sydänsairauden monimutkaisten syiden ymmärtämistä. (Ayerbe ym. 2020; Goo ym. 2020.)

Virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden tekniikoilla on paljon potentiaalisia rooleja lääketieteessä. Artikkelissaan Sutherland ym. (2019) järjestävät ne sen perusteella, kuinka suorassa vuorovaikutuksessa ne ovat potilaan kanssa. Jos potilas ei ole läsnä, ovat VR ja AR lääkärin työkaluja ja toiminnan suunnittelun apuvälineitä. Potilaan näkökulmasta virtuaalitodellisuus voi parantaa lääkärin määräämää hoitoa. Virtuaalista ja lisättyä todellisuutta voidaan käyttää myös välineenä auttamaan potilaita ymmärtämään terveydentilaansa tai heille annettua hoitoa paremmin. VR-sovelluksia tarkasteltiin jo vuonna 1998 suunnilleen samoilla sovellusluokilla kuin nyt 20 vuotta myöhemmin. (Sutherland ym. 2019.)

Monet tutkimukset, jotka osoittavat VR:n hyödyllisyyden lääketieteessä, ovat lääketieteelliseen koulutukseen liittyviä. Yhdessä tutkimuksessa kaksitoista toimenpidekardiologia jaettiin satunnaisesti kahteen yhtä suurikokoiseen ryhmään. Toinen ryhmä sai koulutuksen kaulavaltimon toimenpiteeseen VR-simulaatiolla ja toinen ryhmä sai perinteisen koulutuksen. Molemmilla ryhmillä oli runsaasti kokemusta suonensisäisistä katetritoimenpiteistä, vaikka yksikään kahdestatoista kokeneesta kardiologista ei ollut suorittanut ko. toimenpidettä ennen tätä tutkimusta. Toinen ryhmä harjoitteli VR-simulaattorilla ja heillä oli kaiken kaikkiaan parempi suorituskky kuin perinteisesti koulutetuilla. (Cates ym. 2016.)

Muut tutkimukset tukevat näitä tuloksia. Virtuaalitodellisuutta on käytetty menestyksekkäästi erikoistuvien lääkärrien toimenpideharjoittelussa, esimerkiksi lannepiston harjoitteluun (Ali ym. 2018) tai monimutkaisen selkäydinanatomian ymmärtämiseen paremmin (Ramlogan ym. 2018). VR/AR-menetelmillä näyttää olevan tulevaisuus myös toimenpideradiologiassa. Samanlaisia tuloksia saatiin myös muilta erikoisaloilta. Esimerkiksi vainajilla tehdyt tähystystutkimukset osoittivat, että kyseisellä kuvantamisella saavutetaan pääsy helpommin vaikeisiin kohde-eliimiin. (Azagury ym. 2012.)

VR-teknologiaa on käytetty myös opetustarkoituksessa. Biologian ja biokemian opiskelijoita on opetettu visualisoimaan ja ymmärtämään makromolekyylien, kuten proteiinien ja DNA:n monimutkaiset rakenteet. Aiemmin opetukseen on käytetty pelkästään 2D-malleja, mutta Petersonin ym. (2020) tutkimuksessa opetuksen apuna käytettiin 3D-malleja. Tutkimuksessa kehitettiin uusi työnkulku, jonka avulla makromolekyylien rakenteita tarkasteltiin 3D-muodossa. Tutkimukset

osoittivat, että opiskelijat pitivät tätä opiskelumuotoa kiinnostavana ja kokivat suurempaa kiinnostusta biomolekyyliarakenteisiin harjoituksen jälkeen. Lisäksi Panesarin ym. (2020) tutkimuksessa käytettiin VR-teknologiaa opetuksessa apuna. Tutkimuksessa luotiin potilaasta kolmiulotteisia malleja neurokirurgian suunnitteluun ja koulutukseen. Tutkimuksessa todettiin, että potilaskohtaiset 3D-mallit ovat hyödyllisiä neurokirurgiassa. Niitä voidaan käyttää visualisoinnin apuna kirurgille ja potilaille sekä opiskelijoiden koulutuksessa. (Panesar ym. 2019; Peterson ym. 2020.)

Tällä hetkellä lääketieteellisessä diagnostiikassa ja leikkausten suunnittelussa käytetään mallinnukseen tietokonetomografiakuvausta (TT), magneettikuvausta, isotooppikuvausta, ultraääntä ja varjoainekuvausta TT:llä tai magneettikuvauksella. TT-kuvauksella saadaan 3D-kuvaa potilaasta, mutta sitä ei juurikaan voida käyttää leikkauksen aikana toimenpiteen ohjaukseen. Magneettikuvauksella saadaan tarkempaa kuvaa pehmytkudoksista ja röntgensäteille altistuminen on merkittävästi vähäisempää, mutta toimenpiteitä varten sopivia laitteita on vasta vähän ja ne ovat kehitysvaiheessa. Varjoaine-TT-kuvaus on röntgensäteilystä huolimatta yleisin kuvausmenetelmä toimenpideradiologiassa. Hankitut kuvatiedostot voivat olla melko suuria, mikä tekee niistä haastavia käyttää reaaliajassa. Yleinen lähestymistapa on poimia kiinnostavat tiedot ja luoda niistä malleja, joita voidaan käyttää toimenpiteiden suunnittelussa ja interaktiiviseen visualisointiin toimenpiteen aikana. Anatomisia malleja käytetään yleisesti kuvaohjatuissa toimenpiteissä, ja ne koostuvat pääasiassa mielenkiinnon kohteena olevan elimen mallista, joka on luotu käyttämällä kuvan segmentointia. Lääketieteellinen kuvadata muunnetaan 3D-malleiksi, joita voi katsoa VR-laseilla. (Rouvinen 2020; Linte ym. 2013.)

Laparoskooppisen (tähystämällä suoritettavan) kirurgian koulutuksessa asiantuntijat ohjaavat aloittelevia lääkäreitä haluttuihin paikkoihin yleensä suullisesti tai fyysisten osoitinlaitteiden avulla. Jotta työnkulku saadaan steriilimmäksi ja koulutusta parannettua, tarvitaan uusia ohjaustapoja. Heinrichin ym. (2021) tutkimuksessa käytettiin osoittamisen apuna HoloPointeria, joka on virtuaalinen lisätyn todellisen osoitin. Tutkimuksessa kokenut lääkäri ohjeisti aloittelevia lääkäreitä joko HoloPointerin avulla tai perinteisesti sanallisesti selostaen laparoskooppisessa sappirakon poistoleikkauksessa. Tutkimuksessa mitattiin toimenpiteeseen

kulunutta aikaa, liikkeiden määrää ja niiden taloudellisuutta sekä tapahtuneita virheitä. Tutkimuksessa selvisi, että HoloPointer paransi lääkärin suoritusta pidentämättä toimenpiteeseen käytettyä aikaa. (Heinrich ym. 2021.)

4.4.5 Käyttäjäkokemus ja käytettävyys virtuaalitodellisuudessa

Käyttäjäkokemus kattaa näkökulmia loppukäyttäjän, yrityksen ja sen palveluiden välillä. Hyvä ja toimiva käyttäjäkokemus syntyy, kun asiakas kokee, että hänen tarpeensa on toteutettu sujuvasti. Tuotteen omistamisesta tai palvelun käyttämisestä asiakkaalle tulevaa iloa pidetään myös käyttäjäkokemuksena. Käyttäjäkokemus ei ole ainoastaan asiakkaan kokemus käyttöliittymästä, vaan se on paljon enemmän. (Norman 2016.)

Käyttäjäkokemus koostuu palvelun hyödyllisyydestä, käytettävyydestä, sosiaalisesta arvosta ja sovelluksen tuomasta nautinnosta tai viihdyttävyydestä. Palvelun hyöty pitää sisällään hyödyllisuuden ja toimintavarmuuden. Käytettävyys koostuu helppokäyttöisyydestä, tehokkuudesta ja saavutettavuudesta. Sosiaalinen arvo sisältää sosiaalisuuden ja samaistumisen. Viihtyvyys koostuu palvelun tuottamasta viihtyvyydestä ja visuaalisesta stimulaatiosta. Erilaiset palvelut painottavat käyttäjäkokemuksen eri asioita. Käyttäjäkokemusta suunnitellessa on tärkeää huomioida asiakkaan arvomaailma ja myös se, mitä arvoa tuote käyttäjälleen tuo. (Vainio-Väänänen-Mattila 2015, 123-124; Immonen 2013.)

Virtuaalitodellisuuden käyttöön liittyvä käyttäjäkokemus voidaan jaotella Barnesin (2016) mukaan kolmeen eri ryhmään. Nämä eri ryhmät vaikuttavat kuluttajan kokemukseen ja sitoutumiseen. Vaikuttavia ryhmiä ovat VR:n tekninen puoli, käyttäjän psyykkiset ominaisuudet sekä sosiaaliset vaikutteet. VR:n tekniseen puoleen kuuluvat muun muassa VR-tekniikan mahdollistavat laitteet ja ohjelmistot. Käyttäjä saa paremman käyttäjäkokemuksen, kun VR-tekniikka on toteutettu erinomaisesti. Käyttäjän psyykkiset ominaisuudet vaikuttavat myös käyttäjäkokemukseen. Mikäli käyttäjä pystyy käyttämään laajasti mielikuvitustaan ja luomaan mielikuvia esimerkiksi ihmisistä ja tapahtumista, niin sitä paremman käyttäjäkokemuksen hän saa virtuaalitodellisuudesta. Haapalainen (2020) toteaa, että sosiaalinen pääoma ja sosiaalinen vuorovaikutus ovat tärkeässä roolissa kuluttajien

sitouttamisessa ja sosiaalisen läsnäolon kokeminen rikastuttaa käyttäjäkokemusta. (Haapalainen 2020.)

Käytettävyys on oleellinen osa käyttäjäkokemusta, mutta sen tarkoituksena on keskittyä puhtaasti tuotteen tai palvelun teknisiin toimintoihin ja toimivuuteen. Käytettävyys tarkoittaa sitä, kuinka hyvin jonkin palvelun tai laitteen toimintoja voidaan käyttää haluttuun toimintoon. Se tarkoittaa palvelun tai laitteen helppo-käyttöisyyttä. Käytettävyyteen vaikuttavat suuresti palvelun toiminnot. Palvelun käytettävyys kertoo, kuinka toimintojen käytössä on onnistuttu ja toiminnot taas määrittävät palvelun teoreettisen hyödyn. (Immonen 2013.)

Jacob Nielsenin käytettävyyismääritelmän mukaan käytettävyys jakaantuu viiteen osa-alueeseen, jotka ovat opittavuus, käytön tehokkuus, muistettavuus, virheettömyys ja tyytyväisyys. Opittavuus tarkoittaa, kuinka nopeasti käyttäjä oppii palvelua käyttämään. Käytön tehokkuudesta kertoo se, kuinka tehokkaasti käyttäjä pystyy palvelun avulla suorittamaan haluamansa tehtävän. Muistettavuus tarkoittaa sitä, että kuinka hyvin käyttäjä muistaa palvelun käytön, vaikka ei olisi hetkeen palvelua käyttänyt. Virheettömyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka vähän käyttäjä tekee virheitä palvelua käyttäessään. Tyytyväisyys merkitsee käyttäjän kokemusta palvelun mielekkyydestä. (Immonen 2013; Nielsen 1993.)

4.5 Ketterä ohjelmistokehitys

Tietojärjestelmän kehittäminen edellyttää suunnitelmallisuutta, koska se on melko työläs ja monimutkainen prosessi. Tämän vuoksi tietojärjestelmien kehitystyöhön on kehitetty menetelmiä, joiden avulla kehitystyötä organisoidaan ennalta määriteltyjen vaiheiden, tehtävien, tuotosten ja muiden elementtien avulla. Se mahdollistaa tietojärjestelmien rakentamisen suunnitelmallisesti ja systemaattisesti. Kehittämistyö jakautuu vaiheisiin, jotka määrittävät työn tehtäväkokonaisuudet ja vaiheistavat koko kehitysprojektin. (Nopanen 2016, 7.)

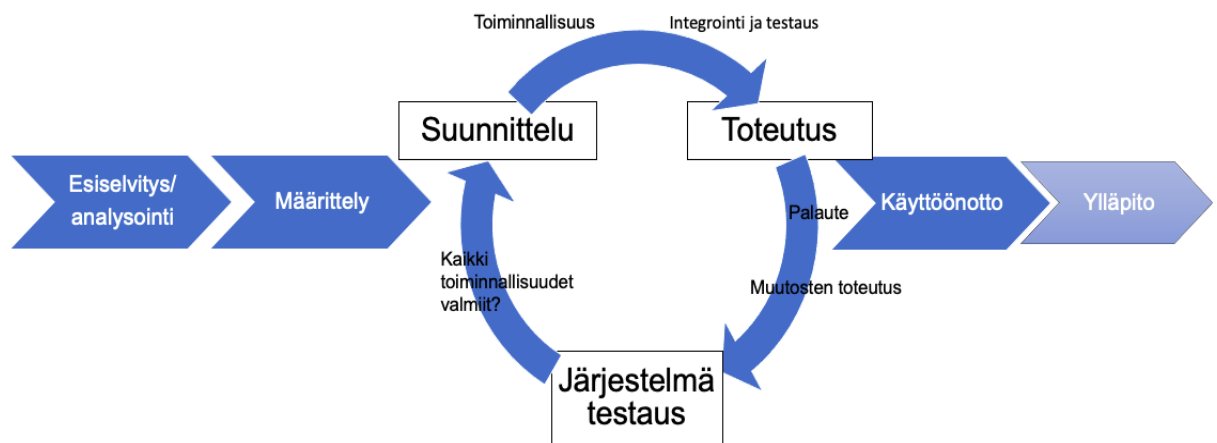
Tietojärjestelmän kehityksessä yleisesti käytössä olevia vaiheita on seitsemän. Ensimmäinen vaihe on esiselvitys, jossa ymmärretään ongelmakenttä, selvitetään, onko kehityshanketta ylipäänsä mahdollista ja mielekästä toteuttaa. Tämän

jälkeen seuraa määrittelyvaihe, jossa kuvataan järjestelmän toimintoja ja laaditaan järjestelmän toiminnallinen määrittely. Määrittelyiden jälkeen edetään suunnitteluvaiheeseen, toiminnallinen määrittely muunnetaan ei-toiminnalliseksi määrittelyksi eli tekniseksi määrittelyksi. Ei-toiminnallisessa määrittelyssä laaditaan tarkat suunnitelmat siitä, kuinka järjestelmä tullaan toteuttamaan. Tämän jälkeen on vuorossa toteutusvaihe, jossa ohjelmisto toteutetaan jollakin ohjelmointikielellä. Seuraavaksi toteutettu ohjelmisto testataan eli todennetaan, toimiiko se määrittelyiden ja suunnitelmien mukaisesti. Testauksen mentyä läpi hyväksytysti, voidaan siirtyä käyttöönottovaiheeseen. Siinä järjestelmä asennetaan tuotantoympäristöön ja suoritetaan tarvittavat migraatiot tiedostoille. Viimeisin vaihe on samalla järjestelmän pisin vaihe, ylläpitovaihe. Ylläpitovaiheessa järjestelmästä korjataan mahdollisia virheitä tai tehdään muutoksia tarvittaessa. Lopulta järjestelmä poistetaan käytöstä sen elinkaaren loppuksi. Vaiheet kattavat tietojärjestelmän elinkaaren alusta loppuun saakka. (Nopanen 2016, 7.)

Ketterissä ohjelmistokehityksen menetelmissä lähestymistapa on usein iteratiivinen. Tämä tarkoittaa sitä, että työvaiheita toistetaan, kunnes saavutetaan haluttu lopputulos. Tarkoituksena on tuottaa jokaisen lyhyen jakson päätteeksi asiakkaalle jokin toimiva tuotteen osa. Jokainen iteraatio sisältää samat ohjelmistokehityksen vaiheet kuten edellä, mutta lyhyiden jaksojen aikana havaitaan nopeasti, toimiiko idea ja virheitä on helpompi ja halvempi korjata lyhyiden vaiheiden jälkeen. Ohjelmia on nykyään kuitenkin mahdollista kehittää useilla eri tavoilla, eivätkä kaikki mallit ole lineaarisesti vaiheesta toiseen eteneviä, kuten vesiputousmallissa, jossa ohjelmistokehitys etenee vaiheesta toiseen järjestyksessä, alkaen määrittelystä ja päättyen testaukseen ja toimitukseen. (Kaipainen 2016, 2; Eloranta 2015, 29-30.)

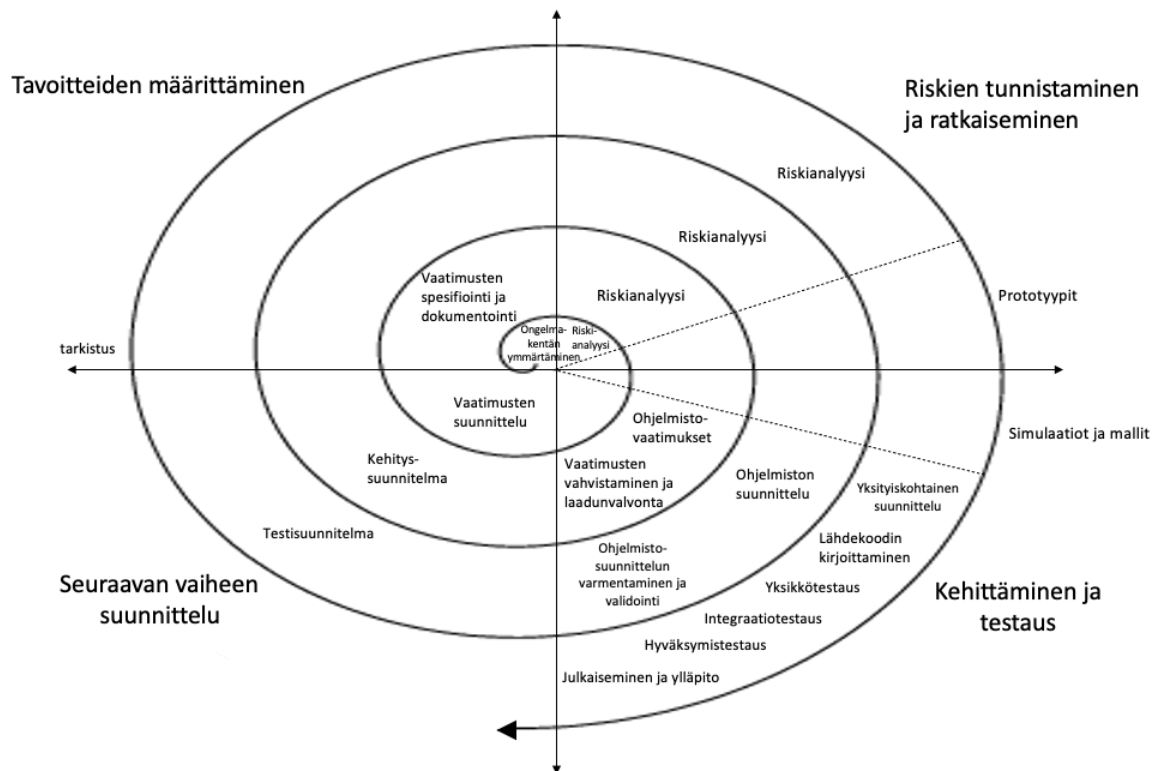
Yhteistä ketterille menetelmille on iteratiivinen, inkrementaalinen ohjelmistokehitys, eli vaiheita käydään uudestaan ja uudestaan läpi, jonka myötä ohjelmisto kehittyy vähitellen. Kuva 13, jonka opinnäytetyön tekijät ovat muokanneet monesta eri lähteestä (Hallikainen 2019, 8; Kaipainen 2016, 3; Eloranta 2015, 29-30; Väyrynen 2014; Toro 2011), havainnollistaa ketterän ohjelmistokehityksen peruseriaa. Kuvasta käy ilmi, että iteraatiossa tehdään useita sellaisia asioita kerralla, joita esimerkiksi vesiputousmallin mukaisessa ohjelmistokehityk-

sessä tehtäisiin kokonaan eri projektin vaiheissa. Yhden iteraation aikana kehitetään ominaisuuksia, integroidaan ja testataan ne, esitellään asiakkaalle saavutetut tulokset sekä pyydetään palautetta. Tästä edetään seuraavaan iteraatioon kehittämällä joko samoja ominaisuuksia tai siirrytään kehittämään uusia ominaisuuksia. Ketteriä menetelmiä käytetään tyypillisesti silloin, kun asiakas ei itsekään vielä tiedä, millainen projektin lopputulos on, tai vaatimukset voivat muuttua matkan varrella. Ketteriä menetelmiä käytettäessä asiakas on siis tiiviisti mukana projektin edetessä. (Hallikainen 2019, 8; Kaipainen 2016, 3; Eloranta 2015, 29-30.)



KUVA 13. Ketterän ohjelmistokehityksen peruseriaate

Spiraalimallissa (kuva 14) jokainen kierros kuvastaa eri vaihetta ohjelmistokehitysprosessissa. Sisin kierros kuvastaa järjestelmän toteutettavuutta, seuraava vaatimusmäärittelyä, seuraava ohjelmiston suunnittelua ja viimeinen toteutusta. Jokainen spiraalin kierros voidaan jakaa neljään lohkoon: tavoitteiden määrittely, riskien arviointi, kehittäminen ja vahvistaminen sekä suunnittelu. (Salmi 2020, 5.)



KUVA 14. Spiraalimalli (Salmi 2020, Nopanen 2016 & Purojärvi 2010, muokattu)

4.6 Vaatimusmäärittely

Vaatimusmäärittelyssä selvitetään, mitä järjestelmältä vaaditaan ja miten löydetty vaatimukset saadaan kuvatuksi jatkokehitykseen soveltuvalla tavalla. Järjestelmän ohjelmistolla toteutettavan osan vaatimukset ovat ohjelmistovaatimuksia (software requirements), eli ohjelmisto toteuttaa ne yksin, kuten rajapinnan vaatimukset. Kun taas toimintaympäristön vaatimukset ovat järjestelmävaatimuksia (system requirements), eli vaatimuksia, joita tuleva ohjelmisto toteuttaa muiden järjestelmän komponenttien kanssa yhteistyössä. Vaatimusmäärittelyssä ohjelmiston toimintaympäristö tarkoittaa sitä, millä ehdoilla tuleva ohjelmisto toimii ja miten ohjelmisto kommunikoi ulkomaaailman kanssa (ohjelmiston ja toimintaympäristön rajapinta). (Paakki 2011.)

