



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VIRTUALSITE-OHJELMISTON HYÖDYT LAITOSSUUNNITTELUPROJEKTISSA

Siiverti Malkamäki

Opinnäytetyö
Marraskuu 2018
Konetekniikka
Älykkäät koneet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Älykkäät koneet

MALKAMÄKI, SIIVERTTI:

VirtualSite-ohjelmiston hyödyt laitossuunnitteluprojektissa

Opinnäytetyö 41 sivua

Marraskuu 2018

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan hyötyjä, joita Swecon kehittämällä VirtualSite-ohjelmistolla on mahdollista saavuttaa laitossuunnitteluprojektin eri vaiheissa sekä laitoksen käytön aikana. Työn tarkoituksena on lisätä tietoisuutta virtuaalitodellisuuden hyödyntämisellä saatavasta lisäarvosta projekteille ja lisätä VirtualSite-ohjelmiston käyttöä asiakasprojekteissa. Virtuaalitodellisuus on teollisuuden suunnittelutyössä toistaiseksi hyvin vähän käytetty teknologia, jonka kehityksen kärjessä Sweco VirtualSite on, ja siksi sen luomia mahdollisuuksia yrityksen liiketoiminnalle halutaan hyödyntää nykyistä kattavammin. Toimeksiantajana toimii Sweco Industry Oy:n Tampereen toimisto.

Tärkeimpiä hyötyjä virtuaalitodellisuuden käytöstä projektissa on, että suunnitelluista ratkaisuista saadaan kerralla asennuskelpoisia, käytännöllisiä ja oikein mitoitettuja, kun virtuaalimallia voidaan käyttää ikään kuin laitoksen virtuaalisena prototyypinä. Eri asiantuntijat, käyttäjät ja muiden projektille olennaisten sidosryhmien edustajat voivat tarkastella, kommentoida ja esittää omia ratkaisuehdotuksiaan virtuaalimallin sisällä toisilleen helposti mistä päin maailmaa tahansa. Suunnitteluvaiheen lisäksi erilaisia hyötyjä on saavutettavissa kaikissa vaiheissa koko laitoksen elinkaaren ajan. Virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää esimerkiksi työntekijöiden perehdytykseen ja koulutukseen, muun muassa poikkeustilanteita ja kunnossapitoa varten tuotantoa häiritsemättä.

Suuri haaste virtuaalitodellisuuden hyödyntämisessä täysipainoisesti koko laitoksen elinkaaren ajan on virtuaalimallin vastaavuus todellisuuteen. Malli on mahdollista saada vastaamaan hyvin tarkasti todellista laitosta, mutta jotta se pysyy sellaisena, sitä on päivitettävä kaikkien muutostöiden yhteydessä. Virtuaalitodellisuusteknologiat myös kehittyvät jatkuvasti eivätkä eri yritysten käyttämät ohjelmat ole keskenään yhteensopivia, mikä hankaloittaa virtuaalisen laitospinnan ylläpitoa. Samasta syystä uusin teknologia on vierasta niin asiakasyrityksille kuin suurelle osalle yrityksen omastakin henkilöstöstä, joka ei ole aktiivisesti virtuaalitodellisuuden kanssa tekemisissä.

VirtualSite, kuten muutkin virtuaalitodellisuusohjelmistot ja -laitteistot, kehittyvät nopeasti vielä pitkään. Varsinkin tekoälyn käytön lisääntyminen suunnittelutyössä luo monia mielenkiintoisia mahdollisuuksia virtuaalitodellisuuden käyttöön laitossuunnittelussa. VirtualSite varmasti vakiinnuttaa paikkansa Swecon laitosprojektien läpiviennissä. Jää kuitenkin nähtäväksi, kuinka laajamittaiseksi sen käyttö kehittyy ja mitä vielä toistaiseksi täysin tuntemattomia käyttötarkoituksia ja liiketoimintaa virtuaalitodellisuuden ympärille tullaan tulevaisuudessa kehittämään.

Asiasanat: virtuaalitodellisuus, laitossuunnittelu, yhteiskehittäminen, käyttäjälähtöinen suunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical engineering
Intelligent machines

MALKAMÄKI, SIIVERTTI:
Benefits of Sweco VirtualSite in a Plant Design Project

Bachelor's thesis 41 pages
November 2018

This thesis addresses the benefits achievable by using Sweco VirtualSite in different stages through a plant design project. The objective is to spread knowledge of the software and ways to create additional value for projects with it, thus increasing its usage in customer projects. Sweco VirtualSite is leading the advancement in so far, a rather small field of virtual reality in plant design industry, and therefore the possibilities enabled by it should be more comprehensively utilized.

One of the clearest benefits of using virtual reality in a project as a virtual project is that by creating virtual prototypes, it can be confirmed that the designed entities are installable, practical and correctly dimensioned. It also enables extensive, global involvement of several stakeholder groups such as users, professionals of different fields and public authorities in very early stages of the design process for maximum benefits. A wide variety of benefits can be achieved in all stages of the plant's life cycle from preplanning to production and shutdown. Virtual reality can also be used for various training and familiarization purposes very effectively.

The main challenge in using VirtualSite to its full potential through a plant's full life cycle is the model's accurate correlation to reality. The model can be made to reflect the real plant very precisely, but the virtual model easily falls behind when changes are made during the building phase, or further in the life of the facility if the model is not or cannot be updated properly. The advancement of virtual reality technologies is very fast, and they are not universally compatible, which makes keeping the model up-to-date even more challenging. For the same reason the newest technologies are often unfamiliar to clients and even those members of Sweco personnel who do not actively use them in their everyday work.

VirtualSite will continue to develop for a long time in parallel with virtual reality hardware and competing software solutions. Especially the advances in artificial intelligence will bring many fascinating possibilities to using virtual reality in the plant design processes. VirtualSite will certainly secure its footing in the plant design toolkit of Sweco. What remains to be seen, is how far it will yet be developed, and what yet unheard-of uses and business models will be formed around it and virtual reality in general.

Key words: virtual reality, plant design, co-creation, user-centered design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ESITTELY	6
2.1	Sweco.....	6
2.2	Virtuaalitodellisuus	7
2.3	Tietomallinnus	8
2.4	Sweco VirtualSite	9
2.4.1	Yleisesti.....	9
2.4.2	Työkalut	11
2.5	Laitossuunnitteluprojektin kulku	19
3	MARKKINOINTI	21
4	HYÖDYT SUUNNITTELUVAIHEESSA	22
4.1	Virtuaalinen prototyyppi.....	22
4.2	Yhteiskehittely	24
4.2.1	Käyttäjälähtöinen suunnittelu	24
4.2.2	Organisaatioiden välinen yhteistyö	25
4.3	Työturvallisuus	26
5	HYÖDYT TOTEUTUSVAIHEESSA	28
5.1	Asennusohje.....	28
5.2	Rakennusjärjestys	28
5.3	Muutosten hallinta	29
5.4	Työmaan turvallisuus.....	30
6	HYÖDYT KÄYTÖN AIKANA	31
6.1	Koulutus.....	31
6.2	Kunnossapito	32
6.3	Laitoksen kehitys	33
7	HAASTEET	34
7.1	Virtuaalimallin vastaavuus todellisuuteen	34
7.2	Teknologia	35
7.3	Käyttäjät.....	36
8	TULEVAISUUS	37
9	POHDINTA.....	39
	LÄHTEET.....	40

1 JOHDANTO

Tähän työhön on koottu tiivis tietopaketti siitä, mitä hyötyjä niin suunnittelijat, asiakkaat, kuin loppukäyttäjätkin voivat saada laitossuunnitteluprojektiin, kun käytetään perinteisten suunnittelutyökalujen lisäksi Sweco VirtualSite-virtuaalitodellisuusympäristöä. Saa-
vutettavia hyötyjä tarkasteltiin monien sidosryhmien näkökulmista pääasiassa suunniteluvaiheen aikana, mutta muissakin projektin vaiheissa aina laitoksen käyttöön ja alasajoon asti. Mahdollisuudet on pyritty esittämään mahdollisimman havainnollistavin esimerkein. Osa mainituista hyödyistä pätee muihinkin virtuaalitodellisuuspalveluihin, mutta kaikkia VirtualSiten työkaluja ei muista tarjolla olevista ratkaisuksista löydy.

Jotkut virtuaalitodellisuuden hyödyiksi tässä työssä lasketut asiat on mahdollista toteuttaa tavallisilla suunnitteluohjelmillakin, mutta virtuaalitodellisuus on usein paljon havainnollisempi ja helpompi käyttää kuin monimutkaiset suunnitteluohjelmistot, varsinkin henkilöille joiden päätoiminen tehtävä on muu kuin 3D-suunnittelu. Työn toimeksiantajana toimi Sweco Industry Oy:n Tampereen toimisto, mutta työ on tarkoitettu koko yrityksen henkilöstön hyödynnettäväksi. Sweco panostaa merkittävästi virtuaalitodellisuusteknologioiden kehitykseen, mutta tällaista aineistoa ei vielä ollut. Tavoitteena onkin lisätä VirtualSiten käyttöä yrityksen sisällä, ja samalla laajentaa sen käyttöä asiakasprojekteissa.

Kaikki työssä käytetyt VirtualSite kuvakaappaukset on otettu Honkajoki Oy:n konseptilaitoksen virtuaalimallista. Honkajoki Oy on yksi Swecon pitkäaikaisimmista virtuaalitodellisuusasiakkaista. Yritys käyttää VirtualSite-mallia eläinperäisen jättemateriaalin käsittelyyn tarkoitettun konseptilaitoksensa esittelyssä. Sweco käyttää samaa mallia digitaalisten työkalujensa esittelyissä. (Honkajoki Oy n.d.)

2 ESITTELY

2.1 Sweco

Sweco (kuva 1) on Euroopan suurin rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntijayritys, joka työllistää noin 15000 asiantuntijaa. Yrityksellä on vakiintunut asema 15 maassa ja vuosittain toteutetaan kymmeniä tuhansia projekteja 70 eri maassa. Yrityksen liikevaihto on noin 1.8 miljardia euroa ja sen osakkeet noteerataan Tukholman pörssissä. Yhtiö sai alkunsa vuonna 1889, kun Hugo Theorell perusti insinööritoimiston Tukholmaan. Varsinainen Sweco perustettiin 1997 kun FFNS osti VBB Groupin (Our history 2017). (Tietoa Swecosta n.d.)



KUVA 1. Swecon logo (Sweco 2016)

Suomessa Sweco Finlandin alaisuudessa toimii kahdeksan yhtiötä, joista kukin on erikoistunut tiettyyn toimialaan.

- Sweco Rakennetekniikka Oy,
- Sweco Industry Oy,
- Sweco Talotekniikka Oy,
- Sweco PM Oy (projektinjohto- ja rakennuttamispalvelut),
- Sweco Asiantuntijapalvelut Oy,
- Sweco Ympäristö Oy,
- Sweco Architects Oy ja
- Sweco International Oy.

Yhteensä näissä työskentelee noin 2000 asiantuntijaa 32 toimipisteessä 25 paikkakunnalla. Yrityksen tarjonta koostuu esisuunnittelu-, suunnittelu-, konsultointi- ja projektipalveluista sekä tuotannon tukipalveluista. Sweco on myös Suomen johtava tietomallituksen asiantuntija. (Yleistietoa Sweco Finlandista 2017.)

Sweco Industry Oy, tarjoaa osaamista asiakkaiden teollisuusprojektien kaikkiin vaiheisiin esisuunnittelusta, suunnitteluun ja tuotannon tukipalveluista projektipalveluihin. Palveluja tarjotaan kattavasti eri asiakkaiden tarpeisiin, mm. energiantuotantoon, massa-, paperi-, kemian-, lääke- ja elintarviketeollisuuteen. Sweco Industry Oy:n tarina alkoi vuonna 1971, kun Projekti-insinöörit Oy perustettiin. Vuonna 2003 Projekti-insinöörit Oy liitettiin osaksi Sweco. Sweco Industryn palveluksessa työskentelee n. 500 henkilöä 13 paikkakunnalla. (Yleistietoa Sweco Finlandista 2017.)

2.2 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus (eng. virtual reality, VR) tarkoittaa tietokoneella luotua keinotekoisia kolmiulotteista ympäristöä, jossa henkilö voi liikkua ja vaikuttaa kohteisiin. Yleisen määritelmän mukaan käyttäjä on eristetty reaali maailmasta ainakin näkökentän ja usein kuulonkin osalta. Kaikki virtuaalitodellisuuden kohteet ovat luonnollisessa mittakaavassa ja käyttäjän näkökenttä jäljittelee oikeaa mm. syvyysnäön ja kuvakulman osalta. Myös käyttäjän virtuaalinäkymän muutokset pyrkivät vastaamaan hänen todellisia liikkeitään mahdollisimman tarkasti. (What is virtual reality? 2017.)

Virtuaalinäkymän esittämiseen käytetään yleisesti joko virtuaalitodellisuuslaseja, kuten HTC Vive (kuva 2) tai Oculus Go (kuva 3) ja niihin kuuluvia oheislaitteita, tai CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) -laitteistoa (kuva 4). Siinä näkymä heijastetaan projektoreilla kolmesta kuuteen erityisen tilan pinnoista, joita tarkastellaan 3D-laseilla (Virtual Reality Society n.d.).



KUVA 2. HTC Vive -laitteisto (Vive Enterprise 2018)



KUVA 3. Oculus Go -laitteisto (Oculus 2018)



KUVA 4. Sweco Finlandin CAVE -laitteisto (Sweco 2016)

Tässä työssä puhuttaessa virtuaalitodellisuuslaitteistoista tarkoitetaan sillä nimenomaan laseja ja niihin kuuluvia oheislaitteita, kuten ohjaimia ja lasermajakoita. CAVE -laitteistot ovat hyvin harvinaisia ja hinnaltaan monikymmenkertaisia laseihin verrattuna ja siksi niiden käyttö on huomattavasti vähäisempää.

