

Tommi Hassinen

PILVITEKNOLOGIAN JA VIRTUAALITO- DELLISUUDEN HYÖDYNTÄMINEN SUUNNITTELUJÄRJESTELMÄSSÄ

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Tammikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Tommi Hassinen: Pilviteknologian ja virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen suunnittelujärjestelmässä
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikka diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Tarkastajat: Professori Minna Lanz ja väitöskirjatutkija Nillo Adlin
Tammikuu 2020

Diplomityön tavoite oli tutkia mitä olemassa olevaa teknologiaa ja millaista uutta teknologiaa tarvitaan pilvipohjaisen ja virtuaalitodellisuutta hyödyntävän suunnittelujärjestelmän toteuttamiseen. Tutkimus jaettiin kahteen päätutkimuskysymykseen:

1. Mitä ominaisuuksia pilvipohjaiselta virtuaalitodellisuudessa toimivalta suunnittelujärjestelmältä vaaditaan?
2. Mitkä teknologiat mahdollistavat pilvipohjaisen virtuaalitodellisuudessa toimivan suunnittelujärjestelmän toteuttamisen?

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen etsittiin aineistoa kirjallisuuskatsauksen ja toimeksiantajan työntekijöille tehdyn lomakekyselyn avulla. Tuloksista muodostettiin vaatimustenmäärittely kyseiselle suunnittelujärjestelmälle. Keskeisiä esille nousseita vaatimuksia olivat hyvä toimintavarmuus, järjestelmän sujuva toiminta, kyky käsitellä useita eri tiedostomuotoja ja mahdollisuus järjestää etäkokouksia virtuaaliympäristössä.

Toiseen tutkimuskysymykseen haettiin vastauksia myöskin kirjallisuuskatsauksen avulla, sekä IT-henkilöstön ja ohjelmistoyritysten edustajien haastatteluiden avulla. Kirjallisuuskatsauksessa keskityttiin pääasiassa kaupallisesti saataville oleviin teknologioihin. Tulosten perusteella pilvipohjaisen virtuaalitodellisuudessa toimivan suunnittelujärjestelmän mahdollistavia teknologioita ovat virtuaalitodellisuusohjelmistot, VDI-teknologia ja palvelin-GPU.

Teknologisten tarpeiden ja mahdollisuuksien tunnistamisen tueksi muodostettiin ideaalisen suunnittelujärjestelmän konsepti. Konsepti muodostettiin lomakekyselyn ja suunnitteluliiketoimintaan liittyvän kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Teknologiaan liittyvän kirjallisuuskatsauksen ja haastatteluiden avulla löydettyjä teknologioita verrattiin suunnittelujärjestelmän konseptiin. Tätä kautta voitiin arvioida teknologioiden soveltuvuutta ja samalla tunnistaa, minkälaisia uusia teknologioita tarvitaan.

Teknologioiden maturiteettia arvioitiin neliportaisella asteikolla: kaupallinen, ennakkojulkaisu, kehitysvaiheessa oleva, sekä konseptitason teknologia. Pääsääntöisesti konseptitason teknologiat ja kehitysvaiheessa olevat teknologiat rajattiin pois heti alkuvaiheessa. Muutamia kehitysvaiheessa olevia teknologioita otettiin tarkempaan tarkasteluun jatkokehitystoimenpiteitä ajatellen.

Suunnittelujärjestelmien pilvipohjaiselle käytölle ja virtuaalitodellisuuden hyödyntämiselle tunnistettiin kaksi erilaista toteutusmahdollisuutta. Ensimmäinen vaihtoehto on ottaa käyttöön Dassault Systemesin luoma 3DEXPERIENCE –alusta. 3DEXPERIENCE on valmis, kaupallinen alusta, joka mahdollistaa yleisimpien CAD-ohjelmistojen pilvipohjaisen käytön, kokoonpanojen muokkaamisen yhteistyössä samassa istunnossa, sekä virtuaalitodellisuuden hyödyntämisen suunnittelun eri vaiheissa.

Toinen vaihtoehto on rakentaa kohdeyrityksen sisäverkkoon oma palvelinperustainen suunnittelujärjestelmä. Oman suunnittelujärjestelmän luomiseen voidaan hyödyntää Nvidian palvelin-GPU –teknologiaa, Citrixin VDI –teknologiaa ja valmista kaupallista virtuaalitodellisuusohjelmistoa. Tällä hetkellä ongelmana oman suunnittelujärjestelmän luomisessa on FEM-laskennan yhdistäminen virtuaalitodellisuuteen, 3D-mallin reaaliaikainen muokkaus yhteistyössä samassa istunnossa ja virtuaalitodellisuudessa tehtyjen muutosten päivittyminen CAD-ohjelmistoon.

Avainsanat: virtuaalitodellisuus, pilviteknologia, suunnitteluohjelmisto, tietokoneavusteinen suunnittelu.

Tämän diplomityön alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –palvelulla.

ABSTRACT

Tommi Hassinen: Cloud technology and virtual reality utilization for design system
Master's thesis
Tampere University
Master's degree program in mechanical engineering
Examiners: Professor Minna Lanz and PhD thesis worker Nillo Adlin
January 2020

The objective of this master's thesis was to study what existing technologies can be used and what type of new technologies are needed to implement a cloud-based virtual reality CAD system. The study was divided into two main research questions:

1. What features are required for a cloud-based virtual reality CAD system?
2. Which technologies enable the implementation of a cloud-based virtual reality CAD-system?

A literature review was conducted to study the first research question. In addition, a survey for the employees of the target company was conducted. System requirements were formed based on the results of the literature review and survey. Based on the survey, the most important system requirements are system reliability, fluent functioning of the system, ability to use multiple file formats and ability to arrange online meetings in virtual reality.

To study the second research question, a literature review was conducted. The focus on the literature review was on commercial and early access technologies. IT-personal and software company representatives were interviewed to gain more knowledge regarding technological issues related to the second research question. Based on the results, a combination of virtual reality software, VDI technology and server GPU enable the implementation of a cloud-based virtual reality CAD system.

To support recognition of technological needs and possibilities, a concept of an ideal CAD system was formed. The concept was formed based on literature review regarding design and engineering business and the results of a survey in the target company. The studied technologies were compared with the concept of an ideal CAD system. This served as a tool to assess the feasibility of technologies. In addition, the concept of an ideal CAD system served as a tool to help recognize what type of new technologies may be needed.

The maturity of technologies were assessed using a four-step scale: commercial, early access, in development and technological concept. Technologies in development phase and in concept phase were not studied extensively. Few exceptions were made regarding technologies in development phase as further development potential was recognized.

Two different implementation methods were found for a cloud-based virtual reality CAD system. The first method is to use Dassault Systemes 3DEXPERIENCE platform to run all necessary applications. 3DEXPERIENCE is a commercial platform that enables running CAD software on server, real-time collaborative modelling and assembly work in same session and in virtual reality. In addition to modelling, virtual reality software may be utilized in other phases of product design as well.

The second method is to construct a cloud-based CAD system into target company's internal network. This can be done by using VDI technology along with Nvidia server-GPU technology and commercial virtual reality software. The issues with this implementation method are visualization of FEM calculation results in virtual reality, real-time collaborative 3D CAD modelling and data transfer from virtual reality software to 3D CAD software.

Keywords: virtual reality, cloud technology, engineering software, computer-aided design.

The originality of this thesis has been checked by using Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Aloitin tekemään diplomityötä Insinööritoimisto Comatecin toimeksiannosta huhtikuussa 2019. Diplomityön aiheeksi tarjottiin teknologiatutkimusta, jonka tavoitteena oli selvittää mitä olemassa olevia teknologioita voidaan hyödyntää pilvipohjaisen ja virtuaalitodellisuutta hyödyntävän suunnittelujärjestelmän luomiseen. Samalla tutkittiin, millaista uutta teknologiaa kyseinen suunnittelujärjestelmä mahdollisesti tarvitsee toimiakseen.

Aihe oli todella mielenkiintoinen, laaja ja samalla haastava, sillä minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta virtuaalitodellisuusohjelmistoista, eikä pilviteknologian soveltamisesta. Aihe on varsin lähellä tietotekniikkaa, joten konetekniikan opiskelijana aihe vaati paljon uuden tiedon hankkimista ja käsitteiden sisäistämistä. Suunnittelutyön ohessa tehty diplomityö oli kokonaisuudessaan haastava prosessi, mutta lopulta työ saatiin hyvin päätökseen.

Suuri kiitos ohjaajilleni Minna Lanzille ja Nillo Adlinille tuesta diplomityön tekemisessä, sekä arvokkaasta palautteesta. Lisäksi haluan kiittää Comatecin teknologiajohtajaa Kimmo Nurmista, suunnittelupäällikköä Raine Corellia ja kollegaani Matti Keituria saamastani tuesta, ohjauksesta ja diplomityön mahdollistamisesta.

Tampere 04.1.2020

Tommi Hassinen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Yritysesittely.....	4
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus.....	4
1.3 Tutkimusstrategia ja menetelmät.....	6
1.3.1 Tutkimusstrategia.....	6
1.3.2 Lomakekysely.....	7
1.3.3 Kirjallisuuskatsaus	8
1.3.4 Haastattelut.....	9
2. KIRJALLISUUSKATSAUS	11
2.1 Suunnitteluliiketoiminta	11
2.1.1 Tuotesuunnitteluprosessit	11
2.1.2 Lean suunnittelussa	13
2.2 Projektinhallinta ja toiminnanohjaus	14
2.3 Tietokoneavusteinen suunnittelu	15
2.3.1 Tuotetiedonhallintaohjelmistot.....	16
2.3.2 Mekaniikkasuunnitteluohjelmistot.....	17
2.3.3 Lujuuslaskentaohjelmistot.....	18
2.3.4 Sähkö- ja hydraulikkasuunnitteluohjelmistot.....	20
2.4 Suunnittelutyötä tehostavat teknologiat.....	20
2.4.1 Pilvipohjaiset järjestelmät.....	21
2.4.2 Virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus.....	30
2.4.3 Yhteistyön edistäminen suunnittelutyössä.....	36
3. TÄYDENTÄVÄ TUTKIMUS JA ANALYYSI.....	38
3.1 Suunnittelujärjestelmän konsepti.....	38
3.2 Lomakekysely	41
3.3 Asiantuntijahaastattelut	45
3.4 Kirjallisuuskatsauksen analyysi	50
4. TULOKSET	54
5. PÄÄTELMÄT	59
5.1 Päätelmät tuloksista	59
5.2 Mahdolliset ongelmakohdat järjestelmässä	61
5.3 Jatkokehitystarpeet ja toimenpiteet	62
5.4 Tutkimuksen luotettavuus ja yleistettävyys.....	65
6. YHTEENVETO.....	69
LÄHTEET	72

LIITTEET.....	83
Liite A: Lomakekyselyn pohja.....	83
Liite B: Puolistrukturoitu haastattelu virtuaaliodellisuusohjelmistoista.	86
Liite C: Verkkokyselyn analyysin tulokset.....	87

LYHENTEET JA MERKINNÄT

3D	Kolmeulotteinen objekti, kolmiulotteisesti näkyvä.
API	eng. Application programming interface. Ohjelmointirajapinta.
AR	eng. Augmented reality. Lisätty todellisuus.
BOM	eng. Bill of materials. Tuotteen rakenne.
CAD	eng. Computer aided design. Tietokoneavusteinen mallinnus. Mallinnus- ja piirustusohjelmisto.
CPU	eng. Central Processing Unit. Suoritin, prosessori.
DXF	Autodeskin kehittämä tiedostomuoto. Käytetään Leikkuuratatiedostoille.
DMZ	eng. Demilitarized Zone, "demilitarisoitu alue", aliverkko, joka yhdistää organisaation verkon ulkoverkkoon.
ERP	eng. Enterprise resource planning. Toiminnanohjausjärjestelmä.
FEM	eng. Finite element method. Elementtimenetelmä.
GPU	eng. Graphics Processing Unit. Grafiikkaprosessori (näyttöohjain).
HPC	eng. High performance computing. Suurteholaskenta.
HMD	eng. Head mounted displays. Pään asetettava näyttölaite (lasit).
IaaS	eng. Infrastructure as a service. Infrastruktuuri palveluna.
IGES	eng. Initial Graphics Exchange Specification. 3D-mallin tiedostomuoto.
MCAD	eng. Mechanical computer aided design. Tietokoneavusteinen mekaniikkasuunnittelu.
MR	eng. Mixed reality. Sekoitettu todellisuus.
PaaS	eng. Platform as a service. Alusta palveluna.
PDF	eng. Portable document format. Asiakirjojen tiedostomuoto.
PDM	eng. Product data management. Tuotetiedon hallintaohjelmisto.
PLM	eng. Product lifecycle management. Tuotteen elinkaarenhallintaohjelmisto.
PMI	eng. Product and Manufacturing Information. Tuotteen valmistustiedot.
SaaS	eng. Software as a service. Ohjelmisto palveluna.
SDK	eng. Software development kit. Sovelluskehitystyökalujen kokoelma.
STEP	eng. Standard for the Exchange of Product model data. 3D-mallin tiedostomuoto.
VDI	eng. Virtual Desktop Infrastructure. Etäkäytettävä työpöytä.
VR	eng. Virtual reality. Virtuaalitodellisuus.
VRML	eng. Virtual reality modeling language. 3D-tiedostojen tiedostomuoto.

1. JOHDANTO

Teknologian kehitys on ollut todella nopeaa ja uusia suunnittelutyön työkaluja, ohjelmistoja ja teknologioita tulee markkinoille jatkuvasti. Tässä työssä luodaan katsaus suunnittelutyössä käytettäviin ohjelmistoihin ja teknologiaan, sekä kartoitetaan mahdollisuuksia teknologioiden yhdistämiseksi ja suunnittelujärjestelmien kehittämiseksi. Työn tavoitteena oli tutkia mitä olemassa olevia teknologioita voidaan hyödyntää ja millaista uutta teknologiaa tarvitaan, jotta eri suunnitteluohjelmistot voidaan integroida yhdeksi virtuaali todellisuudessa (VR, Virtual Reality) ja pilvipalvelimella toimivaksi järjestelmäksi. Järjestelmän avulla suunnittelutiimi voi työskennellä yhdessä lähes reaaliaikaisesti. Lisäksi toiminnanohjausjärjestelmän (ERP-järjestelmä, Enterprise Resource Planning) liittämiseksi kyseiseen järjestelmään pyrittiin löytämään ratkaisuja. Ohjelmisto- ja laitteistokustannuksiin luodaan pintapuolinen katsaus.

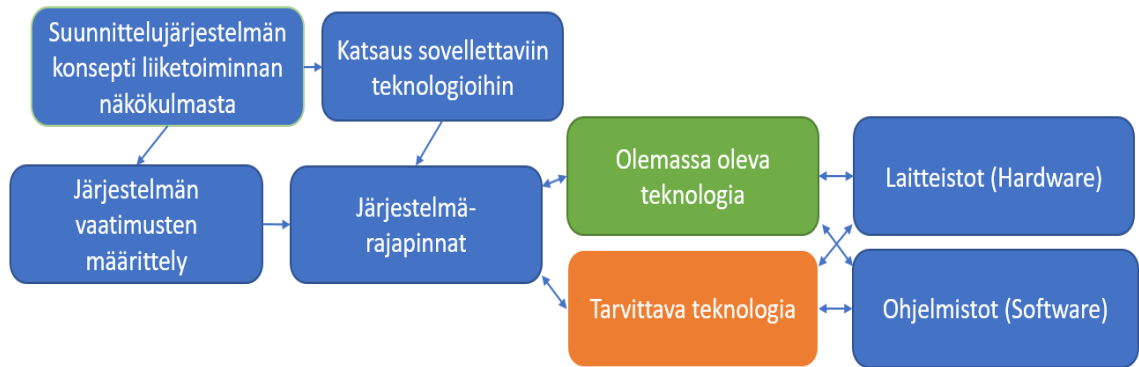
Suunnittelujärjestelmällä tarkoitetaan suunnittelutyökalujen ja menetelmien joukkoa, jota suunnittelijat käyttävät työssään. Yksittäiset ohjelmistot toimivat yhdessä, muodostaen kokonaisuuden, joka mahdollistaa tehokkaan tuotetiedon ja suunnittelutiedon hallinnan, eri osa-alueiden suunnittelijoiden yhteistyön, sekä suunnittelijan ja asiakkaan välisen yhteistyön. Suunnitteluprojektit voivat olla laajoja ja monimutkaisia. Projektin onnistuneeseen toteuttamiseen tarvitaan siis usean eri osa-alueen osaajia, hyvin toimivaa kommunikaatiota ja hyvin toteutettua projektinhallintaa. Yksinkertaistetusti voidaan sanoa, että suunnittelujärjestelmän on tuettava insinööritoimiston liiketoimintaa.

Parhaimmillaan pilvipohjainen suunnittelujärjestelmä mahdollistaa joustavan suunnitteluresurssien käytön ja suunnittelijoiden saumattoman yhteistyön. Suunnittelijat voivat fyysisesti sijaita eri puolilla maailmaa, mutta voivat työskennellä yhdessä saman projektin parissa. Näin ollen samojen ohjelmistojen tulee olla joustavasti käytettävissä suunnittelijoille fyysisestä sijainnista riippumatta. Suunnittelijoiden ajankäyttö tietyn tehtävän hoitamiseen ei saa lisääntyä teknologian kehittymisen myötä, vaan ennemminkin ajankäyttöä tulee tehostaa teknologian avulla. Suunnitteluresurssien joustavan käytön parantamiseksi kaikki ohjelmistot pyritään suorittamaan pilvipalvelimella. Tällöin kaikki kohdeyrityksessä käytetyt suunnitteluohjelmistot ovat kaikkien suunnittelijoiden käytössä fyysisestä paikasta riippumatta.

Käytännön tasolla aluksi MCAD-ohjelmistolla (MCAD, Mechanical Computer Aided Design) luodaan 3D-malli tuotteesta ja sen komponenteista. Kaikki mallit ja tuotetieto tallennetaan PDM-järjestelmään (PDM, Product Data Management), jota voidaan käytännössä pitää pilvipohjaisena järjestelmänä. Tämän jälkeen mallia voidaan tarkastella yhteistyössä muiden suunnittelijoiden, sekä lujuuslaskijoiden kanssa virtuaalitodellisuusympäristössä. Lujuuslaskijoilla on pääsy malliin joko PDM-järjestelmän kautta, tai erilliseltä mallinjakopalvelimelta. Näin ollen lujuuslaskijat voivat aloittaa laskennan heti, kun 3D-malli on valmis. Lujuuslaskennan aikana mekaniikkasuunnittelijat voivat valmistella tuotteen piirustukset. Myös sähkö- ja automaatio suunnittelijat ja hydraulikkasuunnittelijat pääsevät käsiksi malliin ja voivat hyödyntää sitä esimerkiksi johtimien, putkien ja letkujen pituuksien määrittämiseen.

Suunnittelutyöhön liittyvät palaverit ja suunnittelukatselmuksot järjestetään virtuaalitodellisuudessa. Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen teollisuudessa on yleistynyt melko nopeasti. Myös suunnitteluliiketoiminnassa on tunnistettu virtuaalitodellisuuden tuomia mahdollisuuksia. Tällä hetkellä on saatavilla useita erilaisia kaupallisia ohjelmistoja, jotka tarjoavat erilaisia ratkaisuita ja apuvälineitä suunnittelutyöhön. Näin ollen virtuaalitodellisuuden tuomat mahdollisuudet pyritään ottamaan osaksi suunnittelujärjestelmää. Jokaisen osa-alueen suunnittelija, suunnittelupäällikkö, sekä asiakas voivat liittyä virtuaaliseen kokoukseen, jossa henkilöt ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa ja voivat samalla tarkastella 3D-mallia ja 2D-dokumenteja yhdessä. Näin voidaan esimerkiksi lisätä suunnitteluprojektien läpinäkyvyyttä asiakkaan näkökulmasta, sekä tehostaa eri osapuolten välistä kommunikaatiota.

Kuvassa yksi on esitetty työn kulku pääpiirteittäin. Työ aloitettiin kartoittamalla suunnittelujärjestelmien käyttäjien tarpeita, kokemuksia ja toiveita. Kartoituksessa selvitettiin suunnittelijoiden kokemuksia ja näkemyksiä heidän käyttämiinsä ohjelmistoihin ja virtuaalitodellisuuden hyödyntämiseen liittyen. Näiden pohjalta muodostettiin vaatimusmäärittely suunnittelujärjestelmälle käyttäjien näkökulmasta. Työn alkupuolella muodostettiin myös suunnittelujärjestelmän konsepti liiketoiminnan näkökulmasta. Konseptin muodostamisessa hyödynnettiin käyttäjätarpeiden kartoituksen tuloksia, sekä suunnitteluprosessien kirjallisuuskatsausta. Suunnittelujärjestelmän konseptia käytettiin työkaluna teknologisten tarpeiden ja mahdollisuuksien tunnistamisessa.



Kuva 1. Työn kulku

Suunnittelujärjestelmän vaatimusmäärittelyn ja suunnittelujärjestelmän konseptin pohjalta määritettiin suunnittelujärjestelmän osa-alueet ja niiden väliset rajapinnat. Kun suunnittelujärjestelmän konseptin osa-alueet ja rajapinnat olivat tiedossa, kartoitettiin mahdollistavia teknologioita kirjallisuuskatsauksen avulla. Tämän jälkeen jokaisen osa-alueen ja rajapinnan toteuttamiseen valittiin sopiva teknologia siltä osin, kun soveltuvia teknologioita löydettiin. Samalla tunnistettiin teknologiset kehitystarpeet. Suunnittelujärjestelmän vaatimusten määrittelyn ja teknologioihin tutustumisen jälkeen tutkittiin mitä konkreettisia ohjelmistoja suunnittelujärjestelmän tulee pitää sisällään, jotta halutunlainen toiminnollisuus saavutetaan, sekä millaisen laitteiston suunnittelujärjestelmä vaatii toimiakseen. Konseptin mukaisen suunnittelujärjestelmän mahdollistavista teknologioista keskusteltiin IT-henkilöstön ja ohjelmistoyritysten edustajien kanssa. Näin saatiin lisätietoa teknologioista, sekä käytännöntoteutuksen kannalta tarpeellista tietoa.

Virtuaalitodellisuuden ohella myös lisätyn todellisuuden (AR, Augmented Reality) käyttömahdollisuutta suunnittelutyössä pohdittiin. Pilvipohjaiselle alustalle toteutettu CAD (Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu) -ohjelmisto ja virtuaalitodellisuustoiminnot osana CAD-ohjelmistoa eivät ole uusi asia, mutta aikaisemmin useita eri suunnittelutyössä käytettäviä ohjelmistoja ja virtuaalitodellisuusohjelmistoa ei ole pyritty integroimaan yhdeksi pilvipohjaiseksi järjestelmäksi. Työn pohjustuksena nähdään katsaus erilaisiin suunnittelijoiden ja teknisten laskijoiden käyttämiin työkaluihin, sekä niiden välisiin vuorovaikutuksiin.

Diplomityössä käydään läpi aluksi tutkimuksen asettelu, strategia ja menetelmät. Tämän jälkeen aiheeseen liittyvät keskeiset käsitteet ja teoriat kirjallisuuskatsauksen avulla. Kirjallisuuskatsaus etenee aihealueittain siten, että aluksi aihealueeseen tutustutaan yleis-

sellä tasolla ja tämän jälkeen tarkastellaan aihealuetta pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän ja virtuaalitodellisuuden käytön kannalta. Tämän jälkeen siirrytään muiden tutkimusmenetelmien tulosten analysointiin ja läpikäymiseen ja johtopäätösten tekemiseen. Toimeksiantajalle on aikaisemmin tehty opinnäytetyö, jossa käsiteltiin VR-laitteistoa, niiden ominaisuuksia ja kustannuksia. Tästä johtuen tässä työssä ei käsitellä VR-laitteistoa. Diplomityössä ei oteta kantaa käytännötoteutuksen kannattavuuteen, mutta muutamia olennaisia hyötyjä ja haittoja pohditaan.

1.1 Yritysesittely

Työ tehtiin Insinööritoimisto Comatec Oy:n toimeksiantona. Comatec Group on 1986 perustettu insinööritoimisto, joka nyt työllistää lähes 600 henkilöä noin 20 paikkakunnalla Suomessa, Virossa ja Puolassa. Alun perin muutaman henkilön insinööritoimisto on siis laajentunut varsin suureksi konserniksi, jolla on 8 tytäryhtiötä. Comatec Groupin toimialoja ovat työkoneet, hyötyajoneuvot, raideliikennekalusto, tuotantotekniikka, materiaalinkäsittely, sähkölaitteet- ja järjestelmät, meriteollisuus, energiatekniikka, sekä prosesseollisuuden koneet ja laitokset. Comatec Groupilla tehdään mekaniikkasuunnittelua, hydraulikka- ja sähkösuunnittelua, teknistä laskentaa, sekä tuotetestausta kaikilla edellä mainituilla toimialoilla. Comatecin palveluita ovat myös konsultointi, tekninen dokumentointi, sekä turvallisuustekniikka ja koneturvallisuus. [20]

Comatecin tavoite on auttaa asiakkaitaan tekemään oman alansa parhaita tuotteita. Comatec tarjoaa palveluitaan tuotteen koko elinkaaren ajan, tuotekehityksestä ylläpitoon. Näin ollen myös projektinhallinta ja elinkaarituki ovat melko yleisiä palveluilta Comatec Groupilla. Comatec Groupin arvot ovat asiakastyytyväisyys, kasvuhakuisuus, kannattavuus, jatkuva oppiminen ja yhteistyö. Konsernin liikevaihto oli noin 38 miljoona euroa vuonna 2018. [20]

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Diplomityö lähti liikkeelle kohdeyrityksen ajatuksesta pilvipohjaisesta suunnittelujärjestelmästä, jossa osa suunnittelutyöstä tapahtuu virtuaalitodellisuudessa. Pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän tarkoituksena on lisätä joustavaa suunnitteluresurssien käyttöä ja parantaa suunnittelijoiden ja asiakkaan välistä kommunikaatioita. Työssä tehtiin teknologiatutkimusta, jonka tavoitteena oli tuottaa raportti, jonka pohjalta voidaan lähteä tekemään alustavaa kehitystyötä pilvipohjaisen virtuaalitodellisuudessa toimivan suunnittelujärjestelmän luomiseksi. Lisäksi raportin pohjalta voidaan alkaa tarkemmin tutkimaan ja kehittämään kyseiseen järjestelmään tarvittavaa uutta teknologiaa.

Mitään konkreettista suunnittelujärjestelmää ei kehitetty tämän työn puitteissa. Työssä ei myöskään oteta kantaa, miten järjestelmän rajapinnat toteutetaan käytännössä, mutta teknologisia ratkaisuita eri osa-alueiden yhdistämiseksi pyrittiin löytämään. Teknologioihin ja niiden tarkkaan toteutukseen ei mennä kovin syvälle, vaan työssä pyritään tunnistamaan ja valikoimaan soveltuvat teknologiat. Teknologioiden peruseräpäätet kuitenkin käydään läpi yksinkertaistetusti. Työn ulkopuolelle jätettiin myös sellaiset tietoturvakysymykset, jotka vaativat syvällistä perehtymistä tietoturva-asioihin. Suunnitteluprosessin kannalta olennainen piirustusten tarkastus ja siihen liittyvät teknologiset ratkaisut jätettiin myös diplomityön ulkopuolelle.

Työssä keskityttiin erityisesti teknologioiden etsimiseen ja arviointiin, sekä tarpeellisten ohjelmistojen ja laitteistojen etsimiseen. Tutkimus jaettiin kahteen päätutkimuskysymykseen:

- Mitä ominaisuuksia pilvipohjaiselta virtuaalidellisuudessa toimivalta suunnittelujärjestelmältä vaaditaan?
- Mitkä teknologiat mahdollistavat pilvipohjaisen virtuaalidellisuudessa toimivan pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän toteuttamisen?

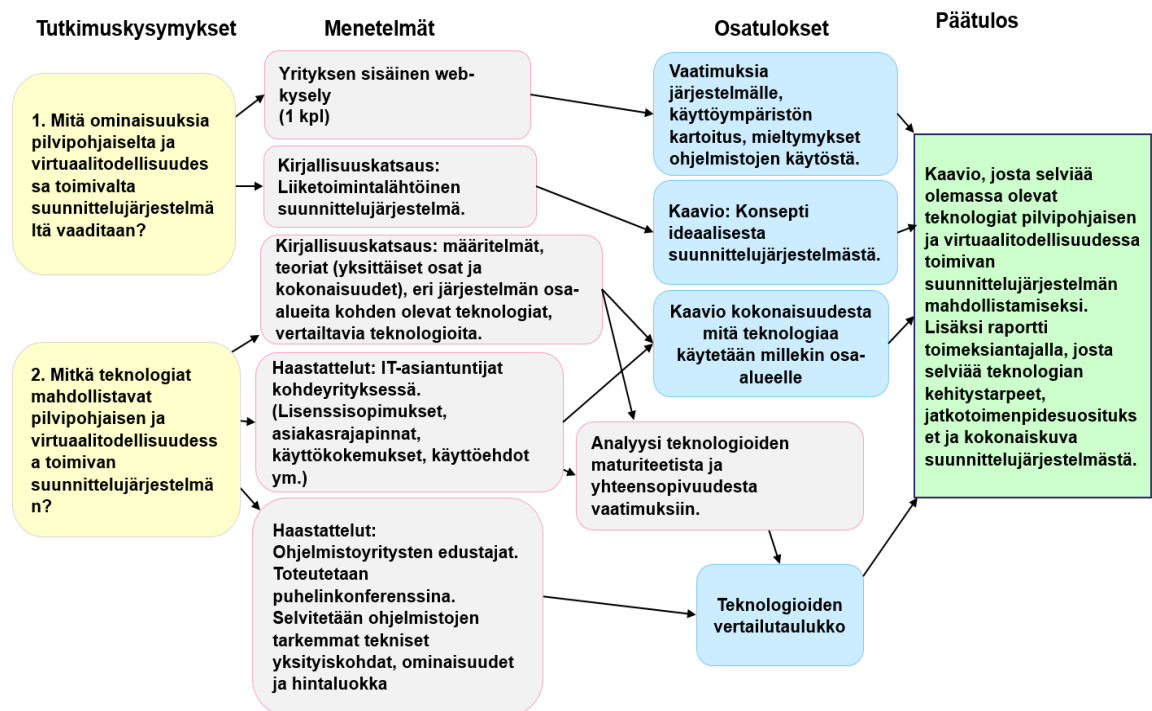
Kumpaankin tutkimuskysymykseen lähdettiin hakemaan vastauksia sekä kirjallisuuskatsausten, että haastatteluiden avulla. Löydetyistä teknologisten ratkaisuiden maturiteettista tehtiin pienimuotoinen analyysi. Jälkimmäisen tutkimuskysymyksen kohdalla eriteltiin pilvipohjaiseen suunnittelujärjestelmään käytettävä, kaupallisesti saatavissa oleva teknologia, sekä teknologiset kehitystarpeet. Teknologioihin liittyviä kustannuksia käsiteltiin pintapuolisesti.

Työssä keskityttiin etsimään pääasiassa kaupallisia, tai hyvin lähellä kaupallista maturiteettia olevia teknologioita. Vielä konseptin tasolla olevat teknologiat rajattiin pois lähdemateriaalista heti alkuvaiheessa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Näiden muutaman poikkeuksen kohdalla konseptitason teknologiassa oli nähtävissä potentiaalia jatkokkehitystä varten työn toimeksiantajan tarpeisiin. Kyseisiä konseptin tasolla, tai prototyyppin tasolla olevia teknologioita ei sellaisenaan voida hyödyntää tämän työn puitteissa konseptoidun suunnittelujärjestelmän toteuttamiseen.

1.3 Tutkimusstrategia ja menetelmät

1.3.1 Tutkimusstrategia

Aiheena teknologiatutkimus suunnitteluohjelmistojen pilvipohjaisesta käytöstä virtuaalitetodellisuudessa on sen tyyppinen, että alkuvaiheessa mitään konkreettisia kokeiluja ei päästä tekemään. Mahdollisia tutkimusmenetelmiä ovat erilaiset haastattelut ja kyselyt, kirjallisuuskatsaukset, sekä analyysit. Kohdeyrityksen henkilöstöllä on runsaasti tietotaitoa usealta eri suunnittelualalta, sekä IT-alalta. On siis luontevaa hyödyntää kohdeyrityksen henkilöstön kokemuksia, näkökulmia ja osaamista. Kuvassa kaksi nähdään kaavio tutkimusstrategiasta. Kumpaakin päätutkimuskysymystä varten on valittu joukko menetelmiä, joiden avulla saadaan osatuloksia tutkimuskysymyksiin vastaamista varten. Osatuloksista muodostetaan päätulos, eli kaavio ja raportti, joissa on eritelty käytettävissä olevat ja puuttuvat teknologiat pilvipohjaisen ja virtuaalitetodellisuudessa toimivan suunnittelujärjestelmän mahdollistamiseksi. Päätuloksessa otetaan lyhyesti kantaa myös esiin tulleisiin mahdollisiin ongelmakohtiin, jotka vaativat teknologisen ratkaisun.



Kuva 2. Tutkimusstrategia.

Aluksi pyrittiin muodostamaan kuva siitä, mitä ominaisuuksia suunnittelujärjestelmästä vaaditaan. Suunnittelujärjestelmän vaatimusten määrittely toteutettiin Web-lomakekyselynä kohdeyrityksen henkilöstölle. Kun suunnittelujärjestelmään kohdistuvat vaatimukset

set olivat selvillä, alettiin etsiä teknologisia ratkaisuja ja ohjelmistoja suunnittelujärjestelmän kehittämistä varten. Teknologisia ratkaisuita haettiin erilaisista julkaisuista, kuten aikaisemmat tieteelliset julkaisut ja ohjelmistoyritysten julkaisut. Lisäksi teknologioihin tutustuttiin ohjelmistoyritysten edustajien haastattelun avulla.

Samalla kun teknologisia ratkaisuita etsittiin, muodostettiin konsepti ideaalisesta liiketoimintalähtöisestä suunnittelujärjestelmästä. Konseptin muodostamista varten aluksi perehdyttiin kohdeyrityksen liiketoimintaan yrityksen omien julkaisuiden avulla. Lisäksi kirjallisuudesta etsittiin näkökulmia ja suuntauksia liiketoimintalähtöiseen suunnitteluun liittyen. Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelun tuloksia verrattiin ideaalisen suunnittelujärjestelmän konseptiin. Teknologioiden yhteensopivuutta keskenään ja yhteensopivuutta ideaalisen suunnittelujärjestelmän kanssa analysoitiin. Samalla arvioitiin teknologioiden maturiteettia ja pyrittiin tunnistamaan puuttuvat teknologiat, joita siis pitää vielä kehittää.