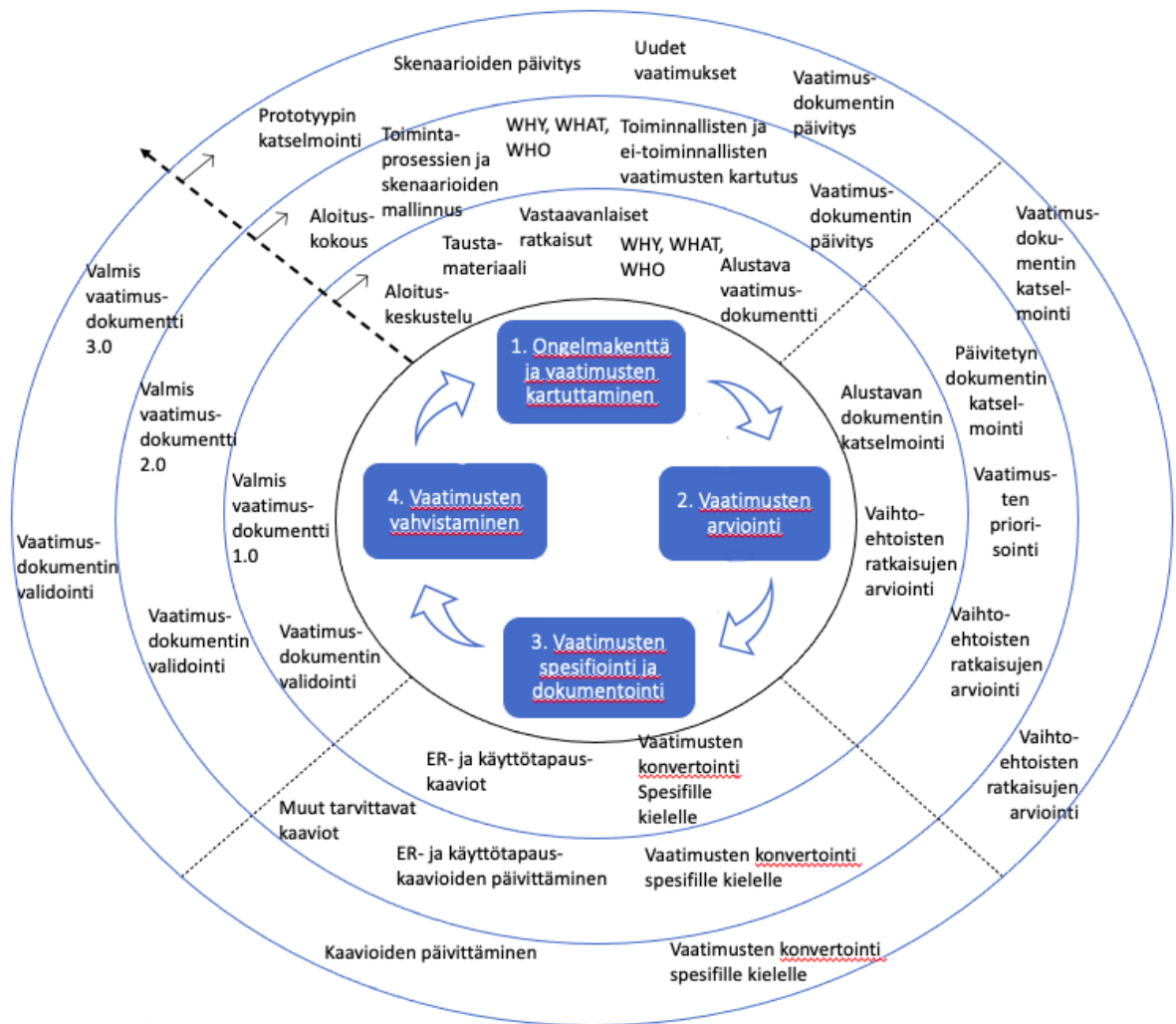
Vaatimusmäärittely jaetaan kahteen luokkaan. Järjestelmälle asetetaan toiminnallisia (liite 1) ja ei-toiminnallisia vaatimuksia (liite 2), jotka sen on toteutettava.

Osa vaatimuksista on järjestelmää koskevia rajoitteita. Vaatimukset tulevat sidosryhmiltä. Kukin sidosryhmä on jollain lailla tekemisissä järjestelmän kanssa. (Paakki 2011.)

Vaatimusten hankinnan tavoitteena on kartuttaa ongelma-alueeseen liittyvää tietoa, jota käytetään järjestelmän kehittämisessä ja suunnittelussa. Asiakkaalta tulee osata kysyä oikeita kysymyksiä suunnitteilla olevasta järjestelmästä (liite 3). Vaatimusten hankinnassa on päätettävä, mikä tieto on hyödyttävää tietoa. Huomiota tulee kiinnittää myös siihen, että kuvaus muodostaa mahdollisimman kattavan ja riittävän pohjan jatkotyölle. Kirjallisessa muodossa kuvattujen tehtävien tulisi vastata varsinaisia tehtäviä. (JUHTA 2009, 17.)

4.6.1 Vaatimusmäärittelyn vaiheet

Van Lamsweerden (2009) mukaan vaatimusmäärittelyprosessiin sisältyy viisi työvaihetta, jotka toistuvat valitusta systeemyömenetelmästä riippumatta kohtalaisen samankaltaisina. Vaiheet ovat ongelmakentän ymmärtäminen, vaatimusten kartuttaminen, vaatimusten arviointi, vaatimusten spesifointi ja dokumentointi sekä vaatimusten vahvistaminen. Kuvassa 15 on kuvattu vaiheiden eteneminen iteratiivisen syklin mukaisesti, jossa vaatimukset tarkentuvat asteittain jokaisen syklin jälkeen. Tuloksena jokaisesta vaiheesta on parempi käsitys vaatimuksista työn edetessä, ja kunkin vaiheen tulokset toimivat lähtökohtana seuraavalle vaiheelle. (Van Lamsveerde 2009, 34-35.)



KUVA 15. Vaatimusmäärittelyn vaiheet

Aloituskeskustelussa on tarkoitus saada karkea käsitys siitä, millaisesta ongelmakentästä on kyse. Sen jälkeen selvitetään ongelmakentän tarkemmat yksityiskohdat, kuten tavoitteet ja toimijat. Niiden selvittämisessä voidaan käyttää apuna van Lamsweerden (2009, 12-16.) esittelemää WHY-WHAT-WHO (miksi-mitä-kuka) -kysymyslistaa. Kysymysten mukaisesti ensin kysytään uuden järjestelmän tilaajalta WHY-kysymys, jona avulla saadaan selville ydinongelma. Sen avulla pyritään selvittämään, miksi nykyratkaisu ei toimi tai, koska tässä tapauksessa ei ole olemassa vastaavaa, jota suunnittelemme, miksi tulevaa järjestelmää tarvitaan ja mihin halutaan muutosta. WHY-kysymys voi nostaa esille muitakin ongelmakohtia, joihin tulevan ratkaisun toivotaan tuovan parannusta, ja ne kaikki kirjataan ylös. (van Lamsweerde 2009, 12-16.)

Seuraavaksi selvitetään järjestelmän tarkempia yksityiskohtia kysymällä tilaajalta WHAT. Kysymyksen avulla saadaan selville, mitä tulevan järjestelmän odotetaan

tekevän, eli miten aiemmin esille tulleet ongelmat ratkaistaan. Samalla muodostuu alustava käsitys siitä, millaisia toiminnallisuuksia ja ominaisuuksia järjestelmän halutaan tarjoavan käyttäjilleen. Jälleen kaikki esille nousevat yksityiskohdat kirjataan ylös alustavaan vaatimusdokumenttiin. (van Lamsweerde 2009, 12-16.)

Seuraavaksi tulee vielä selvittää, mitä henkilöitä, tahoja, laitteita tai ohjelmistoja tulevaan ratkaisuun tulee sisältymään. Kysytään tilaajalta siis WHO-kysymys, eli ketkä tai mitkä tulevat vastaamaan ongelman ratkaisusta. Näin saadaan esille myös sidosryhmät, joiden tulee osallistua vaatimusmäärittelyprosessiin. Tilaaja ei välttämättä osaa nimetä kaikkia sidosryhmiä, tietojärjestelmiä tai ohjelmistoja, joita tulevaan ratkaisuun liittyy. Sidosryhmät voivat olla sekä sisäisiä että ulkoisia tietojärjestelmää käyttäviä tahoja. Ne voivat olla myös toisia tietojärjestelmiä. Tätäkin osiota tulisi tarkentaa myöhemmissä vaiheissa haastatteleamalla tiedossa olevien sidosryhmien edustajia. Näiden vaiheiden jälkeen on saatu muodostettua tilaajan avulla alustava käsitys ongelmakentästä sekä kerätty alustavia vaatimuksia. Seuraavaksi tutustutaan muiden maiden vastaaviin ratkaisuihin ja niistä tehtyihin tutkimuksiin sekä mahdollisiin toimialalle suositeltuihin standardeihin. Tämän jälkeen tarkennetaan vaatimuksia ja dokumentoidaan ne sekä lopuksi vahvistetaan vaatimukset. Vaatimusmäärittelyssä siis vastataan pääasiassa kolmeen kysymykseen: Miksi halutaan? (WHY?) Mitä halutaan? (WHAT?) Kuka ottaa vastuun? (WHO?) (van Lamsweerde 2009, 12-16; JUHTA 2009.)

4.6.2 Toiminnalliset ja ei-toiminnalliset vaatimukset

Toiminnalliset vaatimukset määrittelevät, millaisia toiminnallisia ominaisuuksia ohjelmistolla tulisi olla. Toiminnalliset vaatimukset liittyvät tulevan ohjelmiston tarjoamiin palveluihin, eli mitä ohjelmisto konkreettisesti tekee. Toiminnalliset vaatimukset ovat järjestelmän pakollisia tehtäviä ja määrittelevät, miten tuleva ohjelmisto vaikuttaa ympäristöönsä. IEEE standardin (1990) mukaan toiminnallinen vaatimus määrittää suoritettavan toiminnan järjestelmälle. Ei-toiminnalliset vaatimukset määrittelevät järjestelmän yleiset ominaisuudet ja piirteet. Ne asettavat ehdot, miten käyttäjän toiminnalliset vaatimukset toteutetaan. (Paakki 2011.)

Toiminnalliset vaatimukset kuvaavat, mitä ohjelmiston tulee pitää sisällään ja miten ohjelmiston tulee toimia. Toiminnalliset vaatimukset määrittelevät selkeästi, mitä palveluita ohjelmisto tarjoaa, eli mitä toimintoja siinä voi tehdä. Näihin toimintoihin kuuluvat ohjelmiston normaalit toiminnot sekä sen lisäksi niihin kuuluvat myös virhetilanteen ja poikkeustilanteen tarjoamat toiminnot ja toipumistavat. Toiminnalliset vaatimukset määrittelevät, miten ohjelmisto reagoi erilaisiin syötteisiin. Ne määrittelevät myös, kuinka ohjelmisto käyttäytyy näissä tilanteissa. Toiminnalliset vaatimukset voivat myös määritellä, mitä ohjelmiston ei pidä tehdä. (Luukkainen 2020; Paakki 2011.)

Toiminnalliset vaatimukset kuvataan usein kokonaisina toimintaprosesseina, jotta kokonaisuuksien hahmottaminen olisi helpompaa. Vaatimuksia aletaan etsiä suurista kokonaisuuksista ja edetään sitten kohti pienempiä osia. On tärkeää tarkastella vaatimuksia siitä näkökulmasta, jossa mietitään, millä tavoin suunniteltava ohjelmisto vaikuttaa ympäristössä, jossa se tulee aikanaan toimimaan. Jotta vaatimuksista saadaan riittävän kattavat, ne tulee kuitenkin kartoittaa monesta eri näkökulmista. (JAMK 2018; Paakki 2011.)

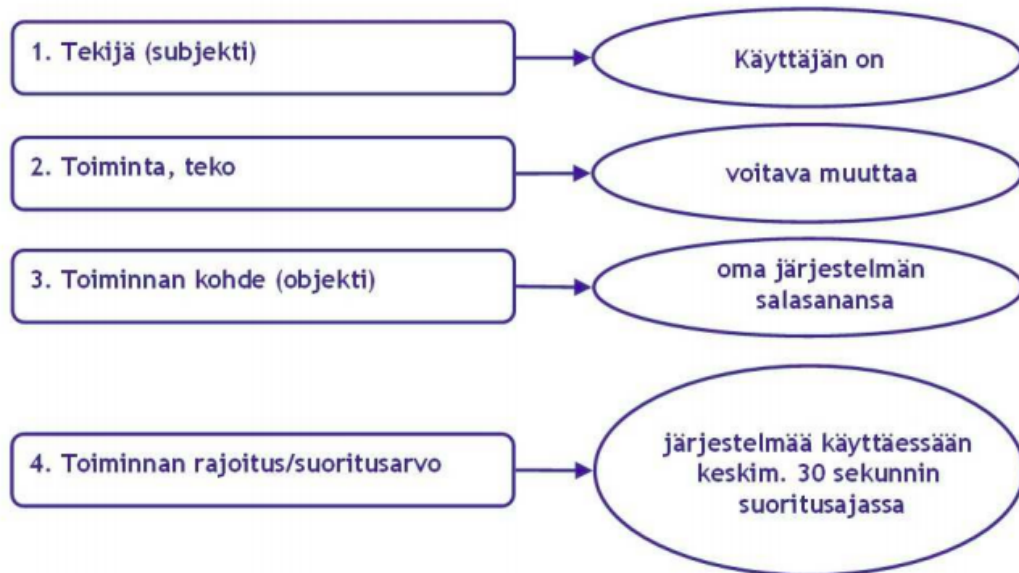
Ei-toiminnalliset vaatimukset määrittelevät, mitä rajoituksia tulevan ohjelmiston palveluilla on ("miten tekee"). Reunaehdot ovat sukua ei-toiminnallisille vaatimuksille. Myös reunaehdot rajoittavat järjestelmän toimintaa, mutta erona ei-toiminnallisille vaatimuksille on, että niistä ei voi neuvotella. Ei-toiminnalliset vaatimukset voidaan jakaa edelleen alaluokkiin. Van Lamsweerde (2009, 24) jakaa ei-toiminnalliset vaatimukset päätasolla neljään luokkaan: palvelun laatuvaatimukset, yhdenmukaisuusvaatimukset, arkkitehtuurivaatimukset sekä kehittämistä koskevat vaatimukset (Kuva 5). Laatuvaatimukset ilmaisevat millaisia laatuun liittyviä ominaisuuksia suojauksen, turvallisuuden, luotettavuuden, suorituskyvyn ja rajapinnan osalta ohjelmistolla tulisi olla. Yhdenmukaisuusvaatimukset kuvaavat lakien ja säännösten, sosiaalisten normien sekä kulttuuristen ja poliittisten seikkojen asettamia rajoitteita ohjelmistolle. Arkkitehtuurivaatimukset määrittävät ohjelmiston rakenteelliset rajoitukset. Kehitysvaatimukset eivät määritä sitä, miten ohjelmisto täyttää asetetut toiminnalliset vaatimukset, vaan kuinka ohjelmisto tulisi toteuttaa. Tällaisia ovat vaatimukset toimitusaikatauluista, ominaisuuksien vaihtelevuudesta, ylläpidosta ja uudelleen käytöstä. (Paakki 2011.)

4.6.3 Käyttötapaukset ja käyttäjätarinat vaatimusmäärittelyssä

Käyttötapauksilla luodaan yksiselitteisiä vaatimuksia. Käyttötapaukset kuvaavat enemmänkin prosesseja, joten ne eivät välttämättä sovellu aivan kaikkeen. Käyttötapaukset soveltuvat toiminnallisten vaatimusten määrittämiseen. Ei-toiminnalliset vaatimukset tulee määritellä perinteiseen tapaan. Käyttötapaus kuvaa käyttäjän ohjelman avulla suorittaman tehtävän, eli miten käyttäjä kommunikoi järjestelmän kanssa tietyssä käyttötilanteessa. (Kähönen-Anttila 2016.)

Käyttötapaus on yksi kokonainen toiminto, joka määritellään yhdessä asiakkaan kanssa ja on käyttäjälle merkityksellinen. Käyttötapaus ei kuvaa, miten järjestelmä toimii, vaan tekemisen vaiheet prosessin omaisesti loppukäyttäjän ymmärtämällä tavalla. Käyttötapaus kertoo toiminnot, joita toimija tarvitsee järjestelmältä ja täytyykö toimijan tehdä toimenpiteitä esimerkiksi luoda, lukea poistaa tai tallentaa jotain järjestelmän tietoa. Käyttötapauksella on aina lähtökohta ja merkityksen omaava lopputulos. Esimerkiksi ”syötä salasana” ei ole käyttötapaus, vaan yksittäinen operaatio, joka voi sisältyä käyttötapaukseen. (Kähönen-Anttila 2016.)

Hyvän vaatimusilmaisun (kuva 16) kriteerejä ovat muun muassa yksikäsitteisyys (ymmärretään yhteisellä tavalla), oikeellisuus (tietojärjestelmä täyttää asiakkaan tarpeet), täydellisyys (kaikki oleellinen on kuvattu), yhdenmukaisuus (ristiriidaton), todennettavissa oleva, laitettavissa tärkeysjärjestykseen toimintojen mukaan, muuttaminen on helppoa ja turvallista, jäljitettävyyys (osiin voi palata ja viitata). Vaatimus kirjataan aina siten, että samaan lauseeseen ei sisälly useampia vaatimuksia. Tässä yhteydessä korostuu vaatimustekstin lyhyys, selkeys ja yksiselitteisyys. Vaatimusten priorisoinnissa kannattaa käyttää 3-tasoista priorisointia, jossa 1 tarkoittaa pakollista, 2 tarkoittaa hyödyllistä ja 3 tarkoittaa toivottua ominaisuutta. (JUHTA 2009, 20-21.)



KUVA 16. Vaatimusilmaisun rakenne (JUHTA 2009, 20)

Hyvä käyttötapaus kuvaa myös, mitä tapahtuu, jos tapahtumat eivät etene onnistuneen suorituksen kuvauksen mukaan. Loppukäyttäjän on kyettävä hyväksymään järjestelmän vaatimukset, jolloin ne on kuvattava käyttäjän ymmärtämässä muodossa. Lisäksi toteuttajien tulee ymmärtää järjestelmä vaatimusten kautta, jotta kyetään antamaan työmääräarvio. Käyttötapaukset tukevat myös testausta. Käyttötapausmalliin sisältyvät käyttäjäroolit, käyttötapauskaaviot, erityyppiset suhteet eri elementtien välillä, käyttötilanteiden kuvaukset eli dokumentit, yleiset toiminnalliset vaatimukset, skenaariot ja tarvittaessa visualisoivat kaaviot sekä muu täydentävä dokumentaatio. (Kähönen-Anttila 2016; JUHTA 2009.)

Käyttäjätarina (user story) on tapa, jonka avulla kuvataan ja dokumentoidaan vaatimuksia ketterissä menetelmissä. Yksi järjestelmän toiminnoista kuvataan puhekielisenä lauseena, joten teksti ei sisällä teknistä termistöä. Käyttäjätarina kuvaa kuka tekee, mitä tekee ja miksi tekee. Käyttäjätarina kuvaa loppukäyttäjän kannalta arvoa tuottavia toiminnallisuuksia. Käyttäjätarina ei ilmaise tyhjentävästi toiminnallisuuksien vaatimuksia, vaan on ikään kuin muistilappu ja lupaus siitä, että toiminnallisuuksien vaatimukset selvitetään riittävän tarkasti ennen kuin käyttäjätarinat toteutetaan. Hyvä käyttäjätarina on itsenäinen ja neuvoteltavissa, eli tarinaa ei ole kirjoitettu liian tyhjentävästi, vaan se sovitaan asiakkaan kanssa ennen toteutusta. Hyvän käyttäjätarinan tulee olla valuoitavissa, eli tarinan tulee kuvata käyttäjälle arvoa tuovia ominaisuuksia ja estimoitavissa, eli tarinan toteut-

tamiseen vaadittava työmäärä on arvioitavissa, työmäärän arviointi onnistuu parhaiten, kun tarina on pieni ja testattavissa, testauksella tarkoitetaan sitä, että tarinoiden tulisi olla sellaisia, että niille on mahdollista laatia kriteerit, joiden avulla on mahdollista todeta, onko tarina toteutettu hyväksyttävästi. Yleensä user story kuvaa järjestelmän kaikkia osia koskevaa (esimerkiksi käyttöliittymä, bisneslogiikka, tietokanta) eli ”end to end”-toiminnallisuutta. (Luukkainen 2020; Luoto 2015.)

Käyttäjätarinakarttaa voidaan käyttää visualisoimaan käyttäjätarinat. Se sisältää asiakkaan käyttämän polun alusta loppuun saakka. Se sisältää kaikki tehtävät, joita asiakas tyypillisesti tekisi matkan varrella. Käyttäjätarinakarttaan sijoitetaan tarinat ja muutetaan ne ”isoksi kehitysjonolla olevaksi asiaksi” eli epiciksi, järjestykseen, joka tuottaa eniten arvoa asiakkaalle. Käyttäjätarinakartassa tarinat on pilkottu prioriteettien mukaan pienempiin osiin. (Luukkainen 2020; Luoto 2015.)

4.7 Tietoturva ja tietosuojaja

Palvelua suunnitellessa tulee ottaa huomioon tietoturvaa ja tietosuojaa koskeva lainsäädäntö. Tärkeimpiä huomioonotettavia lakeja ovat tietosuojalaki sekä EU:n tietosuojasetus. Tietosuojalaki ja EU:n tietosuojasetus määrittävät henkilötietojen käsittelyyn liittyviä asioita. EU:n tietosuojasetus määrittää, että potilaan henkilötietojen käsittely edellyttää aina hoitosuhdetta tai muuta asiallista yhteyttä potilaaseen. Potilaan tietoja saa lukea potilastietojärjestelmästä ainoastaan siinä laajuudessa kuin potilaan hoito edellyttää. EU:n tietosuojasetus määrittää myös sen, että organisaatiolla on osoitusvelvollisuus kaikista rekistereistä. Henkilörekisterillä tulee aina olla käyttötarkoituserusteet ja oikeuserusteet. Vaatimuksena on tietojen täsmällisyys, eheys ja luottamuksellisuus. Tietojen säilytys tulee rajoittaa ja minimoida. Tämä koskee yhtä lailla sähköisiä kuin paperisia henkilörekistereitä. (EU:n tietosuojasetus; Tietosuojalaki 1050/2018.)

Tietoturvalla tarkoitetaan tietojen, palveluiden, tietojärjestelmien ja tietoliikenteen suojaamista ja varmistamista niihin kohdistuvien riskien hallitsemiseksi niin normaaleissa kuin poikkeusoloissakin. Tiedon luottamuksellisuus, eheys, käytettä-

vyys ja kiistämättömyys sekä tietojen käsittelyn valvonta ovat asioita, joista tietoturva rakentuu. Luottamuksellisuudella tarkoitetaan, että tieto on käytettävissä vain tietoon oikeutetuilla. Eheys turvataan sillä, että tiedot säilytetään oikeina ja muuttumattomina. Käytettävyys tarkoittaa sitä, että tieto on siihen oikeutettujen hyödynnettävissä haluttuna aikana. Kiistämättömyydellä tarkoitetaan sitä, että tiedon lähettäjä, vastaanottaja tai tietoon liittyvä tapahtuma voidaan varmistaa luotettavasti tarvittaessa jälkikäteen. (Lehtinen 2010.)