2.3 Tietomallinnus

Building Information Modelling, BIM, suomeksi rakennuksen tietomallinnus, tarkoittaa rakennuksesta digitaalisesti luotua todellisuutta vastaavaa mallia. Tämä malli sisältävää tarkkan geometrian lisäksi rakennuksen tiedot, joita rakennuksen, osavalmistuksen ja hankintojen aikana tarvitaan. Tietomalli sisältää valtavan määrän tietoa, ja sen käyttö vähentää huomattavasti tarvittavien perinteisten 2D-suunnitteludokumenttien määrää. Suunnitteluvaiheessa syntyy aina suuri määrä tietoa, mikä ei perinteisessä suunnittelussa kuitenkaan aina siirry seuraavaan vaiheeseen. Tietomallinnuksessa tärkeää onkin käytettävän ohjelmiston yhteensopivuus kaikkien käytettävien suunnitteluohjelmistojen kanssa. (Tekla n.d.)

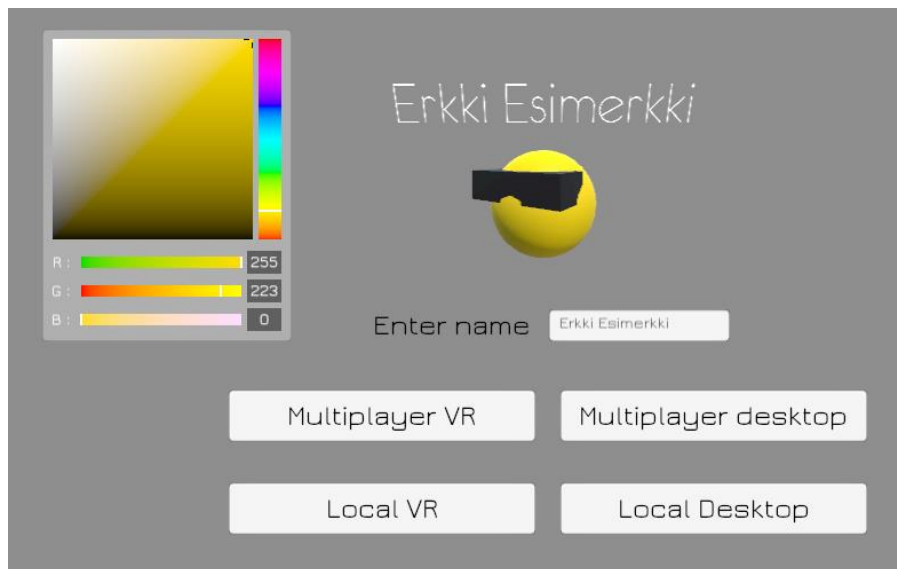
Tietomallinnus helpottaa eri suunnitteluorganisaatioiden yhteistyötä, kun kaikki tieto on koottuna samaan malliin. Näin voidaan välttyä mm. yhteentörmäyksiltä eri suunnittelijoiden suunnittelemien komponenttien välillä ja saadaan varattua riittävästi tilaa tarvittaville laitteille. Tietomallia käytettäessä kaikki tieto on aina kaikille saatavilla oikeaan aikaan, ja mikäli jotain tietoa muutetaan, päivittyy se automaattisesti kaikkialle. Tietomalleilla voidaan lisäksi testata ja simuloida monipuolisemmin ja tarkemmin erilaisia asioita, kuten rakenteiden kuormituksia tai rakennuksen energiankulutusta, kuin perinteisen suunnittelun keinoin, koska kaikki tarvittava tieto on samassa mallissa. (Symetri 2017.)

Pelkkä rakennuksen geometrisesti tarkka 3D-malli ei ole tietomalli, vaan tietomallille oleellista on juuri sen sisältämä lisätieto. Virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää ilman tietomallinnustakin, mutta sen käyttäminen mahdollistaa huomattavasti laajemman valikoimat käyttötarkoituksia virtuaalitodellisuustyökaluille. Mitä enemmän suunnitteludataa virtuaalimalliin saadaan sisällytettyä, sitä enemmän sillä voidaan korvata perinteisiä suunnitteludokumentteja. (Tekla n.d.)

2.4 Sweco VirtualSite

2.4.1 Yleisesti

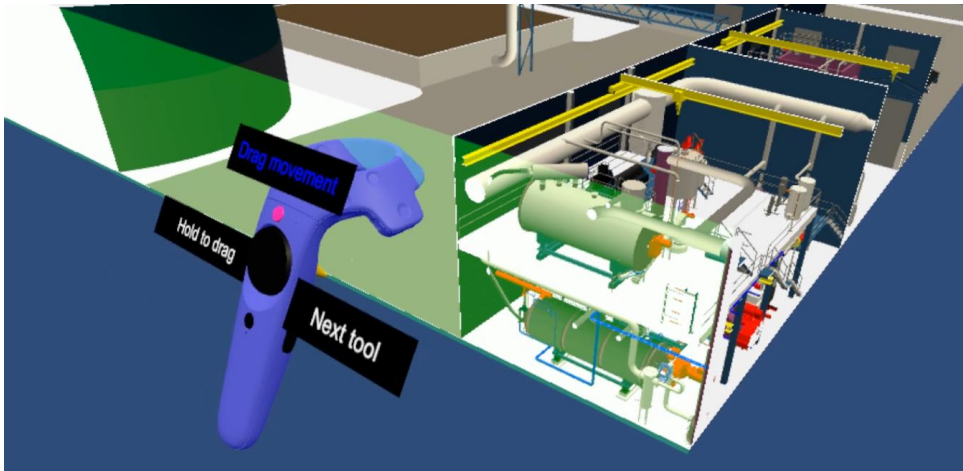
VirtualSite on Swecon, omiin ja asiakkaidensa tarpeisiin, kehittämä helppokäyttöinen virtuaalitodellisuusohjelmisto, joka toimii useilla yleisimmillä virtuaalitodellisuuslaitteistoilla. Lisäksi samaa ohjelmistoa voidaan rajatuin ominaisuuksin käyttää myös ilman virtuaalitodellisuuslaitteita, tavallisella tietokoneen näytöllä. Avatessa ohjelman tietokoneella käyttäjä voi valita valikosta (kuva 5) haluaako hän käyttää mallia yksin näytöltä vai virtuaalilaseilla tai osallistuuko ryhmäkäyttöön näytöltä/virtuaalilaseilla. VirtualSitetessa ollessaan käyttäjä näkee itsestään vain käsissään olevien ohjainten virtuaaliversiot. Muut käyttäjät näkyvät kädellisinä aurinkolasipäisinä palloina, joiden yläpuolella leijuu kunkin käyttäjän nimi. (Sweco Palvelukuvaus 2017.)



KUVA 5. VirtualSite aloitusvalikko (VirtualSite)

VirtualSite-ohjelmistossa mallia voidaan tarkastella, mitata siitä etäisyyksiä ja vaikuttaa siihen monin tavoin. VirtualSitea voi käyttää joko yksin tai ryhmässä, kukin käyttäjä omalla laitteistollaan paikasta riippumatta. Virtuaalimallissa käyttäjät voivat keskustella keskenään saman ohjelmiston välityksellä ja tallentaa malliin dokumentteja ja äänileikkeitä sekä havainnollistaa asioita piirtämällä malliin kolmiulotteisesti. Virtuaalimallissa siihen tehdyt muutokset tallentuvat automaattisesti ja esiin nousseita huomioita on lisäksi helppo tallentaa muistiin valokuvaustyökalulla. Näin kuvat tallentuvat erillisinä tiedostoina tietokoneelle, ja niitä voidaan helposti hyödyntää ja jakaa esimerkiksi sähköpostilla henkilöille joilla ei ole pääsyä virtuaalimalliin.

Kaikkien VirtualSiten työkalujen avulla ohjelmistolla voidaan pitää mm. mallikatselmuksia, joihin voi osallistua mistä päin maailmaa tahansa ja tehdä näin suunnittelutyötä globaalisti, yhteistyössä niin suunnittelijoiden kuin käyttäjienkin kanssa. Mallissa sen osia voidaan siirrellä ja lisätä siihen katalogista uusia osia suoraan virtuaalitodellisuudessa. Yksinkertaisten putkilinjojenkin lisäys malliin onnistuu nopeasti. Virtuaalimaailman voi poikkileikata koordinaattiakselien suunnissa mistä kohdasta tahansa ja tarkastella näin myös sisäisiä rakenteita (kuva 6).



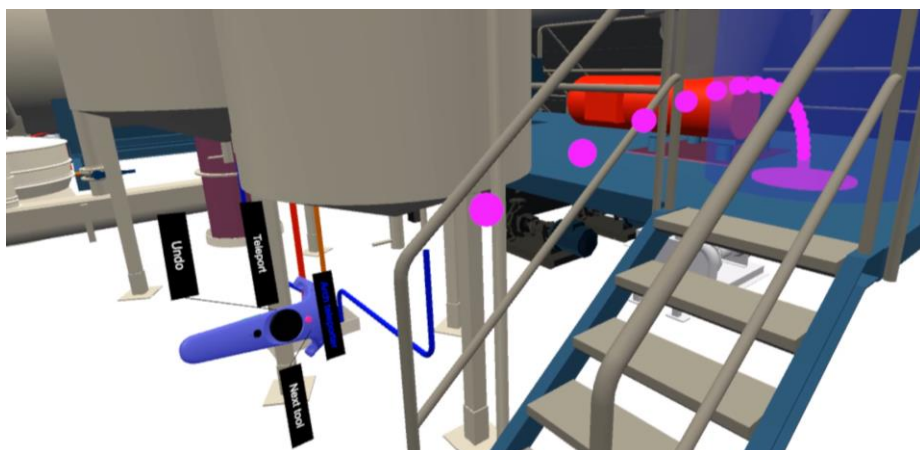
KUVA 6. Mallin poikkileikkaus (VirtualSite)

VirtualSite-malli voidaan luoda useasta eri tarkasteluohjelmasta kuten Autodesk Navisworks, Autodesk Revit tai Tekla structures. Koska muunnokseen tavallisesta 3D-mallista virtuaalimalliksi käytetään juuri tarkasteluohjelmistoja, eikä itse suunnitteluohjelmistoja, saadaan virtuaalimalli luotua minkä tahansa suunnitteluohjelman tuotoksesta tarkastelumallin kautta. Näin samaan virtuaalimalliin saadaan heti kerralla koottua eri suunnittelualojen mallit (esim. putkisto- ja rakennesuunnittelu) kaikista suunnitteluohjelmista.

2.4.2 Työkalut

VirtualSiten sinisestä ohjaimesta, jolla ohjataan käyttäjän paikkaa mallissa, löytyy seuraavat työkalut:

- **Teleport** (line, arch, group). Käyttäjä/käyttäjryhmä voi vaihtaa paikkaa viivan/kaaren osoittamaan pisteeseen (kuva 7).



KUVA 7. Arch teleporter-työkalu (VirtualSite)

- **Drag movement.** Käyttäjä voi liikuttaa itseään mihin tahansa suuntaan mallissa tarttumalla ja vetämällä/työntämällä.
- **Lobby.** Palauttaa käyttäjän valikkoon josta voi mm. vaihtaa mallia tai vaihtaa helposti paikkaa mallissa lintuperspektiivistä.

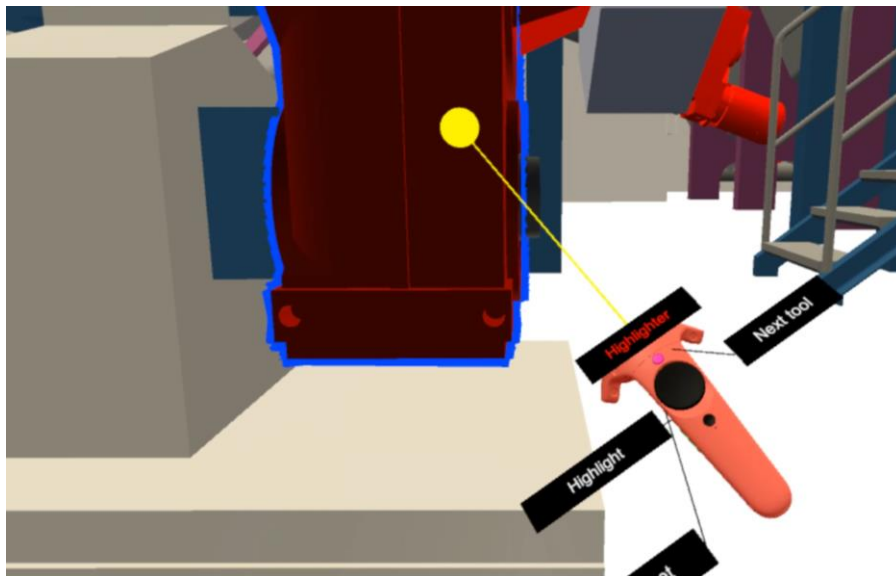
Punaisesta ohjaimesta, jolla ohjataan muita toimintoja, löytyy seuraavat työkalut:

- **Pointer.** Käyttäjä voi osoittaa mallista haluamiaan kohteita. (kuva 8).



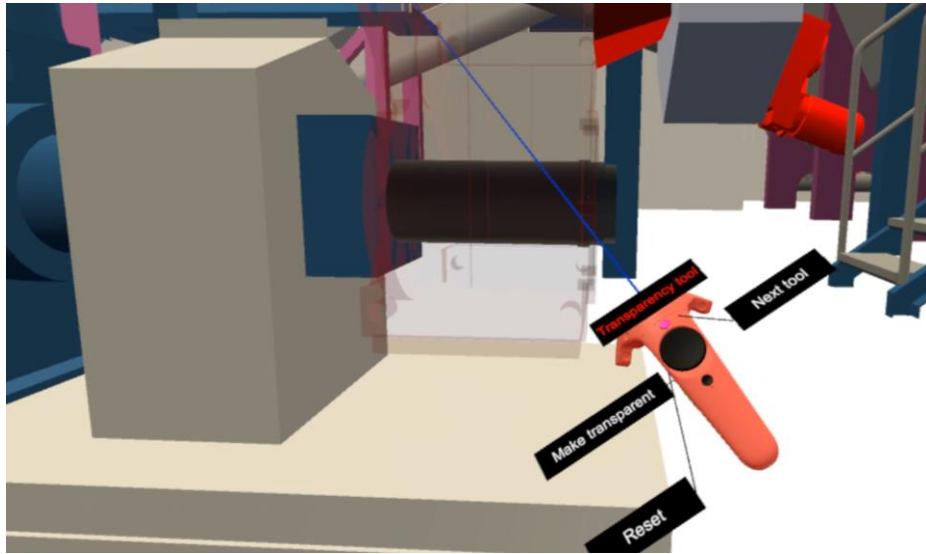
KUVA 8. Pointer-työkalu (VirtualSite)

- **Highlighter.** Käyttäjä voi korostaa mallista haluamansa osat (kuva 9).