1.3.2 Lomakekysely

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, mitä ominaisuuksia pilvipohjaiselta ja virtuaalidellisuudessa toimivalta suunnittelujärjestelmältä vaaditaan, kerättiin aineistoa lomakekyselyllä. Kysely toteutettiin verkkokyselynä kohdeyrityksen oman järjestelmän kautta. Kyselyyn pyydettiin vastauksia kohdeyrityksen Suomen henkilöstöltä. Tavoitteena oli selvittää mitä suunnittelu- ja projektinhallintaohjelmistoja työntekijät käyttävät työssään, millaisia mieltymyksiä ja kokemuksia heillä on ohjelmistojen käyttöön liittyen, sekä millaisia kokemuksia ja näkemyksiä heillä on virtuaalidellisuuden käyttöön liittyen. Kyselyn pohjustuksena vastaajille kerrottiin taustatietoja kyseistä teknologiatutkimuksesta, jonka lisäksi heitä pyydettiin katsomaan esittelyvideo Nvidia Holodeck -ohjelmistosta. Video Nvidia Holodeck -ohjelmistosta valittiin pohja-aineistoksi alustavan kirjallisuuskatsauksen ja tiedonhaun perusteella. Kyseisestä videosta saa hyvän käsityksen, millaista suunnittelutyö voisi tulevaisuudessa olla. Kyselylomake on nähtävissä liitteessä A.

Eskolan ja Suorannan (1998) mukaan lomakehaastattelu sopii aineistonkeruumenetelmäksi tutkimuksiin, joissa on tarkoitus käsitellä ainestoa tilastollisin ja analyyttisin keinoin. Lomakehaastattelussa on pääasiassa valmiit vastausvaihtoehdot. Lomakehaastatteluun voidaan sisällyttää myös avoimia kysymyksiä, joiden vastauksia voi käsitellä joko laadullisesti, tai määrällisesti. [33] Tuomen ja Sarajärven (2018) mukaan lomakekyselyä hyödynnetään enimmäkseen kvantitatiivisissa tutkimuksissa ja hypoteesien testaamisessa. Lomakekyselyn käyttö on kuitenkin mahdollista myös laadullisessa tutkimuksessa. [98] Lomakehaastattelu mahdollistaa aineiston keräämisen kohtalaisen pienellä

vaivalla suurelta joukolta ihmisiä. Web-kyselynä toteutettu lomakehaastattelu mahdollistaa kyselyyn vastaamisen sellaisena ajankohtana, joka sopii parhaiten vastaajalle. Näin ollen menetelmä soveltuu hyvin tilanteisiin, joissa halutaan tietoa mahdollisimman monelta henkilöltä, joiden aikataulujen yhteensovittaminen voi olla vaikeaa.

1.3.3 Kirjallisuuskatsaus

Toiseen tutkimuskysymykseen, mitkä teknologiat mahdollistavat pilvipohjaisen ja virtuaalitodellisuudessa toimivat suunnittelujärjestelmän toteuttamisen, etsittiin aineistoa pääasiassa kirjallisuudesta. Kirjallisuuskatsauksessa tietoa etsittiin ohjelmistoyritysten verkkosivuilta ja aikaisemmista aiheeseen liittyvistä julkaisuista. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on käydä analyttisesti läpi tiettyyn aihepiiriin kuuluvia tieteellisiä julkaisuita. Kirjallisuuskatsaus luo teoreettisen perustan tutkittavalle aiheelle. Kirjallisuuskatsaus voi olla myös systemaattisesti toteutettu, jolloin aineistonkeruulle asetetaan tarkat kriteerit, joiden perusteella teoksia valitaan. [50] Salmisen (2011) mukaan kirjallisuuskatsausta on kuvattu usealla eri tavalla. Tavoitteena on kuitenkin arvioida teoriaa, rakentaa kokonaiskuva asiakokonaisuudesta ja tunnistaa ongelmakohtia. [80]

Kirjallisuuslähteissä täytyy ottaa huomioon julkaisuajankohta, erityisesti kun on kyse teknologiaturkimuksesta. Jos teoksen julkaisusta on kulunut aikaa, on mahdollista, että teknologia on kehittynyt merkittävästi julkaisuajankohdan jälkeen. Tästä syystä tässä teknologiakatsauksessa on pyritty käyttämään mahdollisimman uusia, vapaasti saatavilla olevia lähteitä. Lähteiden valinnassa on myös kiinnitetty huomiota viittausmääriin. Lähteitä, joihin on aikaisemmin viitattu hyvin vähän, tai ei ollenkaan, on pyritty karsimaan pois mahdollisuuksien mukaan. Näin on pyritty varmistamaan tiedon oikeellisuudesta. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että joihinkin teoksiin on saatettu viitata hyvin usein, koska ne sisältävät virheellistä tietoa. Tällöin viittaavissa teoksissa on mahdollisesti pyritty oikaisemaan tietoa.

Kuten aikaisemmin todettiin, tietoa ja aineistoa etsittiin paljon myös ohjelmistoyritysten verkkosivuilta. Yhdeksi haasteeksi muodostui se, että ohjelmistoyritykset eivät julkaise kaikkia ohjelmistoteknisiä ja teknologisia yksityiskohtia tuotteistaan. Pintapuolista tietoa ja mainostusta ohjelmistoista on kylläkin saatavilla. Kiinnostavia teknologisia ratkaisuita kuitenkin löytyi myös ohjelmistoyritysten verkkosivuilta ja niihin liittyen oltiin myöhemässä vaiheessa yhteydessä ohjelmistoyrityksiin. Alustavan lähdemateriaalin valinnan jälkeen osa materiaalista karsittiin pois. Karsintaperusteena oli ensisijaisesti lähteessä esitetyn teknologian maturiteetti. Muutamissa teoksissa asioita käsiteltiin niin abstraktilla

tasolla, että minkäänlaiset suunnittelujärjestelmän kehittämistä edesauttavat käytännönsovellukset olivat vielä hyvin kaukana. Loppujen lopuksi aineistoa ei jäänyt jäljelle kovinkaan paljon, joten aineistojen erillinen pisteytys ja laadunvertailu ei ollut tarpeen.

Teknologiaan liittyvää kirjallisuuskatsausta varten haettiin lähteitä Web of science, Scopus tietokannoista, sekä Andor -hakukoneen avulla. Tulokset rajattiin vuoden 2010 jälkeen julkaistuihin teoksiin. Hakusanoina käytettiin:

- *cloud computing*
- *cloud-based design*
- *cloud GPU*
- *collaborative CAD*
- *collaborative virtual reality*
- *real time CAD collaboration*
- *virtual reality*
- *virtual reality and CAD*

Tämän lisäksi lähdemateriaaliksi haettiin tietoa ohjelmistoyritysten omilta verkkosivuilta. Ohjelmistoyrityksiä ja heidän verkkosivujaan etsittiin Google-hakukoneen avulla käyttämällä samoja hakusanoja.

Suunnitteluliiketoimintaan liittyvää kirjallisuuskatsausta varten tietoa haettiin samoilla menetelmillä, samoista tietokannoista ja samoilla rajauksilla kuin teknologiaan liittyvässä kirjallisuuskatsauksessa. Hakusanoina käytettiin: *lean in product development, product design, product development, modular product family, engineering to order, sekä design reuse*. Aiheisiin liittyvien julkaisuiden lähdeviitteitä käytiin myös läpi siltä osin, kun valittu lähde viittasi johonkin muuhun lähteeseen. Muutamassa tapauksessa julkaisuiden lähdeviitteiden perusteella löydettiin soveltuvaa taustatietoa ja syventävää tietoa teknologiatutkimusta varten. Samalla julkaisuiden laatua voitiin hieman arvioida lähdeviitteiden perusteella.

1.3.4 Haastattelut

Lomakekyselyn ja kirjallisuuskatsauksen lisäksi aineistoa kerättiin puolistrukturoidun haastattelun avulla, useammassakin vaiheessa. Haastattelu ja kysely eroavat toisistaan siten, että kyselyssä kohdehenkilö toimii itsenäisesti kysymyksiin vastatessaan. Haastattelu on puolestaan vuorovaikutustilanne kohdehenkilön ja haastattelijan välillä, jossa haastattelijaa muodostaa muistiinpanot. [98] Puolistrukturoitua haastattelu on yleisin ja usein ainoa tutkimusmenetelmä kvalitatiivisessa tutkimuksessa. Puolistrukturoitua haas-

tattelu pohjautuu haastattelijan ja haastateltavan väliseen keskusteluun, jolle on etukäteen mietitty selkeä teema. Jos haastateltavia on useampia, kaikille esitetään samat kysymykset. Kysymysten järjestykseen ei niinkään kiinnitetä huomiota. Haastattelu voidaan toteuttaa myös ryhmähaastatteluna. [28] Haastattelussa voidaan tehdä muistiinpanoja myös siitä, millä tavalla kohdehenkilö vastaa kysymyksiin [98]. Puolistrukturoitujen haastatteluiden kohteena olivat teknologia- ja ohjelmistoyritykset, sekä kohdeyrityksen IT-henkilöstö.

Ensimmäinen puolistrukturoitu haastattelu toteutettiin TechViz-nimisen yrityksen henkilöstön kanssa. Haastattelu toteutettiin puhelinkonferenssina ja siinä käytiin läpi heidän ohjelmistotuotteensa ominaisuudet, erilaiset käyttötilanteet ja –mahdollisuudet, sekä laitteistovaatimukset. Haastattelua varten laadittiin lista kysymyksistä, joihin haluttiin vastaus puhelinkonferenssin aikana. Tämän jälkeen toteutettiin samanlainen puhelinkonferenssi muotoinen puolistrukturoitu haastattelu ESI group –nimisen yrityksen edustajan kanssa liittyen heidän IC.IDO. ohjelmistoon. IC.IDO ohjelmistoon liittyvässä haastattelussa käytettiin samaa kysymyslistaa. Kysymyslista on löydettävissä liitteestä B. Nämä kaksi ohjelmistoyritystä valikoituivat haastatteluiden kohteeksi, sillä verkkosivujen perusteella heidän ohjelmistonsa vaikutti olevan teknologisesti edellä muita ja molemmissa tapauksissa puhelinkonferenssi järjestettiin heidän aloitteesta.

IT-henkilöstön haastattelu toteutettiin kolmessa vaiheessa ajankäytöllisistä syistä. Kaikki IT-henkilöstön haastattelut olivat teemahaastatteluita, eli keskustelun teema oli päätetty etukäteen, mutta valmista kysymyslistaa tai rakennetta ei suunniteltu. Haastatteluiden teemoja olivat:

- CAD-ohjelmistojen lisenssisopimukset, tieturvakäytännöt ja CAD-ohjelmiston käyttö palvelimella.
- VR-ohjelmistojen käyttö palvelimella ja asiakasrajapinnan luominen.

Teemahaastattelu sopi hyvin IT-henkilöstön haastatteluun, sillä heidän tietotaitonsa aiheesta on huomattavasti parempi kuin haastattelijan. Näin ollen erillistä motivointia, johdattelua aiheeseen ja valmiiksi strukturoituja kysymyksiä ei tarvittu. IT-henkilöstöllä oli mahdollisuus tarkistaa haastatteluiden pohjata kirjoitetun tekstin oikeellisuus.

2. KIRJALLISUUSKATSAUS

Seuraavaksi käydään läpi suunnittelujärjestelmän konseptin ja suunnittelutyön kannalta olennaisia taustateorioita, keskeisiä käsitteitä ja yleisesti käytössä olevia suunnittelun työkaluja. Jotta erillään toimivia ohjelmistoja voidaan ottaa pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän osaksi, on ymmärrettävä kunkin ohjelmiston käyttötarkoitus ja perustoimintaperiaate. Käsitys suunnitteluliiketoiminnasta ja tuotesuunnittelusta edesauttaa suunnittelujärjestelmän komponenttien toiminnallisuuden ymmärtämistä. Kuten edellä todettiin, kohdeyrityksen palveluihin kuuluvat muun muassa mekaniikka-, sähkö-, automaatio- ja hydraulikkasuunnittelu. Jokaisella suunnittelun osa-alueella käytetään tiettyjä ohjelmistoja, joista jokaisella on omat erityispiirteensä. Suunnitteluohjelmistoihin perehtymisen jälkeen tarkastellaan pilvi- ja virtuaalitodellisuusteknologiaa aluksi yleisesti ja sen jälkeen suunnittelujärjestelmän kannalta.

2.1 Suunnitteluliiketoiminta

Suunnitteluliiketoiminnalla voidaan tarkoittaa esimerkiksi suunnittelutiedon, kuten mallien, laskentatietojen ja piirustusten tuottamista asiakkaan tarpeisiin. Joissakin tapauksissa suunnitteluliiketoiminta voi olla osa yrityksen muuta liiketoimintaa. Muun muassa Kaiserin ja Ringlsetterin (2011) mainitsevat, että suunnitteluliiketoiminta on hyvin usein projektimuotoista toimintaa. Projektit ovat kuitenkin hyvin vaihtelevia ja keskenään erityyppisiä. Projektin päävastuu voi olla suunnittelutoimistolla, tai suunnittelutoimisto voi tarjota lisäresursseja asiakkaan johtamaan projektiin. [49] Projektissa suunnittelutoimistolle osoitetut tehtävät voivat vaihdella uusien tuotteiden kehityksestä ja ideoinnista detaljisuunnitteluun, taikka dokumentointiin [49][18]. Tässä työssä keskitytään kuitenkin suunnitteluliiketoimintaan ja suunnittelutyöhön tuotesuunnittelun näkökulmasta.

2.1.1 Tuotesuunnitteluprosessit

Pakkanen (2015) mainitsee, että tuotesuunnittelua on kuvattu lukuisilla erilaisilla prosesseilla, joista yleensä ei voida valita yhtä oikeaa. Eri suunnitteluprosesseissa on kuitenkin havaittavassa paljon yhtäläisyyksiä ja samankaltaisuuksia. Toisaalta eri suunnitteluprosessissa painotus ja näkökulmat ovat hieman erilaisia. Käytännössä suunnitteluliiketoiminnassa prosessien eri vaiheet painottuvat, kun taas toiset vaiheet jäävät vähemmälle, tai kokonaan pois. Yleisiä suunnitteluprosessin kuvauksia ovat muun muassa Pahl & Beitz (1996), Ulrich & Eppinger (2008), sekä Andreasen & Hein (2000). [74] Esimerkiksi

Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysprosessin (2016) mukaan suunnittelu- ja tuotekehitysprosessi voidaan yleistää viiteen vaiheeseen: liiketoiminnan suunnitteluun, konseptisuunnitteluun, systeemitason suunnitteluun, detaljisuunnitteluun ja testaus- ja kehitysvaiheeseen. [99]

Liiketoiminnan suunnittelun tavoitteena on tunnistaa kohdemarkkinat, asettaa liiketoiminnalliset tavoitteet ja suunnitteluprojektin tavoitteet. Konseptisuunnittelu lähtee liikkeelle asiakastarpeiden määrittämisestä. Asiakastarpeiden pohjalta kehitetään useita tuotekonsepteja, joista yksi tai muutamia valitaan jatkokehitykseen. Systeemitason suunnittelu käsittää tuotearkkitehtuurin kehittämisen ja tuotteen jakamisen alikokoonpanoihin ja siitä edelleen komponentteihin. Systeemitason suunnittelun tuloksena saadaan yleensä tuotteen geometrinen layout, tuotteen toiminnallinen spesifikaatio, sekä loppukokoonpanon prosessikaavio. Detaljisuunnittelu puolestaan keskittyy alikokoonpanojen ja yksittäisten komponenttien suunnitteluun. Tuloksena on komponenttien ja alikokoonpanojen valmistukseen tarvittava dokumentaatio. Testaus- ja kehitysvaiheessa rakennetaan yksi tai useampi tuotteen prototyyppi. Prototyyppien avulla testaan käytännössä, toimiiko tuote, kuten sen on suunniteltu toimivan ja täytyvätkö kaikki asiakastarpeet. [99]

Suunnitteluliiketoiminta on enimmäkseen tilauksen mukaista suunnittelua, eli niin sanottua ”*Engineering to order*” -tyyppistä toimintaa. Tuote suunnitellaan ja valmistetaan asiakkaan tilauksen mukaisesti. Tuote mitoitetaan käyttökohteen mukaan ja tapauskohtaisesti. Näin ollen suunnittelutyön määrä vaihtelee projektikohtaisesti hyvin paljon. Kyseessä voi olla olemassa olevan tuotteen pohjalta tehtävä pieni modifikaatio, uuden toiminnallisuuden suunnittelua olemassa olevaan tuotteeseen, tai kokonaan uuden tuotteen suunnittelu. [57] Ong *et al.* (2018) esittivät keinoja suunnittelutiedon uudelleenkäyttöä varten. Olemassa olevaa suunnittelutietoa voidaan hyödyntää käytännössä kolmella tavalla. Ensimmäinen tapa on käyttää pohjana tai esimerkkinä aikaisempaa suunnittelutietoa, joka liittyy tuotteeseen, jolla on vastaavanlaiset tekniset vaatimukset kuin uudella suunniteltavalla tuotteella. Esimerkiksi aikaisemmin tehdystä 3D-mallista tai kokoonpanosta tehdään kopio, joka muokataan sopivaksi uuteen tuotteeseen. [64]

Toinen vaihtoehto on niin sanottu ”katalogi suunnittelu”, tai komponenttipohjainen suunnittelu. Tässä metodissa hyödynnetään valmista komponenttikatalogia, josta valitaan tuotteeseen sopivia komponentteja. Valmiita komponentteja ei muokata, vaan niitä käytetään sellaisenaan tuottamaan teknisten vaatimusten mukainen tuote. Kolmas vaihtoehto suunnittelutiedon uudelleenkäytölle on modulaarinen suunnittelu. Konseptina modulaarisuus on osoittautunut hyödylliseksi monella eri alalla. Moduuli on kokonaisuuden,

esimerkiksi työkoneen rakenteellisesti itsenäinen, mutta kokonaisuuden kanssa yhdessä toimiva alikokoonpano. Moduulit voivat olla myös uudelleenkäytettäviä komponenttikokonaisuuksia. Tuotteeseen valitaan tietyt moduulit toteuttamaan haluttu toiminnallisuus. Valmiita moduuleita ei yleensä muokata, vaan tuote koostuu valmiiksi määritellyistä moduuleista. [64]

2.1.2 Lean suunnittelussa

Toisenlainen lähestymistapa suunnitteluliiketoimintaan on Lean-periaate. Lean-periaatteen mukaisesti kaikki hukka pitää minimoida ja suunnittelun arvontuotto asiakkaalle tulee maksimoida. Hukan vähentämisen voidaan ymmärtää tarkoittavan esimerkiksi ylimääräisten tai turhien suunnitteluprosessin vaiheiden ja toimintojen karsimista. [36] Siya *et al.* (2015) mukaan hukan vähentäminen voi tarkoittaa myös kertaalleen suunnitellun komponentin tai kokoonpanon uudelleensuunnittelun välttämistä. Hukan määrittely ei kuitenkaan aina ole yksinkertaista suunnittelutyössä. Esimerkiksi merkittävä ajankäyttö yksityiskohtien suunnitteluun voi projektista riippuen olla turhaa työtä, tai olennainen osa suunnittelua. Lisäksi tiettyjen komponenttien tai osakokonaisuuksien uudelleen suunnittelu voi parantaa suunnittelun arvontuottoa loppukäyttäjän näkökulmasta, vaikka sama työ joudutaan tekemään osittain uudelleen. [83]

Suunnittelutyössä arvontuoton määrittely ei ole yksinkertaista, eikä yksiselitteistä. Arvontuotto voidaan määrittellä esimerkiksi oikean suunnittelutiedon oikea-aikaiseksi tuottamiseksi. Toisaalta arvontuoton voidaan myös ymmärtää tarkoittavan suunnitellun tuotteen laatua, sekä valmistuskustannusten ja valmistusajan vähentämistä. [83] Freire & Alarcón (2002) painottavat, että tuotteen arvoon ja suunnittelun arvontuottoon vaikuttavat seikat tulee aina arvioida loppukäyttäjän näkökulmasta. Arvontuoton kannalta olennaista on analysoida huolellisesti loppukäyttäjän tarpeet ja verrata suunnittelutyön tuloksia asiakkaan tarpeisiin ja vaatimuksiin. Jos mahdollista, tarpeiden ja vaatimusten analysointi on hyvä tehdä yhdessä loppukäyttäjän kanssa. [36]

Siya *et al.* (2015) esittivät erilaisia suunnittelutyöhön soveltuvia Lean-periaatteita. Muutamia tämän työn kannalta keskeisiä Lean-periaatteen mukaisia tavoitteita suunnittelutyöhön sovellettuna ovat:

- resurssien ja tavoitteiden kytkeminen toisiinsa
- selkeästi asetut ja määritellyt tavoitteet
- pullonkaulojen poistaminen (mm. tiedon saatavuus, rinnakkaisuuksien hyödyntäminen.)
- teknisten epävarmuuksien tunnistaminen ja lieventäminen
- selkeä vastuun- ja tehtävienjako
- turhien dokumenttien poistaminen
- tiedon tuottaminen oikeassa formaatissa ja oikeaan aikaan
- tavoitteiden saavuttamisen seuranta
- valmistuskustannusten huomiointi
- suunnittelutiedon ja kaupallisten komponenttien uudelleenkäyttö
- standardoidut menetelmät ja työkalut
- olemassa olevan tiedon uudelleenkäyttö
- Integraation mahdollistavien työkalujen käyttö. [83]

Edellä mainittujen lisäksi on lukuisia muita Lean-periaatteen mukaisia tavoitteita ja käytäntöjä, joita voidaan soveltaa suunnittelutyöhön. On syytä muistaa, että kaikkien periaatteiden noudattaminen ei aina ole mahdollista suunnittelutyössä, sillä osa edellä mainituista periaatteista ja tavoitteista on muodostettu valmistavan teollisuuden Lean-periaatteiden pohjalta. [83] Freiren & Alarcón (2002) mukaan tehokkain tapa soveltaa Lean-periaatteita suunnittelutyössä on yhdistää Lean-periaatteet perinteiseen suunnittelun johtamisen ajattelumalliin. Tällöin perinteiseen johtamismalliin otetaan mukaan virtausajattelu ja arvontuottoajattelu. Virtausajattelun avulla huolehditaan, että epäoleellisen työn määrä voidaan minimoida. Arvontuottoajattelun pohjalta puolestaan huolehditaan, että loppukäyttäjän vaatimukset ja tarpeet täyttyvät mahdollisimman hyvin. [36]

2.2 Projektinhallinta ja toiminnanohjaus

Alban ja Chicanon (2007) mukaan projektinhallintaohjelmistoilla suunnitellaan, seurataan ja ohjataan projektia. Projektinhallintaohjelmiston tärkeimpiä ominaisuuksia ovat tehtävien aikataulutus, tehtävien välisten sidosten määrittäminen ja sidosten vaikutusten huomiointi, sekä resurssien käytön suunnittelu ja seuranta. Aluksi luodaan lista projektin tehtävistä. Tehtävien väliset riippuvuudet määritellään projektinhallintaohjelmistoon. Samalla tehtäville määrätään resurssit. Tehtävien ja resurssinkäytön perusteella voidaan määrittää projektille aikataulutus ja mahdolliset tarkastuspisteet. [3] Kohdeyrityksessä

käytetään PARM -ohjelmistoa projektinhallintaan. Tarvittaessa voidaan käyttää myös Microsoft Project -ohjelmistoa, jos se on tarpeellista asiakkaan kannalta. [19]

Toiminnanohjausjärjestelmä on järjestelmä, joka yhdistää valmistuksen hallinnan, taloushallinnon, hankinnan ja toimitukset yhden käyttöliittymän ja tietokannan alle. ERP-järjestelmä pohjautuu usein tuotenimikkeisiin. Jokaiselle tuotenimikkeelle asetetaan tietyt attribuutit, rakenne, työvaiheet ja dokumentit, joita hyödynnetään yrityksen toiminnassa. ERP-järjestelmä koostuu moduuleista, jotka linkittyvät toisiinsa, muodostaen liiketoiminnan kokonaisuuden hallinnan työkalun. [104] ERP-järjestelmässä nimikkeen dokumentteja voivat olla esimerkiksi valmistuspiirustukset, DXF-tiedostot (DXF, Drawing Exchange Format), sekä käyttö- ja huolto-ohjeet. Nimikkeen attribuutteja voivat olla esimerkiksi paino, varastopaikka, minimi ja maksimi varastosaldo. ERP-järjestelmässä tuotteen rakenne, eli BOM (Bill Of Materials) vastaa tuotteen rakennetta PDM-järjestelmässä ja usein BOM siirtyykin suoraan PDM-järjestelmästä ERP-järjestelmään. [79]

2.3 Tietokoneavusteinen suunnittelu

Käytännössä kaikki suunnittelutyö tapahtuu nykyisin tietokoneella. Tuholan (2008) mukaan käsitteenä tietokoneavusteinen suunnittelu on monialainen; se pitää sisällään esimerkiksi mallintamisen, piirustusten tekemisen, lujuuslaskennan, erilaiset simulaatiot, teknisen laskennan ja tuotannon suunnittelun. [97] Yksi tietokoneavusteisen suunnittelun merkittävimmistä eduista on digitaalisen tiedon siirto suoraan valmistukseen. Tästä hyvänä esimerkkinä on DXF leikkuuradan luonti 3D-mallin pohjalta [18]. Myös erilaiset simulaatiot, kuten kinematiikkasimulaatio, ovat tehokkaita työkaluja suunnittelun laitteen analysointiin suunnitteluvaiheessa. Kaiken kaikkiaan voidaan sanoa, että oikein toteutettuna tietokoneavusteinen suunnittelu lisää tuottavuutta. [97]

Kaikki suunnitteluohjelmistot vaativat toimiakseen käyttölisenssin. On syytä huomata, että tällä hetkellä kohdeyrityksessä lähes kaikki suunnitteluohjelmistojen lisenssit ovat niin sanottuja kelluvia verkkolisenssejä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kun ohjelma käynnistetään, ohjelma varaa yhden lisenssin lisenssipalvelimelta. Lisenssipalvelimella on tietty määrä eri tyyppisiä lisenssejä jokaista ohjelmaa varten. Lisenssit eivät siis ole nimettyjä tietyille henkilöille. Kelluvat lisenssit mahdollistavat sen, että ohjelmia voidaan asentaa työasemille vapaasti. Ohjelmia saattaa siis olla asennettu enemmän kuin siihen on lisenssejä. Lisenssien määrää sopeutetaan tarpeeseen jatkuvasti. [93]

2.3.1 Tuotetiedonhallintaohjelmistot

PDM-ohjelmistot on kehitetty tuotetiedon hallintaa varten. PDM-ohjelmisto hallinnoi kaikkea tuotteeseen liittyvää tietoa. Ohjelmistoon tallennetaan nimikkeen (tuotekoodin) alle kaikki kyseistä nimikettä koskevat tiedot. Näitä ovat 3D-malli, tarvittaessa DXF, työpiirustukset (PDF), sähkö- ja hydraulikkakaaviot, sekä nimikkeen rakenne, eli aliosat ja / tai alikokoonpanot. PDM-ohjelmiston kautta tapahtuu myös muutostenhallinta ja työnkierron hallinta. [18] Jotkut ohjelmistovalmistajat käyttävät samat toiminnot omaavalle ohjelmistolle nimitystä PLM (Product Lifecycle Management) -ohjelmisto [86].

Lähes kaikissa PDM-ohjelmistoissa muutostenhallinta on toteutettu siten, että yksittäinen henkilö voi ottaa tietueen, esimerkiksi 3D-mallin, niin sanottuun *Check Out* -tilaan. Tällöin vain kyseinen henkilö pääsee muokkaamaan tietuetta. Kun muokkaus on valmis, tietue tallennetaan ja laitetaan *Check in* -tilaan, jolloin muokattu tietue tallentuu PDM-palvelimelle ja muutokset ovat myös muiden käyttäjien nähtävillä. Tämän jälkeen toinen henkilö voi tarvittaessa ottaa tietueen *Check Out* -tilaan ja jatkaa muokkaamista. Tietueen muokkaamisesta jää aina merkintä, josta selviää muokkausajankohta ja muokkaaja. PDM-järjestelmän tietoja hyödynnetään koko tuotteen elinkaaren ajan, joskus myös tuotteen elinkaaren päätyksen jälkeen. [23][88]

PDM-järjestelmässä yhdellä nimikkeellä voi olla useampi revisio. Nimikkeen revisiot ovat usein nähtävissä ja tarkasteltavissa PDM-ohjelmiston kautta [39]. Jotta suunnittelun kannalta valmista ja valmistukseen siirtynyttä nimikettä ei enää muokata, nimikkeen revisio niin sanotusti laitetaan työnkiertoon. Työnkiertoon hyväksytyä revisiota ei pysty muokkaamaan, vaan jos nimikkeeseen täytyy tehdä muutoksia, nimikkeelle on luotava uusi revisio. Muutostenhallinnan ohella PDM-järjestelmä toimii myös komponenttikirjastona, josta voidaan hakea olemassa olevia osia eri kokoonpanoihin. Näin ollen aikaisemmin suunniteltuja osia ja yleisesti saatavilla olevia kaupallisia osia, kuten ruuveja ja muttereita, ei tarvitse aina mallintaa uudelleen, vaan ne voidaan suoraan lisätä kokoonpanomalleihin. [18]

PDM-ohjelmistojen ja CAD-ohjelmistojen välillä on rajapinta. Usein PDM- ja CAD-ohjelmistot toimivat hyvin saumattomasti yhdessä. CAD-ohjelmisto hakee tietoa ja tallentaa tietoa suoraan PDM-järjestelmään. Myös PDM-ohjelmiston ja ERP-ohjelmiston välillä on yleensä rajapinta. Tuotteiden nimikkeet, tuoterakenteet ja tietyt dokumentit siirtyvät PDM-ohjelmistosta ERP-ohjelmistoon. [18] Insinööritoimiston liiketoiminnassa PDM-järjestelmän ja ERP-ohjelmiston välinen yhteys ei ole kuitenkaan yleensä tarpeellinen.

Kohdeyrityksessä useimmissa projekteissa tuotetiedot tallennetaan pääsääntöisesti suoraan asiakkaan PDM-järjestelmään ja sitä kautta asiakkaan ERP-järjestelmään. [93]

2.3.2 Mekaniikkasuunnitteluohjelmistot

Mekaniikkasuunnittelu tehdään nykyisin lähes aina 3D-CAD-ohjelmistolla. 3D CAD-ohjelmistoille suunnitellaan tuotteita nimensä mukaisesti kolmiulotteisesti. Suunniteltavat kappale, kokoonpano, tai laite näyttävät siis oikeilta. Lisäksi 3D-malleilla samat fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet, kuin oikealla kappaleella. Näin ollen esimerkiksi painonlaskenta, mekanismien liikeradat ja välykset on helppo määrittää mallin perusteella. Myös massakeskipisteen määrittäminen on erittäin helppo tehdä 3D-mallin avulla. 3D-mallinnuksen tavoitteena on tuottaa mahdollisimman laadukkaita 2D-piirustuksia valmistusta varten. 3D-mallinusta käyttämällä voidaan tehokkaasti vähentää suunnitteluvirheitä. Kokoonpanoista voidaan melko helposti havaita esimerkiksi osien törmäykset ja toisiinsa sopimattomat osat. [97][95]

CAD-mallinnus voi olla joko suoraa mallinnusta, tai parametrissa mallinnusta. Parametrisessa mallinnuksessa kappaleelle määritetään kiinteiden mittojen sijaan parametrit, jolloin mittatiedot päivittyvät parametria muutettaessa. [39] Parametrinen malli voi esimerkiksi sisältää matemaattisia sääntöjä, jotka määräävät tiettyjen mittojen suuruuden jonkin toisen mitan tai parametrin perusteella [27]. 3D-mallinnustekniikka mahdollistaa myös automaattisesti päivittyvät kappaleiden mitat piirustusarkilla. Kun 3D-mallin mittoja muuttaa, 2D-piirustuksen mitat päivittyvät myös. 3D-mallinnus- ja piirustusohjelmistoista käytetään usein nimitystä CAD-ohjelmiston (Computer aided design), vaikka CAD-termi viittaakin kaikkeen tietokoneavusteiseen suunnitteluun.[97] Nykyisin mekaniikkasuunnitteluohjelmistoista käytetään melko yleisesti myös lyhennettä MCAD [86].

Valmistettavan tuotteen osista tehdään 3D-mallit, joiden pohjalta luodaan piirustukset, yleensä PDF-muodossa, sekä tarvittaessa leikkuuradat ohutlevykappaleille, yleensä DXF-muodossa. Yksittäisistä osista tehdään alikokoonpanoja, joista puolestaan tehdään lopullisen tuotteen kokoonpanomalli. Jokaisesta alikokoonpanosta ja tuotteen loppukokoonpanosta luodaan myös työpiirustukset 3D-mallin perusteella. Kokoonpanojen työpiirustuksista on joskus tarpeen tehdä niin kutsuttuja räjäytyskuvia, joissa kokoonpanot osat ovat irrallaan toisistaan, mutta siitä voidaan helposti havaita osien paikoitus ja kokoonpano järjestys. Yhdestä 3D-mallista saadaan lisäksi erittäin helposti tehtyä 2D-piirustukseen useita eri kuvantoja, mukaan lukien kolmiulotteisen kaltainen isometrinen 2D-kuvanto. [95][97]

3D-malli tallennetaan pääsääntöisesti CAD-ohjelmistosta riippuvassa tiedostomuodossa. Tarvittaessa 3D-malli voidaan tallentaa niin sanotussa neutraalitiedostomuodossa. Neutraalitiedostomuoto mahdollistaa mallin avaamisen muissa ohjelmistoissa, kuin siinä, jolla malli on alun perin luotu. Yleisimpiä neutraalitiedostomuotoja ovat STEP (Standard for The Exchange of Product model data) ja IGES (Initial Graphics Exchange Specification). Nykyisin STEP-formaattia pidetään yleisesti ottaen parempana vaihtoehtona kuin IGES -formaattia. STEP on uudempi tiedostomuoto, joka mahdollistaa solidi 3D-mallien tallentamisen. IGES puolestaan sallii vain 3D-pintamallien ja 2D-mallien tallentamisen. STEP-formaatin haittapuolena voi joissain tapauksissa olla se, että STEP-formaattiin tallennettua 3D-mallia ei voi muokata jälkeenpäin. [41]

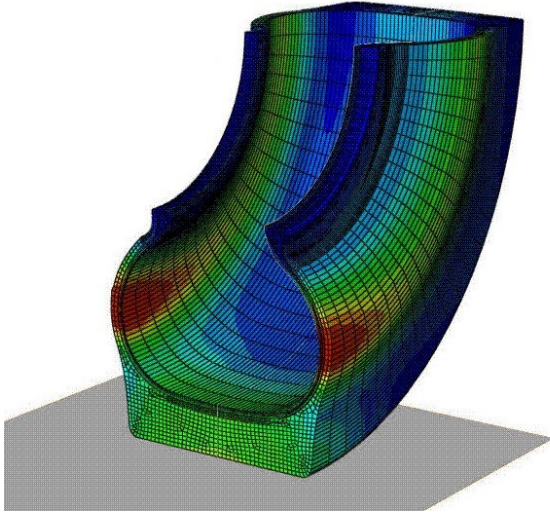
CAD-malli voi sisältää myös ei-geometrisia tietoja, jotka ovat tarpeellisia valmistuksen kannalta. Näitä ovat muun muassa mitat, mittojen toleranssit, materiaalit, pinnankarheet. Mallin ei-geometrisista tiedoista käytetään nimitystä PMI (Product and Manufacturing Information). Tarvittaessa PMI-tiedostoon voidaan lisätä myös hitsausmerkinnät ja tarvittavia huomautuksia. PMI-tiedostoa voidaan pitää eräänlaisena 3D-valmistusdokumentitiedostona. PMI-tiedostolla voidaan joissakin tapauksissa esimerkiksi korvata täysin perinteiset 2D-piirustukset. CAD-malli, johon on liitetty PMI, voidaan tallentaa esimerkiksi STEP, tai 3D PDF formaattiin. [85]

3D CAD-ohjelmistojen mallinnusympäristö muokataan aina asiakkaan tarpeisiin sopivaksi. Asiakaskohtaisessa mallinnusympäristössä ohjelmistoon määritellään asiakkaan tarpeisiin sopivat parametrit, joita ovat muun muassa piirustus pohja, värit, oletusmateriaali ja sen tiheys, sekä lujuusluokka. [97] Kohdeyrityksessä on käytössä kaikki suunnittelutyössä yleisimmin käytetyt CAD-ohjelmat. [92] Suunnittelijan käyttämän CAD-ohjelmiston valinta riippuu asiakkaasta; suunnittelutyö tehdään samalla ohjelmistoilla kuin mikä asiakkaalla on käytössä. Tällä hetkellä eniten käytetyt CAD-ohjelmistot ovat Dassault Systemes Catia ja Solidworks, sekä Siemens NX. [93]

2.3.3 Lujuuslaskentaohjelmistot

Nykyisin lähes kaikki lujuuslaskenta tehdään tietokoneella, elementtimenetelmään perustavalla laskentaohjelmistolla. Tietokoneella tapahtuvassa FEM-analyysissä (FEM, Finite Element Method) on kolme vaihetta. Ensimmäisenä valmistellaan malli laskentaa varten. Analysoitavan kappaleen geometria mallinetaan tai tuodaan ohjelmaan. Mallille määritellään materiaaliominaisuudet, tuennat (reunaehdot) ja kappaleeseen vaikuttavat voimat. Tämän jälkeen mallille luodaan elementtiverkko. Seuraava vaihe on numeerinen analyysi. Ohjelmisto määrittää lähtötietojen perusteella kappaleelle jäykkyysmatriisin ja

kuormitusvektorin. Näistä kohtaan yhtälöryhmä, joka ratkaistaan numeerisesti. Viimeinen vaihe on laskentatuloksen jälkikäsitteily, jossa tietokone koostaa laskentatuloksista ihmiselle helposti ymmärrettävän graafisen esityksen. [77] Kuvassa 3 nähdään elementtimenetelmään pohjautuvalla ohjelmistolla lasketun lujuuslaskennan tulos graafisessa muodossa.