Myös tietosuoja tulee huomioida henkilötietoja käsitellessä. Tietosuojan osalta on tärkeää noudattaa EU:n tietosuoja-asetuksen ja tietosuojalain periaatteita. Tietosuojalla tarkoitetaan henkilöiden yksityisyyden suojaamista, luottamuksen turvaamista ja rekisteröidyn oikeuksien varmistamista. Hyvä tietosuojan toteuttaminen vaatii hyvää tietoturvan tasoa. Muita tietosuojaa parantavia tekijöitä ovat palveluun kirjautuminen ja palvelun asianmukainen käyttö. Jokainen käyttäjä kirjautuu palveluun omilla henkilökohtaisilla tunnuksillaan. Käyttäjä on omalta osaltaan vastuussa tietoturvan toteutumisesta. Ammattilaisen on tärkeää käyttää palvelua ainoastaan työnantajan laitteella. Työnantajan laitteissa on asianmukaiset suojaukset ja ne ovat työnantajan verkossa, jossa esimerkiksi palomuuuri on kunnossa. Työnantaja voi muillakin organisatorisilla keinoilla varmistaa, että palvelua käytetään suojatusti ja että kyberhyökkäyksien riskit minimoidaan. Tärkeää on, että ammattilainen huolehtii työkoneestaan tehdessään etätöitä. Konetta ei saa jättää valvomatta. (Lehtinen 2010; EU:n tietosuoja-asetus.)

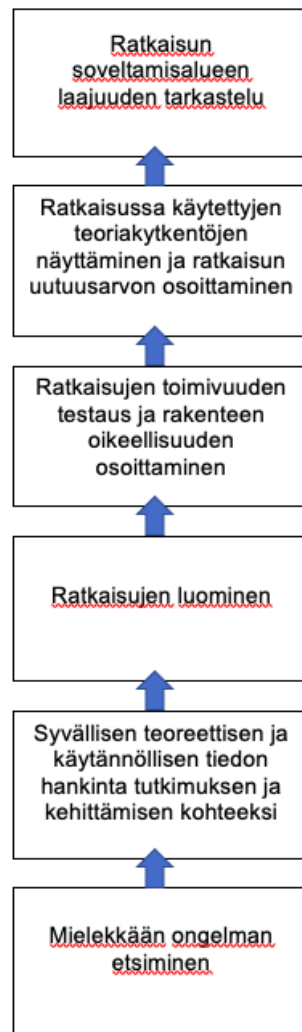
5 AINEISTO JA MENETELMÄT

5.1 Konstruktiivinen tutkimus

Konstruktiivista tutkimusta käytetään, kun tarkoituksena on tuottaa todellinen lopputuote. Näitä ovat esimerkiksi järjestelmä, suunnitelma, malli tai uusi tuote. Tutkimuksen lopputuotteeksi saadaan jokin uusi, aiempaa parempi ratkaisu ongelmaan. Konstruktiivisessa tutkimuksessa tähdätään siihen, että aito käytännön ongelma saadaan ratkaistua. Konstruktiivinen tutkimus on samankaltainen lähestymistapa kuin innovaatioiden luominen. Konstruktiivinen tutkimus vaatii, että myös toimeksiantaja sitoutuu asian kehittämiseen. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2009, 66-67.)

Valitsimme työmme menetelmäksi konstruktiivisen tutkimuksen, koska kehittämistehtävämme oli luoda konkreettinen tuotos, jonka lähestymistavaksi konstruktiivinen tutkimus sopii. Työssämme on kyse uudenkaltaisen prototyypin luomisesta tutkimustiedon pohjalta. Prototyypin luomiseksi tarvitaan olemassa olevaa teoreettista ja uutta käytännöstä kerättävää tietoa, jonka vuoksi menetelmä sopi työhömmme varsin hyvin.

Konstruktiivisen tutkimusprosessin vaiheet on esitelty kuvassa 17. Konstruktiivinen tutkimus alkaa mielekkään ongelman etsimisellä. Löysimme mielekkään aiheen helposti tuttavakontaktin kautta ja aihe oli ajankohtainen sekä koulutuksemme opinnäytetyön aiheeksi erittäin sopiva. Konstruktiivinen tutkimus jatkuu teorialiedon ja käytännöllisen tiedon hankinnalla ja sen me toteutimme systemaattisella tiedonhaulla. Seuraavana vaiheena prosessissa on ratkaisujen luominen ja niiden toimivuuden testaaminen, joka oli meidän työssämme isoin osuus. Tähän vaiheeseen käytimme suurimman osan opinnäytetyöhön käytetystä ajasta ja kehitimme ideoita yhdessä toimeksiantajan kanssa. Kehitimme kuvankäsittelyä iteratiivisesti tiiviissä yhteistyössä toimeksiantajan kanssa sekä haimme parasta ratkaisua työkululle. Viimeisenä vaiheena on ratkaisun uutuusarvon osoittaminen ja soveltamisalueen laajuuden tarkastelu, jonka me toteutimme työssämme prototyypin esittelynä ja teemahaastatteluina.



KUVA 17. Konstruktiivisen tutkimuksen prosessi (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2009, 66-67, muokattu)

5.2 Teemahaastattelu

Haastattelu sopii moniin kehittämistehtäviin, sillä haastattelulla saadaan kerättyä syvällistäkin tietoa kehittämiskohteesta nopeasti. Useimmiten menetelmät tukevat toisiaan, joten haastattelun yhdistäminen kehittämistyöhön on kannattavaa ja lisää työn näkökulmien monipuolisuutta. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2009, 97-98.) Haastattelumenetelmiä on erilaisia, joista valitsimme työhömmme teemahaastattelun. Valitsimme teemahaastattelun, koska aiheemme oli niin spesifinen ja fokusoitu.

Teemahaastattelussa kysymykset on laadittu ennakkoon, mutta niiden järjestystä voi vaihtaa haastattelun kulun mukaisesti ja kysymysten tarkat sanamuodot voivat vaihdella. Koimme teemahaastattelun eduksi juuri sen, että se on puolistrukturoitu haastattelu, jolloin se jätti meille haastattelijoina varaa reagoida haastattelun kulkuun. Haastattelun kuluessa tilanteeseen soveltumattomat kysymykset voitiin jättää esittämättä ja haastattelun edetessä pystyimme esittämään uusia, mieleen tulevia kysymyksiä. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2009, 97-98.)

Teemahaastattelu sopi meidän työhömmme, koska sen tarkoituksena on esimerkiksi tutkia jonkin ilmiön merkitystä osallistujille. Työmme kohderyhmänä oli seitsemän (n=7) FIMM:n työntekijää, joista kolme tutkijatohtoria, vanhempi tutkija, laboratoriokoordinaattori ja laboratorioteknikko. Edellä mainittu kohderyhmä osallistui prototyypin esittelyyn ja teemahaastatteluun vanhemman tutkijan suosituksesta. Tässä työssä kaksi haastateltavaa puhuivat englantia, joka osaltaan vaikutti haastatteluiden suorittamiseen. Saimme työn esiteltyä ja haastatteluissa tarvittavat kysymykset kysyttyä ymmärrettävästi sekä litteroitua ja käännettyä haastattelut, joten työn luotettavuus ei kärsinyt.

5.3 Aineiston kerääminen

Saimme toukokuussa 2020 opinnäytetyömme aiheen FIMM:ltä (Helsingin yliopisto) ja heillä on olemassa oleva yhteistyösuhde Teatime Researchin kanssa, joten aloitimme samalla yhteistyön heidän kanssaan. Teimme kirjallisuuskatsausta toukokuusta 2020 lähtien ja pidimme kokouksia FIMM:n sekä Teatime Researchin kanssa 1-2 viikon välein. Kokoukset pidettiin Covid-19-pandemian vuoksi etäkokouksina. Kokouksiin osallistui meidän lisäksi FIMM:n puolelta laboratorioteknikko, vanhempi tutkija sekä Teatime Researchin asiantuntija. Kokouksiin osallistui pääasiassa edellä mainittu ydinjoukko omien aikataulujensa puitteissa. Loppuvaiheessa kokouksiin osallistui myös IT-kokemusta omaava FIMM:n tohtoritutkija.

FIMM:ssä oli aloitettu keväällä 2020 koronaviruksen kuvantamispohjaisen vasta-ainetestin pystytystä Covid-19-pandemian ollessa pahimmillaan, joten he halusi-

vat liittää kyseisen tutkimuksen mikroskooppikuvadataa tähän työhön. Keskustelimme myös FIMM:ssä tehtävän syöpäsolututkimuksen aineiston visualisoinnista jatkossa mahdollisesti samalla visualisointiratkaisulla.

Seuraavassa palaverissa kesäkuussa keskustelimme tarkemmin työn aikataulusta, ja keskustelujen pohjalta prototyypin halutut ominaisuudet tarkentuivat. Keskustelimme sovelluksesta ja mitä toiminnallisuuksia sen lopulliseen versioon haluttiin. Rajasimme kirjallisuuskatsauksen koskemaan Covid-19-vasta-ainetutkimusta, mikroskopiaa ja VR-teknologiaa. Kokouksissa tarkensimme asioita, joita kirjallisuuskatsauksen tuli pitää sisällään. Kokouksien aiheita olivat muun muassa aiheen rajaaminen, lähdeaineisto, tekninen opinnäytetyön ohjaaminen ja serologiseen dataan perehtyminen, jotta ymmärtäisimme tutkijoiden työn taustaa. Lisäksi kokouksien aiheita olivat VR-ohjelmistotuotanto ja sen tekniseen puoleen perehtyminen sekä yleistä pohdintaa. Kokouksien aikana käsiteltiin FIMM:n vaatimusmäärittelyä ja se sisälsi toiveita ja tarpeita suunniteltavasta visualisointimallin prototyypistä.

Kokouksissa kävi ilmi ydinongelma, joka oli mikroskooppikuvadatan nykyinen, puutteellinen visualisointi. Erityisenä kehityskohtana oli uuden SARS-CoV-2 vasta-ainetestin kuvantamisdatan visualisointi. Dataa pystyttiin nykyisellään visualisoimaan ja tuloksia tulkitsemaan, mutta soluja ei pystytty hahmottamaan niin hyvin kuin olisi haluttu. Toimeksiantajat halusivat lopullisen version olevan itsenäinen ja toimivan pelkästään VR-laseilla, jotta sitä voisi esitellä esimerkiksi kouluksissa ja messuilla sekä jatkossa käyttää näytteiden analysoimisessa. Toiveena oli myös mahdollisuuksien niin salliessa liittää visualisointiin mukaan muuta potilasdataa, kuten kliinistä dataa tai muita biolääketieteen tutkimustuloksia samasta potilaasta. Työn edetessä huomasimme kokonaisen VR-ohjelman kehittämisen olevan liian iso työmäärä opinnäytetyöksi, koska meillä ei ollut aiempaa kokemusta ohjelmistosuunnittelusta tai vaatimusmäärittelystä, eikä tällaista sovellusta ollut aikaisemmin tehty. Rajasimme työn koskemaan ainoastaan VR-visualisointimallin prototyyppiä.

Kävimme kokouksissa läpi erilaisia VR-ratkaisuja aiempiin tutkimusartikkeleihin pohjautuen. Näitä olivat muun muassa Vrifier (Karme & Happonen 2017) ProteinVR-ohjelmisto (Cassidy ym. 2020), 3D-molekyylien tarkasteluun luotu VR-

teknologiaratkaisu (Safadel & White 2020), Chem preview (Zheng & Waller 2017), NanoOne (Nanome n.d.), The Body VR (Viveport n.d), Autodesk Molecule Viewer, Reality Convert, The Molecular Zoo, ChimeraX (Goddard ym. 2018), HoloLens-lasit (Müller ym. 2020), HoloPointer, virtuaalinen lisätyn todellisuuden osoitin (Heinrich ym. 2021) ja Holodec, joka VR:n avulla tarjoaa useita pelialueita ja elektronisen urheilun laboratorion, jossa on monia pelivaihtoehtoja (The Holodec n.d.). Saimme myös tutkimusartikkeleita aiheeseen liittyen kokouksiin osallistujilta. Teatime Researchin asiantuntija antoi meille tehtäväksi etsiä mahdollisimman monipuolisia VR-visualisointiin liittyviä videoita ja tutustua tällä tavoin aiempiin ratkaisuihin ja ideoihin.

VR-visualisointimallin suunnitteluvaiheeseen laitteistoksi valikoitui Oculus Quest 2 langattomat all-in-one VR-lasit. Lasit ovat toistaiseksi kyseisen valmistajan edistynein all-in-one VR-järjestelmä. Quest 2 -järjestelmän käyttäminen ei vaadi tietokonetta tai pelikonsolia. Laseissa on sisäänrakennettu kaiutin, tehokas prosessori, 64 GB sisäinen tallennustila ja 1832 x 1920 resoluutio molemmille silmille. (Oculus 2021.) Kyseiset lasit valikoituivat edellä mainittujen ominaisuuksien vuoksi.

VR-lasien avulla pääsimme tutustumaan niiden käyttöön sekä virtuaalitodellisuuden maailmaan. Oculus Quest 2 VR-lasien käyttöönottoa varten käyttäjä tarvitsee käytössä olevan Facebook-tilin, joten loimme laseja varten omat Facebook-profiilit. Myöhemmin kävi ilmi, että käyttäjätiliä ei pysty vaihtamaan ilman, että palauttaa ensin tehdasasetukset. 2021 keväällä on tulossa mahdollisuus liittää laitteeseen useampi käyttäjätili ja vaihdella niiden välillä. VR-lasien asennus viimeisteltiin puhelimeen ladattavalla Oculus-sovelluksella. Siellä voi muuttaa lasien eri asetuksia ja ladata VR-sovelluksia. VR-lasit voi yhdistää tietokoneeseen USB 3.0 johdolla, jota kutsutaan laitteen yhteydessä Oculus-linkiksi.

Otimme lasit käyttöön ja pikkuhiljaa opimme käyttämään erilaisia ohjelmistoja sekä ymmärtämään niiden toimintaperiaatteita. Saimme arvokasta käyttäjäkokemusta lasien käytöstä ja koimme sen hyödyksi työn tekemisessä. Käyttöliittymäsuunnittelun teimme VR-laseilla Gravity Sketch-ohjelmalla, joka antoi arvokasta kokemusta tilallisuuden hahmottamisesta sekä objektien käsittelystä virtuaalitodellisuudessa.

Kävimme muutamia kertoja FIMM:n tiloissa Helsingissä Meilahden kampuksella tapaamassa työn toimeksiantajia ja tutustumassa heidän työhönsä. Näimme mikroskooppeja, mikroskooppilevyjä ja niiden analysointia, jolloin ymmärryksemme serologisesta datasta ja sen visualisoinnista lisääntyi. Samalla tutustuimme tutkijan opastuksella serologisen datan kuvankäsittelyohjelmiin ja käyttämään ohjelmia myös itsenäisesti. Käsittelimme mikroskooppidataa FIMM:ssä paikan päällä erilaisilla kuvankäsittelyohjelmilla sekä saimme samat järjestelmät käyttöömmemme omille tietokoneille etäohjausjärjestelmän kautta.

Vrifier-ohjelma ei ole ladattavissa Apple macOS-käyttöjärjestelmille, joten emme saaneet kyseistä ohjelmaa toimimaan omilla tietokoneillamme. Tämän vuoksi emme pystyneet testaamaan prototyyppiä VR-laseilla kotona. FIMM:n tiloissa pystyimme liittämään VR-lasit kiinni tietokoneeseen, jolloin näimme prototyyppi-tuotoksemme Vrifier-ohjelmalla. Samalla saimme kuvamateriaalia liitettäväksi työhömmemme.

Kokouksien pohjalta etsimme erilaisia VR-tekniikaratkaisuja, selvitimme, kuinka 2D-kuva saadaan virtuaalitodellisuusympäristöön ja rakensimme VR-visualisointimallin prototyyppiä. Myös kokouksien aikana pohdimme ja yhdessä konkreettisesti etsimme mahdollisia työnkulkuja kuvankäsittelyssä. Esittelimme visualisointimallin prototyypin FIMM:n tutkijoille ja keräsimme kokemukset sekä kehitysehdotukset teemahaastattelun avulla. Niiden pohjalta pohdimme jatkokehitysehdotuksia.

5.4 Aineiston analyysimenetelmät

Kirjoitimme kokousmuistioita opinnäytetyöhön liittyvistä etäkokouksista toimeksiantajan kanssa. Jokaisessa kokouksessa sovimme seuraavaan kokoukseen tehtävät ja selvitettävät asiat. Kokousten jälkeen perehdyimme kokousmuistioihin ja niiden pohjalta etenimme työssämme. Kokousmuistioiden avulla pystyimme valmistautumaan myös seuraavaan kokoukseen. Lähetimme kokousmuistiot osallistujille ja näin pidimme koko ryhmän ajan tasalla.

Toteutimme haastattelut teemahaastatteluina. Valitsimme teemahaastattelun teemat työmme teoreettisen viitekehyksen sekä toimeksiantajan kehittämistarpeiden pohjalta. Aineistosta etsitään tutkimusongelman kannalta olennaiset aiheet, eli teemat. Yksi laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmistä on teemoittelu. (Tietoarkisto n.d.) Teemahaastattelun teemoja olivat VR-teknologia mikroskopiassa, käyttöliittymä ja laitteisto. Kahdessa ensimmäisessä teemassa kysyimme muun muassa VR-visualisointimallin ja käyttöliittymän käytettävyydestä, helppokäyttöisyydestä, tehokkuudesta, hyödyllisyydestä, hyvistä ominaisuuksista ja jatkokehitysehdotuksista. Laitteiston osalta kysyimme käyttökokemuksesta. Haastattelut toteutettiin yhdessä ja nauhoitettiin haastateltavien luvalla toisen opinnäytetyön tekijän puhelimeen.

Litteroimme haastattelut yhdessä. Haastatteluaineistosta luotiin selkeä kuva tutkittavasta asiasta, VR-visualisointimallin prototyypistä. Aineisto järjestettiin teemahaastattelusta ilmi tulleiden teemojen perusteella ryhmiin. Pääteemoina prototyypin käyttötarkoitus, prototyypin tärkeät ominaisuudet ja käyttöliittymä. Luokittelun avulla haastatteluaineisto saatiin tiivistettyä, koska yksittäiset tekijät sisällytettiin yleisimpiin käsitteisiin. Haastatteluiden teema-alueet yhdistettiin niiden muodostamisen jälkeen. (Tuomi & Sarajarvi 2013, 110)

Alaluokiksi muodostui prototyypin käyttötarkoituksesta vasta-ainetutkimuksen tulosten tarkastelu ja prototyypin hyödyllisyys. Prototyypin tärkeistä ominaisuuksista alaluokiksi muodostui tumien sijainti vasta-aineisiin nähden, kanavien tarkastelu yksittäin sekä samanaikaisesti ja prototyypin interaktiivisuus. Käyttöliittymän alaluokaksi tuli käyttöliittymän selkeys ja monipuolinen tiedostojen lataus. Käytimme luokittelun tuloksia selkeyttämään tutkijoiden käyttökokemuksia ja kehitysehdotuksia prototyypistä. Opinnäytetyön aineisto kerättiin prototyypin kehittämiseksi, jotta aineiston avulla voidaan löytää erilaisia keinoja ja ideoita prototyypin kehittämiseksi. Aineiston avulla pystyttiin selvittämään, mitä näkemyksiä prototyypin testaaminen tuotti sen kehittämiseksi.

6 TULOKSET

6.1 Prototyypin toiminnallisten vaatimusten määrittely

Esitutkimuksen palaverissa määritellyn ongelman perusteella lähdimme hahmottelemaan käyttäjätarinakarttaa lopullisesta sovelluksesta. Ongelma jaettiin pienempiin kokonaisuuksiin, joista oli helpompi määritellä vaatimuksia. Tärkeimpinä toteutettavina asioina olivat tilille kirjautumis- ja rekisteröitymissivu, tiedostojen/kuvien hallinta ja muokkaus sekä niiden viimeistely. Tämän jälkeen seuraavan prioriteeteissa olivat edellä mainittujen toimintojen alatoiminnot, kuten itse kirjautuminen ja rekisteröityminen, tutoriaali sekä tiedostojen/kuvien yksityiskohdaisempi muokkaus ja suodatus. Liitteessä 4 on esitelty sovelluksen käyttäjätarinakartta, jossa toteutus etenee prioriteettijärjestyksessä ylhäältä alas ja toiminnot etenevät vasemmalla oikealle. Käytimme käyttäjätarinakarttaa käyttöliittymän suunnitteluun.

Työssä keskityimme prototyypin toiminnallisiin vaatimuksiin, jotka pyrittiin saamaan mahdollisimman yksinkertaiseen muotoon. Toiminnallisia vaatimuksia käytiin läpi yhteisissä palaverissa koko projektin ajan. Tärkeimpänä vaatimuksena oli saada 2D-mikroskooppikuvadataa VR-muotoon. Lisäksi vaatimuksena oli saada eri näytteen osaa kuvaavat kuvat tietyn värisiksi; tumat sinisiksi ja erilaiset vasta-aineet keltaiseksi, vihreäksi ja punaiseksi. Kuvat haluttiin myös tiettyyn järjestykseen päällekkäin siten, että sininen on taaimmaisena ja siitä katsojaa lähemmäs järjestyksessä keltainen, vihreä ja punainen. Eri värisiin kuviin haluttiin 150 pikselin etäisyys toisistaan syvyys suunnassa, tämä saadaan muuttamalla kuvien Z-koordinaattia. Kuvat haluttiin yhdeksän kuvan muodostelmaan (3x3) niin, että niiden järjestys pysyisi samankaltaisena kuin alkuperäisessä kuoppalevyssä (kuva 18). Nämä saadaan aikaan muuttamalla X- ja Y –koordinaatteja. Kuvien väliin haluttiin 340 pikselin verran tyhjää tilaa, jotta kuvat eivät mene päällekkäin.