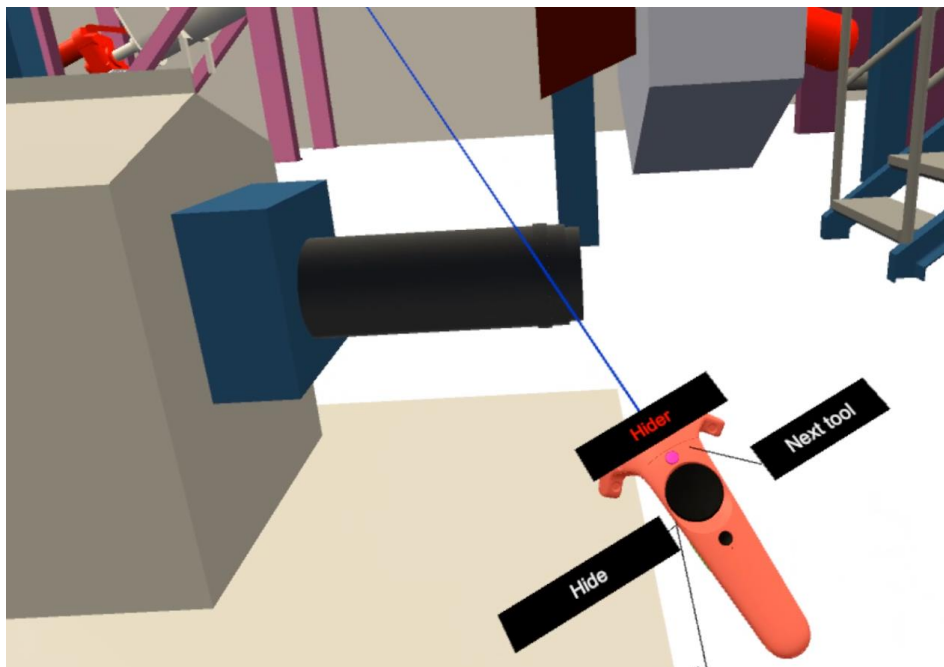
KUVA 9. Highlighter-työkalu (VirtualSite)

- **Transparency.** Käyttäjä voi muuttaa haluamansa osat läpinäkyviksi ja palauttaa ne takaisin läpinäkymättömiksi (kuva 10).



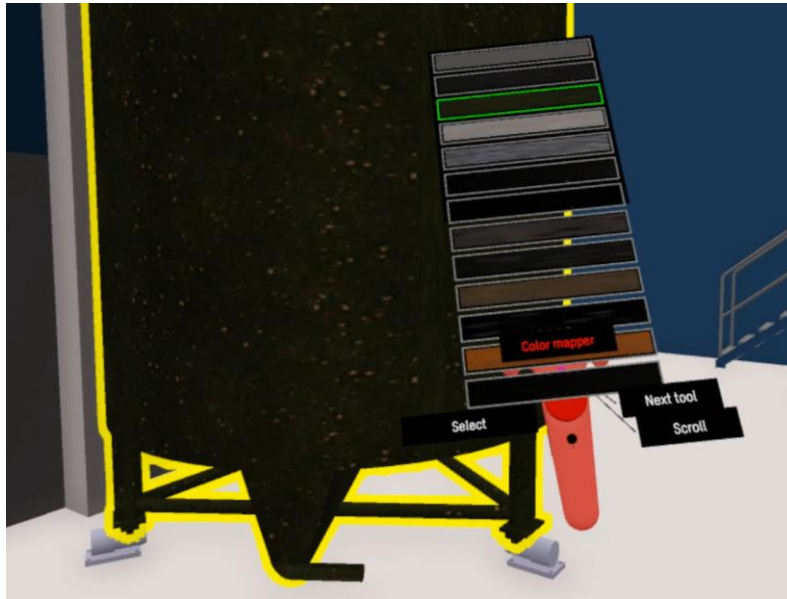
KUVA 10. Transparency tool-työkalu (VirtualSite)

- **Hider.** Käyttäjä voi piilottaa valitsemansa kappaleet mallista täysin ja palauttaa ne takaisin näkyviin (kuva 11).



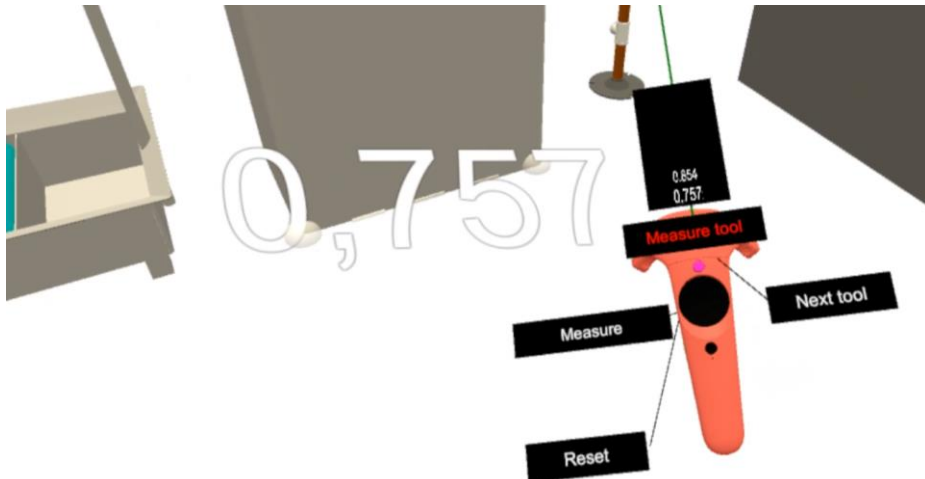
KUVA 11. Hider-työkalu (VirtualSite)

- **Color mapper.** Käyttäjä voi vaihtaa valitun väristen osien visualisointimateriaalin toiseen ennalta määritellyistä vaihtoehdoista (kuva 12).



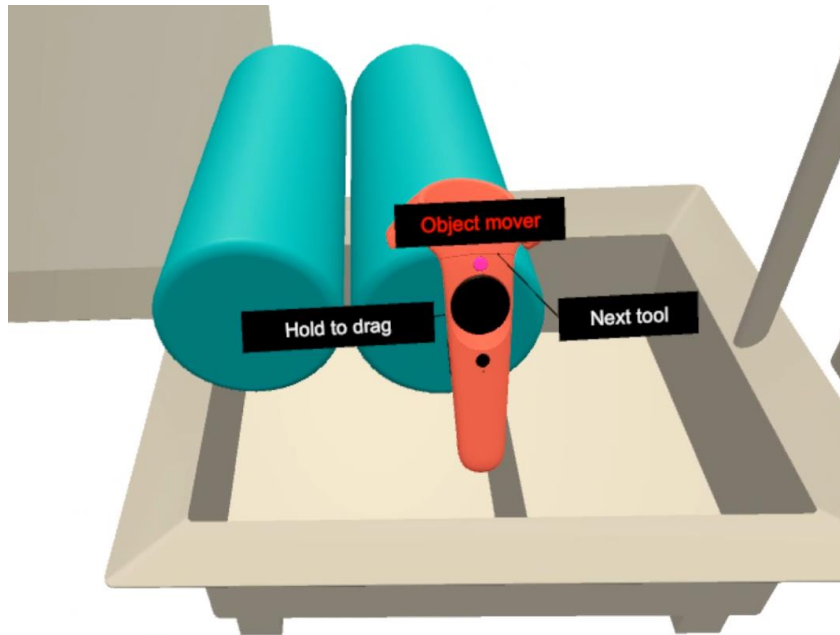
KUVA 12. Color mapper-työkalu (VirtualSite)

- **Measure.** Käyttäjä voi mitata kahden pisteen välisen etäisyyden ja nähdä sen mallissa ja lisäksi edellisten mittaustensa tulokset virtuaaliohjaimessaan (kuva 13).



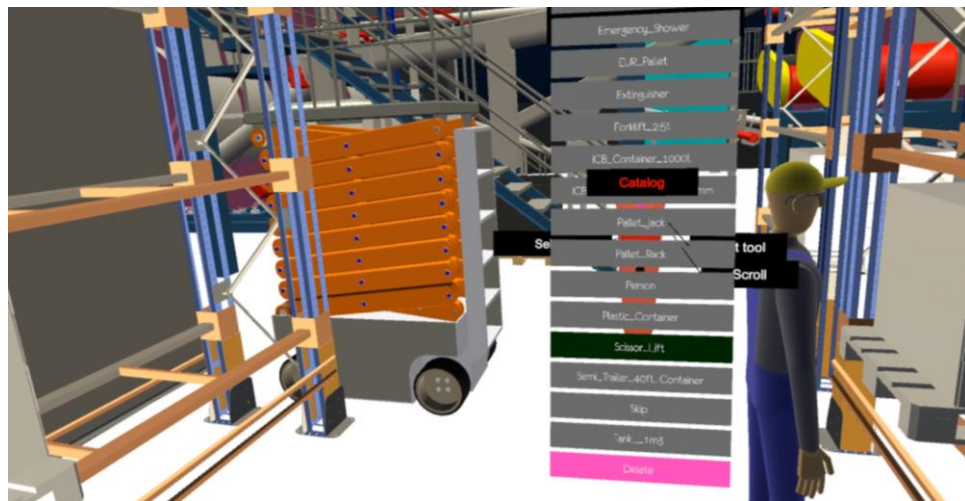
KUVA 13. Measure tool-työkalu (VirtualSite)

- **Object mover.** Käyttäjä voi tarttua mallin osiin ja siirtää niitä vapaasti paikasta ja asennosta toiseen (kuva 14).



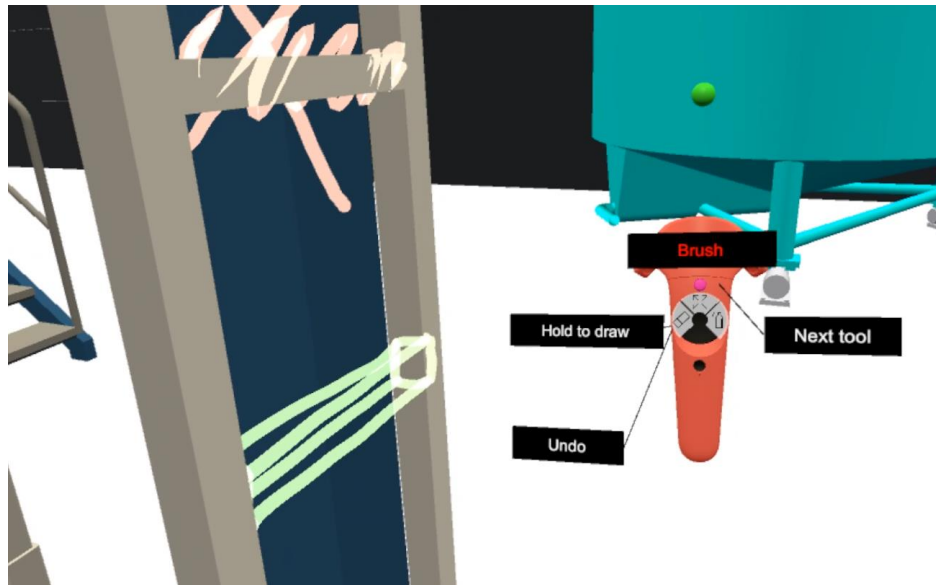
KUVA 14. Object mover-työkalu (VirtualSite)

- **Catalog.** Käyttäjä voi vapaasti lisätä malliin kirjastoon tallennettuja komponentteja (kuva 15).



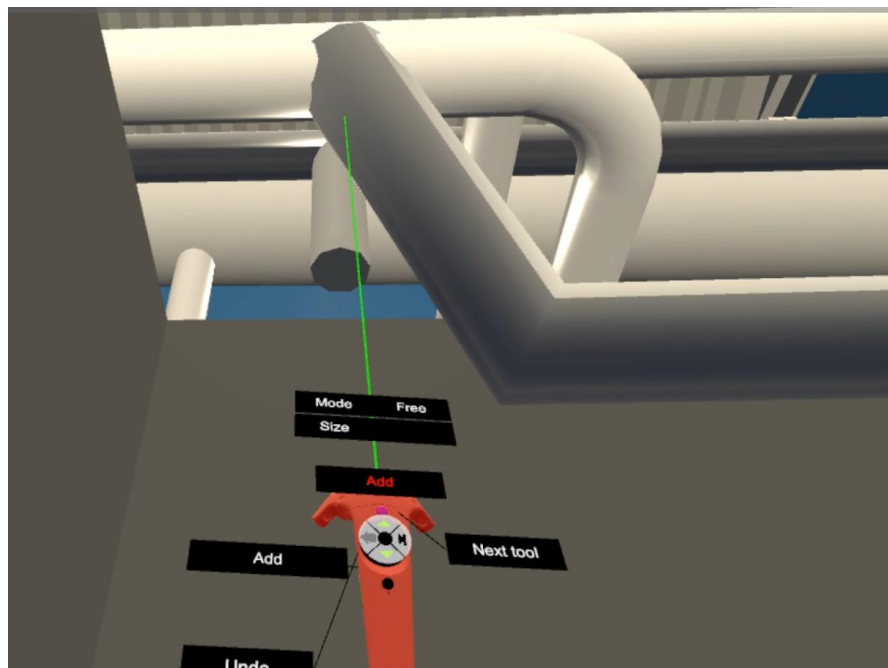
KUVA 15. Catalog-työkalu (VirtualSite)

- **Brush.** Käyttäjä voi piirtää malliin vapaasti kolmessa ulottuvuudessa eri väreillä (kuva 16).



