



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

NIKO MATIKAINEN
SUUNNITTELUN AUTOMATISOINTI PARAMETREILLA

Diplomityö

Tarkastaja: Sami Hyrynsalmi
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
31. Lokakuuta 2017

TIIVISTELMÄ

NIKO MATIKAINEN: Suunnittelun automatisointi parametreilla
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 51 sivua
Tammikuu 2018
Tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Ohjelmistotuotanto
Tarkastaja: Sami Hyrynsalmi

Avainsanat: suunnittelun automatisointi, hoitotasot, portaat, parametrinen suunnittelu

Tutkimuksessa selvitetään mitä kaikkea täytyy ottaa huomioon eri ohjelmistoissa, kun suunnittelua lähdetään automatisoimaan tai lähdetään miettimään suunnittelun automatisointia. Eri ohjelmien vertailu suoritettiin painotetuilla kriteereillä. Laajan aihe-alueen vuoksi tässä tutkimuksessa keskitytään hoitotasojen, kaiteiden sekä portaiden suunnittelun automatisointiin. Tutkimuksessa käsitellään myös, että mitä haittoja ja hyötyä suunnittelun automatisoinnista on. Tutkimuksessa tuodaan esille myös ERP:n ja PDM:n vaikutus suunnittelun automatisoinnin lopputulokseen.

Tutkimuksessa kerrotaan mitä hoitotasot, portaat ja kaiteet ovat. Sitten selvitetään myös ISO 14122-standardia ja sen vaatimuksia hoitotasolle, portaille ja kaiteille. Tutkimuksessa myös kerrotaan mitä seikkoja näiden suunnittelussa tarvitsee ja kannattaa ottaa huomioon.

Tutkimusmenetelmänä on toimintatutkimus. Tutkimuksen aineisto perustuu ohjelmistojen vertailujen osalta pääosin tutkimuksen tekijän omaan kokemukseen sekä ammatissa ja koulutuksessa kerättyihin tietoihin. Ohjelmistoja esitellessä aineistoa on kerätty pääasiassa ohjelmien kotisivuilta. Tutkimuksessa on myös käytetty tieteellistä aineistoa apuna. Tutkimuksessa toteutetaan vertailulaskenta-malli, jolla saadaan pisteytettyä ohjelmistot.

Tutkimuksen tulos on, että Dassault systemesin Solidworks on yhdessä Cadworksin automateworks-lisäosan kanssaärkevin valinta. Jos suunnittelua lähdetään automatisoimaan, tämä on se ratkaisu jonka kanssa kannattaa lähteä liikkeelle. Tulos todennäköisesti muuttuisi, jos kriteerien painotusta lähdetäisiin muuttamaan hieman erilaisessa tilanteessa.

ABSTRACT

NIKO MATIKAINEN: Design automation with parameters
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 51 pages
January 2018
Master's Degree Programme in Information Technology
Major: Software Engineering
Examiner: Sami Hyrynsalmi

Keywords: design automation, working platforms, stairs, parametric modeling

This research investigates what different things must be considered in different programs when starting to automatize design or when thinking about it. Different programs are compared with weighted criteria. Because of enormous subject area, this research focus on design automation for working platforms, stairs and rails. Research also presents what are pro's and con's on automated design. Research also points out how much ERP and PDM have influence on result.

Research also presents what are working platforms, stairs and rails. Research demonstrates what is ISO 14122-standard and what are its requirements for working platforms, stairs and rails. Research also shows what must be considered and what should be considered when designing these.

Research method is action research. Research data regarding programs comparison is based mostly on researcher own experience and knowledge gathered on profession and education. Programs introduction material is gathered from program manufactures webpages. Research also uses scientific material to aid research. Comparison calculation-model is implemented in research.

Result of research is that Dassault Systemes product Solidworks with Cadworks product Automateworks add-on is best choice. If design automation process is started, this is the choice that should be taken. Result would probably be different if criterias would be weighted differently because of another kind situation.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tavoitteet.....	2
1.2	Työn rajaus	3
1.3	Toimeksiantaja	4
1.4	Työn rakenne.....	5
2.	HOITOTASOT	6
2.1	Hoitotasojen, kaiteiden ja portaiden standardit.....	7
2.2	Hoitotasojen, kaiteiden ja portaiden suunnittelu.....	15
3.	SUUNNITTELUN AUTOMATISOINTI.....	18
3.1	Automatisointi.....	18
3.1.1	PDM.....	18
3.1.2	ERP	19
3.1.3	Mahdolliset hyödyt ja haitat.....	20
3.2	Parametriset muuttujat.....	21
4.	TUTKIMUS	23
4.1	Ohjelmistot.....	23
4.1.1	Autodesk Inventor.....	23
4.1.2	Vertex Systems, Vertex G4.....	25
4.1.3	Dassault systemes, Solidworks ja Cadworks, Automateworks.....	26
4.2	Kustannukset	27
4.3	Kriteerit	29
4.3.1	Kriteerien valinta.....	30
4.3.2	Kriteerien painoarvot	34
4.3.3	Ohjelmistojen vertailu kriteereillä	35
5.	TULOKSIEN POHDISKELU	43
5.1	Tulokset.....	43
5.2	Pohdiskelu	46
5.3	Tutkimuksen yleistettävyys ja jatkotutkimus.....	47
6.	YHTEENVETO	49
	LÄHTEET.....	50

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Hoitotaso, kaiteet ja portaat</i>	1
<i>Kuva 2. Työn rajaus [9]</i>	3
<i>Kuva 3. Materiaalin kuljetus ja varastointi</i>	4
<i>Kuva 4. Kuljettimia ja säiliöitä</i>	4
<i>Kuva 5. Hoitotaso</i>	6
<i>Kuva 6. Kahdet portaat</i>	7
<i>Kuva 7. Maat joissa standardi on voimassa.</i>	8
<i>Kuva 8. Portaiden nousukulma [1]</i>	8
<i>Kuva 9. Kuva potkulistan mahdollisesta toteutuksesta [2]</i>	10
<i>Kuva 10. Hoitotason vapaan kulun mitat [2]</i>	11
<i>Kuva 11. Kaiteen mitat [3]</i>	12
<i>Kuva 12. Kaide D-jatkoksella. [3]</i>	12
<i>Kuva 13. Portaiden mitoitus [3]</i>	13
<i>Kuva 14. Portaiden mitoitus [3]</i>	14
<i>Kuva 15. Portaan kaiteiden esimerkkikuva [3]</i>	15
<i>Kuva 16. Hoitotason ja kaiteen havainnekuva</i>	17
<i>Kuva 17. Suunnittelussa kuluvan ajan jakautuminen [17]</i>	19
<i>Kuva 18. ERP:n eri osa-alueita [20]</i>	19
<i>Kuva 19. Inventorin aloitusnäkyvä</i>	24
<i>Kuva 20. Inventor sääntöjen luonti</i>	24
<i>Kuva 21. Vertex G4 suunnittelunäkymä [13]</i>	25
<i>Kuva 22. Vertex G4 suunnitteluautomaatti [14]</i>	26
<i>Kuva 23. Solidworks aloitusnäkyvä</i>	27
<i>Kuva 24. Hoitotasoja, portaita ja kaiteita sekä teräsrakennetta.</i>	32
<i>Kuva 25. Laskentaulukko</i>	44
<i>Kuva 26. Ristiinvertailu</i>	45
<i>Kuva 27. Painoarvojen laskenta</i>	45
<i>Kuva 28. Kuvaaja pisteiden jakautumisesta</i>	46

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. Portaiden mitoituksen lyhenteet</i>	13
<i>Taulukko 2. Hoitotasojen suositellun mitoituksen yhteenveto</i>	15
<i>Taulukko 3. Portaiden suositellun mitoituksen yhteenveto</i>	16
<i>Taulukko 4. Kaiteiden suositellun mitoituksen yhteenveto</i>	16
<i>Taulukko 5. Kustannusten arviointi, ensimmäinen tapaus</i>	28
<i>Taulukko 6. Kustannusten arviointi, toinen tapaus</i>	29
<i>Taulukko 7. Kustannusten arviointi, kolmas tapaus</i>	29
<i>Taulukko 8. Hankinta ja ylläpitokustannusten vertailu</i>	36
<i>Taulukko 9. Käyttöliittymän vertailu</i>	37
<i>Taulukko 10. Suorituskyvyn vertailu</i>	37
<i>Taulukko 11. Piirustusten teon ja laadun vertailu</i>	38
<i>Taulukko 12. Markkinaosuuden ja tunnettavuuden vertailu</i>	38
<i>Taulukko 13. Kehitysresurssien ja tunnettavuuden vertailu</i>	38
<i>Taulukko 14. Referenssien vertailu</i>	39
<i>Taulukko 15. Suurten mallien hallinta vertailu</i>	39
<i>Taulukko 16. Teräsrakennesuunnittelun vertailu</i>	40
<i>Taulukko 17. Mallien varastoinnin ja hallinnan vertailu</i>	40
<i>Taulukko 18. Attribuuttien hallinnan vertailu</i>	40
<i>Taulukko 19. Grafiikkamoottorin vertailu</i>	41
<i>Taulukko 20. Visualisoinnin vertailu</i>	41
<i>Taulukko 21. Suunnitteluautomaatin vertailu</i>	41
<i>Taulukko 22. Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkauksen vertailu</i>	42
<i>Taulukko 23. Ohjelmien pisteet</i>	43

LYHENTEET JA MERKINNÄT

PDM	Product Data Management, eli tuotetiedonhallinta. Tässä työssä tarkoitetaan lähinnä materiaalin hallintaa
Sketch	Piirustus
ERP	Enterprise Resource Planning, eli toiminnanohjausjärjestelmä.

1. JOHDANTO

Tarkoituksena on tutkia eri ohjelmistojen eroja ja sitä, miten saadaan automaattista paras hyöty, eli yhteensopivuus materiaalin hallintaan ja toiminnanohjausjärjestelmiin. Työn tarkoituksena on myös tutkia hoitotasojen, kaiteiden sekä portaiden standardia (tässä työssä oletusstandardi on ISO 14122), suunnittelua, suunnittelun automatisointia sekä mitä etuja saadaan automatisoinnilla. Standardin mukaan suunniteltu hoitotaso, kaiteet ja porras näkyvät kuvassa 1.

Suunnittelun automatisoinnissa kerrotaan mitä seikkoja vaikuttaa suunnitteluun ja siten myös suunnittelun automatisointiin. Nämä kummatkin (suunnittelu ja sen automatisointi) liittyvät oleellisesti ISO 14122 -standardiin, niissä maissa joissa tämä standardi on käytössä. Standardin mukaan suunnitteluun keskitytään omassa aliluvussaan.

Työn tarkoitus ei siis ole kertoa miten saadaan tehtyä valmis automaatti, vaan tuottaa tietoa siitä mitä seikkoja kannattaa huomioida, kun lähdetään automatisointia toteuttamaan. Työ voi myös toimia muistilistana, jos automaattia lähdetään toteuttamaan.



Kuva 1. Hoitotaso, kaiteet ja portaat

1.1 Tavoitteet

Tavoitteena on saada selvitettyä mikä ohjelma olisiärkevin valita automatisoinnin välineeksi, mitä kaikkea vaaditaan muilta tähän liittyviltä järjestelmiltä (pääasiassa PDM ja ERP) ja miten oletettavasti päästäisiin parhaimpaan lopputulokseen. Erilaisten valintojen (mitä järjestelmiä käsitellään, mihin rajataan ohjelmistot ja niin edelleen) takia työ ei välttämättä ole yleispätevä. Myös kriteerien painotus saattaa merkittävästi muuttaa lopputulosta, jos erilaisessa tapauksessa olisi tarvetta niiden muuttamiselle. Toki kriteerien painotuksien muuttamisella voidaan saada lopputulos, joka on myös täysin pätevä ja hyödynnettävissä.

Itse suunnitteluohjelmien lisäksi täytyy huomioida siihen liittyvät ohjelmat, pääasiassa PDM ja ERP. PDM ja ERP - yhteensopivuudella säästetään esimerkiksi osaluetteloiden teko manuaalisesti, joka vähentää virheiden mahdollisuutta rakenteissa huomattavasti. PDM pitää huolta muun muassa revisioista sekä muutoshistoriasta ja ERP pitää huolta esimerkiksi materiaaleista. Nämä käsitellään tarkemmin myöhemmin omista luvuisaan.

Tavoitteena on tietysti myös saada tulos joka kestä kriittisen tarkastelun sekä jota voidaan käyttää myöhemmin mahdollisesti uudestaan. Tarpeen tullen tilanteiden muuttuessa (esimerkiksi ohjelmien saadessa lisäominaisuuksia, tarpeiden muuttuessa tai uuden ohjelman tullessa markkinoille) voidaan tutkimuksen ydinosa toistaa uudella tiedolla ja katsoa muuttuuko tulos merkittävästi. Jolloin on helpompia perustella miksi joku asia tarvitsee tehdä tai miksi jotain asiaa ei kannata tehdä.

Tuloksien pitäisi olla myös sellaisia, että sitä ei oteta huomioon vain suosituksena. Tuloksien pitäisi toimia lähtökohtana, joihin muita vaihtoehtoja verrataan.

Tutkimusmenetelmänä oli toimintatutkimus, jonka Rapoport [6] määritteli seuraavasti: *”Action research aims to contribute both to the practical concerns of people in an immediate problematic situation and to the goals of social science by joint collaboration within a mutually acceptable ethical framework.”*

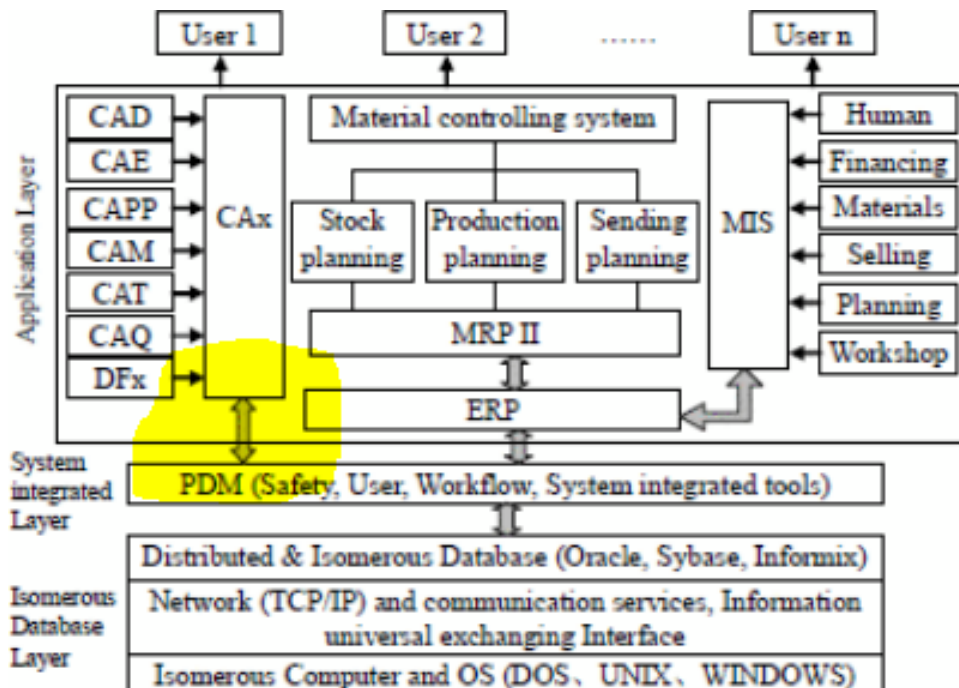
Tämän määritelmän mukaan toiminnan tutkimisen keskeisin piirre on kaksitahoinen näkemys, asiakkaan ongelman ratkaiseminen sekä tieteen vienti eteenpäin. [7] Toimintatutkimus on kuitenkin kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä, jossa otoskoko on pieni. Tämän takia kritiikkiä voidaan esittää. Toimintatutkimuksessa pyritään ratkaisemaan käytännön ongelmia, jonka takia se voidaan sekoittaa sovellettuun tutkimukseen tai jopa konsultointiin. Toimintatutkimuksen pitäisi kuitenkin noudattaa tarkasti ohjeita ja toiminnan yksi selkeä suuntaviiva on tutkimus, jonka perustelut ovat selkeät ja tutkimukset testattavissa. [8]

1.2 Työn rajaus

Työn aihe päätettiin rajata hyvin tiukasti ja spesifisti tähän hoitotasojen, kaiteiden ja portaiden suunnittelun automatisointiin. Tällä mahdollistetaan tarkemmat selvitykset ja tulokset, eikä työstä tule niin helposti yleismaailmallista eeposta jossa ei päästä pintaa syvemmälle. Työssä ei tutkita tai käsitellä myöskään kantavia tai tukevia rakenteita, tällä saadaan myös rajausta spesifimmäksi.