Kuva 3. FEM-laskennan graafinen tulos [29].

FEM-ohjelmistoissa on yleensä mahdollisuus mallintaa kappaleita kuten CAD-ohjelmistoissa, mutta usein malli tuodaan CAD-ohjelmistosta FEM-ohjelmistoon. Mallista voidaan tarvittaessa luoda kevyempi pintamalli, joka usein nopeuttaa laskentaa. Laskentamalliin luodaan elementtiverkko, johon FEM-laskenta perustuu. Elementtiverkon tiheys määrää laskentatuloksen tarkkuuden; tiheämpi elementtiverkko tuottaa tarkemman laskentatuloksen ja vastaavasti harvempi elementtiverkko tuottaa epätarkemman laskentatuloksen. Elementtiverkon tiheys, sekä elementtityyppi mallissa olevien elementtiverkon solmujen määrän. Tiheä elementtiverkko lisää solmujen määrää merkittävästi, kun taas harvempi elementtiverkko vähentää solmujen määrää. Samoin 3D-elementit lisäävät solmujen määrää verrattuna pintamalleissa hyödynnettäviin 2D-elementteihin. Mitä enemmän mallissa on solmuja, sen pidempään laskenta kestää ja sitä enemmän tietokoneelta vaaditaan laskentatehoa. [95]

Useimmissa CAD-ohjelmistoissa on käytettävissä FEM-lisäosa, jolla lujuuslaskenta voidaan suorittaa. Nämä lisäosat eivät yleensä kuitenkaan ole niin monipuolisia kuin lujuuslaskentaa varten kehitetyt ohjelmistot. Lisäksi elementtimenetelmään pohjautuvia ohjelmistoja voidaan käyttää myös fluididynamiikkaan, sekä sähkö- ja magneettikenttien ana-

lysointiin. Kohdeyrityksessä lujuuslaskenta, sekä muut elementtimenetelmään perustuvat laskennat tehdään Ansys-ohjelmistolla. [10] Ansys FEM-ohjelmiston uusin julkaisu tukee useimpia CAD natiiviformaatteja, joten 3D-malli voidaan tuoda suoraan CAD-ohjelmistosta FEM-ohjelmistoon ilman kääntämistä neutraalitiedostomuodoksi. [7]

2.3.4 Sähkö- ja hydraulikkasuunnitteluohjelmistot

Sähkösuunnitteluohjelmistot ovat 2D-CAD, eli kaksiulotteisia piirustusohjelmistoja. Toiminnaltaan ne ovat varsin samankaltaisia kuin 3D-ohjelmistot. Ohjelmistot usein sisältävät valmiin symbolikirjaston, josta voidaan hakea piirustusarkille standardien mukaisia piirustussymboleita. [11] Sähkösuunnitteluohjelmistolla piirretään muun muassa yleiskaavioita, toimintakaavioita, piirikaavioita ja liitäntäkaavioita ja sijaintipiirustuksia (Layout piirustuksia) [84]. Myös johtosarjojen suunnittelu tapahtuu yleensä 2D-CAD-ohjelmistolla. Johtosarjan suunnittelussa johtimille määritetään pituus, liittimet ja kytkennät muihin johtosarjoihin tai laitteisiin. [108] Kohdeyrityksessä eniten käytetyt sähköpuolen CAD-ohjelmistot ovat CADS Planner, EPlan ja E3 [93].

Hydrauliikkasuunnitteluohjelmistot ovat hyvin vastaavanlaisia kuin sähkösuunnitteluohjelmistot. Työskentely tapahtuu pääasiassa kaksiulotteisesti ja päämääränä on tuottaa hydraulikka- ja pneumaattikkakaavioita. Myös hydraulikkasuunnitteluohjelmistoista löytyy usein symbolikirjasto, josta voidaan hakea valmiita standardien mukaisia symboleita. [107] Hydrauliikkasuunnittelussa letkusarjojen suunnittelu voi tapahtua vastaavalla tavalla kuin sähkösuunnittelussa johtosarjojen suunnittelu. Joissakin tapauksissa samaa ohjelmistoa voi käyttää sekä sähkö- että hydraulikkasuunnitteluun. Sekä sähkö-, että hydraulikkasuunnitteluohjelmistoissa on usein mahdollisuus siirtää tietoa mekaniikkasuunnitteluohjelmistoon. Näin ollen mekaniikkapuolella voidaan määrittää letkujen, putkien ja johtimien reititys ja pituudet. Tiedonsiirto tapahtuu .xml -tiedostoformaattiin perustavalla menetelmällä. Tiedonsiirto toimii myös toiseen suuntaan vastaavalla tavalla. [108][31]

2.4 Suunnittelutyötä tehostavat teknologiat

Suunnittelutyötä pyritään jatkuvasti kehittämään ja tehostamaan erilaisin keinoin. Tällä hetkellä tutkimusten kohteena ovat pilviteknologian ja virtuaaliodellisuusteknologian hyödyntämien suunnittelutyössä. Useat ohjelmistoyritykset ovat alkaneet sisällyttää suunnittelu- ja laskentaohjelmistoihin edellä mainittuja teknologioita hyödyntäviä toimin-

nollisuuksia ja käyttömahdollisuuksia. Ehkäpä näkyvimmin teknologia- ja ohjelmistokehityksessä ovat olleet mukana Ansys, Autodesk ja Dassault Systemes. [8][10][21] Lisäksi Zheng ja Song (2019) tutkivat virtuaaliodellisuusteknologian vaikutuksia CAD-ohjelmistojen kehitykseen [106]. Seuraavaksi käydään läpi millaisia teknologioita on kehitetty tehostamaan suunnittelutyötä, sekä pohjustetaan teknologioiden käyttöä osana pilvipohjaista suunnittelujärjestelmää.

2.4.1 Pilvipohjaiset järjestelmät

Pilvipohjainen järjestelmä tarkoittaa, että järjestelmä toimii verkkopalvelimella, eikä käyttäjän tietokoneella paikallisesti. Palvelinkeskusten ja laajakaistayhteyksien kehittyminen on mahdollistanut monien ohjelmistojen ja palveluiden siirtämisen verkkoon. Käyttäjä pääsee käsiksi pilvipalvelimeen esimerkiksi verkkoselaimen kautta. Pilvipohjaiset järjestelmät voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: ohjelmisto palveluna (SaaS, Software as a service), alusta palveluna (PaaS, Platform as a service) ja infrastruktuuri palveluna (IaaS, Infrastructure as a service). Ensimmäisessä kategoriassa jokin tietty ohjelmisto toimii pilvipalvelimella ja käyttäjää hyödyntää kyseistä ohjelmistoa verkon välityksellä. Toisessa kategoriassa, alusta palveluna, pilvipalvelimella on jokin tietty sovellusalusta, jossa voidaan suorittaa useita eri sovelluksia. Kolmannessa kategoriassa hyödynnetään koko pilvipalvelinta, eli käyttäjä voi hyödyntää pilvipalvelimen sovellusalustan tai useiden sovellustojen lisäksi tallennustilaa, laskentakapasiteettia, ja verkkoyhteyksiä. [61]

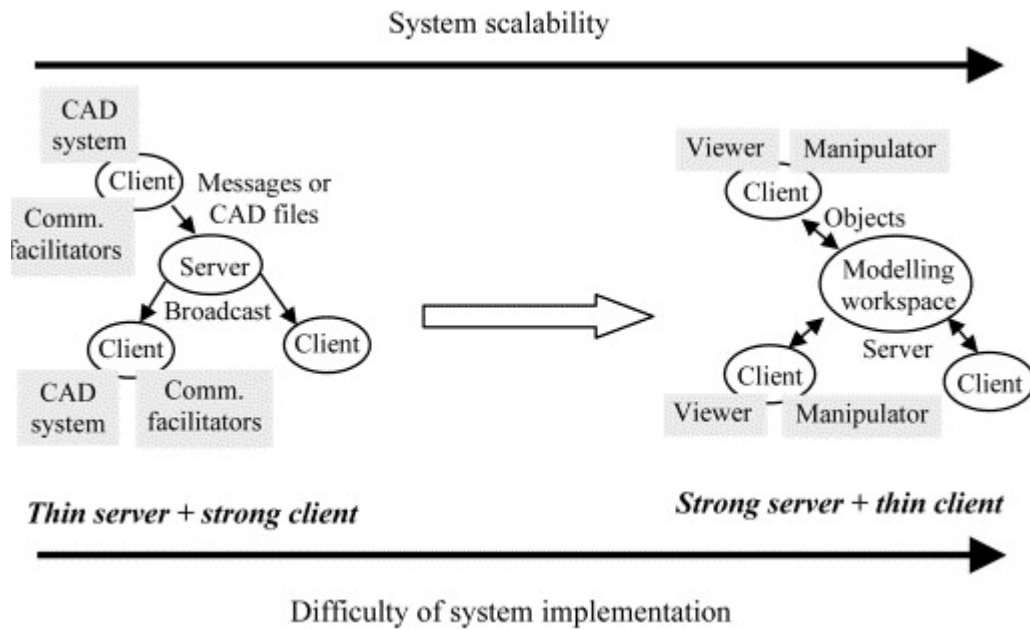
McGrory *et al.* (2012) painottavat, että pilvipohjaisten järjestelmien merkittävimpiä hyötyjä ovat resurssien saatavuus paikasta riippumatta, skaalattavuus tarpeen mukaan, tiedostojen varmuuskopioinnin helppous ja ohjelmistojen päivittämisen helppous; kun pilvipohjainen ohjelmisto päivitetään, uusin version on heti kaikkien käyttäjien käytössä. Käyttäjä pääsee käsiksi tiettyyn ohjelmaan, tiedostoon tai tietokantaan mistä tahansa, missä on verkkoyhteys, usealla eri päätelaitteella. Lisäksi useampi palvelintietokone voi suorittaa tiettyä tehtävää samanaikaisesti, jolloin tehtävän suoritus aika lyhenee merkittävästi. Pilvipohjaisten järjestelmien haittapuolia puolestaan ovat muun muassa riippuvuus verkkoyhteydestä ja riippuvuus pilvipalvelun tarjoajasta. Myös arkaluontoisen tiedon tallentaminen pilvipalvelimelle koetaan usein mahdolliseksi uhkaksi. Pilvipalvelimet voivat olla yksityisiä, yleisiä, hybridipalvelimia, tai yhteisöpalvelimia. [61]

Pilvipohjaisten järjestelmien kehittymisen myötä tiedostoja ei enää tarvitse ladata pilvipalvelimelta tietokoneen paikalliseen muistiin muokattavaksi. Tiedoston muokkaus voidaan tehdä palvelimella ja visuaalinen sisältö voidaan välittää käyttäjille suoratoistotekniikan välityksellä. Suoratoistolla tarkoitetaan tekniikkaa, jolla käyttäjä voi reaaliajassa

katsoa pilvipalvelimelta saatavaa visuaalista tietoa lataamatta koko tiedostoa kerralla. [56] Kaupallisten pilvipohjaisten ohjelmistojen tapatuksessa pilvipalvelin usein on ohjelmistovalmistajan hallinnoima, eli jos ohjelmisto toimii pilvipohjaisesti ja ohjelmiston valmistaja vastaa pilvipalvelimesta. On myös olemassa IaaS-tyyppisiä kaupallisia pilvipalvelimia, jotka mahdollistavat tiettyjen ohjelmistojen käyttämisen pilvipalvelimelta, vaikka ohjelmisto ei alun perin ole tarkoitettu käytettäväksi pilvipalvelimella. [9]

Aina kun jokin ohjelmisto toimii verkkoliikenteen välityksellä, ohjelmiston toimintaan vaikuttaa latenssi, eli aika mikä kuluu, kun tietopaketti siirtyy palvelimelta käyttäjälle ja takaisin palvelimelle [53]. Latenssi siis ikään kuin hidastaa ohjelmiston toimintaa. Latenssin ohella myös tiedonsiirtonopeus vaikuttaa merkittävästi pilvipohjaisen järjestelmän käyttökokemukseen. Toisaalta tiedonsiirtonopeus itsessään vaikuttaa kokonaislatenssiin. Lähiverkon tiedonsiirtonopeus on enimmillään noin 1000 Mb/s, kun taas alueverkon nopeus on tyypillisesti noin 150 Mb/s ja enimmillään noin 300 Mb/s. Näin ollen samassa lähiverkossa olevat palvelimet siirtävät tietoa palvelimelta toisella huomattavasti nopeammin kuin esimerkiksi samassa alueverkossa olevat palvelimet. [24][48]

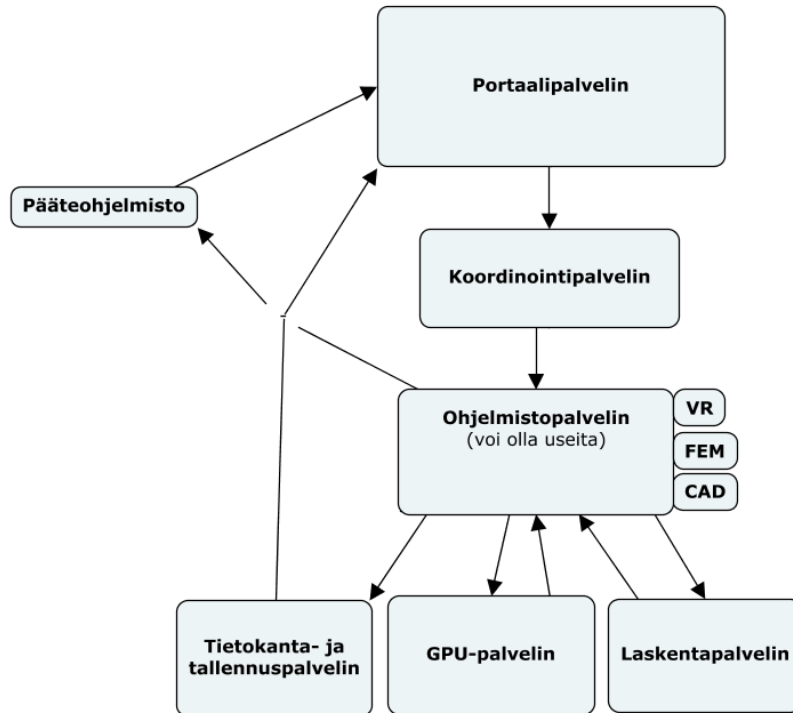
Fuh:n ja Lin (2004) mukaan CAD-ohjelmiston käyttö palvelimelta vaatii oman pääteohjelman. Internetselain ei todennäköisesti ole riittävä pääteohjelmaksi useimpien CAD-ohjelmistojen kohdalla. Lisäksi CAD-ohjelmistot asettavat erityisvaatimuksia pilvipalvelimen infrastruktuurille. [37] Kuvassa 4 on esitetty kaksi eri vaihtoehtoa CAD-ohjelmiston pilvipohjaiselle käytölle. CAD-ohjelmisto voi toimia paikallisella tietokoneella ja tallentaa, sekä jakaa tietoa pilvipalvelimen avulla (Thin server + strong client, eli vahva paikallinen ohjelmisto ja heikko palvelin). Tällöin kaikki suurta suoritintehoa vaativat prosessit tapahtuvat paikallisella tietokoneella. Toinen vaihtoehto on CAD-ohjelmiston asentaminen ja suorittaminen pilvipalvelimella (Strong server + thin client). Tällöin kaikki paljon suoritintehoa vaativat prosessit tapahtuvat pilvipalvelimella ja paikallisesti suoritetaan vain jokin pääteohjelmisto (client software). [56]



Kuva 4. CAD-ohjelmiston pilvipohjaisen käytön vaihtoehdot [56].

Yksi vaihtoehto pilvipohjaisen CAD-järjestelmän toteuttamiseen on hajauttaa toiminnot eri palvelimille. Andreadis *et al.* (2015) loivat konseptin CAD-käyttöön suunnatusta palvelinarkkitehtuurista. Ratkaisussa on kuusi toisiinsa kytkettyä palvelinta. Käyttäjä yhdistää päätelaitteensa portaalin palvelimeen pääteohjelman avulla. Portaalin palvelin on yhteydessä koordinointipalvelimeen, joka puolestaan on yhteydessä ohjelmistopalvelimeen. Käyttäjällä on yhteys myös ohjelmistopalvelimeen, jolla suoritetaan käyttäjän pyytämä suunnitteluohjelmisto. Ohjelmistopalvelin lähettää tietoa, kuten graafista tietoa, pääteohjelmalle. Samalla ohjelmistopalvelin ottaa vastaan tietoa, kuten näppäimistön tai hiiren syötteen, pääteohjelmalta. Koordinointipalvelin ohjaa pyynnöt käyttäjältä oikealle ohjelmistopalvelimelle. Samalla koordinointipalvelin valvoo ohjelmistopalvelimien kuormitustilannetta. Pyyntö ohjataan vähiten kuormitetulle soveltuvalle ohjelmistopalvelimelle. [5]

Ohjelmistopalvelin on liitetty tietokanta- GPU- ja laskentapalvelimiin. Tietokantapalvelin on tietokantoja ja tiedon tallentamista varten optimoitu palvelinyksikkö. GPU-palvelin vastaa graafisen sisällön käsittelystä. Laskentapalvelin puolestaan vastaa erityisen vaativista laskutoimituksista, jotka ovat varsin yleisiä suunnittelutyössä käytettävissä ohjelmistoissa, erityisesti FEM-laskennassa. Lisäksi laskentapalvelinta voidaan tarvittaessa käyttää suorittamaan suunnittelu- ja laskentaohjelmistojen lisäosia. Palvelinarkkitehtuuri on esitetty kuvassa 5. [5]



Kuva 5. Mahdollinen palvelinarkkitehtuuri CAD-ohjelmistoille [5].

Pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän toteutuksessa voidaan myös hyödyntää kaupallisia pilvialustoja. DesignAirSpace on kaupallinen pilvipalvelu, joka tarjoaa lähes kaikki yleisimmät CAD-ohjelmistot käyttöön pilvipalvelimelta. Pilvipalvelusta on saatavilla muun muassa Creo, Siemens NX, Dassault Systemes Catia ja Solidworks, sekä Autodesk Inventor. DesignAirSpace pyrkii toiminnallaan juurikin poistamaan suunnittelutyön paikkasidonaisuuden. [25] DesignAirSpace asiakasyhteyshenkilön mukaan myös virtuaalitoimintomalliset ohjelmistot toimivat todennäköisesti hyvin heidän pilvipalvelimella. [26] Amazon web services (AWS) on yleinen IaaS-tyyppinen kaupallinen pilvipalvelu, joka myös mahdollistaa eri ohjelmistojen suorittamisen pilvipalvelimella. Microsoft Azure on myös vastaavanlainen kaupallinen pilvipalvelu. [1]

Edellä mainittujen kaupallisten ratkaisuiden lisäksi Dassault Systemes on luonut CAD-käyttöä varten 3DExperience –alustan. 3DExperience –alustan välityksellä kaikki Dassault Systemes ohjelmistot ovat käytettävissä pilvipohjaisesti. 3DExperience –alusta toimii tarpeen mukaan joko yleisellä pilvipalvelimella, tai yksityisellä pilvipalvelimella. Dassault Systemesin mukaan 3DExperience ei ole pelkästään suunnattu suunnittelijoiden käyttöön, vaan myös muille yrityksen organisaation työntekijöille. Alustaan on liitetty sovelluksia markkinointia, myyntiä ja suunnittelua varten. Tällä tavoin on pyritty tehostamaan eri osa-alueiden yhteistyötä ja kommunikaatiota. [21]

Muutamit ohjelmistoyritykset ovat alkaneet hyödyntää pilviteknologiaa suunnitteluohjelmistoissaan niin, että pilviteknologia on valmiiksi integroitu osaksi ohjelmistoa. Erona edellä mainittuihin kaupallisiin pilvipalveluihin on se, että ohjelmistoa ei tarjota käytettäväksi kaupallisella pilvipalvelimella, vaan ohjelmisto, tai jokin osa siitä, on alusta alkaen suunniteltu käytettäväksi palvelin pohjaisesti. Esimerkiksi Autodesk Fusion 360 on pilvipohjainen suunnitteluohjelmisto, jossa lähestulkoon kaikki paljon suorintehoa vaativat prosessit tapahtuvat pilvipalvelimella. Fusion 360 käyttää tietokoneen paikallista muistia välimuistina ja tallennustilana. Fusion 360 ei siis ole täysin pilvipalvelimella toimiva CAD-ohjelmisto, vaan enemmänkin CAD-järjestelmän pääteohjelmisto, joka suorittaa osan prosesseista paikallisesti ja osan pilvipalvelimella. Autodeskin mukaan toimintojen hajauttaminen sekä paikalliselle tietokoneelle, että pilvipalvelimelle nopeuttaa ohjelmiston toimintaa ja parantaa toimintavarmuutta. [10][51]

Ansysis on julkaissut Ansysis Cloud -ohjelmiston. Pilvilaskenta toimii Ansysis laskentaohjelmiston rinnalla, siten, että laskentaohjelmisto salaa ja lähettää tiedot valmiista laskentamallista ratkaistavaksi pilvipalvelimelle. Laskennan tuloksia voi tarkastella paikallisen laskentaohjelmiston kautta, sekä verkkoselaimen kautta Ansysis -pilviportaalista. Ansysis Cloud ei siis korvaa paikallisesti suoritettavaa FEM-laskentaohjelmistoa, vaan lisää siihen mahdollisuuden hyödyntää pilviteknologian mahdollistavaa HPC (High-Performance Computing) -tekniikkaa, joka nopeuttaa huomattavasti laskentaa. Ansysis Cloud on rakennettu Microsoft Azure -pilvipalvelinalustan päälle. [8]

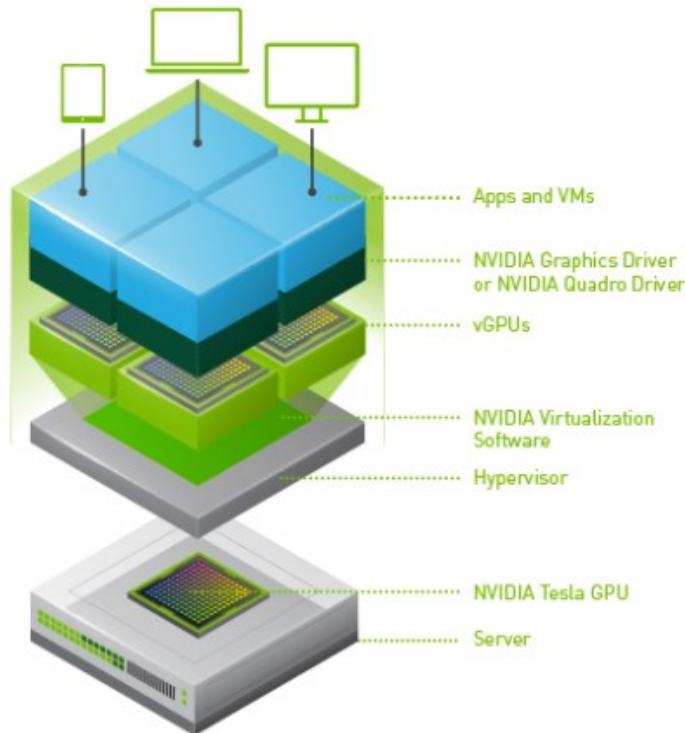
Myös muut ohjelmistoyritykset ovat aloittaneet pilvipalveluiden tarjoamisen CAD-ohjelmistojen tueksi. Esimerkiksi PTC tekee yhteistyötä Amazon web services:n kanssa tarjotakseen Creo CAD-ohjelmiston pilvipohjaisesti, vaikkakin ohjelmisto on saatavilla myös tavallisena työasemaversiona. [81]. Onshape tarjoaa myös täysin pilvipohjaista CAD-ohjelmistoa. Onshape mahdollistaa myös useamman suunnittelijan työskentelemisen saman kokoonpanon parissa yhtäaikaaisesti, eli samassa istunnossa. Kaikki muutokset kokoonpanon osissa ja itse kokoonpanossa päivittyvä käyttäjille lähes reaaliaikaisesti. [71] Onshape toimii verkkoselaimen kautta, kuten myös Amazon web services:a hyödyntävä Creo pilvipohjaisesti käytettynä [71][81].

Nykyisin systeemitason virtualisointi on yleistynyt tietotekniikassa. Virtualisointi mahdollistaa usean virtuaalikoneen, tai virtuaalityöaseman, rinnakkaisen toiminnan yhdessä fyysisessä tietokoneessa. Virtualisoinnin ohella GPU (graphics processing unit, grafiikkasuoritin) -tekniologian edistyminen on luonnut mahdollisuuden hyödyntää GPU:n rin-

nakkaista laskentaa tietokoneen muun laskentatehon lisäksi. Nykyisin GPU ei siis pelkästään suorita grafiikkatoimintoja, vaan myös muita laskentatehoa vaativia prosesseja. Virtualisoinnin yhdistäminen kehittyneeseen GPU-teknologiaan mahdollistaa virtuaali-GPU:n käytön virtuaalikoneissa. Tämä puolestaan on edistänyt suurteholaskennan (HPC, high performance computing) kehittymistä. [82] Virtuaali-GPU:n ansiosta pilvipalvelimella toimiva etätyöasema pystyy renderöimään kuvan valmiiksi palvelimella, sekä suorittamaan osan CPU:n (Central Processing Unit), eli suorittimen laskutoimituksista. [70][1]

Virtuaali-GPU:n yksi osa on ohjelmisto, joka asennetaan pilvipalvelimen virtualisointikerrokseen. Ohjelmisto luo virtuaalisia GPU-yksiköitä tarpeen mukaan, jolloin useampi käyttäjä voi hyödyntää palvelintietokoneen fyysisiä näytönohjaimia grafiikan luontiin ja laskutoimituksiin. Esimerkiksi Nvidia virtuaali-GPU:n kanssa palvelintietokoneissa käytetään fyysistä Nvidia Tesla- ja Quadro -sarjan näytönohjainta, joita voidaan asentaa useita rinnakkain. [68][70] Nvidian mukaan Quadro vDWS -ohjelmistoa voidaan käyttää näytönohjainten virtualisointiin, kun pääasiallinen käyttötarkoitus on 3D-mallinnus ja suunnittelu. [69]. Raskaassa käytössä, mikä on 3D-mallinuksessa ja FEM-laskennassa hyvin tyypillistä, palvelimella suositellaan käytettäväksi kolmea näytönohjainta. Tällöin palvelimen kapasiteetti riittää 6 - 9 käyttäjälle. [67]

Virtualisointitekniikan avulla suurteholaskentaa rakennettua palvelinklusteria voidaan käyttää etätyöpöytäyhteyden avulla. Käyttäjä voisi oman päätelaitteensa kautta käyttää etänä virtuaalista työasemaa. Sama suurteholaskentapalvelinklusteri voi luoda usealle käyttäjälle virtuaalisen työaseman yhtäaikaaisesti. Alan yritysten mukaan teknologia nopeuttaa suurien 3D-mallien avaamista, käsittelyä ja vaativia simulointi- ja laskentaprosesseja. Virtualisoinnin periaate on esitetty kuvassa 6. Palvelimelle asennetaan näytönohjaimet. Näytönohjaimet "virtualisoidaan", eli näytönohjaimen kapasiteetti jaetaan usealle käyttäjälle. Ohjelmistot toimivat palvelimella ja käyttävät palvelimen näytönohjaimia grafiikan muodostamiseen, jonka jälkeen grafiikka siirtyy verkon välityksellä käyttäjän päätelaitteelle. [70][68]

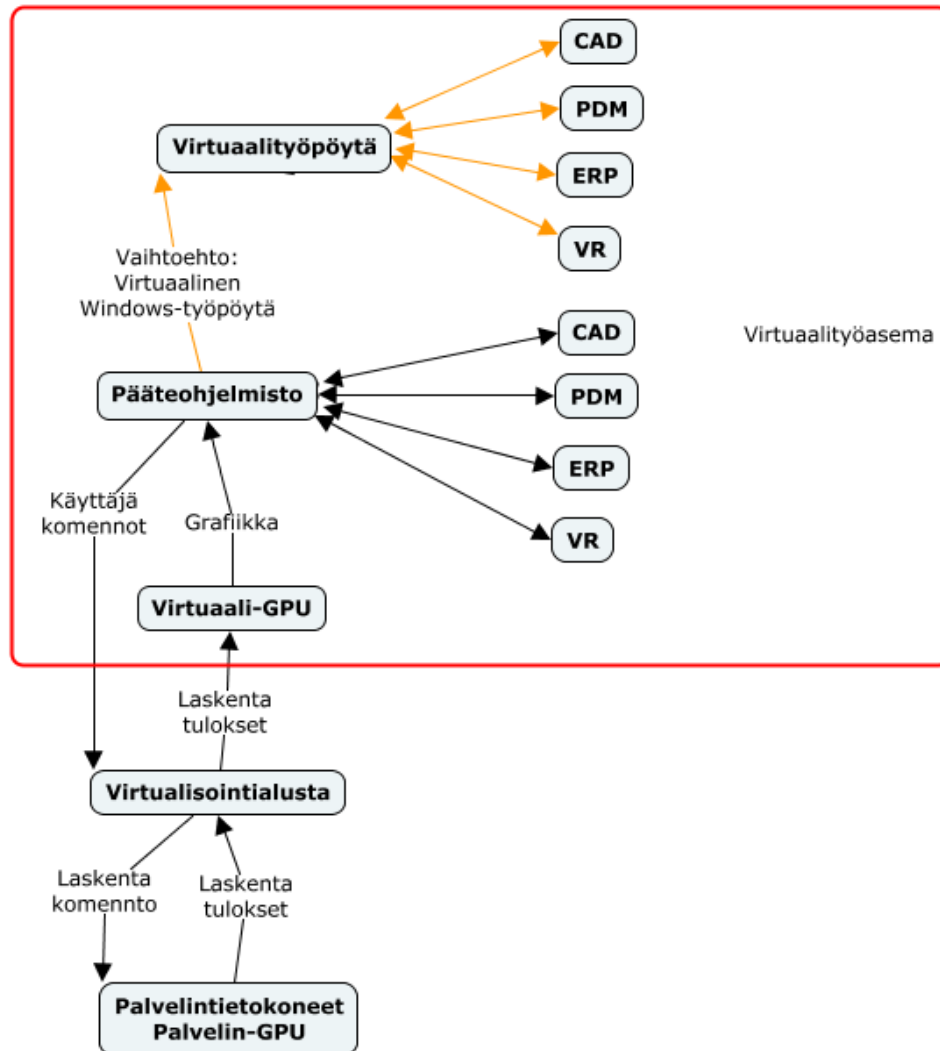


Kuva 6. Nvidia virtuaali-GPU periaate [70].

Kuvassa 6 nähtävä ”*hypervisor*”, eli virtuaalikonemonitori on prosessi, joka luo ja hallinnoi virtuaalityöasemia. Yksi fyysinen pilvipalvelin voi luoda monta virtuaalista työasemaa, joita voidaan käyttää etätyöpöytäyhteyden välityksellä. Virtuaalikonemonitori mahdollistaa siis usean rinnakkaisen etätyöaseman luomisen eri käyttäjille samalle palvelimelle. Tietyn käyttäjän etätyöasema ei ole sidottu tiettyyn fyysiseen palvelimeen, vaan se voidaan luoda myös toiselle palvelimelle. Yksi mahdollinen virtuaalikonemonitori on VMware Horizon Cloud. VMware Horizon Cloud –järjestelmän luomaa virtuaalikonetta käytetään VMware Horizon client –ohjelmiston, eli pääteohjelmiston kautta, käytännössä millä tahansa päätelaitteella. [101][102]

Toinen vaihtoehto etätyöaseman käyttöön on Citrixin Hypervisor – ja Virtual desktop –ohjelmistojen käyttö. Citrix Virtual desktop on niin ikään pääteohjelmisto, jonka välityksellä käytetään pilvipalvelimella toimivaa virtuaalityöasemaa. Citrix tarjoaa kokonaisen ohjelmistojärjestelmän, joka sisältää niin sanotun hypervisor- ohjelmiston, palvelinohjelmiston ja pääteohjelmiston. Pääteohjelmiston kautta voidaan käynnistää yksittäisiä ohjelmia, tai virtuaalinen työpöytä. Citrixin mukaan yhtä palvelinkonetta kohden voi olla yhteensä 128 virtuaali-GPU-istuntoa, eli palvelin suorittaa grafiikan muodostamisen 128:lle

käyttäjälle. Citrixin järjestelmä tukee enintään 12 GPU:n asentamista yhteen palvelimeen. Maksimi RAM-muistin määrä palvelinta kohden 5 TB. [16][17] Virtuaalityöaseman toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Pilvipohjaisen virtuaalityöaseman periaate

Citrixin järjestelmässä on API (Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta), jonka kautta järjestelmästä saadaan tietoa ulos. API mahdollistaa esimerkiksi käyttäjien istuntojen pituuden määrittämisen ja seuraamisen, sekä palvelinresurssien käytön seuraamisen. [15] Sekä Citrix, että VMware väittävät olevansa markkinoiden parhaita, nopeimpia ja turvallisimpia ratkaisuita virtuaalitietokoneen toteuttamiseen. Yrityskäyttöön Citrix kuitenkin vaikuttaa olevan parempi ratkaisu, erityisesti jos yrityksellä on tarve käyttää raskaita 3D-ohjelmistoja. [16][102]

Casas, Egger, Seufret & Schatz (2013) havaitsivat, että etätyöpöytäyhteyttä käytettäessä verkkoyhteyden nopeudelle on melko suuri vaikutus työskentelyn sujuvuuteen ja siten käyttökokemukseen. Citrix etätyöpöytäteknologia vaatii sujuvaan toimintaan nopeudeltaan noin 4 Mb/s verkkoyhteyden jokaista päätelaitetta kohden. Vähemmän vaativissa toiminnoissa saavutettiin hyvä käytettävyys vielä 128 kb/s nopeudella. Kun käytettävissä oleva kaistanleveys pienenee, vaikutus huomataan ensimmäisenä ”drag and drop” -toiminnoissa, sekä sivunvierityksessä. Jos verkkoyhteys on huonolaatuinen, toiminnon suorittaminen etäpöytäyhteyden kautta voi kestää jopa kolme kertaa pidempään verrattuna paikalliseen suorittamiseen. [12] Toisaalta VR- ja CAD-ohjelmistojen pilvipohjaista käyttöä voidaan verrata esimerkiksi verkon suoratoistopalveluiden toimintaan. Tällöin sujuva HD-tason kuvan välittäminen vaatii vähintään 5 Mb/s nopeuden [65].