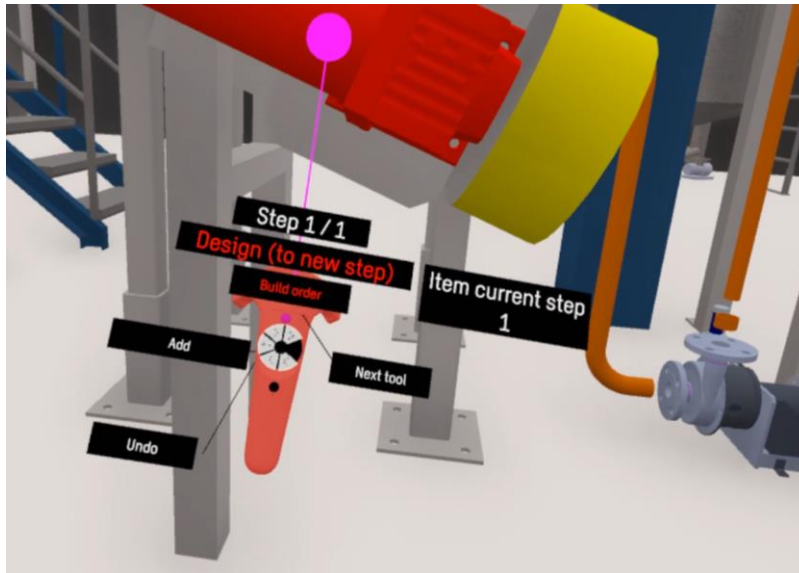
KUVA 16. Brush-työkalu (VirtualSite)

- **Line sketcher.** Käyttäjä voi hahmotella malliin yksinkertaisia putkilinjoja koordinaattiakseleiden suuntaisesti tai vapaasti pisteiden välille valitsemassaan koossa. (kuva 17).



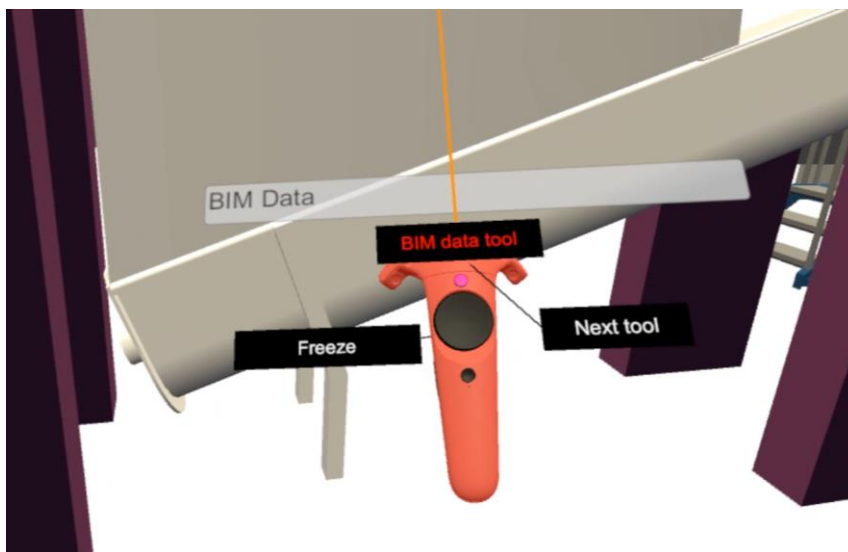
KUVA 17. Line sketcher-työkalu (VirtualSite)

- **Layer activator.** Käyttäjä voi aktivoida listasta haluamansa mallin kerrokset, jolloin muu sisältö poistuu näkyvistä.
- **Build order.** Käyttäjä voi määrittää tai tarkastella valmiiksi luotua rakennusjärjestystä askel askeleelta (kuva 18).



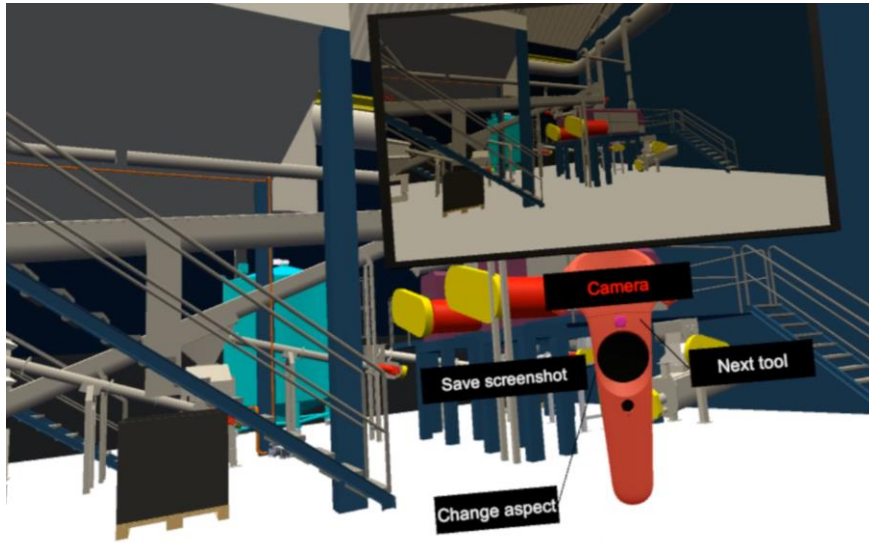
KUVA 18. Build order-työkalu (VirtualSite)

- **BIM-Data.** Käyttäjä voi tarkastella mallin osiin tallennettua tietomallidataa (kuva 19).



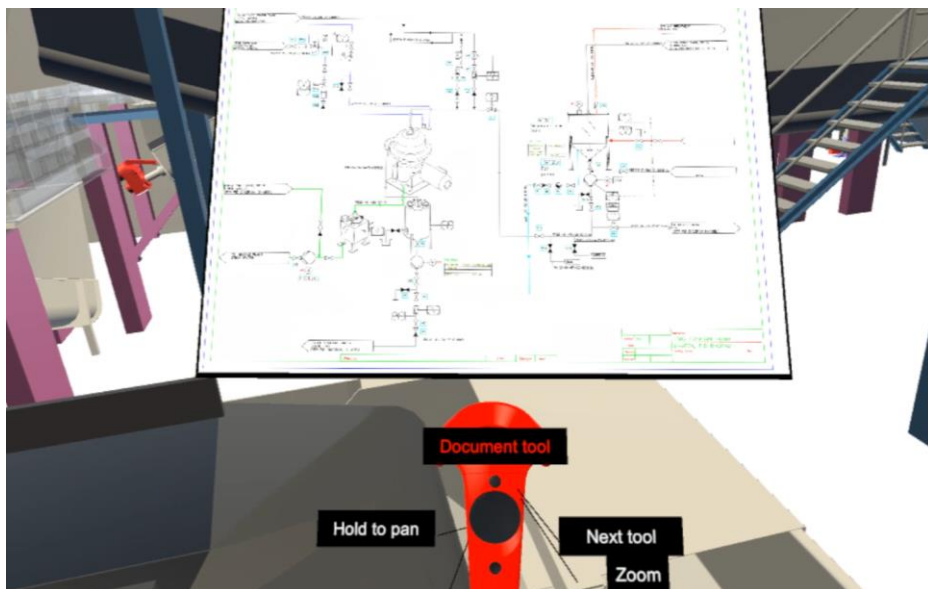
KUVA 19. BIM-Data-työkalu (VirtualSite)

- **Camera.** Käyttäjä voi ottaa tallentaa valokuvia virtuaalimaailmasta, jotka tallentuvat tietokoneen muistiin tarkasteltaviksi jälkikäteen (kuva 20).



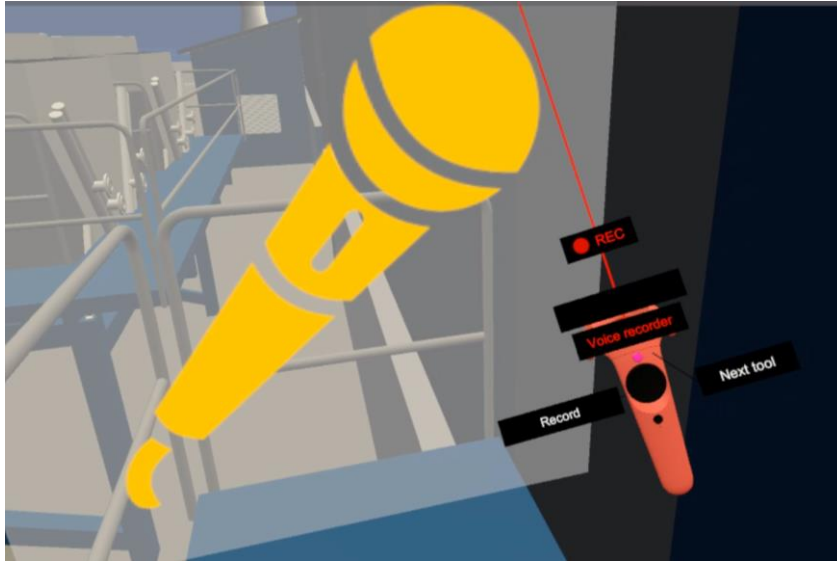
KUVA 20. Camera-työkalu (VirtualSite)

- **Doc tools.** (hanger, browser, activator) Käyttäjä voi tarkastella tallennettuja dokumentteja, kuten piirustuksia ja kuvia, ja jättää niitä näkyville malliin halutussa koossa ja asennossa ja aktivoida aiemmin tallennettuja dokumentteja (kuva 21).



KUVA 21. Document tool-työkalu (VirtualSite)

- **Voice recorder.** Käyttäjä voi tallentaa äänileikkeitä haluamaansa kohtaan mallissa kaikkien käyttäjien kuultavaksi (kuva 22).



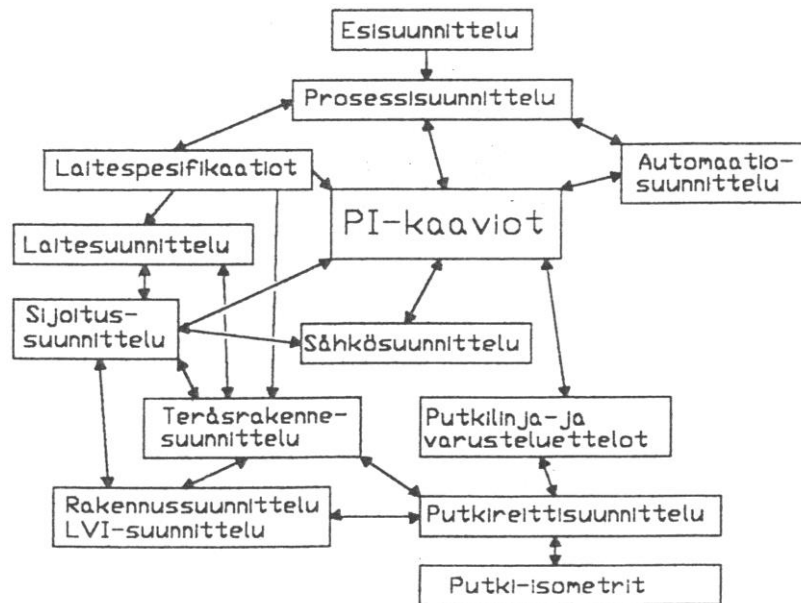
KUVA 22. Voice recorder-työkalu (VirtualSite)

2.5 Laitossuunnitteluprojektin kulku

Laitossuunnitteluprojektin kulku ja jakautuminen voi vaihdella hyvinkin paljon projektista toiseen, mm. laajuudesta ja asiakkaasta riippuen. Projektin tunnusmerkkeihin kuuluu se, että se on luonteeltaan ainutkertainen eikä toistu sellaisenaan (Kesti 1992, 14). Yleisesti laitossuunnittelu jakautuu moneen osa-alueeseen, joita yleensä työstää eri suunnitteluorganisaatiot. Osa-alueet ovat

- putkistosuunnittelu
- laitesuunnittelu
- teräsrakennesuunnittelu
- rakennussuunnittelu
- LVI-suunnittelu
- sähkösuunnittelu
- automaatio-suunnittelu
- prosessisuunnittelu
- layoutsuunnittelu (Kesti 1992).

Monesti varsinkin suuremmissa laitosprojekteissa kutakin osa-aluetta työstää eri yritys, ja samaakin aluetta voi työstää useampi yritys alihankkijoinen. Tämä tekee tiedon kulun hallinnan hyvin monimutkaiseksi (kuvio 1).



KUVIO 1. Pääinformaation kulku laitossuunnitteluprojektissa (Kesti 1992, 12)

Karkeasti koko laitoksen suunnittelu koostuu neljästä päävaiheesta: esisuunnittelu, toteutus-/detaljisuunnittelu, rakennus/asennus ja käyttö. Esisuunnittelun aikana kootaan tarvittavat tiedot investointipäätöksen tekoa varten. Samoin eri lupien ja hyväksyntöjen hakeminen tehdään yleensä tässä vaiheessa. Laitoksesta tehdään esisuunnittelun yhteydessä yleensä myös jonkinlaiset visualisointikuvat sekä ensimmäinen layout-, eli sijoittelusuunnitelma ainakin suurimpien ja tärkeimpien laitteiden osalta.

