



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joni Happonen

Tunnelin paloturvallisuuden visualisointi virtuaalitodellisuudessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Insinöörityö

19.5.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joni Happonen Tunnelin paloturvallisuuden visualisointi virtuaalitodellisuudessa 20 sivua + 1 liite 19.5.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine	Pelisovellukset
Ohjaaja	Lehtori Antti Laiho
<p>Insinööriyöprojektina tehtiin pilotti, jonka tarkoituksena oli tutkia virtuaalitodellisuusteknologian mahdollisuuksia ja soveltuvuutta Helsingin länsimetron savunpoistojärjestelmän käyttöönoton koulutuksessa.</p> <p>Työssä tehtiin virtuaalitodellisuussovellus, jonka toteutukseen käytettiin virtuaalitodellisuuslaitteita sekä pelimoottoria. Ohjelmointikielenä käytettiin C#:a.</p> <p>Virtuaalitodellisuussovellukseen saatiin tehtyä käyttäjälle kokemus, jonka sisältö koostuu kahdesta näkymästä ja 2D-käyttöliittymästä, jonka kautta käyttäjä voi liikkua näkymien välillä. Sovelluksessa esitetään yksinkertaistetusti länsimetron savunpoistoon liittyvät mekanismit ja laitteiston toiminnot tulipalon syttyessä.</p> <p>Sovelluksen avulla esiteltiin osapuolille teknologiaa, jota ei ole perinteisesti hyödynnetty vastaavissa hankkeissa, sekä kartoitettiin osapuolten kiinnostusta teknologian hyödyntämiseen.</p> <p>Projektissa päästiin teknisessä mielessä haluttuun ja vaadittuun lopputulokseen; sovelluksen ruudunpäivitys on tasainen, asiat esitetään käyttäjälle asiakkaan toivomalla tavalla ja asema- ja ratamalleja päästään tarkastelemaan vapaasti. Lopputulos kaikkineen vastasi ennakko-odotuksia.</p>	
Avainsanat	virtuaalitodellisuus, paloturvallisuus, savunpoisto, metro

Author Title	Joni Happonen Visualizing a tunnel's fire safety in virtual reality
Number of Pages Date	20 pages + 1 attachment 19.5.2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Professional Major	Game Applications
Instructor	Antti Laiho, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis project's pilot application was to study the applicability of virtual reality in training Länsimetro's staff with the deployment of the automatic smoke removal system.</p> <p>The project was implemented by using HTC Vive virtual reality device, SteamVR program and library as well as Unity3D game engine. The main programming language used was C#.</p> <p>As a result of this study, an experience for the user that consists of two scenes and a 2D user-interface through which the user can move in between the two scenes was created. This experience for the user presents a simplified version of Länsimetro's mechanisms and the functions of the machinery involved in case of a fire.</p> <p>The project was used to showcase all the parties the kind of technology that has not traditionally been used in projects of similar kind. The study also demonstrated the interest of the parties to use such technology.</p> <p>As a conclusion, the project met all expectations set for it. Technically, the desired results were also met: the experience for the user runs smoothly, everything is presented to the user the way the customer wished for, and the station and track models are freely available for inspection.</p>	
Keywords	Virtual reality, smoke clearance, fire safety, metro

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tunnelien paloturvallisuus	2
2.1	Tunnelien paloturvallisuudesta yleisesti	2
2.2	Tie- ja ratatunnelien koneellinen savunpoisto ja ilmanvaihto	2
2.3	Toiminta hätätapauksessa ja metron turvavarustusta	6
3	Projektityön vaatimukset ja käytetty teknologia	8
3.1	Projektin määrittely ja täytettävät vaatimukset	8
3.2	Käytetty teknologia	9
4	Virtuaalitodellisuussovellus	16
4.1	Sovellus	16
4.2	Projektityön toteutus	18
4.3	Projektin lopputulos	Error! Bookmark not defined.
5	Yhteenveto	20
	Lähteet	21

Liitteet

Liite 1. Koodi, jonka periaatteiden pohjalta luotiin ProperLerp-koodi

Lyhenteet

VR	Virtuaalitodellisuus (Virtual Reality). Tietokoneella luotu keinotekoinen ympäristö, joka pyrkii simuloimaan oikeaa elämää vastaavaa tai kuvitteellista maailmaa.
MR	Mixed Reality. Teknologia, joka yhdistää sekä virtuaalitodellisuutta että lisättyä todellisuutta.
AR	Augmented Reality eli lisätty todellisuus. Teknologia, jonka avulla oikeaan maailmaan lisätään virtuaalista sisältöä, joka toistetaan esimerkiksi älypuhelimien ruudulla.
3D	Kolmiulotteisuus, kolmiulotteinen grafiikka. Tila, joka sisältää kolme ulottuvuutta eli pysty-, leveys- ja syvyysakselit.
HMD	Head Mounted Display. Virtuaalitodellisuuslasit. Laite, joka puetaan päähän ja sisältää virtuaalitodellisuuslaitteen näyttötekniikan ja joissain tapauksissa myös tilan seurantaan käytettävän tekniikan.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoitus oli toimia pilottivaiheen projektina, jossa tutkittiin, miten virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää työntekijöiden koulutustoiminnassa. Projekti toteutettiin virtuaalitodellisuusympäristössä, jotta koulutettava pääsisi tutustumaan valvomotilaan ja sen automaattisiin toimintoihin jo ennen varsinaista työtehtävän alkamista. Projektityössä tutkittiin virtuaalitodellisuusteknologian mahdollisuuksia ja soveltuvuutta länsimetron savunpoistojärjestelmän käyttöönoton koulutukseen liittyen sekä osapuolten halukkuutta käyttää teknologiaa, sillä sitä ei ollut aiemmin hyödynnetty vastaavissa hankkeissa. Tämä dokumentti on insinööriyöprojektin kirjallinen työnkuvaus.

Täydellisen savunpoistojärjestelmän simulointi olisi erittäin hankalaa ja työlästä, joten tämän projektin laajuus on vain automaattisen savunpoistojärjestelmän vaiheiden yksinkertaistettu visualisointi. Vaiheet voidaan esittää joko vaiheittaisesti, käyttäjän syötteen mukaan, jolloin vaiheissa päästään myös taaksepäin, tai automaattisesti, jolloin vaiheet etenevät automaattisesti eteenpäin.

Visuaalisessa toteutuksessa täytyi ottaa huomioon valvomotilan yksityiskohdat, jotta kokemuksesta tulisi mahdollisimman oikeata maailmaa vastaava ja immersiiivinen. Tekstin luettavuuteen täytyi myös kiinnittää huomiota, sillä käytettävien virtuaalitodellisuusjärjestelmien näyttöjen tarkkuus on verrattain matala verrattuna uusiin VR-laitteisiin. Tämän vuoksi virtuaalitalaan mallinnettiin valvomohuone, jossa käyttäjä voi kävellä ja tarkastella valvomon paneeleja vapaasti sekä käynnistää yksinkertaistetun visualisoinnin automaattisen savunpoiston vaiheista.

Projekti toteutettiin yhteistyössä SWECO Oy:n ja Länsimetro Oy:n kanssa. Projekti toteutettiin Unity3D 2017.14 -pelimoottorilla. Ohjelmointikielenä käytettiin C#:a. Projektin 3D-malleihin käytettiin Blender 3D -mallinnusohjelmaa. 2D-käyttöliittymän tekemiseen käytettiin Adobe Photoshop CC- ja Adobe Illustrator CC -ohjelmistoja.