Pilvipohjainen järjestelmä vaatii toimiakseen myös palvelinlaitteiston. GPU:n ohella palvelinlaitteiston RAM-muistilla on merkittävä vaikutus ohjelmistojen toimintaan. VR-ohjelmistoista esimerkiksi Improov3 tarvitsee 32 GB RAM-muistia. Näytönohjaimeksi suositellaan Nvidia Quadro P5000, tai sitä parempaa näytönohjainta. Siemens puolestaan suosittelee asentamaan mahdollisimman paljon RAM-muistia laitteistoon, jotta suurien kokoonpanojen käsittely onnistuu sujuvasti. Tyypillisesti Siemens NX kuitenkin toimii hyvin 32 GB RAM-muistikapasiteetilla. [87] Myös muut, esimerkiksi Dassault Systemes:n CAD-ohjelmistot, vaativat sujuvaan toimintaan noin 32 GB RAM-muistia. [22] Teknologisessa mielessä RAM-muistin riittävyys ei ole ongelma, sillä esimerkiksi Citrix tukee 5 TB RAM-muistikapasiteettia palvelintietokoneessa. Palvelintietokoneita voidaan kytkeä toisiinsa yhteensä 16 Citrixin mukaan. [17] Jos palvelimella suoritetaan FEM-ohjelmistoja, suositeltu tallennuskapasiteetti on noin 2 TB yhtä istuntoa kohden. [73]

Teknologiaa tutkittaessa on usein tarpeellista vertailla laitteistojen ja järjestelmien suorituskykyä. Laitteiston suorituskyvyn vertailu ei aina ole yksinkertaista ja mahdollisia vertailumenetelmiä on useita. [14] Luvussa aiemmin mainittujen, laitteiston kannalta oleellisten, näytönohjaimien suorituskykyä voidaan verrata FLOPS (Floating-point operation) lukemalla [90]. FLOPS ilmaisee, kuinka monta liukulukulaskutoimitusta tietokone tai sen komponentti pystyy suorittamaan yhden sekunnin aikana. [42] FLOPS lukema voidaan ilmoittaa joko 32-bittisenä (FP32) tai 64-bittisenä (FP64) lukemana [90]. Techgagel-lehden mukaan 32-bittinen FLOPS korreloi huomattavasti paremmin todellisen suorituskyvyn kanssa CAD-käytössä verrattuna 64-bittiseen FLOPS:in [34].

2.4.2 Virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus

Ma *et al.* (2011) määrittelevät virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden (AR, Augmented reality) olevan ihmiselle helposti ymmärrettäviä rajapintoja kolmiulotteisin objektiin tarkastelua varten. VR on täysin tietokoneen luoma kolmiulotteinen ympäristö, jossa voidaan tarkastella realistista 3D-mallia. AR puolestaan lisää todelliseen ympäristöön virtuaalisen objektin. Lisätty todellisuus voi toimia esimerkiksi siten, että käyttäjä osoittaa älylaitteen kameran ympäristöön ja laite lisää näytölle kameran havaitseman kuvan lisäksi virtuaalisen objektin. [58] Sekoitetussa todellisuudessa (MR) VR-sisältö on integroitu osaksi todellista ympäristöä. Sekoitettua todellisuutta voidaan pitää virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden yhdistelmänä. [47] Kuvassa 8 on havainnollistettu virtuaalitodellisuuden, lisätyn todellisuuden ja sekoitetun todellisuuden erot.



Kuva 8. VR, AR ja MR vertailua [47].

Graf *et al.* (2002) mukaan VR-ohjelmiston on esitettävä CAD-ohjelmistolla tehty malli virtuaaliympäristössä. 3D-mallia ei luoda VR-ohjelmistossa, vaan CAD-malli on tuotava VR-ohjelmistoon sellaisessa muodossa, että VR-ohjelmisto osaa lukea mallitiedoston. Myös kokoonpanojen sijainti- tai liitännätiedostojen täytyy siirtyä VR-ohjelmistoon. Kun malli tuodaan VR-ohjelmistoon, mallin tuoterakenne usein menetetään. CAD-ohjelmiston tiedostot voidaan tarvittaessa myös kääntää erillisillä kääntäjällä VR-ohjelmistolle sopivaksi tiedostomuodoksi. [38]

Yksi tapa mallin siirtämiseen CAD-ohjelmistosta VR-ohjelmistoon on tuoda CAD-malli niin sanotussa neutraalitiedostomuodossa. Neutraalitiedostomuoto on 3D-mallin tai kokoonpanon formaatti, jota lähes kaikki 3D CAD-ohjelmistot osaavat lukea, sekä yleensä myös kirjoittaa. Yleisimpiä 3D neutraalitiedostomuotoja ovat STEP ja IGES. [52] Nykyisin muutamat VR-ohjelmistot tukevat suoraa liitännäisyyttä 3D-CAD-ohjelmistoon. Tällainen VR-ohjelmisto osaa siis lukea 3D-CAD -ohjelmiston natiivitiedostomuotoa, eli tiedostomuotoa, jolla CAD-ohjelmisto oletusarvoisesti tallentaa tiedot. Näin ollen 3D-CAD tiedostoa ei tarvitse viedä neutraalimuodossa VR-ohjelmistoon, eikä erillistä kääntäjää tarvita. [91]

Ingrassian ja Cappellon (2008) mukaan virtuaalitodellisuus voi olla tehokas työkalu suunnittelutyössä. VR-ohjelmistoa käytetään luomaan kolmiulotteinen projektiomalli, joka on tehty jollakin toisella ohjelmistolla, kuten CAD-ohjelmistolla. Näin ollen kaikki malliin tehtävät muutokset tehdään CAD-ohjelmiston puolella. Virtuaalitodellisuuden kehittymisen myötä teollisuudessa virtuaaliset prototyypit ovat kehittyneet ja yleistyneet. Nykyisin Virtuaalinen prototyyppi voi parhaimmillaan olla lähes yhtä hyvä kuin aito prototyyppi. [43] VR-ohjelmisto mahdollistaa suunniteltavan tuotteen tarkastelun 1:1 mittakaavassa tuotteen todellisesta käyttöympäristöstä vastaavassa virtuaaliympäristössä. Tuotteen suunnittelukatselmuksia voidaan järjestää virtuaalisesti, jolloin virheitä ja kehityskohteita on helppo havaita jo ennen prototyyppi –vaihetta. Näin ollen kalliiden prototyyppien tarve pienenee ja tuotteen elinkaarikustannukset pienenevät. [6][58]

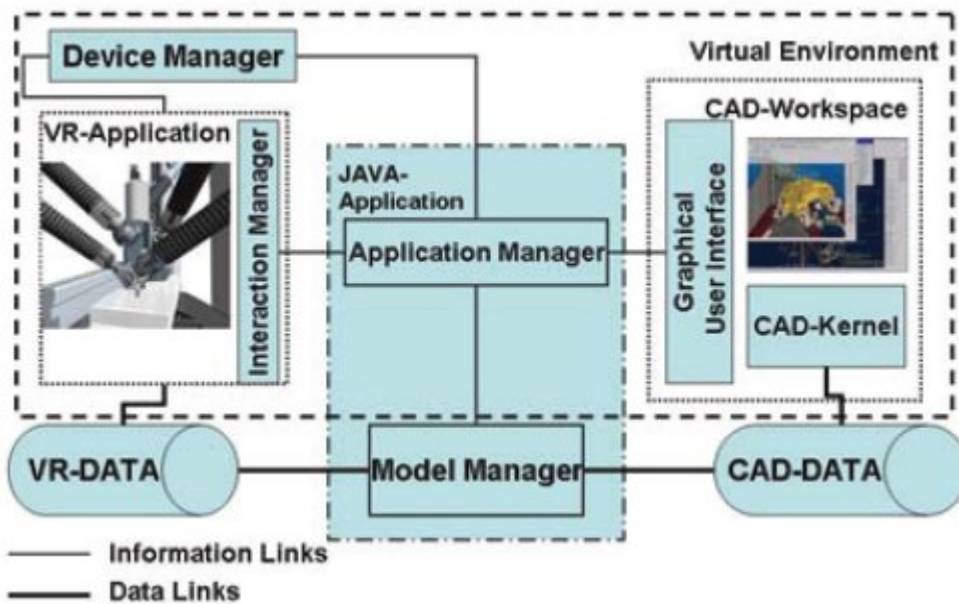
Ingrassian ja Cappellon (2008) kehittivät kokeellinen *VirDe* -järjestelmä, joka mahdollistaa 3D-CAD-mallien reaaliaikaisen muokkaamisen virtuaalitodellisuudessa. Lisäksi järjestelmään on integroitu FEM-laskenta. Käyttöliittymä on toteutettu siten, että järjestelmä tulkitsee käyttäjän käden liikkeitä. *VirDe* on toteutettu C++ -ohjelmoinnilla, sekä SDK- (Software Development Kit) ja FEM-paketeilla. Järjestelmä koostuu neljästä moduulista:

1. Geometrinen kernel (Open Cascade)
2. Grafiikkamoduuli (Open Inventor)
3. FEM-moduuli (Ansys 10.0)
4. Käyttäjäsyytteen hallintamoduuli (Liikkeenseuranta ohjelmointirajapinta)

Kyseessä ei ole menetelmä CAD-ohjelmiston ja VR-ohjelmiston yhdistämiseksi, vaan täysin itsenäinen ohjelmisto, joka hyödyntää erilaisia moduuleita. *VirDe*-teknologia on edelleen kehitysasteella, eli se ei ole ainakaan toistaiseksi johtanut kaupallisiin sovelluksiin. [43]

Open Cascade Cad processor on työkalu, joka mahdollistaa muun muassa 3D-CAD tiedostojen yksinkertaistamisen FEM-laskentaa varten, sekä VR-ympäristöjen luonnin CAD-tiedoston tarkastelua varten. Mallia voidaan esimerkiksi keventää poistamalla laskennan kannalta turhia piirteitä, tai poistamalla VR-ympäristön kannalta turhia, näkymättömiä osia kokoonpanoista. Monimutkaisia muotoja voidaan myös hieman yksinkertaistaa, jolloin VR-ohjelmiston piirtämien polygonien määrä vähenee ja ohjelmiston toiminta nopeutuu. Open Cascade Cad processor on saatavana SDK:na, joten ohjelmiston toiminnallisuus on helppo integroida osaksi kokonaista järjestelmää. [72]

Weidlich *et al.* (2007) kehittivät *VirDe* –järjestelmää vastaavan kokeellinen *VRAX*-järjestelmä. *VRAX* perustuu myös Open Cascade CAD-ytimeen. Järjestelmässä on niin sanottu mallinhallinta toiminto, joka synkronoi CAD-mallin ja VR-mallin. Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 9. Graafisen käyttöliittymän ja muun ohjelmiston toteutukseen on hyödynnetty JAVA-teknologiaa. CAD-ohjelmistosta siirretään CAD-data Java-ohjelmiston mallin hallinnointiosioon. Samalla CAD-ohjelmiston graafinen käyttöliittymä siirretään Java-ohjelmiston välityksellä VR-ohjelmistoon. [103]



Kuva 9. VRAX järjestelmäarkkitehtuuri [103].

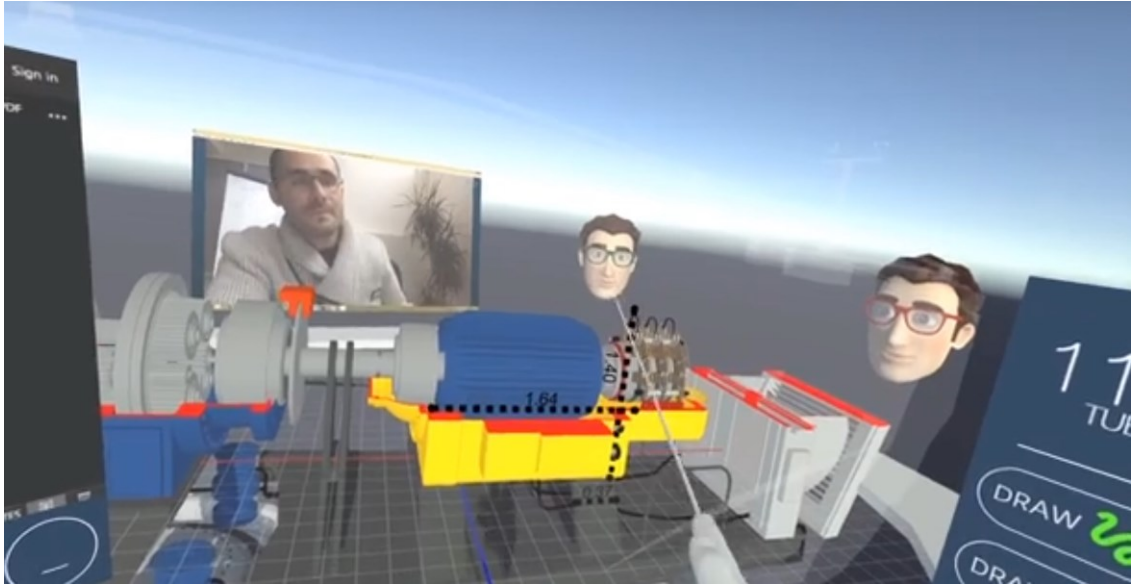
VRAX-järjestelmää voidaan pitää kolmetasoisena. Ensimmäinen taso on VR-ohjelmisto, joka toimii visualisointi- ja käyttäjärajapintana. Toinen taso on järjestelmäydin, joka muun muassa synkronoi geometrisen datan ja metadatan CAD- ja VR-ohjelmistojen välillä. Kolmas taso on tiedostontallennus, jonka toteuttamiseen on käytetty PDM-järjestelmä. Järjestelmä luo abstraktin mallin ja joukon parametreja, jotka tallennetaan matriisiin, perinteisen solidimallin sijaan. Abstraktia ja parametrista datamallia muokataan VR-ympäristössä ja tieto muutoksista syötetään takaisin 3D-CAD-ohjelmistoon. [103]

Martin *et al.* (2017) mukaan VR-ohjelmiston käyttö CAD-ohjelmiston käyttöliittymänä aiheuttaa ongelmia. CAD-ohjelmistoissa käytettäviä 2D-objekteja ei voida siirtää sellaiseen VR-ohjelmistoon. Lisäksi monimutkaisten ja raskaiden mallien muokkaaminen VR-ohjelmistossa voi aiheuttaa merkittävää viivettä koko suunnittelujärjestelmän toimintaan. Suurin käytännön ongelma on VR-ohjelmiston linkittäminen CAD-ytimeen, eli geometrisen kernelin, kanssa API:n avulla. Ratkaisuksi on esitetty muun muassa merkintäteknikkaan

ja tiedon kapselointiin perustuvaa *middleware*-tyyppistä ohjelmistoa, eli ohjelmistoa, joka toimii kahden erillisen ohjelmiston välillä. Kapselointi perustuu CAD-ytimen toiminnollisuuksien käyttöön toimintokohtaisen API:n avulla. Kaikki tarvittava CAD-data kapseloidaan ja merkitään. Tässä ratkaisussa jokainen CAD-ohjelmiston vaatii kyseiselle ohjelmistolle räätälöiden *middleware*-ohjelmiston CAD-ohjelmistojen eroista johtuen. Ratkaisu on kokeellinen, eikä toistaiseksi ole johtanut kaupallisiin sovelluksiin. [60]

Maleshkov ja Chotrov (2013) kehittivät menetelmän FEM-tuloksien tarkasteluun virtuaalitetodellisuudessa. Heidän kehittämä teknologia perustuu algoritmiin, jonka avulla jokainen FEM-mallin elementti käydään läpi. Algoritmi jakaa Ansys-ohjelmistossa luodun mallin kolmioksi. Samalla FEM-malli ”kevennetään” pintamalliksi, johon jää jäljelle kapaleen pinnalla olevat elementtisolmut. Tämän jälkeen FEM-ohjelmistosta tuodaan listana jokaisen solmun laskentatulokset. Kevennetty malli ja laskentatulokset viedään yhdessä VRML-muotoon (Virtual Reality Modelling Language) ja esitetään graafisesti VR-ohjelmistossa. Tämäkin ratkaisu ei julkaisun perusteella ole johtanut kaupalliseen käyttöön, eikä siten ole saatavilla valmiina ohjelmistona. [59]

Kaupallisia CAD-käytön tueksi tehtyjä VR-ohjelmistoja on nykyisin tarjolla varsin hyvin. Muutamia kaupallisia VR-ohjelmistot mahdollistavat myös CAD-ohjelmistojen natiiviformaattien avaamisen suoraan VR-ohjelmistossa. Kaupallisissa VR-ohjelmistoissa ei ole mahdollisuutta tehdä malliin muutoksia siten, että muutokset siirtyvät CAD-ohjelmistoon. [40][91] Kuvassa 10 on nähtävillä Improov3 –ohjelmistolla toteutettu virtuaalinen suunnittelukatselmus. Suunnittelukatselmukseen osallistuvat henkilöt näkevät tarkasteltavan 3D-mallin, sekä toistensa sijainnin. Virtuaalisen suunnittelukatselmuksen lisäksi Improov3 –ohjelmistossa on mahdollista mitata piirteiden ja pintojen välisiä etäisyyksiä ja välyksiä, tehdä merkintöjä mallin, katsoa leikkauskuvantojen mallista, sekä ottaa kuva-kaappauksia. Myös osien välisen törmäystarkastelun ja ergonomian analyysin tekeminen on mahdollista. [40]



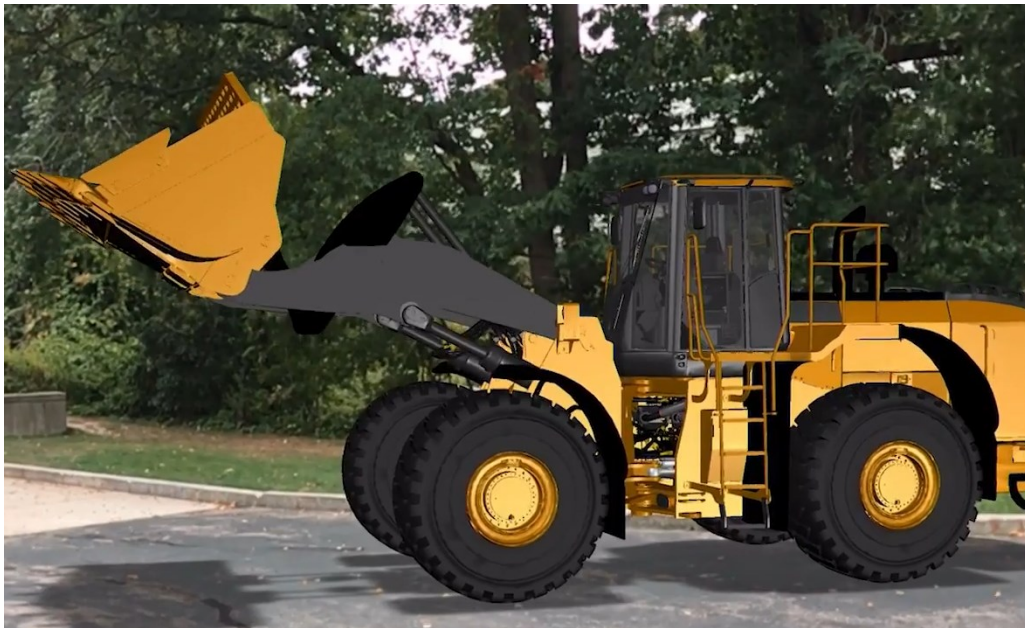
Kuva 10. Improov3 –ohjelmisto suunnittelutyössä [40].

Improov3 –ohjelmiston ohella suunnittelujärjestelmän kannalta potentiaalisia VR-ohjelmistoja ovat muun muassa TechViz [91], Esi IC.IDO [32] ja IrisVR [45]. Edellä mainitut ohjelmistot mahdollistavat myös kommunikoinnin virtuaaliympäristössä. TechViz:n ja IC.IDO:n osalta ohjelmistojen tarkempiin ominaisuuksiin palataan myöhemmin haastatteluiden tulosten muodossa. Vaikka edellä mainitut VR-ohjelmistot voivat avata 3D-mallin CAD-ohjelmistojen natiiviformaatissa, suunnittelujärjestelmässä voidaan käyttää myös tiedostomuodon kääntäjää. Esimerkiksi TransMagic-ohjelmistossa on mahdollisuus automatisoida kaikkien CAD natiivitiedostomuotojen kääntäminen neutraalitiedostomuotoon. Kun 3D-malli tallennetaan tiettyyn kansioon, TransMagic kääntää tiedoston haluttuun muotoon. Tiedostomuodon kääntäminen ei ole kuitenkaan täysin automaattinen, sillä käyttäjän on erikseen määriteltävä mihin kansioon käännettävä tiedosto tallennetaan. [96]

Virtuaalitodellisuutta ei ole kaupallisessa käytössä juurikaan hyödynnetty projektinhallinnassa. Abdelhameedin (2012) mukaan yksi mahdollisuus VR-ohjelmiston hyödyntämiseen projektinhallinnassa on aikataulujen ja tehtävien riippuvuuksien välinen visualisointi. VR-ohjelmistoissa ei yleensä ole suoraa liitettävyyttä projektinhallintaohjelmiin, mutta VR-ohjelmiston ja projektinhallintaohjelmiston välille on kuitenkin mahdollista luoda linkitys SDK-ohjelmoinnin avulla. Näin esimerkiksi projektinhallintaohjelmistossa tapahtuvat aikataulumuutokset päivittyvät VR-ohjelmistossa tarkasteltavaan malliin. Linkitys mahdollistaa rakennuksen mallin tarkastelun virtuaalitodellisuudessa siten, että

mallista nähdään miltä todellinen rakennus näyttää missäkin projektisuunnitelman vaiheessa. CAD-mallin on siis oltava olemassa, jotta tämän tapaista teknologiaa voidaan hyödyntää. [2]

PTC Creo CAD-ohjelmistoon on luotu mahdollisuus käyttää lisättyä todellisuutta mallin tarkastelua varten. 3D CAD-malli nähdään siis todellisessa ympäristössä, josta esimerkki kuvassa 11. Markkinoinnin kannalta AR voi olla hyvä apuväline. AR-teknologia voi olla myös tehokas apuväline valmistuksessa ja huoltotoiminnassa. Tuotteen huolto- ja kasaushjeiden toteutukseen AR-teknologia on hyvä apuväline. Perinteiseen paperiseen tai PDF-dokumenttiin verrattuna AR-teknologialla toteutettujen ohjeiden teko todennäköisesti lisää työmäärää [76]. Toinen vaihtoehto AR-teknologian hyödyntämiseen on yrityskäyttöön suunnattu Reflekt One –alusta, joka mahdollistaa ohje- ja visualisointisovellusten tekemisen. Insinööritoimiston näkökulmasta yksi merkittävä ominaisuus Reflekt One –alustassa on 3D-mallien tuonti suoraan Siemens Teamcenter PDM-järjestelmästä. [78]



Kuva 11. Työkoneen 3D-malli todellisessa ympäristössä [76]. (Kuva rajattu.)

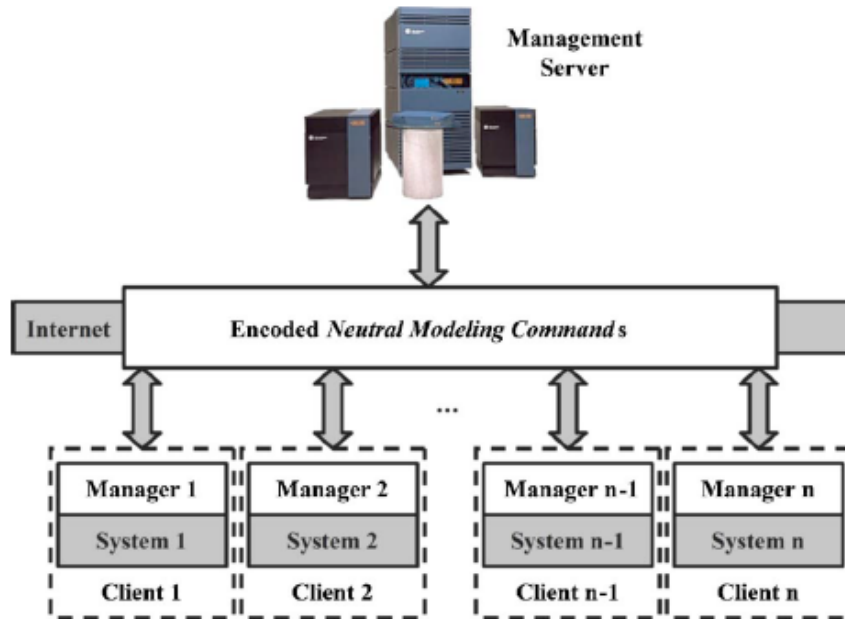
Zhaon *et al.* (2017) tekemä koe osoitti, että kuten verkkoliikenteessä, myös VR-ohjelmistoissa vaikuttaa latenssi. VR-ohjelmistojen kohdalla latenssia käsitellään ”*Motion-to-Photon*” latenssina, eli viiveenä käyttäjän tekemän liikkeen ja kuvan päivittymisen välillä. VR-ohjelmistoja käytettäessä latenssin on oltava alle 20 ms parhaan käyttäjäkokemuksen

saavuttamiseksi. Ehdottomana ylärajana pidetään 60 ms viivettä. Tätä korkeampi latenssi voi aiheuttaa käyttäjälle pahoinvointia ja heikentää työtehoa. ”*Motion-to-Photon*” latenssi aiheutuu VR-laitteistosta ja ohjelmistosta tapauksissa, joissa ohjelmisto toimii paikallisella tietokoneella. [105]

2.4.3 Yhteistyön edistäminen suunnittelutyössä

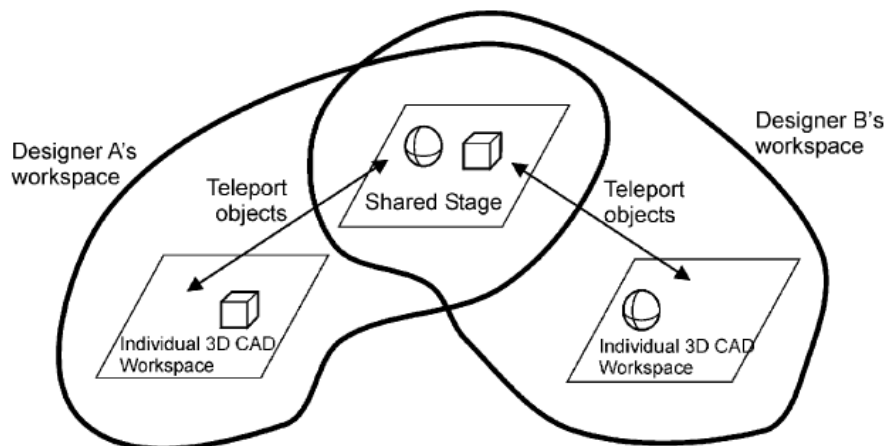
Suunnittelijoiden yhteistyötä on pyritty tehostamaan monin keinoin. Tutuimpia ratkaisuita lienevät PDM-järjestelmä ja pikaviestisovellusten hyödyntäminen suunnittelussa. Yhteistyö voidaan kuitenkin viedä tätä pidemmälle, josta hyvänä esimerkkinä on Onshape CAD-ohjelmisto. Onshape –ohjelmistosta hieman lisää myöhemmin. Muille CAD-ohjelmissa on pyritty kehittämään ratkaisu, joka mahdollistaa 3D-mallissa tapahtuvien muutosten reaaliaikaisen päivittymisen muille käyttäjille. Kirjallisuuskatsauksen perusteella seuraavaksi esitetyt teknologiat eivät ole johtaneet kaupallisiin sovelluksiin [56][63]. Pidemmälle kehitettynä ne voivat kuitenkin tehostaa suunnittelutiimin työskentelyä.

Li *et al.* (2007) kehittivät komentopohjaisen järjestelmän 3D-mallin synkronoimiseksi usean käyttäjän välillä. Kun käyttäjä tekee muutoksia malliin, siitä välittyy komento toisten käyttäjien CAD-ohjelmistoon. Kyseinen toteutustapa ei jaa visuaalista tietoa eri käyttäjien välillä, jolloin verkkoliikenne on pystytty minimoimaan. Komentoperustaisen järjestelmän toiminta perustuu hallintapalvelimeen ja paikallisiin hallintaohjelmiin. Paikallinen hallintaohjelma on CAD-ohjelmiston lisäosa, joka lähettää ja ottaa vastaan komentoja hallintapalvelimelta. Hallintapalvelin hallinnoi ja välittää komentoja järjestelmän kaikkiin CAD-ohjelmistoihin. [56] Periaate on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Komentopohjaisen ratkaisuehdotuksen rakenne [56].

Nam ja Wright (2001) esittivät yhteistyön edistämiseksi 3D-mallin kopioimiseen perustuva yhteistä työtilaa käyttäjäkohtaisen työtilan rinnalle. Tällaisessa ratkaisussa suunnittelijat luovat komponentteja omissa työtiloissaan. Luodut komponentit päivittyvät välittömästi myös yhteiseen työtilaan. Suunnittelijat voivat seurata muiden tekemiä ratkaisuita yhteisen työtilan kautta. Tämän ratkaisun periaate on esitetty kuvassa 13. Käytännössä tämän tyyppinen järjestelmä vaatii kokonaan oman ohjelmiston yhteisen työtilan toteuttamista varten. Yhteisen työtilan luova ohjelmisto linkitetään CAD-ohjelmistoihin, joiden avulla mallit luodaan ja joista mallit siirtyvät yhteiseen työtilaan. Koekäytössä kyseisen järjestelmän havaittiin tehostavan suunnittelijoiden yhteistyötä ajankäytöllisesti mitattuna. [63]



Kuva 13. Yksityisen ja yhdistetyn työtilan periaate [63].

3. TÄYDENTÄVÄ TUTKIMUS JA ANALYYSI

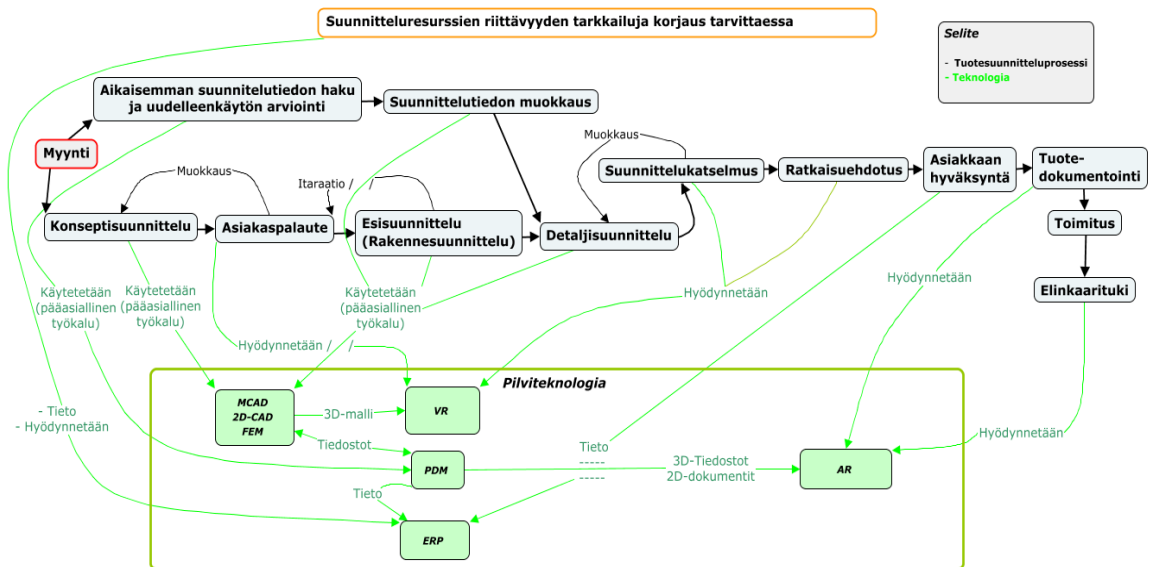
Tässä luvussa käydään läpi aluksi kirjallisuuskatsauksen pohjalta muodostettu liiketoimintalähtöinen ideaalisen suunnittelujärjestelmän konsepti. Tämän jälkeen tarkastellaan kohdeyrityksessä toteutettua lomakekyselyä ja sen aineistoa. Lomakekyselyn pohjalta muodostettiin aluksi vaatimustenmäärittely ja ohjelmistorajapinnat suunnittelujärjestelmälle. Tämän jälkeen lomakekyselyn avulla kartoitettiin mahdollisia käyttökohteita VR-tekniikalle suunnittelutyötä ajatellen. Asiantuntijahaastatteluiden avulla saatiin vielä lisätietoa VR-ohjelmistojen ominaisuuksista ja käytännöntasolla huomioitavista asioista. Asiantuntijoiden tietotaito, näkemykset ja kokemukset ovat merkittävässä roolissa teknologioiden arvioitaessa ja erityisesti johtopäätöksiä tehtäessä. Lopuksi tarkastellaan tarkemmin kirjallisuuskatsauksen tuloksia. Kirjallisuuskatsauksen avulla saatua tietoa täydennettiin ja verrattiin ristiin lomakekyselyn ja haastatteluiden avulla kerättyyn aineistoon.

