



# Virtuaalitodellisuus talotekniikan hankesuunnittelussa

**Joni Kirjavainen**

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2023

Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

KIRJAVAINEN, JONI:  
Virtuaalitodellisuus talotekniikan hankesuunnittelussa

Opinnäytetyö 29 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia virtuaalitodellisuuden käyttöä rakennusprojektin hankesuunnitteluvaiheessa keskittyen talotekniikan suunnitteluun. Työn alkuvaiheessa selvitettiin teoriaa erilaisten virtuaalitodellisuuden hyödyntämisen mahdollistavien teknologisten ratkaisuiden takana. Tämän jälkeen tutkittiin tarjolla olevia ohjelmallisia ratkaisuja sekä asiaan olennaisesti liittyvän tietomallintamisen ohjeistuksia ja vaatimuksia.

Asiantuntijahaastattelujen perusteella muodostettiin kuva virtuaalitodellisuuden käytön kehityskaaresta käytännössä. Näkökulmia saatiin niin tilaajalta kuin tuottajalta. Asiantuntijahaastattelujen lisäksi hyödynnettiin kirjallista materiaalia projektikertomusten muodossa. Tämän lisäksi käsiteltiin lyhyesti kahden eri toimintamallin soveltuvuutta ja lopputuotetta, minkä jälkeen selvitettiin yksinkertaisen ja laadukkaan virtuaalitodellisuuden hyödyntämisen mahdollistavan laite- ja ohjelmistoratkaisun hankinta- ja käyttökustannuksia.

Tutkimuksen edetessä osoittautui, että virtuaalitodellisuuden käyttö on aalto- maista trendiä toteuttava toimintatapa. Teknologian kehittyessä edelläkävijät ottavat uusia ratkaisuita kokeiluun, mutta ratkaisut eivät ole saavuttaneet pysyvää jalansijaa talotekniikan suunnittelualalla. Suunnittelijoiden keskuudessa teknologian käyttö on nähty lisätyönä eikä sillä ole saavutettu riittävää lisäarvoa. Virtuaalitodellisuutta on kuitenkin käytetty isoissa projekteissa muilla rakentamisen suunnittelualoilla, jolloin myös talotekniikka on ollut mukana.

Opinnäytetyön viimeisessä osiossa pohdittiin suunnittelun kehityskaarta kaksiulotteisesta suunnittelusta kolmiulotteiseen tietomallintamiseen. Ohjelmistojen kehitys on tuonut virtuaalitodellisuuden helposti käytettäväksi, eikä lisätyötä välttämättä enää tarvitse tehdä. Entistä isommat ja haastavammat projektit ovat tuoneet lisävaatimuksia myös tilaajan taholta, mikä osaltaan ohjaa tuottajia uusien tapojen pariin.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC Building Technology

KIRJAVAINEN, JONI:  
Virtual Reality in MEP Design

Bachelor's thesis 29 pages  
April 2023

---

The purpose of this thesis is to examine the usage of virtual reality in the design phase of a construction project, focusing on HVAC design. The thesis begins with a clarification of the theory behind different technological solutions that enable the use of virtual reality. Next, review is given on the available software solutions as well as the requirements and guidelines of building information modeling which is an essential part of the matter.

After the initial theory phase, development curve of the use of virtual reality was formed based on expert interviews. Perspectives were obtained from both the customer and the producer, and some written material was used in form of project reports. In addition, feasibility of two types of workflows and the final product were briefly analysed. Finally, presented acquisition and operating costs for simple yet high-quality hardware and software solutions.

As the work progressed, it quickly became clear that the use of virtual reality is a wave-like trend. Pioneers are testing new solutions as technology develops, but the solutions have not gained a permanent foothold in the field. Mostly the use of virtual reality has been seen as additional work without enough added value.

The last section contains a consideration of the evolution of design from two-dimensional to three-dimensional building information modelling. Software and technology development has made virtual reality easier and cheaper to use. As construction projects have been growing bigger and more complex, it has brought additional demands from customers towards producers and has guided them to new ways of working.

---

Key words: virtual reality, HVAC

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	VIRTUAALITODELLISUUS .....	7
2.1	Teknologiat.....	7
2.1.1	Virtuaalitodellisuus.....	8
2.1.2	Lisätty todellisuus .....	9
2.2	Tietomallintaminen .....	10
2.3	Ohjelmistot .....	12
2.3.1	Vrex .....	13
2.3.2	Enscape .....	14
2.4	CAVE-teknologia.....	15
3	VIRTUAALITODELLISUUDEN KÄYTTÖ .....	17
3.1	Historia .....	17
3.2	Nykytilanne.....	18
3.3	Hyödyt ja haitat .....	19
3.4	Tulevaisuuden näkymät .....	19
3.5	Case TAYS sydänsairaala .....	20
4	VIRTUAALITODELLISUUS RAKENTAMISESSA .....	22
4.1	Erillinen vr-malli.....	22
4.2	Yhdistetty vr-malli.....	23
4.3	Kustannukset .....	24
5	POHDINTA .....	26
	LÄHTEET .....	29

**ERITYISSANASTO**

AR	augmented reality
BIM	building information modeling
CAVE	cave automatic virtual environment
HMD	head-mounted display
IFC	industry foundation class
SLAM	simultaneous localization and mapping
VR	virtual reality

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia, millä tavalla virtuaalitodellisuutta hyödynnetään taloteknisessä hankesuunnittelussa. Keskeisenä asiana suunnittelu- vaiheessa luotavan tietomallin tarkastelu realistisemmassa virtuaalitodellisuudessa virtuaalilasien ja ohjaimien avulla.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa tutustutaan hieman virtuaalitodellisuuteen ja tietomallintamiseen yleisesti. Tämän jälkeen lukija johdatellaan erilaisiin teknologioihin sekä käytettävissä oleviin ohjelmistoihin, joista muutamaa tarkastellaan hieman enemmän.

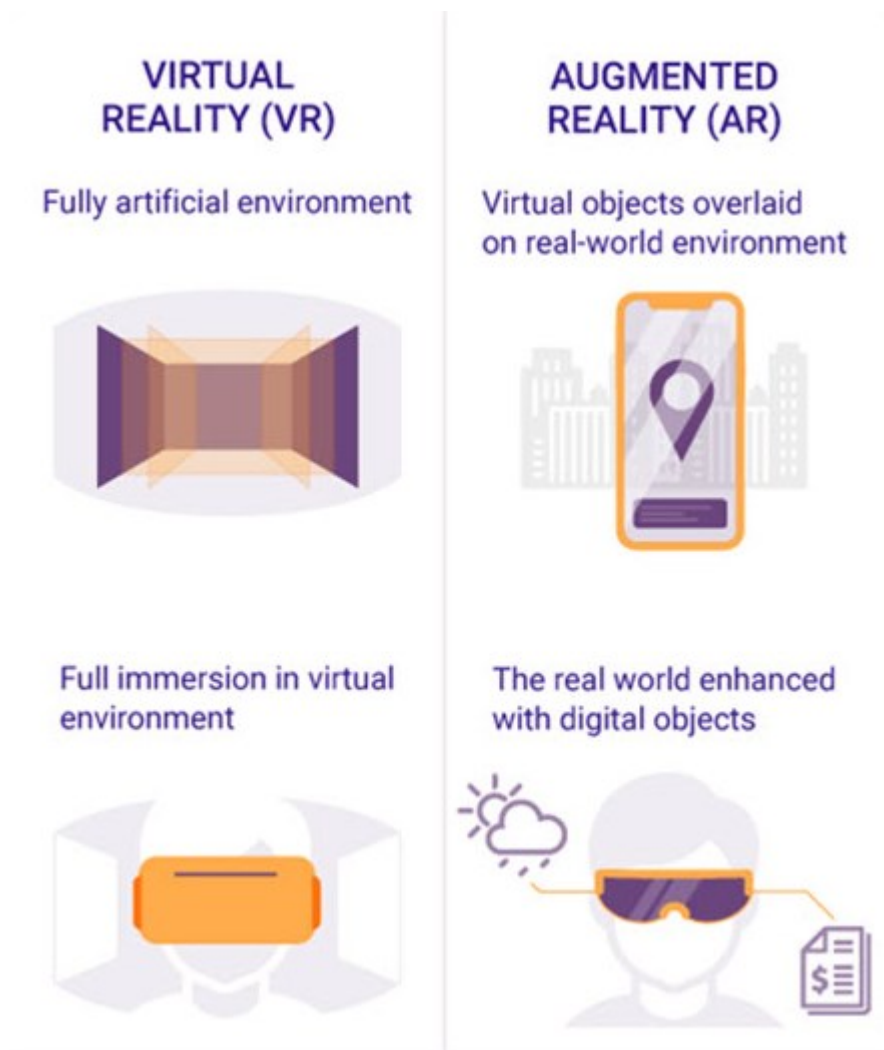
Opinnäytetyötä varten haastateltiin henkilöitä, jotka toimivat keskeisessä asemassa suurien suunnittelutoimistoissa. Heidän näkemyksiään sekä kokemuksiään virtuaalitodellisuuden hyödyntämisessä avattiin käyttäjähaastatteluosiossa. Haastatteluissa kuuluu myös tilaajapuolen näkemys käyttöpäälliköiden osalta.

