



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PROSESSINOHJAUS- RATKAISUN TUOTTAMINEN VUZIX M4000-ÄLYLASEILLE

TEKIJÄ:

Oskari Sihvonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Tietotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Oskari Sihvonen			
Työn nimi Prosessinohjauksen tuottaminen Vuzix M4000-älylaseille			
Päiväys	16.04.2021	Sivumäärä	32
Toimeksiantaja Future Technologies in Education -hanke, Savonia-ammattikorkeakoulu			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin sovelluskehitysprosessia, jossa Vuzix M4000-älylasien käytettävyyden toteamiseksi toteutettiin sarja ratkaisuja, jotka yhdessä mahdollistivat prosessien ohjaamisen älylaseilla näytettävien ohjeiden avulla. Tuotettujen ratkaisujen käytettävyyttä verrattiin Vuzix Remote Assistin ja Microsoft Dynamics 365 Guidesin käytettävyyteen. Työ tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun koordinoimalle Future Technologies in Education -hankkeelle.</p> <p>Työssä toteutettiin Android-sovellus ohjeiden näyttämiseksi sekä React-websovellus ohjeiden luomiseksi. Luodut ohjeet tallennettiin MongoDB Atlas-pilvipalveluun. Tietokannan ja sovellusten välisen kommunikation mahdollistamiseksi työssä toteutettiin Node.js-ohjelmointirajapinta. Ratkaisujen muodostaman kokonaisuuden avulla oli mahdollista tuottaa teksteistä ja kuvista koostuvia ohjeita älylaseilla näytettäväksi.</p> <p>Työn ratkaisukokonaisuuden ja suoritettujen sovellusvertailun avulla älylasien todettiin kärsivän useista niille luontaisista käytettävyyden ongelmista. Nämä käytettävyyden ongelmat rajoittavat kaikkea toimintaa älylaseilla. Ongelmien läsnäolo estää älylasien käytön suosittamisen prosessinhallinnan tehtävissä ja työn jatkokehityksen puoltamisen.</p>			
Avainsanat Vuzix, HoloLens, laajennettu todellisuus, yhdistetty todellisuus, käytettävyys, sovelluskehitys			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Information Technology	
Author Oskari Sihvonen	
Title of Thesis Developing a Process Control Solution for Vuzix M4000 Smart Glasses	
Date 16 April 2021	Pages 32
Client Organisation Future Technologies in Education Project, Savonia University of Applied Sciences	
Abstract <p>The objective of this thesis was to determine the usability of Vuzix M4000 smart glasses as a tool for process control. To this end, a group of solutions was implemented with which predefined processes could be directed via guides shown on the smart glasses. The user experiences of the implemented solutions were compared with those of Vuzix Remote Assist and Microsoft Dynamics 365 Guides. This thesis was commissioned by the Future Technologies in Education Project of Savonia University of Applied Sciences.</p> <p>Four solutions were implemented for the purposes of this thesis. First, a native Android application with which guides can be viewed. Second, a React web application with which guides can be created. Third, a MongoDB Atlas cloud database to store the guides. Fourth, a Node.js application protocol interface to handle communications between the applications and the database. Together the implemented solutions could be used to create guides consisting of images and pieces of text.</p> <p>As a result of this thesis, the smart glasses were concluded to suffer from a variety of usability concerns. These concerns were deemed to be inherent to the smart glasses and they restrict all work done with them. While these concerns persist, the use of the smart glasses as a tool for process control and further development of the implemented solutions cannot be recommended.</p>	
Keywords Vuzix, HoloLens, augmented reality, mixed reality, usability, software development	

ESIPUHE

Remember to write a funny message here.

Perfect.

Somewhere on some day

Guess who?

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	TEORIA	8
2.1	Kielioppia	8
2.2	Mielikuvituksen muuttaminen todeksi	8
2.3	Vuzix M4000	10
2.4	Microsoft HoloLens	11
3	TYÖN MÄÄRITTÄMINEN	13
3.1	Työn tavoite	13
3.2	Työn suunnittelu	13
4	SOVELLUSRATKAISUN TOTEUTUS	15
4.1	Ohjeidenlukusovellus	15
4.2	Ohjeidenluontisovellus	18
4.3	Tietokanta	20
4.4	Ohjelmointirajapinta	21
5	SOVELLUSVERTAILU	22
5.1	Suunnitelma	22
5.2	Toteutus	22
6	TULOKSET	23
6.1	M4000-älylasien käytettävyys tuotetun sovellusratkaisun perusteella	23
6.2	M4000-älylasien ja HoloLensin käytettävyys sovellusvertailun perusteella	24
7	YHTEENVETO JA POHDINTA	29
	LÄHTEET	31

KUVALUETTELO

KUVA 1. Todellisuus-virtuaalisuusjatkumo Milgramin ja Kishinin mukaan (Freeman 2007, CC0)	8
KUVA 2. M4000-älylasit (vasemmalla) ja niiden akku (Sihvonen 2021, CC BY-SA).....	10
KUVA 3. M4000-älylasien ohjauspainikkeet ja kosketuslevy (Sihvonen 2021, CC BY-SA)	11
KUVA 4. Vuoden 2016 versio HoloLens-älylaseista (Sihvonen 2021, CC BY-SA)	12
KUVA 5. Ohjeen sisältöä visualisoidaan kuvan ja kuvauksen avulla (Sihvonen 2021, CC-BY-SA)	15
KUVA 6. Ohjeissa edetään vaihe kerrallaan yksinkertaisia tehtäviä suorittaen. (Sihvonen 2021, CC-BY-SA) .	16
KUVA 7. Konstruktori luo uudet puhekomennot ohjeessa etenemiseen (Sihvonen 2021, CC-BY-SA).....	17
KUVA 8. OnReceive-metodi käsittelee kuullun puheen ja vastaa siihen (Sihvonen 2021, CC BY-SA)	17
KUVA 9. Ohjeidenluontisovelluksen pää rakenne (Sihvonen 2021 CC BY-SA).....	18
KUVA 10. Ohjeidenluontityökalu näyttää luodut ohjeet (Sihvonen 2021, CC BY-SA).....	19
KUVA 11. Työvaiheita Laminaarivirtauskaapin käynnistäminen -ohjeesta (Sihvonen 2021, CC BY-SA)	19
KUVA 12. Yksittäisen sivun esikatselu ja muokkaus ohjeidenluontityökalussa (Sihvonen 2021, CC BY-SA)...	20
KUVA 13. Ohjelmointirajapinnan reitit ohjeiden hakuun (Sihvonen 2021 CC BY-SA).....	21
KUVA 14. Vuzix Remote Assistin Workflow-työkalu verkkoselaimessa (Sihvonen 2021, CC BY-SA)	25
KUVA 15. Vuzix Remote Assist ei rajaa ohjesivun tekstin pituutta (Sihvonen 2021, CC BY-SA).....	25
KUVA 16. Vuzix Remote Assistin ASCII-merkistö ei ymmärrä ääkkösiä (Sihvonen 2021, CC BY-SA).....	26
KUVA 17. Dynamics 365 Guidesin työpöytäsovellus listaa ohjeen sivut (Sihvonen 2021, CC BY-SA)	26
KUVA 18. Dynamics 365 Guidesin ohjeita (Sihvonen 2021, CC BY-SA)	27
KUVA 19. HoloLens näyttää ohjesivun käyttäjän ympärillä olevassa tilassa (Sihvonen 2021, CC BY-SA)	28

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tarkastelee sovelluskehitysprosessia, jossa tuotetaan prosessinohjausratkaisu Vuzix M4000-älylaseille. Tuotettua ratkaisua käytetään älylasien käytettävyyden analysointiin. Tuotetun ratkaisun käytettävyydestä tehtyjä havaintoja verrataan Vuzix Remote Assistin ja Microsoft Dynamics 365 Guidesin käytettävyyteen. Työn tilaaja on Savonia-ammattikorkeakoulun koordinoima Future Technologies in Education -hanke, joka tutkii uusien teknologioiden käyttömahdollisuuksia opetuksellisissa ja työohjauksellisissa tilanteissa.

Idea työn takana on unelma puettavasta ohjekirjasta, joka on aina mukana ja jonka sisältö olisi sen käyttäjän hallittavissa. Tämänkaltaiseen ohjekirjaan voitaisiin tuottaa sisältöä kokoneiden ammattiharjoittajien kanssa. Tuotetun sisällön tietoa voitaisiin näyttää ja jakaa paikkariippumattomasti uusille osajille, jotka oppisivat mestariensa työstä ohjeiden avulla. Työn tilaaja oli erityisesti kiinnostunut mahdollisuudesta käyttää älylaseja tilanteissa, joissa tilannekohtaisten rajoitusten vuoksi ei voisi käyttää muunlaisia ohjausmenetelmiä, kuten esimerkiksi paperisia ohjeita. Vastaisiko älylasien monokkeli tieteiskirjallisuuden vertaisiaan; kuului kysymys, joka työn ratkaistavaksi annettiin.

Työssä toteutetaan neljä ratkaisua halutun toiminnallisuuden saavuttamiseksi. Toteutetut ratkaisut muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jonka avulla on mahdollista luoda teksteistä ja kuvista koostuvia ohjeita älylaseilla näytettäväksi. Näiden ohjeiden avulla on mahdollista ohjata älylasien käyttäjää ohjekohtaisten prosessien oikeaoppisessa suorittamisessa. Työn sovellusvertailussa toteutetaan esimerkkiohje klinisen laboratorion laminaarivirtauskaapin käynnistämisestä jokaisella vertailussa mukana olevalla ratkaisulla.

2 TEORIA

2.1 Kielioppia

Kieltä luodaan sitä käyttämällä. Tässä työssä käsitellään teknologioita, joiden suomenkielisistä kirjoitusasuista ei ole työn kirjoitushetkellä yksimielisyyttä. Myös teknologioiden käsitteet, niin englanniksi kuin suomeksi, ovat liian usein hyvin häilyviä tieteellisten tekstien ulkopuolella. Tulevaisuus näyttököön sen, liittyvätkö seuraavat käännökset osaksi kieliopillista yhteisymmärrystä:

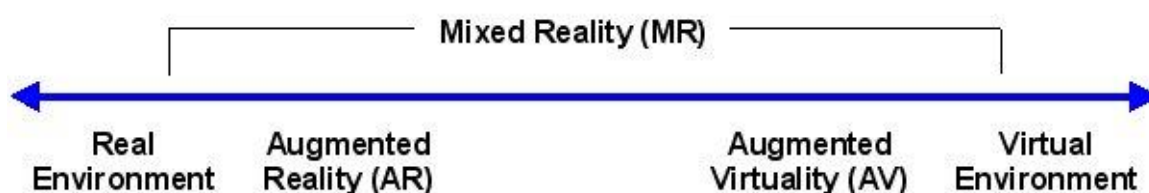
AR	Laajennettu todellisuus, engl. augmented reality
MR	Yhdistetty todellisuus, engl. mixed reality
VR	Virtuaalitodellisuus, engl. virtual reality

2.2 Mielikuvituksen muuttaminen todeksi

Reaalinen on jotain, mikä aistien avulla todeksi tiedetään tai todetaan. Reaalinen on todellista; jotain, minkä tiedetään oikeasti olevan olemassa. Reaalisen vastakohta virtuaalinen on jotain reaalisen kaltaista tai reaalista esittävää, mutta kuitenkin jotain, mikä aistien avulla epätodeksi tiedetään tai todetaan. Virtuaalinen on keinotekoisista todellista; jotain, mikä illuusioiksi tiedetään.