3.1 Suunnittelujärjestelmän konsepti

Diplomityössä muodostettiin ideaalisen suunnittelujärjestelmän konsepti. Suunnittelujärjestelmän konseptikartan tarkoitus on toimia apuvälineenä teknologisten tarpeiden ja mahdollisuuksien tunnistamisessa. Samalla ideaalisen suunnittelujärjestelmän konsepti toimii aineiston analysoinnin tukena. Suunnittelujärjestelmän konseptikarttaa hyödynnettiin lukujen 3.2 – 3.4 analyysissä siten, että luvun 2.4 teknologioiden verrattiin konseptikarttaan. Suunnittelujärjestelmän konseptikartan avulla voidaan myös pohtia teknologioiden tuomaa lisäarvoa liiketoiminnan näkökulmasta, mikäli diplomityön pohjalta lähdetään kehittämään konkreettista suunnittelujärjestelmää. Konsepti tuki myös johtopäätösten tekoa, sekä jatkotoimenpiteiden arviointia. Suunnittelujärjestelmän konsepti muodostettiin kirjallisuuskatsauksen ja kohdeyrityksen sisäisen lomakekyselyn tulosten pohjalta. Konseptissa pyrittiin kuvamaan tuotesuunnitteluprosessi mahdollisimman yleisessä muodossa.

Suunnittelutoimeksiannosta riippuen kirjallisuuskatsauksessa mainitun yleistetyn suunnittelu- ja tuotekehitysprosessin tietyt vaiheet saattavat painottua. Toisaalta jotkin vaiheet saattavat jäädä kokonaan pois. Insinööritoimiston liiketoiminnassa esimerkiksi liiketoiminnan suunnittelu yksittäisen tuotteen näkökulmasta jää yleensä kokonaan pois. Tästä johtuen insinööritoimiston suunnittelujärjestelmän tarpeet saattavat poiketa valmistavan teollisuuden suunnittelujärjestelmien tarpeista. Pelkistetty kuva konseptista on

esitetty kuvassa 14. Suunnittelujärjestelmän konseptin kattavampaa versiota ei käsitellä diplomityön julkaistavassa versiossa. Konseptissa on pyritty kuvaamaan tuotteen suunnitteluprosessi yleistetyssä muodossa työn myynnistä tuotteen elinkaaritukeen. Suunnitteluprosessiin on liitetty teknologisia ratkaisuja tiettyä prosessin vaihetta varten. Tässä työssä konseptin teknologioiden pääpaino on pidetty varsinaisessa suunnittelutyössä. On mahdollista, että samoja teknologioita voidaan hyödyntää myös liiketoiminnan muissa vaiheissa.



Kuva 14. Pelkistetty suunnittelujärjestelmän konsepti.

Kirjallisuuskatsauksessa esitettyjen LEAN-periaatteiden pohjalta tässä konseptissa on pyritty poistamaan suunnittelutyön pullonkaulat varmistamalla tiedon saatavuus, hyödyntämällä rinnakkaisia tehtäviä, sekä poistamaan turhat dokumentit. Kohdeyrityksessä lähestulkoon kaikkien periaatteiden noudattaminen on nykyisin jo ennestään varsin hyvällä tasolla. Etenkin dokumenttien tuottaminen oikeassa formaatissa on jo pidemmän aikaa ollut hyvällä tasolla. Virtuaalitodellisuusteknologialla pyritään kuitenkin tehostamaan kommunikaatiota, työn tulosten arviointia ja suunnittelutyön etenemisen seuranta.

Kirjallisuuskatsauksessa on esitetty teknologiota, joita voidaan hyödyntää pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän toteuttamisessa. Taulukossa 1 on koottuna lyhyesti erilaiset suunnittelujärjestelmän konseptiin soveltuvat teknologiat. Kuten taulukosta nähdään, erilaisia kaupallisia pilvipalveluita on tarjolla useita. Tietoturvasyistä niitä voidaan kuitenkin hyödyntää vain rajallisesti. Kun teknologioita verrataan suunnittelujärjestelmän konsep-

tiin ja järjestelmän vaatimuksiin, Nvidian palvelin-GPU:n pohjalta rakennettu pilvipalvelinklusteri ja Citrix VDI (Virtual Desktop Infrastructure, virtuaalityöasema) tarjoavat hyvän pohjan järjestelmän toteuttamiselle.

Taulukko 1. Soveltuvia teknologioita

Teknologia / Nimitys	Teknologian tyyppi	Maturiteetti
Onshape CAD	Pilvipohjainen yhteistyötä tukeva CAD-järjestelmä.	Kaupallinen
DesignAirSpace	CAD pilvipalvelu (IaaS).	Kaupallinen
Amazon web services	IaaS-pilvipalvelu, ei ohjelmistosisonnainen.	Kaupallinen
Microsoft Azure	IaaS-pilvipalvelu, ei ohjelmistosisonnainen.	Kaupallinen
ESI Cloud	SaaS-pilvipalvelu	Kaupallinen
Citrix HDX / VDI	Palvelinohjelmisto / virtualisointi	Kaupallinen
VMware Horizon	Palvelinohjelmisto / virtualisointi	Kaupallinen
Nvidia Tesla GPU	Palvelinohjelmisto / HPC/GPU	Kaupallinen
VirDe / VRAX	CAD-FEM-VR yhdistäminen	Kehitysvaiheessa
VR-ohjelmistot	Virtuaaliympäristön luominen ja mallin tarkastelu yhteistyössä.	Kaupallinen
3Dexperience	Pilvialusta suunnittelukäyttöön, johon yhdistetty myös VR.	Kaupallinen

Onshape CAD-järjestelmä, sekä *VirDe* ja *VRAX* toisivat järjestelmään suunnittelujärjestelmän konseptin ja kohdeyrityksen vision kannalta haluttuja ominaisuuksia. Onshape ei ole tällä hetkellä kuitenkaan varteenotettava vaihtoehto, sillä se ei sovi yhteen vaatimustenmäärittelyn ja tämän hetkisen liiketoimintamallin kanssa. *VirDe* ja *VRAX* eivät puolestaan ole maturiteetiltaan riittävän kypsiä. 3Dexperience –alusta puolestaan vaikuttaa olevan ominaisuuksien ja maturiteetin osalta erittäin hyvin soveltuva teknologia. Taulukkoon ei ole eritelty tarkemmin läpikäytyjä lukuisia VR-ohjelmistoja, jotka toki ovat keskeinen osa suunnittelujärjestelmää.

3.2 Lomakekysely

Kirjallisuuskatsauksen ohessa toteutettiin lomakekysely kohdeyrityksen henkilöstölle. Kyselyyn vastasi 29 henkilöä. Vastausprosentti, eli kyselyyn vastanneiden määrä suhteessa henkilöstömäärään, on pieni, noin 8%. Kyselyn perusteella saadaan kuitenkin varsin hyvin tietoa mitä ohjelmistoja kohdeyrityksessä enimmäkseen käytetään ja mitkä ominaisuudet ovat hyödyllisiä. Kovin luotettavia yleistyksiä suunnittelijoiden toimintavoista ja mieltymyksistä ei kuitenkaan voida tehdä pienestä vastausprosentista johtuen. Suurin osa, noin 43%, vastaajista on mekaniikkasuunnittelijoita. Kyselyyn vastasi myös sähkö- ja automaatiosuunnittelijoita, teknisiä laskijoita, IT-henkilöstöä ja hallinnon edustajia. Kyselyn tuloksista kävi ilmi työntekijöiden suosimat työskentelytavat, työntekijöiden tarpeet, työssä käytetyt työkalut ja ongelmat nykyisissä työkaluissa.

Lomakehaastattelun tulosten käsittely aloitettiin listaamalla kaikki kyselyssä esiin tulleet suunnitteluohjelmistot, sekä tiedostoformaattit, joita suunnittelijat työssään käyttävät. Kysymyksiin, joissa kysyttiin vastaajien mieltymyksiä kommunikaatiosta ja ohjelmistojen ominaisuuksista numeerisella asteikolla, laskettiin summamuuttaja. Summamuuttujan avulla jokaiselle vastausvaihtoehdolle laskettiin vertailuluku, jonka perustella ominaisuudet ja kommunikointitavat asetettiin järjestykseen. Analyysin tulokset numeeristen kysymysten osalta ovat nähtävillä liitteessä C.

Aina kun suunnitellaan jotain uutta, ensimmäiseksi on määriteltävä mahdollisimman tarkasti ja kattavasti mitä suunniteltavalta kohteelta vaaditaan. Näin varmistetaan, että jo alkuvaiheessa lähdetään etenemään oikeaan suuntaan, sekä se, että lopputulos on halutunlainen. Lomakekyselyn tulosten ja diplomityön toimeksiantajan kanssa käydyn aloituspalaverin pohjalta alettiin muodostaa vaatimustenmäärittelyä suunnittelujärjestelmälle. Ensimmäinen vaatimus uuden järjestelmän kehittämiseksi on, että sen pitää tuottaa lisäarvoa yritykselle. Tämä voi tapahtua paremman asiakaskokemuksen kautta, tai lisääntyneen työtehon kautta. Asiakas voi esimerkiksi kokea saavansa parempaa vastinetta rahoilleen, jos hän pääsee itse katsomaan tuotteen 3D-mallia virtuaalitodellisuudessa ja ikään kuin astumaan mallin sisälle, sekä tarkastelemaan mallia oikeassa käyttöympäristössä. Myös erilaisten virtuaalisten harjoitusympäristöjen luominen on mahdollista.

Kyselytutkimuksessa suunnittelujärjestelmän tärkeimmäksi ominaisuudeksi nousi toimintavarmuus. Kaikilla suunnittelun osa-alueilla virtuaalitodellisuuden käyttöä ei koettu hyödylliseksi. Pilvipohjaisen järjestelmän kehityksessä on siis ensisijaisesti kiinnitettävä

huomiota toimintavarmuuteen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että pilvipalvelimet on kahdennettava ja tietoliikenneyhteyksien toimintavarmuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kohdeyritys tekee suunnittelutyötä usein suoraan asiakkaan PDM-järjestelmään, joten käytettävä suunnitteluohjelmisto valitaan sen mukaan, mikä ohjelmisto asiakkaalla on käytössä. Ideaalitalanteessa siis uusi pilvipohjainen suunnittelujärjestelmä toimii yhdessä kaikkien yleisimmin käytettyjen suunnitteluohjelmistojen kanssa. Samalla lisenssien hallinta tulisi olla nykyisen kaltainen, jotta ohjelmistoja ja lisenssejä voidaan hyödyntää joustavasti.

Tiivistetysti pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän vaatimukset kokonaisuuden kannalta ovat:

- Kahdennetut palvelimet ja automaattinen varmuuskopiointi toimintavarmuuden parantamiseksi
- Kyky käsitellä useita eri tiedostomuotoja sujuvasti
- Nopea ja sujuva toiminta, myös suuria kokoonpanoja käsiteltäessä
- Mahdollisuus kommunikoida suunnittelijoiden kesken, sekä asiakkaan kanssa vähintään äänen välityksellä. Mieluiten mahdollisuus järjestää ”työmaakokous” virtuaaliympäristössä.

Mekaniikkasuunnittelijoiden näkökulmasta suunnittelujärjestelmän tärkein vaatimus on toimintavarmuus. Toiseksi tärkein vaatimus on suurien kokonaisuuksien helppo hallinta. Myös tiedostojen tuonti suunnitteluohjelmistoon useassa eri formaatissa on tärkeä ominaisuus mekaniikkasuunnittelijoille. Mekaniikkasuunnittelijoilla on käytössä pääasiassa 10 eri CAD-ohjelmistoa, sekä kuusi eri PDM-ohjelmistoa. Ideaalitalanteessa pilvipohjainen suunnittelujärjestelmä mahdollistaa kaikkien kohdeyrityksessä käytössä olevien CAD-ohjelmistojen pilvipohjaisen käytön. Mekaniikkasuunnittelijat käsittelevät työssään enimmäkseen pdf, dwg, dxf ja jpg tiedostoja, sekä CAD-ohjelmistojen natiiviformaatteja, jotka nähdään viiden yleisimmän ohjelmiston osalta taulukosta 2.

Taulukko 2. Viiden yleisimmän MCAD-ohjelmiston natiiviformaatit.

Ohjelmisto	Komponentti	Kokoonpano	Piirustus
Catia	catpart	catproduct	catdrawing
Solidworks	sldprt	sldasm	slddrw
Creo	prt	asm	drw
Inventor	ipt	iam	idw
NX	prt	prt	prt

Virtuaalitodellisuusohjelmiston on siis tuettava näitä tiedostoformaatteja. Toinen vaihtoehto on käyttää erillistä kääntäjää MCAD- ja VR-ohjelmistojen välillä. Lähestulkoon kaikki MCAD-ohjelmistot mahdollistavat malli- ja kokoonpanotiedostojen viennin ja tuonnin neutraalitiedostomuotona, eli STEP, IGES, ja Parasolid -muodoissa. Mallit voidaan siis tarvittaessa viedä kääntäjään neutraalitiedostoformaattissa, jonka jälkeen kääntäjä muuttaa tiedoston VR-ohjelmistolle sopivaksi formaatiksi. Nykyisin VR-ohjelmistot usein tukevat myös suoraan neutraalitiedostomuotoja. Suora VR-ohjelmiston tuki CAD natiiviformaateille kuitenkin yksinkertaistaa järjestelmää ja nopeuttaa tiedon päivittymistä virtuaaliympäristöön.

Lujuuslaskijoiden tärkein vaatimus suunnittelujärjestelmälle on myös toimintavarmuus. Monipuoliset asetusvaihtoehdot ja järjestelmän yleinen suorituskyky, eli laskentateho, ovat myös erittäin tärkeitä. Lisäksi lujuuslaskijoiden on kyettävä tuomaan, sekä viemään tiedostoja useassa eri tiedostoformaattissa. Lujuuslaskijat käyttävät työssään *Anys*-ohjelmistoa, joka perustuu elementtimenetelmään. Lujuuslaskijat käyttävät työssään enimmäkseen *scdoc*, *wbpj* ja *stp* tiedostomuotoja. Lisäksi *pdf*, *docx* ja *pptx* ovat tarpeellisia tiedostoformaatteja esimerkiksi laskentatulosten dokumentoinnissa. 3D-mallit siis tuodaan laskentaohjelmistoon pääsääntöisesti neutraalitiedostomuodossa.

Sähkö- automaatio- ja hydraulikkasuunnittelijat käyttävät pääasiassa viittä eri CAD-ohjelmistoa. Heidän kannalta tärkeimmät vaatimukset ovat jälleen toimintavarmuus, tiedostojen vienti ohjelmistosta, helposti opittava käyttöliittymä, sekä suurien kokonaisuuk-sien helppo hallinta. Myös tiedostojen tuonti CAD-ohjelmaan on tärkeä ominaisuus. Kuten muillakin suunnittelijoilla, sähkö- automaatio- ja hydraulikkasuunnittelijat tarvitsevat *pdf*, *docx*, *pptx* ja *jpg* tiedostoja dokumentointiin. CAD-ohjelmiston puolella tarpeellisia tiedostoformaatteja ovat *e3*, *dwg*, *dxf*, *tpy* ja *pro*.

Monitoimisessa suunnittelujärjestelmässä olisi hyvä olla eri tasoja, jotta käyttäjien tekemät muutokset eivät häiritse muita käyttäjiä. Tasoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä virtuaalitodellisuudessa tarkasteltavia tasoja mallin katselmointia varten. CAD-ohjelmistoissa itsessään on valmiiksi useita tasoja erilaisia luokitteluja varten. Jokaisella suunnittelun osa-alueella on tiettyjä erityistarpeita mallin tarkastelun kannalta. Mekaniikkasuunnittelija tarvitsee mahdollisimman yksityiskohtaisen mallin geometrian. Lujuuslaskijat puolestaan tarvitsevat usein hieman yksinkertaistetun mallin, joista poistettu laskennan kannalta turhat korvakkeet, kiinnikkeet ja mahdollisesti hitsausviisteet. Letkujen ja putkien reititys ei myöskään tarvitse olla näkyvillä lujuuslaskijalle. Hydraulikka-, sähkö- ja automaatio-suunnittelijat puolestaan tarvitset letkujen ja johtimien reitityksen kannalta

olennaiset tiedot, sekä oman osa-alueen komponenttien sijoittelun kannalta tarvittavat geometriset tiedot.

Lomakekyselyn perusteella tärkeimmät tasojen käyttökohteet ovat 3D-mallin, laskentamallin ja laskentaprojektin erottelu, sekä erityyppisten komponenttien luokittelu ja sitä kautta tiettyjen komponenttien piilottaminen. Esimerkiksi prosessilaitteet, automaatio-komponentit ja sähkökomponentit voidaan erotella eri tasoille. Luokittelu voi perustua myös siihen, mitä komponentteja tarvitaan mihinkin toimintoon. Lisäksi komponenttien luokittelu ja jako eri tasoille voi perustua jännite- tai paineluokkaan. Lomakekyselyn perusteella kunkin osa-alueen suunnittelija tarvitsee yhdestä kolmeen tasoa komponenttien jaottelua varten. Käytännön esimerkkinä tasojen käytöstä mainittakoon tilanne, jossa mekaniikkasuunnittelija työskentelee yhdessä lujuuslaskijan kanssa; mekaniikkasuunnittelijan tekemät muutokset eivät saa päivittyä reaaliaikaisesti lujuuslaskijan käyttämän 3D-malliin, sillä tämä voi vaikuttaa meneillään olevaan laskentaan ja tulosten käsittelyyn. Lisäksi on oltava tiedossa, mille 3D-mallin versiolle on tehty FEM-tarkastelu.

Vastaajista 75%:lla ei ollut kokemusta virtuaalitodellisuudesta. 25%:lla vastaajista oli kokemusta virtuaalitodellisuudesta viihdekäytössä. Kaikista vastaajista noin 61% koki, että virtuaalitodellisuuden käyttäminen työtehtävissä olisi hyödyllistä. Kun tuloksia tarkastellaan käyttäjäryhmä kerrallaan, selviää, että 83% mekaniikkasuunnittelijoista kokee virtuaalitodellisuuden käytön työssään hyödylliseksi. Vastaavasti 60% sähkö- ja automaatio-suunnittelijoista ja 100% kyselyyn vastanneista teknisistä laskijoista kokee virtuaalitodellisuuden käytön työssään hyödylliseksi. Muista vastaajista, eli IT-henkilöstöstä ja hallinnon edustajista, vain 30% kokee virtuaalitodellisuuden käytön työtehtävissään mielekkääksi. Virtuaalitodellisuuden hyödyntämiselle nähtiin useita eri käyttökohteita tulevaisuudessa. Hyötyjen lisäksi kysely toi esille myös haittoja, kuten mahdollinen ajankäytön ja kustannusten kasvaminen, kasvavat tiedostokoot ja virtuaalitodellisuuslasien vaikutukset käyttäjien terveyteen.

Suunnittelijoiden on kyettävä kommunikoimaan virtuaalitodellisuusympäristössä sekä keskenään, että asiakkaan kanssa. Kommunikaatioon liittyen lomakekyselyssä kysyttiin myös, kuinka vastaajat haluaisivat kommunikoida virtuaalitodellisuusympäristössä. Suosituin vaihtoehto oli puheviestintä. Toiseksi suosituin vaihtoehto etäkokous tuotteen käyttöympäristössä vastaavassa virtuaalitodellisuusympäristössä (ns. työmaakokous), jossa osallistujat voivat nähdä toisensa virtuaalisena hahmona, sekä puhua keskenään ja tarvittaessa osoittaa asioita. Muistiinpanojen tekemisen arvioitiin olevan vaikeaa virtuaa-

liympäristössä. Mahdollisissa ongelmanratkaisutilanteissa keskustelu kasvotusten koettiin parhaaksi kommunikointitavaksi. Muissa kommunikaatitilanteissa sähköposti koettiin mieluisimmaksi tavaksi kommunikoida.

Lomakekyselyn perusteella tärkeimmät virtuaalitodellisuuden käyttökohteet suunnittelu-työssä ovat:

- laitteen, laitoksen, tai koneen todellisen koon hahmottaminen
- törmäystarkastelun ja yhteensopivuuksien tarkastamisen helpottaminen
- putkistojen ja johdotusten reitityksen analysointi ja hahmottaminen
- laitteen tai koneen kokoonpanoprosessin hahmottaminen ja kehittäminen, sekä työkalujen tilavarausten huomiointi
- tehdas- ja laitospaikoille tutustuminen ennen muutostöitä.

Tehdas- ja laitossuunnittelussa olemassa oleva tehdas tai laitos voidaan 3D-skannata laserlaitteistolla. Laserskannauksen tuottama pistepilvi siirretään 3D-CAD-ohjelmistoon ja edelleen VR-ohjelmistoon. Tämän pohjalta voidaan alkaa analysoida erilaisia suunnitteluratkaisuita muutostöitä varten ilman, että tarvitsee käydä paikan päällä usein.

Edellä mainittujen lisäksi virtuaalitodellisuuden hyödyntämisen uskotaan parantavan etätömahdollisuuksia. Käynnit työmaalla, tai todellisen prototyypin tarkastelun tarve, vähenvät huomattavasti, tai jopa poistuvat kokonaan. Edellä mainittujen lisäksi virtuaalitodellisuuden hyötyjä voivat olla:

- näkyvyys työkoneen ohjaamosta ulospäin (ns. Cabin view)
- ergonomian huomiointi
- virtuaaliset käyttö- ja käyttöönotto-ohjeet, sekä virtuaaliset huolto-ohjeet ja harjoitteluympäristö
- virtuaaliset etäkokoukset ja suunnittelukatselmukset.

3.3 Asiantuntijahaastattelut

Kirjallisuuskatsauksen lisäksi tietoa kerättiin erilaisten haastatteluiden avulla sekä täydentämään, että tukemaan, kirjallisuuskatsauksen avulla kerättyä tietoa. Eri ohjelmistoyritysten kanssa pidetyistä konferenssi-puheluista saatiin tietoa VR-ohjelmistojen ominaisuuksista, kustannuksista ja laitteistovaatimuksista. Konferenssi-puheluiden aikana saatuja vastauksia ja tietoja verrattiin keskenään, sekä kirjallisuuskatsauksen tulosten kanssa. Ohjelmistoyritysten edustajien lisäksi haastateltiin kohdeyrityksen IT-henkilöstöä. Keskisiä esille tulleita asioita olivat tietoturvakäytännöt, CAD-ohjelmistojen palvelin-pohjaisen käytön toteuttaminen käytännössä, nykyisten paikallisten työasemien vertailu palvelin-pohjaisiin virtuaalityöasemiin ja CAD-ohjelmistojen lisenssisopimusten ehdot

palvelinkäyttöä ajatellen. Kaikkien haastatteluiden tuloksia verrattiin kirjallisuuskatsauksen tuloksiin.

Kahden eri ohjelmistoyrityksen, TechViz:n ja IC.IDO:n edustajien haastatteluissa ja tuote-esittelyissä saatiin kattavasti vastauksia kaikkiin liitteen B kysymyksiin. Haastattelun ja tuote-esittelyn aikana vastaukset kysymyksiin kirjattiin ylös sitä mukaan, kun vastauksia saatiin. Ohjelmistojen ominaisuudet tulivat hyvin esille haastatteluiden aikana. Tämän lisäksi saatiin selville hintaluokka, ohjelmistokehityksen suunta ja tuotteiden räätälöintimahdollisuudet. Kahden haastattelun vastaukset taulukoitiin ja niitä aluksi verrattiin keskenään ja myöhemmin muiden ohjelmistojen vastaaviin tietoihin. Näin saatiin hyvä vertailupohja eri VR-ohjelmistoista. Haastatteluista ja ohjelmistoesittelyistä saatiin hyvä käsitys mitä nykyiset VR-ohjelmistot mahdollistavat ja mitkä ovat niiden rajoitteet, sekä vaatimukset. Kaikki VR-ohjelmistot eivät suoraan päivitä suunnitteluohjelmiston puolella mallissa tapahtuvia muutoksia VR-ohjelmistoon, mutta poikkeuksia tähän löytyy. Seuraavaksi perehdytään kahteen teknologisesti mielenkiintoiseen VR-ohjelmistoon.

TechViz on VR-ohjelmisto, joka tukee mallin päivittymistä CAD-ohjelmistosta VR-ohjelmistoon. CAD-ohjelmistossa tehtävät muutokset päivittyvät VR-ohjelmistoon, mutta VR-ohjelmistossa ei ole mahdollista tehdä muutoksia komponenttien geometriaan. TechViz mahdollistaa myös 3D-mallin avaamisen suoraan kaikista yleisimmistä CAD-ohjelmistoista natiiviformaatissa. Useat henkilöt voivat verkon välityksellä tarkastella mallia ja tehdä siihen merkintöjä yhteistyössä muiden käyttäjien kanssa. TechViz:in on saatavilla verkkolisenssejä, joiden hinta on noin 15 000€/lisenssi/vuosi. Lisenssin hinta riippuu lisenssien kokonaismäärästä ja ohjelmiston konfiguraatiosta, eli mille VR-laitteistolle ohjelmisto optimoidaan. Hinta-arvio annettiin HTC Vive –konfiguraatiolle. Erillistä maksutonta asiakasrajapintaa ei ole. TechViz:n edustajien mukaan ohjelmistossa on mahdollisuus törmäystarkasteluun ja leikkauskuvantojen ottamiseen. TechViz vaatii toimiakseen vähintään Nvidia Quadro P5000, tai vastaavan tasoisen, näytönohjaimen. [6]

IC.IDO:n edustajan mukaan virtuaaliodellisuusteknologia voi tuoda merkittäviä hyötyjä suunnittelutyöhön. Prototyyppien rakentamisen tarve voi vähentyä. Tämän lisäksi virtuaaliodellisuudessa voidaan myös analysoida tuotteen ergonomiaa ja valmistettavuutta erityisesti loppukokoonpanon osalta. IC.IDO niin ikään pystyy avaamaan suoraan CAD-natiiviformaatissa olevia 3D-malleja. CAD-mallissa tapahtuvat muutokset päivittyvät VR-ohjelmistoon, mutta toisinpäin mallin muuttaminen ei ole mahdollista. IC.IDO:n painotus on virtuaalisessa tuotteen kokoonpanon ja valmistettavuuden analysoinnissa. Myös

IC.IDO mahdollistaa törmäystarkastelun ja leikkauskuvantojen käytön. Laitteistovaatimuksen ovat hyvin vastaavat TechViz:n kanssa. IC.IDO on mahdollista saada verkkolisanssejä, mutta maksutonta asiakasrajapintaa ei tällä hetkellä ole mahdollista toteuttaa. Lisenssien hinta on noin 25 000€/lisenssi/vuosi, riippuen lisenssien kokonaismäärästä. [35]

Kirjallisuuskatsauksessa mainittuun 3Dexperience –alustaan liittyen pyydettiin lisätietoa Rand Finland Oy:ltä. Heidän mukaan 3Dexperience mahdollistaa kaikkien yleisimpien CAD-ohjelmistojen pilvipohjaisen käytön. Cad-ohjelmistoista esille nostettiin Catia, Solidworks, NX, Creo, Pro7, Inventor, sekä Revit. 3Dexperience on myös mahdollista yhdistää useimpiin PDM-järjestelmiin. Integraatiotaso valitaan asiakkaan tarpeiden perusteella. 3DEXPERIENCE –alustan kautta käynnistetyt sovellukset toimivat pilvipohjaisesti internetselaimen kautta. Alusta mahdollistaa usean suunnittelijan työskentelemisen reaaliaikaisesti saman mallin parissa. Suunnittelijoiden reaaliaikainen yhteistyö on mahdollista myös virtuaaliympäristössä samassa istunnossa. [89] 3Dexperience –alusta voidaan ottaa käyttöön SaaS, PaaS, tai IaaS –tyyppisenä palveluna asiakkaan tarpeen mukaan. Hinta on tällä hetkellä 340€/vuosi/käyttäjä. [13]

Kohdeyrityksen IT-henkilöstöä haastateltiin muun muassa virtuaalityöasemien käyttöön liittyen. Virtuaalinen työasema ei aina tuo juurikaan merkittäviä hyötyjä fyysiseen työasemaan nähden normaalissa toimistotyössä. Virtuaalityöaseman kustannukset ovat suuremmat, sillä palvelimien lisäksi tarvitaan edelleen fyysinen päätelaite, jolla työ tehdään. Etuna voidaan nähdä, että toimivista virtuaalityöasemista on helppo luoda kopioita, kun työasemien tarve kasvaa. Toisaalta toimivan virtuaalityöaseman luominen CAD-käyttöön on huomattavasti työläämpää ja vaatii erityisosaamista. Lisäksi ylläpito ja vianhaku ovat vaikeampia. Virtuaalityöasemien on todettu toimivan kohtalaisen hyvin CAD-käytössä. Käyttöliittymässä kuitenkin esiintyy ajoittain hitautta, joten käyttäjäkokemus ei täysin vastaa paikallisen työaseman käyttöä. VR-ohjelmiston käytöstä virtuaalityöasemassa kohdeyrityksellä ei ole kokemuksia. [46]

Virtuaalityöasemaa käytettäessä on otettava huomioon, että aina kun ohjelmisto toimii verkkoliikenteen välityksellä, ohjelmiston toimintaan vaikuttaa latenssi. Latenssi on aika mikä kuluu, kun tietopaketti siirtyy palvelimelta käyttäjälle. [53] VR-laitteistosta ja ohjelmistosta aiheutuu myös latenssia, kuten myös kirjallisuuskatsauksessa todettiin. VR-laitteistolla on tietty kuvan päivitystaajuus. Pahimmassa tapauksessa verkkoliikenteen aiheuttama latenssi ja VR-laitteiston latenssi ketjuttuvat niin, että kokonaislatenssi on niiden summa. [54] Myös PDM-järjestelmä aiheuttaa latenssia kokonaisjärjestelmään

PDM-järjestelmien tietokantaratkaisuisista johtuen. CAD-ohjelmisto pyytää tiedostoa PDM-järjestelmästä verkon välityksellä kyselyiden avulla. Kyselyt suoritetaan suurena määränä pieniä paketteja. Vaikka yksittäisen paketin koko on pieni, jokaisen paketin siirtymisen välillä on viivettä. Tästä johtuen esimerkiksi suurien kokoonpanojen avaaminen PDM-järjestelmästä kestää varsin pitkään, vaikka mallitiedostot saattavat olla pieniä. [46]

Kohdeyrityksen tietoturvakäytännön mukainen pääsääntö on, että samalla työasemalla ei tehdä töitä eri asiakkaille. Suunnittelijoille siis vaihdetaan työasema asiakkaan vaihtuessa. Samaa käytäntöä on sovellettava virtuaalityöasemille. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että eri asiakkaille tehtävän työn on tapahduttava toisistaan fyysisesti täysin erillään olevilla pilvipalvelimilla. [94] Eri asiakkaiden tarpeisiin tarkoitettujen suunnitteluohjelmistojen asentaminen samalle palvelimelle voi tuoda merkittäviä ongelmia myös sellaisessa tapauksessa, jos tietty asiakas käyttää CAD-ohjelmiston vanhempaa versiota ja toinen asiakas käyttää saman CAD-ohjelmiston uudempaa versiota. Tällöin erityisesti palvelimelle asennettavien näytönohjaimien ajureiden kanssa voi tulla yhteensopivuusongelmia. Samat ajurit eivät myöskään aina toimi esimerkiksi Catian ja Solidworksin kanssa. Ajurit asennetaan palvelimelle ja siten ajurit ovat samat kaikille virtuaalityöasemille, jos virtuaalityöasemat toimivat samalla palvelimella. [46]

Yksi potentiaalinen käyttökohde palvelin pohjaiselle virtuaalityöasemalle on tilanne, jossa suunnittelijan on nopeasti siirryttävä asiakasprojektista toiselle asiakkaalle tehtävään projektiin. Tällöin voidaan hyödyntää virtuaalityöasemaa siten, että toiselle asiakkaalle tehtävään projektiin tarvittavat ohjelmistot on asennettu virtuaalityöasemaan. Suunnittelija pääsee käsiksi virtuaalityöaseman ohjelmistoihin omalla fyysisellä työasemalla, jolloin fyysisen työaseman vaihto ei ole tarpeellista. Tällaisessa tapauksessa eri asiakkaille tehtävä työ tapahtuu käytännössä erillisillä työasemilla ja tietoturvakäytännön mukaisesti. [46] Virtuaalityöasema ei kuitenkaan voi sijaita yleisellä pilvipalvelimella, tai kaupallisella pilvipalvelimella. Haittapuolena kaupallisissa pilvipalveluissa on suunnittelutiedon tallentuminen ja käsittely yrityksen ulkopuolisella palvelimella, mikä voi olla tietoturvariski. Myös sopimusehdot asiakkaan kanssa saattava kieltää suunnittelutiedon siirtymisen kolmannelle osapuolelle, kuten pilvipalveluita tarjoavalle yritykselle. [94]

Jos suunnittelujärjestelmän toteutuksessa halutaan keskittyä tiettyyn CAD-ohjelmistoon, PDM-järjestelmä kannattaa ensisijaisesti valita CAD-ohjelmiston mukaan. PDM-järjestelmät toimivat parhaiten saman ohjelmistoyrityksen CAD-ohjelmiston kanssa. Eri ohjelmistoyritysten PDM-järjestelmän ja CAD-ohjelmiston ristiinkäyttö on mahdollista, mutta

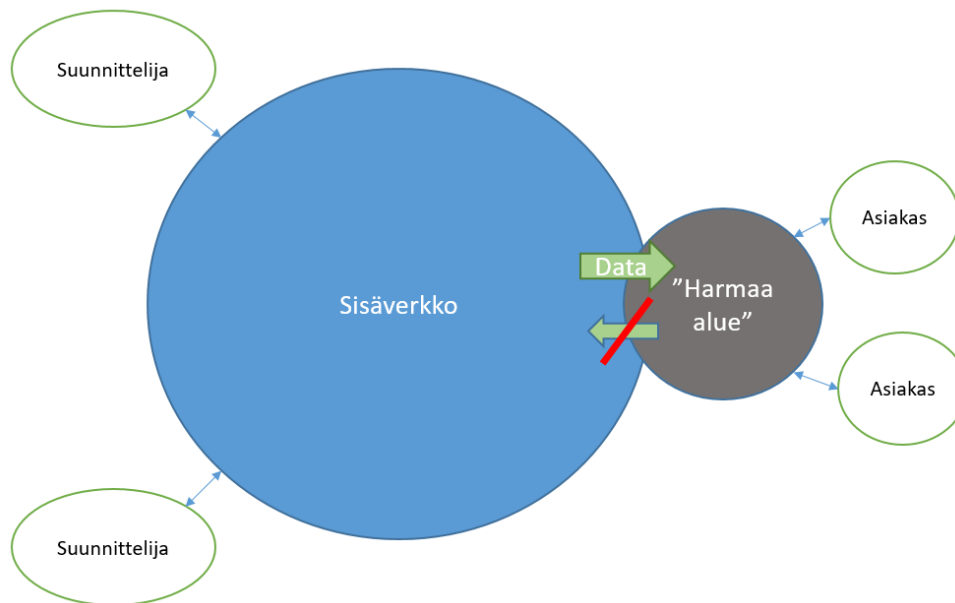
usein uusimmat versiot eivät ole tuettuja ristiinkäytössä ja usein PDM:n ja CAD-ohjelmiston välille saatetaan tarvita erillinen rajapintaohjelmisto. Eri ohjelmistoyritysten PDM-järjestelmän ja CAD-ohjelmiston ristiinkäytön mahdollistavat rajapintaohjelmistot ovat yleensä kalliimpia verrattuna tapaukseen, jossa PDM-järjestelmä ja CAD-ohjelmisto tulevat samalta ohjelmistoyritykseltä. Myös jotkin PDM-järjestelmän toiminnollisuudet eivät välttämättä täysin toimi ristiinkäyttötapauksessa. [46]

CAD-ohjelmistojen lisenssisopimuksissa on usein määritelty organisaatio, jolle lisenssi on hankittu. Lisenssisopimus ei sinänsä suoranaisesti vaikuta ohjelmiston käytettävyyteen palvelimella ja virtuaalityöasemalla. Ohjelmiston käyttäjän on kuitenkin kuuluttava siihen organisaatioon, jolle lisenssi on hankittu. Lisenssiehdoista on jokaisen ohjelmiston kohdalta erikseen tarkastettava mahdolliset rajoitteet. Muun muassa tietyt ohjelmistot eivät välttämättä salli käyttäjän fyysisen sijainnin olevan esimerkiksi yli 75 km päässä organisaation ilmoitetusta sijainnista. Jos suunnitteluprojektissa halutaan hyödyntää organisaation ulkopuolisia resursseja, näille resursseille on hankittava erikseen ns. globaali lisenssi, joka mahdollistaa ohjelmiston käytön tietyn organisaation ulkopuolella. Tällaiset lisenssit ovat kuitenkin usein 1,5 - 2 kertaa kalliimpia kuin normaalit kelluvat lisenssit. Lisenssejä ei yleensä voi käyttää saman konsernin eri yhtiöissä, eli eri Y-tunnuksen alla olevissa yrityksissä. [46][94]

Mikäli suunnitteluohjelmistoja käytetään kaupallisella pilvialustalla, kohdeyritys ei voi juurikaan itse vaikuttaa ohjelmistopäivitysten ajankohtaan. Palvelun tarjoaja suorittaa ohjelmistopäivitykset, ja päivitys voi ajoittua suunnittelijan työpäivälle. Tämä voi pahimmillaan estää suunnittelijan työskentelyn hetkellisesti työpäivän aikana. Kuten edellä todettiin, lähtökohtaisesti eri asiakkaille ei tehdä työtä samalla työasemalla. Tämän periaatteen toteutumisen todentaminen on erittäin vaikeaa, mikäli suunnitteluohjelmistot toimivat kaupallisella pilvialustalla. Lisäksi vikatilanteessa vianhaku voi olla vaikeaa ja vastuunjako vian korjaamiseksi ei välttämättä ole selvä. On myös otettava huomioon, että joissakin tapauksissa asiakassopimukset saattavat kieltää suunnittelutiedon siirtymisen kohdeyrityksen sisäverkon ulkopuolelle. [46]

Asiakasrajapinnan luominen VR-ohjelmistoa varten voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla. Ensimmäinen ja työmäärältään pienempi on asentaa VR-ohjelmisto kaupalliselle pilvipalvelimelle. Tällöin ongelmaksi tässäkin tapauksessa voi muodostua 3D-mallin siirtyminen kohdeyrityksen verkon ulkopuolelle. Toinen vaihtoehto on luoda kohdeyrityksen sisäverkkoon niin sanottu "harmaa alue", tai DMZ (Demilitarized Zone), ikään kuin sisä-

verkon jatkeeksi. Harmaalle alueelle tehdään VR-ohjelmistolle oma lisenssi- ja tiedostopalvelin, josta VR-ohjelmisto hakee lisenssin ja tarkasteltavan mallin. Periaate on esitetty kuvassa 15. [54] VR-ohjelmisto itsessään toimii paikallisesti asiakkaan tietokoneella. Ohjelmisto hakee lisenssin kohdeyrityksen verkosta, sekä lataa tarkasteltava mallin palvelimelta. Yhteys on salattava VPN:n (Virtual Private Network) avulla. Verkko määritellään palomuurin avulla siten, että asiakkaalla ei ole mahdollista päästä harmaata aluetta pidemmälle, varsinaiseen sisäverkkoon. [54][75]



Kuva 15. Sisäverkko ja harmaa alue.