Työssä myös rajaus käsitteiden, ohjelmistojen ja ominaisuuksien osalta rajoittuu pääosin työssä tavoiteltaviin ratkaisuihin tai tuloksiin. Eli esimerkiksi ERP:n tai PDM:n osalta ei käsitellä kaikkea mahdollista organisaatioon liittyvää, vaan fokus pidetään täysin ominaisuuksissa jotka hyödyttävät suunnittelun automatisointia. Suunnittelun automatisoinnissa vaatimuksena saattaa olla joku tietty ominaisuus, jolloin se luonnollisesti otetaan huomioon. Myös PDM oletetaan käytettäväksi, vaikka toteutus olisi mahdollinen esimerkiksi yksisuuntaisella linkillä CAD-ohjelmista ERP-järjestelmään, jolloin tietoa ei siis kulje kuin yhteensuuntaan.

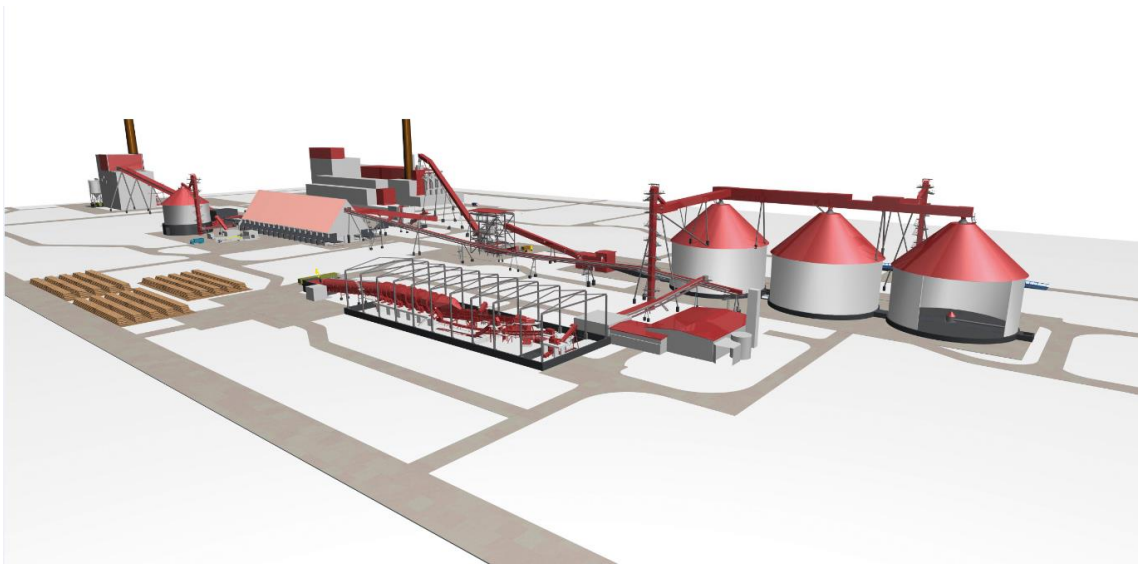
Kuvassa 2 näytetään keltaisella värillä työn rajaus visuaalisesti. Tästä nähdään, että työ on tiukkaan rajattu eikä ohjelmien muihin ominaisuuksiin paneuduta syvällisesti. Kuvassa ei ole tarkkaa rajausta, vaan kuvan tarkoituksena on esittää rajauksen kapea-alaisuus.



Kuva 2. Työn rajaus [9]

1.3 Toimeksiantaja

Toimeksiantajana on Suomessa toimiva teollisuusalan yritys, jonka keskeinen tuote on raskaan teollisuuden kuljetinjärjestelmät. Suunnittelusta valmistukseen, valmistuksesta kuljetukseen, kuljetuksesta asennukseen ja asennuksesta huoltoon. Kuvassa 3 näytetään visuaalisesti kuljetinjärjestelmä ja kuvassa 4 on oikea kuljetinjärjestelmä.



Kuva 3. Materiaalin kuljetus ja varastointi



Kuva 4. Kuljettimia ja säiliöitä

1.4 Työn rakenne

Tämä kyseinen diplomityö on jaoteltu osiin seuraavalla tavalla:

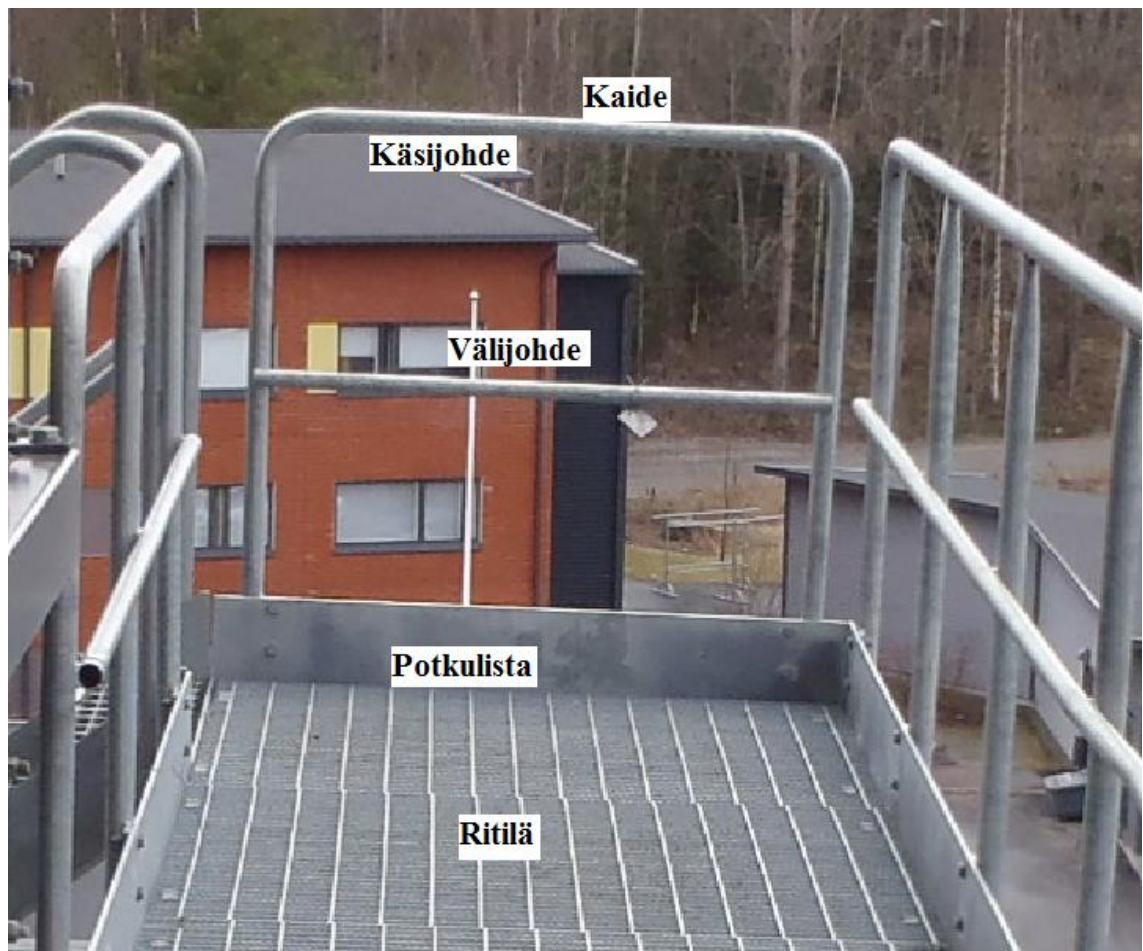
- **Luvussa 1** esitellään työn tavoitteita, sitä miten työ on rajattu sekä toimeksiantajan esittely sallituissa rajoissa.
- **Luvussa 2** esitellään hoitotasojen, kaiteiden ja portaiden standardit, sekä missä se on käytössä. Luvussa esitellään myös mitä standardin mukaan pitää huomioida sekä miten seikat vaikuttavat suunnitteluun.
- **Luvussa 3** käsitellään suunnittelun automatisointia, mitä se vaatii, mitä pitää ottaa huomioon ja mitä sillä on saavutettavissa.
- **Luvussa 4** tarkastellaan tutkimusta, mitä ohjelmistoja on saatavissa, mitä kustannuksia automatisointi tuo ja millä kriteereillä itse tutkimus tehdään.
- **Luvussa 5** käydään läpi tulokset
- **Luvussa 6** tehdään yhteenveto diplomityöstä.

2. HOITOTASOT

Hoitotasolla (kutsutaan myös huoltotasoksi ja työtasoksi) tarkoitetaan teollisuudessa tasoa, jota pitkin on turvallista kulkea ja joka mahdollistaa esimerkiksi laitteiden huoltamisen tai tarkastamisen.

Työssä jätetään koneturvallisuusdirektiivi käsittelemättä, koska direktiivissä käsitellään asiat hyvin yleisesti ja standardista tulevat tarkemmat ja tiukemmat vaatimukset. Standardikin tosin vain ohjaa sitä millaisia hoitotasojen ja portaiden tulisi olla.

Kuvassa 5 esitetään viisi tärkeää osaa hoitotasossa ja kaiteissa, eli ritilä, potkulista ja kaide. Kaiteesta näytetään vielä käsi- ja välijohde.



Kuva 5. Hoitotaso



Kuva 6. Kahdet portaat

Kuvassa 6 esitetään portaista tärkeitä osat, eli potkulista, kaide ja askelma. Kuvassa 6 ei erikseen kerrota mikä on kaiteen käsijohde tai välijohde, vaan ne näkyvät kuvassa 5.

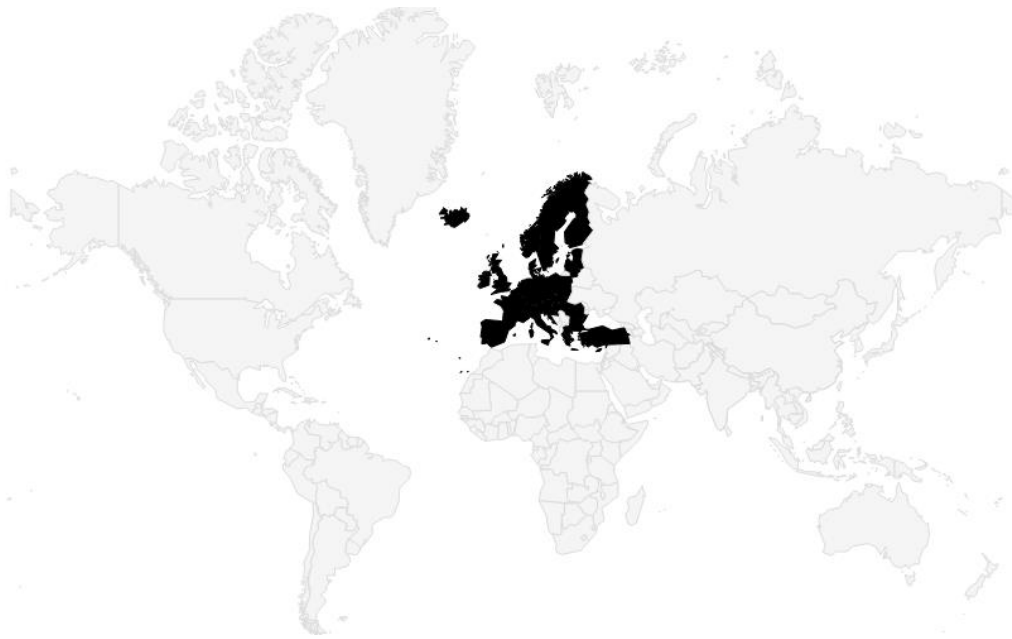
2.1 Hoitotasojen, kaiteiden ja portaiden standardit

SFS-EN ISO 14122 -standardissa annetaan raja-arvot ja suositukset minkä mukaan hoitotasot ja portaat pitäisi suunnitella ja valmistaa. Kyseistä standardia käytetään seuraavissa maissa [1]:

- | | |
|-------------|--------------|
| - Itävalta | - Saksa |
| - Belgia | - Kreikka |
| - Bulgaria | - Unkari |
| - Kroatia | - Islanti |
| - Kypros | - Irlanti |
| - Tšekki | - Italia |
| - Tanska | - Latvia |
| - Viro | - Liettua |
| - Suomi | - Luxemburg |
| - Makedonia | - Malta |
| - Ranska | - Alankomaat |

- Norja
- Puola
- Portugali
- Romania
- Slovakia
- Slovenia
- Espanja
- Ruotsi
- Sveitsi
- Turkki
- Iso-Britannia

Tästä nähdään, että standardi koskee pääasiassa vain EU- ja ETA-maita, kuten kuvassa 7 näkyy.



Kuva 7. Maat joissa standardi on voimassa.

Portaille määritellään nousukulmaksi 20° - 45° , kuten kuvassa 8 nähdään.