Reaalisen ja virtuaalisen käsitteet voidaan asettaa koskemaan maailmaa ihmisen ympärillä. Reaalinen maailma todetaan aistien avulla todeksi ja virtuaalinen maailma epätodeksi. Tässä työssä käsitellään laite- ja sovellusratkaisuja, jotka luovat virtuaalisia elementtejä reaaliseen maailmaan. Työn tarkastelemat ratkaisut joko laajentavat totta epätodella tai yhdistävät totta ja epätotta. Näitä kahta käsitettä kutsutaan laajennetuksi todellisuudeksi ja yhdistetyksi todellisuudeksi.

Reaalisen ja virtuaalisen maailman välisiä tiloja voidaan kuvata kuvan yksi visualisoiman todellisuus-virtuaalisuusjatkumon käsitteen avulla. Yhdistetty todellisuus käsittää kaikki todellisuuden tilat, missä todellisuus koostuu reaalisen ja virtuaalisen maailman yhdistelmästä. Laajennettu todellisuus on osa yhdistettyä todellisuutta vastaparinsa laajennetun virtuaalisuuden kanssa. (IEICE Transactions on Information and Systems, Milgram & Kishino 1994, 2–4.)



KUVA 1. Todellisuus-virtuaalisuusjatkumo Milgramin ja Kishinon mukaan (Freeman 2007, CC0)

Laajennettu todellisuus ja laajennettu virtuaalisuus voidaan määrittää jatkumon ääripäiden mukaan. Lisätyssä todellisuudessa reaaliseen maailmaan lisätään jotain virtuaalista. Lisätyssä virtuaalisuudessa virtuaaliseen maailmaan lisätään jotain reaalista.

Todellisuuden laajentaminen on ihmiselle luonteista. Moni henkilö lienee luonut mielikuvituksensa avulla ympärilleen jotain, mitä siellä oikeasti ei ollut. Ihminen havainnoi ja tulkitsee ympärillään olevaa maailmaa aistiensa avulla. Todellisuus-virtuaalisuusjatkumon mukaisten teknologioiden avulla pyritään tekemään mielikuvituksen tuotteista aistein havaittavia ja jotain, mitä ihmiset voisivat jakaa toisilleen.

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018–2037 luettelee sata radikaalia teknologiaa, joiden ennakoidaan muuttavan maailmaa tulevaisuudessa. Julkaisu ei kuvaa yhteiskunnassa vallalla olevia teknologioita, vaan se ennakoi teknologioiden kehitystä ja niiden vaikutusta yhteiskuntaan vuoteen 2037 asti. (Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta, Linturi & Kuusi 2018, 13–14.)

Julkaisun sadan radikaalin teknologian joukossa mainitaan laajennetun todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden teknologiat. Julkaisu ei erikseen käsittele yhdistetyn todellisuuden teknologiaa, vaan sitä käsitellään osana virtuaalitodellisuuden kirjoa. Julkaisussa myös tarkastellaan laajennetun todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden alustaratkaisujen merkitystä tulevaisuudessa. (Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta, Linturi & Kuusi 2018, 4–7.)

Teknologioiden merkityksestä kertoo se, kuinka merkittävänä julkaisu niitä piti. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisussa Linturi ja Kuusi (2018, 401–406) asettavat kaikki raportissa tarkastellut sata teknologiaa tärkeysjärjestykseen niiden yhteiskunnallisen potentiaalisen vaikuttavuuden mukaan. Laajennetun todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden teknologiat sijoittuvat raportissa ylimmälle tärkeysneljännekselle: sijoille 23 ja 13. Teknologioiden alustaratkaisut sijoittuivat sijalle 41.

Vuoden 2021 Microsoft Ingite -teknologiakonferenssin aloituspuheessa Microsoftin toimitusjohtaja Satya Nadella kuvasi lyhyesti yhdistetyn todellisuuden teknologian mahdollisuuksia. Puheessaan Nadella tarjosi esimerkin siitä, kuinka New Yorkissa oleva kirurgi pystyy avustamaan Ugandassa olevia kollegoitaan monimutkaisissa leikkauksissa Microsoftin yhdistetyn todellisuuden ratkaisujen avulla. (Microsoft 2021a.)

Konferenssin aloituspuheessa kuultiin myös Microsoftin Alex Kipmania, joka toimii yrityksessä tekoälyn ja yhdistetyn todellisuuden teknisenä kumppanina. Puheessaan Kipman kertoi, kuinka yli 90 % yli 500 henkeä työllistävästä teollisuuden, kaupan ja terveydenhuollon yrityksistä tällä hetkellä joko käyttää tai testaa yhdistetyn todellisuuden teknologioita toiminnassaan. (Microsoft 2021a.)

Fortune 500 (Fortune Media IP Limited 2020) on yhdysvaltalaisen Fortune-lehden vuosittain koostama lista yhdysvaltalaisista yrityksistä. Fortune 500 listaa yritykset suuruusjärjestyksessä yrityskohtaisten tilikausien liikevaihdon mukaan. Microsoftin Alex Kipmanin mukaan 50 % Fortune 500 -listan yrityksistä on hankkinut Microsoftin Hololens 2 -älylasit (Microsoft 2021a). Kipmanin kommentit kertovat siitä, että eri alojen suuryritykset pitävät yhdistetyn todellisuuden ratkaisuja potentiaalisina työvälineinä.

2.3 Vuzix M4000

Kuvan kaksi esittämä M4000 on yhdysvaltalaisen Vuzixin vuonna 2020 julkaisema laajennetun todellisuuden älylasiratkaisu. M4000 on Vuzixin seitsemäs iteraatio älylaseista. Yritys julkaisi ensimmäiset älylasinsa vuonna 2015. (Vuzix Corporation 2021b.)



KUVA 2. M4000-älylasit (vasemmalla) ja niiden akku (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

M4000-älylasit ovat puettava tietokone ja niitä voi käyttää niin oikean kuin vasemman silmän kanssa. Älylasien näyttö on Vuzixin (Vuzix Corporation 2021e) teknologiaan perustuva optinen aalto-ohjain, jonka avulla älylasien päätelaitteen kuva taitetaan älylasien käyttäjän silmän näkökenttään. Läpinäkyvän näytön näyttämä kuva on osittain läpinäkyvää ja älylasien käyttö täten ei peitä näyttöä katsovan silmän näkökenttää.

M4000-älylasien käyttöjärjestelmä on laitetta varten muokattu versio Android 9.0-käyttöjärjestelmästä (Vuzix Corporation 2019a). Käyttöjärjestelmä on käytettävyydeltään yksinkertaisempi kuin mitä tyypilliset älypuhelimien Android-käyttöjärjestelmät ovat. Tämä johtuu älylasien rajallisista ohjausmenetelmistä; tavoista ohjata kaikkea mitä älylaseilla tehdään.

M4000-älylaseja voi ohjata äänikomentojen, älylasien painikkeiden ja älylasien kosketuslevyn avulla. Älylasien fyysisiä ohjausmenetelmiä visualisoidaan kuvassa kolme. Kosketuslevy sijaitsee kuvassa näkyvien kahden pystypalkin välissä. Ohjausmenetelmät soveltuvat kaksikulotteisissa listoissa liikkumiseen, mutta listoja monimutkaisempien rakenteiden käsittely on niillä vaikeaa. 03.03.2021 julkaistu 2.1.0-ohjelmistopäivitys mahdollisti älylasien kosketuslevyn käytön hiiren cursorina (Vuzix Corporation 2021a).



KUVA 3. M4000-älylasien ohjauspainikkeet ja kosketuslevy (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Älylasien prosessori on kahdeksanytiminen Qualcommin XR1, jonka kellotaajuus on 2,52 gigahertsiä. Älylasien näytön koko on 854x480 pikseliä. Älylaseissa on kuusi gigatavua keskusmuistia. Älylasien kameran avulla voi ottaa 12,8 megapikselin kuvia ja 4k30fps-laatuista videokuvaa. Älylasit kykenevät mittaamaan asentoaan niiden gyroskoopin, kiihtyvyyssmittarin sekä magnetometrin avulla. Älylasit voi kiinnittää useisiin eri päähineisiin, kuten esimerkiksi otsanauhaan, suojalaseihin tai suojakypäaraan. (Vuzix Corporation 2021c.)

2.4 Microsoft HoloLens

HoloLens on Microsoftin vuonna 2016 julkaisema yhdistetyn todellisuuden älylasiratkaisu, josta julkaistiin vuonna 2019 uusi versio HoloLens 2 (Microsoft 2015; Robertson 2019). Työssä tehdyssä sovellusvertailussa käytettiin HoloLensin ensimmäistä versiota. Työssä täten esitetään tietoa tästä vanhemmasta, kuvassa neljä näkyvästä HoloLens-versiosta.



KUVA 4. Vuoden 2016 versio HoloLens-älylaseista (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Kaikki toiminta HoloLensillä perustuu älylasien näyttämien hologrammien manipulaatioon. HoloLensin hologrammit ovat kaksi- tai kolmiulotteisia valosta muodostuvia kuvia, jotka esittävät jotain esinettä tai asiaa (Microsoft 2018). Älylasit piirtävät hologrammeja käyttäjäänsä ympäröivään tilaan, jossa älylasien käyttäjä voi käyttää ja manipuloida hologrammeja. Hologrammi voi esimerkiksi kuvata sovelluksen käyttöliittymää, jotain realistista esinettä älylasien käyttäjän läheisyydessä tai jotain täysin epärealistista. Hologrammien avulla älylasit tuovat lisää todelliseen maailmaan käyttäjäänsä ympärillä, yhdistäen reaalista ja virtuaalista maailmaa keskenään.

Älylasien ohjaaminen tapahtuu ensisijaisesti liikekomentojen ja älylasien kursorin yhteistyön avulla. HoloLensillä on käyttäjäänsä pään liikkeitä seuraava kursori, joka on toiminnallisuudeltaan verrattavissa tietokoneen hiiren liikkeisiin tietokoneen näytöllä. Elementtien valinta sovelluksissa tapahtuu älylasien käyttäjän kädenliikkeiden avulla, joita älylasien ulospäin suunnatut kamerat tulkitsevat. Älylasien toimintaa voi myös ohjata äänikomentojen avulla. (Microsoft 2019a.)

HoloLensin käyttöjärjestelmä on muokattu versio Windows 10:stä. Älylasien prosessori on Intelin Atom x5-Z8100, jonka kellotaajuus on 1,04 GHz. Älylaseissa on myös hologrammien tuottoon keskittynyt erillinen prosessori. Älylaseissa on kaksi gigatavua keskusmuistia. Älylasien kameralla voi ottaa 2,4 megapikselin kuvia ja 1,1 megapikselin videokuvaa, jonka ruudunpäivitysnopeus on 30 ruutua sekunnissa. Älylasit kykenevät mittaamaan asentoaan niiden gyroskoopin, kiihtyvyyssmittarin sekä magnetometrin avulla. Älylasit puetaan päähän niiden oman säädettävän otsanauhan avulla. (Microsoft 2019b.)

3 TYÖN MÄÄRITTÄMINEN

3.1 Työn tavoite

Työn tilaaja halusi selvittää työllä sitä, millainen M4000-älylasien käytettävyys olisi niin yleisesti kuin myös eritoten tilanteissa, joissa älylaseja tulisi ohjata ilman niiden fyysisiä ohjausmekanismeja. Millainen älylasien käytettävyys olisi esimerkiksi tilanteessa, jossa hygieniarajoitukset estäisivät kaikenlaisen ohjemateriaalien koskettamisen? Voisiko myrkyllisiä kemikaaleja käsittelevä laboratorionhoitaja sujuvasti ohjata älylasien sovellusta puheellaan?

Työn premissiä päätettiin lähteä selvittämään toiminnallisuudeltaan yksinkertaisen sovelluksen avulla. Tuotettavaksi sovellukseksi määritettiin ratkaisu, joka kykenisi näyttämään kuvista ja teksteistä koostuvia ohjeita älylaseilla. Tämän ohjesovelluksen rinnalle päätettiin tuottaa työkalu näytettävien ohjeiden luomiseksi.