Kolmas vaihtoehto VR-ohjelmiston tarjoamiseksi asiakkaan käyttöön on luoda virtuaali-työasema harmaalle alueelle. Asiakas pääsee käsiksi palvelimella toimivaan VR-ohjelmistoon ja sitä kautta asiakkaalle tehtävään suunnittelutietoon. Erona edelliseen ratkaisuun on siis se, että ohjelmisto toimii palvelimella, eikä asiakkaan tietokoneella paikallisesti. Tällöin mallia ja lisenssiä ei siirretä verkon välityksellä, mutta VR-ohjelmiston luoma grafiikka ja käyttäjäsyötteet puolestaan siirretään verkon välityksellä. Jos VR-ohjelmistoa pyritään käyttämään palvelimella, on tarkastettava, onko VR-laitteistolla olemassa sopivia ajureita palvelinkäyttöä varten. Ilman sopivia ajureita VR-laitteisto ei toimi virtuaali-työasemalla. [75]

3.4 Kirjallisuuskatsauksen analyysi

Kirjallisuuskatsauksen avulla tunnistettiin ja poimittiin suunnittelujärjestelmän tarpeisiin sopivia teknologioita. Aineistot käytiin läpi ja julkaisuista muodostettiin aluksi kokonais-

kuva käytettävissä olevista teknologiasta. Tämän jälkeen tarkasteltiin julkaisuiden yksityiskohtia ja pyrittiin saamaan tietoa, miten teknologiat ja niihin liittyvät rajapinnat on toteutettu. Lopuksi julkaisuiden perusteella määritettiin niiden esittämän teknologian maturiteetti. Maturiteetin määrittämisessä käytettiin neliportaista asteikkoa: kaupallinen, ennakkojulkaisu ja kehitysvaiheessa oleva ja konseptitason teknologia. Kehitysvaihetta aikaisemmassa vaiheessa, konseptin tasolla, olevat teknologiat rajattiin pois alkuvaiheessa. Kaiken edellä mainitun aineiston pohjalta tutkittiin, minkälaisen laitteiston ja tietoliikennekapasiteetin ohjelmistot vaativat toimiakseen. Kuten luvussa 3.1 todettiin, teknologioita verrattiin ideaalisen suunnittelujärjestelmän konseptiin. Tulosten muodostamisessa keskityttiin kaupallisen maturiteetin teknologioihin.

Taulukkoon 3 on kerätty potentiaalisia ohjelmistoja suunnittelujärjestelmää varten. Taulukon VR-ohjelmistot käytiin läpi kirjallisuuskatsauksen yhteydessä. Taulukossa esitetyt VR-ohjelmistot soveltuivat ominaisuuksiltaan parhaiten suunnittelukäyttöön, sillä ne mahdollistavat CAD-formaattien katselun virtuaalitodellisuudessa, etäkokouksien järjestämisen ja leikkaustasojen käytön. Lisäksi taulukossa mainituissa ohjelmistoissa on käytettävissä virtuaalitodellisuudessa toimiva mittatyökalu mittojen tarkastamista varten. Kuten taulukosta nähdään, VR-ohjelmistoista Improov3 on selkeästi edullisin vaihtoehto. Edullisen lisenssihinnan lisäksi Improov3 tarjoaa ilmaisversiota ohjelmistosta, joka mahdollista etäkokoukseen liittymisen ja mallin tarkastelun. CAD-ohjelmisto määräytyy pääsääntöisesti asiakasyrityksen mukaan. Joissakin tapauksissa käytettävä CAD-ohjelmisto voi määräytyä suunnittelijan ohjelmistokokemuksen ja mieltymysten mukaan. Tästä johtuen taulukkoon ei ole otettu mukaan CAD-ohjelmistoja ja PDM-järjestelmiä.

Taulukko 3. Ohjelmistot ja ohjelmistokustannukset [16][32][40][91][102].

Nimi	Hinta (€/vuosi/lisenssi)	Tyyppi
IC.IDO	25000	VR
Techviz	15000	VR
Improov3	4800, pro-lisenssi 9600	VR
Citrix Hypervisor	1385 *	Palvelin ja virtualisointi
Citrix Virtual Apps and Desktops	485 *	Pääteohjelmisto
VMware vSphere	3005 *	Palvelin ja virtualisointi
VMware Horizon	499 *	Pääteohjelmisto

* Omistuslisenssi

Taulukossa 3 on esitetty kaksi eri ohjelmistopakettia VDI-tekniikan käyttöä varten. VDI-tekniikan mahdollistavista ohjelmistoista Citrixin ohjelmistot ovat selkeästi edullisempia. VDI-tekniikan käyttö vaatii palvelimelle asennettavan palvelin ohjelmiston, sekä käyttäjän päätelaitteelle asennettavan pääteohjelmiston. Toisin kuin VR-ohjelmistojen vuokralisenssit, VDI-tekniikan vaatimat ohjelmistot toimivat omistajalisenssillä, eli kyseiset ohjelmistot ovat kertakustannus. Jokaista käyttäjää kohden on hankittava yksi pääteohjelmiston lisenssi. Yks palvelinohjelmiston lisenssi riittää todennäköisesti 6 – 9 käyttäjälle. Kokonaisohjelmistokustannukset ovat siis huomattavan suuret, mikäli VDI- ja VR-tekniikat halutaan ottaa käyttöön laajalti kohdeyrityksessä.

Ohjelmistojen lisäksi tarvitaan niitä käyttävä laitteisto. Tästä johtuen kirjallisuuskatsauksen yhteydessä kerättiin tietoa myös laitteistoista. Laitteistojen vertailua varten laitteistokomponenteista tietoa kerättiin laitteistovalmistajien verkkosivuilta ja vertailusivustoilta. Vertailuun otettiin mukaan näytönohjainten hinta ja suorituskyky, sekä muutamia suorittimia kokonaiskustannusarvion vuoksi. Taulukkoon 4 on koottu laitteistoon tarvittavia komponentteja. Näytönohjainten suorituskykyä on verrattu 32-bitin FLOPS (FP32) luekan avulla. Vertailuun otettiin mukaan Quadro P5000 näytönohjain, jota suositeltiin Techviz –ohjelmiston kanssa käytettäväksi ja josta kohdeyrityksellä on käyttökokemusta. Suorituskykytiedot ovat peräisin Techpowerup GPU-tietokannasta [90]. Suorittimien tiedot ovat peräisin Intelin omilta verkkosivuilta [44].

Taulukko 4. Laitteiston ominaisuuksia ja kustannukset

Nimi	Hinta (€)	Suorituskyky	Tyyppi
AMD Radeon Pro V340	n. 9030	10,8 TFLOPs (FP32)	GPU
AMD Radeon Pro V320	-	7,2 TFLOPs (FP32)	GPU
Nvidia Tesla P100	n. 7400	10,6 TFLOPs (FP32)	GPU
Nvidia Tesla V100	n. 9400	14,1 TFLOPs (FP32)	GPU
Nvidia Tesla P40	n. 7500	11,8 TFLOPs (FP32)	GPU
Nvidia Quadro RTX 6000	n. 4500	16,3 TFLOPs (FP32)	GPU
Nvidia Quadro RTX 5000	n. 2330	11,2 TFLOPs (FP32)	GPU
Nvidia Quadro P5000	n. 2030	8,9 TFLOPs (FP32)	GPU
Intel Xeon Gold 6154	n. 3540	3,0 GHz / 18 ydintä	CPU
Intel Xeon Gold 6152	n. 3660	2,1 GHz / 22 ydintä	CPU
Intel Xeon Platinum 8180	n. 10010	2,5 GHz / 28 ydintä	CPU
Intel Xeon Platinum 8160	n. 4710	2,1 GHz / 24 ydintä	CPU

Kuten taulukosta 4 huomataan, yksittäisiä näytönohjaimia tarkasteltaessa, Nvidia Quadro RTX 5000 on hinta-suorituskyky-suhteeltaan paras vaihtoehto. Valmistaja kuitenkin suosittelee käyttämään Quadro RTX 6000 -näytönohjainta CAD-käytössä. On mahdollista, että Quadro RTX 5000 -näytönohjaimilla ei saavuteta riittävää suorituskykyä CAD- ja VR- käyttöä ajatellen, sillä yhteen palvelintietokoneeseen voidaan asentaa rajallinen määrä näytönohjaimia. Asia vaatii tarkempaa tutkimista IT-henkilöstöltä. Palvelintietokoneisiin tarvitaan näytönohjaimien lisäksi lukuisia muita komponentteja. Näytönohjaimien ohella suoritin on toinen merkittävä kustannustekijä. Tarve käyttäjäkohtaisille VR-laitteistoille nostaa myös kustannuksia. Voidaan siis todeta, että ohjelmistokustannusten lisäksi myös laitteistokustannukset ovat merkittävä tekijä pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän toteutuksessa.

Kuten luvussa 2.4.1 kävi ilmi, on olemassa muutamia kaupallisia pilvialustoja, joita voidaan käyttää CAD- ja VR- ohjelmistojen pilvipohjaiseen suorittamiseen. Kohdeyritykseen rakennetun palvelinklusterin sijasta voidaan periaatteessa käyttää valmista kaupallista palvelua. Aloituskustannusten osalta kaupallinen pilvialusta on todennäköisesti edullisempi vaihtoehto kuin kohdeyrityksen sisäverkkoon rakennettu oma palvelinklusteri. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että kaupallisen pilvialustan käyttö voi aiheuttaa ongelmia, kuten luvussa 3.3 todettiin. Kirjallisuuskatsauksen, sekä haastatteluiden pohjalta paras ratkaisu vaikutta olevan kohdeyrityksen sisäverkkoon rakennettu palvelinratkaisu, kun otetaan huomioon myös liiketoimintaympäristö.

Kirjallisuuskatsauksessa käytiin läpi kaksi vaihtoehtoa pilviteknologian käyttöön liittyen. Luvun 2.4.1 kuvasta 4 nähdään, että mitä enemmän järjestelmän toiminta painottuu palvelimelle, sen parempi järjestelmän skaalattavuus on käyttötarpeita ajatellen. Toisaalta samalla järjestelmän teknologinen toteuttaminen vaikeutuu. Pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän yksi tavoite on parantaa resurssien joustavaa käyttöä fyysisestä sijainnista riippumatta. Tällöin kuvassa 4 esitetty jälkimmäinen vaihtoehto, ”Strong server + thin client”, on parempi vaihtoehto, sillä kaikki tarvittavat ohjelmistot sijaitsevat palvelimella. Tällä hetkellä 3D-mallit joudutaan lataamaan PDM-järjestelmästä muokattavaksi paikallisen koneen välimuistiin. Jos CAD-ohjelmisto toimii samassa palvelinklusterissa kuin PDM-järjestelmä, 3D-mallia ei ladata paikallisen koneen välimuistiin alueverkon kautta, vaan kaikki työ tapahtuu palvelimella. Tällöin merkittävä osa tietoliikenteestä tapahtuu lähiverkossa, mikä todennäköisesti nopeuttaa 3D-mallin avaamista.

4. TULOKSET

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, eli vaatimusten määrittelyyn, tulokseksi saatiin suuri joukko erilaisia suunnittelujärjestelmään kohdistuvia vaatimuksia kuten luvussa 3.2 käytiin läpi. Keskeisimpiä esille tulleita suunnittelujärjestelmän vaatimuksia ovat:

- varmatoimisuus
- nopea ja sujuva toiminta, myös suuria kokoonpanoja käsiteltäessä
- kyky käsitellä useita eri tiedostomuotoja
- mahdollisuus kommunikoida suunnittelijoiden kesken, sekä asiakkaan kanssa virtuaalitodellisuudessa

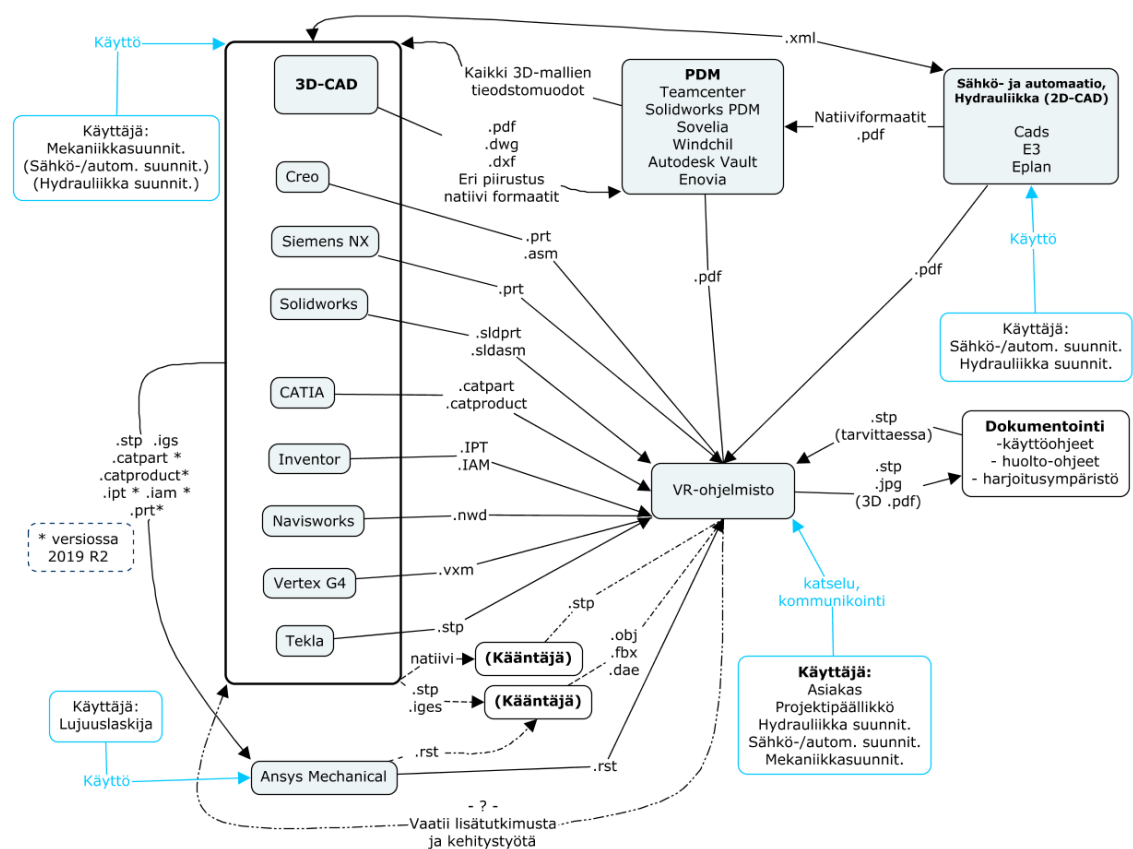
Näiden vaatimusten lisäksi suunnittelujärjestelmässä on oltava liitettävyyttä VR-ohjelmiston ja kaikkien yleisimmin käytettyjen CAD-ohjelmistojen välillä. Liitettävyyden on vähintään mahdollistettava 3D-mallin siirtyminen CAD-ohjelmistosta VR-ohjelmistoon. Ideaalitulanteessa liitettävyyden on toimittava myös toiseen suuntaan.

Toisen tutkimuskysymyksen, mitkä teknologiat mahdollistavat pilvipohjaisen virtuaalitodellisuudessa toimivan suunnittelujärjestelmän toteuttamisen, tuloksissa keskityttiin kaupallisen maturiteetin teknologioihin. Tämän hetken kaupallisiin teknologioihin perustuva ratkaisu mahdollistaa pilottiprojektin käynnistämisen lyhyellä aikataululla, sekä teknologioiden helpon käyttöönoton kehitysvaiheessa tai konseptin tasolla oleviin teknologioihin verrattuna. Lisäksi kaupallisten teknologioiden toimintavarmuus ja käytettävyys suunnittelijoiden näkökulmasta on todennäköisesti parempi kuin maturiteetiltaan alemmalla tasolla olevilla teknologioilla. Tärkeimmät pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän mahdollistavat teknologiat ovat VDI-teknologia, palvelin-GPU teknologia ja CAD-tiedostoformaateja tukevat VR-ohjelmistot. Kuten luvun 3.2 taulukosta 3 käy ilmi, VR-ohjelmistoista Improov3 on edullisin ja ominaisuuksiltaan riittävä vaihtoehto.

Dassault Systemesin 3DExperience –alusta voi myös toimia hyvänä lähtökohtana pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän toteutuksessa. 3DExperience on valmis kaupallinen ratkaisu CAD-ohjelmistojen ja VR-ohjelmistojen pilvipohjaista käyttöä varten. 3DExperience mahdollistaa myös 3D-mallien ja kokoonpanojen muokkaamisen VR-ympäristössä yhteistyössä usean käyttäjän kanssa, samassa istunnossa. Ongelmana 3DExperience –alustassa on asiakasrajapinnan luominen ja mahdollinen suunnittelutiedon siirtyminen kohdeyrityksen sisäverkosta ulkoiselle palvelimelle. Vaikka 3DExperience ei todennäköisesti sellaisenaan mahdollista erillisen asiakasrajapinnan luomista, kyseinen

teknologia voidaan yhdistää luvussa 3.3 mainittuun ”*harmaan alueen*” toteutustapaan niin, että 3D-malli saadaan siirrettyä asiakkaan tietokoneella sijaitsevaan VR-ohjelmistoon. Lisätietoa 3DExperience –alustasta tarvitaan asiakasrajapinnan osalta, sekä erityisesti alustan käytön osalta kohdeyrityksen omalla palvelimella.

Kaikista tuloksista muodostettiin järjestelmän rajapintoja ja ohjelmistokomponentteja kuvaava konseptikartta relaatioiden hahmottamisen helpottamiseksi. Konseptikartta on muodostettu tutkimuksessa esille tulleista tarpeellisista ohjelmistoista ja niiden välisistä rajapinnoista. Kuten edellä todettiin, tuloksissa ja siten myös konseptikartan muodostuksessa on käytetty vain maturiteetiltaan kaupallisia teknologioita. Suunnittelujärjestelmä koostuu useasta eri ohjelmistosta, jotka saattavat käyttää eri tiedostomuotoja. Tästä johtuen tiedoston muuttaminen formaatista toiseen voi olla tarpeellista. Kaavio järjestelmän rajapinnoista nähdään kuvassa 16.



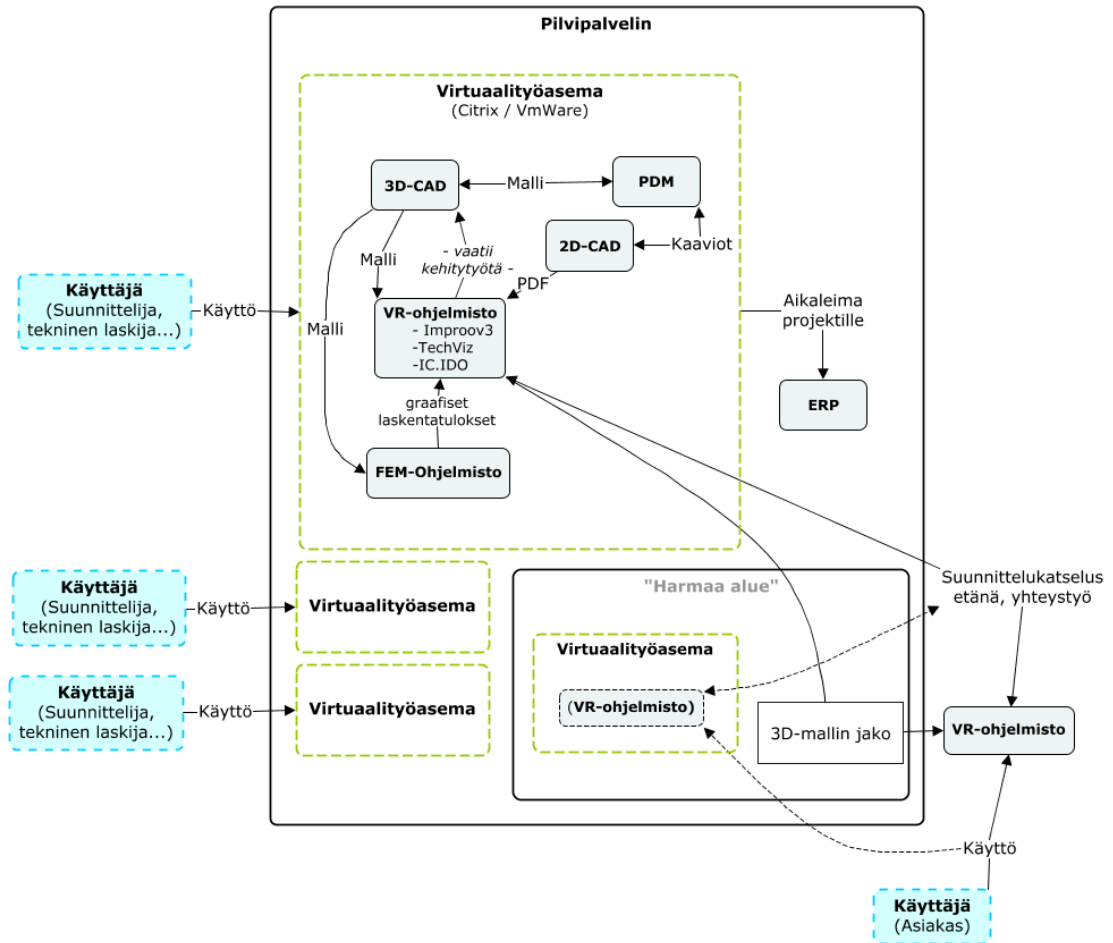
Kuva 16. Järjestelmän ohjelmistokomponentit ja rajapinnat

CAD- ja PDM-ohjelmistot valitaan yleensä yhdessä projektikohtaisesti. CAD- ja PDM-ohjelmistot ovat usein saman ohjelmistoyrityksen tuotteita ja ne on suunniteltu toimimaan yhdessä. Tästä johtuen CAD-PDM rajapintaan ei tarvitse kiinnittää erityistä huomiota.

Sen sijaan CAD-VR rajapinta vaatii tarkastelua. 3D-malli voidaan siirtää CAD-ohjelmistosta VR-ohjelmistoon neutraalitiedostomuodossa. Joissain tapauksissa myös CAD-ohjelmiston natiivitiedostomuoto on mahdollista siirtää VR-ohjelmistoon. Natiivitiedostomuodon hyödyntämisen mahdollisuus riippuu valitusta VR-ohjelmistosta. Tiedonsiirto tässä rajapinnassa toiseen suuntaan, eli VR-ohjelmistosta CAD-ohjelmistoon on huomattavasti vaikeampi toteuttaa.

3D-CAD ja FEM-laskenta –ohjelmistot saadaan liitettyä VR-ohjelmistoon kuvan 16 mukaisesti. 3D-CAD ja FEM-ohjelmiston välinen rajapinta voidaan toteuttaa neutraalitiedostomuodon avulla. Tietyt ohjelmistoversiot tukevat myös tiettyjä natiivitiedostomuotoja 3D-CAD – FEM –rajapinnassa. Iomakekyselyn perusteella 2D-CAD-ohjelmistojen liittämistä VR-ohjelmistoon ei koettu kovinkaan mielekkääksi, sillä VR-tekniologiasta ei juurikaan saada hyötyä 2D-dataa tarkasteltaessa. Poikkeus tähän on tapaus, jossa 2D-dataa ja 3D-dataa tarkastellaan rinnakkain. Tällöin tiedostoformaattiksi soveltuu yleensä esimerkiksi yleisesti käytetty PDF-dokumentti. 2D-CAD –ohjelmistoista voidaan siirtää tietoa 3D-CAD –ohjelmistoon .xml formaatissa. Tätä hyödynnetään esimerkiksi johtimien ja letkujen pituuksien määrittämiseen 3D-mallin avulla.

Suunnitteluohjelmistojen pilvipohjainen käyttö voidaan toteuttaa työaseman virtualisoinnin avulla, eli VDI-tekniologialla. Kuten luvussa 2.4.1 huomattiin, Citrix Hypervisor ja Virtual desktops, sekä vastaavat VMwaren ohjelmistot mahdollistavat pilvipalvelimelle asennettujen ohjelmistojen käytön päätelaitteella. Työaseman virtualisointi vaatii sen mahdollistavan ohjelmistojen lisäksi palvelin-GPU tekniologiaa. Palvelimille luodaan jokaista suunnittelijaa kohden virtuaalityöasema. CAD-, laskenta- ja VR-ohjelmistot toimivat palvelimella ja käyttäjä käyttää ohjelmistoja erillisen pääteohjelmiston välityksellä. Palvelintietokoneessa sijaitseva näytönohjain muodostaa grafiikan palvelimella. Tietoturvakäytännöistä ja ohjelmistoversioiden yhteensopivuuksista johtuen jokaista asiakasta kohden tarvitaan oma palvelinklusteri. Virtuaalityöasemien käytön periaate pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän toteutuksessa on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Suunnittelujärjestelmän toteutus virtuaalityöasemien avulla.

Suunnittelijakohtainen virtuaalityöasema sisältää tarvittavan CAD-ohjelmiston, sekä PDM-ohjelmiston käyttöliittymän ja VR-ohjelmiston. Varsinainen työ tapahtuu CAD-ohjelmistolla. Muokattava tietue haetaan PDM-järjestelmästä PDM-käyttöliittymän välityksellä. VR-ohjelmistoa käytetään tarvittaessa mallin tarkasteluun 1:1 mittakaavassa, sekä suunnittelukatselmuksiin. Vastaavasti teknisen laskijan, tai lujuuslaskijan virtuaalityöasema sisältää laskentaan tarvittavat ohjelmistot ja VR-ohjelmiston. Ohjelmistojen laskutoimitukset tapahtuvat palvelimella ja laskennan tulos, eli grafiikka, siirretään käyttäjän virtuaalityöasemalle ja sitä kautta käyttäjän päätelaitteelle. Virtuaalityöasemista on mahdollista saada selville istuntojen aikaleimat, joita voidaan mahdollisesti hyödyntää ERP-järjestelmässä projektin ajankäytön seurannassa.

Kuvassa 17 asiakasrajapinta on toteutettu niin sanotun *"harmaan alueen"* avulla. Asiakkaalla on verkon välityksellä pääsy palvelimen *"harmaalla alueelle"*, mutta ei sitä pidemmälle. VR-ohjelmisto, jota asiakas käyttää suunnittelukatselmuksiin ja suunnitteluprojektin etenemisen seurantaan, on asennettu paikallisesti asiakkaan omalle tietokoneelle. Näin saadaan minimoitua latenssista aiheutuvat ongelmat. Asiakkaan tietokoneelle asennettu VR-ohjelmisto hakee tarkasteltavan 3D-mallin palvelimen *"harmaalta alueelta"* tarkastelua ja katselmointia varten. Suunnittelijoiden VR-ohjelmisto ja asiakkaan VR-ohjelmisto toimivat samassa istunnossa, eli suunnittelijat ja asiakas ovat reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa toisensa kanssa. Asiakasta varten voidaan luoda oma virtuaalityöasema palvelinklusteriin VR-ohjelmiston käyttöä varten, mutta verkkoliikenteestä aiheutuva latenssi voi heikentää käyttökokoemusta.

5. PÄÄTELMÄT

Seuraavaksi tarkastellaan kuinka luvussa 5 esitetyt tulokset vastaavat työlle asetettuja tavoitteita, sekä millaisia päätelmiä tuloksista ja lähdeaineistosta voidaan tehdä. Tiivistetyksi voidaan todeta, että tavoitteisiin päästiin hyvin ja tutkimuskysymyksiin löydettiin kattavat vastaukset. Tulosten pohjalta jatkokehitystyö ja pilotointi on mahdollista. Tutkimusmenetelmiä voidaan siis pitää työhön sopivina ja onnistuneina. Pilvipohjaisen ja virtuaalitodellisuutta hyödyntävän suunnittelujärjestelmän luominen nykyteknologialla ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Jos pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän konseptia kehitetään pidemmälle, kehitystyössä on huomioitava mahdolliset ongelmat, erilaiset käyttötapa- ja kehitysvaihtoehdot.

5.1 Päätelmät tuloksista

Diplomityö on luonteeltaan alustavan kartoituksen tekemistä ja teknologioiden soveltuvuuden tutkimista. Tavoitteena oli tutkia pilvipohjaisen ja virtuaalitodellisuutta hyödyntävän suunnittelujärjestelmän luomiseen mahdollistavia teknologioita. Diplomityö jaettiin kahteen päätutkimuskysymykseen, kuten luvussa 1.3 mainittiin. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen avulla määritettiin ja tunnistettiin pilvipohjaiseen suunnittelujärjestelmään kohdistuvat vaatimukset käyttäjien näkökulmasta, sekä kartoitettiin virtuaalitodellisuuden käyttömahdollisuuksia suunnittelutyössä. Luvuissa 3.2 ja 4 käytiin läpi tärkeimmät vaatimukset, jotka ovat varmatoimisuus, nopea toiminta myös suurien kokoonpanojen kanssa, kyky käsitellä useita ei tiedostomuotoja, sekä mahdollisuus kommunikoida virtuaaliympäristössä. VR-teknologian käyttökohteita suunnittelutyössä ovat muun muassa työkalujen tilavarausten ja ergonomian huomiointi, kommunikaation tehostaminen, sekä käyttöönotto- ja huoltokoulutus.

Toisen tutkimuskysymyksen avulla kartoitettiin suunnittelujärjestelmän toteuttamiseen mahdollistavia teknologioita. Keskeisimmät virtuaalitodellisuudessa toimivan pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän toteuttamisen mahdollistavat teknologiat ovat Dassault Systemesin 3DExperience -alusta, sekä palvelin-GPU -teknologia ja työasemien virtualisointiteknologia. Olennainen osa järjestelmää on tietenkin myös virtuaalitodellisoitumisteknologia. Olennainen osa järjestelmää on tietenkin myös virtuaalitodellisoitumisteknologia, joita on saatavilla useita. Nykyisin useat VR-ohjelmistot mahdollistavat 3D-mallin siirtymisen CAD-ohjelmistosta VR-ohjelmistoon vaivatta. Edelleen on kuitenkin tarve kehittää pidemmälle teknologiaa, joka mahdollistaa kokoonpanojen muokkaamisen reaaliaikaisessa yhteistyössä usean suunnittelija kesken, eli samassa istunnossa. Lukujen 2.4.1 ja

3.5 pohjalta arvioituna 3Dexperience -alusta vaikuttaa hyvältä vaihtoehdolta suunnittelu-järjestelmän toteuttamista varten, mutta lisätietoa ja testausta tarvitaan.

Dassault systeemisissä 3Dexperience -alusta mahdollistaa varsinaisen mallintamisen virtuaalitodellisuudessa. 3Dexperience -alustan pitäisi toimia kaikkien yleisimpien CAD-ohjelmistojen kanssa, kuten luvussa 3.3 mainittiin. Tästä johtuen 3Dexperience on erityisen mielenkiintoinen teknologia. Luotettavaa tietoa 3Dexperience -alustan käytettävyydestä kohdeyrityksen omalla palvelimella ei ollut saatavilla. Samoin asiakasrajapinnan luonnista ei ollut saatavilla luotettavaa tietoa. Tästä johtuen VDI-teknologiaan ja palvelin-GPU-teknologiaan pohjautuva ratkaisu vaikuttaa paremmalta toteutustavalta tällä hetkellä. Tällöin ei kuitenkaan saada mahdollisuutta muokata 3D-mallia virtuaalitodellisuudessa. VDI-teknologian osalta lienee paras käyttää Citrixin ohjelmistoja, sillä ne ovat edullisempia kuin VMwaren vastaavat ohjelmistot. Lisäksi Citrixin ohjelmistoista on käytökokemusta kohdeyrityksessä. VR-ohjelmistoista paras vaihtoehto lienee Improov3, sillä se on ominaisuuksiltaan riittävä ja hinnaltaan selvästi edullisin.