2 Tunnelien paloturvallisuus

2.1 Tunnelien paloturvallisuudesta yleisesti

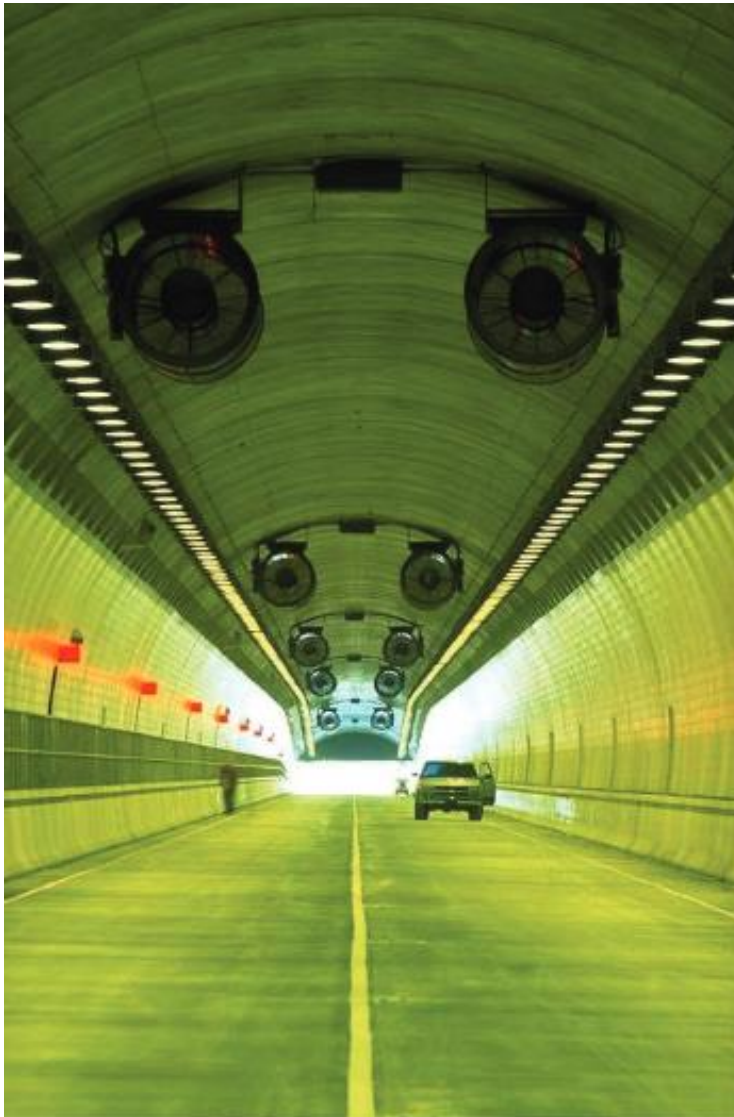
Tulipalon sattuessa maanalaisessa ympäristössä on otettava huomioon tekijöitä, joita ei välttämättä tarvitse ottaa huomioon maan pinnalla tapahtuvien tulipalojen sattuessa. Maanalaisessa tilassa esimerkiksi savu ei pääse nousemaan ylös ja haihtumaan ilmaan, vaan se jää jumiin tunneliin ja voi aiheuttaa vammoja ja vahinkoa ihmisille ja mahdollisille laitteistoille. Savun lisäksi toinen riskitekijä on tulen aiheuttama lämpö, joka lämmittää tunnelin ilman. Mikäli tunneliin on päässyt herkästi syttyvää materiaalia, kuten bensiiniä tai syttyvää kaasua, esimerkiksi metaania, voivat tuli, kipinät ja lämpö aiheuttaa suurta vahinkoa tunnelin rakenteille tai pahimmassa tapauksessa räjähdysten.

Nykyaikaiset tunnelien savunpoisto- ja paloturvallisuusjärjestelmät hyödyntävät automatiikkaa ja antureita, jotta savu pystytään havaitsemaan ja poistamaan mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti [7, s. 16]. Tässäkin projektissa mallinnettuun valvontatilaan on sijoitettu paneeli, josta voidaan seurata automaattisen savunpoiston vaiheita ja tarvittaessa ohittaa järjestelmä ja ohjata savunpoistoa manuaalisesti. Huone sisältää myös muita turvallisuuteen ja laitteiston toimintaan liittyviä mekanismeja, kuten LVI-järjestelmän ohjaukseen ja valvontaan vaadittavat järjestelmät. Lisäksi valvomohuoneesta täytyy löytyä kaikkien valvomotilasta ohjattavien laitteistojen toimintakaaviot, huolto-ohjeet, poikkeus- ja onnettomuustilanteiden toimintaohjeet ja ratatunnelin yleispiirrustussarjat [8, s. 27].

2.2 Tie- ja ratatunnelien koneellinen savunpoisto ja ilmanvaihto

Alle 1 000 metriä pitkissä tunneleissa on mahdollista, että tunneleissa ei tarvita lainkaan koneellista ilmanvaihtoa, mutta sen tarve määritellään toiminallisen ja riskianalyysin avulla. Näiden tunneleiden koneellinen savunpoisto toteutetaan usein tunnelin sisään- ja uloskäynteihin sijoitettavilla tunnelipuhaltimien avulla (pitkittäisilmanvaihto) [2, 15]. Savunpoistotilanteita varten tunnelien ilmanvaihdon tuulettimien lisäksi voidaan myös hyödyntää tunnelin kattoon sijoitettavia ilmanvaihtopuhaltimia ja paineentasauskuiluja, jotka ohjaavat savua ja toimivat ilmanvaihdon apuna. Kuvassa 1 nähdään

maantietunnelin kattoon asennettuja ilmanvaihtopuhaltimia yhdysvaltalaisessa tietunnelissa.



Kuva 1. Maantietunnelin kattoon asennettuja puhaltimia [24].

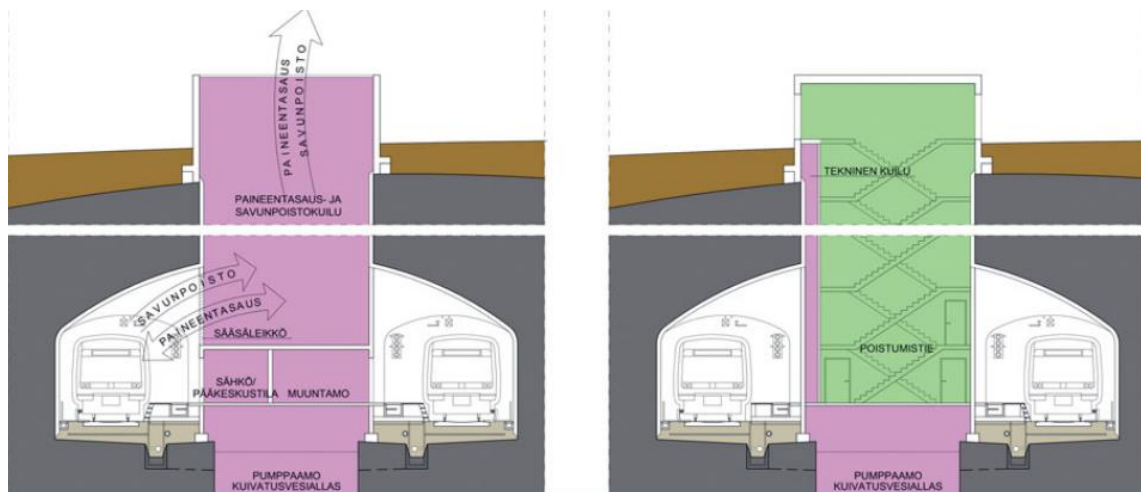
Tunnelin pituuden ylittäessä 1 000 m ja/tai silloin, kun sen liikenne on joko kaksisuuntaista tai sen liikennemäärä ylittää 4 000 autoa/vrk, tunnelissa täytyy käyttää koneellista poikittaista tai puolipoikittaista ilmanvaihtoa. Joissakin tapauksissa riskianalyysin perusteella tunneleissa voidaan kuitenkin käyttää pitkittäispuhallusta [2, s.15]. Yli 3 000 metriä pitkiin tunneleihin rakennetaan savunpoistokuiluja, tai olemassa oleviin paineentasauskuiluihin asennetaan kuvassa 2 näkyviä savunpoistopuhaltimia [2, s.15; 23].