Lopussa saatujen haastatteluiden vastauksia ja käytettävissä olevia teknologisia mahdollisuuksia sovitetaan yhteen, sekä pohditaan syitä nykyiseen vallitsevaan tilanteeseen. Pohdinnassa pyritään myös tarjoamaan mahdollisuuksia ja luomaan erilaisia skenaarioita tulevaisuudessa hyödynnettäviksi.

## 2 VIRTUAALITODELLISUUS

### 2.1 Teknologiat

Virtuaalitodellisuudella voidaan tarkoittaa karkeasti jaoteltuna kahta asiaa: virtuaalisesti mallinnettua todellisuutta sekä lisättyä todellisuutta. Virtuaalitodellisuudessa ja lisätyssä todellisuudessa on paljon yhtymäkohtia, jonka vuoksi käsitteet saattavat mennä helposti sekaisin. Molempia teknologioita voidaan hyödyntää esimerkiksi viihdeteollisuudessa, markkinoinnissa, koulutuksessa ja teknisessä suunnittelussa. (AR vs VR: Differences between augmented vs virtual reality 2023.)



KUVA 1. VR vs. AR eroavaisuudet. (AR vs VR: Differences between augmented vs virtual reality 2023)

Yhtymäkohdistaan huolimatta, teknologiat eroavat toisistaan tavalla tai toisella, joten seuraavissa kappaleissa käsitellään näitä eroja yksitellen. (AR vs VR: Differences between augmented vs virtual reality 2023.)

### 2.1.1 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus lyhennetään usein kirjainyhdistelmällä VR, joka tulee englannin kielen sanoista virtual reality. Virtuaalitodellisuudella tarkoitetaan teknologista ratkaisua, jonka pyrkimyksenä on tuottaa realistinen ja visuaalinen kuvaus virtuaalisesta kuvasta tai videosta. Käytännössä tällä tarkoitetaan olemassa olevaa virtuaalista kaksiulotteista (2D) videota tai staattista kuvaa, johon lisätään kolmas ulottuvuus (3D) luomaan syvyyttä ja skaalaamaan etäisyyksiä. (What is virtual reality and how does it work 2023.)

Edellä mainittu realismisuus riippuu siitä, minkälaista virtuaalitodellisuuden tasoa tavoitellaan. Puhuttaessa virtuaalitodellisuudesta, niin sanottuja ylätasoja on kaksi: ei mukaansatempaava ja mukaansatempaava. Näistä ensimmäisellä termillä tarkoitetaan esimerkiksi tietokoneen näytöllä näkyvän kolmiulotteisen kuvan tarkastelua vr-laseilla. Tämä virtuaalitodellisuuden taso on halpa, helposti saavutettava ja sitä käytetään paljon muun muassa ensimmäisissä virtuaalitodellisuutta hyödyntävissä peleissä. (Madai 2019.)

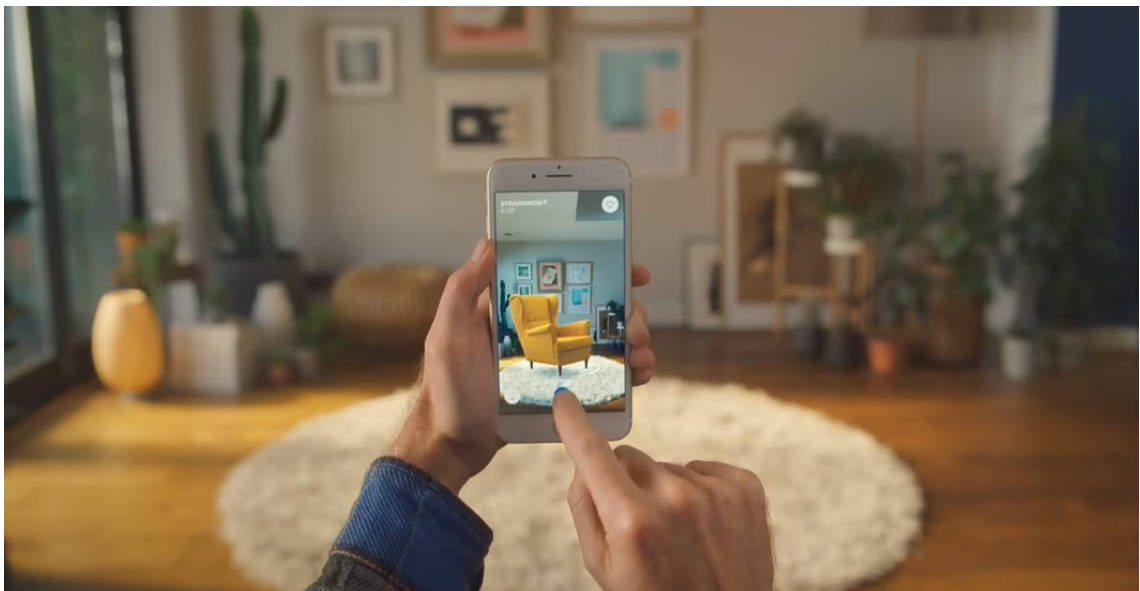
Mukaansatempaava virtuaalitodellisuuden tasossa edellä mainittuun lisätään komponentteja, kuten HMD (head-mounted display), paikka- ja asentoanturin sisältävä ohjain ja tuntohänsikkaat. HMD eroaa tavallisista vr-laseista siten, että niissä on muun muassa silmän liikettä seuraavat kamerat ja kuulokkeet. Näiden avulla saadaan luotua tunne, jossa käyttäjä on osa luotua virtuaalista todellisuutta. Mukaansatempaava virtuaalitodellisuuden taso voidaan saavuttaa vastaavanlaisella tarvikeratkaisuilla kuin ei-mukaansatempaava, mutta tämä vaatii käytettävältä sovellukselta kehittyneempiä ratkaisuja. On myös mahdollista liittää mukaansatempaavaan virtuaalitodellisuuteen CAVE-ratkaisu, jota käytetään esimerkiksi lentosimulaattoreissa. (Madai 2019.)



### 2.1.2 Lisätty todellisuus

Lisätty todellisuus lyhennetään usein kirjainyhdistelmällä AR, joka tulee englannin kielen sanoista augmented reality. Lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan virtuaalisesti luotuja lisäyksiä olemassa olevaan todellisuuteen siten, että virtuaaliset lisäykset voivat vuorovaikuttaa todellisen maailman kohteiden kanssa ja siten luoda tarkoituksellisia vaikutuksia. Se mitä virtuaalisella lisäyksellä tarkoitetaan, riippuu täysin käyttötarkoituksesta. Ne voivat olla esimerkiksi video- tai yksittäiskuvia, ääntä, informaatiota tai mitä tahansa muita yksityiskohtia. (What is augmented reality 2023.)