Käyttäjäkokemuksen laajemmaksi selvittämiseksi työhön haluttiin myös mukaan sovellusvertailu, jossa tuotettua ratkaisua verrattaisiin muihin saatavilla oleviin vastaaviin ratkaisuihin. Vertailuun otettiin mukaan Dynamics 365 Guides HoloLensille sekä Vuzix Remote Assist M4000-älylaseille.

3.2 Työn suunnittelu

Työn tilaaja antoi työn tekijälle hyvin vapaat kädet työn toteutukseen käytettävien työkalujen ja tekniikoiden valinnassa. Työn suunnittelu alkoi sen jakamisesta itsenäisiin osiin, jonka jälkeen työssä päätettiin kunkin osan toteutustapa.

Työn tilaajan määrittämät sovellukset eivät yksin voineet tuottaa kaikkea tavoiteltua toiminnallisuutta ilman tapaa siirtää tietoa sovellusten välillä. Oli selvää, että sovellukset tarvitsivat tuekseen ratkaisut niin tiedon tallentamiseen kuin tiedon välittämiseen sovellusten ja tietokannan välillä. Työ jaettiin täten neljään osaan, jotka yhdessä tuottivat tavoitellun toiminnallisuuden. Työn osiksi muodostui ohjeidenlukusovellus, ohjeidenluontisovellus, ohjeiden tietoa tallentava tietokanta sekä edellä mainittujen osien kommunikoinnin mahdollistava ohjelmointirajapinta.

Työstä päätettiin tietoisesti jättää pois kaikenlaiset kirjautumismekanismit, pois lukien tietokantaan kirjautuminen. Kirjautumismekanismien läsnäolo ei pidetty välttämättömänä työn premissin toteuttamiseksi ja täten niiden toteuttamista pidettiin mahdollisena resurssien hukkana. Vaikka kyseisten mekaniismien toteutus olisi ollut välttämätöntä ennen ratkaisun käyttöönottoa, ei ratkaisun käyttöönoton kannattavuudesta ollut varmuutta ennen työn valmistumista.

Ohjeita näyttävä ohjesovellus päätettiin toteuttaa natiivina Android-sovelluksena työn vaatimusten vuoksi. Ohjesovelluksen ohjaaminen ilman M4000-älylasien fyysisiä ohjausmenetelmiä toteutettiin käyttämällä Vuzixin omaa äänikomennot mahdollistavaa ohjelmistokehityspakettia. Muita realistisia toteutustapoja sovellukselle ei ollut, koska kyseistä pakettia ei ollut saatavilla kuin Java-kirjastona (Vuzix Corporation 2019b).

Ohjeidenluontityökalu päätettiin tuottaa React-websovelluksena. Työkalun luonti websovelluksena oli luontevaa, koska valmistuttuaan se olisi aina saatavilla verkkoyhteyden päässä ja sen käyttö olisi täten hyvin alusta- ja paikkariippumatonta. React-kirjaston valintaan päädyttiin sen laajan saatavilla

olevan ohjemateriaalin perusteella. Ohjemateriaali houkutti työn tekijää, koska hänellä ei ollut merkittävää kokemusta websovellusten kehittämisestä. Kirjaston valintaan vaikutti myös kirjaston keskitäminen ulkoasujen hallintaan ja ulkoasujen osittaiseen päivittämiseen (Facebook Inc. 2021).

Vaikka työssä toteutettu ratkaisu rajattiin luomaan vain teksteistä ja kuvista koostuvia ohjeita, haluttiin työtä suunnitellessa jättää mahdollisuus ohjeiden sisällön laajentamiseen tulevaisuudessa. Työn tietokanta päätettiin toteuttaa NoSQL-tietokantana tämän mahdollisen monimuotoisuuden vuoksi. Yksi NoSQL-tietokantojen eduista relaatiotietokantoihin verrattuna on se, että niiden tietorakenteet ovat helpommin muokattavissa ja laajennettavissa (MongoDB Inc. 2021a).

Työn tietokanta päätettiin luoda MongoDB Atlas-verkkotietokantapalveluun. MongoDB Atlas on MongoDB-yrityksen tarjoama verkkotietokantapalvelu, joka hoitaa sopivaa tunneittain laskettavaa rahaa vastaan useita tyypillisiä tietokantojen ylläpidollisia toimia (MongoDB Inc. 2021b). Päätökseen vaikutti palvelun helppokäyttöisyys, palvelun laajentamismahdollisuudet sekä palvelun paikka-riippumattomuus.

Työn osien välisen kommunikoinnin mahdollistava ohjelmointirajapinta toteutettiin Node.js-suoritusympäristön avulla. Rajapinnan luonnissa käytettiin useita tyypillisiä Node.js -ohjelmistokehyksiä. Kuten myös websovelluksen kohdalla, myös rajapinnan työkalujen valinnassa olennaisin tekijä oli saatavilla oleva laaja dokumentaatio. Laaja saatavilla oleva dokumentaatio koettiin arvokkaaksi, koska työn tekijällä ei ollut mittavaa kokemusta ohjelmistorajapintojen kehittämisestä.

Sovellusvertailussa testatut sovellukset valittiin Savonia-ammattikorkeakoulun omistamien älylasien perusteella. Sovellusvertailuun valittiin Dynamics 365 Guides HoloLensille ja Vuzix Remote Assist M4000-älylaseille. Dynamics 365 Guidesin testauksella pyrittiin tarkastelemaan sitä, miten eri älylasialustojen väliset erot näkyisivät alustoille tehdyissä sovellusratkaisuissa ja näiden ratkaisujen käytettävyydessä. Vuzix Remote Assistin testauksella pyrittiin selvittämään sitä, kuinka M4000-älylasien valmistaja oli vastannut älylasiensa rajoitteisiin.

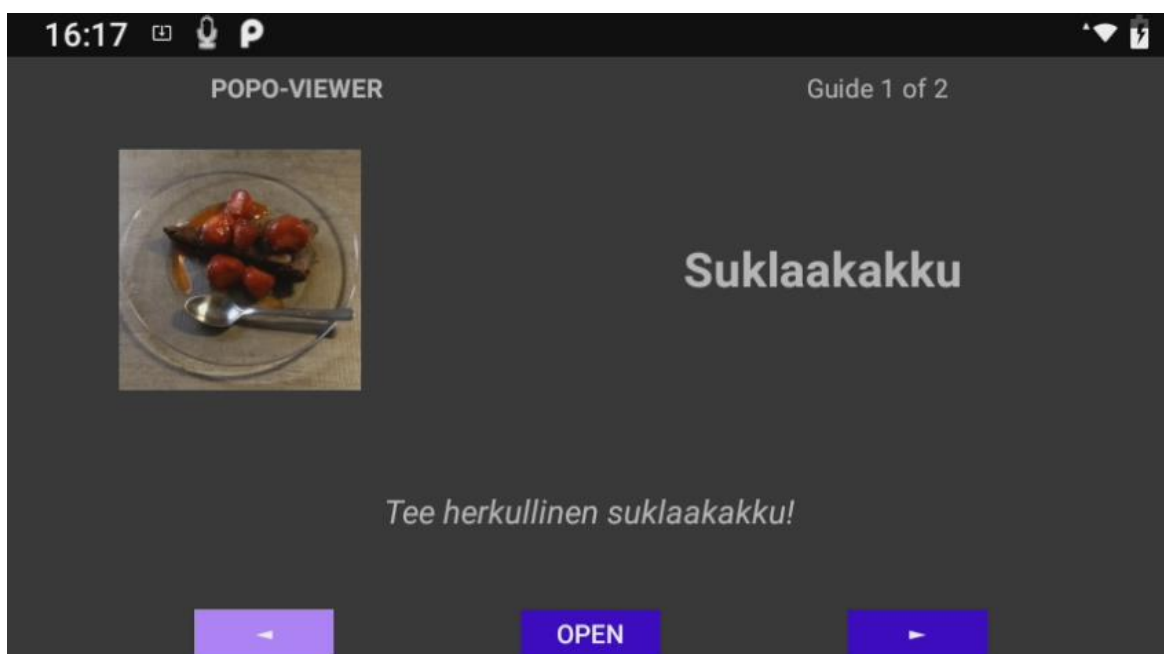
Opinnäytetyöprosessi aloitettiin marraskuussa 2020. Työ aikataulutettiin suoritettavaksi kolmen ja puolen kuukauden aikana. Työn osia pyrittiin työstämään aluksi toisistaan itsenäisesti siihen pisteeseen saakka, kunnes osat kykenisivät kommunikoimaan keskenään. Tämän jälkeen työssä oli tarkoitus siirtyä askel askeleelta kokonaisuuden yhdistämiseen.

4 SOVELLUSRATKAISUN TOTEUTUS

4.1 Ohjeidenlukusovellus

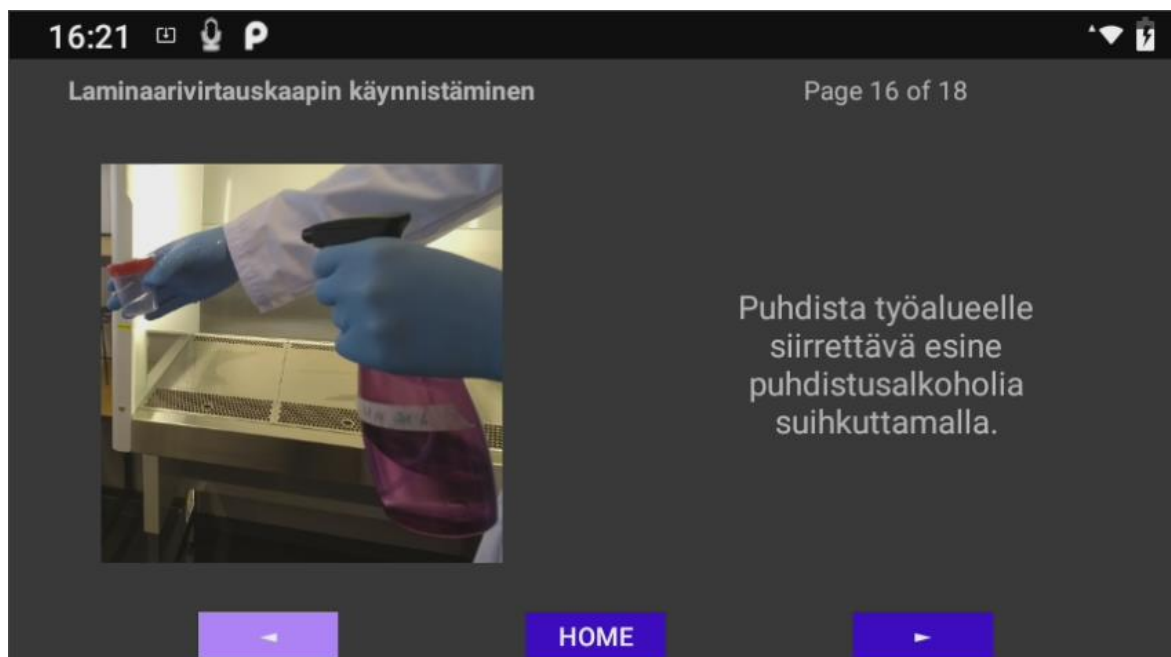
M4000-älylasien ohjausmenetelmien ajateltiin asettavan tuotettavan ohjeidenlukusovelluksen rajoitteet. Kun sovelluksen toteutus aloitettiin, ei älylasien toimintaa voinut ohjata kursorin avulla. Tällöin ajateltiin, että sovelluksen käyttöliittymän tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen, sillä kaikki eteneminen sovelluksessa tulisi tapahtumaan listalla edeten; siirtymällä järjestyksessä käyttöliittymän elementistä toiseen. Valintaelementtien määrä tuli täten minimoida, jotta toistuvien siirtymäkomentojen aiheuttamalta ajanhukalta vältyttäisiin.