Kuva 2. Kivenlahdessa sijaitsevaan savunpoistokuiluun asennettu savunpoistopuhallin [23].

Länsimetron automaattinen savunpoistojärjestelmä

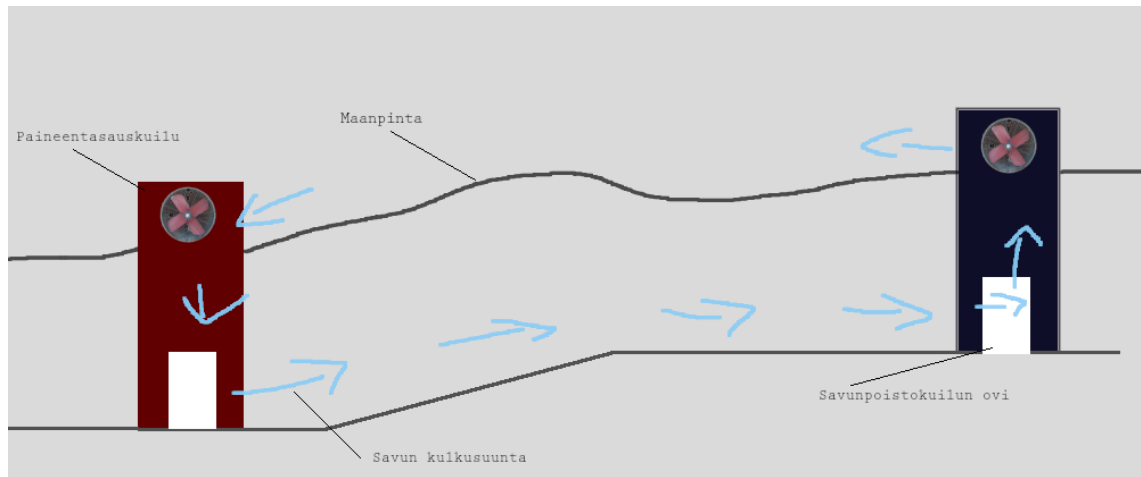
Länsimetron paloturvallisuutta valvotaan automaattisilla paloilmoitin- ja sammutusjärjestelmillä, joiden lisäksi tunnelia valvotaan videokuvan avulla. Savun leviämistä tunnelissa estetään ylipaineistus- ja savunhallintajärjestelmillä. [26.] Metrotunneliin n. 600 metrin välein, sekä jokaiselle metroasemalle on rakennettu kuvassa 3 näkyviä pystykuiluja, joita voidaan käyttää paineentasaukseen, poistumistienä, savunpoistoon ja/tai ilmanvaihtoon. Kuilujen kautta savu poistetaan tunnelista savunpoistopuhaltimien avulla [28, s. 6]. Pystykuilut ovat pystysuoria ja ulottuvat maan pinnalle saakka, ja niiden sisään on rakennettu metalliritilärakenteiset poistumistieportaat. Länsimetron tapauksessa ratatunneli on jaettu erillisiin savunpoistoalueisiin (palo-osasto), joita hallitaan erillisillä palo-ovilla tilanteesta riippuen, minkä lisäksi länsimetron molemmat raiteet ovat erillisiä, palo-osastoituja, tunneleita [26].



Kuva 3. Pystykuilujen rakennetta Länsimetro-lehdessä huhtikuussa 2008 [28, s. 6].

Erilaisten automattisesti ohjautuvien palorullaovien avulla tunnelin savunpoisto saadaan rajattua savunpoistoalueisiin, joissa ilmavirtausta saadaan ohjattua tehokkaasti savunpoistokuiluihin sijoitettujen savunpoistopuhaltimien avulla. Tulipalon vaikutuksesta lämmentynyt ilma on ohuempaa, keventyy ja pyrkii täten nousemaan ylöspäin, minkä vuoksi savunpoisto on tehokkaampaa toteuttaa aina kohti korkeammalla sijaitsevaa savunpoistokuilua.

Kuva 4 on erittäin yksinkertaistettu havainnollistus metrotunnelin savunpoiston periaatteesta yleisellä tasolla. Kuvassa paloilmaisin on lauennut ja savunpoistoon osallistuvat palorullaovet ovat rajanneet savunpoistoalueen. Punainen pylväs kuvastaa korvausilmaa sisään imevää paineentasauskuilua ja sen puhallinta. Nuolet edustavat ilmavirran ja tunnelissa myös savun kulkemista. Valkoiset palkit ovat pystytunnelien palo-ovia, jotka aukeavat savunpoistoa ja korvausilman sisäänottoa varten.

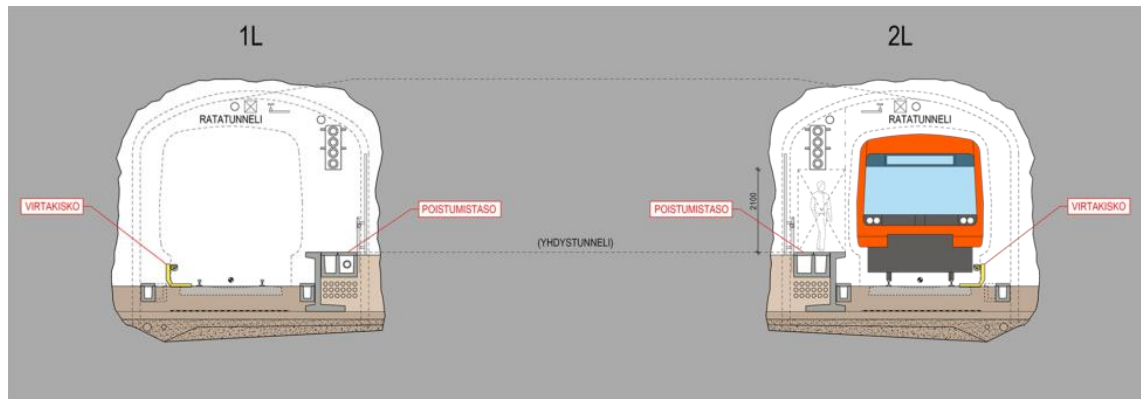


Kuva 4. Havainnollistus metrotunnelin savunpoistosta. Kuvan elementit eivät ole oikeassa mittakaavassa.

Tarvittaessa automaattinen savunpoistomekanismi voidaan ohittaa valvomohuoneeseen sijoitetun ohjauspaneelin avulla. Paneeli näyttää tunnelin senhetkisen tilanteen LED-ilmaisimien avulla ja sisältää tunnelin ovien avaamis- ja sulkemispainikkeet sekä puhaltimien tehonsäätimet.

2.3 Toiminta hätätapauksessa ja metron turvavarustusta

Rautatietunnelin hallinnoija, operaattori, hälytyskeskuslaitos, pelastuslaitokset ja poliisi laativat ennakkoon yhdessä pelastussuunnitelman. Suunnitelma sisältää toimintakuvaukset kaikille ennakoitavissa oleville tilanteille ja kertoo, miten kukin taho toimii hätätilanteen sattuessa [7]. Pääasiallisesti hätätilanteissa juna ajetaan lähimmälle asemalle, josta matkustajat voivat poistua metroaseman kautta. Mikäli hätätapauksen vuoksi metroliikenne joudutaan pysäyttämään, ratatasolla kulkevien sähköjohtimien vuoksi junasta poistuminen voi olla hengenvaarallista. Tällöin matkustajien on odotettava junan henkilökunnalta lupa poistua junasta tai pelastushenkilökuntaa tai -viranomaisia, joiden johdolla heidät autetaan pelastussuunnitelman mukaisesti joko ulos tunnelista tai kuvassa 5 esitetyille tunnelin sivuille rakennetuille, opastetuille poistumistasoille. Tilanteesta riippuen ja tarvittaessa matkustajat voidaan ohjata kuvassa 5 havainnollistettn yhdystunnelin kautta myös naapuriraitteelle. [9; 10; 27.]