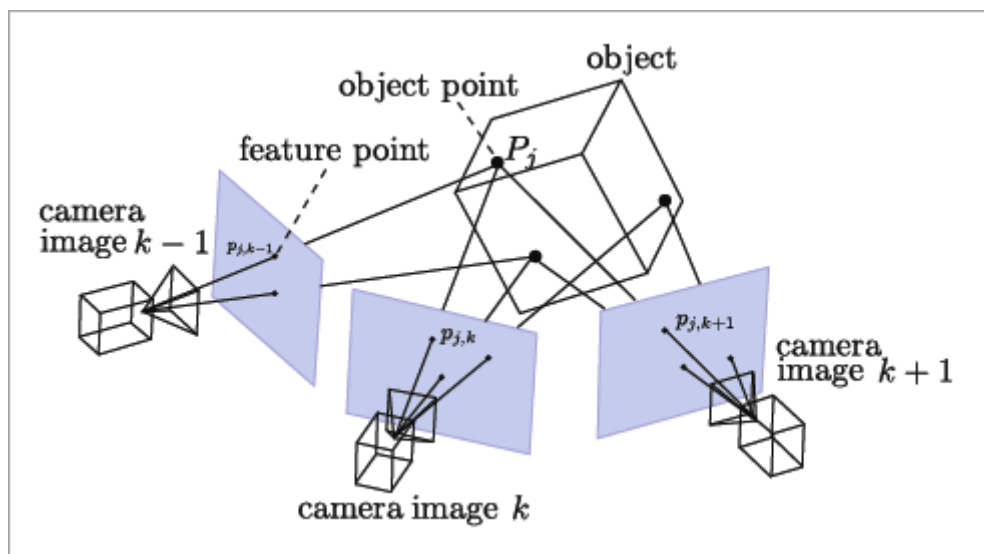
Lisätty todellisuus vaatii laitteistolta hieman enemmän kuin virtuaalitodellisuus. Koska virtuaaliset lisäykset ovat ikään kuin liitteenä todellisen kuvan päällä, niiden täytyy noudattaa oikean kuvan objektien mittasuhteita ja paikkatietoja jottei lopputuloksesta tule päälle liimatun näköinen. NykYTEknologialla tämä on mahdollista tehdä esimerkiksi älypuhelimien kameralla tai vaihtoehtoisesti erillisillä ar-laseilla. Yksinkertaisena esimerkkinä mainittakoon uuden huonekalun sijoittaminen olemassa olevaan tilaan, kuten voi tehdä IKEA Place-sovelluksella



KUVA 2. IKEA Place-sovellus (Say hej to IKEA Place. n.d)

Yksinkertaisesti sanottuna, lisätyn todellisuuden teknologia perustuu siis paikka-mittaukseen. Kameran objekti luo syvyyskartan ja tunnistaa objektien pisteitä, joiden perusteella algoritmit voivat laskea tiedon objektin koosta, sijainnista sekä

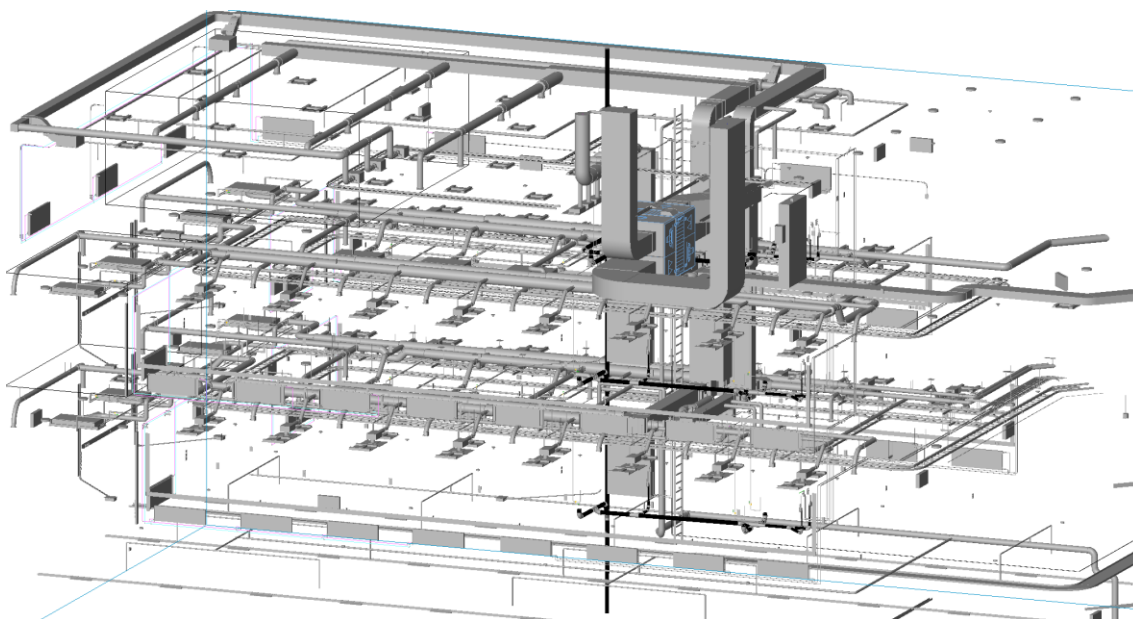
sen mittasuhteista suhteessa ympäristöön. Mikäli kohde tai kamera liikkuu, las-  
kentadata muuttuu jatkuvasti. Tätä teknologiaa kutsutaan SLAM-teknologiaksi, ja  
se lienee suurelle yleisölle tuttu esimerkiksi robotti-imureista.



KUVA 3. SLAM-teknologia visualisoituna (What is augmented reality 2023)

## 2.2 Tietomallintaminen

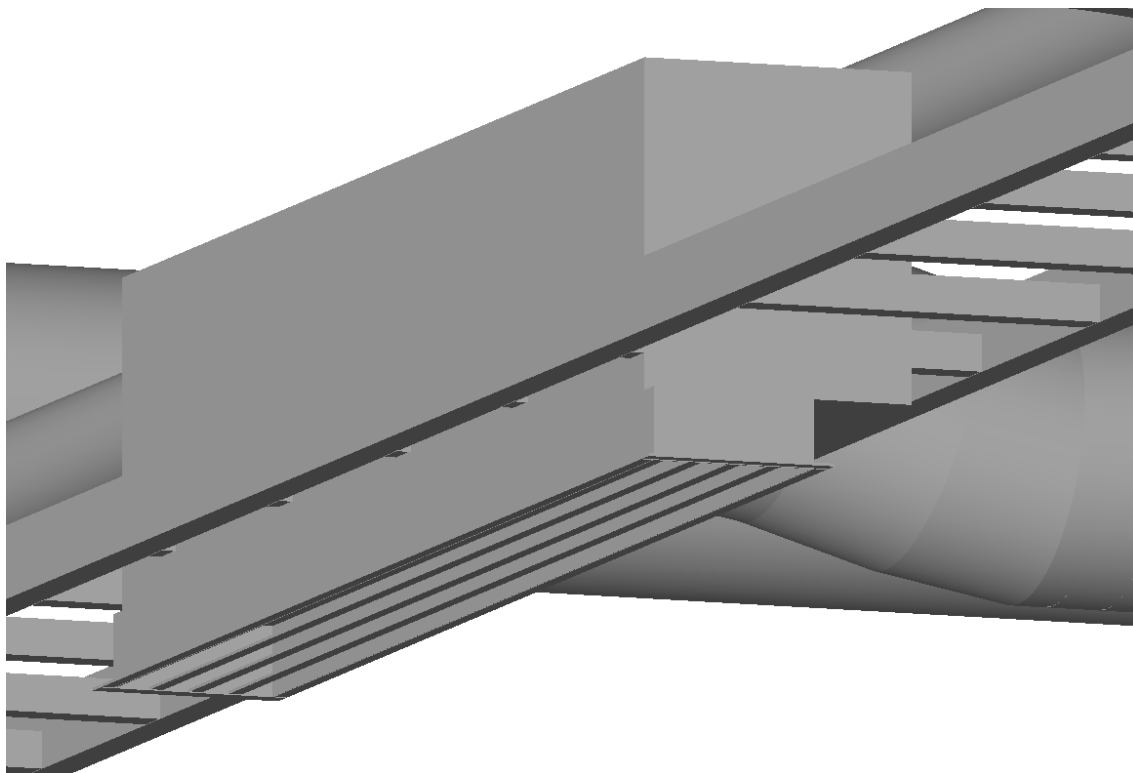
Tietomallintamisella talotekniikassa tarkoitetaan mahdollisimman realistisen mal-  
lin tuottamista perinteisistä suunnittelun tasopiirustuksista. Tietomallissa jokainen  
objekti sisältää kaiken oleellisen tiedon objektin ominaisuuksista ja esimerkiksi  
suunnitelluista säätöarvoista. Tänä päivänä tietomallinnuspohjainen suunnittelu  
onkin arkipäivää rakennusalalla, niin rakentamisen kuin talotekniikan osalta. Eri  
suunnittelualojen luomat mallit yhdistetään ja näin saadaan luotua 3D-malli, jonka  
tarkoitus on vastata tulevaa kohdetta. (Rakennustietosäätö RTS 2012.)