Ohjeidenlukusovellus jaettiin kahteen listaa muistuttavaan näyttöön. Saatavilla olevat ohjeet näytettiin kuvan viisi mukaisella ohjelman aloitussivulla. Tällä sivulla ohjeesta näytettiin sen nimi, sen kuvaus sekä ohjeen sisältöä kuvaava kuva. Kaikkien saatavilla olevien ohjeiden välillä oli mahdollista liikkua näytön alareunan nappien avulla.



KUVA 5. Ohjeen sisältöä visualisoidaan kuvan ja kuvauksen avulla (Sihvonen 2021, CC-BY-SA)

Kutakin ohjetta pystyi lukemaan painamalla kuvan viisi mukaista Open-nappia. Ohjeiden määritettiin koostuvan useista sivuista, joista jokainen kuvasi yhtä yksinkertaista vaihetta koko prosessissa. Kuva kuusi esittää tällaista vaihetta ohjeessa, joka ohjaa lukijaansa kliinisen laboratorion laminaarivirtauskaapin oikeaoppisessa käynnistämässä. Sivuruudulla näytettiin ohjeen koko, tämänhetkinen sivu, sivun kuva ja sivun ohjeteksti. Ohjesivulla eteneminen oli mahdollista näytön alareunan nappien avulla. Ohjeesta pystyi palaamaan takaisin ohjevalintänäytölle Home-napin avulla.



KUVA 6. Ohjeissa edetään vaihe kerrallaan yksinkertaisia tehtäviä suorittaen. (Sihvonen 2021, CC-BY-SA)

Sovelluksessa liikkuminen tapahtui joko älylasien fyysisten ohjausmekanismien tai älylasien puhekomentojen avulla. Vaikka valittavat elementit oli rajattu kolmeen nappiin, ei edellä mainittujen menetelmien käyttö sovelluksessa etenemiseen ollut tarpeeksi sujuvaa. Jos etenemissuuntaa ohjeessa haluttiin vaihtaa, tuli sovelluksessa ensin siirtyä komennon avulla oikean napin kohdalle ja antaa tämän jälkeen toinen komento napin painamiseksi. Yhden toiminnon suorittamiseen tuli täten antaa kaksi komentoa.

Komentojen ketjuttamisen ongelma oli pahimmillaan älylasien äänikomentoja käyttäessä. Älylasien äänikomentoja ei voinut ketjuttaa sujuvasti, vaan jokaisen komennon välissä tuli pitää usean sekunnin mittainen tauko, jotta älylasit ymmärsivät prosessoida kunkin komennon. Äänikomentojen tahditaminen teki äänikomentojen käytöstä sovelluksen ohjaamisessa häiritsevän hidasta ja epäkäytännöllistä.

Sovelluksen käytön sujuvoittamiseksi siihen lisättiin Vuzixin puhekomento-ohjelmistokehityspakettia hyödyntäen uusia äänikomentoja. Näiden komentojen avulla käyttäjä pystyi etenemään listoilla sekä avaamaan ja sulkemaan ohjeen yhtä komentoa käyttäen. Työn tilaajan toiveesta komennot toteutettiin suomeksi, kuten kuvassa seitsemän näytetään.


```

public SpeechClient(GuideActivity _activity)
{
    activity = _activity;
    activity.registerReceiver( receiver: this, new IntentFilter(VuzixSpeechClient.ACTION_VOICE_COMMAND));
    try
    {
        VuzixSpeechClient sc = new VuzixSpeechClient(activity);
        sc.insertPhrase( phrase: "sulje ohje", CLOSE);
        sc.insertPhrase( phrase: "seuraava", NEXT);
        sc.insertPhrase( phrase: "edellinen", PREVIOUS);
        VuzixSpeechClient.EnableRecognizer(activity, enabled: true);
    }
    catch (Exception e) { Log.e(SC_TAG, msg: "error @ sc/constructor/initialize: " + e.toString()); }
}

```

KUVA 7. Konstruktori luo uudet puhekomennot ohjeessa etenemiseen (Sihvonen 2021, CC-BY-SA)

Android-sovellukset koostuvat aktiviteeteista, jotka ovat itsenäisiä näyttöjä käyttöliittymän näyttämiseen. Eri aktiviteetit suorittavat tyypillisesti toisistaan eroavia tehtäviä sovelluksessa. (Android Open Source Project 2021.) Puhekomentojen toteuttamiseksi sovelluksen aktiviteeteille luotiin SpeechClient-luokka, joka hyödyntää Vuzixin puhekomento-ohjelmistokehityspakettia.

Aktiviteettien luonnin yhteydessä luodaan SpeechClient-olio, joka toteuttaa halutut puhekomennot. Suomenkieliset puhekomennot sidotaan sijaissanoihin, joita tulkitaan puheeseen vastaavassa onReceive-metodissa. Oikean puhekomennon kuultuaan kuvassa kahdeksan esitetty onReceive suorittaa metodin, joka tuottaa komentoa vastaavan toiminnon, kuten sivunvaihdon ohjeessa.

```

@Override
public void onReceive(Context context, Intent intent)
{
    if(intent.getAction().equals(VuzixSpeechClient.ACTION_VOICE_COMMAND))
    {
        Bundle extras = intent.getExtras();
        if(extras != null && extras.containsKey((VuzixSpeechClient.PHRASE_STRING_EXTRA)))
        {
            String phrase = intent.getStringExtra(VuzixSpeechClient.PHRASE_STRING_EXTRA);
            if(phrase == null) return;
            switch(phrase)
            {
                case NEXT: activity.nextPage();
                    break;
                case PREVIOUS:
                    activity.previousPage();
                    break;
                case CLOSE:
                    activity.closeGuide();
                    break;
                default:
                    break;
            }
        }
    }
}

```

KUVA 8. OnReceive-metodi käsittelee kuullun puheen ja vastaa siihen (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

4.2 Ohjeidenluontisovellus

Ohjeidenluontisovelluksen toteutuksessa huomioitiin se, että sen tuleva mahdollinen käyttäjäkunta koostuisi laajalti ihmisistä, jotka eivät välttämättä omaisi mittavaa kokemusta tiedonhallinnan tehtävistä. Sovelluksen toiminnallisuus jaettiin itsenäisten sivujen alle sovelluksen käytön selkeyttämiseksi. Sovelluksen sivut pyrittiin pitämään toiminnallisesti mahdollisimman yksinkertaisina, jotta käyttäjien olisi helppo hahmottaa ja muistaa, mitä missäkin on ja mitä mistäkin tapahtui. Myös sivujen ulkoasu pidettiin yksinkertaisena selkeyden vuoksi. Kuva yhdeksän visualisoi sovelluksen ylärakennetta.

```
return (
  <div className="App">
    <BrowserRouter>
      <Navigation />
      <ToastContainer />
      <Switch>
        <Route exact path="/" component={FrontPage} />
        <Route exact path="/add" render={() => <Add bread={bread} />} />
        <Route exact path="/guides" render={() => <Edit bread={bread} />} />
        <Route exact path="/guides/:_id" render={() => <EditDetails bread={bread} />} />
        <Route path="/guides/:_id/:_pageId" render={() => <PagePreview bread={bread} />} />
        <Route exact path="/images" render={() => <Images bread={bread} />} />
        <Route path="/images/:filename" render={() => <ImageStream bread={bread} />} />
        { /* <Route path="/testpaeg" render={() => <Testpaeg bread={bread} />} /> */ }
        <Route path="*" component={NotFound} />
      </Switch>
    </BrowserRouter>
  </div>
);
```

KUVA 9. Ohjeidenluontisovelluksen pää rakenne (Sihvonen 2021 CC BY-SA)

Sovelluksen sivujen reititys toteutettiin React Router -kirjaston avulla. Kirjaston ominaisuudet otettiin käyttöön Reactille tyypillisesti pukemalla sen toiminnallisuutta tarvitsevat lapset kirjaston BrowserRouter-tagien sisään. BrowserRouter-tagien sisäinen Switch-rakenne etsii lapsistaan sen, jonka polku vastaa tällä hetkellä näytettävän sivun verkko-osoitetta (React Training 2021). Myös sovelluksen linkit sivujen välillä toteutettiin kirjaston avulla.

Kuvan yhdeksän mukainen muuttuja bread on toast-viestejä luova funktio, jonka avulla sovelluksen sivut pystyvät viestimään käyttäjälle tämän toiminnasta. Nämä viestit lisäävät sovelluksen reaktiivisuutta ja selkeyttä. Funktio toteutettiin react-toastify-kirjastoa käyttäen. ToastContainer-tagin mahdollistaa toast-viestien näytön sovelluksessa (Khadra 2021).

Sovellus jakaantui kolmeen pääsivuun: tiedon lisäämiseen, ohjeisiin ja kuviin. Tiedon lisääminen tapahtui yksinkertaisten syötekenttien avulla. Käyttäjä pystyi sovelluksen avulla luomaan uusia ohjeita ja lisäämään uusia kuvia tietokantaan ohjeita varten. Ohjeita ja kuvia pystyi tarkastelemaan niiden omilla alasuilla. Ohjeiden ja kuvien sivut sisälsivät linkit yksittäisten ohjesivujen ja yksittäisten kuvien sivuille. Sovelluksen etusivulle luotiin lyhyet ohjeet sovelluksen käytön opastamiseksi.

Sovelluksessa laajasti käytetyt taulukkorakenteet toteutettiin React Table -kirjaston avulla. Kuvat 10 ja 11 näyttävät esimerkkejä luoduista taulukkorakenteista. Kirjaston avulla tietokannasta haettava tieto voidaan pukea taulukkomuotoon tiedon helppoa jäsenystä ja muokkaamista varten.

Tarkastele ohjeita

Hae ohjeita

Otsikko ↓	Kuvaus ↓	Sivumäärä ↓	Avaa ohje ↓	Poista ohje ↓
Suklaakakku	Tee herkullinen suklaakakku!	16	Avaa ohje	
Laminaarivirtauskaapin käynnistäminen	Opi käyttämään laminaarivirtauskaappia.	18	Avaa ohje	

KUVA 10. Ohjeidenluontityökalu näyttää luodut ohjeet (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Sovelluksen kompleksisin sivu oli ohjeen muokkaussivu. Sivun ei täyttänyt sovelluksen yksinkertaisuusperiaatetta, mutta sen jakamista useisiin alasivuihin pidettiin epäkäytännöllisenä kokonaisuuden hahmottamisen kannalta. Sivulla näytettiin ohjeen kaikki tiedot sekä esikatselu ohjeen otsikkosivusta. Sivulla oli mahdollista muokata ohjeen kaikkia tietoja ja lisätä ohjeeseen uusia sivuja. Kuvassa 11 esitetty hakutermin lasi rajaa näytettäviä ohjesivuja termin mukaisesti.

Muokkaa ohjeen sivuja:

Lisää sivu (0/176):


	Sivun esikatselu ↓	Sivun teksti ↓	Sivun kuva ↓	New data ↓	Image selector ↓	Poista sivu ↓
LIIKUTA	Avaa esikatselu	Nosta kaapin lasiovi korkeudensäätökytkintä painamalla.	lvk_9.jpg	19/176 I'd be a fool if 	smol.jpg 	
LIIKUTA	Avaa esikatselu	Nosta kaapin lasiovi merkkiviivaan asti.	lvk_10.jpg	57/176 I didn't take the chance to write something silly here. 	xd.png 	

KUVA 11. Työvaiheita Laminaarivirtauskaapin käynnistäminen -ohjeesta (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Sivujen esikatselu tehtiin mahdolliseksi kuvassa 12 esitetyn sivukohtaisen alasivun avulla. Tällä sivulla näytettiin esikatselu tarkastelun alaisesta sivusta ja taulukkokentät tämän sivun muokkaamista varten. Ohjeen sivuja pystyi selaamaan sivun nuolinäppäinten avulla.