Kuva 5. Ratatunneliin rakennettu poistumistaso, joita yhdistää yhdystunneli [27].

Rataosuudella Ruoholahti—Matinkylä kerroksien väleillä on kolmen liukuportaan ja kahden hissin ryhmä, joten liikkuminen ei ole estetty, vaikka yksi kulkureitti olisi huollossa tai vialla. Evakuointitilanteita varten yksi hissi jokaisesta edellä mainituista ryhmistä on varustettu evakuointihissiksi, joten myös liikuntarajoitteiset matkustajat voivat poistua metroasemalta omatoimisesti [25; 26].

Länsimetron ensimmäisen vaiheen (rataväli Ruoholahti—Matinkylä) tunneliin on sijoitettu poistumistaso, jota pitkin ihmiset pääsevät poistumaan metrotunnelista lähimmälle metroasemalle. Tämän lisäksi metrotunnelissa on kaiuttimet, jotka ohjaavat matkustajat hätätilanteessa oikealle poistumisreitille. Tunneli on myös valaistu hätätilanteissa ja mikäli virta on katkennut, tarvittaessa valaistus hoidetaan turvavalaistuksella. Näiden lisäksi näkörajoitteisten avuksi hisseihin johtaville reiteille sekä sisään- ja uloskäynneille on asennettu suunnistamista helpottavia äänimajakoita, jotka tuottavat toistuvaa ääntä [25].

Liikenneviraston ohjeiden mukaan yli 500 m:n pituisiin tunneleihin on asennettava turvavalaistusjärjestelmä, jonka täytyy toimia vähintään yhdellä puolella tunnelia, mikäli tunneli on yksisuuntainen. Kaksisuuntaisissa tunneleissa valaistus tulee toteuttaa molemmille puolille. Hätätilanteessa turvavalaistuksen on oltava toiminnassa vähintään 90 minuuttia siitä hetkestä, kun virta menetetään. Turvavalaistusta ei tarvitse toteuttaa maahan eikä sähköisesti. Turvavalaistus voi esimerkiksi olla joko sähköisesti erillinen valaistusjärjestelmä, tai pimeässä hohtavaa materiaalia hätäpoistumistielle johtavan reitin kaiteessa [8, s. 64.]

3 Projektityön vaatimukset ja käytetty teknologia

3.1 Projektin määrittely ja täytettävät vaatimukset

Insinööriyössä tehtiin virtuaalitodellisuuslaitteistolle toteutettu pilottihanke, jonka tarkoituksena oli tutkia virtuaalitodellisuusteknologian mahdollisuuksia ja soveltuvuutta länsimetron savunpoistojärjestelmän käyttöönoton koulutukseen liittyen ja tutustuttaa koulutettava henkilöstö todelliseen työnkuvaan ja automaattisen savunpoiston toimintaan yleisellä tasolla.

Projektin vaatimuksiin kuuluivat

- tulipalon ja savun visualisointi virtuaalisessa ympäristössä
- karttanäkymä
- Kaitaan aseman pienoismallin tarkastelu
- valvomotilan mallintaminen virtuaalitilaan
- valvomon ohjauspaneelin mallintaminen virtuaalitilaan
- 2D-käyttöliittymä, josta voi siirtyä käyttäjän näkymien välillä
- automaattisen savunpoistosekvenssin visualisointi
- käyttäjän ohjaaman savunpoistosekvenssin visualisointi
- nappi, josta yksinkertaistettua ratamallia pääsee tarkastelemaan ilman savunpoistosekvenssin käynnistymistä

- toiminnallisuus HTC Vive -virtuaalilaitteistolla.

Näiden vaatimuksien lisäksi virtuaalitodellisuussovelluksen täytyi saavuttaa 90 ruudunpäivitystä sekunnissa, jotta virtuaalitodellisuussovelluksen kuvanpäivitys ei nykisi ja aiheuttaisi ongelmia, kuten pahoinvointia käyttäjälle virtuaalitodellisuudessa.

3.2 Käytetty teknologia

Projekti toteutettiin käyttämällä kehitysympäristönä Unity3D-pelimoottoria, versio 2017.14f. Ohjelmointikielenä käytettiin C#:a ja Unity3D:n sisäänrakennettuja kirjastoja. Tekstieditorina ja ohjelmointiympäristönä käytettiin Visual Studio 2017:ää 3D-mallien kääntämiseen IFC-malleista .FBX- ja .OBJ-tiedostomuotoihin käytettiin Teatime Research Oy:n Vrifier-ohjelmistoa. Käyttäjän syötteet ja kontrollit (ohjaus) tunnistettiin Valven SteamVR-kirjaston ja Teatime Researchin oman ShowroomPlatform-alustan avulla. Osa toiminnallisuuksista, kuten osoitin ja näkymien vaihto, toteutettiin myös ShowroomPlatform-alustan kautta.

Ohjelman testaukseen käytettiin kannettavaa tietokonetta, jossa on NVIDIA GTX 1080 -näytönohjain ja 4-ytiminen Intel core i7 -prosessori, Samsung Odyssey- ja Samsung Odyssey+ Windows Mixed Reality -silmiä sekä HTC Vive -virtuaalitodellisuusjärjestelmää.

Unity

Unity (tai Unity3D) on Unity Technologiesin kehittämä, useiden alustojen kanssa yhteensopiva pelimoottori. Unity Technologies perustettiin vuonna 2004 aluksi nimellä Over The Edge Entertainment. Vuonna 2005 yritys uudelleennimettiin Unity Technologiesiksi. [1.] Unity-pelimoottorin ensimmäinen versio, 1.0.0, julkaistiin 6. kesäkuuta 2005 [2]. Unityn sivuston mukaan Unity on nykyisin yksi suurimmista pelimaailman yrityksistä, ja yli 50 % uusista mobiilipeleistä ja 60 % AR/VR-sisällöstä on tehty Unitylla [3].