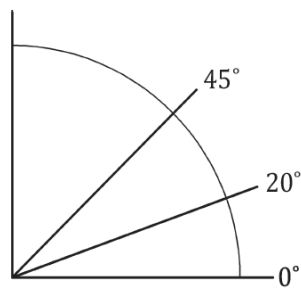


Figure 3 $20^{\circ} < \text{angle of pitch} \leq 45^{\circ}$ for a stair

Kuva 8. Portaiden nousukulma [1]

Standardissa merkittäväksi vaaroiksi tai haitoiksi, hoitotasoja ja portaita käytettäessä, käsitetään esimerkiksi [1]:

- Putoaminen
- Putoaminen korkealta
- Liukastuminen
- Kaatuminen
- Liiallinen fyysinen rasitus käytöstä (esimerkiksi pitkät ja jyrkät portaat)
- Tavaroiden ja esineiden tippuminen

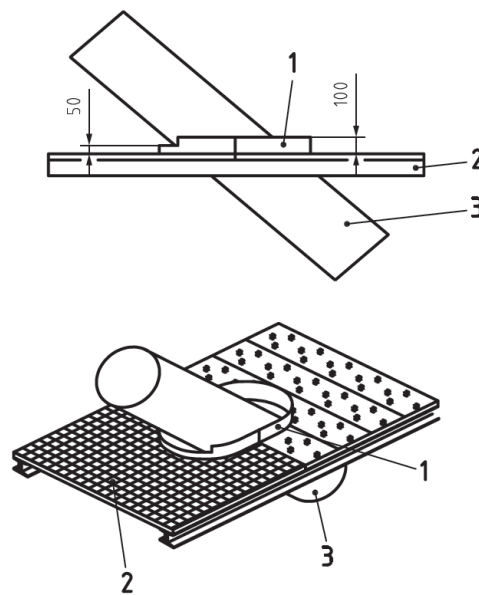
Suunnittelun ja valmistuksen osalta standardissa neuvotaan ottamaan huomioon, että hoitotasot ja portaat tulevat kestämaan oletettavat olosuhteet. Esimerkiksi mainitaan sään vaihtelut, kemikaalien kesto, eri osien mahdollisesti erilaiset lämpölaajenemisoiminaisuudet, liukastumissuoja sekä että aina kun on mahdollista, käytetään kiinteitä ratkaisuja. [1]

Myös laitteille pääsyyn esitetään, että toivottavin tapa on pääsy lattialta tai maantasolta, toiseksi parhaana vaihtoehtona on ramppi tai portaat ja viimeisenä tikkaat tai vinotikkaat. [1]

Jos hoitotasossa käytetään pohjana ritilää ja sijaintina on sellainen, että alla ei työskentele ihmisiä, annetaan ohjeeksi että 35 mm halkaisijaltaan oleva pallo ei pääse putoamaan läpi. Jos paikkana on sellainen, jossa voidaan olettaa ihmisten työskentelevän alapuolella, 20 mm halkaisijaltaan olevan pallo ei saa putoamaan läpi. [2]

Jos hoitotasossa on läpivientejä (esimerkiksi putkia varten) tarvitaan potkulista tai peitelevy. Potkulista tarvitaan myös hoitotason reunoihin. Potkulistan minimikorkeus on 100 mm, jos potkulistan kohdalla on este, voidaan tämän esteen kohdalta tyytyä minimissään 50 mm korkeaan potkulistaan. [2] Kuvassa 9 näytetään yksi esimerkki tällaisesta ratkaisusta.

Dimensions in millimetres

**Key**

- 1 toe-plate
- 2 detail enlargement of platform/walkway
- 3 pipe

Kuva 9. Kuva potkulistan mahdollisesta toteutuksesta [2]

Hoitotaso pitää mahdollisuuksien mukaan sijoittaa siten, että se mahdollistaa työskente-
lyn ergonomisesti, 500-1 700 mm korkeudella hoitotason pohjasta, ilman putoamisen
kohonnutta riskiä. [2]

Hoitotason vapaa leveys ja korkeus määrittyvät seuraavien seikkojen perusteella [2]:

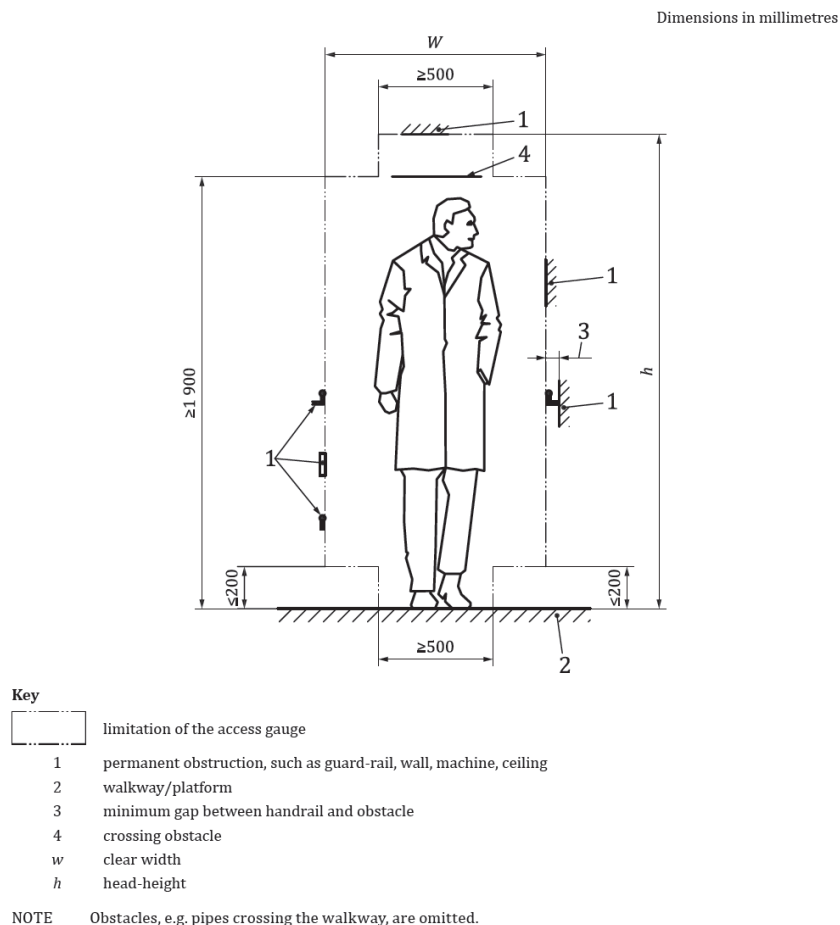
- Työn vaatimukset (muun muassa asento, voiman käyttö ja työn luonne)
- Tarvitseeko työkaluja tai varaosia kuljettaa mukana
- Kuinka usein ja kuinka pitkään hoitotasoa käytetään
- Kuinka monta henkilöä ja kuinka paljon varusteita tarvitaan samaan aikaan ta-
solla
- Tarvitaanko hoitotasolla kohtausta
- Tarvitseeko käyttäjien käyttää turvavarusteita (esimerkiksi kypäriä tai suojavaat-
teita)
- Onko esteitä
- Onko hoitotaso päättävä
- Onko seinät lähellä tasoa, likaantuvatko tai hajoavatko käyttäjän vaatteet

Ellei mikään (esimerkiksi yllämainitut) seikka rajoita, on vapaan korkeuden oltava mi-
nimissään 2 100 mm. Jos tarve vaatii (esimerkiksi putkisto kulkee hoitotason yläpuo-
lella), voidaan vapaa korkeus laskea minimissään 1 900 mm. Tällöin on käytettävä va-
roituskylttejä ja esimerkiksi pehmusteita. [2]

Vapaa leveys on oltava vähintään 800mm, paitsi jos hoitotasoa käytetään usein tai jos useampi henkilö käyttää sitä samanaikaisesti, tällöin vapaa leveys on minimissään 1 000 mm. Jos taas laitteen tai ympäristön tai vähäisen käytön takia (esimerkiksi alle 30 päivää vuodessa ja alle kaksi tuntia päivässä) voidaan vapaa leveys pienentää minimissään 600 mm. Lisäpoikkeuksena tason vapaa leveys voidaan pienentää minimissään 500 mm, lyhyeltä matkalla (alle 2 000 mm). [2]

Jos vapaa tila on rajoitettu lattian tasolla (esimerkiksi putkiston, sähköistyksen tai laitteiden takia) voidaan vapaa leveys myös alentaa 500 mm. Sama pätee myös, jos esteitä on pään korkeudella. [2] Ylläolevien tueksi on lisätty kuva 10 selventämään.

Jos näistä ylläolevista joudutaan poikkeamaan, täytyy turvallisuuteen kiinnittää erityistä huomiota. Esimerkiksi terävien kulmien eteen asennetaan suojat, käytetään pehmusteita sekä käytetään varoituskylttejä. [2]

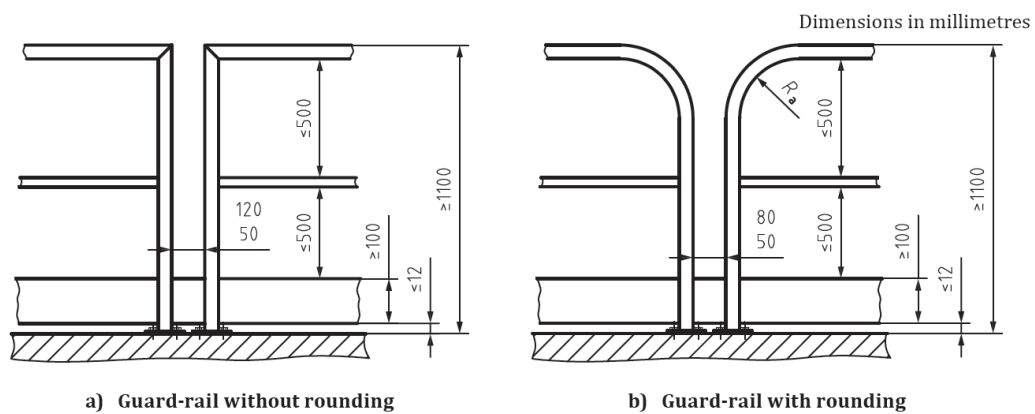


Kuva 10. Hoitotason vapaan kulun mitat [2]

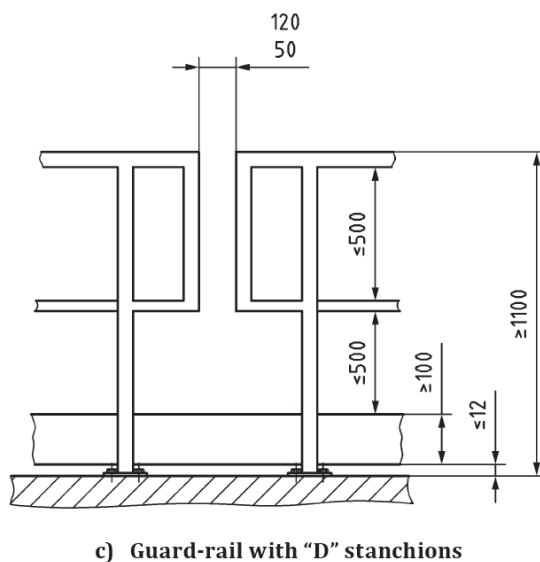
Jos hoitotasolta mahdollinen putoamiskorkeus on yli 500 mm, tarvitaan kaide. Jos laitteen tai seinän ja hoitotason väli ylittää 180 mm, tarvitaan kaide. Potkulista riittää, jos väli on 20 – 180 mm. [3]

Kaiteen käsijohteen minimikorkeus on 1 100 mm ja käsijohteen täytyy olla samansuuntainen kävelysuunnan kanssa. Kaiteessa täytyy olla myös vähintään yksi välijohte tai vastaava suoja. Välijohteen ja käsijohteen, sekä välijohteen ja potkulistan välinen vapaa väli ei saa ylittää 500 mm. Kaiteen pystyjohteiden väli ei saisi olla suurempi kuin 1 500 mm. Jos tästä poiketaan, niin erityistä huomiota tarvitsee kiinnittää kaiteen kiinnitykseen. [3]

Jos kaiteiden yläpään kulmaa ei ole taivutettu, kahden eri kaiteen päätytolppien väli pitää olla 50 – 120 mm. Jos kaiteiden yläpään kulma on taivutettu, välin pitää olla 50 – 80 mm. Taivutuksen maksimisäde on 200 mm. Jos kaiteissa käytetään D-jatkosta, välin pitää olla 50 – 120 mm. [3] Kuvassa 11 ja 12 näkyy kumpikin tapa.



Kuva 11. Kaiteen mitat [3]



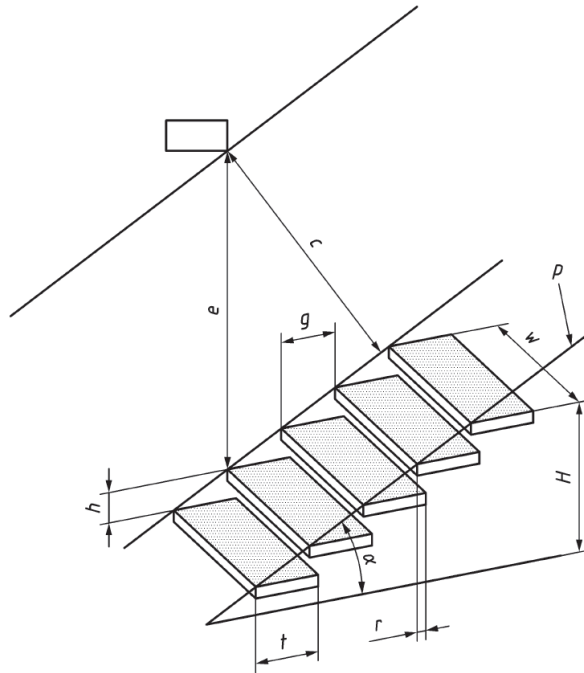
Kuva 12. Kaide D-jatkoksella. [3]

Kaiteiden ja johteiden päät pitää suunnitella siten, että terävistä reunoista ei aiheudu vaaraa (esimerkiksi aiheuttaa ruhjeita tai vaatteet jäävät kiinni). [3]

Portaiden standardin mukaiset mitat määritellään kaavoilla ja eri mitoilla on lyhenteitä. Nämä näytetään tarkemmin vielä kuvassa 13 ja 14. Taulukossa 1. kootaan vielä lyhenteet yhteen suomennettuina.