KUVA 18. VR-visualisointimalliin tulevat näytteet

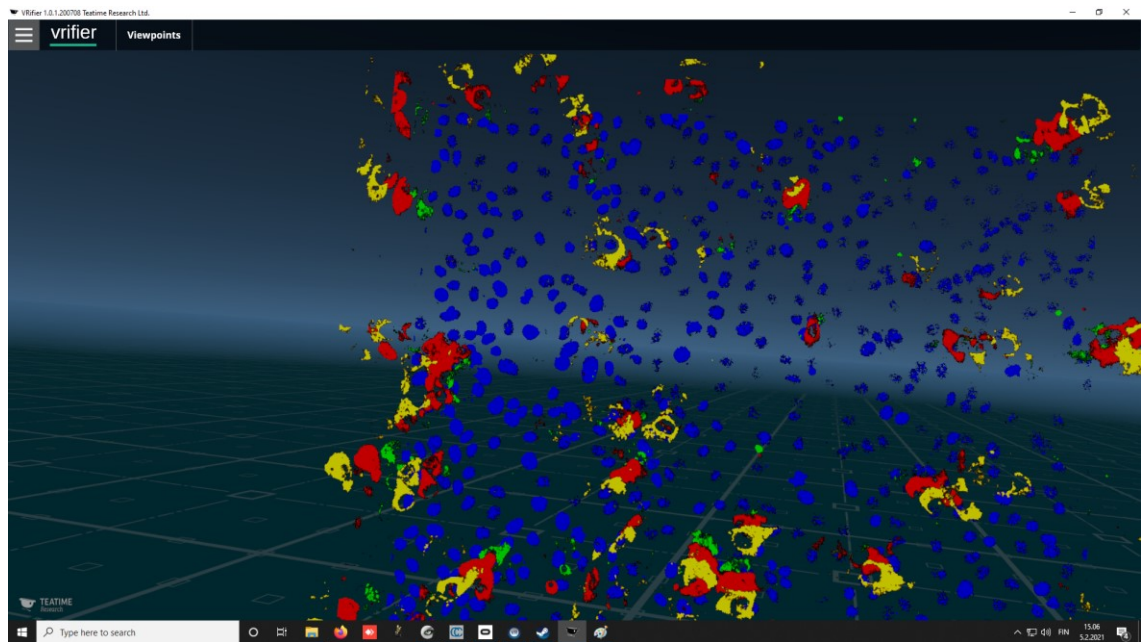
6.2 Kuvankäsittelyohjelmat prototyypin luomisessa ja valmis VR-visualisointimallin prototyyppi

Latasimme kaikki käyttämämme ohjelmat toimeksiantajan tietokoneille ja huomioimme työssämme tarkasti tietoturvan ja tietosuojan vaatimukset. FIMM:n tietokoneita käyttivät vain FIMM:n tutkijat sekä me FIMM:n luvalla. Käytimme toimeksiantajan tietokoneita paikan päällä heidän toimipisteessään sekä pääsimme tietokoneille myös etäohjausjärjestelmän kautta. VR-visualisointimallin prototyyppiä käytimme FIMM:n tietokoneilla ja tietokoneet oli yhdistetty sisäiseen verkkoon. Huomioimme tietosuojan niin, että käytimme etäohjausjärjestelmää suojatusti ja omille tietokoneillemme kirjauduimme salasanan avulla. Omat tietokoneemme eivät olleet ulkopuolisten käytössä. Allekirjoitimme salassapitosopimukset koskien Covid-19 –vasta-ainetutkimuksen aineistoa.

Kappaleessa 4.3 on esitelty kuvankäsittelyprosessissa käytetyt ohjelmat tarkemmin. Kuvankäsittelyprosessin alussa käytimme ImageJ-ohjelmaa kuvien muuttamiseksi 8-bittisiksi sekä kuvien raja-arvojen muuttamiseksi (thresholding). Kuvat haluttiin muuttaa 8-bittisiksi, koska halusimme saada esille yhdestä kuvasta vain yhtä väriä; punaista, vihreää, sinistä ja keltaista. Muutimme kuvien värit yksi kuva kerrallaan. Tallensimme kuvat .tiff-muodossa. Avasimme kuvat CloudCompare-ohjelmassa, joka muutti kuvat pistepilvimuotoon ja poistimme kuvista mustan taustan sekä muutimme Z-koordinaatit saadaksemme kuvat syvyys suunnassa eri tasoihin. Poistimme kuvista mustan taustan, näin kuvien taustoista tuli läpinäkyviä, jonka ansiosta kaikkien kuvien värit näkyvät edestä katsottuna päällekkäin ja jotta näytteestä esille haluttavat elementit näkyvät selkeämmin VR-muodossa. Tallensimme kuvat .ply-muodossa. Avasimme kuvat Meshlab-ohjelmassa ja yhdistimme kaikki kuvat yhdeksi tiedostoksi ja tallensimme kuvat .ply-muodossa. Kuvat eivät näyttäneet halutulta tällä työkalulla.

Seuraavaksi löysimme CloudComparesta toiminnon, jota hyödyntämällä kuvia ei tarvinnut muuttaa ensin ImageJ:ssä 8-bittisiksi, vaan ne muutettiin RGB-muotoon CloudComparessa, jolloin värejä saatiin muokattua ko. ohjelman sisällä. Edelleen poistimme mustat taustat ja muutimme Z-koordinaatit CloudComparessa ja Meshlabissa yhdistimme kuvat yhdeksi tiedostoksi. Kuvat eivät edelleenkään näyttäneet halutulta

Koska kuvat eivät aiemmilla työkaluilla olleet halutun kaltaisia, päätimme seuraavalla kerralla poistaa mustat taustat vasta Meshlabissa. Muuten työnkulku oli samanlainen kuin edeltävässä kappaleessa, mutta mustan taustan poistamiseen Meshlabissa tarvittiin pisteiden väriarvojen muuttamista niin, että saatiin musta väri poistettua ja muut värit jätettyä näkyville. Ensin tausta muuttui punaiseksi, jonka jälkeen Meshlabin toiminnolla saatiin poistettua valitut pisteet, jolloin tausta muuttui läpinäkyväksi. Sen jälkeen yhdistimme kuvat yhdeksi tiedostoksi. Kuvat alkoivat näyttää sen kaltaiselta mitä haluttiin. (kuva 19).



KUVA 19. Kolmas versio VR-visualisointimallin prototyypistä

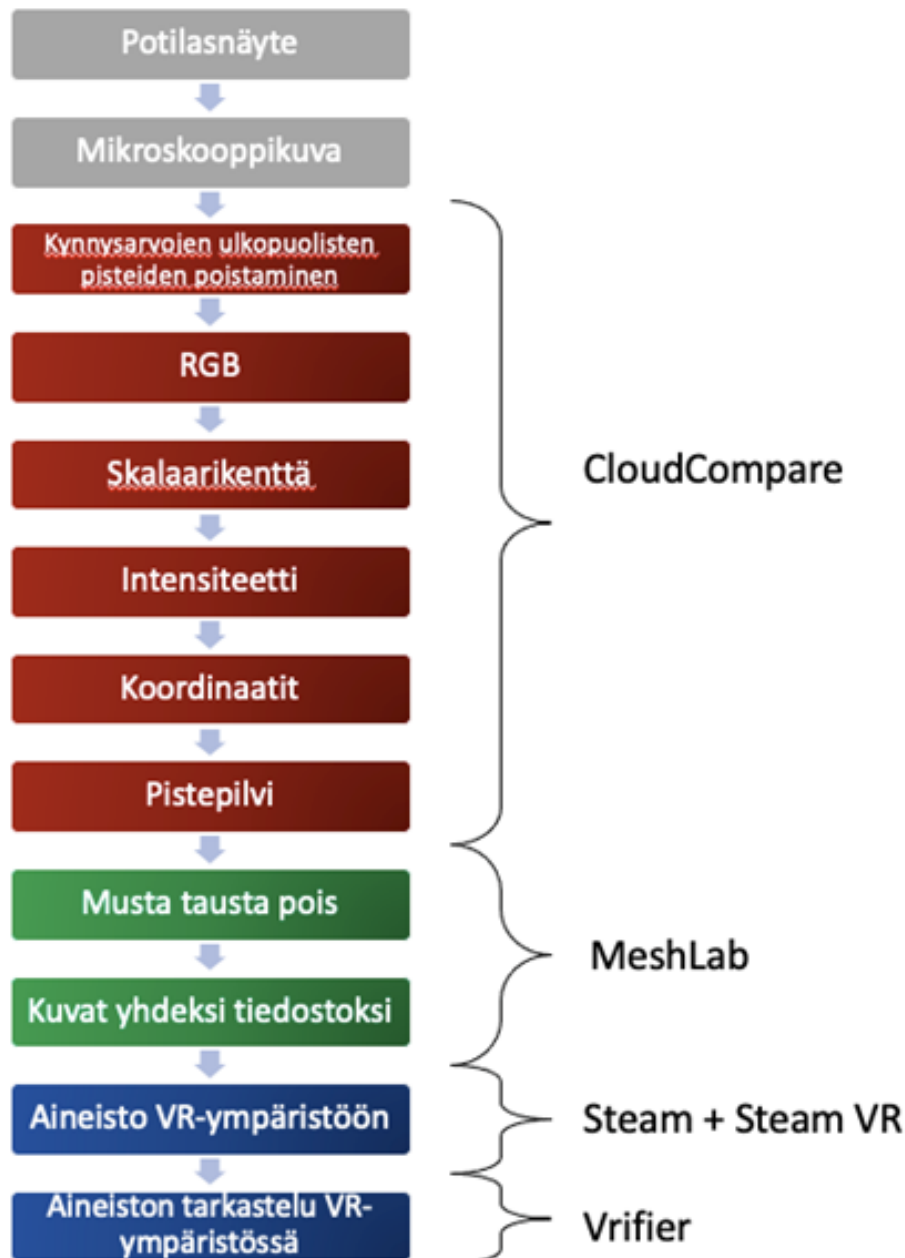
Seuraavaksi CloudComparaessa muutimme vielä värien intensiteettejä. Eri kuvien värit saatiin aikaiseksi muuttamalla halutun värin intensiteettiä skalaarikentän histogrammista. Värien intensiteeteiksi valikoitui siniselle 150-300, keltaiselle 220-300, vihreälle 350-500 ja punaiselle 400-500 vertailemalla kontrollinäytteitä. Lisäksi teimme CloudComparaessa kuviin X- ja Y-koordinaattimuutokset Z-koordinaattien lisäksi. Kuvassa 20 näkyy kuvien X- ja Y-koordinaatit.

X: -2500	X: 0	X: 2500
Y: 2500	Y: 2500	Y: 2500
X: -2500	X: 0	X: 2500
Y: 0	Y: 0	Y: 0
X: -2500	X: 0	X: 2500
Y: -2500	Y: -2500	Y: -2500

KUVA 20. Kuvien X- ja Y-koordinaatit

Tämän jälkeen teimme samat muutokset Meshlabissa kuin aiemmassa työnkussu. Jokaisen työnkulun jälkeen konsultoimme työn toimeksiantajaa ja tämän

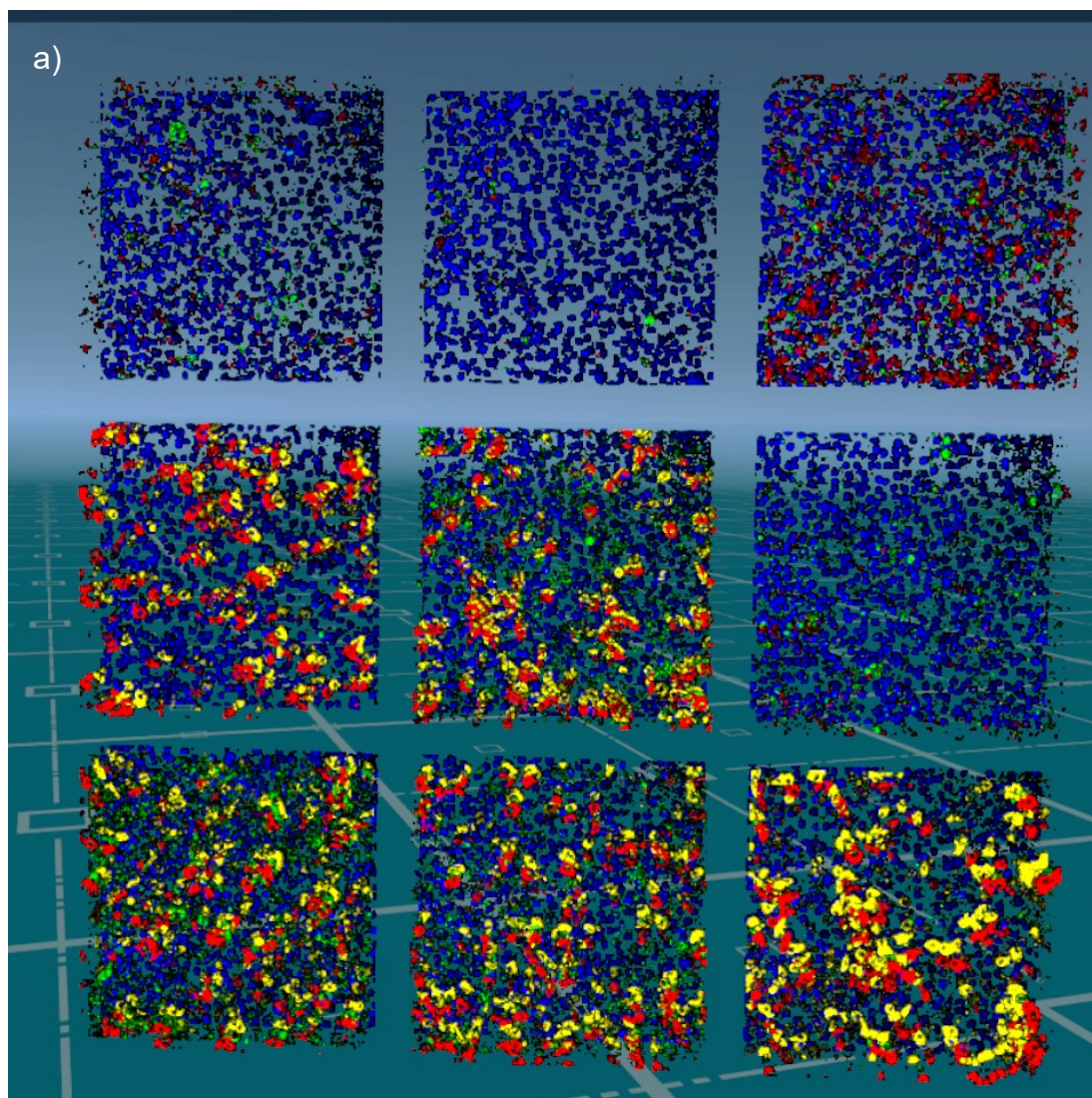
työnkulun jälkeen kuvat näyttivät toivotunlaisilta. Seuraavaksi käynnistimme Vrifierin Steam VR:n kautta ja avasimme tiedoston Vrifierissa. Kuvassa 21 on kuvattu prosessi kuvankäsittelyohjelmien käytöstä tässä työssä ja liitteessä 6 on kuvattu vaihe vaiheelta työnkulku kaikissa näissä kuvankäsittelyohjelmissa ja kuvia prosessin eri vaiheista.

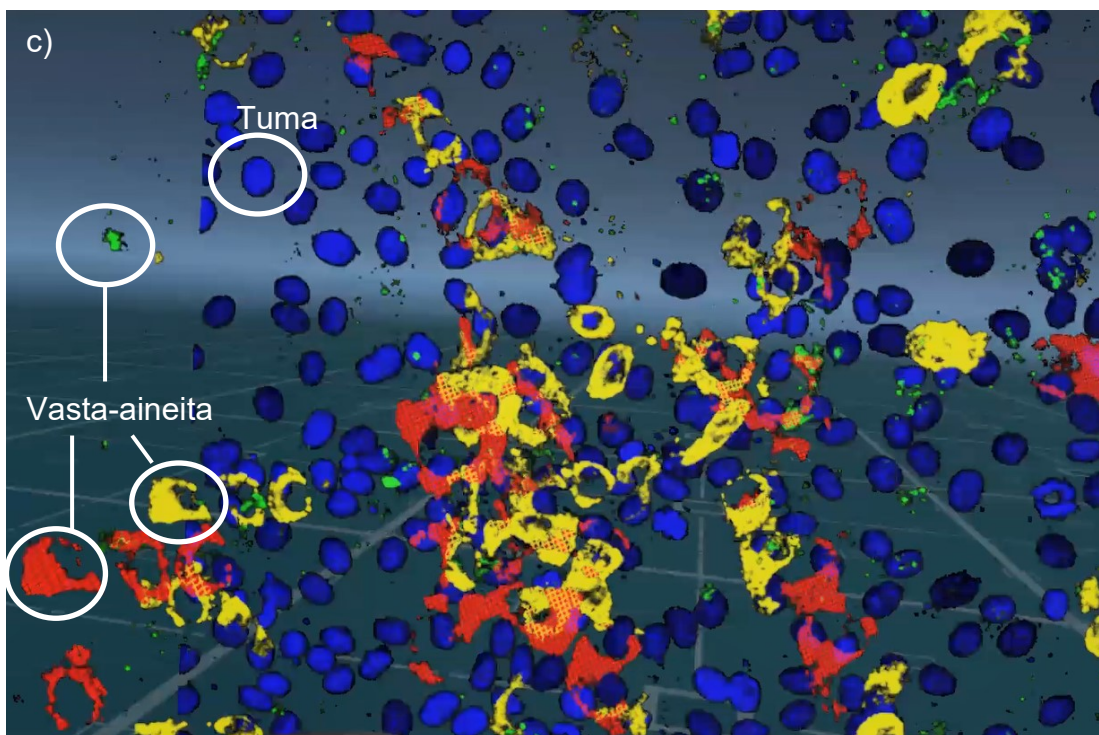
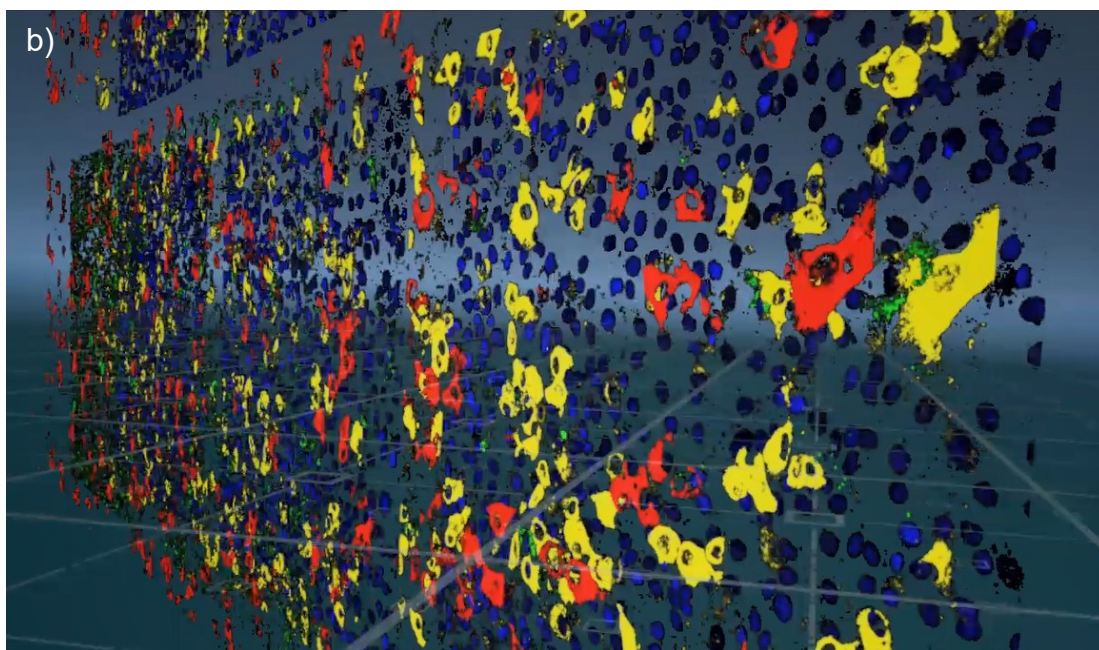


KUVA 21. Kuvienkäsittelyprosessi

Kuvankäsittelyn tuloksena saimme aikaan mikroskooppikuvasta tehdyn VR-visualisointimallin. Valmista mallia voi tarkastella VR-ympäristössä ja siinä näkyy eri tasoissa näytteen eri kerroksia. Prototyypissä on toteutettu toimeksiantajan vaatimukset. Valmis malli eri suunnista näkyy kuvassa 22, jossa a kuvastaa koko

prototyyppiä, b tarkentaa prototyyppiä eri kuvakulmasta ja c kuvastaa pistepilven pisteitä ja tarkemmin eri näytteen osia.