KUVA 4. Yhdistelmämalli ilman arkkitehtipohjaa

Tietomallintamiseen liittyviä vaatimuksia ohjeistetaan esimerkiksi vuonna 2012 julkaistussa Yleiset tietomallivaatimukset-julkaisusarjassa. Merkillepantavaa on, että kyseinen julkaisusarja ei suoranaisesti ohjeista tiettyjen työkalujen tai toimintatapojen käyttöä mallinnuksessa vaan ainoastaan vaadittua tietosisältöä. Tästä esimerkkinä järjestelmien, komponenttien ja itse ifc-mallin nimeämiskäytännöt. Tästä poikkeuksen tekevät hanke- ja yleissuunnitteluvaiheessa tehtävät tilavauaukset sekä vaakasuuntaisten kerrosverkostojen mallinnus runkoverkoston osalta. Näiden osalta tärkeintä on geometria, eikä tietosisällölle aseteta erillisiä vaatimuksia. Yleissuunnitteluvaiheessa kohteesta valitaan tila, jota tarkastellaan yksityiskohtaisemmin ja siitä luodaan myös niin sanottu mallihuone tai -alue. Mallihuoneen tarkkuuden pitää olla riittäväällä tasolla, jotta kaikkien komponenttien mahtuminen voidaan varmistaa. (Rakennustietosäätiö RTS 2012.)

LVI-järjestelmät tulee mallintaa objekteilla, jotka vastaavat todellisuutta, kaupallisia tuotekirjastoja hyödyntämällä. Järjestelmiin kuuluvat linjat tulee varustaa eristeillä tarpeen mukaan, jotta mallia voidaan hyödyntää törmäystarkastelussa. Mallinnuksen realistisuudesta poikkeuksen tekevät kiinnitystarvikkeet, joita ei tarvitse mallintaa ollenkaan. Niin ikään poikkeuksen tekevät myös tekniset tilat ja esimerkiksi ilmanvaihtokonehuoneet, joissa on poikkeuksia laiteryhmiensä osalta. Näiden kohdalla riittää tarkempi esitystapa toimintakaavioiden avulla. (Rakennustietosäätiö RTS 2012.)



KUVA 5. Päätelaitte törmää kaapelihyllyyn

Yleisissä tietomallivaatimuksissa on maininta myös suunnitelmien havainnollistamisen osalta. Varsinaiset vaatimukset jätetään kuitenkin projektikohtaisesti harkittaviksi, eikä niiden tietosisällöstä ole esitetty yleisen tason vaatimuksia. Suunnittelumallia voidaan käyttää havainnollistamiseen, mikäli suunnittelumalli on toteutettu riittävän laadukasta lopputulosta tuottavalla ohjelmistolla. Ensisijaisesti suunnittelumallin on kuitenkin palveltava omaa suunnittelualaa koskevia tarpeita. Mikäli nämä tarpeet ovat ristiriidassa havainnollistamisen tarpeiden kanssa, suunnittelualakohtaiset tarpeet menevät edelle. Suunnittelijan tuottamille havainnollistamisdokumenteille on julkaisusarjassa esitetty esimerkkejä, mutta ei yleisiä vaatimuksia. (Rakennustietosäätiö RTS 2012.)

### 2.3 Ohjelmistot

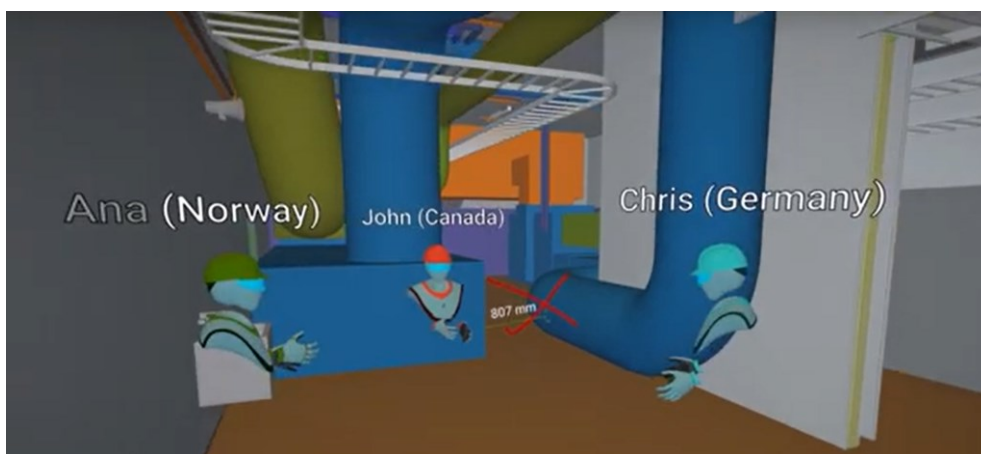
Jotta luotua tietomallia voidaan tarkastella edellä mainituilla virtuaalitodellisuuden keinoilla, täytyy käyttäjällä olla käytössään tarkoitukseen suunniteltu ohjelmisto sekä yhteensopivat virtuaalilasit ohjaimineen. Seuraavissa osioissa esitellään lyhyesti muutama erilainen ohjelmisto tämän toteuttamiseen.

### 2.3.1 Vrex

Vrex on erillinen, hyvin matalan kynnyksen ohjelmisto, jolla on mahdollista luoda virtuaalinen kokoushuone tietomallin sisälle. Tämä mahdollistaa tietomallin luomisen millä tahansa mallinnusohjelmistolla, sillä ohjelmisto tukee muun muassa ifc-tiedostomuotoa. (How Vrex works 2023.)

Ohjelmiston käyttö vaatii yhden pääkäyttäjän, joka voi luoda projektin, tuoda projektiin tarvittavat tiedostot sekä luoda virtuaalisen kokoushuoneen. Projektin hallinta on toteutettu verkkoselainpohjaisesti. Kun pääkäyttäjä on luonut virtuaalisen kokoushuoneen, voi hän jakaa kutsuja muille käyttäjille. Muut käyttäjät voivat joko luoda oman tunnuksensa Vrex-portaaliin tai liittyä kokoushuoneeseen pääkäyttäjän jakamalla kutsutunnuksella. (How Vrex works 2023.)

Kaikki kokoukseen osallistujat voivat käyttää mikrofonia ja heidän hahmonsia näkyvät muille osallistujille. Kokouksessa voidaan siis suorittaa yleistä mallintarkastelua omatoimisesti tai kutsua kaikki osallistujat yhteen tilaan tarkastelemaan mallinnuksen tuloksia. Kukin käyttäjä osallistuu kokoukseen käyttäen omia virtuaalilasejaan. Käyttäjät voivat tarkistella mallia joko yhdessä tai erikseen. Kunkin käyttäjän virtuaaliset hahmot näkyvät muille käyttäjille, ja käyttäjät voivat luonnollisesti kommunikoida keskenään. Näin yhteistyössä useiden suunnittelualojen kanssa pidettävissä kokouksissa kukin tietää kenelle puhuu. (How Vrex works 2023.)



KUVA 6. Vrex-kokous ilmanvaihtokonehuoneessa (How Vrex works 2023)

### 2.3.2 Enscape

Enscape on korkeatasoinen renderöntiohjelmisto, jolla voidaan tuottaa hyvin realistista kuvaa. Realistisen lopputuloksen saaminen edellyttää kuitenkin laadukasta arkkitehtipohjaa sekä osaamista muun muassa eri materiaalien ilmaisemiseen mallissa. Enscape toimii mallinnusohjelmiston lisäosana, jonka voi asentaa esimerkiksi Autodesk Revit-ohjelmiston päälle. Tuki löytyy myös muutamalle muulle mallinnusohjelmalle, mutta tarkistelu keskittyy talotekniselle alalla sopivan Revit-ohjelmiston näkökulmasta. Enscape toimii ensisijaisesti LiveSync-toiminnolla, jolloin olemassa oleva Revit-projekti avataan esimerkiksi kaiken kattavaan 3D-näkymään ja käynnistetään renderöinti. (3D rendering in Autodesk Revit 2023.)