POPO-maker Lisää Ohjeet Kuvat

[Ohjeet / Laminaarivirtauskaapin käynnistäminen](#) / [Sivujen esikatselu](#) / **Sivu 16**



Puhdista työalueelle siirrettävä esine puhdistusalkoholia suihkuttamalla.

Sivun teksti	Sivun kuva	New data	Image selector
Puhdista työalueelle siirrettävä esine puhdistusalkoholia suihkuttamalla.	lvk_16.jpg	71/176 *uaves* This field can be used to modify the text on the page. <input type="text" value="uaves"/>	owo.png <input type="text" value="owo.png"/>

KUVA 12. Yksittäisen sivun esikatselu ja muokkaus ohjeidenluontityökalussa (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Sivujen esikatselut tehtiin vastaamaan ohjeiden näyttösovelluksen näkymää. Kaikki lisätty, muokattu tai poistettu tieto päivitettiin reaaliaikaisesti tietokantaan, jonka jälkeen tehdyt muutokset päivitettiin nähtäväksi sivunäkymään. Tämä mahdollisti sivujen nopean muokkaamisen ja luomisen.

4.3 Tietokanta

Tietokanta toteutettiin MongoDB Atlaksen ohjeita noudattaen. Ohjeiden avulla luotiin ilmainen tietokanta MongoDB Atlas-verkkotietokantapalveluun.

Tietokannan luomisen jälkeen tietokantaan luotiin käyttäjä, jolle myönnettiin oikeudet tietokannan muokkaamiseen. Tietokannan verkkoyhteyksiin myös määritettiin, että tietokantaan voi ottaa yhteyden mistä tahansa IP-osoitteesta. Nämä toimet tehtiin, koska ratkaisua tultiin kehittämään useilla eri laitteilla, jotka sijaitsivat eri paikoissa.

Yhteydenottojen salliminen mistä tahansa IP-osoitteesta on suunnaton tietoturvariski, jonka ottamista ei voi hyväksyä valtaosassa tietotekniikkaprojekteja. Riski oli kuitenkin hyväksyttävissä työssä, koska tietokanta ei missään vaiheessa sisältänyt arkaluontoista tietoa tai mitään, minkä uudelleenluomisessa olisi kulunut kymmeniä minutteja pitempään. Työn valmistumisen yhteydessä tämä tietoturvariski mitätöitiin, eikä sitä voi täten hyväksikäyttää.

Asetusten määrittämisen jälkeen tietokanta toimi täysin itsenäisesti, sillä sen käsittely hoidettiin tuotetun ohjelmistorajapinnan avulla. Node.js-ohjelmointirajapinta yhdistettiin tietokantaan MongoDB Atlas-palvelun tarjoaman yhdistämismerkkijonon avulla.

4.4 Ohjelmointirajapinta

Ohjelmointirajapinta toteutettiin Express-ohjelmistokehityksen avulla. Expressin avulla luotiin tietokoneella lokalisti toimiva palvelin, joka kuunteli sovellukseen määritettyä porttia yhteyksien varalta. Palvelimelle luotiin useita reittejä erilaisia pyyntöjä varten ja kuva 13 esittää kaksi tällaista reittiä. Yhteydenoton jälkeen ohjelmointirajapinta käsitteli sille saapuneen pyynnön ja vastasi siihen.

```
// get all guides
router.get('/get/', async (req, res) => {
  try {
    const guides = await Guide.find();
    res.json(guides);
  }
  catch (err) {
    console.log(`Error @ /get ${err}`);
    res.status(500).send();
  }
});

// get a specific guide
router.get('/get/:guideId', async (req, res) => {
  try {
    const guide = await Guide.findById(req.params.guideId);
    res.json(guide);
  }
  catch (err) {
    console.log(`Error @ /get/:guideId ${err}`);
    res.status(500).send();
  }
});
```

KUVA 13. Ohjelmointirajapinnan reitit ohjeiden hakuun (Sihvonen 2021 CC BY-SA)

Ohjeiden kuvien tallentaminen käytettiin Multer-kirjastoa. Multer (StrongLoop, IBM, ym. 2017) on Expressin toimintaa laajentava kirjasto, jota käytetään pääosin tiedostojen lataamiseen palvelimille.

Expressin lisäksi ohjelmointirajapinta hyödynsi Mongoose-ohjelmistokehystä tietokannan käsittelyssä. Mongoose on Node.js-ohjelmistokehys, jonka skeemojen avulla voidaan mallintaa MongoDB-tietokantaan tallennettavaa tietoa (LearnBoost 2010). Kuvan 13 mukainen Guide on skeema, joka kuvaa työn tietokantaan tallennettavaa ohjetta.

5 SOVELLUSVERTAILU

5.1 Suunnitelma

Sovellusvertailun tarkoituksena oli tuottaa laajempi tietopohja M4000-älylasien käytettävyyden arvioimiseksi, kuin mitä yhden ratkaisun tarkastelun avulla voitiin tuottaa. Kahden eri älylasiratkaisun sovellusten vertailulla pyrittiin myös saamaan tietoa siitä, ilmenivätkö työssä havaitut päätelmät samankaltaisina myös erilaisella älylasialustalla. Vaikka vertailun älylasiratkaisut eivät olleet toiminnallisuudeltaan yhteneviä, eivät niiden väliset erot kuitenkaan tuoneet merkittäviä eroja verrattavien sovellusten toiminnallisuuden välille. Sovellusten käytettävyyden vertailu oli täten mahdollista.

Työssä toteutetun ratkaisun käytettävyyttä verrattiin Dynamics 365 Guidesin ja Vuzix Remote Assistin käytettävyyteen. Kummankin ratkaisun testaamisessa käytettiin ratkaisujen valmistajien tarjoamia ilmaisia kokeiluversioita. Dynamics 365 Guides testattiin HoloLensillä ja Vuzix Remote Assist M4000-älylaseilla. Ohjeiden tuottoon käytettiin sovellusratkaisujen tarjoamia työkaluja. Materiaali esimerkkiohjeeseen kliinisen laboratorion laminaarivirtauskaapin käynnistämisestä tuotettiin yhteistyössä työn tilaajan edustajan kanssa.

Vuzix Remote Assist valittiin mukaan vertailuun, koska sen avulla haluttiin nähdä, millaiseen sovellusratkaisuun M4000-älylasien valmistaja oli päätenyt. Vuzixin (Vuzix Corporation 2021d) tuottama Vuzix Remote Assist on ratkaisu, jonka avulla voi käydä videoneuvotteluita sekä luoda prosessiohjeita. Ratkaisu tarjoaa lasella käytettävän ohjeidenlukusovelluksen lisäksi websovelluksen, jonka Workflow-toiminnon avulla voi luoda prosessiohjeita.

Dynamics 365 Guides valittiin mukaan vertailuun, koska työn tilaaja piti sitä hyvänä verrokkisovelluksena muille mahdollisille prosessinhallintaratkaisuille. Sovellusvertailussa ei hyödynnetty Dynamics 365 Guidesin ominaisuutta prosessinhallinnan ohjaamiseen 3D-mallien avulla. Microsoftin (Microsoft 2021b) tuottama Dynamics 365 Guides on ratkaisu, jonka avulla voi tuottaa prosessiohjeita. Guides koostuu ohjeiden luonnin mahdollistavasta työpöytäsovelluksesta ja älylaseilla käytettävästä ohjeidenlukusovelluksesta.

5.2 Toteutus

Testauksessa jokaisen valitun ratkaisun avulla luotiin ohje kliinisen laboratorion laminaarivirtauskaapin käynnistämisestä. Ohjeen kuvaama prosessi käytiin läpi työn tilaajan edustajan kanssa todenmukaisen materiaalin tuottamiseksi ja tämä prosessi jaettiin yksinkertaisiin osavaiheisiin. Jokaisen osavaiheen tehtävän suoritusta kuvattiin tekstin ja kuvan avulla. Ohje muodostettiin näiden teksti-kuvaparien avulla. Ohjeiden luonnin jälkeen ohjeita käytettiin kunkin sovellusratkaisun älylasialustalla. Ratkaisujen käytettävyyttä verrattiin toisiinsa aina ohjeen tuotosta sen lukemiseen saakka.

Ratkaisujen käytettävyyden vertailu tapahtui yksin työn tekijän toimesta. Työn tilaaja omasi kokemusta vertailun älylasialustojen käytöstä, mutta hankkeen kokemus vertailun sovelluksista oli joko vähäistä tai olematonta. Vertailusta saatuja kokemuksia, havaintoja ja päätelmiä verrattiin työn tilaajan vastaaviin niiltä osin, missä se oli mahdollista.

6 TULOKSET

6.1 M4000-älylasien käytettävyys tuotetun sovellusratkaisun perusteella

Työn sovellusratkaisu saavutti työssä tavoitellun toiminnallisuuden tason. Tuotettujen sovelluksien avulla oli mahdollista tuottaa kuvia ja teksteistä koostuvia ohjeita. Ratkaisun avulla oli mahdollista todeta M4000-älylasien olevan soveltumattomat työn premissin kaltaisiin prosessinhallinnan tehtäviin.

Työssä ei missään vaiheessa päästy älylasien käytettävyyden ydinongelman yli. Työn toteutus aloitettiin aikana, jolloin älylasien toimintaa ei voinut ohjata kursorin avulla. Ilman kursoria, kaikki toiminta älylaseilla rajoittui kaksiulotteisten listojen selaamiseen, eikä älylasien ohjausmekanismeista ollut edes näin yksinkertaisten tietorakenteiden sujuvaan käyttämiseen.

Älylasien fyysisten ohjausmekanismien käyttö ei ollut miellyttävää. Useat älylaseja ensi kertaa koettaneet henkilöt olettivat painikkeiden järjestyksen olevan vasen, valitse, oikea, kun se oikeasti oli valitse, vasen, oikea. Tätä järjestystä pidettiin epäjohdonmukaisena ja painikkeiden todellinen järjestys aiheutti havaittavaa turhautumista älylaseja kokeilleiden henkilöiden kesken.

Älylasien kosketuslevyä pidettiin liian pienenä. Kosketuslevyn materiaalia pidettiin liian samankaltaisena älylasien rungon kanssa, sillä kosketuslevyn löytäminen pelkän kosketuksen perusteella koettiin ajoittain hieman haastavaksi. Kosketuslevy oli sijoitettu huonosti, sillä älylasien käyttäjä saattoi vahingossa koskea kädellään siihen älylasien painikkeita painaessa. Tällaiset vahinkokosketukset saattoivat antaa tahtomattomia ohjauskomentoja älylaseille.

Maaliskuussa 2021 julkaistu järjestelmäpäivitys toi mukanaan mahdollisuuden käyttää älylasien kosketuslevyä hiiren kursorina. Järjestelmäpäivitys julkaistiin sen jälkeen, kun työn sovelluskehitystyö oli jo päätetty. Älylaseilla käytettävään ohjeidenlukusovellukseen ei tehty muutoksia järjestelmäpäivityksen vuoksi.

Järjestelmäpäivityksen mukanaan tuoma uusi toiminnallisuus kuitenkin testattiin pikaisesti. Tässä testauksessa havaittiin, ettei kursorista ole älylasien käytettävyyden pelastajaksi. Kursorin käyttö älylasien kosketuslevyn avulla on kömpelöä kosketuslevyn pienen pinta-alan vuoksi. Kursori ei myöskään ole tarpeeksi tarkka ja tarkkojen mikroliikkeiden tekeminen sillä osoittautui erittäin vaikeaksi. Kursoria ei myöskään voi käyttää samanaikaisesti kosketuslevyn vetokomentojen kanssa.