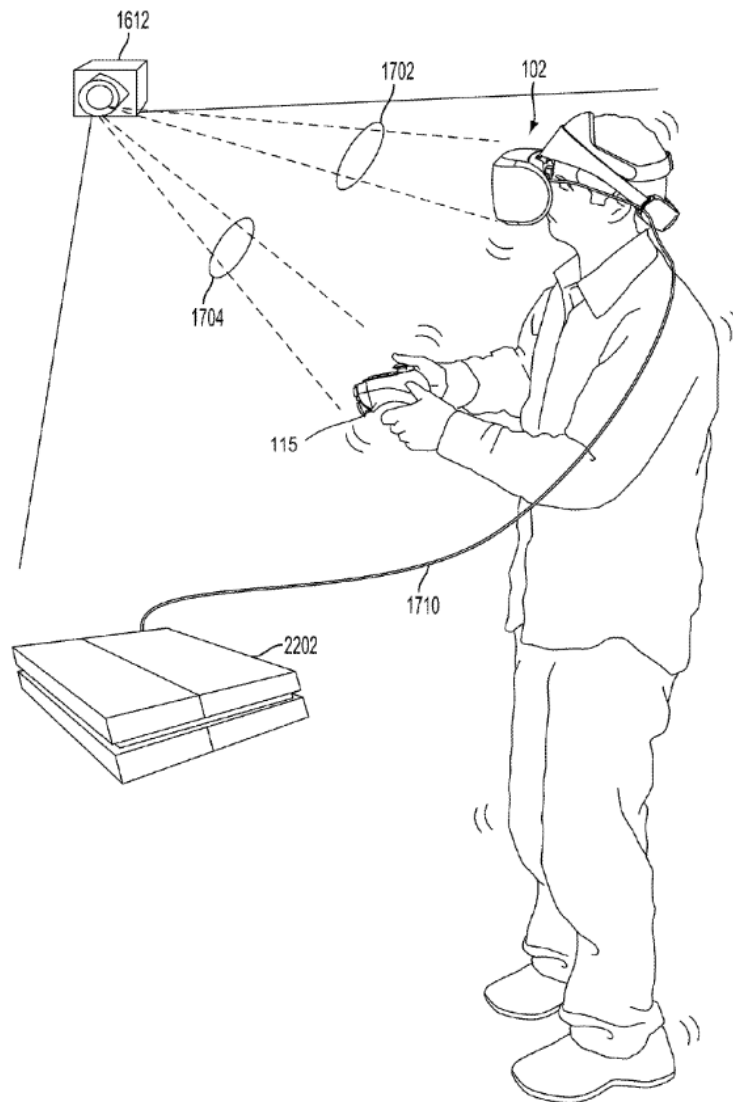
Unitylla voi toteuttaa sekä 2D- että 3D-pelejä ja ohjelmistoja. Pääasiallisena kielenä Unity-ohjelmistokehittämisessä käytetään C#-kieltä, mutta tämän lisäksi Unity tukee

.DLL-liitännäisiä (engl. plug-in), mikäli ne sisältävät .NET-koodia. Alun perin Unity tuki myös UnityScript-nimistä JavaScriptiin pohjautuvaa ohjelmointikieltä, mutta myöhemmin tuki lopetettiin uusien ominaisuuksien toteuttamisen mahdollistamiseksi [4].

Virtuaalitodellisuus

Sana Virtual Reality tulee Myron Kruegerin teoksesta Artificial Reality II [7]. Virtuaalitodellisuudella tarkoitetaan virtuaalisesti luotua maailmaa, jonka sisälle käyttäjä asetetaan. Erona lisättyyn todellisuuteen (engl. Augmented reality) on se, että tila on täysin virtuaalinen, kun taas lisätyssä todellisuudessa maailmaan lisätään sisältöä esimerkiksi älypuhelimien kameran avulla. Virtuaalitodellisuuslaitteistoon kuuluu yleensä laitteistosta riippuen HMD-laite, kaksi tai useampia majakoita (Lighthouse) sekä käsiohjaimet. Majakat sijoitetaan usein huoneen vastakkaisiin kulmiin, jotta niiden välille ei syntyisi aluetta, jossa sijainninpaikannus ei toimi.

Osa virtuaalilaitteistoista, kuten esimerkiksi PlaystationVR (PSVR), tukee käsiohjaimien lisäksi tavanomaisen pelikonsolin ohjaimen käyttöä. Kuvassa 6 on Sony Corporationin patentti, jossa käyttäjällä on päässään HMD-laite, kädessään peliohjain ja seinällä majakka, joka seuraa ohjaimen ja käyttäjän pään liikettä. Monet modernit virtuaalilasit sisältävät myös kuulokkeet, jotka on usein kiinnitetty silmikon pään ympäri kulkevaan pantaan.



Kuva 6. Sonyn PlaystationVR-patentti [3, s. 26].

Virtuaalitodellisuuslaitteet hyödyntävät tilan ja käyttäjän sekä ohjainten sijainnin ja orientaation paikantamiseen majakoiden ja käyttäjän silmikon ja käsiohjainten välillistä laser-yhteyttä. Tätä kutsutaan outside-in-trackingiksi, eli suomeksi ulkoa sisäänpäin seurannaksi. Outside-in-trackingin avulla käyttäjän sijainti ja orientaatio paikannetaan siis ulkoisten majakoiden avulla, jolloin ohjaimien seuranta ei menetä yhteyttä, kun ohjaimet ovat esimerkiksi käyttäjän selän takana. Projektissa käytetty HTC Vive käyttää paikantamiseen outside-in-trackingia. Kuvassa 7 on outside-in-trackingia käyttävä HTC Vive -laitteisto.



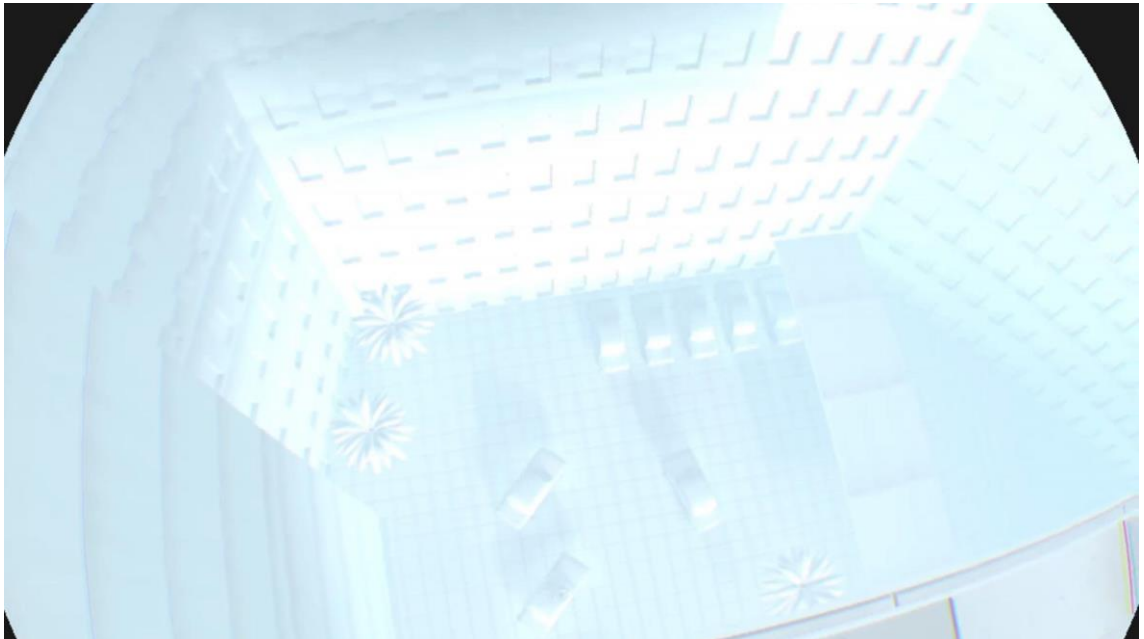
Kuva 7. HTC Vive -virtuaalitodellisuuslaitteisto ja käyttäjä HMD-laite päässään [3].

Virtuaalitodellisuuden ongelmia

Virtuaalitodellisuuskokemukset ovat oikein tehtyinä hyvin immersivisiä, mutta kokemuksia luodessa voidaan tehdä myös vääränlaisia päätöksiä, jolloin käyttäjän immersio kärsii. Kokemuksen suunnittelun lisäksi myös itse laitteistosta ja käyttäjän ympäristöstä voi aiheutua ongelmia käytön aikana. Ongelmista voi koitua käyttäjälle erilaisia hetkellisiä vaivoja, kuten huimausta tai pahoinvointia. Vaivat voivat jatkua jopa 20–30 minuuttia silmikon riisumisesta ja virtuaalitodellisuuskokemuksesta poistumisen jälkeen [5].