Taulukko 1. Portaiden mitoituksen lyhenteet

mitta	lyhenne
nousukorkeus	H
askelman vapaa syvyys	g
vapaa korkeus	e
nousu	h
päällekkäisyys	r
nousukulma	α
leveys	w
nousulinja	p
askelman syvyys	t
minimi vapaa tila	c



Key

H climbing height
g going
e head-height
h rise
r overlap

α angle of pitch
w width
p pitch line
t depth of step
c clearance

Figure 1 Parts of stairs

Kuva 13. Portaiden mitoitus [3]

Kaavat ja säännöt:

- Askelman vapaa syvyys ja nousu $600 \leq g + 2h \leq 660$ (mitat millimetreissä)

- g :n täytyy olla 210 mm ja 310 mm välillä
- r :n täytyy olla vähintään 10 mm
- h :n täytyy olla vakio samassa portaassa, ensimmäisen korkeutta voidaan laskea maksimissaan 15%
- Ylimmän askeleen täytyy olla tason kanssa samalla tasolla tai h :n verran alempana [3]

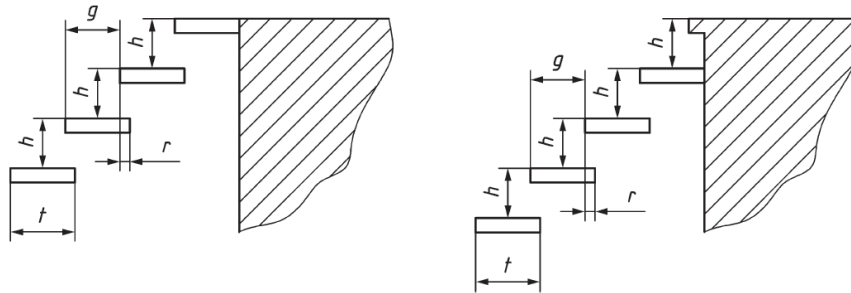


Figure 4 Positioning of the uppermost step

Kuva 14. Portaiden mitoitus [3]

Vapaan korkeuden pitäisi olla vähintään 2 300 mm, vapaan tilan minimi on 1 900 mm. Leveyden on oltava vähintään 800 mm, paitsi jos sitä pitkin kuljetaan usein tai sitä saat-
 taa käyttää useampi henkilö samaan aikaan, jolloin leveyden on oltava 1 000 mm. Paitsi
 jos kyseessä on alle 1 500 mm korkea porras, jolloin minimi leveys on 500 mm. Myös
 jos porrasta käytetään harvoin (esimerkiksi alle 30 päivää vuodessa ja vähemmän kuin
 kaksi tuntia kerrallaan) leveys voidaan tiputtaa 600 mm. Jos taas portaan alaosassa ei
 voida käyttää tuota 600 mm leveyttä, voidaan lattiantasosta seuraava askelman leveys
 alentaa 500 mm ja korkeus lattiasta mitattuna 200 mm. [3]

Yksittäisen portaatan nousukorkeus ei saa ylittää 4 000 mm korkeutta. Useamman portaatan
 yksittäinen porras ei saa ylittää 3 000 mm nousukorkeutta ja silloin tarvitaan välitaso.
 Välitason leveys pitää olla sama tai isompi kuin portaikon, mutta vähintään 800 mm. [3]

Portaiden suojakaiteisiin pätee hyvin pitkälle samat säännöt kuin hoitotasoihin. Portaissa pitää käyttää kahta kaidetta (yksi kummallakin puolella). Kuvassa 15 näytetään vielä mitat. [3]

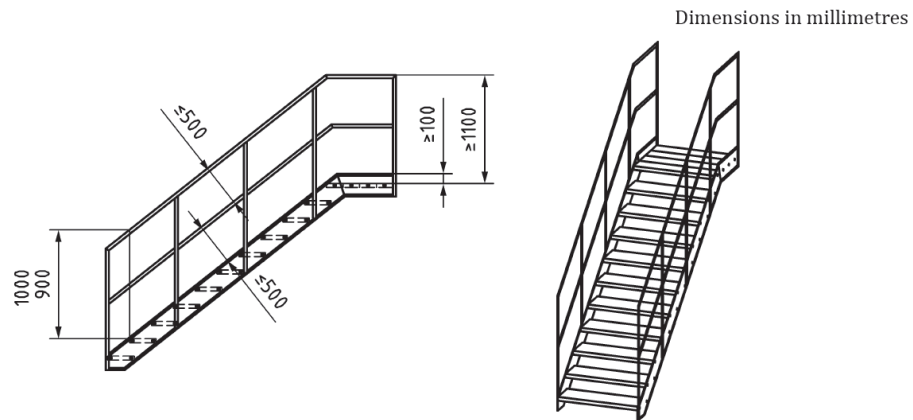


Figure 7 Example of a stair guard-rail and its continuation to the horizontal guard-rail

Kuva 15. Portaan kaiteiden esimerkkikuva [3].

2.2 Hoitotasojen, kaiteiden ja portaiden suunnittelu

Suunnittelussa on otettava huomioon standardi, joka on voimassa kyseisessä maassa. Kuten edellisessä osiossa tuli esille, standardi antaa kuitenkin vain pääasiallisesti rajat jonka sisällä pitää pysyä, jos vain mahdollista. Asiakkaallekin on helpompi perustella vakuuttavasti jotain ratkaisua, jos se on täysin standardissa suositeltujen mittojen mukainen.

Suunnittelussa on monta asiaa, jotka täytyy huomioida. Parhaassa tapauksessa voidaan käyttää vain standardin suositusta mitoituksessa (hoitotasojen standardin suosittamat mitat näkyvät taulukossa 2., portaiden standardin suosittamat mitat taulukossa 3. ja kaiteiden standardin suosittamat mitat taulukossa 4.), eli hoitotasolle:

Taulukko 2. Hoitotasojen suositellun mitoituksen yhteenveto

Tunnus	Mitta
vapaa korkeus	2 100 mm*
vapaa leveys	1 000 mm*
potkulistan korkeus	100 mm*
isoin aukko (josta seuraavan mitan halkaisijainen pallo ei mahdu putoamaan läpi)	35 mm*
työskentelykorkeus	500 – 1 700 mm

* suositeltava minimi

Portaille parhaassa tapauksessa standardin mitat olisivat seuraavat:

Taulukko 3. Portaiden suositellun mitoituksen yhteenveto

Tunnus	Mitta
vapaa korkeus	2 300 mm*
vapaa leveys	2 100 mm*
nousun korkeus	< 4 000 mm** < 3 000 mm***
askelmien päällekkäisyys	10 mm*
askelman vapaa syvyys	210 – 310 mm
askelmien nousu	145 – 225 mm
nousukulma	20 – 45°

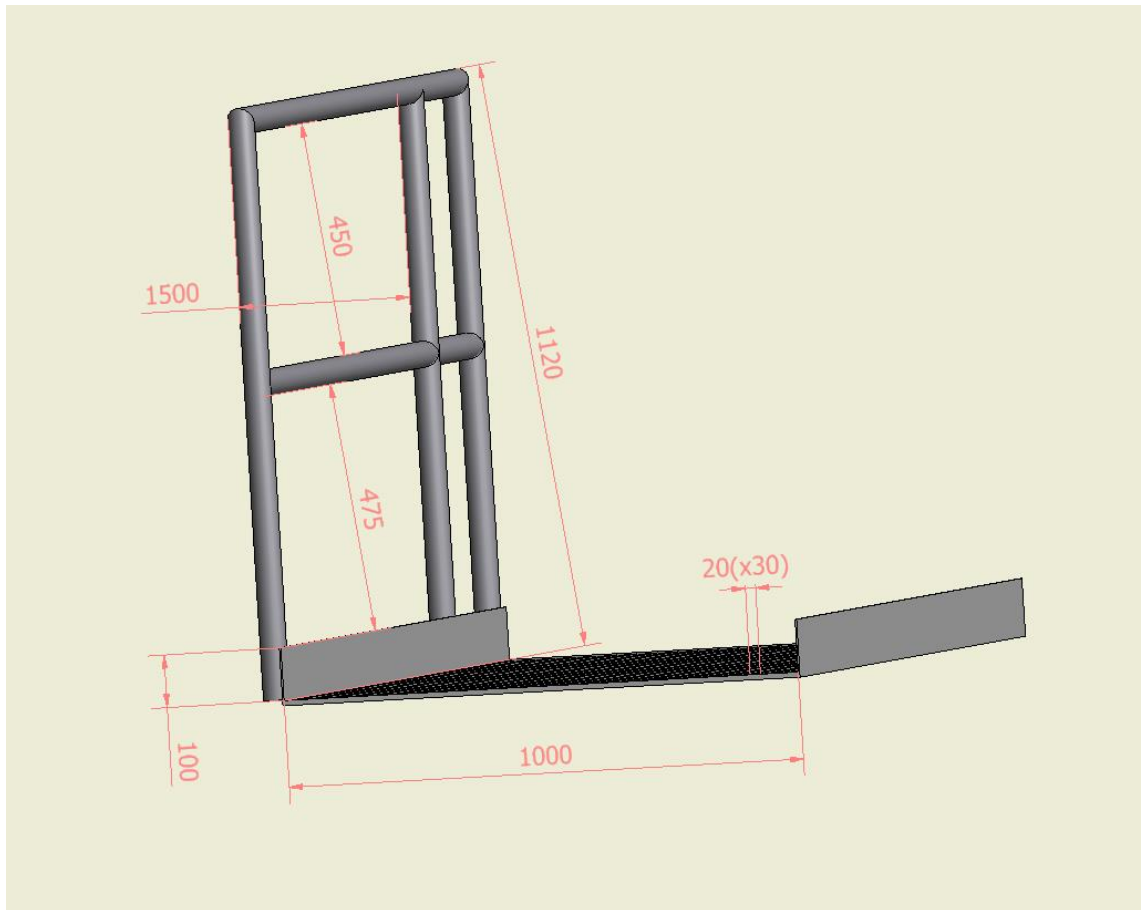
* suositeltava minimi. ** yhden portaan nousukorkeus. *** useamman kuin yhden portaan yksittäisen portaan nousukorkeus.

Kaiteilla vastaavat standardin mitat (tässä kohtaa ei huomioida onko kaiteissa pyöristetyt kulmat tai D-jatkokset) olisivat:

Taulukko 4. Kaiteiden suositellun mitoituksen yhteenveto

Tunnus	Mitta
käsijohde	1 100 mm*
pystyjohteiden väli	1 500 mm*
välijohteen ja käsijohteen vapaa väli	500 mm*
välijohteen ja potkulista vapaa väli	500 mm*

* suositeltava minimi



Kuva 16. Hoitotason ja kaiteen havainnekuva

Havainnekuvana on kuva 16, josta näkee miten nuo ylläolevat mitat näyttävät hoitotassossa ja kaiteessa. Kyseessä ei ole valmistettu osa, vaan pelkästään havainnekuva. Standardin rajojen sisällä pystyisi myös tekemään huomattavasti erinäköisen hoitotason sekä kaiteen.

3. SUUNNITTELUN AUTOMATISOINTI

Tässä luvussa käsitellään suunnittelun automatisointia. Ensin kerrotaan automatisoinnista yleisesti. Sitten käsitellään PDM:ää ja ERP:iä sekä automatisoinnin hyötyjä ja haittoja. Lopuksi käsitellään parametrisia muuttujia, mitä ne ovat ja mitä niillä voidaan tehdä. Parametrisista muuttujista annetaan myös esimerkki, jonka tarkoitus on selventää miten ne toimivat.

3.1 Automatisointi

Automatisoinnilla tarkoitetaan keinoa, systeemiä tai metodologiaa, jolla käytetään systeemiä (esimerkiksi tietokoneita tai robotteja) joka korvaa ihmisten työtä. [21] Suunnittelun automatisointi tähtää juuri samaan asiaan, eli suunnitteluautomaattilla korvataan ihmisten tekemää suunnittelutyötä.

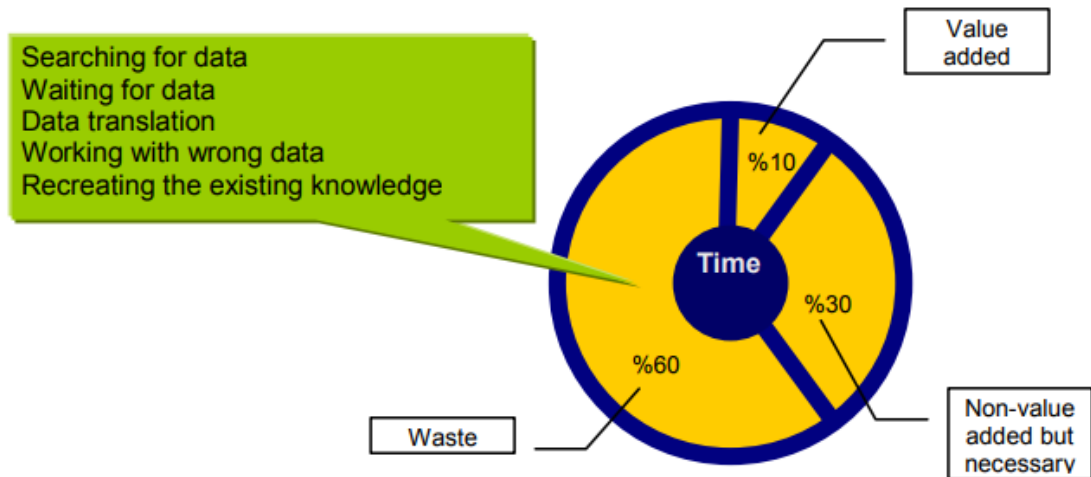
Automatisoinnissa on kuitenkin aina jollain tavalla mukana ihminen, joko ihminen on ollut tekemässä automaattia tai muuttamassa/huoltamassa sitä. Eli automaatio on inhimillisen toiminnan väline.

3.1.1 PDM

PDM eli Product Data Management eli tuotetiedonhallinta. Philpottsin [23] mukaan PDM auttaa pitämään kirjaa isosta määrästä informaatiota, jota tarvitaan suunnitteluun, valmistukseen ja rakentamiseen sekä näiden ylläpitoon. Tätä voidaan soveltaa suureen määrään eri tuotteita, eri aloilla ja koko organisaation alueilla. PDM:n hyötyihin kuuluvat esimerkiksi, suunnittelun ja valmistuksen kulujen säästöt, markkinoimiseen kuluvan ajan väheneminen tai tuotteiden laadun parantuminen. Hyödyt eivät kuitenkaan rajoitu näihin.

PDM huolehtii usein sähköisistä dokumenteista, digitaalisista tiedostoista ja tietokantojen arkistoista. Näihin kuuluu esimerkiksi tuotteen konfiguraatiot, osien määritelmät ja muu suunnittelun data, CAD-piirustukset, geometriset mallit, kuvat (skannatut piirustukset, sähköiset valokuvat jne) ja tekniset analyysit sekä näiden tulokset. [23]

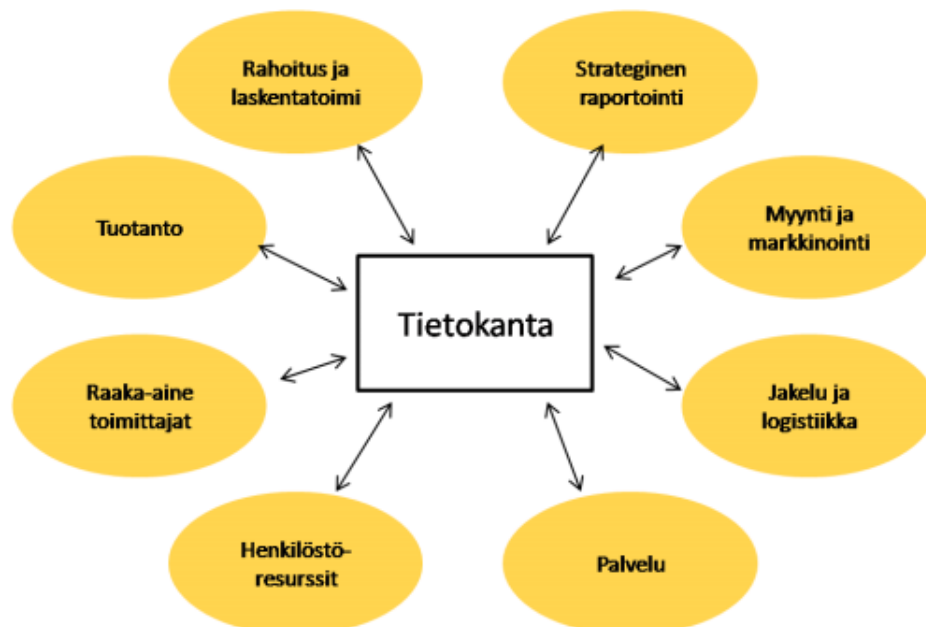
Datan ja informaation hallinta auttaa säästämään huomattavasti aikaa. Kuten kuvasta 17 näkee, aikaa kuluu huomattavasti turhaan sen takia että dataa ja informaatiota on vaikea etsiä, käsitellä ja hallita. Myös jos oikeaa informaatiota ei löydy, sitä tehdään helposti uudestaan (eli turhaan) tai sitten tehdään töitä väärällä datalla. Nämä kaikki vievät vain turhaa aikaa.