Investointipäätöksen jälkeen alkaa varsinainen toteutussuunnittelu, jonka puitteissa laaditaan kaikki tarvittavat dokumentit laitoksen ja sen osien valmistusta, hankintaa ja asennusta varten. Onnistuneen toteutussuunnittelun jälkeen alkaa projektin varsinainen toteutusvaihe. Tämän vaiheen aikana laitos rakennetaan ja siihen asennetaan kaikki laitteet putkistoineen ym. Oleellinen osa toteutusvaihetta on myös päivittää suunnittelun aikana luotu laitosmalli vastaamaan rakennettua todellisuutta kaikilta osiltaan. Toteutusvaiheen jälkeen tulisi lopputuloksena olla valmis, testattu ja suunnitelmien mukaiseksi todettu laitos, jonka käyttöä suunnittelun ja toteutuksen aikana luotu tietomalli tukee. (Peltopuro 2006.)

3 MARKKINOINTI

Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen voi olla etu yritykselle jo ennen projektin alkamista. Asiakasyritys voi valita Swecon tarjouksen, vaikka se ei ole edullisin, jos asiakas on kiinnostunut virtuaalitodellisuuden mahdollisuuksista, eikä muissa tarjouksissa ole vastaavaa palvelua. Swecon oma panostus virtuaalitodellisuustekniikkaan osoittaa yrityksen halun olla aktiivisesti uuden teknologian kehityksessä mukana, mitä asiakkaat osaavat arvostaa. Projektitarjouksia voi tulla suoraan asiakkailtakin, jos he ovat kuulleet VirtualSitestä ja haluavat hyödyntää sitä esimerkiksi rakennus- tai ympäristösuunnitteluprojekteiltaan. Virtuaalitodellisuuden keinoin voidaan esitellä niin asioita joita ei vielä ole olemassa, kuin asioita joita on hankala päästä itse katsomaan. Esimerkiksi General Electric tekee näin esitellessään virtuaalitodellisuuden avulla laitteistojaan, joilla porataan öljymerten pohjassa. (Kuittinen 2017.)

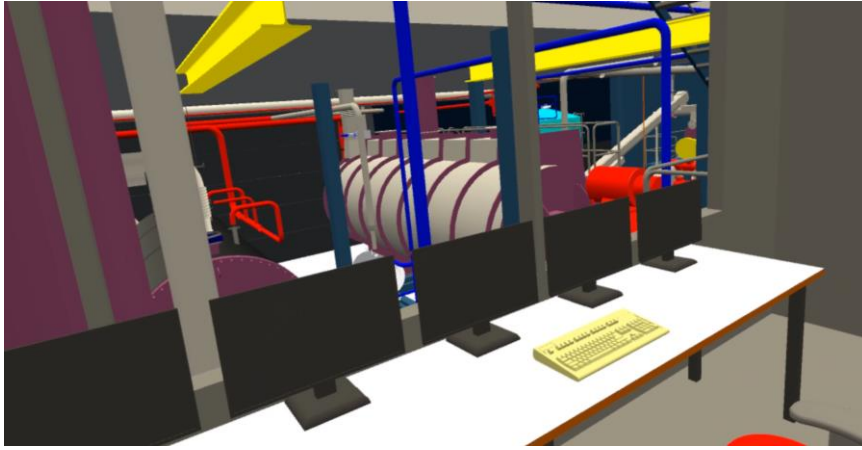
Toistaiseksi yhtä kattavat ominaisuudet tarjoavia, yhtä helppokäyttöisiä virtuaalitodellisuuspalveluita on tarjolla kilpailevilla yrityksillä hyvin vähän, jos lainkaan, joten sellaisen tarjoaminen asiakkaille on jo itsessään kilpailuetu. Messuilla ja muissa tapahtumissa virtuaalitodellisuuden käyttö esittelymateriaalina herättää myös aina paljon kiinnostusta, koska tekniikka on suhteellisen uutta ja käyttö varsinkin teollisuudessa vielä vähäistä. Näin Sweco voi myös yrityksenä jäädä positiivisesti potentiaalisesti tulevien asiakkaidensa mieleen.

4 HYÖDYT SUUNNITTELUVAIHEESSA

4.1 Virtuaalinen prototyyppi

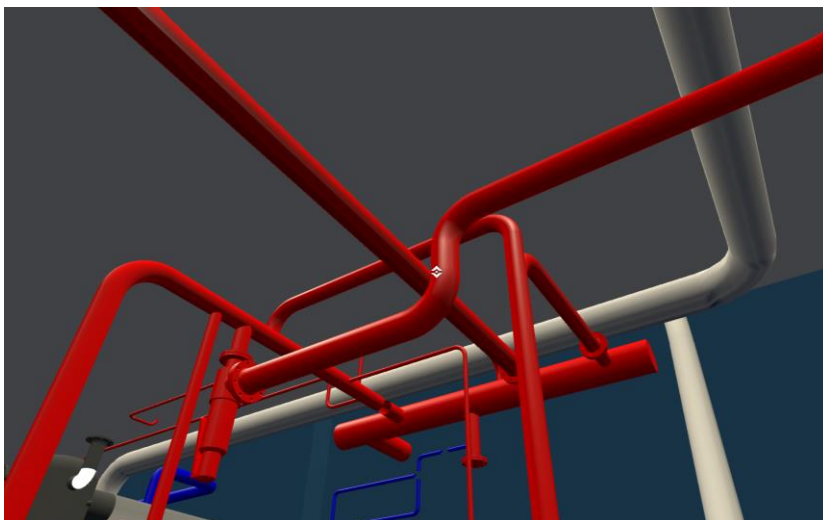
Yksi virtuaalitodellisuuden lupaavimpia ominaisuuksia on sen tarjoama mahdollisuus nähdä suunnitellut kokonaisuudet luonnollisessa koossa ja muodossa, ilman fyysisen prototyypin rakentamista. Tällä tavoin säästetään rahaa ja mahdollistetaan lyhyemmät suunnitteluajat. Prosessilaitoksista ei prototyyppejä tai edes pienoismalleja yleisesti valmisteta, vaan suunnittelu tehdään täysin suunnitteluohjelmistojen pohjalta. Virtuaalitodellisuus on kuitenkin havainnollisuudeltaan ja kokemuksellisuudeltaan aivan eri tasolla näyttöpäätetyöskentelyyn verrattuna. Asioiden mittasuhteita ja niiden välisiä etäisyyksiä on myös luonnollisessa koossa ja perspektiivissä olevassa virtuaalimallissa helppo tarkastella hyvinkin tarkasti, kuten ergonomiia ja huollettavuuttakin. (VR for design & engineering 2017.)

Tarkasti todellisuutta vastaavaan näkymään ja mallin visuaalisuuteen perustuvista hyödyistä tärkein on erilasten laitteiden ja rakenteiden vaatiman tilan tarkastelu. Nykyaikaisissa prosessilaitoksissa tiloihin pyritään sijoittamaan mahdollisimman suuri tuotantokapasiteetti, joten ylimääräistä tilaa ei juuri jää. Aina on kuitenkin tärkeää varmistua, että kaikille kohteille jää riittävästi tilaa esimerkiksi huoltotoimia varten. Säännöllistä huoltoa vaativien kohteiden sijoitus paikkoihin, jotka mahdollistavat mahdollisimman ergonomisen työskentelyn huoltotoimien yhteydessä on myös otettava huomioon. Erityisen tehokkaasti ja havainnollisesti sijoittelua voidaan suunnitella virtuaalitodellisuudessa yhdessä käyttäjien kanssa. Virtuaalimallista on myös helppo arvioida näkyvyyttä esimerkiksi valvomosta eri prosessilaitteisiin (kuva 23), mikä ei tavallisilla suunnitteluohjelmilla tehtynä ole kovin tarkkaa. Usein näkyvyyden arviointi varsinkin ahtaissa, suljetuissa tiloissa vaatii suunnitteluohjelmistoissa paljon erilaisten poikkileikkausten ja rajausten käyttöä, kun virtuaalimallissa sama onnistuu vain päätä kääntämällä.



KUVA 23. Näkyvyyden arviointia virtuaalimallissa (VirtualSite)

Niin prosessiputkistoja kuin erilaisia LVISA (lämpö, vesi, ilmanvaihto, sähkö, automaatio) putkia, kanavia ja kaapeleita on laitoksissa aina valtava määrä (kuva 24). Kaikki nämä vaativat jonkinlaiset kannakkeet tai hyllyt, joiden reititys putkistojen mutkittelussa eri suuntiin on monesti hankalaa. Näiden suunnitteluun eri suunnittelijat käyttävät yleensä useampaa eri ohjelmistoa, joten tuotaessa kaikki samaan malliin törmäyksiä voi esiintyä. Virtuaalimallissa kappaleiden keskinäisten etäisyyksien tarkastelu on helpompaa kuin tietokoneen näytöltä, koska liikkuminen putkistojen ympärillä on helppoa ja kaikki on todellisuutta vastaavassa koossa. Vaikka VirtualSitessa ei varsinaista törmäystarkasteluominaisuutta olekaan, on sen avulla helppo tarkastella muun muassa kuumien putkistojen vaatimaa lämpölaajenemistilaa varsinkin ahtaissa paikoissa.



KUVA 24. Prosessiputkistoja (VirtualSite)

Layoutsuunnitteluakin voidaan jo projektin aikaisissa vaiheissa tehdä virtuaalitodellisuutta apuna käyttäen. Karkeaa laitosmallin sijoittelua kartalle tai olemassa oleviin rakenteisiin voidaan myös tehdä virtuaalitodellisuudessa jo projektin esisuunnitteluvaiheessa. Suunnittelun edetessäkin laitteiden sijoittelua ja erityisesti sen eri vaihtoehtoja on helppo ja nopea suunnitella, tarkastella ja esitellä muille virtuaalisesti.

VirtualSityssä on myös esimerkiksi asentajien helppo tarkastella suunnitelmia, ja varmistaa että kaikki komponentit ovat varmasti oikeasti asennettavissa suunnitelmien mukaan. Kokenut asentaja voi esim. huomata mallista kohtia joissa osat eivät mallissa törmää toisiinsa, mutta ei asennus välttämättä olisi mahdollinen esimerkiksi asennustyökalujen vaatiman tilan takia. Tällä voidaan aikaansaada suuria niin ajallisia, kuin rahallisiakin säästöjä, kun komponentit saadaan sopimaan suoraan suunnitelluille paikoilleen ilman asennusvaiheessa tehtäviä muutoksia tai uudelleenvalmistusta, kun muutokset on tehty jo suunnitteluvaiheessa.

4.2 Yhteiskehittely

4.2.1 Käyttäjälähtöinen suunnittelu

Yhteiskehittely (eng. co-creation) on yksi VirtualSite-alustan tärkeimpiä ominaisuuksia. Se mahdollistaa useiden sidosryhmien, kuten asiakkaiden ja käyttäjien osallistamisen projektiin jo suunnittelun varhaisessa vaiheessa. Sidosryhmien edustajat voivat muun muassa tarkastella ja kommentoida laitoksesta luotua virtuaalimallia sisältäpäin, ilman monimutkaisia ja kalliita suunnitteluohjelmistoja, nostoen esiin asioita joita suunnittelija ei yksin osaisi huomioida.

VirtualSite tarjoaa hyvän alustan yhteiskehittelylle. Virtuaalimallissa voi olla useita käyttäjiä samanaikaisesti, jotka voivat keskustella, esittää dokumentteja ja tarkastella mallia yhdessä. Kaikki virtuaalitodellisuuslaitteistoa käyttävät osallistujat voivat käyttää kaikkia ohjelmiston työkaluja malliin vaikuttamiseen. Virtuaalitodellisuusistuntoon voi osallistua pelkän tietokoneenkin välityksellä, mutta tällöin käytössä on vain tarkkailu ja keskusteluominaisuudet.

Virtuaalitodellisuuden avulla tulevan laitoksen tai muun rakennuksen käyttäjät pääsevät vaikuttamaan tilan suunnitteluun jo ennen kuin mitään on vielä oikeasti rakennettu. Loppukäyttäjät voivat esimerkiksi sijoitella tiloihin tulevat laitteet kokemuksensa perusteella käytettävyyden kannalta toimivimpiin paikkoihin ja osaavat ottaa huomioon muitakin asioita, joita tilaaja tai suunnittelija ei välttämättä osaa. Suunnitelmissa voi olla virheitäkin, jotka kokenut vastaavassa laitoksessa työskennellyt henkilö voi huomata suunnittelijaa helpommin. Loppukäyttäjien palautteen perusteella tiloista saadaan kerralla toimivia, eikä kalliita muutoksia tarvitse tehdä projektin myöhemmissä vaiheissa. Swecolla on saatu suuria säästöjä aikaan selkeästi pelkän virtuaalitodellisuuden käyttäjälähtöisen suunnittelun avulla mm. eräässä sairaalaprojektissa. Siinä käyttäjien virtuaalimallista antaman palautteen ansiosta tilojen kokonaiskoko voitiin pienentää 150 m² ja näin säästettiin noin 150 000 € investointikustannuksista ja lisää jatkuvien käyttökulujen pienentämistä. (Sweco creating clash free construction 2016).

Pienemmistä tiloista voidaan toisinaan tehdä pahvimalleja, joilla tutkitaan suunniteltujen tilojen toimivuutta (Kempainen 2018). Kokonaisten teollisuuslaitosten mallien tekeminen pahvista luonnollisessa koossa tai edes pienoismalliksi ei ole kuitenkaan järkevää, niiden suuren koon ja monimutkaisten rakenteiden ja laitteistojen vuoksi. Virtuaalitodellisuusmalli voidaan kuitenkin helposti ja nopeasti luoda suurestakin laitosmallista, kunhan tietokoneessa on riittävästi laskentakapasiteettia. Virtuaalimalli myös vastaa todellisuutta kaikin puolin huomattavasti paremmin kuin pahvimalli.