Kokemuksista riippuvaisia ongelmia ovat esimerkiksi käyttäjän liikuttaminen ilman käyttäjän itse liikkumista. Liikuttaminen aiheuttaa usealle kokemattomalle käyttäjälle huimausta tai joissain tapauksissa tasapainon menettämisen. Monissa kokemuksissa

käyttäjää pudotetaan tai putoaa, mikä aiheuttaa huimausta. Esimerkkinä tästä on kuvassa 8 näkyvä virtuaalitodellisuuspeli SUPERHOT VR, jossa käyttäjä joutuu kävelemään alas rakennuksen katolta ja putoaa alas.



Kuva 8. Superhot VR -pelissä käyttäjä putoaa katolta alas virtuaalitodellisuudessa [6, 0:24].

Myös laitteistosta voi aiheutua ongelmia, jotka voivat rikkoa käyttäjän immersion. Yksi suurimpia ongelmia virtuaalitodellisuuslaitteistossa on silmikoiden vaatimat kaapelit. Johtoihin on helppo kompastua, ja ne lisäävät silmikoiden painoa sekä estävät liikkumista. Outside-in-trackingiä hyödyntäviä laitteita yhdistää riippuvuus majakoista. Mikäli käyttäjän tai laitteiston ja majakan välissä on esteitä, HMD:n tai käsiohjainten seuranta voi katketa, kunnes yhteys löytyy. Mikäli yhteys katkeaa, ohjain jää leijumaan paikalleen, mutta jos HMD:n yhteys katoaa, pahimmillaan virtuaalinen maailma ei vastaa käyttäjän pään liikkeitä tai silmikko lopettaa väliaikaisesti kuvan näyttämisen käyttäjälle.

Yhdistetty todellisuus

Termiä "Mixed reality" (eli yhdistetty todellisuus) käytettiin ensimmäisen kerran vuonna 1994 Paul Milgramin ja Fumio Kishinon tutkimuksessa "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays". Yhdistetty todellisuus tarkoittaa teknologiaa, joka yhdistää sekä virtuaalitodellisuutta että lisättyä todellisuutta. Yhdistetyn todellisuuden avulla oikea maailma ja virtuaalinen maailma voivat yhdistyä ja olla vuorovaikutuksessa toistensa

kanssa. Yhdistetty todellisuus ei ole yksiselitteinen asia, vaan se kattaa kirjon erilaisia laitteistoja ja teknologioita [6]. Tässä projektissa ei kuitenkaan hyödynnetty yhdistetyn todellisuuden ominaisuuksia. Kuvassa 9 on esimerkki yhdistetyn todellisuuden käytöstä. Videon tekijä on lisännyt oikean maailman ohjauspyörän ja omat kätensä virtuaalitodellisuutta tukevaan Assetto Corsa -ajopelissä sijaitsevaan ajoneuvoon käyttäen GoPro-kameraa ja Oculus Rift-DK2 -virtuaalitodellisuuslaseja.



Kuva 9. Assetto Corsa -ajopeli ja yhdistettyä todellisuutta [12, 3:26].

HTC Vive -virtuaalitodellisuusjärjestelmä

HTC Vive (vastedes lyhennetään "Vive") on vuonna 2016 julkaistu virtuaalitodellisuusjärjestelmä, joka koostuu virtuaalitodellisuuslaseista, kahdesta käsiohjaimesta ja kahdesta majakasta. Viven silmikon resoluutio on 1080 x 1200 pikseliä silmää kohti, yhteensä 2160 x 1200. Näytön virkistystaajuus on 90 hertsiä ja näkökentän laajuus 110 astetta. [7.]



Kuva 10. HTC Vive -virtuaalitodellisuusjärjestelmä [7].

Viven käyttömukavuutta ja istuvuutta saa säädettyä linssien etäisyydellä syvyys- ja sivusuuntaisesti sekä säätämällä pään ympäri kulkevan pannan kireyttä sekä päältä ja HMD:n sivuilta.

Samsung Odyssey Mixed Reality Headset

Samsung Odyssey Mixed Reality Headset (vastedes "Odyssey") on vuonna 2017 julkaistu Microsoft Windows Mixed Reality -alustan yhdistetty todellisuus -laite. HMD sisältää kaksi 3,5 tuuman AMOLED-näyttöä, joiden tarkkuus on 1440 x 1600 pikseliä ja virkistystaajuus 90 Hz. Laitteen katselukulma on 110 astetta, ja laitteen sivuilla on AKG:n valmistamat kuulokkeet. HTC Vivestä poiketen Odyssey hyödyntää Inside-out trackingia sijainnin paikantamiseen, minkä lisäksi HMD:n etupuolella on kaksi kameraa, joita käytetään paikantamiseen sekä MR-ominaisuuksien hyödyntämiseen. Odysseyn HMD:n säädöissä ei ole pään yläpuolelta kulkevaa pantaa, vaan Odysseyn panta kiristetään PSVR:n tavoin takaa ruuvattavilla kiristimillä, jolloin takana ja otsalla olevat pehmusteet pitävät HMD:n paikallaan käyttäjän päässä [17].



Kuva 11. Yhdistetyn todellisuuden laitteistosta [17].

Samsung HMD Odyssey+ on päivitetty versio ensimmäisestä versiosta, ja laite eroaa alkuperäisestä uudistetuilla näytöillä, joiden tarkoitus on terävöittää käyttäjän havaitsemaa kuvaa. Lisäksi Odyssey+ on edeltäjäänsä kevyempi ja laitteen muotoilu eroaa hiukan ensimmäisestä versiosta. [19.]

4 Virtuaalitodellisuussovellus

Insinööriö tehtiin Länsimetro Oy:lle, ja se sisältää salassapitosopimuksen alaista materiaalia, jota ei voida julkaista julkisesti. Osa tämän luvun sisällöstä on poistettu insinööriön julkisesta versiosta.

4.1 Sovellus

Karttanäkymä

Karttanäkymässä käyttäjä voi tarkastella metron läntisen osan karttaa satelliittinäköinä tai piirrettynä maastokarttana. Karttaa voi vaihtaa painamalla kartan vasemman

alalaidan painiketta. Karttanäkymän ympäristöksi on asetettu Teatimen Showroom. Ulkonäkymänä kuvapalloksi on Helsingin Ruoholahdessa lennokilla kuvattu 360-maisemakuva.

Kartalla näkyvistä kylteistä tässä projektissa käytetyn Kaitaan aseman nimikylttiin on liitetty toiminto, joka tuo aseman rakennusmallin käyttäjän eteen tarkasteltavaksi. Muihin kyltteihin ei ole liitetty toimintoja.

Valvomohuone

Valvomohuone on mitoiltaan tarkka mallinnos oikealla asemalla sijaitsevasta valvomosta. Virtuaalisessa valvomossa sijaitsevat hallintalaitteisto ja ohjauspaneeli sekä yksinkertaistettu ratamalli.

Seinällä sijaitsevasta valikosta käyttäjä voi valita joko manuaalisen savunpoistosekvenssin, automaattisen savunpoistosekvenssin, palata karttanäkymään tai vaihtaa näkymää yksinkertaistetun ratamallin esikatselutilaan, jolloin huoneen kaapit katoavat ja yksinkertaistettu ratamalli tulee esiin.

Tässä projektissa käytettiin ainoastaan oikeanpuolimmaista kaappia. Kaapin LED-ilmaisimet syttyvät ja sammuvat savunpoistosekvenssin vaiheiden mukaisesti. Muut kaapit mallinnettiin vain esteettisistä syistä.

Painikkeet asetettiin seinälle, jottei käyttäjän ohjaimen tarvitsisi kiinnittää minkäänlaista valikkoa ja jotta valikkoa voisi käyttää ainoastaa yhden napin (Viven käsiohjaimen liipaisinnäppäimen) painalluksella. Valikkoa käytetään osoittamalla haluttua painiketta laserosoittimen avulla.