Kuva 17. Suunnittelussa kuluvan ajan jakautuminen [17]

3.1.2 ERP

ERP eli Enterprise Resource Planning eli toiminnanohjausjärjestelmä on laaja ja modulaarinen ohjelmistojärjestelmä jolla hallitaan yritysten prosesseja. Kuten esimerkiksi myyntiä, tuotantoa, logistiikkaa ja taloushallintoa. Nämä prosessit ovat näkyvissä kuvassa 18. ERP-järjestelmän päätyö on kerätä ja jakaa yrityksen dataa (esimerkiksi tilausten määrä tai tuotteen varastosaldo) siten ettei ylimääräistä turhaa tietoa tule tai ettei ylimääräistä turhaa työtä tarvitse tehdä. [19]



Kuva 18. ERP:n eri osa-alueita [20]

ERP-järjestelmän funktioilla hallitaan toiminnan eri prosesseja (esimerkiksi materiaalin hallinta, myynnin ja/tai toiminnan suunnittelua sekä tilauksien käsittelyä). ERP on mahdollista ostaa erikseen räätälöitynä pakettina (yleensä tämä vaihtoehto on epärealistinen, kustannusten takia) tai erikseen pakettina ”kaupan hyllyltä”. Jos se ostetaan erillisenä pakettina (eli räätälöimättömänä), sitä voidaan muokata sen jälkeen yrityksen tarpeiden mukaan. ERP-paketti voi olla yksittäinen ohjelmisto tai koostua eri ERP-paketeista. Jos ERP-koostuu eri paketeista, kustannuksia muodostuu paljon näiden eri pakettien yhteensovittamisesta. Tästä johtuen tämä tapa (ERP joka koostuu useista paketeista) on lähes kadonnut. [19]

3.1.3 Mahdolliset hyödyt ja haitat

Automatisoinnilla voidaan saavuttaa isoja hyötyjä, kuten;

- Tuotantoa voidaan kasvattaa (varsinkin jos pullonkaulana on toiminut aiemmin suunnitteluresurssit).
- Pienentynyt työvoiman tarve rutiinisuunnitteluun ja siten mahdollistetaan työvoiman käyttö isompaa arvoa tuottavaan työhön.
- Inhimillisten virheiden väheneminen ja niiden ehkäisy.

Nämä kaikki seikat palvelevat monella tavalla yritystä. Virheiden kustannukset yleensä nousevat, kunnes ne huomataan. Eli virheen kustannus on yleensä pienempi, jos se huomataan suunnittelussa, kuin jos se huomataan asennuksessa. Myös rutiinisuunnittelu vaikuttaa tähän, usein virheitä muodostuu suunnittelussa juuri yksinkertaisissa ja paljon toistoa vaativissa töissä. Tällaisia helppoja virheitä voidaan automatisoinnilla poistaa. Myös rutiinityön väheneminen saattaa parantaa työssä viihtyvyyttä, kun suunnittelija pääsee käyttämään aikaansa enemmän vaativiin töihin. Myös aikaa voidaan käyttää enemmän sellaisiin töihin, joissa lisäarvoa muodostuu enemmän. Kaikki seikat heijastuvat lopulta yrityksen kilpailukykyyn.

Mahdollisia haittoja suunnittelun automatisoinnissa on tietysti myös olemassa. Kustannusten kannalta ei välttämättä tiedetä tuleeko automatisointi koskaan maksamaan itseään takaisin (tekemiseen käytetty työ, mahdolliset muutokset järjestelmissä ja saavutettu etu). Myös mahdollinen CAD-ohjelman sovittaminen PDM:n sekä ERP:n saattaa muodostaa isoja kustannuksia, jotka ovat usein erittäin hyvin perusteltavissa, jos halutaan saada suunnitteluautomaatista eniten hyötyä irti.

Yksi kotimainen vaihtoehto ohjelmien linkitykseen olisi käyttää Roima intelligence inc:n valmistamia ohjelmia. Aton-niminen PDM ohjelma osaisi kommunikoida esimerkiksi tässäkin työssä käsiteltyjen ohjelmien (Solidworks, Inventor ja Vertex) kanssa sekä tämän lisäksi kommunikoida saman valmistajan ERP:n, Lean systemin kanssa. [22] Kun automatisointia suunnitellaan, yhteensopivuus eri järjestelmiin täytyy huomioida jo alkuvaiheessa. Ellei tätä huomioida kunnolla, niin yllättäviä kustannuksia saattaa

muodostua koska kustannukset saattavat olla valtavat, jos yhteensopivuutta ei ole ja tämän takia jouduttaisiin koko yrityksen järjestelmät vaihtamaan. Tai ostamaan palveluna räätälöinti ohjelmien välille.

3.2 Parametriset muuttujat

Parametrisia muuttujia käytetään apuna suunnittelun automatisoinnissa. Parametrinen muuttuja on periaatteessa funktio, joka antaa tietyillä lähtöarvoilla tietyn tuloksen. Luvussa 2.1 ja 2.2 kerrotaan, kuinka paljon mahdollisia muuttujia on hoitotasoissa, portaissa ja kaiteissa. Parametrinen muuttuja voi olla arvo tai ominaisuus. Parametrinen muuttuja voi olla esimerkiksi:

- Kappaleen (esimerkiksi metallilevyn) yhden sivun mitta tai paksuus
- Kahden kappaleen välinen kulma, tietystä suunnasta katsottuna
- Kappaleen pintakäsittely (esimerkiksi käsittelemätön, kuumasinkitetty tai maalattu)
- Kappaleen materiaali (esimerkiksi alumiini, normaali musta teräs, haponkestävä teräs, ruostumaton teräs tai vaikka muovi)
- Kappaleiden lukumäärä
- Kappaleiden tai ominaisuuksien lisäys tai poisto
- Ominaisuuksien määrä, niiden geometrinen kuvio tai mitoitus.

Parametrinen muuttuja voi olla adaptiivinen, eli se on sidottu yhteen tai useampaan lähtöarvoon tai muihin muuttujiin ja muuttuu näiden perusteella. Muutamia esimerkkejä adaptiivisista parametrisista muuttujista:

1. Leveys on puolet pituudesta
2. Jos kappaleen pintakäsittely on maalaus, poistetaan sinkitysreiät
3. Jos kappaleen materiaali on haponkestävä tai ruostumaton teräs, pintakäsittelyä ei tehdä ollenkaan.
4. Jos pituus on tasan tai alle 500 mm, Käytetään kahta tukipalkkia. Pidemmillä kappaleilla lisätään aina yksi tukipalkki jokaista alkavaa 500 mm kohden.
5. Jos kappaleen leveys on alle 200 mm, ilmoita virheellisestä mitasta. Jos kappaleen leveys on vähintään 200 mm ja enintään 400 mm, tee kaksi reikää 50 mm etäisyydelle kappaleen reunasta. Lisää jokaista alkavaa 150 mm kohden yksi reikä.

Näistä mahdollisen toteutus tehtynä Inventor ILogicin kanssa:

Kohta 1:

$\text{leveys} = 0.5 * \text{pituus}$

Eli pituus kerrotaan 0.5 jotta saadaan leveys, joka on puolet pituudesta.

Kohta 2:

```
If pintakäsittely maalaus = True Then
Component.IsActive("reikä") = 0
End If
```

Eli ensin katsotaan, onko totta, että pintakäsittelynä on maalaus, jos tämä ehto täyttyy, niin deaktivoidaan reikä ja sitten lopetetaan funktio. Tätä voisi vielä jatkaa siten että jos maalaus pintakäsittelynä on epätosi, aktivoidaan reikä ja lopetetaan funktio.

Kohta 3:

```
If materiaali haponkestävä = True Then
pintakäsittely = käsittelemätön
ElseIf materiaali ruostumaton = True Then
pintakäsittely = käsittelemätön
End If
```

Ensin katsotaan, onko totta, että materiaali on haponkestävää terästä, jos kyseinen lause on tosi, niin vaihdetaan pintakäsittely käsittelemättömään ja lopetetaan funktio. Jos kyseinen lause on epätosi, katsotaan, onko toinen lause tosi, eli onko materiaali ruostumaton terästä. Jos tämä lause on tosi, vaihdetaan pintakäsittely käsittelemättömään. Tässä lyhyessä koodinpätkässä funktio lopetetaan, vaikka materiaali olisi joku muu. Mutta pintakäsittelyä ei vaihdeta mihinkään.

4. TUTKIMUS

Tässä luvussa esitellään eri ohjelmistoja, miksi niihin päädyttiin ja niiden ominaisuuksia. Luvussa käsitellään myös mistä kustannuksia syntyy ja tehdään herkkyyshanalyysi kustannusten osalta. Myös kriteerien valintaa ja niiden painoarvoja esitellään sekä perustellaan. Viimeiseksi on vuorossa ohjelmien vertailu kriteerien pohjalta, lopussa myös kerrotaan, miten kriteerien sisällä pisteytys menee.

4.1 Ohjelmistot

Tässä työssä ohjelmien osalta valikoitui kolme eri ohjelmaa, alkukarsinnan jälkeen. Ohjelmien esittelyssä kerrotaan hyvin suppeasti ohjelmistoista, paneutuen enemmän tämän työn kannalta tärkeisiin ominaisuuksiin. Nämä kolme ohjelmistoa ovat Autodeskin Inventor, Dassault Systemesin Solidworks ja Vertex systemsin Vertex G4. Ainoa lisäosa ohjelmistoon on Solidworksiin. Lisäosan nimi on Automateworks ja se on suomalaisen Cadworksin tekemä.

4.1.1 Autodesk Inventor

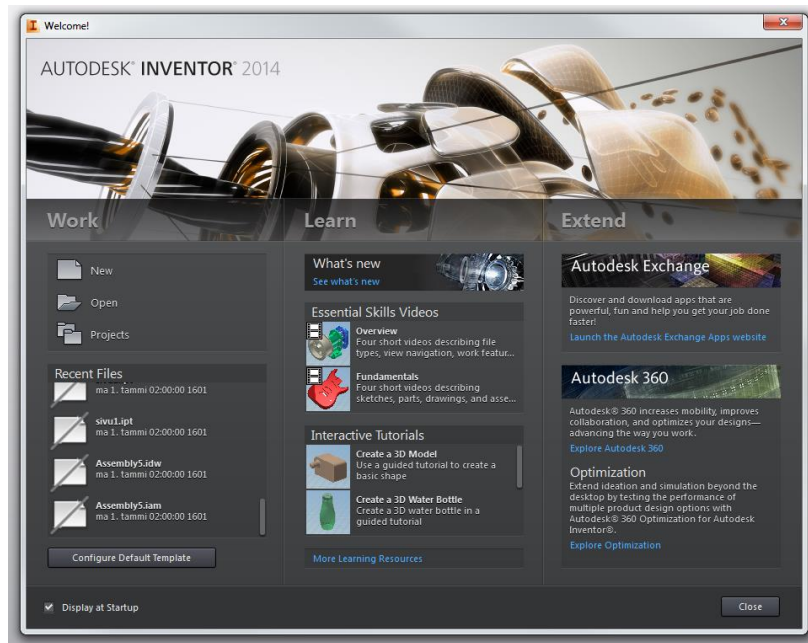
Inventor on Autodesk Incorporationin valmistama 3D-suunnitteluohjelma, jolla onnistuu muun muassa:

- 3D-mallinnus ja 2D-työkuvat
- Ohutlevyrakenteet ja profiilirakenteet
- Parametrinen mallinnus ja automatisoitu suunnittelu
- Rasitusanalyysi
- Tiedonhallinta
- Komponenttikirjasto

Inventorista on kaksi eri versiota, Inventor ja Inventor LT. Näistä kahdesta Inventor LT on näistä kahdesta halvempi sekä ominaisuuksiltaan rajoittuneempi. Inventor LT:sta puuttuu sellaisia ominaisuuksia mitä Inventorissa on. Tällaisia on esimerkiksi: [16]

- Ohutlevysuunnittelu
- Sähköjärjestelmien suunnittelu
- Putki- ja putkistosuunnittelu

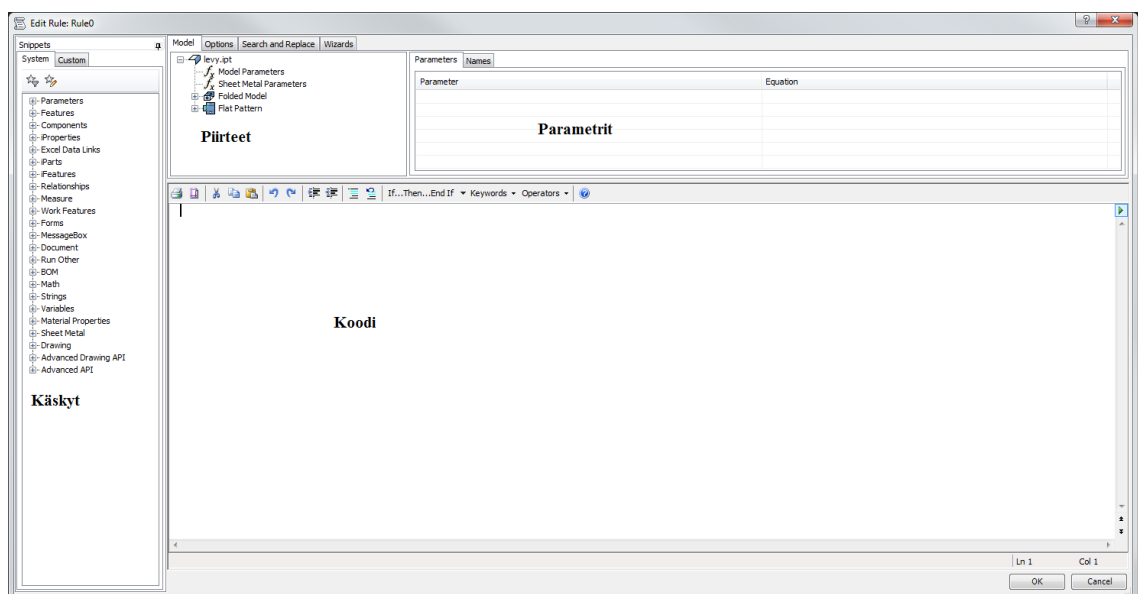
Tässä tutkimuksessa käsitellään kuitenkin pelkästään Inventoria, ei Inventor LT:tä.



Kuva 19. Inventorin aloitusnäky

Kuvassa 19 on Inventor-ohjelman aloitusnäky. Parametrisen mallinnuksen tekeminen aloitettaisiin tekemällä uusi projekti (Projects-nappi) ja sinne tehtäisiin malli. Tälle mallille lähdetäisiin tekemään parametri-ohjattua piirteitä.