Älylasien äänikomentojen ongelmat olivat monituiset. Äänikomennot tuli ääntää huomattavan kovalla äänellä, jotta laite kuuli ne. Komentojen vaadittu kovaäänisyys tulisi luultavasti häiritsemään niitä henkilöitä, jotka työskentelisivät älylasien käyttäjän kanssa samassa tilassa. Äänikomentojen vaaditusta kovaäänisyydestä kertoo se, että testatessa älylasien äänikomentoja työn tekijä antoi tahdomattaan ohjauskomentoja samassa tilassa työskennelleen henkilön käyttämälle HoloLensille.

Älylasien äänikomennoissa häiritsi myös niiden pakollinen tauotus, mikä hidasti niiden käyttöä. Äänikomentojen tauottaminen ja kovaääninen lausuminen ei kuitenkaan riittänyt takaamaan sitä, että jokainen äänikomento olisi ymmärretty. Samoja äänikomentoja tuli toistaa ajoittain.

Suomenkielisten äänikomentojen kanssa ongelmaksi muodostui sanojen ääntäminen suomen ja englannin välillä. Ohjeen näyttösovelluksen komennoksi sulkea ohje asetettiin fraasi ”sulje ohje.” Älylasit eivät ymmärtäneet tätä komentoa, kun se äännettiin suomeksi. Kun sana ”sulje” väännettiin enemmänkin englanninkieliseen muotoon, toimi komento edellisissä kappaleissa mainituin varauksin. Tämänkaltainen sanojen vääristäminen vähentää lisättävien suomenkielisten kommentojen hyötyjä, koska kommentojen opettamisen lisäksi myös niiden oikeaoppinen ääntäminen tulee opettaa älylasien käyttäjille.

Ohjausmenetelmien rajoitteiden lisäksi älylasien havaittiin kärsivän useista muista ongelmista. Näiden ongelmien koettiin mahdollisesti vaikuttavan negatiivisesti älylasien käyttöönottoon, älylaseilla näytettävään sisältöön ja älylasien jatkuvaan käyttöön.

Älylasien asettaminen päähän koettiin vaikeaksi. Yksikään älylaseja testanneista henkilöistä ei saanut aseteltua niiden näyttöä näkökenttäänsä siten, että ruudun koko kuva olisi nähtävissä. Lasien oikeaoppisessa asettelussa meni lopulta tunteja, kunnes yksi monesta yrittäneestä sai viimeinkin näytön kuvan miltei kokonaan näkyviin. Älylasien oikeaoppinen asettelu osoittautui helpommaksi älylaseja enemmän käytettäessä, mutta niiden asettelusta ei missään vaiheessa tullut tarpeeksi sujuvaa.

Älylasien näytön asettelu ongelma toistui pienemmässä mittakaavassa älylasien painikkeita käytettäessä. Käyttäessä liikaa voimaa älylasien painikkeiden painamiseen, saattoi käyttäjä epähuomiossa muuttaa älylasien paikkaa päässään. Tässä tilanteessa käyttäjän tuli säätää älylasien näyttö kohdalleen uudestaan.

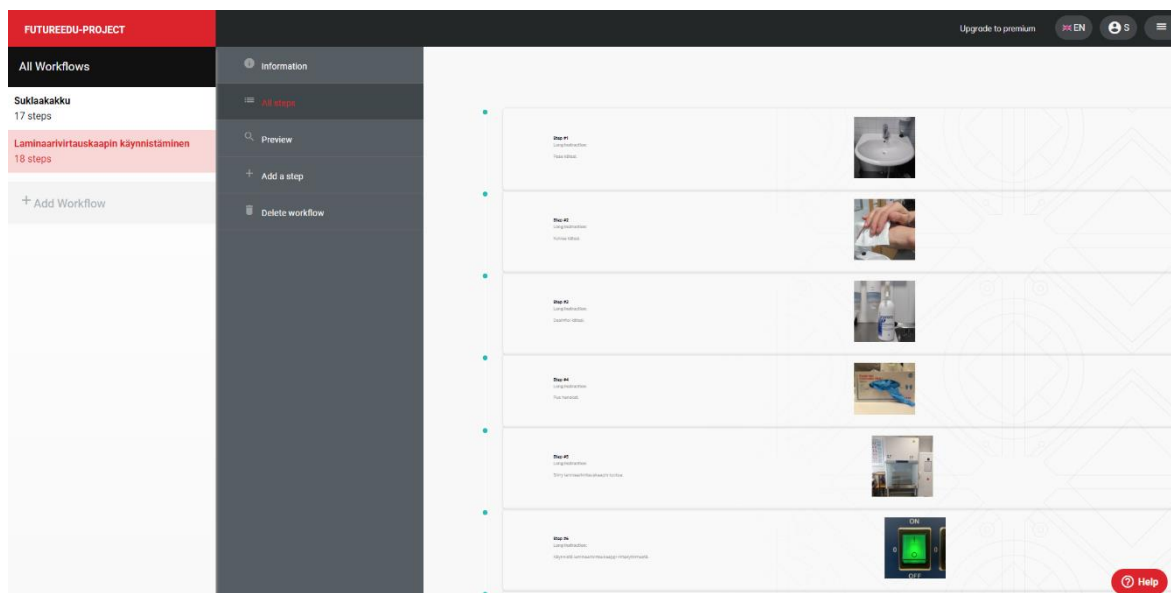
Älylasien näytön havaittiin vääristävän värejä. Älylasien näytössä oli käytön aikana havaittavissa näyttötekniikan tuottamia vaakasuoria palkkeja, jotka olivat hieman häiritseviä. Nämä vääristymät voivat vaikuttaa sellaisen työn suoritukseen, jossa värien tarkkuudella on huomattavaa merkitystä.

Kaikkien havaintojen perusteella pidettiin todennäköisenä sitä, että älylasien käyttöönotto toisi vain uusia ongelmia tilanteisiin, joissa älylaseja ajateltiin käyttää. Älylasien yleisen käyttäjäkokemuksen epäiltiin olevan jotain mitäänsanomattoman ja turhauttavan väliltä. Arveltiin, ettei älylasien käytöllä saavutettaisi hyötyjä työn premissin kaltaisissa prosessinhallinnan tehtävissä.

6.2 M4000-älylasien ja HoloLensin käytettävyys sovellusvertailun perusteella

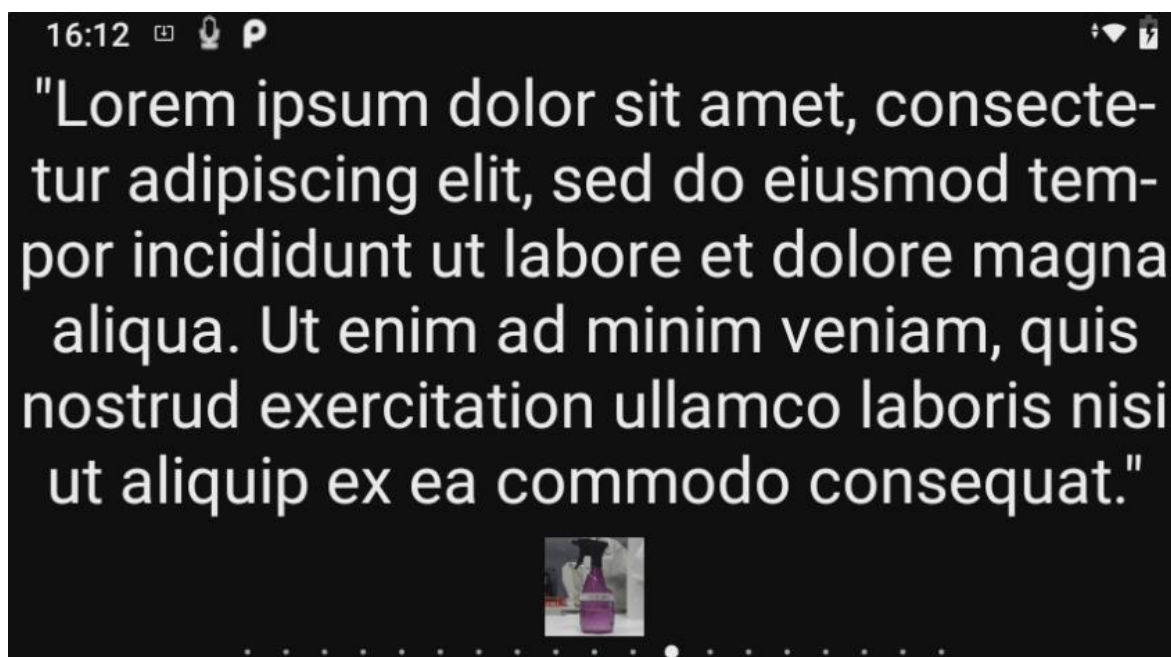
Sovellusvertailu vahvisti sen, että M4000-älylasien havaitut ongelmat olivat älylaseille synnynnäisiä. Vertailun perusteella arvioitiin, että HoloLens ja Dynamics 365 Guides voisivat olla potentiaalisia työkaluja työn premissin mukaisiin prosessinhallinnan tehtäviin. Vertailussa yllätti se, kuinka heikko M4000-älylasien valmistajan oma prosessinhallinnan ratkaisu oli laadultaan.

Kuvassa 14 esitetään Vuzix Remote Assistin Workflow-työkalu, jota käytetään verkkoselaimessa. Webtyökalu muistuttaa ulkoasultaan ja yleiseltä rakenteeltaan työssä toteutettua ohjeidenluontisovellusta. Webtyökalussa on kuitenkin useita ongelmia, mitkä tekevät sen käytöstä maksamisesta kyseenalaisen valinnan.



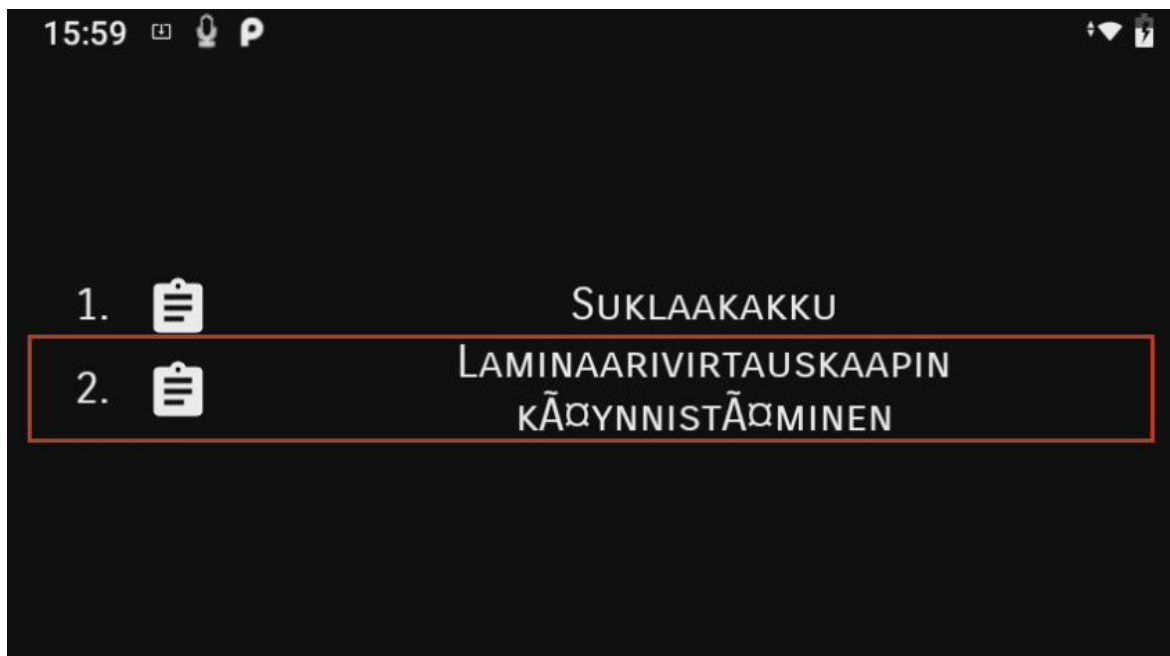
KUVA 14. Vuzix Remote Assistin Workflow-työkalu verkkoselaimessa (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Webtyökalun ongelmat tekevät työkalusta epämiellyttävän käytettävän. Ohjeiden sivujen tekstiä ei voi tyyliellä, vaan kaikki sivulla oleva teksti näytetään yhdessä kappaleessa. Kuten kuvassa 15 esitetään, ohjesivun tekstin pituutta ei ole rajoitettu. Liian pitkä tekstikappale pienentää sivulla näytettävää kuvaa, kun ohjesivua katsotaan Vuzix Remote Assistin ohjeidenlukusovelluksen avulla. Webtyökalun esikatselussa ei voi tarkastella kuin kunkin ohjeen ensimmäistä sivua, sillä sivua vaihtaessa esikatselu lakkaa toimimasta. Vaikka ohjesivun esikatselu toimisikin useamman kuin yhden sivun osalta, ei sitä silti voisi käyttää, sillä esikatselussa esitetty sivu ei vastaa älylaseilla näytettävää ohjesivua muotoilultaan. Ohjesivujen tiedot eivät päivity reaaliajassa sivuja muokatessa. Edellä mainittujen ongelmien lisäksi ohjeidenluontityökalu ajoittain piilottaa selattavana olevan ohjeen, eikä sitä voi palauttaa käynnistämättä webtyökalua uudestaan.