4.2.2 Organisaatioiden välinen yhteistyö

Swecon kaltaisen yrityksen projekteissa on usein mukana suunnittelijoita, jotka työskentelevät keskenään eri toimipisteissä tai jopa eri mantereilla. Yleinen ongelma on laitteiden/rakenteiden/putkistojen törmäminen mallissa toisiinsa ja muut tiedonkulkuun liittyvät ongelmat, varsinkin kun osa-alueista vastaa useimmiten eri suunnitteluorganisaatiot. Tällaisessa tilanteessa on suunnittelijoiden helppoa avata kyseinen malli VirtualSitessa ja mennä virtuaalisesti ”paikan päälle” yhdessä ratkaisemaan, millä muutoksilla ilmennyt ongelma saadaan estettyä. Näin asiantuntijat voivat tarvittaessa vaikka eri puolilta maailmaa tukea toimistolla tapahtuvaa työtä hyvin konkreettisesti. Samassa toimipisteessä työskennellessäkin VirtualSiten käyttö havainnollistaa ongelmia merkittävästi paremmin, kuin perinteinen näytöltä esittäminen ja siten nopeuttaa niiden ratkaisua.

Virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää suunnitteluyrityksen ja asiakasyrityksen välisessä kommunikaatiossa. Sen avulla voidaan mm. havainnollistaa konkreettisesti projektin etenemistä ja tulevia vaiheita, ratkoa ongelmatilanteita sekä keskustella toteutusvaihtoehtoista koko projektin ajan. Tästä voi olla apua myös tilanteissa jossa samalla asiakkaalla on samassa projektissaan käytössä useiden suunnitteluyritysten työvoimaa.

Prosessilaitoksen suunnitteluvaiheeseen kuuluu aina erilaisten lupien ja hyväksyntöjen hakeminen, usein jo ennen toteutussuunnittelun aloitusta. Virtuaalimallin avulla voidaan esimerkiksi kaavoitus- ja lupaviranomaisille esitellä laitosta ja sen ympäristöä jo hyvin varhaisessa vaiheessa, jolloin laitoksesta ja ympäröivästä alueesta saa hyvin realistisesti ja havainnollisen kokonaiskuvan, mikä voi helpottaa myönteisen päätöksen saantia. Virtuaalimallilla voidaan käyttää apuna myös erilaisten ympäristövaikutusten arviointiin ja liikennesuunnitteluun.

4.3 Työturvallisuus

Virtuaalimallin avulla voidaan tarkastella turvallisuusnäkökulmia ”oikeassa ympäristössä”, ja tehdä erilaisia riskianalyysyjä jo laitoksen suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi erilaisten turva-aitojen, kaiteiden, hoitotasojen riittävyttä ja korkeuksia on merkittävästi näyttöpäätettä helpompi arvioida virtuaalitodellisuudessa. Turvalaitteiden kuten hätäseis-painikkeiden, sammuttimien ja hätäsuihkujen sijoittelua ja näkyvyyttä voidaan tarkastella virtuaalimallissa myös poikkeustilanteita varten mallintamalla siihen esimerkiksi näkyvyyden heikentymistä kuvaamaan esimerkiksi savua. Hätäpoistumisteiden merkintää ja esteettömyyttäkin voidaan tarkastella virtuaalisesti. VirtualSitessa käyttäjä näkee käsissään olevat ohjaimet virtuaalimaailmassa, joten ulottuvuutta vaarallisiin kohteisiin kuten liikkuviin tai kuumiin komponentteihin voidaan tarkastella, mikä ei tavallisilla suunnitteluohjelmistoilla ole kovin tarkasti mahdollista.

Työtilojen suunnittelu huomioi organisaation strategiset tavoitteet, työprosessit, eri käyttäjäryhmien vaatimukset ja sen miten työ muuttuu tulevaisuudessa (Työterveyslaitos n.d). Kun tiloista halutaan mahdollisimman toimivat, on niiden suunnittelussa oltava mukana alusta asti useiden sidosryhmien edustajia, kuten prosessiammattilaisia, organisaation edustajia ja useiden käyttäjäryhmien edustajia. Virtuaalimallissa tällainen suunnittelu on

helposti toteutettavissa ja tiloista saadaan esimerkiksi työasentojen ja esteettömyyden näkökulmista optimaalisia heti kerralla. Perinteisen suunnittelun menetelmin tilojen yksityiskohtainen suunnittelu tehdään vasta myöhemmässä vaiheessa, jolloin rakenteen voivat asettaa tiettyjä rajoitteita käytettäville ratkaisulle. Turvallista ulottumista myös esimerkiksi käsiventtiileihin, näytteenottimiin ja usein huoltotoimenpiteitä vaativiin kohteisiin voidaan tarkastella virtuaalisesti yhtä lailla. Turvallinen laitoksen käyttöönotto ja esimerkiksi pelastussuunnitelmia voidaan myös suunnitella VirtualSitea hyödyntäen.

Räjähdyksivaarallisten (ATEX) tilojen suunnitelmien tarkastelussa, voidaan yhtä lailla käyttää hyväksi Swecon virtuaaliodellisuusohjelmistoa. ” Räjähdyksivaarallinen tila on huone, sen osa tai muu rajoitettu sisä- tai ulkotila, jossa voi esiintyä räjähdyskelpoinen ilmaseos” (Sulonen 2015). Räjähdyksivaarallisten tilojen standardissa SFS-EN 60079-10-1 määritettyjen ohjeiden mukaan ATEX-luokiteltavien laitteiden ympärillä on aina tietyn muotoinen ja suuruinen tilaluokiteltu alue, jonka sisällä olevien sähköisten ja mekaanisten laitteiden on oltava alueelle hyväksytyjä. Esimerkiksi putkien päiden kohdalla alue on muodoltaan pallo, joten kolmiulotteisesta virtuaalimallista on perinteisiä tasokuvia helpompi varmistua, ettei alueelle ole sijoitettu luokitukseen sopimattomia laitteita. Tämä niin kutsuttu päästömuoto voi olla muodoltaan huomattavasti monimutkaisempikin, jolloin tarkastelu varsinkin tasokuvista vaikeutuu entisestään etenkin, kun luokitukseen vaikuttavia laitteita on samalla alueella useita. Tarkastelu onnistuu toki tavallisestakin 3D-mallista, mutta erityisesti monimutkaisen muotoisten laitteiden tai putkistojen tarkastelu tällä tavalla on hankalaa. Virtuaalimallissa tilaluokitellut alueet on helppo esimerkiksi värityksellä erottaa toisistaan, ja näin niihin ei suunnitella sijoitettavaksi mitään sopimattomia muutostenkaan yhteydessä. (SFS-EN 60079-10-1 2015, 10-19)

5 HYÖDYT TOTEUTUSVAIHEESSA

5.1 Asennusohje

Mikäli virtuaalimallia on asianmukaisesti päivitetty koko suunnitteluprosessin läpi ja päivitystä jatketaan asennusvaiheen edetessä, voidaan mallia käyttää asennusten tukena koko rakennusvaiheen ajan. Suuri osa asennuksista tehdään nykyään yhä paperisten 2D-piirustusten pohjalta, jotka voivat olla hankalaselkoisia esimerkiksi monimutkaisten putkilinjojen yhteydessä. Perinteisissä piirustuksissa kohteet on aina kuvattu rajallisesta määrästä projektioita, mutta virtuaalimallissa mitä tahansa komponenttia voidaan tarkastella mistä tahansa suunnasta. Näin virtuaalimallista on helppo katsoa kuinka asennettavan komponentin tai esimerkiksi putkiston on tarkoitus tilaan asettua.

Tarkan ja ajantasaisen virtuaalimallin käyttö asennusohjeena myös estää asennusvirheiden syntymisen, mikäli sitä noudatetaan täsmällisesti. Kolmiulotteisen virtuaalimallin tulee vastata täysin suunniteltua todellista asennusta, eikä siihen siksi jää tulkinnanvaraisuuksia tai epäselvyyksiä kuten tasokuvaan voi jäädä. Tulevaisuudessa erillisten 2D-piirustusten tekoa voidaan mahdollisesti tällä tavoin vähentää, jolloin aikaansaadaan säästöjä, kun erillisten piirustusten teolta vältytään, kun asennus voidaan suorittaa täysin tietomallin ja siitä luodun virtuaalimallin pohjalta. Toistaiseksi jonkinlaisia mittakuvia kuitenkin vielä tarvitaan, koska täsmällinen mittaaminen virtuaalimallista on hankalaa. Asennuksen tueksi sopii erinomaisesti myös toiset Swecon digitaaliset työkalut, kuten Sweco SmartDrawings. Sen avulla 3D-malli voidaan lisätä paperiseen piirustukseen tarkasteltavaksi millä tahansa mobiililaitteella, niin näytöltä, kuin oikeassa ympäristössä lisätyn todellisuuden keinoin.

5.2 Rakennusjärjestys

Tietomalliin pystyy usein määrittämään tarkan rakennus-/asennusjärjestyksen kaikille rakenteille. Tämän järjestyksen saa näkyviin Virtualisoitaessakin, tai vaihtoehtoisesti se on mahdollista luoda siellä. Virtuaalimallin rakennusjärjestyksen etu tavallisen tietomalliin nähden on sen havainnollisuus. On merkittävästi helpompi esimerkiksi asentajille nähdä ”paikan päällä” miten, mihin ja missä järjestyksessä asennukset on tarkoitus suorittaa.

Virtuaalimaailmassa on lisäksi helpompi havaita pieniä yksityiskohtia kuin näytöltä katsoessa. Virtuaalimallissa asennusjärjestys on myös helppo selventää useammalle henkilölle kerrallaan. Kun virtuaalimalli on asentajien käytettävissä koko asennusvaiheen ajan, voivat he tarkistaa siitä asennusjärjestykseen liittyviä seikkoja koska tahansa, ja tarvittaessa tehdä siihen muutoksia. Näin vältetään turhalta työltä, jota syntyy väärässä järjestyksessä asennettujen laitteiden tai putkistojen purkamisesta tai niiden ylimääräisestä väistelystä muiden asennusten yhteydessä. Yhtä lailla laitoksen lopullisen alasajon yhteydessä voidaan hyödyntää VirtualSiten rakennusjärjestystyökalua purun suunnitteluun. Sillä voidaan luotettavasti ja turvallisesti suunnitella esimerkiksi muualle siirrettävien laitteiden tieltä purettavat rakenteet sekä purkujärjestys.

5.3 Muutosten hallinta

Vaikka laitoksen suunnittelu on tehty kuinka tarkasti tahansa, joudutaan rakennusvaiheessa aina tekemään joitain muutoksia. Virtuaalimallissa on kuitenkin ongelmien ilmetessä nopeaa ja helppoa kokeilla eri ratkaisumalleja esimerkiksi laitteiden tai putkistojen sijoitteluun, ja sen osaa tehdä tarvittaessa kuka tahansa, ilman osaamista erillisistä suunnitteluohjelmista. Esimerkiksi asentaja, suunnittelija ja tilaaja voivat samanaikaisesti tarkastella ja käydä keskustelua mallista, siirrellen sen kappaleita eri paikkoihin, ja näin löytää nopeasti kaikkia osapuolia tyydyttävän ratkaisun.

Osallistamalla kaikki sidosryhmät muutosten suunnitteluun vältetään esimerkiksi turhalta ja aikaa vievältä revisioinnilta, kun kaikki joita muutos koskee voivat tarvittaessa osallistua sen suunnitteluun, eikä muutokset näin aiheuta yllättäviä muutoksia liittyviin rakenteisiin. Näin vältetään myös muutosten yhteydessä yleisiltä tiedonkulun katkoksilta. Samalla mahdollistetaan asennustoiminnan jatkuminen mahdollisimman nopeasti. Asentaja voi mahdollisesti tehdä muutokset laitokseen pelkän virtuaalimallinkin perusteella, ja suunnittelija voi ottaa ratkaisumallista kuvan ja päivittää sen perusteella muun dokumentaation muutosta vastaavaksi, eikä asentajan tarvitse näin ollen odotella varsinaista asennusdokumentaatiota.

5.4 Työmaan turvallisuus

Virtuaalimallissa voidaan suunnitella sijoittelu työmaalla tarvittaville väliaikaisille turvallisuusrakenteille, kuten työtasoille ja suoja-aidoille yhdessä rakentajien ja asentajien kanssa. Näin voidaan helposti varmistua, että työmaalla on tarvittavat tilat työskentelyyn sekä nostureille, henkilönostimille ja suoritettaville kuljetuksille. Samalla voidaan mallista laskea, paljonko materiaaleja tarvitaan näitä rakenteita varten. Yhdessä eri urakoitsijoiden kanssa suunnittelemalla voidaan välttyä esim. päällekkäisiltä vuokra-ajoilta ja urakoitsijat tietävät tarkemmin mitä laitteita työmaalla on käytössä. Näin saadaan säästöjä niin ajassa, kuin kustannuksissakin.

Työntekijät voidaan myös perehdyttää virtuaalimaailmaa apuna käyttäen ja näin voidaan mahdollisesti vähentää työtapaturmien määrää ja lieventää niistä aiheutuvia vahinkoja. Esimerkiksi turvavarusteiden kuten sammuttimien ja ensiaputarvikkeiden sijainnit sekä erityiset vaara-alueet kuten säiliöiden sisätilat, tukehtumis-, säteily- ja kemikaalivaaralliset tilat on helppo VirtualSitessa käydä läpi jo ennen varsinaiselle työmaalle menoa. Samoin haalausten ja erilaisten nostojen turvallisuuden arviointia voidaan tehdä helposti. Virtuaalimallista on lisäksi helpompaa tunnistaa työn suoritukseen liittyviä riskejä, kuin perinteisen tietokonemallin pohjalta, koska kokemus vastaa huomattavasti enemmän todellista maailmaa.

6 HYÖDYT KÄYTÖN AIKANA

6.1 Koulutus

Virtuaalitodellisuus on jo käytössä koulutustarkoituksissa monilla aloilla. Prosessilaitostenkin henkilöstön koulutukseen se on erinomainen apu. Monissa laitoksissa on hyvin tarkkaa, ketä laitokseen voidaan päästää sisälle ja milloin. Usein pääsyn edellytyksenä on jonkinlainen turvallisuuskoulutus, joka voi laitoksesta riippuen olla pitkäkin. Monissa laitoksissa on myös alueita joihin ei olosuhteiden, kuten lämpötilan tai vaarallisten aineiden vuoksi voida tuotannon aikana päästää ketään. Siksi henkilökunnan koulutus ilman virtuaalitodellisuutta on hyvin teoriapainotteista. Virtuaalitodellisuuden keinoin uudet työntekijät kuitenkin pääsevät turvallisesti tutustumaan työkohteisiin ”paikan päällä” jo ennen työtehtävien alkamista. Näin kalliilta tuotannon seisokeilta voidaan välttyä tai ainakin niiden kestoa lyhentää ja oppimistuloksia parantaa. Koulutusta voidaan näin suorittaa jo ennen laitoksen valmistumistakin. (Rovaglio & Scheele 2010.)