Parametrinen mallinnus onnistuu ILogicilla, joka on siis parametreilla ohjattu sääntökirjasto. Parametreilla voidaan esimerkiksi ohjata sketchissä olevaa mitta, aineen paksuutta, osien lukumäärää tai aktivoida/deaktivoida osia. ILogic ymmärtää myös Visual Basic-ohjelmointikieltä. Visual Basic mahdollistaa useiden tiedostotyyppien kirjoittamisen ja lukemisen. [4][5] Kuvassa 20 nähdään näky, jonka kautta tehdään parametrien ohjelmointi, sekä säännöt parametreille.



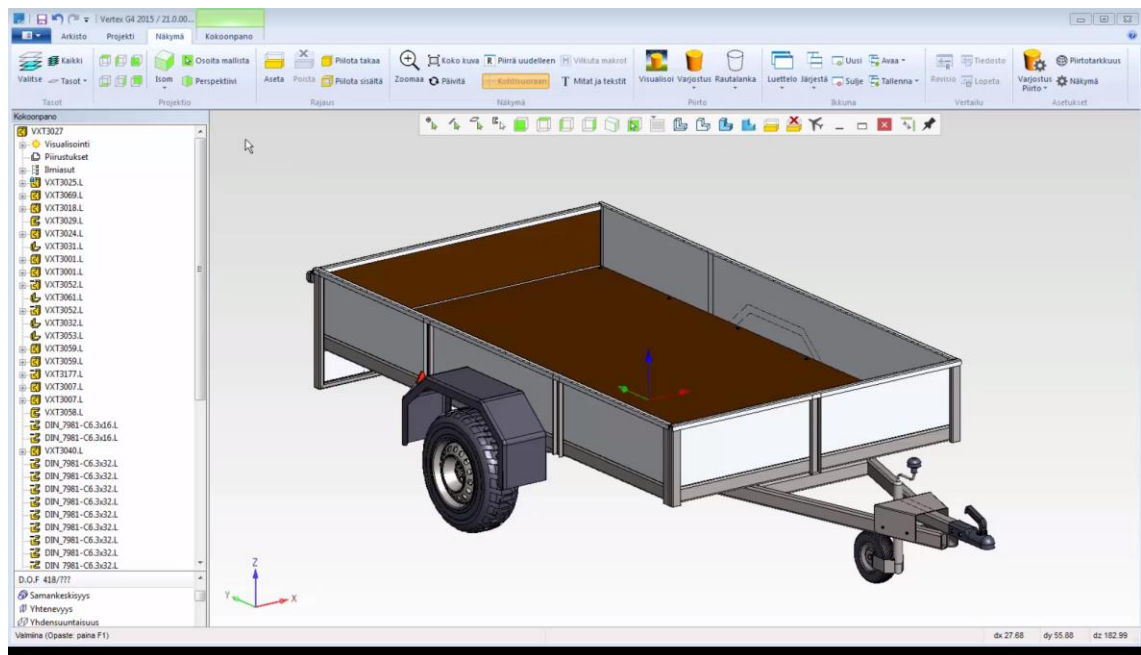
Kuva 20. Inventor sääntöjen luonti

4.1.2 Vertex Systems, Vertex G4

Vertex G4 mekaniikkasuunnitteluohjelma on Vertex Systemsin kehittämä ohjelma, jossa on vakiona: [13]

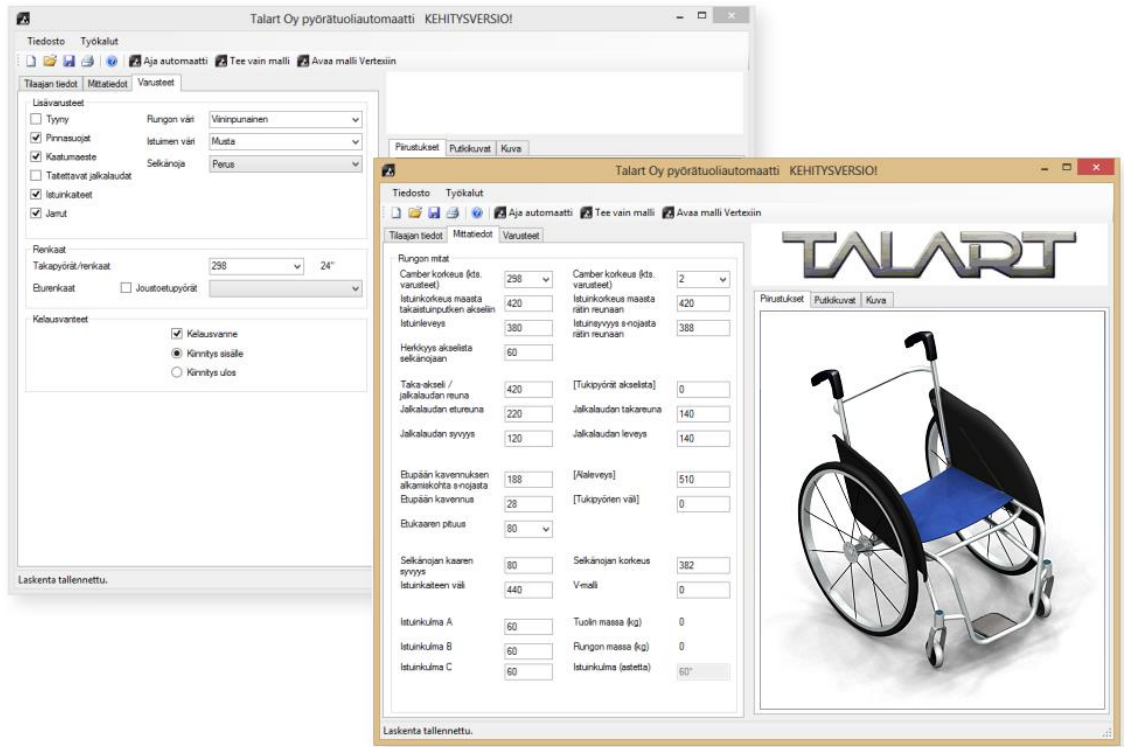
- Tiedonhallinta
- Standardien mukaiset piirustukset (2D-kuvat)
- Profiilirakenteet
- Ohutlevyrakenteet
- Ison kokoonpanon tuki
- Komponenttikirjasto
- Automatisoitu suunnittelu

Vertex G4 on Suomessa kehitetty ohjelmisto. Kuten kuvassa 21 näkyy Vertex G4 suunnittelunäkymä, käyttöliittymän kielikin on suomi. Vertexillä yksi vahvuus on suomenkielinen asiakaspalvelu ja ohjelmisto.



Kuva 21. Vertex G4 suunnittelunäkymä [13]

Kuvassa 22 näkyy Vertex G4 suunnitteluautomaatin näkymää. Tässä näkymässä näkyy erilaisia vaihtoehtoja, kuten ”aja automaatti”, jolla saadaan ajettua muutetut parametrit malliin ja päivitettyä malli. ”Avaa malli Vertexiin” avaa parametrien mukaisen mallin ohjelmaan.



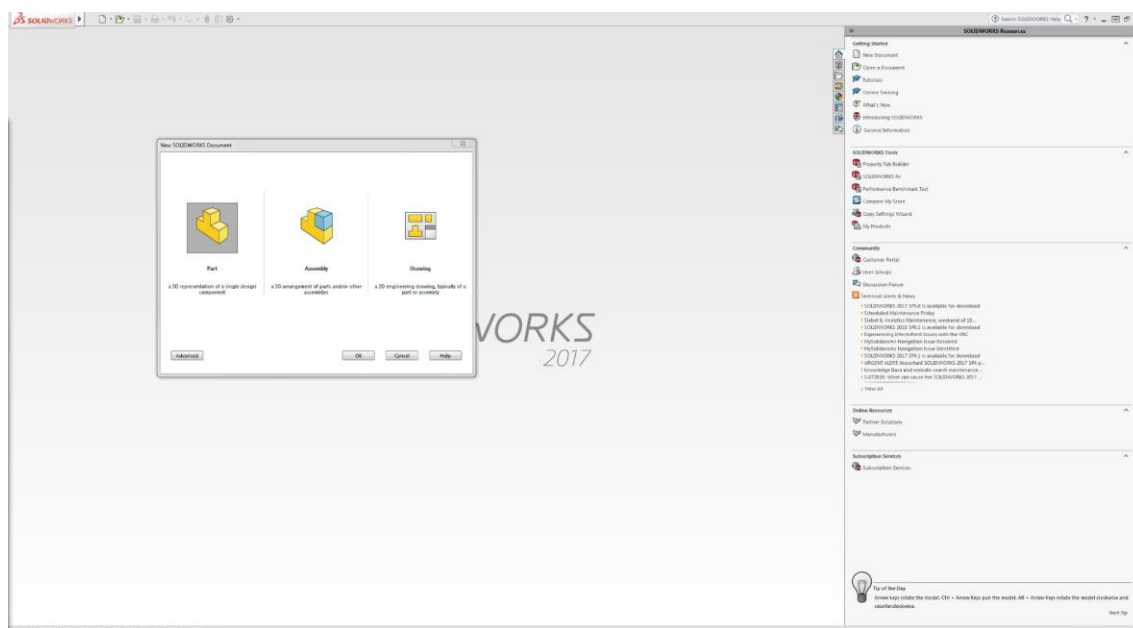
Kuva 22. Vertex G4 suunnitteluautomaatti [14]

4.1.3 Dassault systemes, Solidworks ja Cadworks, Automateworks

Solidworks (premium) on Dassault systemesin tekemä 3D-mallinnusohjelma, jolla onnistuu: [15]

- Muovi- ja valuosien suunnittelu, sekä muottien suunnittelu
- Ohutlevyrakenteet
- 3D-mallinnus ja 2D-työkuvat
- Hitsaukset
- Suurten mallien suunnittelu
- Putkien ja putkistojen suunnittelu
- Sähkösuunnittelu
- Komponenttikirjasto

Solidworksista on kolme eri versiota, Solidworks Premium, Solidworks Professional ja Solidworks Standard. Solidworks Standard on perusversio, josta puuttuu esimerkiksi komponenttikirjasto. Solidworks Professional on hieman parempi, siitä löytyy jo komponenttikirjasto. Mutta Solidworks Professionalista puuttuu putki- ja putkistosuunnittelu sekä sähkösuunnittelu. Solidworks Premium on näistä laajin versio. Siitä löytyy ylläolevassa listassa olevat ominaisuudet. Kuvassa 23 näkyy Solidworks Premiumin aloitusnäky.



Kuva 23. Solidworks aloitusnäky

Automateworks on lisäosa Solidworks ohjelmaan, sen kehittäjä on suomalainen cad-works-yritys. Automateworksin esitteen [18] se hallitsee esimerkiksi seuraavia toimintoja:

- *Muokattavan mallin avaaminen, sulkeminen ja tallentaminen uudella nimellä*
- *Mittamuutokset osissa tai kokoonpanon kiinnityksissä*
- *Komponenttien näkyvyyden hallinta (Suppress/Unsuppress)*
- *Komponenttien sisäisten versioiden vaihtaminen (Configurations)*
- *Komponenttien vaihtaminen toiseen (Replace)*
- *Piirustuksessa ja osaluettelossa näytettävien attribuuttitietojen muutokset (Custom Properties)*
- *SolidWorks-makrojen tai käyttöjärjestelmäkomentojen suorittaminen*
- *3D-mallien ja piirustusten tallennus esim. PDF, DWG, DXF, eDrawings,IGES, STEP tai JPG -muotoon.*

Esitteen [18] mukaan konfiguraattori toimii seuraavasti:

1. Syötetään lähtöarvot, jolloin ohjelma laskee muutokset komponenteissa
2. Muutokset siirretään Solidworks-malliin ja päivitys tapahtuu automaattisesti
3. Mallit ja mallien piirustukset kopioidaan erilliseen paikkaan
4. Kaikki kuvat ja polttoleikkauskuvat voidaan tulostaa massatulostustyökälulla.

4.2 Kustannukset

Automatisoinnissa kustannuksia muodostuu monesta eri asiasta, alla listattuna muutama

- Automatisointiin käytetty aika

- Tekijän työtunnit pois ”tuottavasta työstä”
- Ohjelmistojen lisenssien hinnat
- Muiden työntekijöiden koulutus, joka aiheuttaa kustannuksia kouluttajan sekä koulutettavien osalta
- Automaatin kehitys ja ylläpito
- Automaatin käsittelyn oppiminen

Osa kustannuksista on hyvin vaikea arvioida, ainakin sillä tavalla, että tuloksella olisi edes jotain painoarvoa. Joten tutkimuksessa tyydytään tarkastelemaan kustannuksia vain muutamalla muuttujalla ja tekemällä niiden kanssa herkkyysoanalyysi. Kustannuksissa ei myöskään ole laskettu mukaan aikaa joka mahdollisesti kuluu uuden ohjelmiston käsittelyn oppimiseen ja siihen, miten kaikki kannattaa tehdä. Tässä on isoja eroja, eri ohjelmien välillä.

Ensimmäisessä tapauksessa (taulukko 5.) automaattiin käytetty aika olisi 160 h. Tämä aika saattaa olla hieman liian optimistinen automaatin kokonaisvaltaiseen toteutukseen, eli tuloksiin kannattaa suhtautua varovaisesti, eikä ainakaan suunnitella mitään näiden tulosten mukaan. Tietysti kaiken mennessä kuten suunniteltu, ei tämä tulos ole kuitenkaan täysin mahdoton.

Taulukko 5. Kustannusten arviointi, ensimmäinen tapaus

Automaattiin käytetty aika	Kehitys ja ylläpito (vuodessa)	Saatava hyöty (vuodessa)	Erotus ensimmäisenä vuotena	Erotus kolmantena vuotena
160 h	40 h	80 h	(120 h)	(40 h)
		160 h	(40 h)	200 h
		320 h	120 h	680 h
	80 h	80 h	(160 h)	(160 h)
		160 h	(80 h)	80 h
		320 h	80 h	560 h
	120 h	80 h	(200 h)	(280 h)
		160 h	(120 h)	(40 h)
		320 h	40 h	440 h

*negatiivinen luku suluissa

Toisessa tapauksessa (taulukko 6.) automaattiin käytetty aika olisi 240 h. Tämä aika on todennäköisin automaatin kokonaisvaltaiseen toteutukseen kuluva. Näitä tuloksia voisi jo käyttää suunniteltaessa tulevaisuutta. Mukaan laskelmaan on otettu pientä varmuutta siitä, että ongelmia ilmenisi, mutta toisaalta tässä tapauksessa oletetaan että suuria ongelmia ei ilmene.

Taulukko 6. Kustannusten arviointi, toinen tapaus

Automaattiin käytetty aika	Kehitys ja ylläpito (vuodessa)	Saatava hyöty (vuodessa)	Erotus ensimmäisenä vuotena	Erotus kolmantena vuotena
240 h	40 h	80 h	(200 h)	(120 h)
		160 h	(120 h)	120 h
		320 h	40 h	600 h
	80 h	80 h	(240 h)	(240 h)
		160 h	(160 h)	0 h
		320 h	0 h	480 h
	120 h	80 h	(280 h)	(360 h)
		160 h	(200 h)	(120 h)
		320 h	40 h	360 h

*negatiivinen luku suluissa

Kolmannessa tapauksessa (taulukko 7.) automaattiin käytetty aika olisi 320 h. Tämä käytetty aika on hyvin varovainen ja sisältää turvamarginaaliakin jonkin verran. Eli jos lähdetään varovaisesti suunnittelemaan tämän ajan pohjalta, ei pitäisi suuria negatiivisia yllätyksiä tulla.