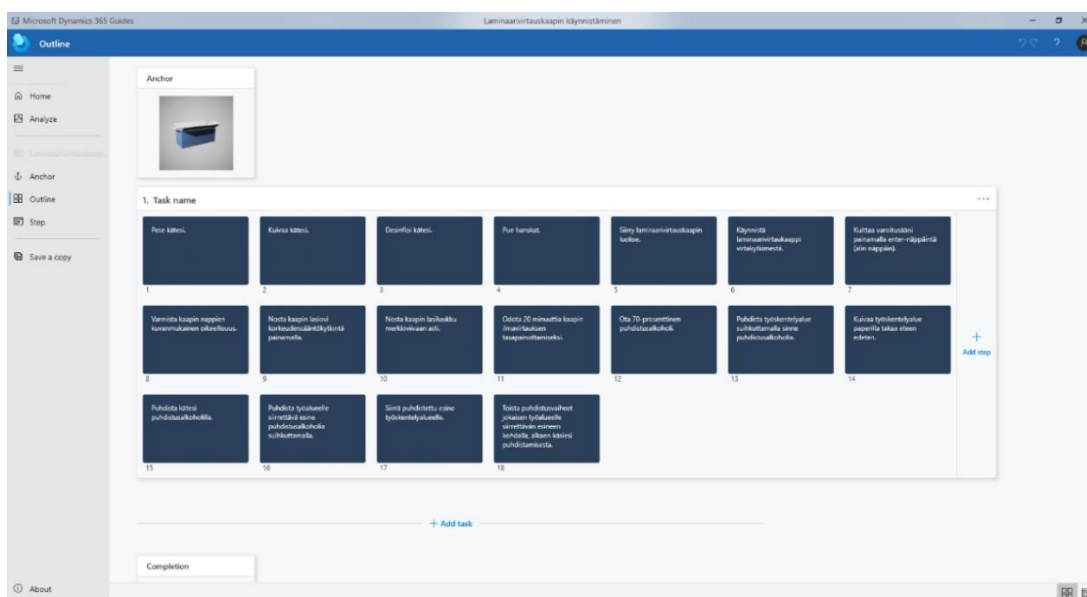
KUVA 15. Vuzix Remote Assist ei rajaa ohjesivun tekstin pituutta (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Älylasien Workflow-työkalussa eteneminen muistuttaa tuotetun ohjeidenlukusovelluksen käyttökokemusta. Sovelluksessa liikkuminen tapahtuu älylasien ohjausmenetelmiä käyttäen. Työkalun ja tuotetun ohjeidenlukusovelluksen väliset erot ovat pääosin ulkoasullisia. Suurin ero sovellusten ulkoasujen välillä on sovellusten ohjelistausten välillä. Tuotettu ohjeidenlukusovellus visualisoi ohjeiden sisältöä kuvan ja kuvauksen avulla, mutta älylasien Workflow-työkalu, kuten kuvassa 16 esitetään, näyttää jokaisesta ohjeesta vain otsikon.



KUVA 16. Vuzix Remote Assistin ASCII-merkistö ei ymmärrä ääkkösiä (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

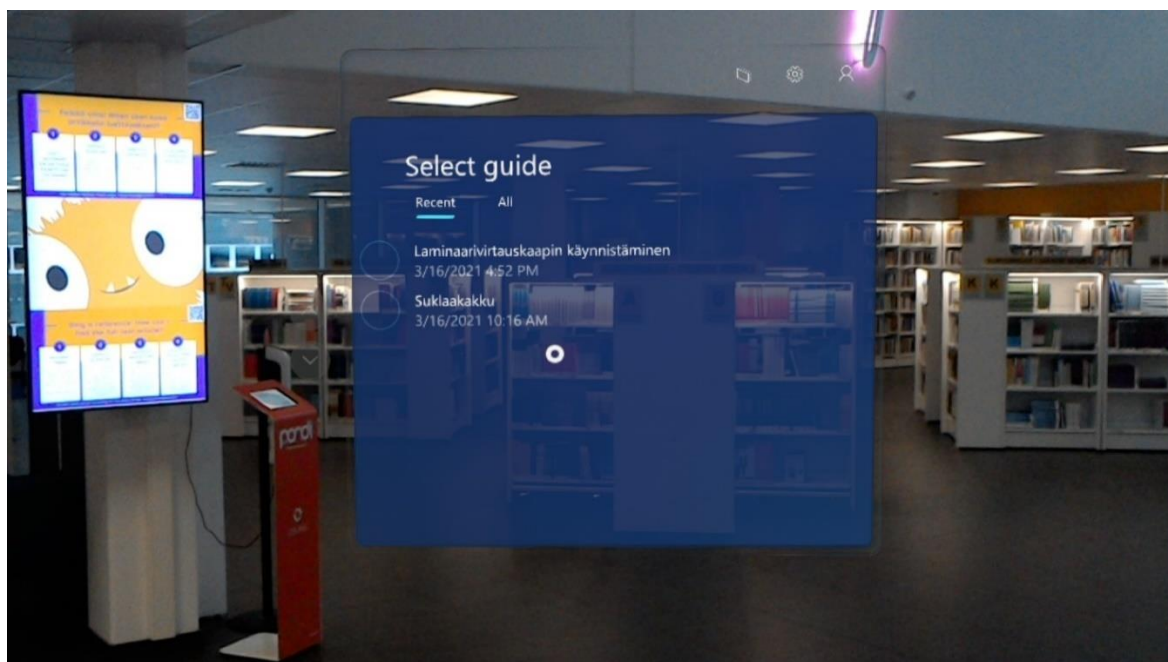
Dynamics 365 Guidesin käyttö osoittautui hyvin vaivattomaksi kokemukseksi. Ratkaisun ohjeidenluontityökalu on ulkoasultaan selkeä. Työkalu listaa ohjeen sivut kuvan 17 mukaisesti ja tämän näkymän ainoa havaittu puute on se, ettei näkymässä näytetä ohjesivujen kuvia. Tämä puute on kuitenkin ymmärrettävissä, kun otetaan huomioon se, että ohjesivuilla voidaan käyttää kuvien lisäksi 3D-malleja.



KUVA 17. Dynamics 365 Guidesin työpöytäsovellus listaa ohjeen sivut (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Sama tiedon visualisoinnin ongelma tavataan Dynamics 365 Guidesin ohjeidenlukusovelluksessa. Sovelluksessa, kuten kuvassa 18 nähdään, ei näytetä ohjeista kuin ohjeiden otsikko. Tämä ongelma oli kuitenkin ainoa havaittu ongelma sovelluksen käytössä.

Kuvat 18 ja 19 on otettu HoloLensin avulla ja ne muistuttavat sitä, miltä Dynamics 365 Guidesin käyttö näyttää älylasien käyttäjän näkökulmasta. HoloLensin hologrammit näkyvät osittain läpinäkyvinä älylasien käyttäjän ympärillä olevassa tilassa. Älylasien käyttäjä voi liikuttaa näkemiään hologrammeja.



KUVA 18. Dynamics 365 Guidesin ohjeita (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Dynamics 365 Guides on sujuva käytettävä HoloLensillä. Kuvassa 18 esiintyvät ympyrät jokaisen saatavilla olevan ohjeen edellä ovat valintaelementtejä, jotka avaavat ohjeen, kun HoloLensin katsekursori keskitetään niihin muutaman sekunnin ajaksi. Sovelluksen ohjaaminen katsekursorin avulla on hyvin vaivatonta, koska kaikki sovelluksen valintaelementit reagoivat katsekursoriin samalla tavalla. Sovelluksen käyttö pelkän katsekursorin avulla on täysin mahdollista.



KUVA 19. HoloLens näyttää ohjesivun käyttäjän ympärillä olevassa tilassa (Sihvonen 2021, CC BY-SA)

Dynamics 365 Guidesia voi myös käyttää äänikomentojen sekä katsekursorin ja liikekomentojen yhteistyön avulla, mutta nämä ohjaustavat koettiin pelkän katsekursorin käyttöä hitaammiksi tavoiksi edetä sovelluksessa. HoloLens tuntui ymmärtävän äänikomentoja paremmin mitä M4000-älylasit tekivät, eikä HoloLensille annettuja äänikomentoja tarvinnut ääntää kovaan ääneen.

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää työssä tuotettavan ratkaisun avulla M4000-älylasien käytettävyyttä niin yleisesti kuin myös tilanteissa, joissa laseja ei voisi ohjata niiden fyysisten ohjausmenetelmien avulla. Työn sovellusvertailun avulla pyrittiin laajemmin selvittämään älylasien potentiaalia ja vertaamaan sitä HoloLensin potentiaaliin. Työ kärsi aikataulullisista ongelmista, M4000-älylasien toimituksen hitaudesta ja työn tekijän kokemuksen puutteesta. Laitetoimituksen viivästyminen uhkasi jopa muuttaa työn parametrejä.

Työ ei toteutunut alkuperäisessä aikataulussaan, vaan sen suorittamiseen tarvittiin kahden kuukauden mittainen lisäaika. Yli puolet tästä ajasta käytettiin sovelluskehitystyöhön. Vaikka työn päivitetty aikataulut pitivät lopulta paikkansa, tulee tämän suuruista viivästymistä pitää selkeänä merkinä merkittävästä virheestä työn aikataulutuksessa.

Aikataulun virheet johtuivat työn tekijän kokemattomuudesta. Työhön ryhtyessään työn tekijä ei omannut kuin pientä kokemusta websovelluskehityksestä. Kokemuksen puutteen vuoksi hänen tuli opiskella ohjeidenluontisovelluksen ja ohjelmistorajapinnan kehityksessä käytetyt tekniikat itsenäisesti työn aikana. Kyseisten osa-alueiden sovellukset muodostivat valtaosan koko sovellusratkaisun kompleksisuudesta, mikä selittää tapahtuneen viivästyksen merkittävää kokoa.