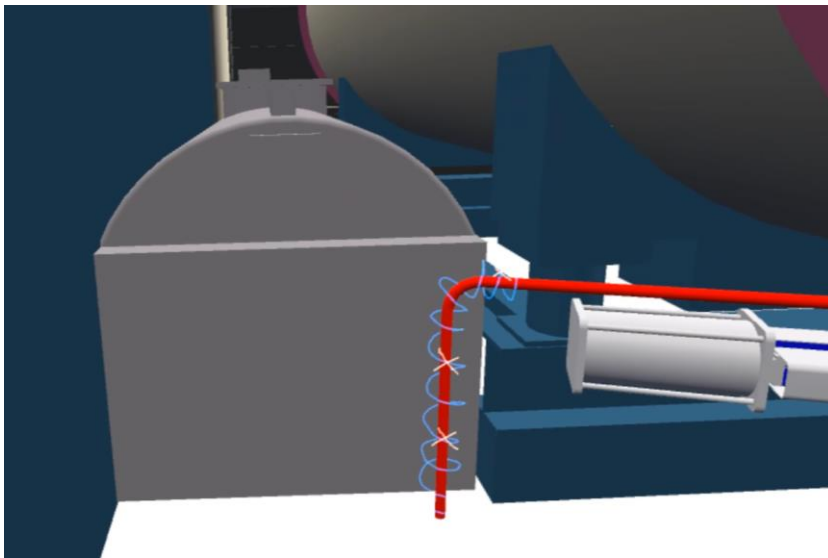
Virtuaalitodellisuudessa voidaan simuloida erilaisia poikkeustilanteita laitoksessa, kuten tulipaloja, vuotoja tai laitteiden rikkoontumisia, täysin vaarattomasti. Tällaisissa tilanteissa nopea, oikeanlainen reagointi on ensiarvoisen tärkeää vahinkojen minimoimisen kannalta. Tällaisia tilanteita varten harjoittelu perinteisin metodein ei ole turvallisesti mahdollista tai ainakaan taloudellista. Virtuaalimaailmassa työntekijät voivat harjoitella usein eikä siitä aiheudu hankinnan jälkeen juurikaan kustannuksia. Virtuaaliharjoittelu voi myös auttaa käyttäjää tunnistamaan mahdolliset todelliset vaaratilanteet ajoissa. Virtuaalisista harjoituksista saadaan paljon arvokasta tietoa myös todellisten onnettomuuksien estämistä varten. (Rovaglio & Scheele 2010.)

Sweco käyttää tällaiseen koulutukseen tällä hetkellä Cove-simulointimalleja, joissa tietokoneille luodaan todelliseen laitoksen käyttöohjelmiston toimintaa eri poikkeustilanteissa kuvaavia skenaarioita. Niiden pohjalta käyttäjä suorittaa toimenpiteitä skannaamalla puhelimella koodeja niissä laitoksen kohteissa, jotka tositilanteessa vaatisivat häneltä toimenpiteitä. Ohjelmisto reagoi koodien skannaukseen laitoksen tositilannetta vastaavasti. Tähän toimintaan voitaisiin VirtualSiten avulla luoda entistä monipuolisempia ja todentuntuisempia skenaarioita yhdistämällä todellisuudessa ja virtuaalitodellisuudessa suoritettavia harjoitteita. (Keskitalo 2018)

6.2 Kunnossapito

Kunnossapidonkin suunnittelussa voidaan hyödyntää virtuaalitodellisuutta. Sen avulla on kunnossapitohenkilöstön helppo suunnitella ja harjoitella yhdessä tarvittavat toimenpiteet turvalliseen tehtävän suorittamiseen. Virtuaalisesti on helppo selvittää mitä rakenteita on esimerkiksi purettava tai siirrettävä väliaikaisesti pois tieltä, ja reitittää mahdollisesti tarvittavat väliaikaiset putket ja kaapelit. Erityisen hyödyllistä tämä on silloin, kun huollettavat kohteet ovat paikoissa, joihin ei prosessin käydessä ole pääsyä tai ne eivät ole näkyvillä vaan esim. säiliön sisällä.

Olemassa oleviin laitoksiin joudutaan toisinaan uusimaan suuria yksittäisiä laitteita, ja haalausreittien suunnittelu voi tällöin olla työlästä ja edellyttää mittavaakin putkistojen ja rakenteiden väliaikaista purkamista. Haalauksen suunnittelu virtuaalimallissa on kuitenkin helppoa ja hyvin visuaalista. Näin vältetään turhalta rakenteiden purkamiselta, kun voidaan haalattavan kappaleen mallia liikutella laitoksen mallinnetussa, tai skannatussa virtuaalimallissa ja nähdä tarkalleen mihin se törmäisi ja merkitä purettavat rakenteet suoraan malliin (kuva 25), eikä näin pureta tarpeettomasti mitään ylimääräistä.



KUVA 25. Haalauksen tieltä purettavien rakenteiden merkintää (VirtualSite)

6.3 Laitoksen kehitys

Koska prosessiteollisuuslaitosten elinkaari on hyvin pitkä, tehdään niihin monesti käyttöön aikana merkittäviä muutoksia. Tällaisia voi olla esimerkiksi tuotantokapasiteetin nostot, lopputuotteiden muutokset tai päivitykset tuoreempaan teknologiaan. Näissä tilanteissa VirtualSitea voidaan pitkälti hyödyntää samoin kuin uudenkin laitoksen suunnittelussa. Jos esimerkiksi laitoksesta on olemassa tarkka ja ajantasainen malli, on virtuaalidellisuudessa helppo siirrellä olemassa olevia ja sijoittaa uusia laitteita laitoksen päivitykseen sopiville paikoille.

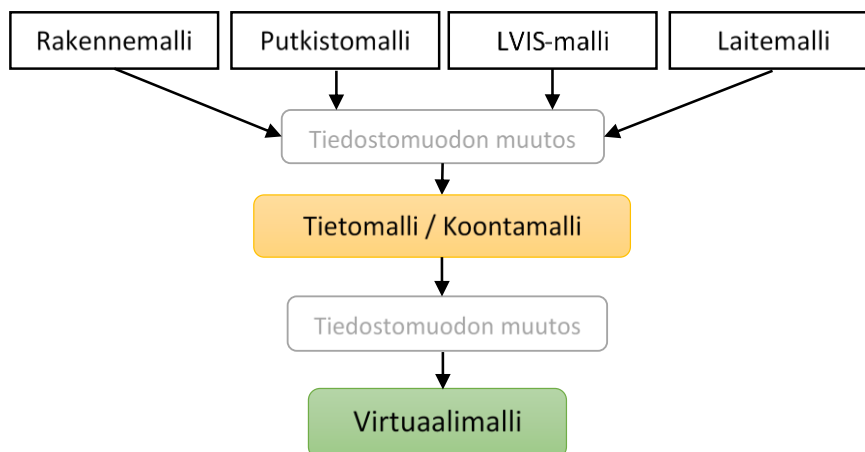
Eri vaihtoehtoja voidaan helposti kokeilla ilman minkäänlaista osaamista varsinaisista suunnitteluohjelmistoista ja häiritsemättä tuotantoa. Suunnittelua voi näin ollen tehdä vaikka laitoksen oma henkilökunta, jolloin ratkaisusta saadaan mm. sisälogistiikan ja käytettävyyden kannalta kaikkien käyttäjäryhmien näkökulmasta mahdollisimman toimiva. Tämä myös vähentää muutoksen läpivientiin tarvittavaa aikaa, ja samalla laskee sen kustannuksia.

7 HAASTEET

7.1 Virtuaalimallin vastaavuus todellisuuteen

VirtualSite ei tietenkään tuo projektiin pelkkiä hyötyjä vaan tämän teknologian hyödyntämisessä on omat ongelmansa. Monet näistä eivät kuitenkaan koske pelkästään virtuaaliodellisuutta vaan samoja ongelmia on perinteisemmissäkin suunnitteluohjelmissa.

Yksi merkittävimpiä tekijöitä, joka haittaa suunnittelijoiden työtä, on käytettävän mallin ajantasaisuus. Erityisesti suurissa projekteissa, joissa mallit ovat kookkaita ja suunnittelijoita suuri määrä, ei mallin jatkuva päivitys ole taloudellista. Suunnittelua samaan laitokseen tehdään usein myös eri suunnitteluohjelmistoilla, joista malli kootaan erilliseen tarkasteluohjelmaan. Kun toimintaketjuun (kuvio 2) lisätään vielä yksi muunnos tarkastelumallista virtuaalimalliksi, on siinä vielä yksi askel lisää jossa mallin versio voi jäädä jälkeen päivitysten yhteydessä. Tiedostomuodon muutokset hankaloittavat virtuaalimallin pitämistä ajan tasalla entisestään, sillä vaikka tehdyt muutokset voivat päivittyä automaattisesti kaikkialle malliin suunnitteluohjelmistossa, ei tämä automatiikka toimi välttämättä tiedostomuodon muutosten yli lainkaan.



KUVIO 2. Toimintaketju suunnitteluohjelmistoista virtuaalimalliksi

Jotta virtuaaliodellisuutta voidaan hyödyntää sen täyden potentiaalin mukaisesti esimerkiksi asennusohjeena ja tietokantana koko laitoksen käyttöön, täytyy mallin tarkkuuden olla todella korkea, ja säilyä sellaisenaan jatkuvasti. Tässä on kuitenkin suuria hankaluuksia, koska tehtäessä laitokseen uudistuksia, voi suunnitteluyritys olla täysin eri kuin joka alkuperäisen suunnittelun on tehnyt, joten alkuperäisiä suunnittelumalleja ei välttämättä ole

saatavilla. Eri yritysten virtuaalitodellisuusohjelmistot eivät myöskään ole yleisesti yhteensopivia, eikä sellaista kaikilla ole edes tarjota, joten virtuaalimallin päivitys voi olla mahdotonta, ellei sitä ole jo suunnitteluyritystä valitessa ole otettu huomioon. Ratkaisu tähän on käyttää projektissa erillistä tietomallikoordinaattorina toimivaa yritystä, kuten Swecoa VirtualSitea käytettäessä.

7.2 Teknologia

Virtuaalitodellisuuslaitteistot kehittyvät jatkuvasti. Tämä luo omat hyötynsä, mutta myös haasteensa niin ohjelmiston kehittäjille, kuin käyttäjillekin. Kehittäjäpuolella haaste on ylläpitää tukea sekä vanhoille että uusimmille laitteille, säilyttäen sujuvan käyttäjäkokemuksen kaikilla alustoilla. Virtuaalitodellisuuslaitteistot ovat kehittyneet viimeisen viiden vuoden aikana huimasti, joten on lähes varmaa, ettei nykyisillä malleilla pärjää kehityksen mukana laitoksen käyttöään läpi, joka pääsääntöisesti on useita kymmeniä vuosia. Näin tulee jollain keinolla myös varmistua siitä, että nykyiset virtuaalimallit ovat jollain keinolla hyödynnettävissä myös seuraavien kehityssukupolvien laitteistoilla.

Käyttäjäpuolella yritystasolla ongelmaksi voi muodostua kustannukset, mikäli halutaan jatkuvasti hyödyntää uusimman teknologian tuomat mahdollisuudet kattavasti sekä työntekijöiden että asiakkaiden käytettävissä. Tällöin laitteita on oltava käytettävissä suuri määrä ja niitä on uusittava jatkuvasti. Nykyisillä laitteilla laajamittainen jatkuva käyttö tarvitsee paljon tilaakin, jota toimistoissa harvoin on ylimääräistä. Tämänhetkisillä tavallisilla tietokoneilla suurten laitosten hyvin yksityiskohtaisten 3D-mallien käsittely ei myöskään ole aina kovin sujuvaa, mikä osaltaan hieman heikentää käyttömukavuutta ja voi jarruttaa virtuaalitodellisuuden käytön yleistymistä. Tulevaisuudessa virtuaalitodellisuuden käyttö siirtyy entistä enemmän henkilökohtaisiin älylaitteisiin, kuten älypuheliiniin, niiden prosessointikyvyn kasvaessa.

Tietoturvallisuus on asia, joka nousee auttamatta esille, kun puhutaan tuotantolaitosten tarkkojen mallien käytöstä eri yritysten välillä. Moni yritys on hyvin vastahakoinen käyttämään toisen yrityksen tallennuspalveluita omien laitostensa yksityiskohtaisten mallien käsittelyyn. Tällä hetkellä VirtualSite toimii Swecon ja asiakkaiden paikallisissa suojaetuissa verkoissa ja verkon yli liikkuva tieto on vain ääntä ja käyttäjien sijaintiin mallissa liittyvää tietoa. Varsinaisten mallien siirto tapahtuu kunkin asiakkaan toivomalla tavalla.