KUVA 7. Tekninen tila renderöitynä Enscapella (Stine 2021)

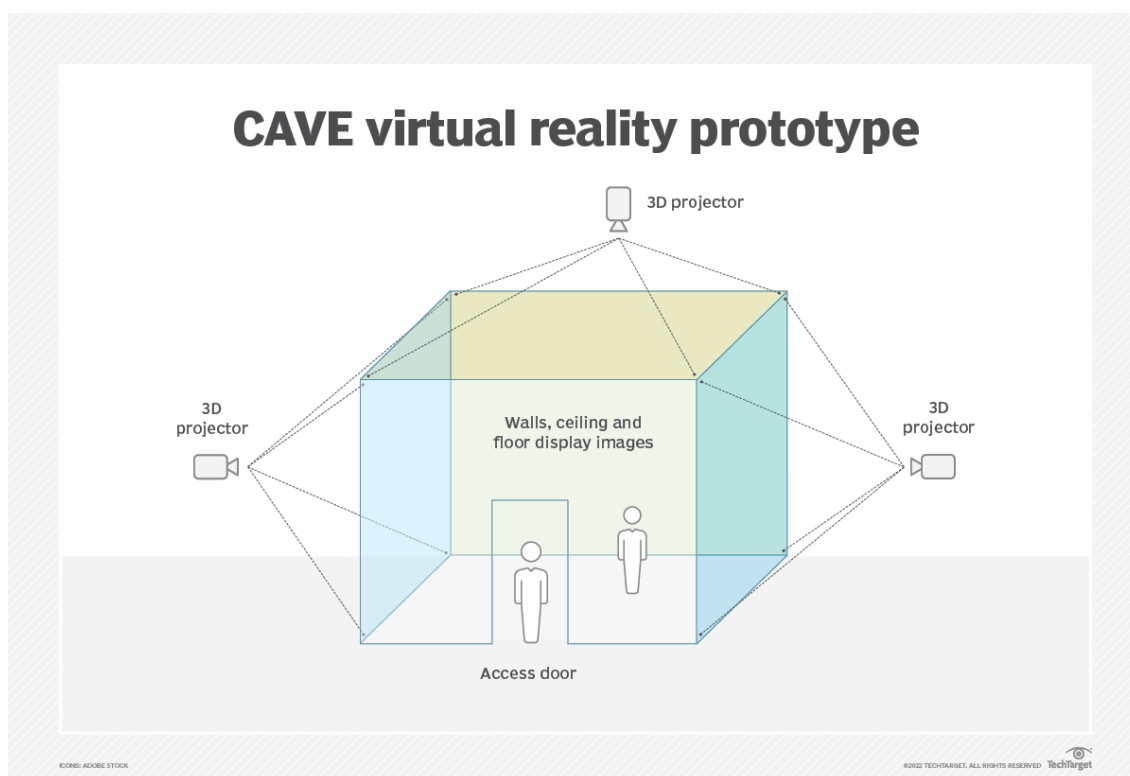
Tarvittaessa voidaan myös avata yksittäisen suunnittelualan näkymä ja tarkastella pelkästään sitä. Näkymät toteutetaan Revitillä, joten vaihtoehtoja erilaisten suodattimien kanssa on rajattomasti, riippuen toki siitä miten projektin malli on toteutettu. Renderöidyn mallin sisällä pystyy liikkumaan helposti ja sujuvasti. Tietomalliobjektien tiedot saadaan todella kattavasti näkyviin, sillä saatavilla ovat kaikki parametrit, jotka Revitin projektiasetuksista on otettu käyttöön. (3D rendering in Autodesk Revit 2023.)

Enscapen renderöityä näkymää voidaan tarkastella työpöytä- tai virtuaalilasitilassa. Tilaa voidaan myös vaihtaa kesken mallin tarkastelun. Enscapen erikokoisuus on erillinen renderöidyn mallin export-toiminto, joka luo .exe-tiedoston mallista, jonka voi jakaa ja avata ilman, että käyttäjällä on asennettuna mallinnusohjelmaa tai Enscapen lisäosaa. Tämä on tosin toiminnoiltaan rajoitettu, lähinnä tiedoston jakamiseen visuaalista tarkastelua varten luotu ominaisuus. Ominaisuus on kuitenkin hyvä, sillä se mahdollistaa entistä paremmin eri sidosryhmien osallistumisen tarkasteluun ilman raskaita ohjelmistoja ja kalliita lisenssejä. (Explore Enscape`s core features 2023.)

## 2.4 CAVE-teknologia

CAVE on tietyllä tavalla virtuaaliodellisuuden korkein muoto. Sillä tarkoitetaan virtuaaliodellisuuden ympäristöä, joka koostuu kuution muotoisesta tilasta tai vaihtoehtoisesti mikä tahansa huonetila, jonka seinät, lattia ja katto muodostavat projektiopinnan. Tilassa olevalla käyttäjällä on käytössä joka virtuaalilasit tai visioinäyttö (hmd) näkemiseen, jonka lisäksi käyttäjä voi vuorovaikuttaa virtuaaliodellisuuteen erilaisten käsiohjainten tai datahansikkaiden avulla.

Näiden lisäksi huonetilassa on liikeanturit, ja tästä kokonaisuudesta muodostuu mukaansatempaava virtuaaliodellisuuden ympäristö, jota voi käyttää samanaikaisesti myös useampi käyttäjä. Käyttäjän käyttämät näkemisen välineet ovat synkronoitu huoneen projektorien kanssa, ja he voivat liikkua tilassa sekä tutkia sitä useista eri kulmista. (Kirvan 2022.)



KUVA 8. Havainnekuva CAVE-huoneen rakenteesta (Kirvan 2022)

CAVE-huoneessa voi olla myös kaiuttimet, jolloin käyttäjälle saadaan myös ympäristöön kuuluvia ääniä lisäämään realistisuuden tunnetta. Mikäli käyttäjällä on datahansikkaat, on mahdollista myös luoda tunne kosketuksesta. Esimerkiksi mikäli käyttäjä tarttuu mallissa olevaan objektiin, hansikas pystyy rajoittamaan sormien liikettä siten, että käyttäjälle syntyy tunne kuin hän oikeasti olisi tarttunut johonkin fyysiseen objektiin. (Muhanna 2015.)



### 3 VIRTUAALITODELLISUUDEN KÄYTTÖ

Aiheen tiimoilta haastateltiin henkilöitä, jotka työskentelevät tai ovat työskennelleet taloteknisten hankkeiden suunnittelussa eri työtehtävissä ja joilla on kokemusta virtuaalitodellisuuden käyttämisestä suunnitteluvaiheessa. Näkemyksiä saatiin niin tilaajan kuin tuottajankin kokemuksista. Tämän kappaleen osiot 3.1–3.4 perustuvat kyseisiin asiantuntijahaastatteluihin.

#### 3.1 Historia

Ensimmäisiä kertoja virtuaalitodellisuuden käyttöä suomalaisessa talotekniikka-suunnittelussa on kokeiltu 2000-luvun alkupuolella. Tässä vaiheessa tekniikkana oli raskas cave-virtuaalitila, jonka hyödyntäminen ja ylläpito vaati mallintajilta suuren määrä erillistä, projektiin suoraan kuulumatonta työtä. Voidaan kenties perustellusti todeta, että aika ja teknologia ei ollut vielä kypsä virtuaalitodellisuuden hyödyntämiseen.

Ensimmäisten vr-lasien tullessa markkinoille noin 2010-luvun puolivälissä aihe koki uuden tulemisen, tai ainakin sitä yritettiin. Vr-lasien käyttö toi prosessin huomattavasti kevyemmäksi ja sitä kautta matalammalla kynnyksellä toteutettavaksi. Taloteknisten suunnittelijoiden keskuudessa asia ei kuitenkaan saanut kovinkaan suurta nostetta alleen. Asia koettiin lähinnä kivana lisämausteena, mutta ei kovin tarpeellisena. Joitain kokeiluita ja toimintamallien kehittämistä kuitenkin tehtiin muutaman vuoden aikana, mutta vieläkään ei löydetty käytännöllistä ja mielekästä keinoa hyödyntää virtuaalitodellisuuden täyttä potentiaalia.

Asiaa esiteltiin suunnittelijoiden lisäksi myös urakoitsijoille ja valvojille, joiden keskuudessa virtuaalitodellisuuteen suhtauduttiin mielenkiintoisemmin ja sen hyödyt nähtiin selkeämmin. Valitettavasti heidän keskuudessaan ei suoraan löytynyt riittävää osaamista tällaisten toimintamallien käyttöönottoon ja ylläpitoon, eikä toisaalta riittävää halukkuutta löytynyt palvelusta maksamiseen. Arkkitehtien puolella asiaan on aina suhtauduttu positiivisemmin ja virtuaalitodellisuuden käyttö

on huomattavasti yleisempää, johtuen työn luonteeseen kuuluva visuaalisuuden tärkeydestä.