Työn tekijä vastaanotti työn aiheen marraskuussa 2020 hieman epäroiden, sillä hän epäili kykyään suoriutua työn tehtävistä. Tämä epärointi oli kuitenkin toissijaista, sillä tietotekniikka-alan tehtäviä ei opi kuin niitä tekemällä. Epärointi tulee hyväksyä luonnolliseksi osaksi oppimisprosessia, jotta sen yli voidaan astua. Työn tarvitsema lisäaika käytettiin hyödyksi. Lisäajan puitteissa työn tekijän oli mahdollista oppia käyttämään alan merkittäviä tekniikoita. Näiden tekniikoiden oppiminen oli kivuliasta, mutta välttämätöntä. Opinnäytetyö oli haaste minulta itselleni ja olen tyytyväinen, että otin sen vastaan.

M4000-älylasien toimitus ei tapahtunut hyvän tavan mukaisesti ja työn tilaajan edustajat kokivat yhteistyön Vuzixin kanssa hankalaksi. Ensimmäiset työtä varten tilatut M4000-älylasit saapuivat suhteellisen nopeasti tilauksen jälkeen. Näiden älylasien näyttö osoittautui kuitenkin vialliseksi ja älylasit reklamoiitiin. Viallisten älylasien reklamointiprosessi oli huomattavan hidas, eikä älylasien valmistaja esiintynyt edukseen prosessin aikana. Työn tilaajan useista kyselyistä huolimatta älylasien valmistaja oli, tuntemattomasta syystä, kyvytön vastaamaan aikataulullisiin kysymyksiin reklamoidusta tuotteesta.

Reklamointiprosessi kesti noin kaksi kuukautta, eikä älylasien valmistaja tänä aikana vastannut siihen, milloinka asiakas voisi mahdollisesti saada tilaamansa tuotteen. Tämä tietämättömyys jopa uhkasi muuttaa työn parametrejä. Älylasit saapuivat kuitenkin ennen niille asetettua aikarajaa ja työ toteutettiin niiden osalta ennallaan. Älylasien toimituksen ongelmat eivät vaikuttaneet työn aikatauluun.

Vaikka työn toteutus tapahtui Covid-19-pandemian aikana, ei työn tekijällä tai työn tilaajalla ole todisteita tai viitteitä siitä, että pandemia olisi suoraan vaikuttanut merkittäväällä tavalla työn toteutuk-

seen, sen aikatauluun, tai älylasien toimitukseen. Työ suoritettiin pääosin etätöinä ja vain materiaalin kerääminen työtä varten sekä sovelluksien testaaminen älylaseilla toteutettiin työn tilaajan tarjoamissa tiloissa.

Työn tekijä esittää työn jatkokehityksen hylkäämistä. Työn jatkokehitystä ei voi pitää kannattavana M4000-älylasien käytettävyyden rajoitteiden pysyessä työssä kuvatus kaltaisina. Älylasien ohjaaminen pelkkien äänikomentojen avulla ei ole miellyttävää eikä sujuvaa. Älylasien fyysiset ohjausmekanismit ovat riittämättömät jopa kaksiulotteisten listojen sujuvaan selaamiseen. Älylasien kosketuslevyn käyttö hiiren cursorina on tervetullut lisäys älylasien ohjausmenetelmien kirjoon, mutta nykyisessä muodossaan sekään ei paranna älylasien käytettävyyttä merkittävästi. Kaikki älylaseilla tehtävä on älylasien itsensä rajoittamaa.

Vaikka älylasien rajoitteita pystyisi kiertämään esimerkiksi erillisten ohjauslaitteiden avulla, tulee työn jatkokehitykseen silti suhtautua varauksella. Ennen kuin työn jatkokehitystä voisi tässä tapauksessa puoltaa, tulisi ensin arvioida tarkasti se, onko kehittyneemmästäkin ratkaisusta jo olemassa olevien valmiiden sovellusratkaisujen kansakilpailijaksi. Älylasien puutteiden paikkaaminen toisilla laitteilla ei myöskään ole viisas ratkaisu, jos takeita ei ole saatavilla siitä, että kukin laitevalmistaja takaa laitteiden yhteensopivuuden hamaan tulevaisuuteen saakka.

Jos työtä kuitenkin päädytään jatkokehittämään käytettäväksi ratkaisuksi, tulee siihen tehdä useita suuria ja pieniä muutoksia. Nykyisessä muodossaan työn sovellukset lataavat ohjeiden kuvia aivan liian hitaasti, mikä tekee sovellusten käytöstä hidasta. Ongelmaan voisi vaikuttaa joko vaihtamalla kuvien tallennusratkaisua tai ennakkolataamalla useita kuvia käyttäjän toimia ennakkoiden.

Niin ohjeidenluontisovellukseen kuin myös ohjeidenlukusovellukseen tulisi luoda kirjautumisjärjestelmä, jonka avulla näytettävää tietoa voisi rajata käyttäjäkohtaisesti. Tuotettujen sovelluksien ulkoasua tulisi parantaa mahdollisuuksien mukaan ja varsinkin ohjeidenluontisovellus hyötyisi tiiviimmästä tavasta esittää tietoa. Tuotettu ratkaisu tulisi kokonaisuudessaan siirtää lokaalista ympäristöstä palvelimelle, ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön.

Työn sovellusvertailun tuloksia ei voi pitää absoluuttisena totuutena, koska vertailu tapahtui pääosin yhden henkilön toimesta. Tehdyt päätelmät sopinevat kuitenkin laajemman käytettävyyssanalyysin premissiksi, jos sellaista oltaisiin koskaan tuottamassa. Työn tilaajan edustajat yhtyivät pääosin vertailussa tehtyihin päätelmiin.

HoloLensin käytettävyys on toisesta maailmasta M4000-älylaseihin verrattuna. Työn tärkein viesti lienee se, kuinka tärkeää on huomioida sovelluskehityksen kohteena olevan alustan ominaisuudet ja rajoitteet. Jokainen laite maalanee sovelluksensa enemmän tai vähemmän kaltaiseksi. Verrattua laitteista vain HoloLens kykeni realisoimaan tiettyjä tieteiskirjallisuuden unelmia todeksi. M4000-älylasien kohtaloksi jäänee teknologisen kuriositeetin kurja asema.

LÄHTEET

- Android Open Source Project 2021. The concept of Activities. Verkkojulkaisu. <https://developer.android.com/guide/components/activities/intro-activities>. Viitattu 13.02.2021.
- Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta, Linturi & Kuusi 2018. Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018–2037 - Yhteiskunnan toimintamallit uudistava radikaali teknologia. Pdf-tiedosto. Julkaistu tammi-kuussa 2018. https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/tuvj_1+2018.pdf. Viitattu 25.03.2021.
- Facebook Inc. 2021. React – A JavaScript library for building user interfaces. Verkkojulkaisu. <https://reactjs.org/>. Viitattu 12.03.2021.
- Fortune Media IP Limited 2020. Methodology for Fortune 500. Verkkojulkaisu. <https://fortune.com/franchise-list-page/fortune-500-methodology-2020>. Viitattu 06.04.2021.
- Freeman, Russell 2007. Reality-virtuality continuum. Kuva. Julkaistu 22.11.2007. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/d/dc/Virtuality_Continuum_2.jpg. Viitattu 25.03.2021.
- IEICE Transactions on Information and Systems, Milgram & Kishino 1994. A Taxonomy of Mixed Reality Displays. Pdf-tiedosto. Julkaistu joulukuussa 1994. https://www.researchgate.net/profile/Paul-Milgram/publication/231514051_A_Taxonomy_of_Mixed_Reality_Visual_Displays/links/02e7e52ade5e1713ea000000/A-Taxonomy-of-Mixed-Reality-Visual-Displays.pdf. Viitattu 25.03.2021.
- Khadra, Fadi 2021. React-toastify, Getting started, Introduction. Verkkojulkaisu. <https://fkhadra.github.io/react-toastify/introduction>. Viitattu 14.03.2021.
- LearnBoost 2010. Mongoose, elegant mongodb object modeling for node.js. Verkkojulkaisu. <https://mongoosejs.com/> Viitattu 28.03.2021.
- Microsoft 2015. Microsoft redefines the laptop with Surface Book, ushers in new era of Windows 10 devices, Microsoft HoloLens arrives for developers. Verkkojulkaisu. <https://news.microsoft.com/2015/10/06/microsoft-redefines-the-laptop-with-surface-book-ushers-in-new-era-of-windows-10-devices/>. Viitattu 18.03.2021.
- Microsoft 2018. What is a Hologram? Verkkojulkaisu. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/hologram>. Viitattu 24.03.2021.
- Microsoft 2019a. Getting around HoloLens (1st gen). Verkkojulkaisu. <https://docs.microsoft.com/en-us/hololens/hololens1-basic-usage>. Viitattu 18.03.2021.
- Microsoft 2019b. HoloLens (1st gen) hardware. Verkkojulkaisu. <https://docs.microsoft.com/en-us/hololens/hololens1-hardware>. Viitattu 18.03.2021.
- Microsoft 2021a. MyIgnite – Satya Nadella Keynote. Video. Microsoft Ignite -konferenssi puhe, julkaistu 02.03.2021. <https://myignite.microsoft.com/sessions/5f16199c-9aae-40f2-a7ba-157a477faefd?source=sessions>. Viitattu 29.03.2021.
- Microsoft 2021b. On-the-job guidance. Verkkojulkaisu. <https://dynamics.microsoft.com/en-us/mixed-reality/guides/>. Viitattu 13.02.2021.
- MongoDB Inc. 2021a. MongoDB Atlas FAQ. Verkkojulkaisu. <https://www.mongodb.com/cloud/atlas/faq>. Viitattu 15.03.2021.

MongoDB Inc. 2021b. When to Use a NoSQL Database, When Would You Want to Use NoSQL over SQL? Verkkojulkaisu. <https://www.mongodb.com/nosql-explained/when-to-use-nosql>. Viitattu 28.03.2021.

React Training 2021. Primary Components. Verkkojulkaisu. <https://reactrouter.com/web/guides/primary-components>. Viitattu 14.03.2021.

Robertson, Adi 2019. The Microsoft HoloLens 2 ships today for \$3,500. The Verge -verkkolehti 07.11.2019. <https://www.theverge.com/2019/11/7/20946589/microsoft-hololens-2-mixed-reality-headset-preorder-shipping-price-upgrade>. Viitattu 18.03.2021.

StrongLoop, IBM, ym. 2017. Multer. Verkkojulkaisu. <https://expressjs.com/en/resources/middleware/multer.html> Viitattu 28.03.2021.

Vuzix Corporation 2019a. Getting to know the M400 and M4000. Verkkojulkaisu. <https://www.vuzix.com/Developer/KnowledgeBase/Detail/1108>. Viitattu 17.03.2021.

Vuzix Corporation 2019b. Working with the Vuzix Speech SDK, Installation. Verkkojulkaisu. <https://www.vuzix.com/Developer/KnowledgeBase/Detail/1116>. Viitattu 02.03.2021.

Vuzix Corporation 2021a. M400 Version 2.1.0 Available. Verkkojulkaisu. <https://www.vuzix.com/Developer/Release-notes/Detail/90/m400>. Viitattu 17.03.2021.

Vuzix Corporation 2021b. Smart Glasses – The perfect balance between performance and comfort. Verkkojulkaisu. <https://www.vuzix.com/technology/smart-glasses>. Viitattu 17.03.2021

Vuzix Corporation 2021c. Vuzix M4000, Technical specifications. Verkkojulkaisu. <https://www.vuzix.com/products/m4000-smart-glasses>. Viitattu 17.03.2021.

Vuzix Corporation 2021d. Vuzix Remote Assist. Verkkojulkaisu. <https://www.vuzix.com/vuzix-remote>. Viitattu 13.02.2021.

Vuzix Corporation 2021e. Waveguides, Optics & Display Engines. Verkkojulkaisu. <https://www.vuzix.com/technology/optics-waveguides-display-engines>. Viitattu 17.03.2021.