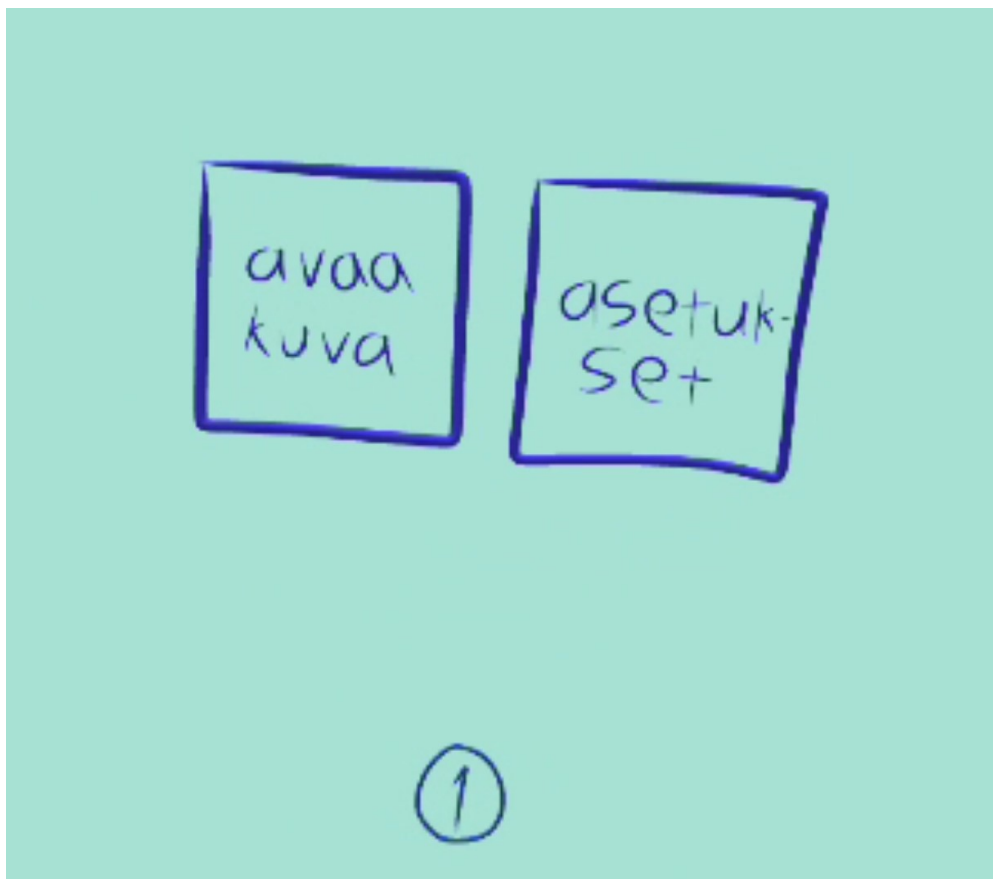


KUVA 22. VR-visualisointimallin prototyyppi

6.3 Käyttöliittymän suunnittelu

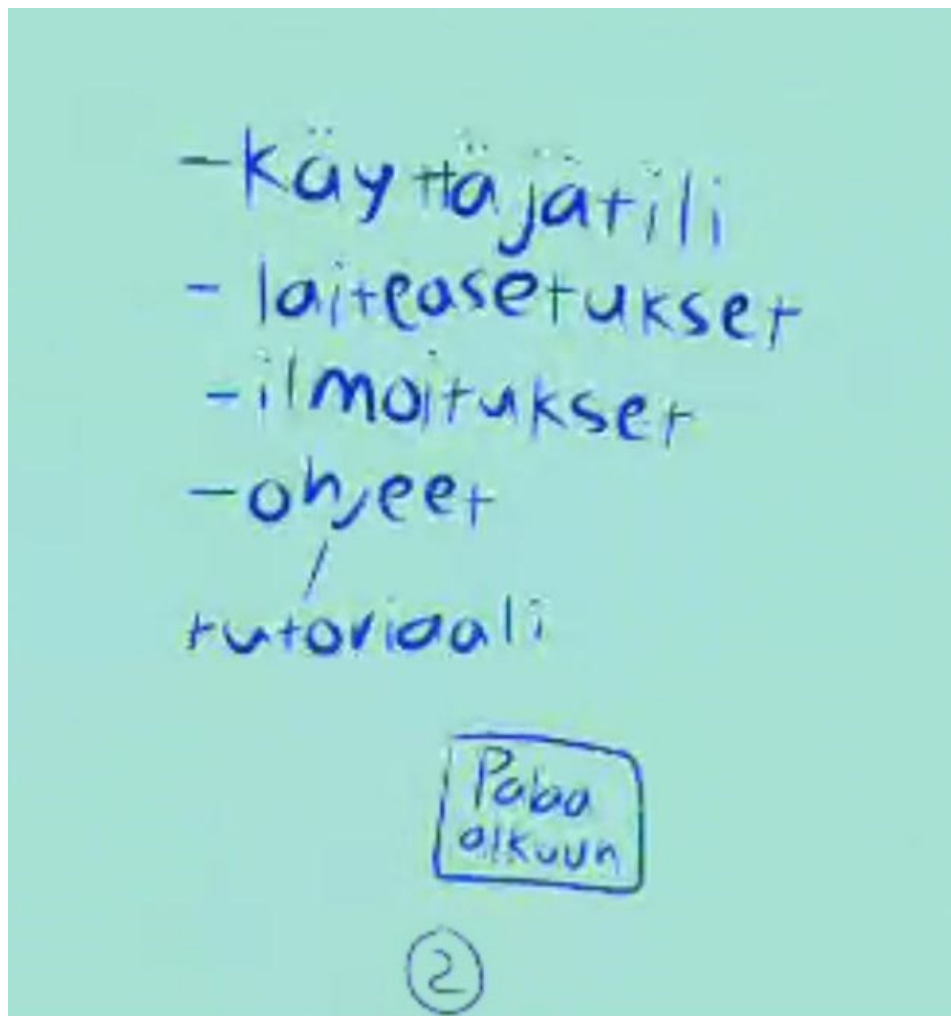
Suunnittelimme alustavaa käyttöliittymää Gravity Sketch-ohjelmalla tekemämme vuokaavion (liite 5) pohjalta. Sovelsimme käyttöliittymän suunnittelussa käytettävyyksmääritelmän viittä eri osa-aluetta. Halusimme tehdä käyttöliitty-

mästä helposti käytettävän ja visuaalisesti selkeän. Toteutimme sen yksinkertaisen värimaailman ja valikoiden määrän minimoinnin avulla. Teimme käyttöliittymäluonnokseen kolme eri näkymää. Ensimmäisessä näkymässä on Avaa kuva – ja Asetukset-valikot (kuva 25). Avaa kuva -valikosta aukeaa näkymä mikroskooppikuvan tarkasteluun ja Asetukset-valikosta pääsee tarkastelemaan asetuksia. Halusimme, että alkunäkymä on mahdollisimman yksinkertainen ja selkeä.



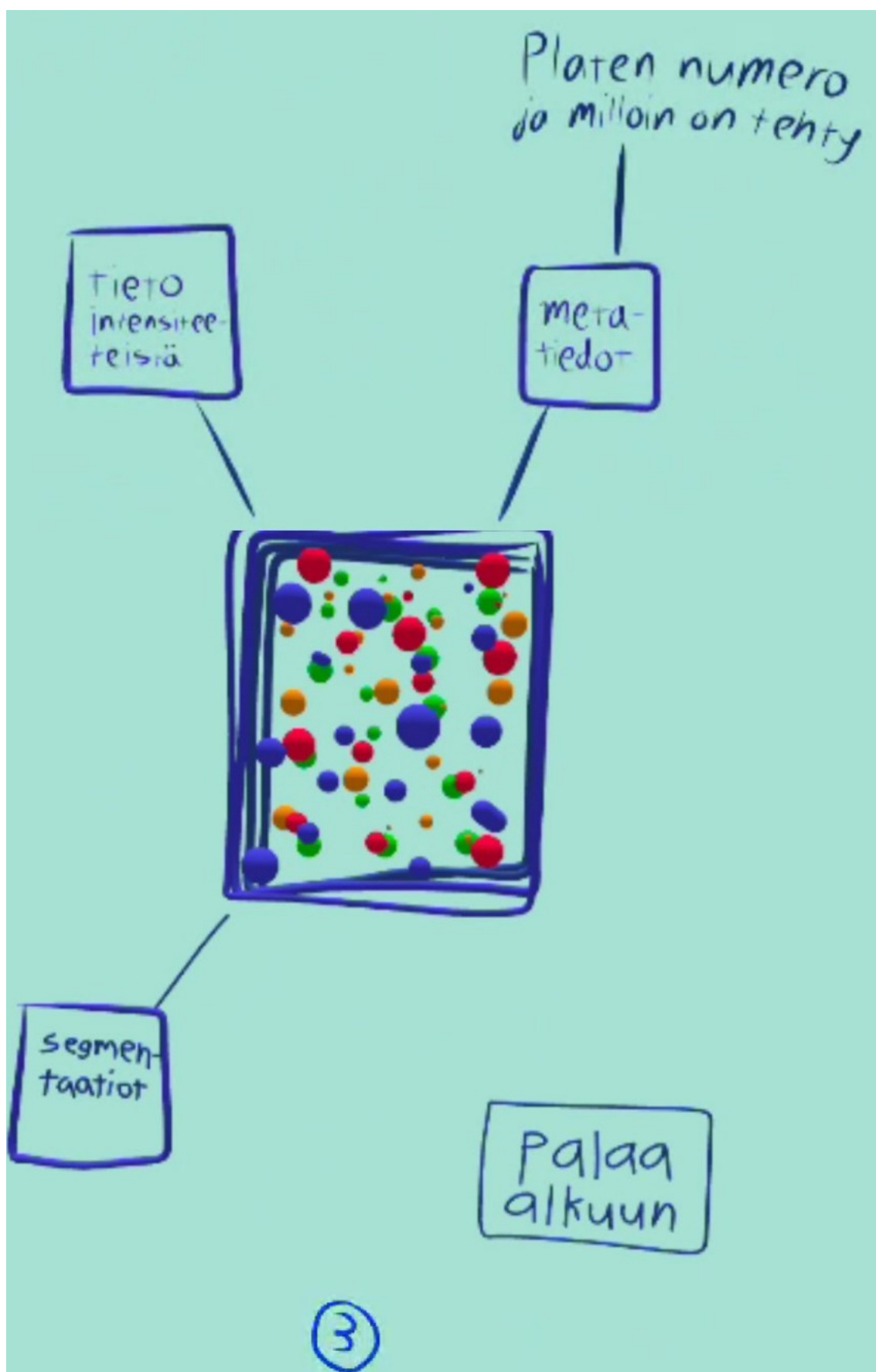
KUVA 25. Käyttöliittymän Aloitussivu-näkymä

Toinen näkymä (kuva 26) avautuu käyttäjälle, kun klikkaa Asetukset-valintaa ensimmäisessä näkymässä. Toisessa näkymässä on käyttäjätiliin liittyvät asetukset, laiteasetukset, ilmoitukset ja ohjeet, josta pääsee kuvitteellisesti katsomaan tutoriaalivideon prototyypin käytöstä. Lisäksi toisessa näkymässä on Palaa alkuun -valinta, jota klikkaamalla käyttäjä pääsee palaamaan takaisin ensimmäiseen näkymään.



KUVA 26. Käyttöliittymän Asetukset-näkymä

Kolmas näkymä (kuva 27) avautuu, kun käyttäjä klikkaa alkunäkymästä Avaa kuva -valintaa. Kolmannessa näkymässä on mahdollista tarkastella mikroskooppikuvaa eri suunnista, nähdä kuvan metatietoja, tietoa kuvan intensiteeteistä ja segmentaatiot. Näkymässä on myös Palaa alkuun -valinta.



KUVA 27. Käyttöliittymän Avaa kuva -näkymä

6.4 Prototyypin ja käyttöliittymän esittely

Sovimme vanhemman tutkijan kanssa esittely- ja haastattelupäivämääräksi 10.3.2021. Covid-19 –pandemian vuoksi kirjallisen työn esittely päätettiin pitää etäyhteyden välityksellä ja prototyypin esittelyt VR-laseilla yksi osallistuja kerrallaan FIMM:n tiloissa. Lähetimme osallistujille kaksi viikkoa ennen tilaisuutta sähköpostilla kutsun esittelypäivään ja linkin Doodle-ajanvaraukseen. Doodlen kautta jokainen osallistuja pystyi varaamaan 30 minuutin ajan prototyypin esittelyä ja haastattelua varten. Viikkoa ennen tilaisuutta lähetimme muistutussähköpostin osallistujille. Suunnittelimme päivän aikataulun riittävän väljäksi, jotta mahdollisille muutoksille olisi tilaa.

Esittelimme opinnäytetyömme FIMM:n tutkijoille keskiviikkona 10.3.2021. Aloitimme tilaisuuden kirjallisen työn esittelyllä Covid-19 –pandemian vuoksi Zoom-etäyhteydellä FIMM:n tiloissa jokainen omalla työpisteellään. Esittelimme työn tarpeen, opinnäytetyön tarkoituksen sekä tavoitteen, työn prosessin, kuvia prosessin eri vaiheista sekä lopputuloksesta. Esityksen lopuksi pohjustimme haastattelua näyttämällä teemahaastattelurungon ja haastattelukysymykset sekä kävimme läpi päivän aikataulua.

Osallistujat tulivat varaaminaan aikoina prototyypin esittelyyn ja haastatteluun. Meillä oli käytössämme kahdet VR-lasit, joista toisilla osallistujat katsoivat VR-visualisointimallin prototyyppiä ja toisilla käyttöliittymää. Käytimme kaksia VR-laseja ajankäytön tehokkuuden maksimointiin. VR-lasit, joilla esittelimme prototyyppiä, olivat kytkettynä USB-johdolla tietokoneeseen ja käyttöliittymää katsottiin itsenäisillä VR-laseilla. Opastimme VR-lasien ja ohjainten käytön ennen varsinaista katselua. Prototyypin esittelyyn tarvitsemamme tietokone siirrettiin pienestä huoneesta isompaan tilaan mahdollistaaksemme turvavälit. Laitteisto desinfioitiin jokaisen osallistujan välillä. Kaikilla osallistujilla oli kirurgiset suu-näsuojat.

Prototyypin ja käyttöliittymän esittelyn yhteydessä haastattelimme osallistujat teemahaastattelulla (teemahaastattelurunko liitteessä 7). Osalla osallistujista oli aiempaa kokemusta VR-lasien käytöstä, jolloin he omatoimisesti kertoivat koke-

muksia, hyviä ominaisuuksia ja kehitysehdotuksia prototyypistä VR-laseilla katselun aikana. Niillä osallistujilla, joilla ei ollut aiempaa kokemusta VR-lasien käytöstä, prototyypin katselu ja lasien käyttö veivät kaiken huomion, jolloin haastattelu toteutettiin katselun jälkeen. Haastattelut äänitettiin osallistujien luvalla ja tallennettiin toisen opinnäytetyön tekijän puhelimen muistiin. Puhelimeen pääsy oli suojattu salasanalla. Haastattelujen käsittelyn jälkeen ne poistettiin puhelimen muistista.

Yhdelle osallistujista esittelimme prototyypin ja käyttöliittymän etäyhteyden välityksellä, sillä hän työskenteli kyseisen päivän etänä. Näytimme VR-visualisointimallin prototyypin Vrifier-ohjelmalla näytönjaon avulla Zoom-etäyhteydessä. Käyttöliittymästä olimme jo etukäteen tehneet esittelyvideon ja ladanneet sen piilotettuna linkkinä toisen opinnäytetyön tekijän henkilökohtaiselle Youtube-tilille. Näytimme käyttöliittymän esittelyvideon myös näytönjaon avulla etänä osallistuvalla tutkijalle.

6.5 Haastattelut

Osa haastateltavista ($n=5$) oli käyttänyt VR-laseja aiemmin ja osa ($n=2$) käytti niitä ensimmäistä kertaa. Lasien käyttö koettiin pääasiassa helpoksi ja haastattelutavat oppivat niiden käytön nopeasti. Yhden haastateltavan mielestä VR-lasien käyttö oli helpompaa kuin hän oli odottanut.

VR-lasien käyttö tuntui normaalimmalta kuin olin odottanut.

Ensimmäistä kertaa laseja käyttäneet yllättyivät siitä, että lasien käytöstä ei tullut lainkaan huono olo. Aiemmin laseja käyttäneiden oli helpompi keskittyä jo alusta saakka prototyypin käyttöön, koska tekninen oppiminen ei vienyt liikaa huomiota. Laseja pystyi käyttämään myös silmälasien kanssa. Teknisten ongelmien vuoksi yhden haastateltavan kohdalla prototyyppi näyttäytyi eri näköisenä kuin olisi pitänyt. Tämä todennäköisesti johtui siitä, että USB-C –johdon tiedonsiirtonopeus ei ollut riittävä. Aiemmin samankaltaisia ongelmia ei ollut esiintynyt. Siitä huolimatta haastateltava koki, että tällaisella visualisointimallilla on paljon potentiaalia.

Käyttötarkoitus-pääteeman alle saimme seuraavia vastauksia. VR-visualisointimallin prototyypin käytettävyys koettiin hyväksi (n=7) ja prototyyppiä oli kaikkien haastateltavien mukaan helppo käyttää mikroskooppikuvan tarkasteluun.

Tätä on helppo käyttää ja helppo ymmärtää.

Ensimmäistä kertaa VR-laseja käyttäneet kokivat, että prototyypin tarkasteluun tarvittavat taidot oli helppo oppia. Kaikki haastateltavat sanoivat, että prototyypissä oli potentiaalia ja voisivat jatkossa nähdä käyttävänsä tämänkaltaista ratkaisua mikroskooppikuvien tarkasteluun. Kaikki haastateltavat kokivat hyötyvänsä mikroskooppidatan visualisoinnista ja kuvien tarkastelusta VR-ympäristössä. Kaikki haastateltavat kertoivat, että VR-ympäristössä pystyi helposti tarkastelemaan näytteen eri kanavia ja kuvaa pystyi kääntelemään. Mutta haastateltavat (n=5) toivoivat, että näytteen eri kanavia voisi piilottaa ja palauttaa näkyviin yksitellen.

Haluaisin pystyä tarkastelemaan jokaista kanavaa erillisenä.

Yksi haastateltavista mainitsi, että prototyypin hyväksi ominaisuudeksi sen, että solua voi tarkastella yksittäin ja todella läheltä.

...tääkin on hieno, mä voin mennä tän yhden solun kohdalle ja katsoa näin läheltä...

VR-visualisointimallin **tärkeinä ominaisuuksina** pidettiin (n=3) sitä, että värit näkyivät eri tasoissa sekä kuvaa pystyi kääntelemään ja tarkastelemaan eri kanavien välistä. Kaikki haastateltavat kokivat, että tämä on hyvä tapa visualisoida Covid-19-vasta-ainetestauksen mikroskooppidataa. Yksi haastateltava sanoi, että ei odottanut prototyypin näyttävän näin hyvältä.

Kaikista haastateltavista huokui innostus prototyyppiä kohtaan, ja tämän myötä saimmekin useita jatkokehitysehdotuksia. Monet haastateltavat (n=4) toivoivat, että jatkossa he pystyisivät tarkastelemaan koko mikroskooppilevyn (384 kuvaa) dataa VR-ympäristössä.

Voisi olla koko plate (mikroskooppilevy) valittavissa.

Toivottiin (n=3) myös, että eri kanavia (eri värejä) voisi tarkastella samanaikaisesti ja myös erikseen esimerkiksi ohjaimen yhtä näppäintä painamalla. Haastateltavat (n=5) toivoivat myös, että näytteen nimet näkyisivät kuvan edessä syvyysuunnassa erillisenä kerroksena.

Osa haastateltavista (n=4) toivoi, että kuvia pystyisi vertailemaan keskenään, eli valitsemaan vain tietyt halutut kuvat yhdeksän kuvan kokonaisuudesta lähempään tarkasteluun.

Olisi hienoa, jos halutessaan voisi valita ne (kuvat) yksittäin.

Muutamit haastateltavat (n=3) ehdottivat, että jatkossa myös jo valmiita 3D-mikroskooppikuvia voisi tuoda VR-ympäristöön, jolloin niistä saisi aikaiseksi kuvan renderöinnin. Yksi haastateltava toivoi, että kuvan saisi laitettua pyörimään itseksseen, jolloin voisi keskittyä kuvan tarkasteluun, eikä kuvaa tarvitsisi itse liikutella koko ajan. Tässä työssä siitä ei olisi hyötyä, mutta syvyysinformaatiota sisältävän 3D-datan tarkastelussa siitä voisi olla hyötyä. Toivottiin (n=2), että näytteiden prediktiot (mitkä ovat positiivisia ja mitkä negatiivisia näytteitä) näkyisivät kuvassa. Myös muita kuvien lisätietoja toivottiin (n=5) näkyviin esimerkiksi eri kuvien osia osoittamalla. Näin kuvasta tulisi interaktiivinen.

Käyttöliittymä koettiin (n=7) toimivaksi ja helpoksi käyttää. Hyvinä ominaisuuksina pidettiin (n=7) yksinkertaisuutta ja perusjutut toimivat kaikkien haastateltavien mukaan hyvin. Jatkokehitysehdotuksena haastateltavat (n=3) toivat esille valikkojen merkitsemistä tarkemmin. Toivottiin (n=2), että asetukset-valikon yläreunassa lukisi asetukset-otsikko. Toivottiin (n=3) myös, että avaa kuva -kohtaan tulisi lisää vaihtoehtoja, kuten useamman kuvan yhdistelmä ja muu tiedosto (esimerkiksi csv-tiedosto). Muutama haastateltava (n=2) mainitsi, että avaa kuva -valikosta voisi aueta avaa tiedosto-valikko.

7 POHDINTA

7.1 Opinnäytetyön tulosten tarkastelu

Cassidyn ym. (2020) tutkimuksessa tehtiin 3D-malli itse 3D-mallinnusohjelmalla, kun taas me muutimme 2D-mikroskooppikuvan suoraan VR-ympäristöön sopivaksi kuvankäsittelyohjelmilla. Safadelin & Whiten (2020) tutkimuksessa myös tehtiin 3D-malli 3D-mallinnusohjelmalla, jonka jälkeen se visualisoitiin VR-ympäristössä. InViewR-ohjelman ominaisuudet ovat sellaisia, joita valmiissa VR-visualisointiohjelmassa toivotaan tulevaisuudessa olevan. Patentin vuoksi InViewR-ohjelman algoritmeista ei kerrota tarkemmin. (Zugates 2019)

Opinnäytetyön tulokset vastasivat hyvin opinnäytetyölle asetettuihin tutkimusksymyksiin. Prototyypin kehittäminen toteutui erittäin sujuvasti eri toimijoiden yhteistyönä. Prototyypin esittely ja haastattelut toteutuivat erinomaisesti, sillä jokainen osallistuja toimi sitoutuneesti ja innostuneesti. Prototyypin esittelyssä tuli ilmi monipuolisesti erilaisia ajatuksia, kuinka prototyyppiä voisi kehittää, jotta siitä voisi jatkossa kehittää toimivan visualisointitavan. Kaikki haastateltavat kokivat VR-visualisointimallin prototyypin tuovan hyötyä ja tehokkuutta heidän työhönsä. Saman huomasivat Johnston ym. (2018) tutkimuksessaan, jossa kerrottiin VR:n voivan olla tulevaisuudessa tärkeä työkalu soluarkkitehtuuria ja -prosesseja tutkiville tutkijoille.

Tässä tutkimuksessa kävi ilmi, että tutkijat pitivät tärkeimpinä tarkasteltavina tietoina tumia ja vasta-aineita sekä sitä, että kerroksia saisi tarkasteltua myös yksittäin. Visualisointiohjelman avulla tutkijat voivat katsoa yhdellä silmäyksellä, onko näyte positiivinen vai negatiivinen ja nähdä vasta-aineiden määrän. Tässä työssä selvisi, että tutkijat haluaisivat visualisointiohjelman olevan interaktiivinen, jolloin kuvasta saisi oleelliset tiedot helposti näkyville.

Prototyypin esittelyssä oli jonkin verran teknisiä ongelmia. Oculus Quest 2 -lasien käytön aloittaessa lasit pyytävät määrittämään turvallisen pelialueen. Lasit eivät muistaneet jo aiemmin määriteltyä pelialuetta, vaikka olimme samassa pis-

teessä koko ajan. Tämän johdosta jouduimme määrittämään turvallisen pelialueen jokaisen haastateltavan kohdalla uudelleen ja se häiritsi hieman prototyypin esittelyn aloittamista. Jotta VR-laseista saa kaiken hyödyn irti ja kuva ei pätki, tarvitaan USB3.0-johto tietokoneen ja VR-lasien välille. Kyseisten VR-lasien mukana ei tätä johtoa tule mukana, joka oli iso miinus prototyyppiä esitellessä, koska kuva pätki ajoittain.

Lähdimme aluksi toteuttamaan opinnäytetyötä liian laajasti ja ajatuksenamme oli luoda kokonainen sovellus. Matkan varrella jouduimme rajaamaan työtä koskemaan VR-visualisointimallin prototyyppiä, jotta saimme siitä sopivanlaajuisen aiheen opinnäytetyöhön. Tästä opimme, että jatkossa työn ja vaatimusten rajaaminen alussa on ehdottoman tärkeää.

VR-visualisointi tulee lisääntymään eri tieteenaloilla, kuten myös molekyyli lääketieteessä. Kyseisenkaltainen teknologia voi parhaillaan tehostaa tutkijoiden prosesseja ja tuoda laatua näytteiden analysointiin. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tutkijat kokevat kyseisenkaltaisen teknologian hyödylliseksi ja toivottujen parannuksien avulla tästä voidaan kehittää enemmän tutkijoita palveleva kokonaisuus. Vaikka algoritmi olisi kuinka älykäs tahansa, se ei välttämättä pysty erottelemaan kuvasta päällekkäisyyksiä. VR:n avulla voi nähdä näytteiden rakenteet eri tavalla ja käyttäjä voi erottaa rakenteet ja päällekkäisyydet. Tämän vuoksi virtuaalitodellisuus on erittäin tehokas tapa tutkimustulosten analysointiin.