### 3.2 Nykytilanne

Tällä hetkellä virtuaalitodellisuuden käyttö on edelleen vähäistä taloteknisen suunnittelun kohdalla. On havaittavissa melko selkeitä jakolinjoja niin isojen kuin pienten projektien sekä modernia koulukuntaa että perinteisempää koulukuntaa edustavien suunnittelijoiden välillä. On havaittu myös selkeää aaltoilua tekniikan käyttöönoton lanseeraamisessa. Virtuaalitodellisuuteen liittyvät teknologiat, laitteistot sekä ohjelmistot ovat kehittyneet ja kehittyvät edelleen jatkuvasti. Tämä kehitys vaikuttaa niin käytettävyyden helpottumisena kuin hinnan halventumisena.

Tänä päivänä tietomallintamisen osuus on erittäin suuri, ja käytännössä yhtäkään merkittävää projektia ei tehdä ilman yksityiskohtaista mallintamista. Tämä johtaa siihen, että erillistä mallinnustyötä suunnittelusta ei enää tarvitse tehdä. Lisäksi suunnittelu-, tai tarkemmin sanottuna mallinnusohjelmistot ovat niin kehittyneitä, että mallintamisen tulosten tarkastelu virtuaalitodellisuudessa tapahtuu niin sanotusti nappia painamalla. Ainoastaan realistisen mallinnustuloksen esittäminen vaatii edelleen jonkin verran käsityötä.

Vaikka suunnittelussa ei virtuaalitodellisuuden käyttäminen ole kovinkaan yleistä, löytyy ainakin isoimmilla tilaajilla kiinnostusta asiaa kohtaan. Tämä on johtanut siihen, että tilaajalla saattaa olla itsellään hyvinkin korkeatasoiset laitteistot mallien tarkasteluun. Muun muassa yksi Suomen suurimmista kaupungeista on hiljattain investoinut CAVE-tilaan. Toki on mainittava, että tilan käyttö ei suinkaan ole kohdistettu pelkästään talotekniikan suunniteluun tarkasteluun, vaan pääasiallinen käyttö on rakenteellisten ratkaisuiden tarkastelu. Luonnollisesti talotekninen osuus kulkee tässä kokonaisuudessa mukana.

### 3.3 Hyödyt ja haitat

Virtuaalitodellisuudella ja sen käytöllä suunnittelussa on sekä hyötyjä että haittoja. Hyödyllisenä asiana nähdään entistä realistisempi mallin tarkastelu, joka saattaa parhaimmillaan johtaa jopa suurien virheiden estämiseen. On myös kokemuksia suunnittelutyön muutoksista loppukäyttäjän kommenttien perusteella, jolloin on vältytty turhalta työltä ja merkittävilta kustannuksilta. Pahimmassa tapauksessa käyttötarkoitukseen soveltumaton lopputulos voi johtaa koko hankkeen myöhästymiseen, mikäli jouduttaisiin purkamaan juuri valmistunutta.

Haittapuolena voidaan nähdä muun muassa se, että heti alkuvaiheessa tehdään liian tarkkoja, osittain asiaan kuulumattomia detaljeja, joiden perusteella asiakas saattaa saada väärän käsityksen jonkin asian kuulumisesta sovittuun suunnitteluprojektiin. Yleisesti ottaen haittapuolia nähdään melko vähän.

### 3.4 Tulevaisuuden näkymät

Kuten jo aiemmin mainittua, tällä hetkellä virtuaalitodellisuuden käyttö on vähäistä, mutta pieniä merkkejä uudesta tulemisesta on kuitenkin havaittavissa. Joillain suurilla tilaajaosapuolilla on rakennettuna hiljattain päivitettyjä cave-tiloja ja myös suunnittelupuolella on ylläpidetty teknologiset edellytykset halukkaille käyttäjille. On myös havaittavissa markkinoinnin heräämistä ja osa yrityksistä jopa tarjoaa näkyvästi virtuaalitodellisuuteen liittyviä mallinnuspalveluja.

Nykyteknologialla virtuaalitodellisuus on hyvin vähäinen lisätyö, ja sen hyödyt tunnustetaan eri osapuolten keskuudessa, ainakin jossain määrin. Yhtenä merkittävänä tekijänä uusien teknologioiden ja toimintatapojen käyttöönottoa hidastamassa on alalla vallitseva muutosvastarintaisuus. Hidas muutoksen prosessi vaikuttaa muun muassa käytettyjen suunnitteluohjelmistoihin, joissa edelleen on laajalta käytössä kaksiulotteiseen suunnitteluun tarkoitettut ohjelmistot. Muutosprosessista kolmiulotteisten mallintamisohjelmistojen tulemiseen on puhuttu vuosia, silti prosessi etenee hitaasti.

### 3.5 Case TAYS sydänsairaala

Tampereen yliopistollisen sairaalan pihapiiriin rakennettiin vuosien 2018–2020 aikana kolme uutta rakennusta. N-rakennus, eli uusi sydänsairaala valmistui ensimmäisenä avautuen toukokuussa 2018. Samassa yhteydessä rakennettiin laaja maanalainen pysäköintialue, jonka osittainen käyttöönotto toteutettiin samanaikaisesti sydänsairaalan avautumisen kanssa. Kustannusarvio sydänsairaalan hankkeelle oli noin 35 miljoonaa euroa. (Valli & Ahti-Virtanen 2018.)

Sydänsairaalan toiminta sisältää laajan kokonaisuuden, muun muassa lähes kymmenen toimenpidesalia, 24-paikkaisen valvontaosastokokonaisuuden, 100 vuodepaikkaa sekä henkilökuntaakin noin 450 työntekijää. Suuri kokonaisuus ja kiireinen sekä kriittinen toiminta edellytti hankkeen alusta alkaen hyvää, käytännönläheistä suunnittelua, jolla varmistetaan arkipäivän toimintojen sujuvuus. (Valli & Ahti-Virtanen 2018.)

Virtuaalitodellisuus valjastettiin hankkeen käyttöön jo hyvin varhaisessa vaiheessa sairaalan pohjapiirustuksen ja huonesuunnitelmien ollessa alustavasti hahmollaan. Kriittisimmät osat rakennuksesta mallinnettiin virtuaalimalliin, jota käytiin läpi 3d-lasien avulla. Mallin tarkasteluun osallistui myös henkilökunta jopa poikkeuksellisen laajasti, sillä jokaiselle kerrokselle oli nimetty oma työryhmänsä, jonka edustukseen kuului eri ammattiryhmiä, tulevia käyttäjiä. Konkreettisimmillaan tarkasteltiin potilaskuljetuksen onnistumista varmistaen sairaalasängyn esteetön liikkuminen siirtotilanteessa tiettyä reittiä pitkin. (Valli & Ahti-Virtanen 2018.)

Edellä mainitut kerroskohtaiset työryhmät olivat oleellisessa osassa virtuaalimallin tarkastelun hyödyntämisestä. Työryhmät muodostivat toiminnallisen suunnitelman erilaisista skenaarioista ja päivittäisistä toiminnoista, joita tiloissa tultaisiin toteuttamaan. Näiden perusteella suunnitelmia kehitettiin, jotta tila- ja toimintaratkaisusta saadaan toteuttamiskelpoiset. Vertailukohta vanhoihin toimitiloihin oli olemassa, ja ongelmakohdatkin selkeästi tiedossa. Toimintojen hajaantuminen kauaksi toisistaan hankaloitti päivittäistä työskentelyä, ja parhaimmillaan uusissa

tiloissa saavutettiin potilassiirtojen matkan pituuden lyheneminen jopa 90 prosentilla sekä käyttää siirtoihin huomattavasti vähemmän resursseja. (Valli & Ahti-Virtanen 2018.)

Tilojen tarkka tarkistelu koskeen myös taloteknisiä ratkaisuja, joita sairaalaympäristössä on lukuisia. Omat haasteensa luo laajan kokonaisuuden yhteensovittaminen eri suunnittelualojen sekä eri suunnittelijoiden kesken. Kaiken kaikkiaan hankkeen talotekniseen suunnitteluun osallistui 28 eri suunnittelijaa. Kaikkien suunnittelualojen ratkaisut on mallinnettava sentin tarkkuudella, jotta kalliilta ja mahdollisesti myös lopulliseen toimivuuteen vaikuttavilta muutoksilta vältyttäisiin. (Valli & Ahti-Virtanen 2018.)