Savunpoistosekvenssi

Savunpoistosekvenssi, eli savunpoiston vaiheittainen esitys, visualisoi savunpoiston mekanismit yleisellä tasolla. Vaiheiden kestoa muutettiin, jotta ne olisi helpompi

visualisoida virtuaalisesti. Savunpoiston vaiheittainen esitys jaettiin kahteen osaan: manuaaliseen ja automaattiseen. Molemmissa vaihtoehtoissa vaiheet ovat täysin samanlaiset, mutta manuaalisessa esitystavassa käyttäjän on itse edettävä seuraavaan tai palattava itse edelliseen vaiheeseen nuolipainikkeita painamalla. Sekvenssin seuraamista varten jokaiselle vaiheelle kirjoitettiin pieni selostava teksti, joka kertoo, mitä missäkin vaiheessa tapahtuu. Tekstin lisäksi jokainen vaihe, kuten palo-oven sulkeutuminen, ilmaistiin punaisilla ympyröillä, jotka pienenevät tarkastettavaan kohteeseen sekä kohdetta vastaavaan LED-ilmaisimeen ohjaustaulussa.

4.2 Projektityön toteutus

Projektityö tehtiin tilauksesta Länsimetro Oy:lle, ja se sisältää salassapitosopimuksen alaista materiaalia, jota ei voi näyttää julkisesti. Tämän luvun sisältö on poistettu julkisesti saatavilla olevasta versiosta.

4.3 Projektityön lopputulos

Lopputuloksena kaikki insinööriyölle annetut toiveet ja tavoitteet saatiin toteutettua ja valmis virtuaaliodellisuussovellus toimitettiin asiakkaalle. Sovellukseen toteutettiin kaksi näkymää, joihin käyttäjä pääsee liikkumaan vapaasti, ja tarvittaessa käyttäjää voi myös siirtää 2D-käyttöliittymän kautta. Sovelluksen käyttö ei aiheuttanut pahoinvointia ja pyöri sulavasti 90 kuvaa sekunnissa tavoitelaitteistolla. Projekti koettiin hyvin onnistuneeksi; suurimmat ongelmat johtuivat aikataulusta, sillä useita asioita, kuten tekstien luettavuutta ja radan asettelua täytyi testata projektin aikana. Ratamalli ja ohjauspaneeli täytyi asetella siten, että käyttäjälle jää tilaa liikkua ja tarkastella asioita eri kulmista, ja ettei se peittäisi ohjauspaneelin tekstejä tai näkyvyyttä. Osa asioista, kuten manuaalinen savunpoistosekvenssi, olisi voitu toteuttaa yksinkertaisemmin; nykyinen koodi on hyvin pitkä ja sitä olisi voinut yksinkertaistaa huomattavasti siirtämällä vaiheet funktioon, johon syötetään jokainen vaihe parametreinä, mutta aikataulusta johtuen tätä muutosta ei ehditty tekemään. Useita käyttöliittymään ja toimintoihin liittyviä koodeja jäi käyttämättä lopullisessa versiossa, mutta joitain näistä koodeista voidanneen käyttää tulevissa projekteissa. Sovellukseen haluttiin lisätä näyttävyyttä post processingin avulla, mutta graafikon käyttämä post-processing-järjestelmän tuki käytetyssä Unity-versiossa oli heikko ja aiheutti ongelmia muiden visuaalisten elementtien, kuten savun, kanssa. Lopputulokseen oltiin tyytyväisiä, ja se vastasi ennakko-odotuksia.

5 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoitus oli toimia pilottivaiheen projektina, jossa tutkittiin, miten virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää työntekijöiden koulutustoiminnassa. Projekti toteutettiin VR-ympäristössä, jotta koulutettava pääsisi tutustumaan valvomotilaan ja sen automaattisiin toimintoihin jo ennen varsinaista työtehtävän alkamista. Projektityössä tutkittiin virtuaalitodellisuusteknologian mahdollisuuksia ja soveltuvuutta länsimetron savunpoistojärjestelmän käyttöönoton koulutukseen liittyen sekä osapuolten halukkuutta käyttää teknologiaa, sillä sitä ei ollut aiemmin hyödynnetty vastaavissa hankkeissa.

Ratkaistavia asioita sovelluksen tekemisessä olivat intuitiivisen ja helppokäyttöisen käyttöliittymän luonti, virtuaalitodellisuuden ongelmien, kuten tekstin luettavuuden ja käyttäjän pahoinvoinnin, välttäminen. Kokemuksesta haluttiin tehdä mahdollisimman immerstiivinen ja oikeaa maailmaa vastaava. Asioihin löytyi ratkaisu asettelemalla ratamalli oikein ja suurentamalla tekstejä sisältäviä komponentteja savunpoistosekvenssin aikana. Käyttöliittymä saatiin helppokäyttöiseksi sijoittamalla se seinälle, jolloin käyttäjä tarvitsee ainoastaan yhden käsiohjaimen ja sen liipaisinpainikkeen ohjelman käyttämiseen.

Virtuaalitodellisuussovellusta ei ole toistaiseksi hyödynnetty opetuskäyttöön, joten sen soveltuvuudesta opetuskäyttöön ei ole vielä saatu tietoa. Sovelluksesta on ollut hyötyä projektissa käytettävän tekniikan esittelyyn henkilöille, jotka eivät ole vielä perehtyneet aiheeseen ja teknologiaan. Sovellusta voidaan hyödyntää tulevien hankkeiden esittelemistä varten. Lisäksi tarkoituksena oli varmistaa, että käytetty teknologia toimii tulevaisuuden jatkohankkeita ajatellen, ja käyttää pilottiprojektia kustannusarviointiin tulevissa projekteissa.

Lähteet

1. Illummont, Brooke. 2017. Unity Technologies gets a \$400 million investment. <<https://www.insidescandinavianbusiness.com/article.php?id=15>>. 9.10.2017. Luettu 14.4.2020.
2. Editor Version Release Dates. 2014. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<http://web.archive.org/web/20141015144227/http://docs.unity3d.com/Manual/ReleaseDates.html>>. Luettu 14.4.2020.
3. Our company. 2020. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<https://unity.com/our-company>>. Luettu 14.4.2020.
4. Fine, Richard. 2017. UnityScript's long ride off into the sunset. Verkkoaineisto. <<https://blogs.unity3d.com/2017/08/11/unityscripts-long-ride-off-into-the-sunset/>>. 11.8.2017. Luettu 14.4.2020.
5. Managed plug-ins. 2020. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<https://docs.unity3d.com/Manual/UsingDLL.html>>. 07.4.2020. Luettu 14.4.2020.
6. He, Siyue; Su, Linjian, Su; Fan, Haobo; Ren, Ren. 2019. Methane explosion accidents of tunnels in SW China. Verkkoaineisto. <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2018.1541826>>. 22.1.2019. Luettu 14.4.2020.
7. Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuuttakoskevat määräykset ja ohjeet. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2016-33_tietunnelien_hallinnointi_web.pdf>. Luettu 03.11.2019.
8. Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-19_rato18_rautatietunnelit_web.pdf>. Luettu 14.4.2020.
9. Turvallisuusohjeita. Verkkoaineisto. Helsingin seudun liikenne. <<https://www.hsl.fi/asiakaspalvelu/nain-kaytat-joukkoliikennetta/turvallisuusohjeita>>. Luettu 14.4.2020.
10. Sunila, Carlos. 2017. 300 ihmistä evakuoitiin metrosta – lämpötila vaunujen sisällä nousi pelastusoperaation aikana. Verkkoaineisto. <<https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/300-ihmista-evakuoitiin-metrosta-lampotila-vaunujen-sisalla-nousi-pelastusoperaation-aikana/6490998#gs.3e9irf>>. 02.07.2017. Luettu 14.4.2020.
11. Glaser, Florian; Osztoivits, Martina. 2016. MSI goes VR: Notebook fun with the HTC Vive. Verkkoaineisto. <<https://www.notebookcheck.net/MSI-goes-VR-Notebook-fun-with-the-HTC-Vive.181068.0.html>>. 11.8.2016. Luettu 14.4.2020.