7.2 Opinnäytetyön luotettavuus

Luotettavuus on hyvin tärkeää tutkimusta tehdessä. Luotettavuutta arvioidaan tutkimusmenetelmien, tutkimusprosessin ja tutkimustuloksien osalta (Toikko & Rantanen 2009.) Tutkimuksen teossa on tärkeää välttää virheiden syntymistä. Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta parantaa tarkka selostus tutkimuksen toteuttamisesta työn jokaisessa vaiheessa. (Hirsjärvi ym. 2014, 231-232.) Tässä opinnäytetyössä työnkulku on käyty mahdollisimman tarkasti läpi työn edetessä.

Kehittämistyön luotettavuudella tarkoitetaan tutkimusmenetelmän kykyä näyttää toteen sitä, mitä sillä on tarkoitus selvittää. Luotettavuus kertoo siitä, miten tulokset vastaavat todellisuutta ja ovatko ne oikeita. Luotettavuuteen liittyy myös se, miten käsitteiden yhdistäminen tutkimuksen kohteena oleviin ilmiöihin on toteutettu. Luotettavuuden arvioinnissa arvioidaan sitä, kuinka hyvin tutkimusote ja siinä käytetyt menetelmät sopivat kohteena olevan ilmiön tutkimiseen. Tutkimusmenetelmä ei itsessään johda tietoon, vaan se on valittava sen mukaan, millaista tietoa halutaan. (Hyväri & Vuokila-Oikkonen 2020.) Konstruktiivinen tutkimusote sopi tähän työhön hyvin ja lisäsi työn luotettavuutta. Kehittämistyön lähtökohtana oli luoda uusi, konkreettinen tuotos, johon sopii lähestymistavaksi parhaiten konstruktiivinen tutkimusote, ja haastattelu on yksi tyypillinen menetelmä tässä lähestymistavassa. (Ojasalo ym. 2009). Kehittämistyön osuutena tässä työssä tuotettiin konkreettinen tuotos ja teemahaastattelun avulla saatiin tietoa tuotoksen hyödynnettävyydestä.

Työn luotettavuutta voidaan parantaa keräämällä tietoa useista eri lähteistä sekä verrata eri tietolähteistä kerättyä tietoa keskenään ja katsoa, tuottavatko nämä toisiaan tukevia tuloksia. Luotettavuuden näkökulmasta arvioidaan myös kehittämistyöhön osallistuneiden mukana olo prosessin aikana. On hyvin oleellista tuntea perusteellisesti tuotoksen tulevien käyttäjien tarpeet, jonka vuoksi yhteistyön merkitystä tulisi alusta saakka painottaa (Ojasalo ym. 2009). Tässä työssä teimme tiivistä yhteistyötä toimeksiantajan ja yhteistyökumppanin kanssa työn jokaisessa vaiheessa, joka näin osaltaan lisäsi työn luotettavuutta.

Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta arvioitaessa kiinnitetään huomiota tutkimusaineiston keräämiseen, aineiston analysointiin ja tutkimuksen raportointiin. Jos aineisto kerätään haastattelemalla, työhön on kirjattava teemat tai kysymykset, joita haastattelussa käytettiin. (Hyväri & Vuokila-Oikkonen 2020.) Työsämme olemme esitelleet teemahaastattelussa käytetyt teemat ja kysymykset. Haastattelutilanteessa syntynyttä vuorovaikutussuhdetta ja haastatteluun vaikuttaneita tekijöitä on syytä arvioida myös, sillä ne osaltaan vaikuttavat tutkimuksen luotettavuuteen (Hyväri & Vuokila-Oikkonen 2020). Kaikki haastateltavat olivat motivoituneita ja avoimia haastattelussa. Suorien lainausten esittäminen haastattelusta tässä työssä auttaa lukijaa seuraamaan analyysiä ja arvioimaan, mihin se on perustunut.

Keskeinen osa luotettavuutta on toistettavuus. Tieteellisten tulosten edellytetään olevan toistettavissa niin, että toinen tutkija voi toistaa saman tutkimuksen ja saada samanlaisia tutkimustuloksia. (Toikko & Rantanen 2009.) Dokumentimme kuvankäsittelyprosessin tarkasti ja pystyimme toistamaan sen useamman kerran samanlaisilla tuloksilla. Tarkka työnkulku on opinnäytetyön liitteenä ja sen voi kuka tahansa halutessaan toistaa.

Kehittämistoiminnassa luotettavuus tarkoittaa sitä, että tieto on todenmukaista sekä ennen kaikkea käyttökelpoista ja hyödyllistä. Luotettavuusarviointi kohdistuu siihen, miten hyvin tutkimuksellisessa kehittämisessä on onnistuttu ja lopputuloksen käyttökelpoisuuteen. (Toikko & Rantanen 2009.) Saimme kehitystyön lopputuloksena tehtyä toimivan VR-visualisointimallin prototyypin ja haastatteluiden perusteella se koettiin hyödylliseksi ja jatkokehityskelpoiseksi. Prototyypissä oli toimeksiantajan esille tuomat vaaditut ominaisuudet. Kehittämistyön luotettavuutta lisää se, että työn on arvioinut ja kommentoinut toimeksiantaja ja yhteistyökumppani.

Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät on valittu johdonmukaisesti ja sen mukaan, millaista tietoa on haluttu saada. Opinnäytetyön tulokset on raportoitu tarkasti ja avoimesti. Lisäksi opinnäytetyö on tarkastettu plagioinnin varalta.

7.3 Opinnäytetyön eettisyys

Eettisesti hyvä tutkimus edellyttää hyvän tieteellisen käytännön käyttämistä, johon kuuluu rehellisyys, huolellisuus ja tarkkaavaisuus tutkimustyössä, tulosten tallentamisessa ja esittämisessä sekä tutkimuksen ja tulosten arvioinnissa. Tutkimustulosten on täytettävä asetetut vaatimukset, eli tutkimuksen on tuotettava joko uutta tietoa tai esitettävä, miten aiempaa tietoa voidaan hyödyntää uudella tavalla. (Tampereen yliopisto n.d.) Tässä työssä tuotettiin tietoa siitä, minkälaisella kuvankäsittelyprosessilla 2D-mikroskooppikuva saadaan VR-muotoon sekä miten VR-visualisointimallin käyttö koetaan. Aiempia tutkimuksia kyseisen tuotoksen kaltaisista visualisoinneista oli muutamia, mutta suomalaisia tutkimuksia ei löytynyt. Vertasimme tutkimustuloksia aiempiin tutkimuksiin ja teoriaan.

Opinnäytetyön suunnittelussa, toteutuksessa ja raportoinnissa on toimittu Tampereen ammattikorkeakoulun opinnäytetyön ohjeiden mukaan. Opinnäytetyössä on hyödynnetty toimeksiantajan ohjeita ja suosituksia, toisen ylemmän ammattikorkeakouluopiskelijan vertaisarviointia ja Tampereen ammattikorkeakoulun tarjoamaa ohjausta. Prototyypin esittelytilanteessa ja haastatteluissa käytyjen keskusteluiden litteroiduista aineistoista ei tule ilmi kenenkään osallistujan nimeä tai muita tietoja. Kaikki opinnäytetyössä mukana olleet olivat tietoisia siitä, että haastattelut nauhoitettiin ja vastauksia käytettiin osana opinnäytetyötä. Opinnäytetyössä on asianmukaisesti huomioitu muiden tutkijoiden työ ja saavutukset käyttäen huolellista lähdeviittausta. Työn etenemistä on dokumentoitu tarkasti ja säännöllisesti. Hyvään tieteelliseen käytäntöön kuuluu myös sopimuksen tekemisen työn osapuolien välillä ja sen noudattaminen (Tampereen yliopisto n.d.). Teimme sopimuksen osapuolten välillä ja noudatimme sitä.

Teknologiaan liittyvät eettiset kysymykset ovat saman tyyppisiä kuin potilasdatan käsittelyssä ylipäättään. Keskeisiä eettisiä periaatteita teknologian hyödyntämisessä ovat hyvän tekeminen sekä vahingon välttäminen, yksityisyydensuoja, oikeudenmukaisuus ja turvallisuus. (Valtakunnallinen sosiaali- ja terveysalan eettinen neuvottelukunta ETENE 2010.) Etiikan ja hyväksyttävyyden näkökulmista riskejä voivat olla vajavaiset järjestelmät, yksityisyyden vaarantuminen, toimittajaloukku ja järjestelmän ylläpidon ja uudistamisen organisoinnin haasteet.

Suomessa julkiseen sektoriin luotetaan, koska sen uskotaan toimivan oikein, eettisesti. Vaikka digitalisaatio lisääntyy jatkuvasti, on se vielä osaltaan kohtalaisen sääntelemätöntä. Vähitellen alkaa kuitenkin olla käsitys siitä, mitä ei haluta tapahtuvan ja miten algoritmien ei haluta toimivan. EU-säädökset ja direktiivit ovat alku yhteisille pelisäännöille, mutta se ei poista organisaatioiden vastuuta eettisten kysymysten tarkastelusta. Sosiaali- ja terveydenhuollon näkökulmasta eettisten kysymysten pohtiminen on jatkossa välttämätöntä uusien teknologioiden myötä. Työssämme mikroskooppikuvadatan tarkastelu siirrettiin VR-ympäristöön, jolloin ihminen edelleen tekee analyysit ja päätelmät. Mikroskooppikuvien tarkastelun automatisointia on aloitettu opettamalla tekoälyä tunnistamaan näytteestä tietyt osat. Jatkossa todennäköisesti segmentointia ja tulosten tarkastelua

tehdään siis tekoälyn avulla. Tällöin eettisiksi kysymyksiksi nousevat muun muassa tekoälyn päätöksentekokyky ja luotettavuus, erityisesti silloin, jos se tekee päätöksiä tai edes suosituksia potilasta koskevassa asiassa.

7.4 Jatkotutkimusehdotukset

Jatkossa olisi mielenkiintoista toistaa sama kuvankäsittelyprosessi syvyysinformaatiota sisältävälle 3D-datalle ja tutkia, minkälaisen mallin siitä saisi VR-ympäristöön. Lisäksi jatkossa olisi kiinnostavaa tutkia valmiin VR-visualisointiohjelman tuomia hyötyjä verrattuna nykyiseen tulosten tarkasteluprosessiin.

Uskomme, että prototyypistä tullaan jatkokehittämään VR-visualisointiohjelma molekyyli lääketieteen käyttöön. Ohjelman kehittämisen kannalta on erittäin tärkeää, että tutkijat otetaan mukaan jo ohjelman suunnitteluvaiheessa. Huolellisella suunnittelulla ja kehittämisellä ohjelmasta saadaan molekyyli lääketieteen tutkijoiden tarpeita palveleva tuote. Työelämän tarpeet muuttuvat jatkuvasti ja yhdessä ammattilaisten kanssa kehitetyillä sisällöillä voidaan vastata näihin tarpeisiin.

8 KIITOKSET

Haluamme kiittää toimeksiantajaa, Suomen molekyyli lääketieteen instituuttia ja erityisesti vanhempaa tutkijaa Vilja Pietiäistä ja laboratoriokoordinaattoria Minttu Polsoa sekä Aleksis Karnea yhteistyökumppani Teatime Researchista. Haluamme erityisesti kiittää osallistumisesta opinnäytetyön prosessiin ja erittäin hyvästä ohjauksesta koko projektin ajan. Tätä opinnäytetyötä ei olisi ilman kaikkien arvokasta panostusta tälle työlle. Haluamme kiittää haastateltuja asiantuntijoita ajasta ja arvokkaasta palautteesta koskien työtämme. Suurimmat kiitokset läheisimmillemme mukana elämisestä ja uskon valamisesta matkan varrella.

LÄHTEET

Ali, S., Qandeel, M., Ramakrishna, R. & Yang, CW. 2018. A Pilot Study: Virtual Simulation in Enhancing Procedural Training for Fluoroscopy-guided Lumbar Puncture. *Academic Radiology* 25 (2), 235–239.

Aparicio, M. & Costa, C. 2014. Journal Article: Data Visualization. *Communication Design Quarterly Review* 3 (1), 7–11.

Ayerbe, V., Morales, M., Rojas, C. & Cortés, M. 2020. Research Article: Visualization of 3D Models Through Virtual Reality in the Planning of Congenital Cardiothoracic Anomalies Correction: An Initial Experience. *World Journal of Pediatric Congenital Heart Surgery* 11 (5), 627–629.

Azagury, DE., Ryou, M., Shaikh, SN., San José Estépar, R., Lengyel, Bl., Jagadeesan, J., Vosburgh, KG. & Thompson, CC. 2012. Research Article: Real-time Computed Tomography-based Augmented Reality for Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery Navigation. *British Journal of Surgery* 99 (9), 1246–1253.

Barnes, S. 2016. Understanding virtual reality in marketing: Nature, implications and potential. School of Management and Business, King's College London. <https://ssrn.com/abstract=2909100>

Cassidy, K., Šefčík, J., Raghav, Y., Chang, A. & Durrant, J. 2020. ProteinVR: Web-based molecular visualization in virtual reality. *PLOS Computational Biology*. 16 (3).

Cates, CU., Lönn, L. & Gallagher, AG. 2016. Research Article: Prospective, Randomised and Blinded Comparison of Proficiency-based Progression Full-physics Virtual Reality Simulator Training Versus Invasive Vascular Experience for Learning Carotid Artery Angiography by Very Experienced Operators. *BMJ Simulation and Technology Enhanced Learning* 2 (1), 1–5.

Charara, S. 2017. Explained: How does VR actually work? VR wearable technology feature. Wareable. Luettu 22.10. 2020. <https://www.wareable.com/vr/how-does-vr-work-explained>

Chen, C., Härdle, W. & Unwin, A. 2008. *Handbook of Data Visualization*. Switzerland: Springer.

CloudCompare. 2021. Introduction. Luettu 14.2.2021. <https://www.cloudcompare.org/>

Cloud-to-Cloud Distance. 2016. CloudCompareWiki. Luettu 3.3.2021. <https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Introduction>

Deeks, J., Dinnes, J., Takwoingi, Y., Davenport, C., Spijker, R., Taylor-Phillips, S., Adriano, A., Beese, S., Dretzke, J., Ferrante di Ruffano, L., Harris, I., Price, M., Dittich, S., Emperador, D., Hooft, L., Leeftang, M., Van den Bruel, A. &

Cochrane COVID-19 diagnostic test accuracy group. 2020. Ssystematic Review: Antibody Tests for Identification of Current and Past Infection With SARS-CoV-2. The Cochrane Database of Systematic Reviews 6 (6).

Dolley, S. 2018. Review Article: Big Data's Role in Precision Public Health. *Frontiers in Public Health* 6, 68.

Eloranta, V-P. 2015. Techniques and practices for software architecture work in agile software development. Tampereen teknillinen yliopisto. Väitöskirja. Julkaisu 1293.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2016/679 luonnollisten henkilöiden suojelusta henkilötietojen käsittelyssä sekä näiden tietojen vapaasta liikkuvuudesta ja direktiivin 95/46/EY kumoamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679>

Fang Jiang, Liehua Deng, Liangqing Zhang, Yin Cai, Chi Wai Cheung, Zhengyuan Xia. 2020. Review Article: Review of The Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 (covid-19). *Journal of General Internal Medicine* 35 (5), 1545–1549.

FiCom. 2021. Lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus. Päivitetty 4.1.2021. Luettu 5.3.2021. <https://www.ficom.fi/ict-ala/tietopankki/internetpalvelut/lisatty-todellisuus-ja-virtuaalitodellisuus/lisatty-todellisuus-ja-virtuaalitodellisuus/#kasitteet>

FIMM. 2018. Suomen molekyyli lääketieteen instituutti. Internet-sivu. Luettu 11.2.2021. <https://www.fimm.fi/fi/fimm/tietoa-fimmist%C3%A4>

Gaines, A.D. & David-Floyd, R. 2003. On Biomedicine. Yale: Human Relations Area Files. Luettu 11.2.2021. https://www.researchgate.net/profile/Robbie-Davis-Floyd/publication/225949923_Biomedicine/links/0fcfd511ea2685ef1a000000/Biomedicine.pdf

George, N. 2004. Spinning Disk vs. Laser-Scanning Confocal Microscopes. Luettu 18.3.2021. https://www.photonics.com/Articles/Spinning_Disk_vs_Laser-Scanning_Confocal/a20129

Goddard, T., Brilliant, A., Skillman, T., Vergenz, S., Tyrwhitt-Drake, J., Meng, E. & Ferrin, T. 2018. Molecular Visualization on the Holodeck. *Journal of Molecular Biology* 430(21), 3982-3996.

Goo, H., Park, S. & Yoo, S-J. 2020. Review Article: Advanced Medical Use of Three-Dimensional Imaging in Congenital Heart Disease: Augmented Reality, Mixed Reality, Virtual Reality, and Three-Dimensional Printing. *Korean Journal of Radiology* 21 (2), 133–145.

Gravity Sketch. 2021. Gravity Sketch. Luettu 23.2.2021. <https://www.gravitysketch.com/>

Greenwald, W. 2020. The best VR headsets for 2020. PC Magazine. Luettu 25.10.2020. <https://uk.pcmag.com/virtual-reality/75926/the-best-vr-headsets>

Guo, L., Ren, L., Yang, S., Xiao, M., Chang, D., Yang, F., Dela Cruz, C., Wang, Y., Wu, C., Xiáo, Y., Zhang, L., Han, L., Dang, S., Xu, Y., Yang, Q., Xu, S., Zhu, H., Xu, Y., Jin, Q., Sharma, L., Wang, L. & Wang, J. 2020. Profiling Early Humoral Response to Diagnose Novel Coronavirus Disease (covid-19). *Clinical Infectious Diseases* 71 (15), 778-785.

Haapalainen, O. 2020. Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen markkinoinnissa. Informaatioteknologian tiedekunta. Jyväskylän yliopisto. Kandidaatintutkielma.

Hallikainen, J. 2019. Työmäärän arviointi ohjelmistoprojektissa Effort Estimation in Software Project. Tuotantotalouden koulutusohjelma. LUT-yliopisto. Kandidaatintyö.

Heinrich, F., Huettl, F., Schmidt, G., Paschold, M., Kneist, W., Huber, T. & Hansen, C. 2021. HoloPointer: a virtual augmented reality pointer for laparoscopic surgery training. Luettu 27.2.2021. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.libproxy.tuni.fi/33095424/>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2014. Tutkija ja kirjoita. 19.painos. Porvoo: Bookwell Oy.

Hyväri, S. & Vuokila-Oikonen, P. 2020. Tutkimus- ja kehittämistyön luotettavuus. Luettu 18.3.2021. <https://libguides.diak.fi/c.php?g=670543&p=4760642>

Ibidi. 2021. Microscopy Techniques and Culture Surfaces: Find the Perfect Match. Luettu 14.2.2021. <https://ibidi.com/content/216-confocal-microscopy>

Immonen, P. 2013. Käyttäjäkokemus ja käytettävyys - Tutkielma vuorovaikutuksesta. Tietojenkäsittelytieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto. Pro gradu -tutkielma.

JAMK. 2018. Vaatimusmäärittely. Kurssimateriaali. Luettu 21.1.2021. https://gitlab.labranet.jamk.fi/T2_ryhmaprojekti/T2_ryhmaprojekti/-wikis/vaatimusm%C3%A4%C3%A4ritelm%C3%A4.md

Javaid, M. & Haleem, A. 2019. Virtual reality applications toward medical field. Department of Mechanical Engineering, Jamia Millia Islamia, New Delhi, India.

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. <http://docplayer.fi/7209674-Laserkeilauksen-perusteita-ja-mittauksen-suunnittelu.html>

Johnston, A., Rae, J., Ariotti, N., Bailey, B., Lilja, A. Webb, R., Ferguson, C., Maher, S., Davis, T., Webb, R., McGhee, J. & Parton, R. 2018. Article: Journey to the Center of the Cell: Virtual Reality Immersion into Scientific Data. *The Moving Front of cell Biology* 19 (2), 105-110.

Jokiranta, S. & Seppälä, I. 2011. Vasta-aineiden rakenteen ja toiminnan perusteet. Immunologia. Kustannus Oy Duodecim. Luettu 11.9.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.oppiportti.fi/op/imm00801/do>

JUHTA. 2009. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 1/27 JHS 165 ICT-palvelujen kehittäminen: Vaatimusmäärittely. Luettu 13.1.2021. http://109.70.164.166/c/document_library/get_file?uuid=b8118ad7-8ee4-459a-a12b-f56655e4ab9d&groupId=14

Kaipainen, T. 2016. Ketterä ohjelmistokehitys lääketieteellisessä viitekehityksessä. Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Karme, A., & Happonen, P. 2017. Virtual Reality in Natural Sciences. LUMAT-B: International Journal on Math, Science and Technology Education 2(4), 2-5. Luettu 17.3.2021. <https://journals.helsinki.fi/lumatb/article/view/1154>

Kontula, K. 2020. Toipilasplasma koronainfektiön hoidossa: ensimmäinen kontrolloitu tutkimus / Koronapotilaiden veri on viskoosia. Duodecim. Luettu 9.6.2020. https://terveysportti.mobi/terveyskirjasto/uutismaailma/duodecimapuutisarkisto?p_arkisto=0&p_palsta=37&p_artikkeli=uux24432

Kramer, J., Burrus, N., Echtler, F., Herrera, D. & Parker, M. 2012. Hacking the Kinect. Apress.

Kähönen-Anttila, P. 2016. Perinteinen vaatimusmäärittely vs. käytötapaukset. Blogikirjoitus. Luettu 13.1.2021. <https://www.pasaati.com/blog/perinteinen-vaatimusm%C3%A4%C3%A4rittely-vs.-k%C3%A4ytt%C3%B6tapaukset>

Lampi, M. & Hannus, E. N.d. Datavisualisointiopas. Xamk. Käsikirja. Luettu 13.9.2020. <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitystoiminta/dataopas/>

Lappalainen, M. & Julkunen, I. 2020. SARS, SARS-2 ja MERS-koronavirukset. Mikrobiologia. Duodecim oppiportti. 24.6.2020. <https://www.oppiporssi.fi/op/mbg00342/do>

LaValle, S. M. 2017. Virtual Reality. Cambridge University Press.

Leng, Y. 2013. Materials Characterization : Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods. Second Edition. Wiley VCH, Verlag.

Lehtinen, V. 2010. Tietoturvan ja tietosuojan kehittäminen pilviteknologiassa — standardit ja kehysmallit sekä riskienhallinnan näkökulma. Jyväskylän yliopisto. Pro gradu – tutkielma.

Linsen, L., Hagen, H. & Hamann, B. 2008. Visualization in Medicine and Life Sciences. Springer Berlin Heidelberg New York.