## 4 VIRTUAALITODELLISUUS RAKENTAMISESSA

Erilainen työnkulku ja käytössä olevat ohjelmistot vaikuttavat merkittävästi siihen, kuinka paljon resursseja ja lisätyötä virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen tietomallin tarkastelussa vaatii. Seuraavissa osioissa tarkastellaan kahta erilaista toimintamallia ja niiden vaatimuksia sekä lopputulosta toteutuneessa tapauksessa. Vertailussa tarkastellaan vuonna 2016 toteutettua pienen datakeskuksen suunnittelua. Suunnittelu on toteutettu talotekniikan osalta MagiCAD for AutoCAD -ohjelmistolla ja rakenteelliselta osalta AutoCAD Architecture-ohjelmistolla. Mallinnus kattaa 8500 kerrosneliötä.

### 4.1 Erillinen vr-malli

Ensimmäisessä vaiheessa suunnitelluista malleista luodaan IFC-malleja AutoCAD-ohjelmistolla. Nämä mallit tuodaan 3d Studio Max-ohjelmistoon. 3d Studio Max kuuluu Autodesk-yhtiön tuoteperheeseen, ja sitä käytetään erilaisten mallien visuaaliseen optimointiin. Toisessa vaiheessa suoritetaan karkea optimointi poistamalla turhia objekteja sekä monikulmioiden optimointi muutamaan kertaan. Optimoidusta mallista luodaan fbx-formaatin tiedosto, jota käytetään kolmannessa vaiheessa mallin realisointiin Unity-pelimoottoriin, jonka avulla tuotetaan lopullinen tarkasteltava malli Vive hmd-laitteistolle.



KUVA 9. Erillinen virtuaalimalli

Edellä kuvatulla toimintamallilla saadaan tuotettua geometrisiltä ominaisuuksiltaan kohtalaisen tarkka malli, jonka sisällä käyttäjä pystyy liikkumaan. Kuten huomataan, tämä työskentelymalli sisältää useita eri kohtia ja työvaiheita ja siten vaatii myös paljon aikaa. Yhteenlasketut työtunnit toteutukselle oli noin 50 tuntia.

#### 4.2 Yhdistetty vr-malli

Ensimmäisessä vaiheessa aiemmin luodut IFC-mallit tuotiin Revit 2017 ohjelmistoon käyttäen ohjelmiston automaattista konvertointitoimintoa. Tästä Revit-mallista otetaan realistinen malli ilman mitään erillistä käsin tehtyä optimointia, ja tätä mallia tarkastellaan vr-laseilla.



KUVA 10. Yhdistetty virtuaalimalli

Kuten huomataan, työvaiheita on huomattavasti vähemmän ja manuaalista lisätyötä on murto-osa edelliseen työskentelymalliin verrattuna. Käytetty työaika kokonaisuudessaan noin 1 h 1 min 30 sek. Tästä ajasta suurin osa, noin tunti, meni IFC-mallien luomiseen. Kyseessä on toiminto, joka voidaan helposti automatisoida tapahtumaan esimerkiksi yöllä.

### 4.3 Kustannukset

Kuten aiemmin todettua, virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää useilla erilaisilla teknisillä ja ohjelmallisilla ratkaisulla. Tästä johtuen myös kustannukset voivat vaihdella merkittävästi. Esimerkin omaisesti selvitettiin yksinkertaisen mutta laadukkaan kokoonpanon kustannukset, jotka esitettiin taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Esimerkkikustannukset

Väline	Kustannus (€)	Määrä	Lähde 03/2023
HTC Vive Pro full kit	1170	1/käyttäjä	<a href="https://www.power.fi/">Power.fi</a>
Chaos Enscape	440/v	1/työasema	<a href="https://www.arksystems.fi/">ArkSystems Oy</a>
kelluva	880/v	1/max 20 käyttäjää	



Yksinkertainen, mutta laadukas kokoonpano voidaan saavuttaa siis noin 2000 € kertainvestoinnilla ja alle tuhannen euron vuosikustannuksilla. Laskelmissa ei ole huomioitu käytettävää suunnitteluohjelmistoa, sillä nämä kustannukset ovat jo olemassa, käytettiin virtuaalitodellisuutta tai ei. Kokoonpanon toimivuuden maksimointi varmistetaan sillä, että itse suunnittelutyö on tehty esimerkiksi Autodesk Revit-ohjelmistolla, jolloin erillistä muuntamista tai käsittelyä ei tarvita.

Jotta lopputuloksesta tulisi mahdollisimman realistinen, vaaditaan laitteiston ja ohjelmiston lisäksi hieman pohjatyötä, kuten aiemmassa kohdassa 2.3.2 mainittiin. Revit-ympäristössä tämä pohjatyö on mahdollista tallentaa projektin muottiin (template), joten tätä työtä ei tarvitse toistaa usein. Mikäli suunnittelu on alusta alkaen toteutettu mallintamisperiaatteella, ei esitetyllä kokoonpanolla käytännössä vaadita minkäänlaista lisätyötä, jotta mallia voidaan tarkastella virtuaalitodellisuutta hyödyntämällä.

Virtuaalitodellisuuden käyttämiseen on myös lukuisia muita ratkaisuita, aina eri valmistajien tarjoamista laseista simulaatiokypärään sekä cave-tiloja. Varsinkin viimeisimpänä mainittu voi koostua lukuisista eri komponenteista erilaisissa tilaratkaisuissa, joten esimerkkihinnan ja kokoonpanon laskeminen ei ole mielekäästä.

## 5 POHDINTA

Lähdettäessä tutkimaan aihetta, kirjoittajalla oli mielikuva siitä, ettei virtuaalitodellisuutta välttämättä hyödynnetä kaikessa siinä laajuudessaan mitä olisi mahdollista. Teknologia on ollut olemassa jo pitkään, mutta sen käyttöönotto on ollut sekä työlästä että kallista suhteutettuna silloisiin työskentely- ja toimintatapoihin. Tarkemmin sanottuna, mikäli koko projektin suunnittelu perustuu kaksiulotteisiin mallinnuksiin sekä tulostettuihin paperikuviin, ei virtuaalitodellisuuden käyttämisellä tuoda varsinaista lisäarvoa. Kun tähän vielä lisätään ainakin osittain vallinnut kulttuuri suunnittelun ja toteutuksen välillä olevista hyvin ohuista siteistä on helppo ymmärtää nihkeä vastaanotto, varsinkin maksavan osapuolen suunnalta.

On myös otettava huomioon teknologisten ratkaisuiden huomattava kehitys, niin mallintamiskulttuurin, virtuaalitodellisuuden kuin mallinnusohjelmistojen osalta. Siinä missä aiemmin piirustuksissa näkyvä päätelaite on kuvattu ainoastaan kaksiulotteisella symbolilla, on tänä päivänä mahdollista käyttää tuhansien realistisesti mallinnettujen tuotteiden kirjastoa suunnittelutyön apuna. Suunnittelukulttuurin osalta muutos kaksiulotteisten paperiversioiden tuottamisesta realistiseen ja aidosti toteuttamiskelpoiseen tietomalliin on huima. On ollut nähtävissä, että tietomalli on siirtynyt lisätuotteesta päätuotteeksi, jolloin paperiversiot ovat enää lupaprosessin ”pakollinen paha”, lisätyövaihe.

Käytettävät työkalut tuovat oman osansa muutokseen. Maailmanlaajuisesti erittäin paljon käytössä oleva AutoCAD on kaikkine hyvine ominaisuuksineen kuitenkin pohjimmiltaan suunniteltu käytettäväksi kaksiulotteisessa toimintaympäristössä. Erilaisilla lisäosilla ohjelmistoa on mahdollista käyttää onnistuneeseen tietomallintamiseen, mutta useassa asiassa joudutaan tekemään kompromisseja tai vähintäänkin ylimääräistä työtä. Tämä ylimääräinen työ on pois suunnittelijan jo valmiiksi niukoista aikaraameista, joten on myös helppo ymmärtää, miksi joidenkin suunnittelijoiden keskuudessa virtuaalitodellisuus on nähty tarpeettomana lisätyövaiheena.