Kokonaisuudessaan VDI-teknologian avulla toteutettu pilvipohjainen suunnittelujärjestelmä on varsin monimutkainen, sillä ohjelmistojen välisiä rajapintoja on useita. Kyseinen toteutustapa kuitenkin täyttää järjestelmän vaatimustenmäärittelyn varsin hyvin. CAD-VR rajapinta vaatii kuitenkin jatkossa tarkastelua. Ideaalitulanteessa virtuaalitodellisuudessa tulisi pystyä muokkaamaan CAD-mallia siten, että muutokset päivittyvät CAD-ohjelmistoon. Tätä voidaan pitää teknologisenä puutteena useiden VR-ohjelmistojen kohdalla. Virtuaalitodellisuus ja sen yhdistäminen suunnittelutyöhön vaikuttavat olevan tällä hetkellä paljon tutkittuja aiheita, joten uusia teknologisia ratkaisuja ja kehitysaskelia on odotettavissa lähivuosina.

Jos suunnittelujärjestelmä on pilvipohjainen, mallia voidaan tarkastella helposti myös etänä erillisten suunnittelukatselmusten ja kokousten ulkopuolella. Samalla saadaan joustavuutta suunnitteluresurssien käyttöön; tarvittaessa esimerkiksi ulkomailla oleva suunnittelija voidaan ottaa mukaan projektiin. Lisäarvoa voidaan tuottaa myös paremmalla työteholla, jolloin suunnittelija saa aikaan enemmän tietyssä ajassa, aikaisempaan verrattuna. Keskeisiä tavoitteita suunnittelijan näkökulmasta ovat virheiden vähentäminen, nopeammin ja varmemmin toimiva järjestelmä, sekä tehokas suurien kokoonpanojen hallinta. Korkeampi työteho ja sen myötä nopeampi suunnitteluprojektin eteneminen voivat myös olla asiakkaan näkökulmasta merkittäviä lisäarvoa tuottavia asioita.

Liiketoiminnan kannalta VR- ja pilviteknologioista voidaan saada lisäarvoa resurssien joustava käytön, paremman kommunikaation ja mahdollisesti suunnitteluvirheiden vähenemisen myötä. Pilviteknologia mahdollistaa myös paikkasidonnaisuuden vähentämisen. VR-teknologia mahdollistaa asiakkaalle suunnitteluprojektin helpon seurannan, sekä tehostaa asiakkaan ja suunnittelijoiden välistä kommunikaatiota. Kommunikaation tehostuminen voi vähentää matkustustarvetta, sillä virtuaalitodellisuudessa tapahtuvat etäpalaverit ja suunnittelukatselmukset tarjoavat hyvän työkalun suunnitteluprojektien seuraamiselle. Virtuaalitodellisuusympäristössä voidaan helposti tarkastella 3D-mallia todellisessa mittakaavassa ja samalla analysoida suunnitteluratkaisuita ergonomian ja tilavarausten kannalta. Tämä puolestaan voi vähentää suunnitteluvirheitä ja muutostarpeita prototyypin rakentamisen jälkeen.

5.2 Mahdolliset ongelmakohdat järjestelmässä

Latenssi vaikuttaa merkittävästi VR-ohjelmiston käyttökokemukseen. Kirjallisuuskatsauksen perusteella sallittu latenssi optimaalisen käyttäjäkokemuksen saamiseksi on noin 20 ms. Käytettävyyden kannalta ylärajana pidetään 60 ms latenssia. Jos VR-ohjelmisto toimii palvelimella ja 3D-grafiikka siirretään verkon välityksellä palvelimelta päätelaitteelle, latenssi muodostuu ongelmaksi. Kohdeyrityksen verkosta ulkoverkkoon tehdyn, verkkosivulla tapahtuvan, nopeus- ja latenssitestin [66] perusteella verkkoliikenteen latenssi vaihtelee 5 – 13 ms välillä keskiarvon ollessa noin 10 ms viidellä eri testikerralla. Palvelimet, joiden avulla tiedonsiirtonopeutta ja latenssia testattiin, sijaitsevat pääkaupunkiseudulla. Jos yhteys muodostetaan pidemmän matkan päähän, latenssi kasvaa.

Verkon aiheuttama latenssi kasvattaa ”*Motion-to-Photon*” latenssia huomattavasti, sillä tieto käyttäjän liikkeistä kulkee verkon välitykseltä VR-ohjelmistopalvelimelle, tämän jälkeen palvelin prosessoi tietoa liikkeistä ja päivittää kuvaa sen mukaan. Kuva siirtyy verkon välityksellä käyttäjän päätelaitteelle ja siitä edelleen näyttölaitteella, eli VR-laseihin. Jos VR-ohjelmisto toimii palvelimella, ”*Motion-to-Photon*” latenssiin vaikuttaa verkkoliikenteen latenssi yhteyden molempiin suuntiin, ohjelmiston ja palvelimen latenssi, sekä pääteohjelmiston ja VR-lasien latenssi. Näin ollen ”*Motion-to-Photon*” latenssi kasvaa helposti yli sallitun 60 ms rajan. Jos palvelin ja päätelaite ovat samassa lähiverkossa, latenssi ei todennäköisesti aiheuta merkittäviä ongelmia. Tulevaisuudessa tarvitaan siis teknologinen ratkaisu latenssin pienentämiseksi pitkillä etäisyyksillä.

Vaikka suunnittelujärjestelmä olisi täysin pilvipohjainen, suunnittelijat tarvitsevat edelleen päätelaitteen työtä varten. Pilvipohjaista järjestelmää käytettäessä päätelaite voi

olla suorituskvyylytään pienempi huomattavasti pienempi kuin nykyiset työasemat. Käytännössä kaikki suunnittelijat ovat kuitenkin tottuneet käyttämään kahta – kolmea näyttöä työasemassaan [94]. Tästä johtuen myös suorituskvyylytään pienemmät päätelaitteet tarvitsevat edelleen kahdesta kolmeen näyttöä, jotta työskentely on mahdollisimman sujuvaa. Vaikka osa työstä tehdään VR-ympäristössä, VR-lasien avulla, 2D-objektien käsittely on todennäköisesti sujuvampaa perinteisen näyttöpäätteen avulla. Tämä saattaa rajoittaa kotoa käsin tapahtuvaa etätyötä siinä mielessä, että kaikilla ei välttämättä ole mahdollista käyttää kotona kahta suunnittelutyöhön soveltuvaa näyttöä. Lisäksi etäkäyttöä varten tarvitaan VR-laitteisto.

5.3 Jatkokehitystarpeet ja toimenpiteet

Tällä hetkellä kohdeyrityksessä kaikilla suunnittelijoilla on suorituskvyylytään riittävä työasema. On syytä harkita vaihtoehtoa, jossa CAD-, PDM- ja laskentaohjelmistot toimivat nykyiseen tapaan paikallisella tietokoneella ja vain VR-ohjelmisto toimii pilvipalvelimella. Tällöin kaikki suunnittelijat ja tekniset laskijat voivat käyttää VR-ohjelmistoa joustavasti työkaluna omassa työssään, sekä järjestää etäkokouksia virtuaaliympäristössä. Erityisesti testaus- ja siirtymävaiheissa tämä olisi todennäköisesti paras ratkaisu, sillä kyseisen ratkaisun toteuttaminen vaatii huomattavasti vähemmän resursseja kuin kaikkien ohjelmistojen pilvipohjainen käyttö. Mikäli kaikki ohjelmistot toimivat täysin pilvipohjaisesti, eri ohjelmistot on syytä hajauttaa eri palvelimille toimintavarmuuden parantamiseksi. Kaikki palvelimet on myös kahdennettava, jotta järjestelmän vikasietoisuus kasvaa.

Mikäli tulevaisuudessa kohdeyrityksessä halutaan ottaa käyttöön pilvipohjainen suunnittelujärjestelmä ja virtuaaliodellisuusteknologian sen osana, lisätyötä ja pienimuotoinen pilottiprojekti tarvitaan. Pilottiprojektia varten on tehtävä arvio pienimuotoisen kokeilun kustannuksista. Samalla on syytä arvioida pilvipohjaisen järjestelmän tuomia hyötyjä ja haittoja nykyisiin suunnittelujärjestelmiin verrattuna liiketoiminnan näkökulmasta. Kaupallisen pilvipalvelun hyödyntäminen pilotointivaiheessa voi olla kustannustehokas ratkaisu. Haittapuolena kaupallisessa pilvipalvelussa on kuitenkin pakotettu ohjelmistopäivitysten ajankohta; kohdeyritys ei itse voi päättää milloin ohjelmistopäivitykset suoritetaan. Tämä voi puolestaan haitata työntekoa, jos päivitykset ajoittuvat keskellä työpäivää. Lisäksi kaupallisen pilvipalvelun hyödyntäminen voi olla tietoturvariski, etenkin jos pilottiprojekti tehdään yhteistyössä asiakkaan kanssa. Lähtökohtaisesti on siis suositeltavaa luoda pilvipohjainen suunnittelujärjestelmä kohdeyrityksen sisäverkkoon.

Pilottiprojektia ajatellen aluksi on päätettävä, otetaanko käyttöön Dassault Systemesin 3DExperience –alusta, vai luodaanko oma pilvipohjainen järjestelmä. Mikäli 3DExperience –alusta halutaan ottaa käyttöön, on selvitettävä, voidaanko se konfiguroida toimimaan kohdeyrityksen omalla palvelimella. Jos 3DExperience –alustaa ei saada toimimaan kohdeyrityksen omalla palvelimella, on harkittava, voidaanko sallia suunnittelutiedon siirtyminen ulkoiselle pilvipalvelimelle. Lisäksi on tutkittava, miten 3DExperience –alustaan voidaan luoda asiakasrajapinta, jotta asiakas pääsee seuraamaan suunnittelun etenemistä. 3DExperience –alustan toiminta muiden kuin Dassault Systemesin CAD-ohjelmistojen kanssa on myös syytä testata. Nämä toimienpiteet edellyttävät 3DExperience –alustan hankkimista koekäyttöön, sillä luotettavaa tietoa järjestelmän ominaisuuksista on saatavilla niukasti.

Jos pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän jatkokehitystä aletaan kehittämään VDI-tekniikan pohjalta, kohdeyrityksen omille palvelimille, aluksi on valittava VR-ohjelmisto. Kaikkien käytettävien ohjelmistojen lisenssisopimukset on syytä käydä läpi ja varmistaa käyttöehtojen soveltuvuus. Tämän jälkeen on hankittava tarpeellinen laitteisto, mikäli suorituskyvyltään riittävää laitteistoa ei ennestään ole käytettävissä. Kohdeyrityksen palvelimille on luotava tarpeellinen määrä virtuaalityöasemia, joille asennetaan suunnittelujärjestelmän ohjelmistokomponentit ja tarvittavat ajurit. Kun ohjelmistot toimivat halutulla tavalla, keskitytään asiakasrajapinnan luomiseen ja testaamiseen. Aluksi asiakasrajapinta on syytä luoda siten, että asiakas käynnistää VR-ohjelmiston paikallisesti omalla työasemallaan ja hakee tarkasteltavan mallin kohdeyrityksen verkosta DMZ-alueelta. Tällöin latenssista mahdollisesti aiheutuvat ongelmat voidaan minimoida. Latenssi ja siitä mahdollisesti aiheutuvat ongelmat vaativat siis tarkastelua pilottiprojektin aikana.

Jatkokehitystyötä on suositeltavaa tehdä yhteistyössä asiakkaan kanssa. Tällöin saadaan realistinen kuva järjestelmän toiminnasta. Myös yrityksen sisäinen jatkokehitys on mahdollista. Jos pilvipohjainen suunnittelujärjestelmä otetaan laajemmin käyttöön, on tehtävä tarkat arviot kyseisen järjestelmän kustannuksista ja järjestelmän tuomasta lisäarvosta asiakkaalle. Kustannuksissa on otettava huomioon, että sisäverkkoon palvelimelle rakennetun suunnittelujärjestelmän laajamittainen käyttö vaatii vähinään yhden palvelimen asiakasta kohden. Useimmissa tapauksissa asiakasta kohden tarvitaan useampi palvelin, sillä lähdeaineiston perusteella suunnittelutyössä yhden palvelimen kapasiteetti riittää 6 - 9 käyttäjälle. Tämän lisäksi, toimintavarmuuden parantamiseksi palvelimet on syytä kahdentaa.

Mikäli suunnittelujärjestelmää aletaan luomaan ja kehittämään kohdeyrityksen omille palvelimille, edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi on myös pitkällä aikavälillä tehtäviä kehitystoimenpiteitä. Ensimmäinen, myöhemmässä vaiheessa tehtävä toimenpide on CAD-VR rajapinnan kehitystyö. Rajapintaa on kehitettävä siten, että se mahdollistaa VR-ohjelmistossa tehtyjen muutosten päivittymisen CAD-ohjelmistoon. Jatkokehitystä voidaan tehdä yhteistyössä ohjelmistoyritysten kanssa. Mahdollisia kotimaisia ohjelmistotalan yhteistyökumppaneita ovat muun muassa

- Softability (yhteystiedot: <https://softability.fi/ota-yhteytta>)
- glue (yhteystiedot: <https://glue.work/contact-us>)

Samalla on syytä tarkkailla, mihin suuntaan muut kaupalliset suunnittelukäyttöön tehdyt VR-ohjelmistot kehittyvät. Jatkokehityksessä voidaan tarvittaessa hyödyntää diplomityössä luvuissa 2.4.2 ja 2.4.3 esitettyjä konseptitaso teknologioita.

Toinen pitkällä aikavälillä tehtävä toimenpide on kehittää menetelmä VR-ympäristössä pidettyjen suunnittelukatselmusten muistiinpanojen luomiseksi. VR-ohjelmistoissa on lähes poikkeuksetta mahdollista piirtää mallin päälle luonnoksia, korostaa tiettyjä kohtia, sekä keskustella muiden kanssa malli tarkasteltaessa. Muistiinpanojen tekeminen virtuaaliympäristössä on kuitenkin hankalaa, sillä muistiinpanojen kirjoittaminen käsin on kömpelöä VR-lasit päässä. Osa käyttäjistä kokee myös tietokoneen näppäimistön käytön vaikeaksi VR-lasit päässä. Muistiinpanojen tekemisen voisi toteuttaa tekoälyn ja koneoppimisen hyödyntäminen siten, että ohjelmisto luo keskustelusta muistiinpanot tekstinä. Tämä edellyttää sitä, että tekoäly kuuntelee keskustelua, jolloin prosessiin todennäköisesti vaaditaan erillinen hyväksyntä palaveriin osallistuvilta henkilöiltä. Kyseisen ohjelmiston on hyvä kyetä myös erottelemaan, kuka palaveriin osallistuva henkilö puhuu. Tällä hetkellä erilaisia ”puhe tekstiksi” -applikaatioita on useita.

ERP- ja PDM-järjestelmien integraatio on valmistavan teollisuuden puolella viety pitkälle. Kaikki tuotteen valmistukseen tarvittavat dokumentit ja tuoterakenteet siirtyvä PDM-järjestelmästä ERP-järjestelmään muutamalla napin painalluksella. Insinööritoimiston liiketoiminnassa integraatiota ei ole yleensä viety näin pitkälle, eikä sille yleensä ole tarvetta. Suunnittelutyö voidaan tehdä suoraan asiakkaan PDM-järjestelmään, josta tieto siirtyy edelleen asiakkaan ERP-järjestelmään, ei insinööritoimiston omaan ERP-järjestelmään. Suunnittelutieto voidaan myös tallentaa insinööritoimiston omaan PDM-järjestelmään, mutta sieltä tieto siirtyy edelleen asiakkaan ERP-järjestelmään. Poikkeus tähän on tilanne, jossa asiakas tilaa insinööritoimistolta valmiin konkreettisen tuotteen. Tällöin insinööritoimiston sisäinen PDM-ERP integraatio on täysin perusteltu ja erittäin hyödyllinen

ratkaisu. Muissa tilanteissa suunnittelujärjestelmästä ERP-järjestelmään siirrettäväksi tiedoksi riittää suunnittelutyöhön käytetty aika.

5.4 Tutkimuksen luotettavuus ja yleistettävyys

Kokonaisuudessaan diplomityössä esitettyjä tuloksia voidaan pitää melko luotettavina ja tutkimusmenetelmiä hyvin sopivina. Diplomityö perustuu pitkälti kirjallisuuskatsaukseen. Työn tulosten luotettavuus riippuu siten pitkälti lähdeaineiston laadusta. Osa lähdeaineistosta on ohjelmistoyritysten tuottamaa, minkä vuoksi lähdeaineiston sisältö on osittain mainostyyppistä tekstiä. Tästä johtuen lähdeaineistoa ei kaikilta osin voida pitää täysin luotettavana. Suurin epävarmuus lähdeaineiston laadusta koskee pilvi- ja VR-tekniologioita hyödyntävien ohjelmistojen lähdeaineistoa. Lähdeaineisto on laadultaan ja luotettavuudeltaan kuitenkin riittävää työn tavoitteisiin nähden; mitään konkreettista järjestelmää ei kehitetä, vaan luodaan alustava katsaus tarvittavaan teknologiaan. Koska työssä ei tehty konkreettisia teknologioihin liittyviä kokeiluja, täyttä varmuutta teknologioiden toimivuudesta ja yhteensopivuudesta ei saatu tämän työn puitteissa.

Lähteiksi on pyritty myös valitsemaan alkuperäisiä tutkimuksia, jos ne ovat olleet ajantaisasia ja helposti saatavilla. Julkaisuiden viittausketjua silmäiltiin ja sieltä pyrittiin poimaan potentiaalisia julkaisuita, joihin alun perin valittu julkaisu viittaa. Tämä johti muutamassa tapauksessa hieman tieteellisemmän lähdemateriaalin löytämiseen ja samalla voitiin arvioida alun perin valitun julkaisun oikeellisuutta. Yleisesti ottaen aiheeseen sopivien tieteellisten julkaisuiden löytäminen oli kuitenkin erittäin vaikeaa. Kuten edellä todettiin, työssä pyrittiin käyttämään vapaasti ja helposti saatavilla olevia lähteitä. Muutamassa tapauksessa oli kuitenkin tarpeellista käyttää kohdeyrityksen sisäisiä lähteitä. Menetelmänä kirjallisuuskatsaus itsessään on luotettava, mutta kuten edellä todettiin, tutkimuksen laatu riippuu täysin lähdeaineiston laadusta.

Tietoa ja aineistoa etsittiin paljon myös ohjelmistoyritysten verkkosivuilta tuotespesifikaatiosta ja esittelyistä, sekä ohjelmistoyritysten ”*White paper*” –tyyppisistä julkaisuista. Yhdeksi haasteeksi muodostui se, että ohjelmistoyritykset eivät julkaise kaikkia ohjelmistoteknisiä ja teknologisia yksityiskohtia tuotteistaan. Pintapuolista tietoa ja mainostusta ohjelmistoista on kylläkin saatavilla. Ohjelmistoyritysten verkkosivuilta löytyi teknologisesti kiinnostavia ratkaisuita ja niihin liittyen oltiin myöhemmässä vaiheessa yhteydessä ohjelmistoyrityksiin. Alustavan lähdemateriaalin valinnan jälkeen osa materiaalista karsittiin pois. Karsintaperusteena oli ensisijaisesti lähteessä esitetyn teknologian maturiteetti. Muutamissa teoksissa asioita käsiteltiin niin abstraktilla tasolla, että minkäänlaiset suunnittelujärjestelmän kehittämistä edesauttavat käytännönsovellukset olivat vielä hyvin

kaukana. Loppujen lopuksi aineistoa ei jäänyt jäljelle kovinkaan paljon, joten aineistojen erillinen pisteytys ja laadunvertailu ei ollut tarpeen.

Lähdeaineiston pisteytyksen poisjättämisellä ei ollut juurikaan vaikutusta työn laatuun, sillä tavoitteena oli tehdä alustavaa kartoitusta tarpeellisista teknologioista. Olennaisinta oli nostaa esille erilaisia teknologioita monipuolisesti, eikä niinkään keskittyä etsimään parasta mahdollista teknologiaa pilvipohjaista suunnittelujärjestelmää varten. Koska työssä keskityttiin pääasiassa kaupallisen maturiteetin teknologioihin, moni teknologia rajattiin pois teknologian maturiteetin perusteella, ei niinkään julkaisun laadun perusteella. Koska teknologioiden maturiteetti oli ensisijainen kriteeri lähdeaineistolle, lähdeaineiston suppeammalla laajuudella ei ollut merkittävää vaikutusta työn laatuun ja tuloksiin. On kuitenkin mahdollista, että toisenlaisilla hakusanoilla olisi löydetty lähdemateriaalia, jonka pohjalta olisi päädytty erilaisiin tuloksiin. Tulosten luotettavuutta puoltaa kirjallisuuskatsauksen aineiston ristiinvertailu asiantuntijahaastatteluiden kanssa, jossa tulosten todettiin olevan linjassa keskenään.

Kirjallisuuskatsauksen lisäksi työssä hyödynnettiin lomakekyselyä ja haastatteluita. Lomakekyselyn tulokset pohjautuvat vastaajien kokemuksiin ja mielipiteisiin. Vastauksia saatiin hyvin erilaisissa työtehtävissä työskenteleviltä henkilöiltä. Pienestä vastausprosentista johtuen tulokset eivät kuitenkaan kuvaa koko kohdeyrityksen kokemuksia ja tarpeita. Tästä johtuen lomakekyselyn tulokset kuvaavat vain tietyn joukon mieltymyksiä ja tarpeita suunnittelujärjestelmään liittyen. Tulokset kuitenkin antavat hyvän käsityksen käyttäjien tarpeista ja työskentelytavoista. Siten tulokset ovat riittäviä alustavan suunnittelujärjestelmän vaatimustenmäärittelyn pohjaksi, eikä pieni vastausprosentti vaikuta tutkimuksen laatuun merkittävästi. Vaatimustenmäärittelyssä hyödynnettiin lisäksi kohdeyrityksen sisäistä kirjallista materiaalia tarvittavien ohjelmistojen kartoittamista varten. Lomakekyselyn tulosten todettiin olevan linjassa kirjallisen materiaalin kanssa.

Lomakekyselyn pienestä vastausprosentista johtuen kyselyssä esille tulleita mieltymyksiä ja suunnittelujärjestelmään kohdistuvia vaatimuksia ei voida luotettavasti järjestää tärkeysjärjestykseen pelkästään kyselyn pohjalta. Pienistä vastausprosentista johtuen on myös mahdollista, että joitain suunnittelijoille tarpeellisia ohjelmistoja ei ole mainittu ollenkaan kyselyn vastauksissa. Kaikkien tarpeellisten ohjelmistojen huomioonottaminen on pyritty jälkikäteen varmistamaan kohdeyrityksen sisäisistä kirjallisista lähteistä. Menetelmänä lomakekyselyä voidaan pitää luotettavana, sillä kysely suunnattiin kohdeyrityksen omalle henkilöstölle. Kohdeyrityksen henkilöstöllä oli suurella todennäköi-

syydellä ammattimainen ote kyselyyn vastaamisessa. Kysymysten asettelulla voi kuitenkin olla pientä vaikutusta vastausten laatuun. Koska lomakekysely käsitteli suurilta osin vastaajille tuttuja aiheita ja kyselyssä kartoitettiin ennen kaikkea mielipiteitä ja mieltymyksiä, kysymysten asettelun vaikutuksen voidaan arvioida olevan vähäinen.

Kohdeyrityksen IT-henkilöstön haastatteluiden aineistoa ja tuloksia voidaan pitää luotettavina. IT-henkilöstöllä on runsaasti tietotaitoa ja kokemusta erilaisten tietoteknisten asioiden parista. Diplomityössä käsiteltyjä lisenssisopimisasiota, tietoturvakäytäntöjä ja asiakasrajapinnan toteuttamisvaihtoehtoja ei ole tarpeen asettaa kyseenalaiseksi aineiston luotettavuuden osalta. Sen sijaan ohjelmistoyritysten edustajien haastatteluiden aineistoa ei voida pitää täysin luotettavana. Koska kyseessä on myyntimahdollisuus ohjelmistoyritykselle, heidän antamat tiedot saattavat luoda positiivisen kuvan omasta tuotteestaan. Ohjelmistoyritysten edustajien vastaukset antoivat hyvän yleiskatsauksen VR-ohjelmistoista, sekä osviittaa, millaisia ominaisuuksia VR-ohjelmistoilta voidaan odottaa. Lisäksi ohjelmistoyritysten edustajien vastauksista voidaan luotettavasti tulkita, mitkä toiminnallisuuden eivät tällä hetkellä ole mahdollisia heidän tuotteillaan.

Diplomityön on tehty tietyn yrityksen tarpeisiin ja liiketoimintaympäristöön, joten työn kaikkia tuloksia ei voida yleistää koskemaan kaikkea suunnittelutyötä. Tulokset pohjautuvat kirjallisuuskatsauksen ja erilaisten haastatteluiden yhdistelmään. Kirjallisuuskatsauksen avulla saatua aineistoa on soveltuvilta osin verrattu ristiin haastatteluiden tulosten kanssa. Tämän avulla on pyritty varmistamaan tiedon oikeellisuudesta. Kaikilta osin ristiinvertailu eri menetelmien välillä ei ollut mahdollista. Kirjallisuuskatsauksessa käytetyt lähteet on pyritty vertailemaan ristiin myös muun kirjallisen aineiston kanssa laadun varmistamiseksi. Koska mukana on ohjelmistoyritysten julkaisemaa aineistoa, joka on osittain kaupalliseen käyttöön suunnattua, aineistoa ei voida pitää täysin luotettavana. Tutkimuksen tavoitteena oli tehdä alustavaa kartoitusta aihepiiriin liittyen, joten tavoitteisiin nähden aineiston luotettavuus on riittävä.

Yleisesti ottaen tämän kaltaisessa työssä parempiin tuloksiin olisi päästy, jos tutkimuksessa olisi ollut mukana koneensuunnittelijan lisäksi henkilö, jolla on vahvaa IT- ja ohjelmistopuolen kehittämisosaamista. Näin tuloksia ja teknologioita voitaisiin analysoida ja yhdistellä kattavammin parhaan mahdollisen lopputuloksen saamiseksi. Vahvaa IT-osaamista omaava henkilö olisi mahdollisesti osannut myös ehdottaa lisää hakusanoja kirjallisuuskatsausta varten. Hakusanojen valinta voi puolestaan vaikuttaa käytettäviin lähteisiin ja sitä kautta tuloksiin. Diplomityössä on kuitenkin hyödynnetty IT-henkilöstön tietotaitoa haastatteluiden muodossa, joten työn tuloksia voidaan siinä mielessä pitää

luotettavina IT-asioiden näkökulmasta. Tulevaisuudessa, jos konkreettista suunnittelu-järjestelmän kehitystyötä aletaan tekemään, on syytä ottaa mukaan eri alojen teknologiaosaajia.

Oman haasteensa työhön toi teknologian nopea kehittyminen ja muutokset ohjelmistoyritysten tarjonnassa ja toimintatavoissa. Työn alkuvaiheilla ei välttämättä oltu julkaistu teoksia, joita diplomityön loppuvaiheessa oli tarjolla. Toisaalta jotkut työn alkuvaiheessa esiin tulleet teknologiat saattavat vanhentua melko nopeasti. Työn loppuvaiheessa oli jo nähtävissä merkkejä teknologian kehittymisestä, joten vastaavanlaisen teknologiakatsauksen tulos esimerkiksi vuoden kuluttua voi olla hyvin erilainen. Myös ohjelmistoyritysten tapa toimittaa sovelluksia on saattanut muuttua, jos verrataan tulevaisuutta nykytilanteeseen.

6. YHTEENVETO

Diplomityön tavoitteena oli tutkia, mitä olemassa olevaa teknologiaa voidaan hyödyntää pilvipohjaisen ja virtuaalitodellisuutta hyödyntävän suunnittelujärjestelmän luomiseksi, sekä millaista uutta teknologiaa tarvitaan kyseistä järjestelmää varten. Kuten luvussa 1.3 mainittiin, työ jaettiin kahteen päätutkimuskysymykseen:

- Mitä ominaisuuksia pilvipohjaiselta virtuaalitodellisuudessa toimivalta suunnittelujärjestelmältä vaaditaan?
- Mitkä teknologiat mahdollistavat pilvipohjaisen virtuaalitodellisuudessa toimivan suunnittelujärjestelmän toteuttamisen?

Diplomityössä päästiin asetettuihin tavoitteisiin hyvin. Molempiin tutkimuskysymyksiin saatiin varsin kattavat vastaukset ja tutkimusmenetelmät osoittautuivat toimiviksi. Arvio diplomityön kokonaisajankäytöstä toteutui myös melko hyvin.

Kuten luvuissa 3.2 ja 4 todettiin, tärkeimmät pilvipohjaista virtuaalitodellisuutta hyödyntävää suunnittelu järjestelmää koskevat ominaisuudet ovat varmatoimisuus, kyky käsitellä useita eri tiedostomuotoja ja nopea toiminta myös suuria kokoonpanoja käsiteltäessä. Järjestelmän yhtenä osana on virtuaalitodellisuusohjelmisto, jonka tarkoitus on tehostaa suunnittelijoiden keskinäistä kommunikaatiota, sekä suunnittelijoiden ja asiakkaan välistä kommunikaatiota. Kommunikaation tehostaminen tapahtuu verkon välityksellä järjestettävien suunnittelukatselmusten ja suunnittelutiedon jakamisen avulla. Lisäksi virtuaalitodellisuusohjelmisto helpottaa muun muassa työkalujen tilavarauksien ja ergonomian huomioimista suunnittelussa. Virtuaalitodellisuusohjelmiston käyttö helpottaa myös koneen tai laitteen todelliseen koon hahmottamista.

Kirjallisuuskatsauksen ja lomakekyselyn pohjalta muodostettiin ideaalisen suunnittelujärjestelmän konsepti. Suunnittelujärjestelmän konsepti toimi hyvänä apuvälineenä työn eri vaiheissa ja voi toimia edelleen apuna myös mahdollisessa jatkokehitystyössä. Suunnittelujärjestelmän konseptin suurin merkitys työn kannalta oli teknologisten tarpeiden tunnistaminen ja teknologioiden sopivuuden analysointi kohdeyrityksen tarpeiden kannalta. Kaiken kaikkiaan diplomityö on tehty kohdeyrityksen tarpeisiin, joten työn tuloksia ei voi täysin yleistää koskemaan kaikkea suunnittelutyötä. Suunnittelujärjestelmän konseptissa suunnitteluprosessi on kuitenkin kuvattu mahdollisimman yleisessä muodossa. Tämän vuoksi suunnittelujärjestelmän konseptin sisältö voidaan yleistää koskemaan lähes kaikkea suunnitteluliiketoimintaa.

Muun muassa VDI-teknologia ja palvelin-GPU-teknologia, sekä VR-ohjelmistot mahdollistavat työssä kuvatus suunnittelujärjestelmän toteuttamisen. Teknologisesti pilvipohjaisen ja virtuaalitodellisuutta hyödyntävän suunnittelujärjestelmän toteuttaminen on siis mahdollista. Lisätutkimusta ja kehitystyötä tarvitaan kuitenkin tulevaisuudessa. Suunnittelujärjestelmän vaatimukset kunkin käyttäjäryhmän näkökulmasta tunnistettiin hyvin. Pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän vaatimuksia pohdittiin myös kokonaisuuden kannalta. Vaikka diplomityön tavoitteisiin päästiin hyvin, jatkotutkimus on tarpeellista suunnittelujärjestelmien kehittämiseksi. Kuten lomakekyselyn tuloksista selvisi, suunnittelujärjestelmän tärkein vaatimus kaikkien käyttäjien näkökulmasta on toimintavarmuus. Tällä hetkellä suunnitteluohjelmistoissa ja tietoliikenneyhteyksissä ilmenee ajoittain ongelmia, jotka haittaavat suunnittelijoiden työtä. Tulevaisuudessa on siis syytä tutkia, miten suunnittelujärjestelmien toimintavarmuutta voidaan parantaa.

Diplomityön tuloksia voidaan pitää pääosin luotettavina. Työ perustuu pitkälti kirjallisuuskatsaukseen, jonka vuoksi tulosten luotettavuus riippuu lähdeaineiston luotettavuudesta. Lähdeaineistoon on pyritty valitsemaan tieteellisiä teoksia. Niistä saatu tieto ei yksistään kuitenkaan ole riittävää, joten mukaan on jouduttu ottamaan esimerkiksi ohjelmistovalmistajien julkaisuita ja verkkolähteitä. Ohjelmistovalmistajien omat julkaisut ja verkkolähteet aiheuttavat pientä epävarmuutta tuloksiin. Samoin ohjelmistoyritysten edustajien haastattelu voi aiheuttaa pientä epävarmuutta tuloksiin, sillä heidän esille nostamat asiat ovat osittain mainostusta. Kohdeyrityksen IT-henkilöstön haastattelun tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä IT-henkilöstöllä on runsaasti tietotaitoa ja käytännönkokemusta haastatteluiden aihepiireistä. Kaikkea aineistoa on pyritty vertailemaan ristiin ja tietyn aihepiirin tietoa on pyritty hakemaan useasta eri lähteestä luotettavuuden parantamiseksi.

Diplomityössä käytiin läpi suuri määrä erilaisia virtuaalitodellisuuteen ja pilviteknologiaan liittyviä teoksia ja julkaisuita. Työn edetessä havaittiin, että eri lähteistä saatu tieto ei yksinään ole riittävää monimutkaisen, monitoimisen pilvipohjaisen suunnittelujärjestelmän luomiseen. Huomattavan suuri osa työstä oli pohdintatyötä ja erilaisten ratkaisuiden hakemista. Läpikäytyjen lähteiden perusteella on mahdollista luoda pilvipohjainen suunnittelujärjestelmä, joka mahdollistaa myös reaaliaikaisen yhteistyön virtuaaliympäristössä. Virtuaalitodellisuusteknologialle löydettiin lisäarvoa tuovia käyttökohteita, sekä ratkaisuita virtuaalitodellisuusteknologian käytännön toteuttamiselle osana suunnittelujärjestelmää. Diplomityön raportin julkaistavassa versiossa ei ole käsitelty kaikkia teknologisia ja liiketoimintaan liittyviä yksityiskohtia.