Taulukko 7. Kustannusten arviointi, kolmas tapaus

Automaattiin käytetty aika	Kehitys ja ylläpito (vuodessa)	Saatava hyöty (vuodessa)	Erotus ensimmäisenä vuotena	Erotus kolmantena vuotena
320 h	40 h	80 h	(280 h)	(200 h)
		160 h	(200 h)	40 h
		320 h	(40 h)	520 h
	80 h	80 h	(320 h)	(320 h)
		160 h	(240 h)	(80 h)
		320 h	(80 h)	400 h
	120 h	80 h	(360 h)	(440 h)
		160 h	(280 h)	(200 h)
		320 h	(120 h)	280 h

*negatiivinen luku suluissa

Kuten laskelmista näkee, ohjelmaan käytetyllä ajalla on erittäin iso vaikutus siihen, kuinka nopeasti hyötyä on mahdollista saada.

4.3 Kriteerit

Tärkeintä ohjelmien vertailussa on valita kriteerit ja kriteereiden painotus tarpeiden mukaan. Kriteereiden valinta alkoi tarpeellisten kriteereiden kartoituksella, jossa valittiin seuraavat kriteerit käytettäväksi:

- Hankinta- ja ylläpitokustannus.
- Käyttöliittymä
- Suorituskyky
- Piirustusten teko & laatu
- Markkinaosuus & tunnettavuus
- Kehitysresurssit & tulevaisuus
- Referenssit
- Suurten mallien hallinta
- Teräsrakennesuunnittelu
- Mallien varastointi ja hallinta
- Attribuuttien hallinta
- Grafiikkamoottori
- Visualisointi
- Suunnitteluautomaatit
- Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkaus

Perustelut jokaiselle kriteerille esitetään seuraavassa luvussa. Kriteerien valinnan jälkeen oli tarve saada kriteerien painotus kuntoon. Tämä aloitettiin tekemällä ristiinvertailu kriteerien kesken, jotta saatiin selville kriteerien tärkeys toisiinsa nähden. Näiden toimenpiteiden jälkeen saatiin määriteltyä tärkeys (pisteet, myös tästä lisää myöhemmin). Tärkeyden sekä ristiinvertailun sijojen yhdistelmällä saatiin merkittävyyspisteet. Pelkkä ristiinvertailun sijat tai merkittävyys eivät välttämättä kerro tarpeeksi ominaisuuksien tärkeydestä toisiinsa nähden. Tämän takia päädyttiin tekemään vielä painoarvot, jotta erot tulevat paremmin esille. Painoarvoissa on käytetty kerrointa vielä merkittävyyden lisäksi.

Osalla kriteereistä on hieman päällekkäisyyksiä toistensa kanssa, mutta tarkastelua varten oli parempi erotella nämä omiksi kriteereikseen, jotta eroja pystytään tarkastelemaan yksityiskohtaisemmin.

4.3.1 Kriteerien valinta

Hankinta- ja ylläpitokustannus valikoitui kriteeriksi, koska taloudellinen aspekti on tärkeä hankintoja suunniteltaessa sekä helposti ymmärrettävä peruste. Myös jos ohjelmistoa lähdetään hakemaan isommalle ryhmälle, kasvaa kustannusten merkitys huomattavasti. Arvosana määräytyy hankintakustannuksen sekä tietyn ajanjakson ylläpitokustannuksen yhteissummasta.

Käyttöliittymän peruste kriteeriksi pohjautuu siihen, että vaikka huononkin käyttöliittymän käytön oppii ajan kanssa, niin hyvän käyttöliittymän kanssa oppimiskäyrä lyhenee. Joka taas näkyy ohjelmiston käyttöönoton aikana sekä uusien työntekijöiden aloittaessa.

Tämä mahdollistaa pienemmät kustannukset sekä alkuvaiheessa (isoin yksittäinen kustannus) että myöhemmin.

Hyvä suorituskyky mahdollistaa nopeamman suunnittelun, säästäten näin sekä aikaa että rahaa. Suorituskyvyllä tarkoitetaan tässä tapauksessa pääasiassa sitä kuinka nopeasti parametrisella mallinnuksella tehdyt muutokset tapahtuvat ohjelmassa. Suorituskykyyn kuuluu myös se, miten ohjelma käsittelee useita auki olevia tiedostoja, sekä tiedostojen lataus ja käsittely. Kuten luvussa 3.2 kerrotaan, automatisointi perustuu parametrisiin muuttujiin ja luvussa 2.2 näytetään (taulukossa 2, 3 ja 4) mittoja on useita, isommissa kokonaisuuksissa mittojen ja parametrien määrä kasvaa erittäin isoksi. Tällöin suorituskykyä tarvitaan.

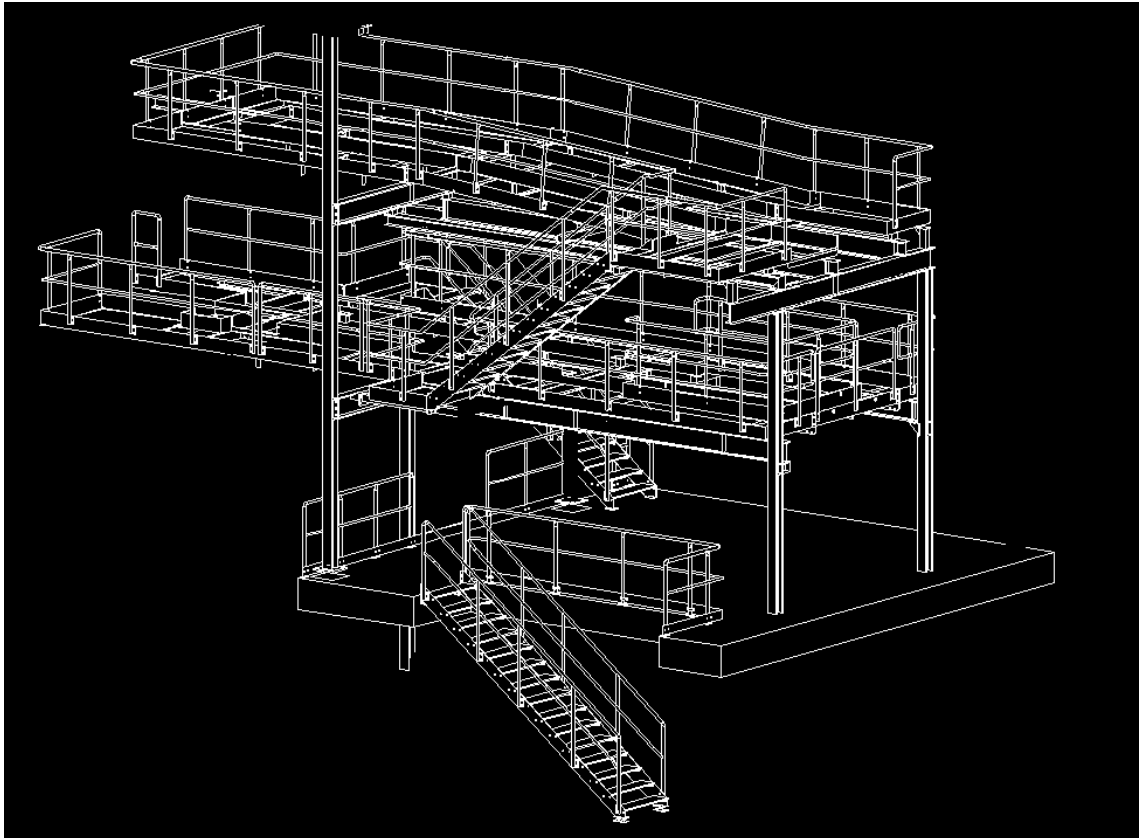
Piirustusten teko ja laatu käsittävät 2D-kuvien teon 3D-mallin pohjalta. Tähän sisältyy näkyvät viivat, piilomuotoviivat sekä mitoitus. Myös mahdolliset merkinnät (geometriset toleranssit, hitsausmerkinnät ja tekstit) kuuluvat piirustusten laatuun. Nykyisessä globaalissa maailmassa myös tekstien kääntyminen eri kielille on tärkeä ominaisuus piirustuksissa (tulostettavaan versioon voi valita mille kielelle teksti käännetään ja sähköisessä versiossa käänös tulee automaattisesti). Tämä kriteeri on vahvasti sidonnainen luvussa 3.1.3 esitettyihin hyötyihin ja haittoihin.

Markkinaosuuden ja tunnettavuuden valinta kriteeriksi perustuu siihen, että esimerkiksi markkinoiden johtaja luultavasti tulee päivittymään tulevaisuudessakin ja siihen valmistaja luultavasti panostaa. Eli ei tule pelkoa siitä, että ohjelmaa joudutaan vaihtamaan tulevaisuudessa toisen valmistajan vastaavaan. Myös tunnetulla ja isolla markkinaosuudella olevalla ohjelmalla saattaa olla merkitystä asiakkaalle. Tukea ja yhteensopivuutta löytyy yleensä enemmän isoista ohjelmistoista (jotka yleensä operoivat isolla markkinaosuudella ja ovat hyvin tunnettuja).

Kehitysresurssit ja tulevaisuus tarkoittavat osin myös samaa kuin markkinaosuus ja tunnettavuus, mutta ero tulee siinä, että hieman pienemmällä markkinaosuudella olevalla ohjelmalla saattaa olla takana ja oletettavasti edessä nopeaa kehitystä ja viitteitä saattaa olla siitäkin, että markkinaosuus ja tunnettavuus saattavat nousta hyvinkin nopeasti. Toki tulevaisuuden ennustaminen on mahdotonta, mutta valistunut ja analysoitu ennuste on yleensä parempi kuin puhdas arvaus.

Referenssit liittyvät myös kahteen edelliseen (eli kehitysresursseihin ja tulevaisuuteen sekä markkinaosuuteen ja tunnettavuuteen). Mutta jos referensseissä on paljon samalla alalla toimivia yrityksiä jotka ovat päätyneet kyseiseen ohjelmistoon, saattaa tämä tarkoittaa, että päätöstä tehdessä ei välttämättä oltu huomioitu ihan kaikkea ja ohjelmalla saattaa olla joitakin hyödyllisiä ominaisuuksia joista ei ollut tietoa. Referenssien käyttö valintaperusteena on myös psykologisesti tärkeä tekijä, on helpompi olla yhdessä väärässä, kuin yksin oikeassa. Toki tutkimus ei saisi pohjautua liikaa tähän, mutta tämä saattaa auttaa myös perusteluihin (esimerkiksi johtoportaalte) tietyn ohjelmiston suhteen.

Suurten mallien hallinta liittyy myös suorituskykyyn, mutta tämä valikoitui omaksi ehdokseen koska yleensä hoitotasot ja portaat saattavat muodostaa erittäin suuria kokonaisuuksia, kuten luvusta 2.1 on pääteltävissä. Kuten kuvasta 24 nähdään, rakennelma voi olla useammassa tasossa ja usein saatetaan joutua tekemään teräsrakenne erikseen, kun kaiteet, hoitotasot ja portaat laitetaan mallissa oikealle paikalleen. Ohjelmalla on suuri etu jos sillä pystyy tekemään tämän kaiken ja tarvittaessa näyttämään kokonaista mallia muille (esimerkiksi asiakkaille, asentajille tai muille työntekijöille).



Kuva 24. Hoitotasoja, portaita ja kaiteita sekä teräsrakennetta.

Teräsrakennesuunnittelusta tuli myös edellisessä kriteerissä jonkin verran tietoa, mutta tämä ansaitsee olla oma kriteerinsä. Teräsrakennesuunnitteluun kuuluu muun muassa rakennekirjastot (eri maissa käytössä olevat terästuotteet, kuten esimerkiksi RHS-palkki, kulmatanko ja IPE-palkki), automaattiset laippaliitokset, palkkien liitokset ja loveamiset. Tämä kaikki auttaa huomattavasti tuota edellisessäkin kappaleessa mainittua teräsrakenteen ja hoitotasojen, kaiteiden sekä portaiden yhdistämistä (nämä on esitetty tarkemmin luvuissa 2.1 ja 2.2). Sekä tietysti itse teräsrakennesuunnittelua. Koska teräsrakennesuunnitteluun sopivat ohjelmat pystyvät usein myös käsittelemään hyvin ja nopeasti suuria malleja, tässäkin tulee myös hieman päällekkäisyyttä suurten mallien hallinta -kriteerin kanssa.

Mallien varastointi ja hallinta ovat tärkeää, jotta tehtyä rakenteita voidaan hakea ja tarkastella. Myös mahdolliset myöhemmin tulevat muutokset helpottuvat, jos mallit ovat

tallessa ja niitä on helppo hallita. Jos malli on tehty luvussa 2.1 ja 2.2 esitetyillä standardin suositetuilla mitoilla, on erittäin todennäköistä, että osa on käytettävissä myös uudestaan. Hallinnassa on tärkeää myös muutostiedot, muutoshistoria ja revisiot (nämä tulevat toki suureksi osin PDM:sta). Aikaa (ja hermoja) säästyy myös siitä, jos varastoitujen mallien hakeminen on helppoa ja avattaessa latautuminen on nopeaa.

Suunnittelun automatisointiin kuuluu oleellisesti myös attribuuttien hallinta, kuten luvussa 3.2 todetaan. Tämän takia attribuuttien hallinta valikoitui myös kriteeriksi, vaikka voitaisiin sisältää suunnitteluautomaatit-kohtaan. Automatisoinnissa on erittäin tärkeää, että attribuuttien hallinta ja käyttö ovat helppoa, nopeaa ja vaivatonta. Koska koko automatisointi perustuu juuri attribuutti-pohjaiseen mallinnukseen. Oma kriteeri attribuuttien hallinnalle on siis hyvin perusteltavissa.

Grafiikkamoottori käsittelee osittain myös samaa kuin suurten mallien hallinta ja suorituskyky. Grafiikkamoottori on omana kriteerinään, jotta nähdään, tuleeko eroa mahdollisesti laitteistonvaatimuksena. Laitteistovaatimukset heijastuvat suoraan kustannuksiin. Jos tietokoneita joudutaan uusimaan, varsinkin jos ohjelmisto otetaan käyttöön kaikille työntekijöille, saattaa alkukustannus olla tämän suhteen isokin. Parhaassa tapauksessa nykyiset laitteet ovat riittäviä.

Visualisoinnilla kriteerinä tarkoitetaan muun muassa sitä, kuinka 3D-mallissa voidaan näyttää eri osat (muutetaan jotkin osat tietyn värisiksi) tai kuinka mallista voidaan näyttää leikkauksia. Visualisoinnilla tarkoitetaan myös sitä, kuinka nopeasti saadaan tehtyä esimerkiksi alustava malli ja muutama vaihtoehtoinen malli, joita voidaan vertailla helposti keskenään.