Linsen, L., Hamann, B., Hagen, H. & Hege, H-C. 2012. Visualization in Medicine and Life Sciences II – Progress and New Challenges. Springer Heidelberg Dordrecht London New York.

Linte, CA., Davenport, KP., Cleary, K., Peters, C., Vosburgh, KG., Navab, N., Eddie, P., Jannin, P., Peters, TM., Holmes, DR. & Robb, RA. 2013. Journal Article: On Mixed Reality Environments for Minimally Invasive Therapy Guidance: Systems Architecture, Successes and Challenges in their Implementation from Laboratory to Clinic. *Computerized Medical Imaging and Graphs* 37 (2), 83–97.

Logical Increments. 2020. How to build a PC for virtual reality: Oculus Rift, HTC Vive and VR gaming. Päivitetty 2.10.2020. Luettu 22.10.2020. <https://www.logicalincrements.com/articles/vrguide>

Lounatmaa, K. & Rantala, I. 1998. Biologinen valomikroskopia. Helsinki: Yliopistopaino.

Luoto, K. 2015. Ketterät vaatimukset – Käyttäjätarina ja visio. <https://www.sli-deshare.net/codento/kettert-vaatimukset-kytjitarina-ja-visio>

Luukkainen, M. 2020. Ohjelmistojen vaatimusmäärittely, tuotteen ja sprintin hallintaa. <https://ohjelmistotuotanto-hy.github.io/osa2/>

Martin, E. & Hine, R. 2015. A dictionary of biology. 7. painos. Oxford university press.

McGrant, D. 2018. Quantitative Analysis for System Applications: Data Science and Analytics Tools and Techniques. Technics Publications.

Meri, S. 2011. Johdanto immunologiaan. Immunologia. Kustannus Oy Duodecim. Luettu 11.9.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.oppi-portti.fi/op/imm00101/do>

Meshlab. 2021. Luettu 14.2.2021. <https://www.meshlab.net/>

Mihelj, M., Novak, D. & Beguš, S. 2014. Virtual Reality Technology and Applications. Springer Dordrecht Heidelberg New York London.

Milgram, P. & Kishino, F. 1994. Article: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems* E77-D (12), 3.

Muldoon, N. 2020. The Ultimate Guide to User Story Mapping. Päivitetty 11.5.2020. Luettu 18.1.2021. <https://www.easyagile.com/blog/the-ultimate-guide-to-user-story-maps/>

Murphy, D.B. & Davidson M.W. 2012. Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging. Second Edition. Wiley-Blackwell.

Müller, C., Krone, M., Huber, M., Biener, V., Herr, D., Koch, S., Reina, G., Weiskopf, D. & Ertl, T. 2020. Interactive Molecular Graphics for Augmented Reality Using HoloLens. Luettu 27.2.2021. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih.gov.lib-proxy.tuni.fi/29897886/>

Mäenpää, S. & Vihavainen, E. 2021. Pistepilvi tutuksi. Luettu 14.2.2021. <https://3d-malli.fi/pistepilvi-tutuksi/>

Nanome. N.d. The future of molecular design. Luettu 1.3.2021. <https://nanome.ai>

National Institute of Standards and Technology. 2015. NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 1, Definitions (NIST Special Publication 1500-1).

Nikon. 2021. Three-Color Confocal Imaging - Methods and Applications of Three-Color Imaging for Laser Scanning Confocal Microscopy. Luettu 14.2.2021. <https://www.microscopyu.com/techniques/confocal/three-color-confocal-imaging>

Norman, D. 2013. The Design of Everyday Things. Cambridge: The MIT Press.

Publication Series. Luettu 26.9.2020. <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1500-1.pdf>

Nielsen, Jakob. Usability Engineering. 1993. Academic Press.

Noble, S. 2020. The best all-in-one VR headsets of 2020. Päivitetty 8.1.2020. Luettu 25.10.2020. <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/vr-ar/best-standalone-vr-headset/>

Nopanen, M. 2016. Sähköisen terveydenhuollon tietojärjestelmien vaatimusmäärittely. Tietojenkäsittelytieteen laitos. Helsingin yliopisto. Pro gradu -tutkielma.

Odell, I. & Cook, D. 2013. Immunofluorescence Techniques. Journal of Investigative Dermatology 133 (e4), 1–4.

Paakki, J. 2011. Ohjelmistojen vaatimusmäärittely. Luentodiat. Tietojenkäsittelytieteen laitos. Luettu 18.1.2021. <https://www.cs.helsinki.fi/u/paakki/Vaatimus-11-Luentokalvot-4.pdf>

Panesar, S., Magnetta, M., Mukherjee, D., Abhinav, K., Branstetter, B., Gardner, P., Iv, M. & Fernandez-Miranda, J. 2019. Review Article: Patient-specific 3-dimensionally Printed Models for Neurosurgical Planning and Education. Journal of Neurosurgery 47 (6), E12.

Pascarella, G., Strumia, A., Piliego, C., Bruno, F., Del Buono, R., Costa, F., Scarlata, S. & Agrò, F. 2020. Journal Article. COVID-19 Diagnosis and Management: A Comprehensive Review. Journal of Internal Medicine 13.

Peckham, M. 2016. Here's what computer you'll need to use virtual reality. TIME. Luettu 22.10.2020. <https://time.com/4169188/virtual-reality-vr-oculus-rift-computer/>

Peterson, C., Tavana, S., Akinleye, O., Johnson, W. & Berkmen, M. 2020. Research Article. An Idea to Explore: Use of Augmented Reality for Teaching Three-dimensional Biomolecular structures. International Union of Biochemistry and Molecular Biology 48 (3), 276–282.

Preim, B. & Bartz, D. 2007. Visualization in Medicine – Theory, Algorithms, and Applications. Morgan Kaufmann Publishers.

Purojärvi, J. 2010. Lääkinnällisen laitteen ohjelmistokehitys täydennetyllä Scrum-mallilla. Tietotekniikan laitos. Jyväskylän yliopisto. Pro gradu -tutkielma.

Ramlogan, R., Niazi, AU., Jin, R., Johnson, J., Chan, VW. & Perlas, A. 2017. Research Article. A Virtual Reality Simulation Model of Spinal Ultrasound: Role in Teaching Spinal Sonoanatomy. Regional Anesthesia & Pain Medicine 42 (2), 217–222.

Rheingold, H. 1991. Virtual Reality. Lontoo: Secker & Warburg.

Rouvinen, K. 2020. HUS virtual reality laboratory – presenting VR solutions used in HUS Helsinki University Hospital. Power point esitys. Luettu 26.10.2020. https://www.businessfinland.fi/4a480b/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/health--well-being/personalized-medicine/hus-virtual-reality-laboratory--presenting-vr-solutions-used-in-hus-helsinki-university-hospital_k.rouvinen.pdf

Rubin, P. & Grey, J. 2020. The WIRED guide to virtual reality. Opas. Luettu 25.10.2020. <https://www.wired.com/story/wired-guide-to-virtual-reality/>

Rudnäs, N. 2019. Mitä on extended reality (laajennettu todellisuus?). SeAMK verkkolehti. Luettu 26.10.2020. <https://lehti.seamk.fi/alykkaat-ja-energiatehokkaat-jarjestelmat/mita-on-extended-reality-laajennettu-todellisuus/>

Safadel, P. & White, D. 2020. Effectiveness of Computer-Generated Virtual Reality (VR) in Learning and Teaching Environments with Spatial Frameworks. Journal of the Informatics Media Lab, Texas Tech University, Texas, TX 79409, USA, 1-5.

Salmi, J. 2020. Vaatimusmäärittely ketterässä ohjelmistokehityksessä. Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta. Tampereen yliopisto. Kandidaatin työ.

Sanderson, M.J., Smith, I., Parker, I. & Bootman, M.D. 2014. Fluorescence microscopy. Article. Luettu 10.2.2021. <http://cshprotocols.cshlp.org/content/2014/10/pdb.top071795.full.pdf>

Sani, I. 2020. Virtuaalitodellisuuden historia: ensimmäiset vr-lasit, -pelit ja muut vr-maailman tienraivaajat. Mikrobitti. Luettu 22.10.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.mikrobitti.fi/uutiset/virtuaalitodellisuuden-historia-ensimmaiset-vr-lasit-pelit-ja-muut-vr-maailman-tienraivaajat/27c65e5d-6dbf-4653-a289-eca238e5445a>

Sharpless, T. 2019. Degrees of freedom. International virtual reality professionals association. Julkaistu 26.3.2019. Luettu 15.11.2020. <https://iv-rpa.org/news/degrees-of-freedom/>

Shugarman, R. 2013. What is stereopsis? American academy of ophthalmology. Luettu 22.10.2020. <https://www.aao.org/eye-health/ask-ophthalmologist-q/stereopsis>

- Sutherland, I. 1968. A head-mounted three-dimensional display. Fall Joint Computer Conference. University of Utah.
- Sutherland, J., Belec, J., Sheikh, A., Chepelev, L., Althobaity, W., Chow, B., Mitsouras, D., Christensen, A., Rybicki, F. & La Russa D. 2019. Applying Modern Virtual and Augmented Reality Technologies to Medical Images and Models. *Journal of Digital Imaging* 32 (1), 38–53.
- Steam. 2021. Steam. Luettu 23.2.2021. <https://store.steampowered.com/about/>
- Tampereen yliopisto. N.d. Hyvä tieteellinen käytäntö. Luettu 18.3.2021. <https://www.tuni.fi/fi/tutkimus/vastuullinen-tiede/hyva-tieteellinen-kaytanto#expander-trigger--570ecf36-d3b0-4afd-9e49-92c32d5de83f>
- Teatime Research. 2020. XR solution and services. Internet-sivu. Luettu 11.2.2021. <https://teatimeresearch.com/>
- Teatime Research. 2021. Vrifier. Internet-sivu. Luettu 23.2.2021. <https://vri-fier.com/>
- Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. 2020. Oireet ja hoito. Päivitetty 8.7.2020. Luettu 1.9.2020. <https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/ajankohtaista/ajankoh-taista-koronaviruksesta-covid-19/oireet-ja-hoito-koronavirus>
- Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. 2021. Koronavirus COVID-19. Päivitetty 25.2.2021. Luettu 18.3.2021. <https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/taudit-ja-taudinaiheuttajat-a-o/koronavirus-covid-19>
- The Holodec. n.d. About the Holodec. Internet-sivu. Luettu 27.2.2021. <https://theholodec.com/about/>
- Thompson, C. 2017. Stereographs were the original virtual reality. *Smithsonian magazine*. Luettu 22.10.2020. <https://www.smithsonianmag.com/innovation/stereographs-original-virtual-reality-180964771/>
- Tietoarkisto. N.d. Teemoittelu. Tutkimusmenetelmien verkkokäsikirja. Luettu 17.3.2021. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/teemoittelu/>
- Tietosuoja laki 1050/2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181050>
- Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. 3. korjattu painos. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy.
- Toro, K. 2011. Ketterä ohjelmistokehitys – unohtuiko tietoturva? F-secure. Luettu 1.2.2021. <https://docplayer.fi/1024831-Kettera-ohjelmistokehitys-unoh-tuiko-tietoturva.html>
- Tuomi, I. 2015. Journal Article: Data Is More than Knowledge: Implications of the Reversed Knowledge Hierarchy for Knowledge Management and Organizational Memory. *Journal of Management Information Systems* 16 (3), 103–117

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2013. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 10. uud. painos. Vantaa: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Vainio-Väänänen-Mattila, K. 2011. Käytettävyys ja käyttäjäkeskeinen suunnittelu. Teoksessa Oulasvirta, A. (toim.) Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus. Helsinki: Gaudeamus, 102-126.

Valtakunnallinen sosiaali- ja terveysalan eettinen neuvottelukunta ETENE. 2010. Teknologia ja etiikka sosiaali- ja terveysalan hoidossa ja hoivassa. Helsinki: Yliopistopaino.

Valtioneuvoston suositus VN/5772/2020. STM:n ohjeet aluehallintoviranomaisille oppilaitosten sulkemiseksi ja yli 10 henkilön yleisten kokousten ja yleisötilaisuuksien kieltämiseksi (17.3.2020). Sosiaali- ja terveysministeriö. Luettu 10.9. <https://stm.fi/documents/1271139/21078095/AVI+rajoitteet.pdf/78d1869a-81e3-ea09-be71-aefad2b4025c/AVI+rajoitteet.pdf/AVI+rajoitteet.pdf>

Van Lamsveerde, A. 2009. Requirements Engineering for System Goals to UML Models to Software Specifications. John Wiley & Sons Ltd, Chichester West Sussex.

Virtual reality society. N.d. Head-mounted displays (HMDs). Luettu 21.10.2020. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/head-mounted-displays/>

Viveport. N.d. The Body VR. Luettu 1.3.2021. <https://www.viveport.com/994d7f13-61aa-4bd2-9f02-73832f75f09e>

Väyrynen, J. 2014. Ketterä automaatiotestaus - Käyttäytymislähtöinen ohjelmistokehitys mobiilisovelluksen testauksessa. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

World Health Organization. 2021. COVID-19 Weekly Epidemiological Update. Raportti. Luettu 19.2.2021. <https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update---16-february-2021>

Young, B., Ong, S., Kalimuddin, S., Low, J., Tan, S., Loh, J., Ng, O., Marimuthu, K., Ang, L., Mak, T., Lau, S., Anderson, D., Chan, K., Tan, T., Ng, T., Cui, L., Said, Z., Kurupatham, L., Chen, M., Chan, M., Vasoo, S., Wang, L., Tan, B., Lin, R., Lee, V., Leo, Y., Lye, D. & Singapore 2019 Novel Coronavirus Outbreak Research Team. 2020. Research Article: Epidemiologic Features and Clinical Course of Patients Infected with SARS-CoV-2 in Singapore. The Journal of the American Medical Association. 323 (15), 1488-1494.

Zheng, M. & Waller, M. 2017. ChemPreview: an augmented reality-based molecular interface. Journal of Molecular Graphics and Modelling 73, 18-23.

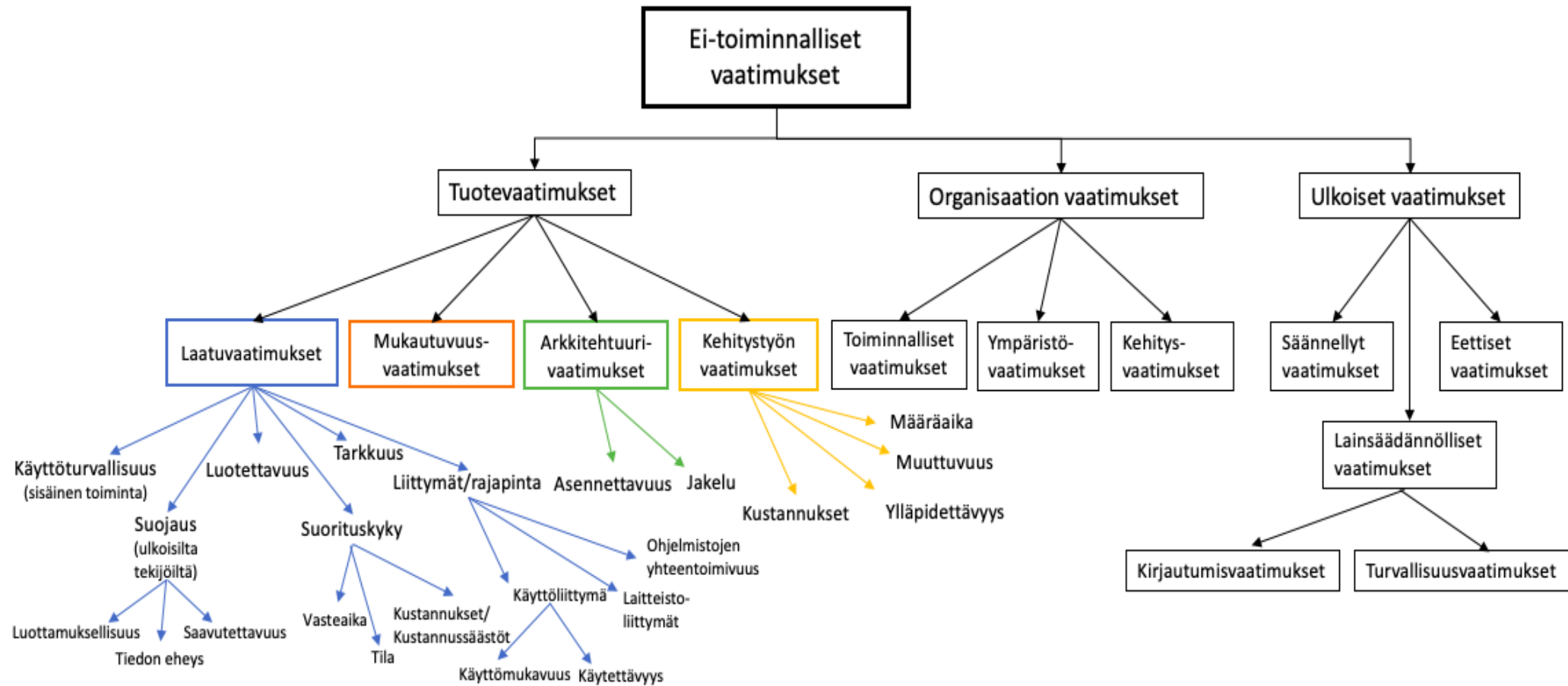
Zugates, C. 2019. Observing 3D Microscopic Images using Virtual Reality. Luettu 17.3.2021. <https://www.news-medical.net/news/20191219/Observing-3D-Microscopic-Images-using-Virtual-Reality.aspx>

LIITTEET

Liite 1. Vaatimusmäärittelyn toiminnalliset vaatimukset



Liite 2. Vaatimusmäärittelyn ei-toiminnalliset vaatimukset



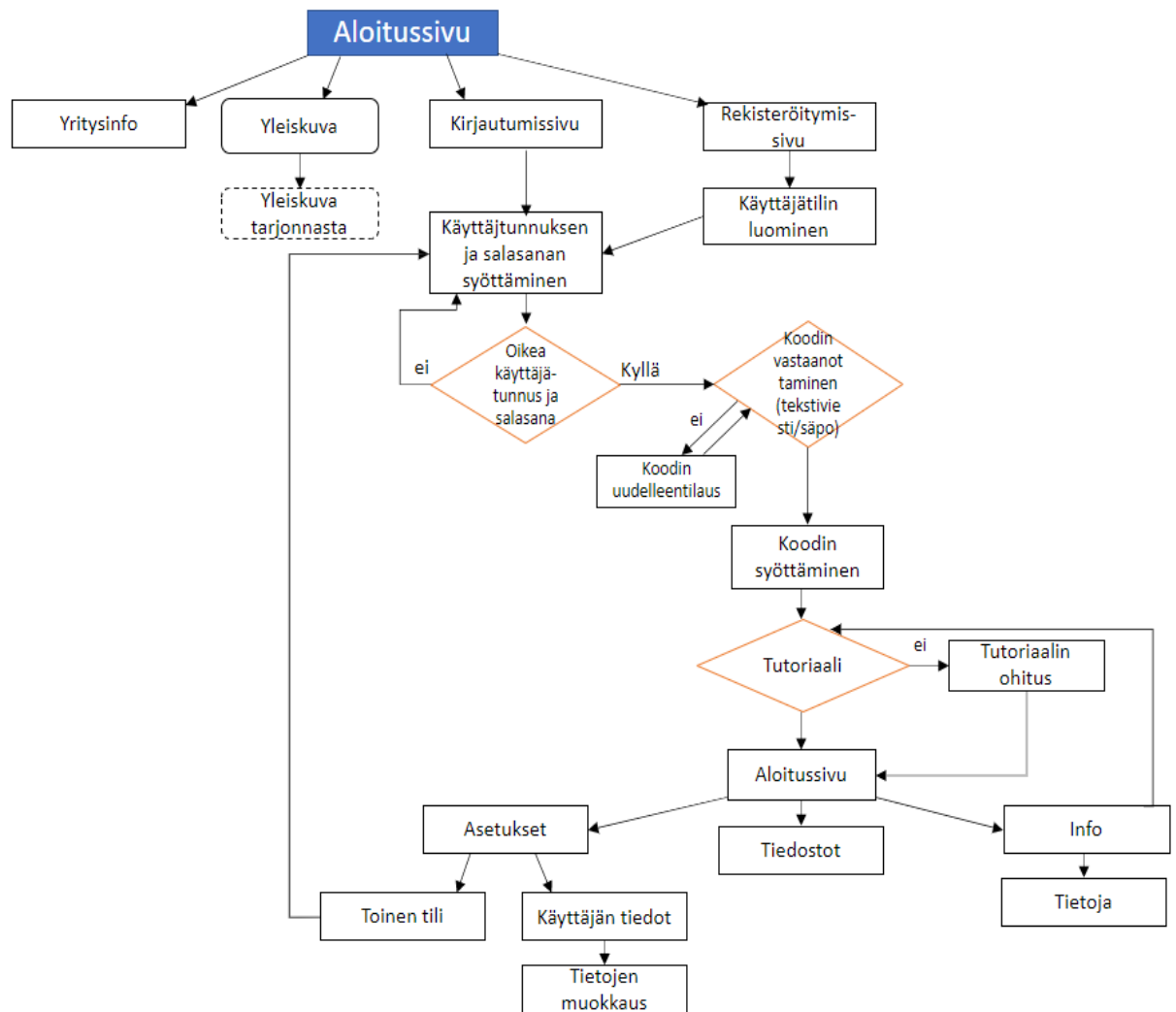
Liite 3. Vaatimusmäärittelyssä esitettäviä kysymyksiä

- Mitä tulevalta järjestelmältä odotetaan?
- Ketkä käyttävät järjestelmää?
- Kuka asentaa järjestelmän?
- Kuka ylläpitää järjestelmää?
- Mitkä muut järjestelmät käyttävät kyseistä järjestelmää?
- Ketkä saavat tietoa järjestelmästä?
- Ketkä tallentavat tietoa järjestelmään?
- Mitä tietokantoja järjestelmä käyttää?
- Mille alustalle järjestelmä luodaan?
- Millä kielellä järjestelmä ohjelmoidaan?
- Miten tietokannat keskusteleivat käyttöliittymän kanssa?
- Mitä dataa asiakas toimittaa? millaisessa muodossa?
- Miten tuleva järjestelmä suhtautuu asiakkaan liiketoimintamalleihin ja – tavoitteisiin?
- Miten tuleva järjestelmä suhtautuu nykyisin käytössä oleviin järjestelmiin?
- Missä ympäristössä sen tulee toimia?
- Miten tuotteen tulee toimia?
- Mihin sitä käytetään?
- Mitkä ovat tuotteen rajoitukset?
- Millainen tuotteen halutaan olevan visuaalisesti?