Tässä työssä esitettiin muutamia konsepti- ja kehitysvaiheissa olevia teknologioita. Vaikka kyseiset teknologiat eivät kirjallisuuskatsauksen perusteella ole johtaneet kaupallisiin sovelluksiin, on mahdollista, että tulevaisuudessa kyseisiä teknologioita ja konsepteja voidaan hyödyntää suunnittelujärjestelmien kehitystyössä. Jatkotyön kannalta keskeisiä huomioitavia asioita ovat:

- Ohjelmistojen lisenssiehdot ja lisenssien hallinta
 - Lisenssityypit; nimetty, laitekohtainen, kelluva
 - Lisenssien kuuluminen tietyille organisaatiolle
- Ajurien saatavuus VR-ohjelmistoon palvelinkäyttöä varten
- Verkkoteknologian kehittyminen ja sen vaikutus latenssiin
- VR-ohjelmistojen kehittyminen ja liitettävyys CAD-ohjelmistoihin.
- Toimistoympäristö voi rajoittaa VR-teknologian käyttömahdollisuuksia
- Mahdolliset muutokset liiketoimintaympäristössä.
 - Tehdäänkö työ samoilla ohjelmistoilla kuin mitä asiakas käyttää
 - Valitaanko suunnitteluohjelmistot itse.

LÄHTEET

- [1] Aaltonen T. TIE-23546 Cloud platforms. Luentodiat viikolta 1. Tampereen yliopisto 2018. Viitattu 05.06.2019.
- [2] Abdelhameed W. Virtual Reality Applications in Project Management Scheduling. University of Bahrain, 2012. Viitattu 10.5.2019. Saatavilla:
<http://web.b.ebscohost.com.libproxy.tuni.fi/ehost/detail/detail?vid=0&sid=9fe53e03-039b-4741-8907-6181ef01334f%40sessionmgr104&bdata=JkF1dGhUeX-BIPWNvb2tpZSxpcCx1aWQmc2l0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=76108309&db=bsu>
- [3] Alba E., Chicano J. F. Software project management with GAs. Information Sciences 2007. Viitattu 02.06.2019. Saatavilla: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0020025507000175>
- [4] AMD. The World's First Hardware-Based GPU Virtualization Solution. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 18.07.2019. Saatavilla:
<https://www.amd.com/en/graphics/workstation-virtual-graphics>
- [5] Andreadis G., Fourtounis G., Bouzakis K-D. Collaborative design in the era of cloud computing. Advances in Engineering Software, numero 81. 2015. Viitattu 27.05.2019. Saatavilla: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0965997814001884?via%3Dihub>
- [6] Anne S., Courgeo S. Konferenssipuhelu. TechViz myyntiedustaja ja tekninen asiantuntija. Keskustelu ja tuote-esittely 07.06.2019.
- [7] Ansys. Tuotedokumentti. Luettu 3.4.2019 Saatavilla: <https://www.ansys.com/-/media/ansys/corporate/files/pdf/solutions/it-professionals/platform-support/cad-support-201r1.pdf?la=en&hash=317D1F2C49ED36CB064F58D4066CFC7D4B7237A3>
- [8] Ansys. ANSYS Cloud. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 11.07.2019. Saatavilla:
<https://www.ansys.com/products/platform/ansys-cloud>

- [9] Amazon. Amazon AppStream 2.0. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 17.05.2019. Saatavissa: <https://aws.amazon.com/appstream2/>
- [10] Autodesk. Fusion 360. Integrated CAD, CAM and CAE software. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 11.07.2019. Saatavilla: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview#banner>
- [11] CADs. Työ- ja loppukuvat vaivatta. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 17.05.2019. Saatavilla: <http://www.cads.fi/index.php/ohjelmistot/cads-electric/urakointi/tyo-ja-loppukuvat-vaivatta>
- [12] Casas P., Seufret M., Egger S., Schatz R. Quality of experience in remote virtual desktop services. Ghent, Belgia 2013. Viitattu 12.07.2019. Saatavilla: <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/6573191/figures#figures>
- [13] Charlès B. 3DEXPERIENCE Cloud verkkokonferenssi. Dassault Systemes, 22.10.2019. Viitattu 22.10.2019.
- [14] Chen T., Guo Q., Temam O., Wu Y., Bao Y., Xu Z., Chen Y. Statistical Performance Comparisons of Computers. IEEE Transactions on Computers 2014. Viitattu 29.11.2019. Saatavilla: <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/6783811>
- [15] Citrix. Developer Documentation. Citrix Monitor Service API 1808. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 07.10.2019. Saatavilla: <https://developer-docs.citrix.com/projects/monitor-service-odata-api/en/latest/>
- [16] Citrix. Toimita turvallisia virtuaalisia sovelluksia ja työpöytiä. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 12.07.2019. Saatavilla: <https://www.citrix.fi/products/citrix-virtual-apps-and-desktops/>
- [17] Citrix. XenServer 7.0: Configuration Limits. Tuote-esite ja tekninen spesifikaatio. Viitattu 12.07.2019. Saatavilla: <https://docs.citrix.com/en-us/xenserver/7-0/downloads/config-limits.pdf>
- [18] Comatec. Yrityksen sisäinen ohjeistus ja perehdytysmateriaali. Viitattu 24.05.2019
- [19] Comatec. Yrityksen sisäinen julkaisu. ERP-projekti. Päivitetty 09.08.2019. Viitattu 13.08.2019.

- [20] Comatec. Yritysesittely. Viitattu 8.4.2019. Saatavilla: <https://www.comatec.fi/comatec-group/>
- [21] Dassault Systemes. 3DEXPERIENCE platform. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 10.10.2019. Saatavilla: <https://www.3ds.com/about-3ds/3dexperience-platform/>
- [22] Dassault Systemes. Certified Workstations. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 13.08.2019. Saatavilla: <https://www.3ds.com/support/hardware-and-software/hardware-and-software-configurations/?woc=%7B%22operating%20system%22%3A%5B%22operating%20system%2Fwindows%2010%2064-bit%22%5D%7D>
- [23] Dassault Systemes. Solidworks PDM File Explorer. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 03.06.2019. Saatavilla: https://help.solidworks.com/2019/English/EnterprisePDM/SWHelp_List.html?id=d40b13031caa4c2d9a374d8458d692e7#Pg0
- [24] Deshpande M. LAN Vs. WAN: Differences Between LAN and WAN You Didn't Know About. Techspirited.com. Päivitetty 02.05.2018. Viitattu 23.07.2019. Saatavilla: <https://techspirited.com/difference-between-lan-vs-wan-comparison>
- [25] Designairspace. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 31.05.2019. Saatavilla: <https://www.designairspace.com/>
- [26] Designairspace. Sähköpostikeskustelu yrityksen edustajan kanssa. Vastaanotettu 31.05.2019.
- [27] DesignTech. Parametric Modelling. Teknologiyrityksen web-sivut. Viitattu 02.06.2019. Saatavilla: <https://www.designtechsys.com/articles/parametric-modeling>
- [28] DiCicco-Bloom B., Crabtree B. The qualitative research interview. Medical Education 2006. Viitattu 10.5.2019. Saatavilla: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2929.2006.02418.x>
- [29] Elementtimenetelmän perusteet (EDE-21100). Tampereen teknillinen yliopisto. (Tampereen yliopisto). Kurssimateriaali. Päivitetty 12.11.2013. Viitattu 03.01.2020. Saatavilla: <http://www.tut.fi/rakmek/?id=7>

- [30] Elmo Solutions. Agni Link : real-time data transfer from CAD/PDM/PLM to ERP. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 15.08.2019. Saatavilla: <https://elmosolutions.com/agni-link-6-officially-released/>
- [31] ePlan. API Help. XMLProcessor. Tuoteohje. Viitattu 20.12.2019. Saatavilla: <https://www.eplan.help/en-US/infoportal/content/api/2.8/XMLProcessor.html>
- [32] Esi Group. IC.IDO - Industrial Grade Immersive VR Solution. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 01.06.2019. Saatavilla: <https://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-reality/icido-industrial-grade-immersive-vr-solution>
- [33] Eskola J., Suoranta J. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Vastapaino. Tampere 1998. Viitattu 04.06.2019.
- [34] Fletcher J., Williams R. Testing AMD Radeon VII Double-Precision Scientific And Financial Performance. Techgage 07.02.2019. Viitattu 13.08.2019. Saatavilla: <https://techgage.com/article/testing-amd-radeon-vii-double-precision-scientific-and-financial-performance/>
- [35] Fredriksson J. Konferenssipuhelu. Esi IC.IDO myyntiedustaja ja tekninen asiantuntija. Keskustelu ja tuote-esittely 05.07.2019.
- [36] Freire J., Alarcón L. Achieving Lean Design Process: Improvement Methodology. Journal of construction engineering and management. ASCE Library 2002. Viitattu 24.11.2019. Saatavilla: <https://ascelibrary-org.libproxy.tuni.fi/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282002%29128%3A3%28248%29>
- [37] Fuh J.Y.H., Li W.D. Advances in collaborative CAD: the-state-of-the art. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore. Singaporen yliopisto 2004. Viitattu
- [38] Graf H., Brunetti G., Stork A. A methodology supporting the preparation of 3D-CAD data for design reviews in VR. International design conference – Design 2002. 14. - 17.05.2002. Viitattu 03.06.2019. Saatavilla: <https://www.designsociety.org/publication/29607/A+Methodology+Supporting+the+Preparation+of+3D-CAD+Data+for+Design+Reviews+in+VR>

- [39] Hirz M., Dietrich W., Gferrer A., Lang J. Integrated Computer Aided Design in Automotive Development. S. 37 -38, 246 – 306, 354 – 355. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. Viitattu 20.05.2019.
- [40] Improvr. Collaborative Design Review in VR. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 30.05.2019. Saatavilla: <https://www.improvr.com/product/#product>
- [41] IndiaCADworks. 06.11.2014. A Closer Look at CAD Neutral File Formats. Viitattu 4.4.2019. Saatavilla: <https://www.indiacadworks.com/blog/a-closer-look-at-cad-neutral-file-formats/>
- [42] Indiana University. Knowledge base. Understand measures of supercomputer performance and storage system capacity. Sivusto päivitetty 11.07.2019. Viitattu 02.08.2019. Saatavilla: <https://kb.iu.edu/d/apeq>
- [43] Ingrassia T., Cappello F. VirDe: a new virtual reality design approach. Dipartimento di Meccanica, Università degli Studi di Palermo. Palermo, Italia 2008. Viitattu 25.04.2019. Saatavilla: <https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/article/10.1007%2Fs12008-008-0056-2>
- [44] Intel. Product specifications. Intel Xeon Scalable processors. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 02.08.2019. Saatavilla: <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/series/125191/intel-xeon-scalable-processors.html>
- [45] IrisVR. Instant 3D to VR. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 02.06.2019. Saatavilla: <https://www.irisvr.com/prospect>
- [46] Jokinen M., Takalo E. Comatecin IT-asiantuntijat. Teemahaastattelu 05.09.2019. CAD-ohjelmistojen käyttö palvelimella ja PDM-järjestelmien käyttö CAD-ohjelmistojen kanssa.
- [47] Jelvix. VR vs AR vs MR: What Is the Difference between the Technologies? Ohjelmisto- ja teknologiayrityksen blogikirjoitus. Viitattu 05.05.2018. Saatavilla: <https://jelvix.com/blog/vr-vs-ar-vs-mr>
- [48] Kannisto O. ADSL, VDSL, WPA – tiedätkö mitä nämä yleiset termit tarkoittavat? Elisa. 04.04.2017. Viitattu 23.07.2019. Saatavilla: <https://yksityisille.hub.elisa.fi/laajakaistanastasto/>

- [49] Kaiser S., Ringlstetter M. Strategic Management of Professional Service Firms. Theory and practice. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. Sivun 33. Viitattu 22.12.2019.
- [50] Koppa. Kirjallisuuskatsaus. Jyväskylän Yliopisto. Päivitetty 21.11.2019. Viitattu 2.12.2019. Saatavilla: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/kirjasto/kirjastotuutori/aihehaku-tutkimusprosessissa/aihe-avainkasitteiksi/kirjallisuuskatsaus>
- [51] Krogerus M. Autodeskin myynti ja asiakaspalvelu. Sähköposti 09.05.2019. Autodesk Fusio 360 toimintaperiaatteet.
- [52] Kuang-Hua, C. 2014. Product Design modeling using CAD/CAE. 1. painos. Burlington: Elsevier Science 2014. Viitattu 03.05.2019.
- [53] Lammela J. Comatecin tietohallintojohtaja. Keskustelu 09.04.2019.
- [54] Lammela J. Comatecin tietohallintojohtaja. Keituri M. Suunnittelija ja VR-palvelun kehitysinsinööri. Teemahaastattelu 04.09.2019. VR-ohjelmistojen käyttö palvelimella ja Comatecin verkossa.
- [55] Lee C., Leem C., Hwang I. PDM and ERP integration methodology using digital-manufacturing to support global manufacturing. Julkaistu 18.06.2010. Springer-Verlag London Limited 2010. Saatavilla: <https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/content/pdf/10.1007%2Fs00170-010-2833-x.pdf>
- [56] Li M., Gao S., Wang C. C. L. Real-Time Collaborative Design With Heterogeneous CAD Systems Based on Neutral Modeling Commands. Honkongin yliopisto. Journal of Computing and Information Science in Engineering. ASME 2007. Viitattu 09.06.2019. Saatavilla: <https://pdfs.semanticscholar.org/920c/f84e592a19127a58e858fcd8e309cb920a5.pdf>
- [57] Logistiikan maailma. Tilauksesta suunnittelu (ETO). Logistiikan maailma, Reijo Rautauoman säätiö. Viitattu 05.07.2019. Saatavilla: <http://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-suunnittelu-eto/>
- [58] Ma D., Fan X., Gausemeier J., Grafe M. Virtual reality & augmented reality in industry. Shanghai Jiao Tong University Press, 2011. Viitattu 03.06.2019.
- [59] Maleshkov S., Chotrov D. Post-processing of Engineering Analysis Results for Visualization in VR System. Technical University Sofia. Sofia, 2013. Viitattu

- 25.06.2019. Saatavilla: <https://pdfs.semanticscholar.org/e1c6/0cf84ad797372cb7dd15bf4267748ec4feaa.pdf>
- [60] Martin P., Masfrand S., Okuya Y., Bourdot P. A VR-CAD Data Model for Immersive Design. Konferenssipaperi. Julkaistu 08.06.2017. Viitattu 10.09.2019. Saatavilla: https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/chapter/10.1007%2F978-3-319-60922-5_17
- [61] McGrory M., Skilton M., Smith S. Cloud Computing: Moving IT out of the Office. Sivut 1 - 8. BCS The Chartered institute for IT. BCS Learning and development limited, 2012. Viitattu 28.05.2019.
- [62] Mitra, A. 2012. How Manufacturers Use 3D CAD Models and 2D CAD Drawings as Sales Enablers. Luettu 15.3.2018. <https://www.industrialmarketingtoday.com/how-manufacturers-use-3d-cad-models-and-2d-cad-drawings-as-sales-enablers/>
- [63] Nam T-J., Wright D. The development and evaluation of Syco3D: a real-time collaborative 3DCAD system. Elsevier Science Ltd 2001. Viitattu 07.08.2019. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X00000417>
- [64] Ong S., Xu Q., Nee C. Design Reuse in Product Development Modeling, Analysis and Optimization . World Scientific Publishing Co Pte Ltd 2018. S. 27 – 33. Viitattu 02.08.2019.
- [65] Netflix. Help Center. Internet Connection Speed Recommendations. Viitattu 01.08.2019. Saatavilla: <https://help.netflix.com/en/node/306>
- [66] Nopeustesti.fi. Verkossa käytävissä olevan nopeustesti verkkoyteyden nopeuden mittaamiseksi. Testi tehty 19.09.2019. Saatavilla: <http://www.nopeustesti.fi/>
- [67] Nvidia. NVIDIA QUADRO VIRTUAL DATA CENTER WORKSTATION APPLICATION SIZING GUIDE FOR DASSAULT SYSTÈMES CATIA. Ohje. Viitattu 02.08.2019. Saatavilla: <https://images.nvidia.com/content/vGPU/pdf/nvidia-quadro-vdws-application-guide-catia.pdf>
- [68] Nvidia. NVIDIA TESLA. The worlds most advanced data center GPUs. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 12.07.2019. Saatavilla: <https://www.nvidia.com/en-gb/data-center/tesla/#accelerated-servers>

- [69] Nvidia. NVIDIA VIRTUAL GPU Packing, pricing and licensing. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 02.08.2019. Saatavilla: <https://images.nvidia.com/content/grid/pdf/Virtual-GPU-Packaging-and-Licensing-Guide.pdf>
- [70] Nvidia. NVIDIA VIRTUAL GPU TECHNOLOGY. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 12.07.2019. Saatavilla: <https://www.nvidia.com/en-us/data-center/virtual-gpu-technology/>
- [71] Onshape. ONSHAPE | Full-Cloud CAD. CAD FOR AGILE PRODUCT DESIGN TEAMS. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 24.07.2019. Saatavilla: <https://www.onshape.com/platform>
- [72] Open Cascade. CAD PROCESSOR. Simplify, repair, convert your 3D data. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 19.07.2019. Saatavilla: <https://www.opencascade.com/content/cad-processor>
- [73] Ozen Engineering. Ansys Hardware requirements. Viitattu 01.08.2019. Saatavilla: <https://www.ozeninc.com/ansys-system-hardware-requirements/#tab-id-1>
- [74] Pakkanen J. Brownfield process. A method for rationalisation of existing product variety towards a modular product family. Julkaisu 1299. Tampereen Teknillinen yliopisto. Tampere 2015. Sivut 89 – 112. Viitattu 04.09.2019.
- [75] Pynttari T., Toropainen M. Comatecin IT-asiantuntijoita. Teemahaastattelu 24.09.2019. VR-ohjelmistojen käyttö palvelimella ja Comatecin verkossa.
- [76] PTC. Innovate with industrial augmented reality. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 19.07.2018. Saatavilla: <https://www.ptc.com/en/products/augmented-reality>
- [77] Rao S. The finite element method in engineering. Elsevier 2011. Viitattu 07.05.2019. Saatavilla: <https://www-dawsonera-com.libproxy.tuni.fi/readonline/9780080952048>
- [78] Reflekt. Reflket One. How to create AR solutions from your existing Siemens Teamcenter data. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 07.08.2019. Saatavilla: <https://www.re-flekt.com/blog/how-to-create-ar-solutions-from-your-existing-siemens-teamcenter-data>

- [79] Roima. Roiman toiminnanohjaus – ketterämpi ERP. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 11.07.2019. Saatavilla: <https://www.roimaint.fi/toiminnanohjaus-erp/>
- [80] Salminen A. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteiden sovelluksiin. Vaasan Yliopisto. Vaasa 2011. Saatavilla: https://www.univaasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf
- [81] Sandi S. Creo in the Cloud - User Tutorial 1: Introduction. PTC. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 24.07.2019. Saatavilla: <https://learningconnector.ptc.com/content/tutorial/5073/creo-in-the-cloud-user-tutorial-1-introduction>
- [82] Shi L., Chen H., Sun J., Li K. vCUDA: GPU-Accelerated High-Performance Computing in Virtual Machines. IEEE Transactions on Computers 2011. Viitattu 12.07.2019. Saatavilla: <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/5928326>
- [83] Siya, G., Wynn D. C., Clarkson P. J. Review of Value and Lean in Complex Product Development. Cambridgen yliopisto ja McGill-yliopisto. Wiley Online Library 2015. Viitattu 05.08.2019. Saatavilla: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sys.21299>
- [84] SFS-EN 61082-1. SÄHKÖTEKNIKASSA KÄYTETTÄVIENDOKUMENTTIEN LAATIMINEN. OSA 1: SÄÄNNÖT. SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS 2015.
- [85] Siemens Industry Software. Product and Manufacturing Information. Siemens 2011. Viitattu 09.05.2019. Saatavilla: https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/9645_tcm1023-4581.pdf
- [86] Siemens. Latest version of Teamcenter delivers more PLM value for lower cost of ownership. Julkaistu 30.05.2018. Viitattu 15.08.2019. Saatavilla: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/newsroom/enterprise-product-lifecycle-management/43918>
- [87] Siemens. NX12 release notes. Siemensin tuotedokumentaatio. Siemens 10/2017. Viitattu 13.08.2019. Saatavilla: https://docs.plm.automation.siemens.com/docs/nx/12/en_US/release_notes.pdf

- [88] SoberIT (Ohjelmistoliiketoiminnan ja -tuotannon laboratorio). Product Data Management Group. Viitattu 17.05.2019. Saatavilla: <http://www.soberit.hut.fi/pdmg/index.html>
- [89] Suokas J. Managing Director, Rand Finlad. Sähköpostikeskustelu: 3DEXPERIENCE. Vastaanotettu 10.10.2019.
- [90] Techpowerup. GPU specs Database. Viitattu 02.08.2019. Saatavilla: <https://www.techpowerup.com/gpu-specs/>
- [91] TechViz. TechViz XL: VR Software for your Project Reviews. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 03.06.2019. Saatavilla: <https://www.techviz.net/techviz-xl>
- [92] Takalo E. CAD-ohjelmistot. Comatec:n sisäinen verkkotiedota. Comatec 2018
- [93] Takalo E. Comatecin sisäinen IT-ohjeistus. Comatec 2017. Viitattu 06.06.2019.
- [94] Takalo E. Comatecin IT-asiantuntija. Teemahaastattelu 15.08.2019. Citrixin käyttö, palvelinasiat, ylläpito ja tietoturva.
- [95] Tizzard, A. An introduction to computer aided engineering. McGraw-Hill Book Company 1994.
- [96] Transmagic. CAD Automation. Ohjelmistoyrityksen verkkosivut. Viitattu 07.08.2019. Saatavilla: <https://transmagic.com/cad-automation/>
- [97] Tuhola, E. Viitanen, K. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tammertekniikka 2008. Sivut 2 – 40. Viitattu 02.05.2019.
- [98] Tuomi J., Sarajärvi A. Laadullinen tutkimus ja sisältöanalyysi. Kustannusosakeyhtiö Tammi 2018. Sivut 83 - 89. Viitattu 1.12.2019.
- [99] Ulrich K., Eppinger S. Product design and development. 6. painos. McGraw-Hill Education 2016. Sivut 12-18. Viitattu 10.10.2019.
- [100] Unit4. Pilvipalvelut omassa tahdissasi. Viitattu 17.05.2019. Saatavissa: <https://www.unit4.com/fi/sovellukset/pilvipalvelut-omassa-tahdissasi>
- [101] Vmware. What is a Hypervisor? Yrityksen verkkosivut. Viitattu 12.07.2019. Saatavilla: <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/hypervisor>

- [102] VMware. Horizon Cloud. Yrityksen verkkosivut. Viitattu 12.07.2019. Saatavilla: <https://www.vmware.com/products/horizon-cloud-virtual-desktops.html>
- [103] Weidlich D., Cser L., Polzin T., Cristiano D., Zickner H. Virtual Reality Approaches for Immersive Design. CIRP Annals, Volume 56, Issue 1, 2007. S.139-142. Viitattu 15.08.2019. Saatavilla: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0007850607000364>
- [104] Yusuf Y., Gunasekaran A., Abthorpe MS. Enterprise information systems project implementation: A case study of ERP in Rolls-Royce. Int. J. University of Hull 2004. Viitattu 07.06.2019. Saatavilla: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0925527303002974?via%3Dihub>
- [105] Zhao J., Allison R. S., Vinnikov M., Jennings S. Estimating the motion-to-photon latency in head mounted displays. Konferenssipaperi. Konferenssi 18.-22.3.2017 Los Angeles, USA. Kirjallinen julkaisu 06.04.2017, IEEE. Viitattu 13.09.2019. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7892302>
- [106] Zheng L., Song R. Research on computer aided design software innovation based on VR technology. Advances in intelligent systems and computing. Konferenssipaperi 2019. SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING 2020. Viitattu 12.12.2019.
- [107] Zuken. E³.fluid - Documentation and designof fluid systems. Tuote-esite. Viitattu 17.05.2019. Saatavilla: <https://www.ccsgroup.no/e3.series/add-ons/e3.fluid-pdf>
- [108] Zuken. E³ series. E3-3DRoutingBridge. Käyttöohje. Zuke E3 GmbH 2012. Viitattu 18.05.2019. Saatavilla: http://caddy3.com/wp-content/uploads/E3.3DRoutingBridge_EN.pdf

LIITTEET

Liite A: Lomakekyselyn pohja

Comatecilla tehdään diplomityönä teknologiatutkimusta suunnittelujärjestelmien pilvi-pohjaisesta käytöstä ja virtuaalitodellisuuden hyödyntämisestä suunnittelutyössä. Tulevaisuudessa suunnittelutyön paikkasidonaisuutta pyritään vähentämään, ehkä jopa poistamaan se kokonaan. Osana tätä monet kokoukset ja katselmuksset siirtyvät tulevaisuudessa virtuaalitodellisuuteen, johon jokainen osallistuja voi liittyä etänä.

Alla olevassa kuvassa (ei julkaista) on hahmoteltu millainen suunnittelujärjestelmä voisi tulevaisuudessa olla. Suunnittelutyön eri osa-alueet tekevät yhteistyötä ja tuloksia tarkastellaan yhdessä virtuaalitodellisuutta hyödyntäen. Sinun mielipiteesi ja kokemuksesi ovat tärkeitä uudenlaisen suunnittelujärjestelmän tutkimisessa.

Katso aluksi esittelyvideo Holodeck –työkalusta:

<https://www.youtube.com/watch?v=goFZOTjCVFg>

Halutessasi voit myös tutustua sivustoon

<https://www.nvidia.com/en-us/design-visualization/technologies/holodeck/>

(Comatec ei tee yhteistyötä Nvidian kanssa virtuaalitodellisuuteen liittyen tällä hetkellä. Muut vastaavanlaiset virtuaalitodellisuuteen perustuvat ohjelmistot ovat myös tarkastelussa osana tutkimusta.)

1. Oletko

- a. sähkö- /automaatiosuunnittelija
- b. hydraulikkasuunnittelija
- c. mekaniikkasuunnittelija
- d. Tekninen laskija
- e. Tiiminvetäjä
 - i. Sähkö
 - ii. Hydraulikka
 - iii. Mekaniikka
 - iv. Laskenta
- f. Suunnittelupäällikkö
- g. Muu, mikä?

2. Mitkä ovat yleisimmät käyttämäsi suunnittelu-, projektinhallinta- ja / tai dokumenttienhallintaohjelmistot?

3. Oletko käyttänyt mitään ohjelmistoa virtuaalitodellisuudessa?

- a. Kyllä, töissä
- b. Kyllä, kotona (viihdekäyttö)
- c. En ole käyttänyt

4. **Onko käyttämässäsi ohjelmistossa useita työskentelytasoja (Layer)?**
 - a. Ovat eri tasot tarpeellisia?
 - b. Miten tasoja on hyödynnetty?
 - c. Pitäisikö olla (enemmän)? Mitkä olisivat tarpeellisia?

5. **Koetko, että työssäsi käyttämien ohjelmistojen käyttö virtuaalitodellisuudessa olisi mielekästä / hyödyllistä?**
 - a. Hyötyjä ja mahdollisuuksia voisi olla?
 - b. Haittoja tai uhkia voisi olla?

6. **Mitä / millaisia käyttökohteita virtuaalitodellisuudella voisi olla työhösi liittyen?**

7. **Mitkä ovat tärkeimmät vaatimukset ohjelmistolta työssäsi asteikolla 0-5? (0=ei lainkaan tärkeä / ei koske minua, 5=todella tärkeä)**
 - a. Helposti opittava käyttöliittymä
 - b. Nopeus / sujuvuus
 - c. Toimintavarmuus
 - d. Usean tiedostoformaatin tuki
 - e. Suurien kokonaisuuksien helppo hallinta
 - f. Monipuoliset asetusvaihtoehdot
 - g. Tiedoston Export
 - h. Tiedostojen Import
 - i. Export tuki usealle eri tiedostomuodolle
 - j. Import tuki usealle eri tiedostomuodolle
 - k. Muu, mikä?

8. **Onko nykyisissä ohjelmistoissa merkittäviä ongelmia? Jos on mitä/millaisia?**

9. **Liitettävyyden muihin ohjelmistoihin?**
 - a. Mitä ohjelmistoja tarvitset yhdessä pääasiallisen ohjelmiston kanssa?
 - b. Mitä ohjelmistoja kaipaisit tukemaan työskentelyä yhdessä pääasiallisen ohjelmiston kanssa?

10. **Mitä dokumenttien tiedostoformaatteja käsittelet työssäsi? (PDF, jpg, XLSX...)**

11. **Mitkä ovat mieluisia tapoja kommunikoida tiimisi / työkavereiden kanssa työasioista, kun kyseessä on aikataulusta sopiminen? asteikolla 0-5 (0=ei ollenkaan mieluinen, 5=todella mieluinen)**
 - a. Skype pikaviesti
 - b. Skype äänipuhelu
 - c. Whatsapp / Telegram
 - d. Puhelu
 - e. Tekstiviesti
 - f. Yammer
 - g. Sähköposti
 - h. Kasvotusten
 - i. Muu, mikä?

12. Mitkä ovat mieluisia tapoja kommunikoida tiimisi / työkavereiden kanssa työasioista, kun kyseessä on tiedon jakaminen / välittäminen?

asteikolla 0-5 (0=ei ollenkaan mieluinen, 5=todella mieluinen)

- a. Skype pikaviesti
- b. Skype äänipuhelu
- c. Whatsapp / Telegram
- d. Puhelu
- e. Tekstiviesti
- f. Yammer
- g. Sähköposti
- h. Kasvotusten
- i. Muu, mikä?

13. Mitkä ovat mieluisia tapoja kommunikoida tiimisi / työkavereiden kanssa työasioista, kun kyseessä on ongelmanratkaisu / suunnitteluratkaisun löytäminen?

asteikolla 0-5 (0=ei ollenkaan mieluinen, 5=todella mieluinen)

- a. Skype pikaviesti
- b. Skype äänipuhelu
- c. Whatsapp / Telegram
- d. Puhelu
- e. Tekstiviesti
- f. Yammer
- g. Sähköposti
- h. Kasvotusten
- i. Muu, mikä?

14. Miten haluaisit kommunikoida virtuaalituodellisuudessa? Mitkä olisivat mieluisia menetelmiä asteikolla 0-5? (0=ei ollenkaan mieluinen, 5=todella mieluinen)

- a. Ääni
- b. Video
- c. Virtuaalinen hahmo, joka voi esimerkiksi osoittaa ja käyttää liikkeitä kommunikointiin
- d. Virtuaalinen "työmaakokous"
- e. Pikaviestisovellus (mm. Whatsapp, Telegram)
- f. Muu, mikä?

Liite B: Puolistrukturoitu haastattelu virtuaalitodellisuus-ohjelmistoista.

1. Minkä tyyppinen ohjelmiston lisenssi on ja pajanko se maksaa?
2. Voidaanko ohjelmiston avulla järjestää etäkokous / suunnittelukatselointi virtuaalitodellisuudessa?
3. Onko ohjelmistoon saatavilla maksuton vierailija- / tarkastelulisenssi?
4. Onko ohjelmistossa suora CAD-tuki (natiiviedostomuodoille)?
5. Onko ohjelmistossa mahdollisuus törmäystarkasteluun?
6. Voidaanko ohjelmisto asentaa palvelimelle?
7. Onko ohjelmistossa mahdollista käyttää leikkaustasoja?
8. Päivittyvätkö CAD-ohjelmistoissa tehdyt muutokset suoraan automaattisesti VR-ohjelmistoon?
9. Voiko VR-ohjelmistossa muokata mallia?

Liite C: Verkkokyselyn analyysin tulokset

Ominaisuudet	0	1	2	3	4	5	Vertailuluku	"sijoitus"
Helposti opittava käyttöliittymä	0	3,6	7,1	17,9	28,6	42,9	4,00	6
Nopeus / sujuvuus	0	7,1	0	3,6	39,3	50	4,25	3
Toimintavarmuus	0	0	0	0	17,9	82,1	4,82	1
Usean tiedostoformaatin tuki	0	3,6	10,7	32,1	17,9	35,7	3,71	9
Suurien kokonaisuuksien hallinta	0	0	0	11,1	29,6	59,3	4,48	2
Monipuoliset asetusvaihtoehdot	0	0	10,7	42,9	25	21,4	3,57	10
Tiedostojen Export	0	0	10,7	17,9	21,4	50	4,11	5
Tiedostojen Import	0	0	3,6	21,4	25	50	4,21	4
Export usealle eri formaatille	0	0	10,7	21,4	32,1	35,7	3,93	8
Import usealle eri formaatille	0	0	10,7	17,9	32,1	39,3	4,00	7

Kommunikointi: aikataulusta sopiminen	0	1	2	3	4	5	Vertailuluku	"sijoitus"
Skype pikaviesti	14,3	10,7	7,1	10,7	28,6	28,6	3,14	3
Skype puhelu	25	17,9	14,3	10,7	14,3	17,9	2,25	5
Whatsapp / Telegram	42,9	10,7	25	10,7	10,7	0	1,36	7
Puhelu	14,3	14,3	7,1	10,7	24,1	32,1	3,09	4
Tekstiviesti	35,7	21,4	21,4	10,7	10,7	0	1,39	6
Yammer	75	14,3	7,1	3,6	0	0	0,39	8
Sähköposti	0	0	0	10,7	14,3	75	4,64	1
Kasvotusten	3,6	3,6	3,6	3,6	25	60,7	4,25	2

Kommunikointi: tiedon jakaminen	0	1	2	3	4	5	Vertailuluku	"sijoitus"
Skype pikaviesti	10,7	7,1	7,1	14,3	35,7	25	3,32	3
Skype puhelu	28,6	17,9	7,1	10,7	17,9	17,9	2,25	5
Whatsapp / Telegram	42,9	25	17,9	3,6	7,1	3,6	1,18	6
Puhelu	28,6	7,1	10,7	7,1	25	21,4	2,57	4
Tekstiviesti	59,3	14,8	3,7	18,5	3,7	0	0,93	7
Yammer	67,9	14,3	10,7	3,6	3,6	0	0,61	8
Sähköposti	0	0	3,6	7,1	21,4	67,9	4,54	1
Kasvotusten	14,3	0	7,1	0	28,6	50	3,79	2

Kommunikointi: ongelmanratkaisu	0	1	2	3	4	5	Vertailuluku	"sijoitus"
Skype pikaviesti	25	3,6	17,9	10,7	28,6	14,3	2,57	5
Skype puhelu	28,6	0	3,6	21,4	10,7	35,7	2,93	4
Whatsapp / Telegram	53,6	10,7	28,6	3,6	0	3,6	0,97	6
Puhelu	14,3	14,3	3,6	10,7	17,9	39,3	3,21	3
Tekstiviesti	67,9	17,9	7,1	7,1	0	0	0,53	7
Yammer	70,4	14,8	7,4	7,4	0	0	0,52	8
Sähköposti	3,6	3,6	7,1	21,4	28,6	35,7	3,75	2
Kasvotusten	3,6	0	3,6	0	7,1	85,7	4,64	1

Kommunikointi VR:ssä	0	1	2	3	4	5	Vertailuluku	"sijoitus"
Ääni	7,1	7,1	0	14,3	17,9	53,6	3,90	1
Video	10,7	7,1	21,4	17,9	14,3	28,6	3,04	4
Virtuaalinen hahmo, eleet	3,6	7,1	7,1	28,6	21,4	32,1	3,54	3
Työmaakokous	7,1	3,6	10,7	21,4	17,9	39,3	3,57	2
Pikaviestisovellus	25	25	14,3	17,9	7,1	10,7	1,89	5