Vielä tänäkään päivän ei ole täysin yksiselitteistä toimintamallia tai standardisoituja vaatimuksia tietomallintamiseen tai sen sisältöön. Kuitenkin suomessa yleiset tietomallivaatimukset-julkaisusarja on jo vuonna 2012 vastannut vaatimuksiin, joita lisääntynyt tietomallin käyttö rakennusalalla on asettanut. YTV2012 on erittäin laaja ja osittain hyvin yksityiskohtainen tietolähde, ja mikäli suunnittelussa on käytetty kyseistä julkaisusarjaa ohjenuorana, on suunnitelmalla täydet edellytykset toimia lähes sellaisenaan virtuaalitodellisuudessa tehtävän tarkastelun pohjana. On kuitenkin syytä pitää mielessä, että YTV2012 ei ole vaatimus tai virallinen määräys, joten sen käyttö saattaa vaihdella hyvinkin paljon eri toimijoiden välillä. Toisaalta, mikäli suunnittelun lähtökohtana on realistisen mallin luonti, on lopputulos vähintäänkin hyvin lähellä yleisiä tietomallivaatimuksia.

Yksi merkittävä tekijä virtuaalitodellisuuden käytön yleistymiselle tulevaisuudessa on teknologian kehittyminen. Siinä missä aiemmin on vaadittu kallista ja työlästä cave-tilaa on tänä päivänä korkealaatuisen vr-headsetin hankinta mahdollista kenelle tahansa. Markkinoilla on paljon tarjontaa, joka tarkoittaa luonnollisesti myös kilpailua hinnoissa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan väittää, että virtuaalitodellisuuden käyttämättömyyden perustelu taloudellisilla seikoilla kertoo enemmän perustelun esittäjän tietämättömyydestä aiheesta. Asiaa on syytä tarkastella myös toisesta näkökulmasta, nimittäin näyttötekniikan kehittämisestä. On täysin normaalia, että esimerkiksi neuvotteluhuoneissa on valtavan kokoisia teräväpiirtonäyttöjä, joista voidaan tarkastella osaavan suunnittelijan luomaa tietomallia hyvinkin realistisesti. Kun paikalla tarkistelemassa on vielä asiaa tuntevia osapuolia, on perusteltua esittää kysymys mitä lisäarvoa virtuaalitodellisuus tähän enää tuo?

Edellä esitettyyn kysymykseen ei välttämättä ole yhtä oikeata vastausta. Lisäarvo riippuu tilanteesta. Kenties suurempaa lisäarvoa onkin saatavissa tilaajalle kuin tuottajalle. Kenties tilaaja tai tuleva käyttäjä, joka tulee tilanteeseen niin sanotun asiantuntijakuplan ulkopuolelta voikin saada erittäin paljon lisäarvoa kyetessään hahmottamaan suunnitelman todellisuudessa. Suunnittelijan toteuttama suunnitelma on yksinkertaistettuna suunnittelijan näkemys tilaajan toiveista ja vaatimuksista. Vaikka suunnittelua ohjaa tietyt reunaehdot, ohjeistukset ja fysiikan lait, ei ole olemassa yhtä ainoata oikeata tapaa suunnitella. Eikä myöskään voida olet-

taa tilaajan edustajalla olevan osaamista ottaa huomioon näitä suunnittelua ohjaavia asioita sekä tilan tulevan käytön asettamia vaatimuksia. Jos mietitään työssä kerrottua tapausta sydänsairaalan suunnitteluprosessista, ei tilaajan ja tulevien käyttäjien työryhmässä varmastikaan ollut tiedossa sairaalaympäristön talotekniikkasuunnittelun lainalaisuuksista. On suunnittelijan vastuulla suunnitella mahdollisimman toimiva kokonaisuus. Mitä tarkemmin tilaaja osaa esittää vaatimuksensa, sitä paremmat edellytyksen suunnittelijalla on luoda kaikin tavoin toimiva kokonaisuus. Jos virtuaalitodellisuuden avulla pystytään parantamaan tilaajan valmiuksia esittää tarkempia vaatimuksia, on virtuaalitodellisuuden tuomalle lisäarvolle olemassa täydet perusteet. Jos on mahdollista välttyä kalliilta lisä- ja muutostöiltä, vähentää ympäristökuormaa, säästää rahaa ja aikaa sekä luoda entistä toimivampi lopputulos voidaan kuvitella käsissä olevan erittäin helposti myytävissä oleva palvelu.

Rakennusalalla eletään keskellä pitkäkestoista muutosta. Muutos tapahtuu muun muassa siirtyessä vanhoista suunnittelutavoista ja ohjelmistoista kohti kehittyneempiä tämän päivän ja tulevaisuuden tarpeisiin vastaavia ratkaisuja. Suurten yritysten suurissa projekteissa realistinen tietomallintaminen on jo vaatimus. Pienemmissä kohteissa on vielä hyvinkin mahdollista pärjätä vanhoilla tavoilla, mutta on odotettavissa, että ajan myötä trendi ylettyy myös pienempiin toimijoihin. Teknologiat ja työtavat kehittyvät, ja kilpailu kovenee. Jo tällä hetkellä hyvinkin nopealla internet-haulla nousee tuloksiin suurien kansainvälisten yritysten tarjoamia virtuaalitodellisuuteen pohjaavia ratkaisuja. Mitä enemmän asiaa tuodaan esille, sitä enemmän myös tilaajat osaavat vaatia uusia ratkaisuita. Isoimmilla tilaajatahoilla onkin jo olemassa omat ratkaisut virtuaalitodellisuuden hyödyntämiseen, eivätkä he ole pelkästään tuottajan tarjoaman palvelun varassa. Pohjimmiltaan asia voidaan nähdä kilpailuetuna, tai jopa tarjouspyynnön ehtona. Kehityksen suunta on jo olemassa ja isojakin askeleita otetaan. Tulevaisuus näyttääkin tällä hetkellä lupaavalta. Mitä isot edellä, sitä pienet perässä, sanoo jo sananlaskukin.

## LÄHTEET

3D rendering in Autodesk Revit. 2023. Enscape. Luettu 17.2.2023. <https://enscape3d.com/revit-rendering/>

AR vs VR: Differences between augmented vs virtual reality. 2023. Softwaretestinghelp. Luettu 3.2.2023. <https://www.softwaretestinghelp.com/ar-vs-vr-comparison/>

Explore Enscape`s core features. 2023. Enscape. Luettu 17.2.2023. <https://enscape3d.com/features/>

How Vrex works. 2023. Vrex. Luettu 17.2.2023. <https://www.vrex.no/howit-works/>

Kirvan, P. 2022. CAVE (Cave Automatic Virtual Environment. Techtarget. Luettu 3.3.2023. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/CAVE-Cave-Automatic-Virtual-Environment>

Madai, M. 2019. Virtual reality. Power-point esitys. Tulostettu 3.2.2023. <https://www.slideshare.net/MaheshSinghMadai/virtual-realityfull-133560644>

Muhanna, M. 2015. Virtual reality and the cave: Taxonomy, interaction challenges and research directions. PDF-tiedosto. Tulostettu 3.3.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157815000439#s0065>

Rakennustietosäätiö RTS. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset YTV. PDF-tiedosto. Tulostettu 10.3.2023.

Say hej to IKEA Place. n.d. IKEA. Luettu 3.3.2023. <https://www.ikea.com/au/en/customer-service/mobile-apps/say-hej-to-ikea-place-pub1f8af050>

Stine, D. 2021. Convey mechanical, electrical and plumbing (MEP) design with Enscape. Enscape blog. Luettu 17.2.2021. <https://blog.enscape3d.com/convey-mechanical-electrical-and-plumbing-mep-design-with-enscape>

Valli, M. & Ahti-Virtanen, J. 2018. TAYS sydänsairaala. Projektuutiset-artikkeli. [https://www.projektuutiset.fi/tays-sydansairaala/?pk\\_vid=d14d6654fbb0c38216766414902d021c](https://www.projektuutiset.fi/tays-sydansairaala/?pk_vid=d14d6654fbb0c38216766414902d021c)

What is augmented reality – Technology, examples & history. 2023. Softwaretestinghelp. Luettu 4.2.2023. <https://www.softwaretestinghelp.com/what-is-augmented-reality/>

What is virtual reality and how does it work. 2023. Softwaretestinghelp. Luettu 3.2.2023. <https://www.softwaretestinghelp.com/what-is-virtual-reality/>