Liite 4. VR-sovelluksen käyttäjätarinakartta



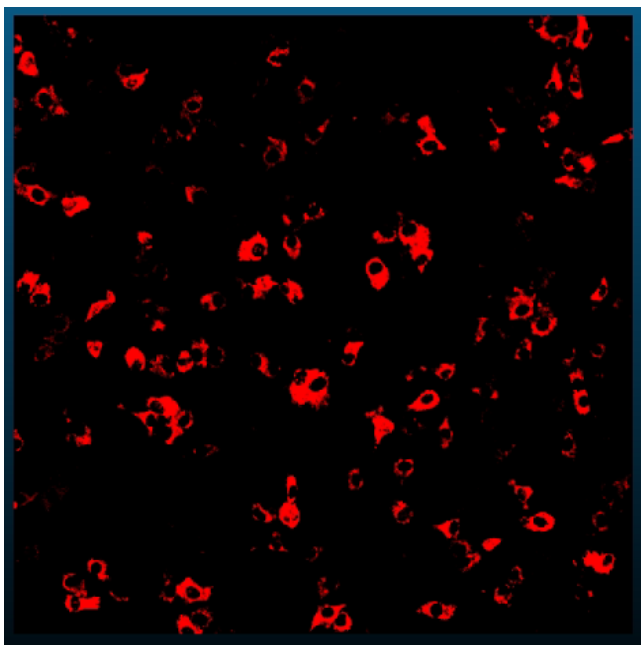
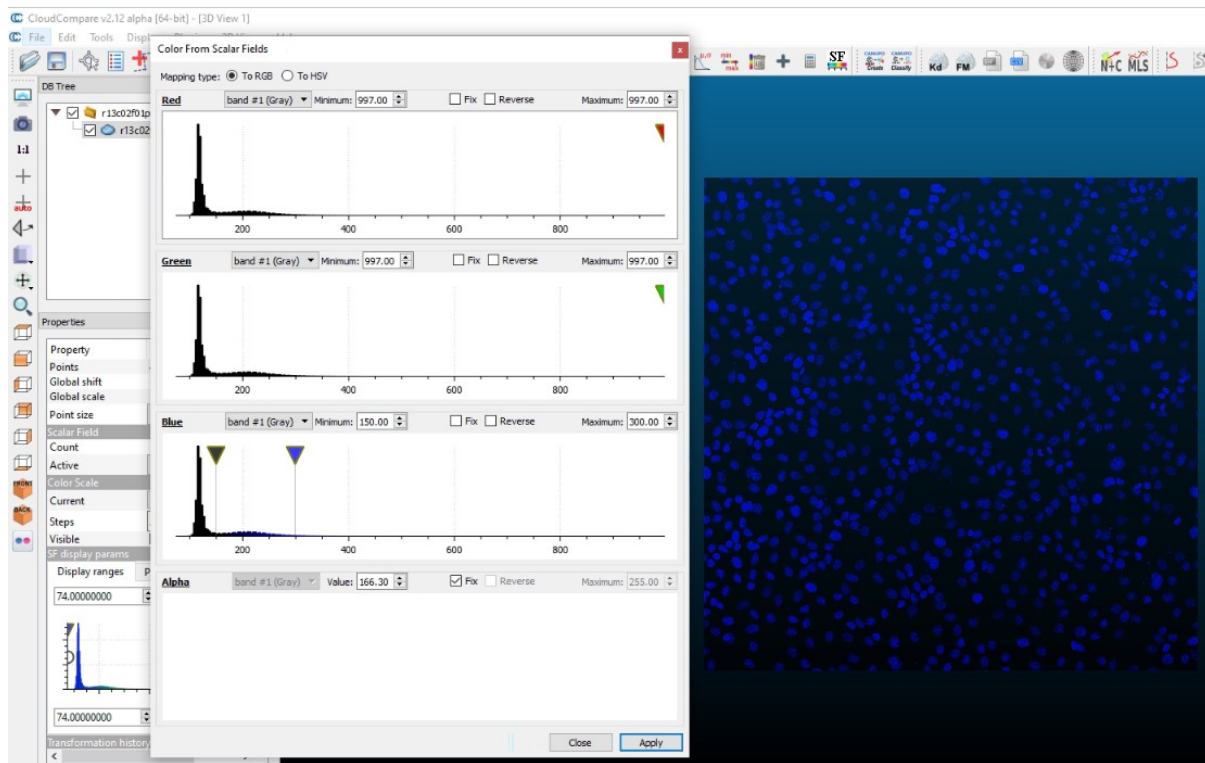
Liite 5. Käyttöliittymän vuokaavio



-----apply

*taustan tulisi jäädä mustaksi

*tee joka kuvalle sama työnkulku kuvaan halutulla värillä



Koordinaatit

-edit

--apply transformation

---axis, angle -välilehti

----translation (X, Y, Z)

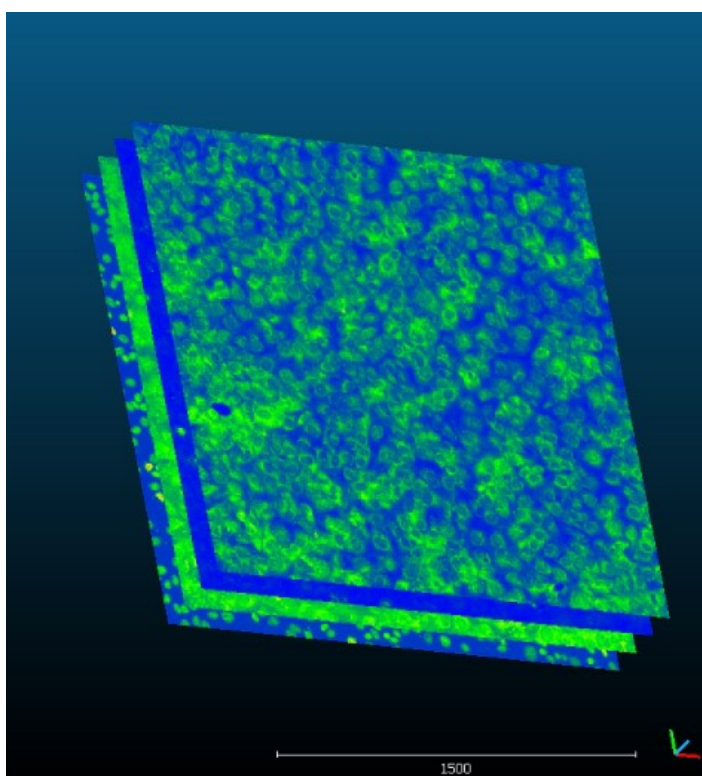
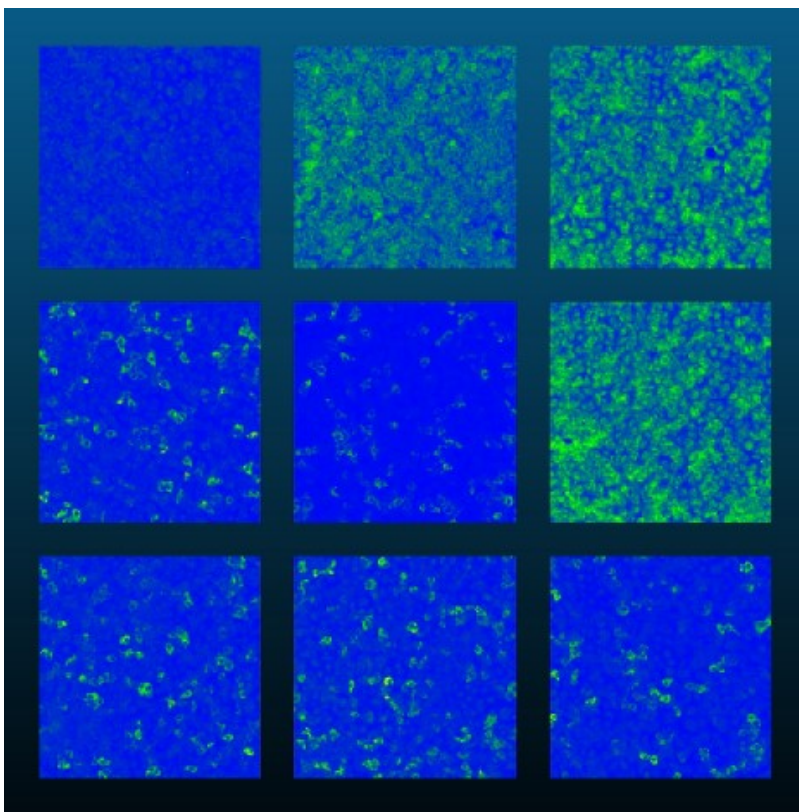
-----määritä X, Y ja Z –koordinaatit

-----ok

*tässä työssä Z-koordinaatit: sininen 0, keltainen 150, vihreä 300, punainen 450

*tässä työssä X ja Y-koordinaatit: (Katso taulukko alta)

X: -2500	X: 0	X: 2500
Y: 2500	Y: 2500	Y: 2500
X: -2500	X: 0	X: 2500
Y: 0	Y: 0	Y: 0
X: -2500	X: 0	X: 2500
Y: -2500	Y: -2500	Y: -2500



*esimerkkikuvissa koordinaatit ovat oikein, mutta värien intensiteettejä ei ole vaihdettu

Tallennus

-file

--save

---ply.mesh

----binary

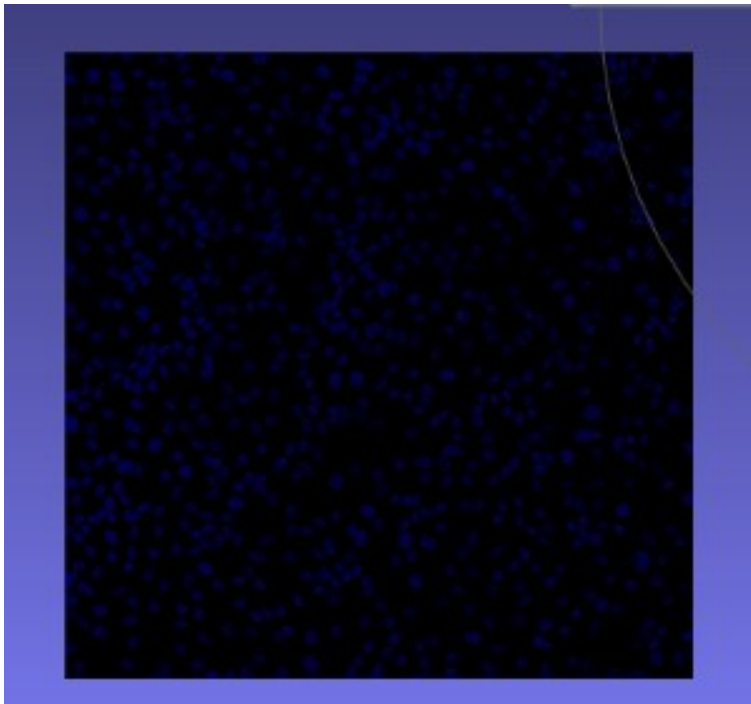
MESHLAB-työnkulku

-avaa .ply-tiedostot raahaamalla ne siniselle alueelle

--kuvat aukeavat oikealle sivupalkkiin

---valitse kuva oikeasta reunasta harmaaksi

*painamalla silmän kuvaa saat kuvia piilotettua/tuotua näkyville käsittelyn helpottamiseksi



Mustien pisteiden valitseminen kuvasta

-filters

--selection

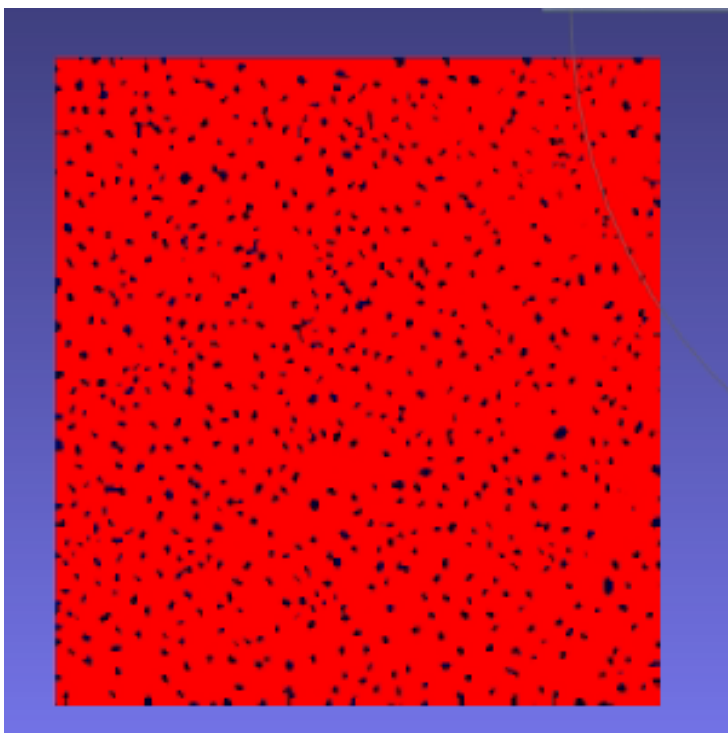
---conditional vertex selection

---- (r<1)&&(g<1)&&(b<1)

----apply

*kuvan tausta muuttuu punaiseksi/v.punaiseksi

*tee tämä jokaiselle kuvalle

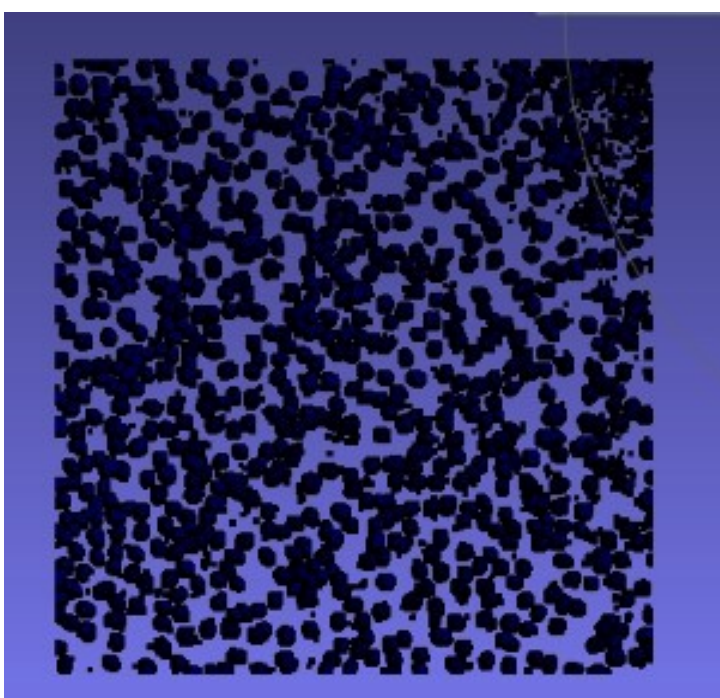


Mustien pisteiden poistaminen kuvasta

-ylärivissä oikealta kolmas punainen kolmio (delete the current set of selected vertices)

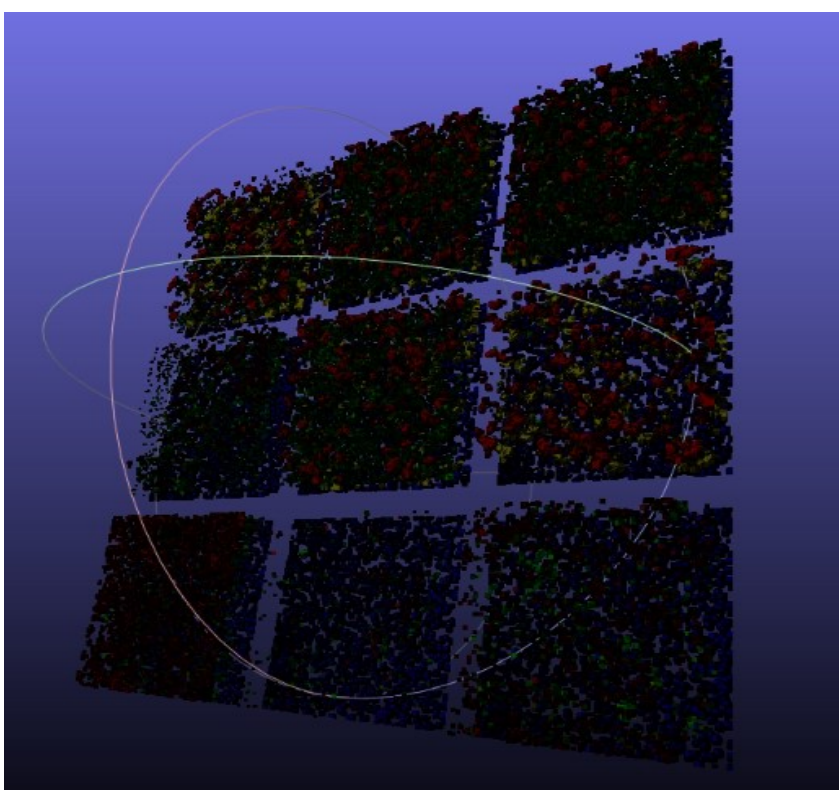
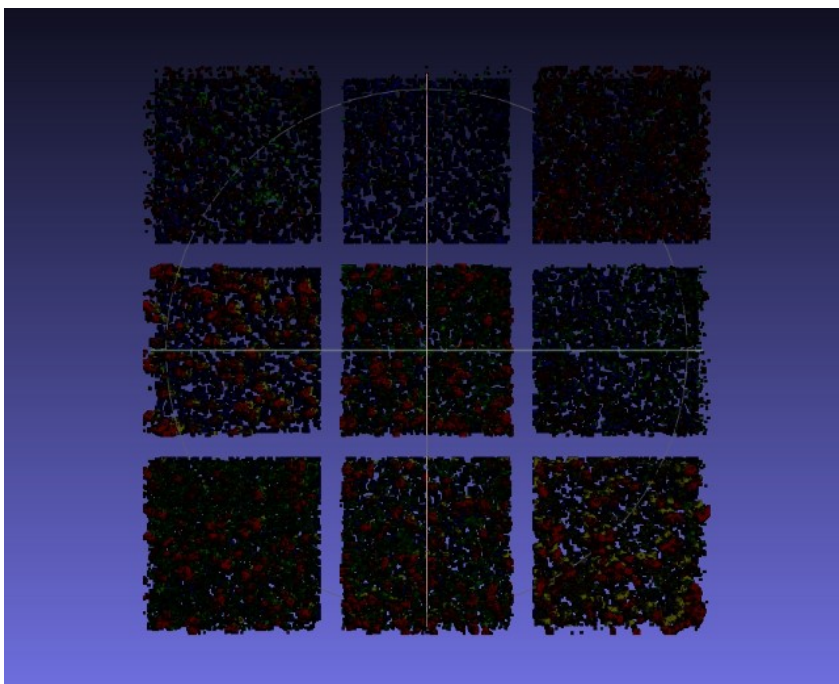
*musta tausta häviää ja kuva muuttuu läpinäkyväksi

*tee tämä jokaiselle kuvalle



Yhdeksi tiedostoksi yhdistäminen

- klikkaa hiiren oikeaa nappia jonkun kuvatiedoston päällä oikeassa reunassa
- flatten visible layers
- kaikkiin neljään ruutuun täppä



Tallennus

-file

--save project as

---.ply

----normal täppä pois, color jää

-----ok

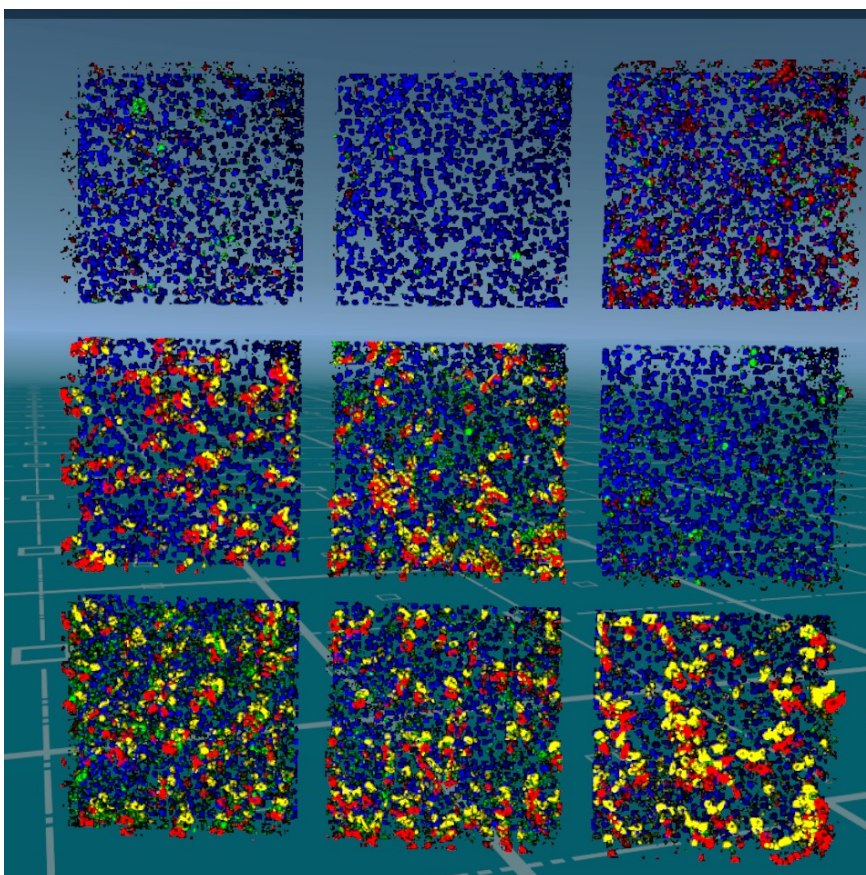
-----tallenna

-----.MIP

STEAM-, STEAM VR- ja VRIFIER -työnkulku

-avaa Steam
--library
---Steam VR vasemmasta sivupalkista

-avaa Vrifier
--avaa pistepilvitiedosto



Liite 7. Teemahaastattelurunko

1. VR-teknologia mikroskopiassa

- Millaisena koet VR-visualisointimallin prototyypin käytettävyydeltään?
- Onko prototyyppi helppokäyttöinen?
- Miten tehokkaaksi koet prototyypin käytön? Näkeekö halutut asiat helposti?
- Mitkä ominaisuudet koet hyvinä prototyypissä?
- Mitä kehitettävää näet prototyypissä?
- Miltä kuva näyttää VR-muodossa vs. 2D-muodossa?
- Koetko, että mikroskooppikuvan visualisoinnista VR-muodossa on/olisi hyötyä tutkimustulosten tarkastelussa?

2. Käyttöliittymä

- Millaisena koet käyttöliittymän käytettävyydeltään?
- Millaisena koet käyttöliittymän ulkonäön?
- Onko käyttöliittymä helppokäyttöinen?
- Miten tehokkaaksi koet käyttöliittymän käytön?
- Mitkä ominaisuudet koet hyvinä käyttöliittymässä?
- Mitä kehitettävää koet käyttöliittymässä?

3. Laitteisto

- Oletko aikaisemmin käyttänyt VR-laseja?
- Miltä tuntui käyttää VR-laseja?
- Miltä tuntui tarkastella kuvaa eri kulmista ohjainten avulla?