12. Mallinson, Dominic. 2018. Systems and methods for using multiple MEMS projectors to determine a position of a photosensor of an HMD or another controller. U.S. Patent No. 10,007,108. Verkkoaineisto. <<https://patents.google.com/patent/US20170039959A1/en>>. 26.6.2018. Luettu 10.3.2020.
13. Häkkinen, Jukka; Vuori, Tero; Pubakka, Monika. 2002. Postural Stability and Sickness symptoms after HMD Use. Verkkoaineisto. <https://www.researchgate.net/publication/3996563_Postural_stability_and_sickness_symptoms_after_HMD_use>. Luettu 21.3.2020.
14. Sigsworth, Dylan. 2017. Falling in Superhot VR caused me to actually fall. Verkkoaineisto. <https://www.youtube.com/watch?v=trE8W9Z_cV0>. 22.7.2017. Luettu 14.4.2020.
15. Mixed Reality Sim Racing. 2016. Mixed Reality - Assetto Corsa GT3 Qualify - Oculus Rift DK2. Verkkoaineisto. <<https://www.youtube.com/watch?v=LIFKjWGxZqk>>. 11.4.2016. Luettu 14.4.2020.
16. Weech, Séamas; Kenny, Sophie; Barnett-Cowan, Michael. 2019. Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review. Verkkoaineisto. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6369189/>>. Luettu 21.3.2020.
17. Krueger, Myron. 1991. Artificial Reality 2. Addison-Wesley Professional.
18. What is mixed reality? 2018. <<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mixed-reality>>. 21.3.2020. Luettu 21.3.2020.
19. Warren, Tom. 2017. Samsung's new Windows Mixed Reality headset looks like the best yet. <<https://www.theverge.com/2017/10/3/16408478/samsung-odyssey-windows-mixed-reality-headset-pricing-release-date>>. 3.1.2017. Luettu 14.4.2020.
20. HMD Odyssey. Verkkoaineisto. Samsung Electronics H.K. Co. <https://www.samsung.com/hk_en/hmd/hmd-xe800zaa-hc1/>, Luettu 14.4.2020.
21. HTC Vive. Verkkoaineisto. HTC Corporation. <<https://www.vive.com/eu/product/#vive-spec>>. Luettu 6.11.2019.
22. Lang, Ben. 2018. Samsung Launches Odyssey+ Windows VR Headset with 'Anti-SDE' Display. Verkkoaineisto. <<https://www.roadtovr.com/samsung-odyssey-plus-price-anti-sde-display/>>. 22.10.2018. Luettu 14.4.2020.

23. Ensimmäiset savunpoistopuhaltimet asennettu Kivenlahteen. 2020. Verkkoaineisto. Länsimetro Oy. <<https://www.lansimetro.fi/uutiset/ensimmaiset-savunpoistopuhaltimet-asennettu-kivenlahteen/#5183d624>>. 27.9.2019. Luettu 15.4.2020.
24. Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels — Civil Elements. 2009. Verkkoaineisto. U.S. Department of Transportation Publication No. FHWA-NHI-10-034 Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/tunnel/pubs/nhi09010/tunnel_manual.pdf>. Luettu 14.4.2020.
25. Esteettömyyteen on kiinnitetty uusilla metroasemilla paljon huomiota. 2017. Helsingin seudun liikenne. <<https://www.hsl.fi/uutiset/2017/esteettomyyteen-kiinnitetty-uusilla-metroasemilla-paljon-huomiota-11435>>. Päivitetty 29.11.2017. Luettu 15.4.2020.
26. Metro kuuluu kaikille. Verkkoaineisto. Länsimetro Oy. <<https://www.lansimetro.fi/tietoa-hankkeesta/turvallisuus/esteettomyys/>>. Luettu 16.4.2020.
27. Maailman turvallisin metro. Verkkoaineisto. Länsimetro Oy. <<https://www.lansimetro.fi/tietoa-hankkeesta/turvallisuus/#87d26bc1>>. Luettu 16.4.2020.
28. Asema-alueiden järjestelyt. 2008. Verkkoaineisto. Länsimetro-lehti. <https://www.lansimetro.fi/wp/wp-content/uploads/2017/04/LM-Insimetrolehti_fi_20080326.pdf>. Huhtikuu 2008. Luettu 16.4.2020.
29. Using Vector3.Lerp() correctly in Unity. 2014. Verkkoaineisto. BlueRaja. <<https://www.blueraja.com/blog/404/how-to-use-unity-3ds-linear-interpolation-vector3-lerp-correctly/>>. 8.2.2014. Luettu 11.11.2019.

Koodi, jonka periaatteiden pohjalta luotiin ProperLerp-koodi

```

1 using UnityEngine;
2 using System.Collections;
3
4 public class LerpOnSpacebarScript : MonoBehaviour
5 {
6     /// <summary>
7     /// The time taken to move from the start to finish positions
8     /// </summary>
9     public float timeTakenDuringLerp = 1f;
10
11     /// <summary>
12     /// How far the object should move when 'space' is pressed
13     /// </summary>
14     public float distanceToMove = 10;
15
16     //Whether we are currently interpolating or not
17     private bool _isLerping;
18
19     //The start and finish positions for the interpolation
20     private Vector3 _startPosition;
21     private Vector3 _endPosition;
22
23     //The Time.time value when we started the interpolation
24     private float _timeStartedLerping;
25
26     /// <summary>
27     /// Called to begin the linear interpolation
28     /// </summary>
29     void StartLerping()
30     {
31         _isLerping = true;
32         _timeStartedLerping = Time.time;
33
34         //We set the start position to the current position, and the finish to 10 spaces in the 'forward' direction
35         _startPosition = transform.position;
36         _endPosition = transform.position + Vector3.Forward*distanceToMove;
37     }
38
39     void Update()
40     {
41         //When the user hits the spacebar, we start lerping
42         if(Input.GetKey(KeyCode.Space))
43         {
44             StartLerping();
45         }
46     }
47
48     //We do the actual interpolation in FixedUpdate(), since we're dealing with a rigidbody
49     void FixedUpdate()
50     {
51         if(_isLerping)
52         {
53             //We want percentage = 0.0 when Time.time = _timeStartedLerping
54             //and percentage = 1.0 when Time.time = _timeStartedLerping + timeTakenDuringLerp
55             //In other words, we want to know what percentage of "timeTakenDuringLerp" the value
56             //"Time.time - _timeStartedLerping" is.
57             float timeSinceStarted = Time.time - _timeStartedLerping;
58             float percentageComplete = timeSinceStarted / timeTakenDuringLerp;
59
60             //Perform the actual lerping. Notice that the first two parameters will always be the same
61             //throughout a single lerp-processs (ie. they won't change until we hit the space-bar again
62             //to start another lerp)
63             transform.position = Vector3.Lerp(_startPosition, _endPosition, percentageComplete);
64
65             //When we've completed the lerp, we set _isLerping to false
66             if(percentageComplete >= 1.0f)
67             {
68                 _isLerping = false;
69             }
70         }
71     }
72 }

```

(<https://www.blueraja.com/blog/404/how-to-use-unity-3ds-linear-interpolation-vector3-lerp-correctly>, luettu 11/11/2019)