7.3 Käyttäjät

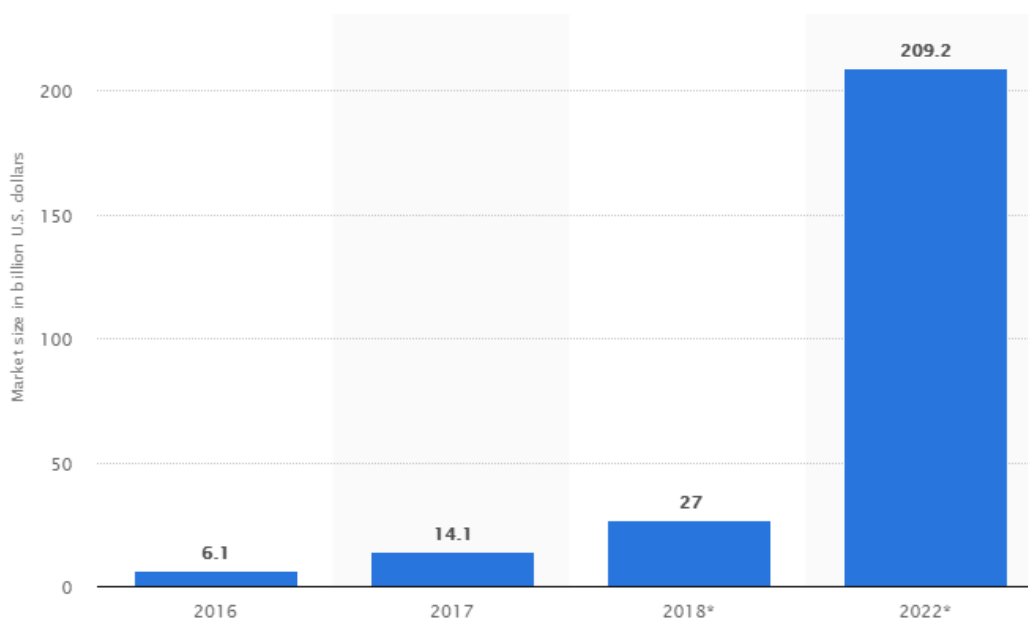
Suunnittelutoimistoissa on jo nykyisellään käytössä suuri määrä eri suunnitteluohjelmistoja. Niin kauan kun varsinaista yksityiskohtaista suunnittelutyötä ei pystytä tekemään virtuaalitodellisuudessa, ei sen käyttö ainakaan vähennä tarvittavien ohjelmien määrää. Uusien ohjelmistojen käytön oppiminen on aina aikaa vievää, eivätkä kaikki ole siksi kovin innokkaasti ensimmäisten joukossa ottamassa uusia ohjelmistoja käyttöön. VirtualSite on suhteellisen tuore palvelu ja kehitys sen ympärillä on jatkuvaa ja hyvin nopeaa. Ohjelmistoon lisätään ominaisuuksia ja vanhoja kehitetään jatkuvasti ja siksi sen kehitykseen on kytketty useita suunnittelijoita jotka käyttävät uusimpia versioita jatkuvasti ja siten pysyvät tiiviisti mukana kehityksessä.

Jos esimerkiksi suuressa laitosprojektissa päätettäisiin ottaa VirtualSite tai muu virtuaalitodellisuusohjelmisto kattavasti käyttöön, tarkoittaisi se tällä hetkellä valtavaa koulutusoperaatiota. Suurissa projekteissa voi työskennellä satoja ihmisiä useista eri yrityksistä. Koska virtuaalitodellisuus on toistaiseksi vielä niin rajallisessa käytössä, tarvitsisi ensin kouluttaa ne henkilöt, jotka toisivat virtuaalitodellisuuden käytöllä suurimman hyödyn projektille. Levitystä auttaa myös, kun kehitetään mittaus ja seurantamenetelmiä taloudellisia ja aikataulullisia hyötyjä varten. Yhtä lailla 3D-suunnittelun hyötyjä 2D-suunnitteluun nähden on hankala tarkasti verrata, mutta harva niitä silti kiistää. 3D-suunnitteluun siirtyminen mahdollisti mm. entistä monimutkaisempien kokonaisuuksien suunnittelun ja virtuaalitodellisuuteen siirtyminen lisää mahdollisuuksia entisestään. Sitä mukaa kun näytöt VirtualSiten menestyksekkäästä käytöstä projekteissa lisääntyvät, madaltuu varmasti asiakkaiden kynnys panostaa sen käyttöön.

Virtuaalitodellisuus ja siellä toimiminen voi tuntua hyvin vieraalta etenkin henkilöille, jotka eivät ole varttuneet videopelien parissa, joita virtuaalitodellisuuden käyttö monin tavoin läheisesti muistuttaa. Ensimmäisten kokemusten mukaan oppimiskynnys on kuitenkin matala. Käyttäjän silmät myös väsyvät nopeammin virtuaalilaseilla, kuin näyttöpäätetyöskentelyssä. Nykyiset laitteet eivät myöskään sovellu pitkäaikaiseen käyttöön, mutta toimivat hyvin mallien katselmointiin tarvittavan ajan.

8 TULEVAISUUS

Tulevaisuus näyttää kuinka pitkälle virtuaalitodellisuustekniikka laitossuunnittelun parissa kehittyä. Lähivuosina varmasti nähdään lukematon määrä uusia virtuaalisovellutuksia niin teollisuuden kuin viihteenkin parissa. Virtuaali- ja lisätyn todellisuuden markkinan ennustetaan kasvavan moninkertaiseksi lähivuosien aikana (kuvio 3), mutta jää nähtäväksi, kuinka nopeasti se vakiinnuttaa paikkansa päivittäisessä käytössä suunnittelutyössä. Teknologian ja erityisesti tekoälyn kehitys voi mahdollistaa merkittävän osan suunnittelutyöstä siirtämisen virtuaalimaailmaan. Tekoäly luultavasti ottaa haltuunsa merkittävän määrän suunnittelutyön rutiininomaisista tehtävistä. Jonain päivänä suunnittelijan voi tarvita vain esimerkiksi karkeasti määrittää putkilinjan kulku ja parametrit, joiden perusteella ohjelma osaa itsenäisesti määrittää materiaalit ja paikoittaa tarvittavat laipat, venttiilit, kannakkeet ynnä muut, jotka yleisesti sijoitetaan tiettyjen sääntöjen ja rajoitteiden mukaan. Tällainen suunnittelu onnistuisi hyvin virtuaalimaailmassakin.



KUVIO 3. Virtuaali- ja lisätyn todellisuuden markkinan koko 2016-2022 (Statista 2018)

Virtuaalilasienkin on samalla kuitenkin kehityttävä sellaisiksi, että niitä voi mukavasti käyttää pitkiä aikoja yhtäjaksoisesti. Virtuaalitodellisuus on myös yksi keino vähentää päätetyöskentelystä aiheutuvia terveysvaikutuksia, jos jatkuvan staattisen istumisen sijasta suunnittelua tehtäisiin seisten ja mallissa liikkuen. Nykytilanteessa virtuaalitodellisuus on joillakin toimijoilla valitettavan usein pelkkä vaikuttava myynti- ja esittelykikka. Tällaisesta suhtautumisesta on pikimmiten päästävä eroon ja virtuaalitekniikat on jalautettava osaksi arkista toimintaa ja niihin tulee suhtautua työkaluina muiden joukossa.

Teknologian kehitys tulee helpottamaan tätä, sillä jo nyt on saatavilla hyvin kompakteja mobiililaitteistoja, joihin tarvitaan enää lisää prosessointitehoa, jotta sellainen voi löytyä jokaisen suunnittelijan työpöydältä ja toimia tehokkaana arkisena työvälineenä. Laitteiden tehon kasvaessa virtuaalimallien fotorealistisuutta voidaan myös kasvattaa, eli niihin voidaan luoda tarkempia yksityiskohtia, visualisointimateriaaleja ja esimerkiksi varjostuksia. Näin virtuaalimaailmasta saadaan vielä nykyistä kokemuksellisempi ja havainnollisempi tapa esittää suunnitelmia. Swecolla on myös oman ohjelmistokehityksen seurauksena erinomaiset mahdollisuudet jalostaa VirtualSitea jatkuvasti paremmin asiakkaidensa tarpeita vastaavaksi.

9 POHDINTA

VirtualSite on jo nyt erittäin käyttökelpoinen työkalu, ja sillä on varmasti saavutettavissa jotain hyötyjä jokaisessa laitosuunnitteluprojektissa. Suurimmat kustannussäästöt tulevat varmasti asennusvaiheessa tehtäviltä muutoksilta välttymisestä, kun VirtualSite-mallia voidaan käyttää jatkuvasti ikään kuin virtuaalisena prototyyppinä. Toisaalta esimerkiksi sen avulla voidaan säästää ratkaisemalla ongelmia virtuaalimallissa oikean työmaan sijaan, ja näin vähentää tarvittavaa matkustamista ja tiedonkulun katkosten aiheuttamia ongelmia. Virtuaalitodellisuuden käyttö suunnittelussa tuo myös välillisiä säästöjä, kun työtilojen työturvallisuus ja ergonomia paranevat.

Vaikka tässäkin työssä on esitelty useita selkeitä hyötyjä, joita voidaan saavuttaa VirtualSitea käyttämällä, voi taloudellista ja ajallista panostusta teknologian käyttöön olla varsinkin ensimmäisillä kerroilla hankala perustella niin asiakkaille, kuin käyttäjille yrityksen sisälläkin. Tämä siksi, että saavutettuja hyötyjä on vaikea mitata, eikä kyseisestä teknologiasta ole vielä olemassa kattavia referenssejä tai käyttökokemuksia ja jokainen projekti on aina omanlaisensa. Virtuaalitodellisuuden hyötyjen kokonaisvaltainen kartoitus myös vaatii sen, että virtuaalityökaluja hyödynnetään koko projektiorganisaation toimesta kattavasti läpi koko projektin. Tulevaisuudessa projektit ovat yhä monimutkaisempia, haastavampia sekä monikansallisempia, jolloin kommunikoinnin merkitys vain korostuu. Virtuaalitodellisuus vastaa juuri tähän tarpeeseen.

Tulevaisuudessa tätä samaa aihetta voidaan tarkastella uusien ohjelmistoon lisättyjen ominaisuuksien näkökulmasta. Tulevat projektitkin, joissa VirtualSite-ohjelmistoa käytetään varmasti paljastavat uusia hyötyjä, joita käytöllä on saavutettavissa, sekä lisää konkreettisia esimerkkejä ja tilastollista dataa sen käytön tuomista hyödyistä projektin kussakin vaiheessa. Swecon asiantuntijoiden ja asiakkaiden keskuudessa VirtualSiten käytön toivotaan lähiaikoina yleistyvän, joten myös käyttäjäkokemusten sekä -palautteen kerääminen ohjelmiston kehitystyön tueksi on jatkuvasti hyödyllistä. Swecossa tehdään tällä hetkellä kovasti työtä, jolla lisätään järjestelmien käyttöä asiantuntijoiden parissa monien koulutusten, webinaarien ja pilottiprojektien avulla. Saadut positiiviset kokemukset asiakkailta luovat positiivista tulevaisuutta virtuaalitekniologioiden potentiaalille.

LÄHTEET

Honkajoki Oy. N.d. Growth by recycling. Luettu 1.11.2018 <https://www.honkajoki.fi/en/about-us/>

Kemppainen, J. 2018. Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen tilasuunnittelussa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Kesti, M. 1992. Teollisuusputkistot. Helsinki: VAPK-kustannus.

Kuittinen, T. 2017. Virtuaalitodellisuus vauhdittaa jo myyntiä. Julkaistu 31.5.2017. Luettu 1.11.2018. <https://lehti.mma.fi/markkinointi/virtuaalitodellisuus-vauhdittaa-jomyyntia>

Keskitalo, E. 2018. Mikä on Cove-simulointimalli ja mitä sillä tehdään? Video. Sweco intranet. Katsottu 15.11.2018

Oculus 2018. Oculus Go. <https://www.oculus.com/go/>

Our history. 2017. Sweco intranet – Tietoa Swecosta – Who we are. Luettu 1.10.2018. <http://intranet.sweco.se/fi/Inside-Sweco/Tietoa-Swecosta/Who-we-are/Our-history>

Peltopuro, J. 2006. Suunnittelun tulosaineistot. Pöyry Forest Industry Oy.

Ramaswamy, V. & Ozcan, K. 2014. The co-creation paradigm. Palo Alto: Stanford University Press.

Rovaglio, M., Scheele, T. 2010. The immersive virtual reality plant. Tulostettu 26.9.2018. Invensys Process Systems (S) Pte Ltd. <https://www.processonline.com.au/content/software-it/article/the-immersive-virtual-reality-plant-150580326>

SFS-EN 60079-10-1 2015. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 10-1: Tilaluokitus. Kaasuräjähdyksivaaralliset tilat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 31.10.2018. Vaatii käyttöoikeuden. https://online.sfs.fi/fi/login_direct.html.stx

Statista. 2018. Forecast AR and VR market size worldwide from 2016 to 2022 (in billion U.S. dollars). Tulostettu 1.11.2018. <https://www.statista.com/statistics/591181/global-augmented-virtual-reality-market-size/>

Sulonen, R. 2015. Räjähdyksivaarallisten tilojenluokittelu palavilla kaasuilla, nesteillä ja pölyillä -Luentomateriaali. VTT Expert Services Oy.

Sweco creating clash free construction. 2016. Luettu 26.9.2018. Sweco News. <https://www.sweco.fi/en/news/news-archive/2016/sweco-creating-clash-free-construction/>

Sweco Palvelukuvaus. 2017. Sweco VirtualSite -palvelu. Esite. Sweco.

Symetri. 2017. Miksi tietomallinnus? Tulostettu 28.9.2018. <https://www.symetri.fi/uutiset/kaupungistuminen-ja-tietomallinnus/>

Tekla. N.d. Mitä on BIM? Tulostettu 28.9.2018. <https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>

Tietoa Swecosta. N.d. Luettu 18.9.2018 <https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/>

Työterveyslaitos. N.d. Työtilojen suunnittelu. Luettu 31.10.2018 <https://www.ttl.fi/tyoymparisto/tyotilojen-suunnittelu/>

Virtual Reality Society. N.d. CAVE Fully Immersive Virtual Reality. Luettu 26.9.2018. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-environments/cave.html>

Vive Enterprise 2018. Vive Business Edition VR System. <https://enterprise.vive.com/us/BE/>

VR for design & engineering. 2017. Tulostettu 30.10.2018. <https://www.develop3d.com/features/vr-for-design-engineering>

Yleistietoa Sweco Finlandista. 2017. Sweco intranet – Tietoa Swecosta.