Suunnitteluautomaatti on luonnollisesti myöskin (tärkeimpänä) kriteerinä mukana vertailussa, hyödyt ja haitat löytyvät luvusta 3.1.3. Suunnitteluautomaatilla tarkoitetaan hyvin yleisesti ohjelmien mahdollisesti erilaisia ominaisuuksia suunnittelun automatisointiin. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi:

- Uusien kuvien automaattinen luominen alkuperäisen mallin pohjalta
- Materiaalitarpeen päivitys
- Uuden mallin tallennus ilman muutoksia alkuperäiseen malliin
- Kuvien automaattinen mitoitus

Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkaus kriteerinä saattaa vaikuttaa mitättömältä, mutta sillä on aika iso vaikutus. Jos kuvat saadaan tehtyä asiakkaan paperille ja otsikkotaulua pystytään muokkaamaan helposti ohjelmalla, vältetään siltä, että pitäisi käyttää toista ohjelmaa tähän.

Kriteerejä valikoitui yhteensä siis 15 kappaletta. Mahdollisuus olisi ollut käyttää isompaa tai pienempää määrää. Tämän suuntainen määrä mahdollistaa tiettyjen kriteerien

tarkemman tarkastelun, eikä silti kokonaismäärä kasva liian isoksi. Toki tälläkin määrällä on päällekkäisyyksiä.

4.3.2 Kriteerien painoarvot

Kriteerien painoarvojen määrittämistä käsiteltiin jo aiemmin, tässä tarkastellaan ja annetaan perustelut miksi mikäkin kriteeri määritettiin tietylle sijalle. Myös painotusta käsitellään.

Kriteereistä tärkeimmäksi valikoitui luonnollisesti suunnitteluautomaatit-kriteeri, tässä valinnassa ei ollut mitään epäselvyyttä koska tutkimus käsittelee nimenomaan suunnittelun automatisointia.

Toiseksi tärkeimmäksi kriteeriksi oli useampia vaihtoehtoja, valinnaksi kuitenkin tuli käyttöliittymä. Perusteina nopeampi käyttöönotto sekä alkuvaiheessa että uusilla työntekijöillä, jolloin työntekijät pääsevät nopeammin tuottaviksi, opiskelun ja tutustumisen sijaan. Myös jatkuva aikasäästö paremmasta käyttöliittymästä vaikutti isolta osin tämän kriteerin valintaa toiseksi tärkeimmäksi. Eli isolta osin taloudelliset kriteerit painoivat valinnassa vahvasti. Luvussa 4.2 esiteltiin osittain tätä, kustannuksissa tulee takaisinmaksuajan suhteen helposti isoja eroja. Myös luvussa 3.1.3 mainittuihin hyötyihin auttaa hyvä käyttöliittymä.

Mallien varastointi ja hallinta on kolmanneksi tärkein kriteeri. Perusteluina on mahdollisuus käyttää uudestaan samoja malleja sekä mahdolliset muokkaukset, joita saattaa tulla useinkin (esimerkiksi alkuperäisestä poikkeavat palkit, joiden takia joudutaan muuttamaan kaiteita, portaita tai hoitotasoja). Myös mallien muutoshistorian ja revisioiden näkyminen on tärkeää, jotta saadaan mahdolliset muutostiedot näkyviin. Tämä kriteeri olisi voinut olla myös huomattavasti alempana, riippuen siitä mitä osiota halutaan painottaa.

Neljänneksi tärkeimmäksi valikoitui kehitysresurssit ja tulevaisuus. Tässäkin valinnassa oli taloudelliset kriteerit vahvasti mukana. Painottamalla tätä kriteeriä, voidaan välttyä tilanteelta jossa automaatti ei olisi enää käyttökelpoinen ja automatisointi joudutaan aloittamaan alusta. Sisältäen uuden ohjelmiston opiskelun ja koulutuksen. Myös mahdolliset uudet ominaisuudet saattavat osoittautua hyödylliseksi, jolloin tuottavuus saattaa nousta.

Attribuuttien hallinta (tarkempaa tietoa attribuuteista luvussa 3.2) valikoitui vasta viidenneksi tärkeimmäksi, koska suunnitteluautomaatit-kriteerin kanssa on vahvoja päällekkäisyyksiä. Jolloin tämän painoarvoa voidaan hieman laskea, kun osa siitä huomioidaan jo toisaalla. Mahdollisesti tämän olisi voinut nostaa myös kolmanneksi ja tiputtaa mallien varastoinnin ja hallinnan sekä kehitysresurssien ja tulevaisuuden painotusta. Tässä tutkimuksessa päädyttiin ristiinvertailussa kuitenkin sijaan viisi.

Jaetulle kuudennelle sijalle valikoitui suorituskyky sekä piirustusten teko ja laatu. Suorituskyvyn tärkeys pohjaa pitkälti taloudellisiin aspekteihin ja siihen että automaattista saadaan mahdollisimman paljon irti tehokkaasti. Piirustusten teon ja laadun tärkeydessä on myös olennaista taloudelliset aspektit sekä se että muita ohjelmia ei tarvita tekemään asioita jotka voisi hoitaa yhdellä ohjelmalla. Myös kielten käännökset auttavat toimittamaan kuvat nopeammin asiakkaalle.

Jaetulle kahdeksannelle sijalle valikoitui hankinta- ja ylläpitokustannus sekä teräsrakennesuunnittelu. Hankinta- ja ylläpitokustannuksen tärkeys perustuu täysin taloudelliseen puoleen ja on sitä kautta helposti perusteltavissa hankintaa suunniteltaessa. Teräsrakennesuunnittelun tärkeys liittyy oleellisesti myös hoitotasojen, portaiden ja kaiteiden automatisointiin. Jos tutkimus tehtäisiin tyhjiössä, ilman taloudellisen seikkojen läsnäoloa, olisi tämä kriteeri ylempänä.

Suurten mallien hallinta on kymmenennellä sijalla. Kuten aiemmassa luvussa käsiteltiin, tällä ominaisuudella saadaan automaatin tuotokset (luvussa 2 käsitellyt hoitotasot, portaat ja kaiteet) ja teräsrakenne saattavat muodostaa isonkin kokonaisuuden. Tällä saadaan sidottua nämä yhteen ja näin ollen tämä muodostaa tärkeän ominaisuuden. Se että tämä kriteeri on näin alhaalla, johtuu osittain siitä, että teräsrakennesuunnittelu käsittää myös suurten mallien hallintaa (kuten aikaisemmassa luvussa käsiteltiin).

Referenssit, markkinaosuus ja tunnettavuus sekä grafiikkamoottori jakavat kolmestaan sijan 11. Grafiikkamoottoriin liittyviä tai päällekkäisiä osia käsiteltiin jo aiemmin ja niiden tärkeämpien ominaisuuksien takia tämä on viimeisten joukossa. Markkinaosuus ja tunnettavuus jää tässä tutkimuksessa hieman tärkeämpien ominaisuuksien (aiheen kannalta katsottuna) taakse. Vaikka kriteeri on tärkeä, sen kokonaispainoarvo ei ole kauhean iso tässä tutkimuksessa. Myös referensseihin pätee samat syyt. Erilaisessa tutkimuksessa jossa pääaihe ei ole suunnittelun automatisointi, nämä kaksi kriteeriä olisivat varmasti korkeammalla.

Visualisointi on sijalla 14. Tämäkin kriteeri on sellainen, että lähes jokaisessa ohjelmassa nämä aiemminkin esiintuodut ominaisuudet toimivat. Eli kauhean suurta painoarvoa tälle kriteerille ei voi antaa, kun erot ovat pieniä. Siitä huolimatta kriteeri on hyvä pitää mukana tarkastelussa.

Asiakkaan otsikkotaulujen muokkaus on viimeisellä sijalla, eli sijalla 15. Vaikka ominaisuutena tämä on tärkeä, painoarvo on pienin tässä tutkimuksessa.

4.3.3 Ohjelmistojen vertailu kriteereillä

Tässä tutkimuksen osiossa vertaillaan ohjelmia, aiemmin määritetyillä ja selitetyillä kriteereillä. Pisteytysten perusteita käsitellään taulukoiden alapuolella. Osa pisteistä on annettu nopean ja suppean kokeilun perusteella. Perusteellisempi tutkimus vaatisi laajan käyttökokemuksen kaikista tuotteista, monella eri osa-alueella.

Pisteytyksessä perustellaan mitä vaaditaan tiettyyn pistemäärään, näissä käsitellään pääasiassa vain mitä viiteen pisteeseen vaaditaan sekä ne pistemäärien vaatimukset joita kyseiset ohjelmat saivat. Jos yksikään ohjelma ei saanut esimerkiksi yhtä pistettä, yhden pisteen vaatimuksia ei käsitellä.

Pisteytys ei välttämättä mene lineaarisesti, vaan esimerkiksi kolmen ja neljän pisteen välillä saattaa olla isompi ero kuin neljän ja viiden pisteen välillä. Tämä mahdollistaa pienten, mutta tärkeiden ominaisuuksien (kriteerin sisällä) isomman painotuksen ja siten mahdollisesti tarkemman lopputuloksen.

Luvuissa 4.3.1 ja 4.3.2 on käsitelty tarkemmin, miten kriteerit liittyvät hoitotasoihin, portaisiin ja kaiteisiin (luku 2 kokonaisuudessaan) sekä automatisointiin (luku 3 kokonaisuudessaan).

hankinta- ja ylläpitokustannusten pisteytys:

Pisteet (esitetään taulukossa 8.) määräytyy suoraan rahalla mitattuna. Eli pisteet ovat kääntäen verrannolliset kustannuksiin nähden. Pienemmillä kustannuksilla tulee isompi pistemäärä ja sama tietysti toisinpäin, eli isommilla kustannuksilla tulee pienempi pistemäärä.

Tämän kriteerin pisteytys olisi voinut olla myös binäärityyppinen ”yksi tai nolla pistettä” tai esimerkiksi yhdestä kolmeen pistettä (tai muu väli). Tämä valittu ratkaisu (eli pisteitä tuli ohjelmille neljä tai viisi) kuitenkin huomioitiin ristiinvertailussa ja painoarvossa.

Tämä kriteeri menee pienellä erolla Inventorille. Johtuen edullisimmasta hankintahinnasta ja ylläpitokustannuksesta. Solidworksin arvosanaa laskee Cadworks-lisäosan hinnoittelu.

Taulukko 8. Hankinta ja ylläpitokustannusten vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	5	4	4

Käyttöliittymän pisteytys:

Täydet viisi pistettä tulee siitä, että lähes kaikki vaikuttaa olevan oikeassa paikassa, eikä joudu ihmettelemään, että miksi joku ei ole tässä paikassa. Eli käyttöliittymä tuntuu luonnolliselta ja helppokäyttöiseltä.

Inventor ja Solidworks jakavat tämän kriteerin kärkisijat (Pisteet ovat näkyvillä taulukossa 9.). Tämän kriteerin arvostelu pohjautuu täysin omiin kokemuksiini ja siihen, miten koen ohjelman käyttöliittymän.

Neljä pistettä tulee, jos osaa käyttöliittymästä joutuu pohtimaan, Vertex on tämän takia viimeisenä. Lyhyehkön käyttökokemuksen perusteella ei voi kuitenkaan sanoa, että Vertexin käyttöliittymä olisi selvästi huonompi kuin nämä perinteisemmät käyttöliittymät.

Taulukko 9. Käyttöliittymän vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	5	5	4

Suorituskyvyn pisteytys:

Täydet viisi pistettä olisi tullut, jos ohjelma ei olisi miettinyt yhtään, vaan kaikki olisi tapahtunut samantien. Yksikään ohjelma ei tähän pystynyt.

Solidworks ja Vertex jakavat tämän kriteerin kärkisijat (nämä pisteet esitetään taulukossa 10). Suorituskyvyn arviointi tapahtui lisäämällä, poistamalla ja muokkaamalla malleja.

Neljään pisteeseen pääsi, jos pientä pätkimistä esiintyi, muttei vielä sellaista, että käyttäjä turhautuisi. Solidworks ja Vertex täyttivät tämän.

Kolme pistettä tarkoittaa, että käyttäjä meinaa välillä turhautua odotukseen, vaikka pääasiassa ohjelma toimii hyvin. Inventorissa välillä ohjelma pätki niin paljon, että se saa kolme pistettä.

Taulukko 10. Suorituskyvyn vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	3	4	4

Piirustusten teko ja laatu pisteytys:

Inventor on tässä paras näistä kolmesta. Johtuen osittain siitä, että kuvat ovat täysin autocad yhteensopivia. Autocad on kuitenkin 2D-suunnittelussa alalla lähes standardi. Eli täysi autocad-yhteensopivuus on viisi pistettä.

Pieniä ongelmia yhteensopivuudessa on neljän pisteen arvoinen. Solidworksissa on piirustusten teko ja laatu hyvällä tasolla. Vaikkei Solidworks ihan Inventorin tasolle kykene pääsemään, näistä pienistä ongelmista ja puutteista johtuen, Solidworks saa neljä pistettä.

Isompia ongelmia (mitoituksen ja viivojen tasot, hitsausmerkit, osanumerot ja niin edelleen) yhteensopivuudessa tarkoittaa, että ohjelma saa vain kolme pistettä, Vertexissä näitä ongelmia on mielestäni niin paljon, että tätä joutui harkitsemaan vakavasti kahden

ja kolmen pisteen välillä, lopuksi pisteitä Vertex saa kuitenkin kolme. Pisteet ovat esillä taulukossa 11.

Taulukko 11. Piirustusten teon ja laadun vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	5	4	3

Markkinaosuus ja tunnettavuus pisteytys:

Vertex häviää tässä paljon, johtuen suomalaisuudesta. Solidworks on sitten lähes standardi alalla.

Viiteen pisteeseen tarvitaan juuri se, että ohjelma on lähes standardi alalla. Tästä johtuen Solidworks saa täydet viisi pistettä.

Neljä pistettä tarkoittaa, että ohjelma tunnustetaan ulkomaita myöden ja käyttöä esiintyy alalla yleisesti, vaikkei yleisin ohjelma olisikaan. Inventor on hieman Solidworksia jäljessä tässä, joten se saa neljä pistettä.

Kaksi pistettä tarkoittaa, että ohjelmaa käytetään Suomessa jonkin verran, mutta ulkomailla ohjelma on huomattavasti tuntemattomampi, tämä tarkoittaa Vertexiä. Pisteet nähtävillä taulukossa 12.

Taulukko 12. Markkinaosuuden ja tunnettavuuden vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	4	5	2

Kehitysresurssit ja tunnettavuus:

Inventor ja Solidworks ovat isojen monikansallisten yritysten tuotteita, joten kehitysresursseja löytyy kummaltakin ja molemmilla on iso osuus markkinoista. Joten tulevaisuuden näkymätkin ovat kunnossa molempien osalta. Tästä syystä kummallakin pisteitä viisi

Vertex on suomalaisen yrityksen tuote, jota markkinoidaan pääasiassa Suomessa, vaikka myyntipisteitä on myös ulkomailla. Eikä Vertexillä ole myöskään isoa markkinaosuutta kansainvälisesti. Tästä johtuen pisteitä tulee vain kaksi. Nämä pisteet esitetään taulukossa 13.

Taulukko 13. Kehitysresurssien ja tunnettavuuden vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	5	5	2

Referenssit:

Referensseistä Solidworksilla löytyy mm. Ford Motor Company, Assa Abloy, Leatherman tool group inc ja Massachusetts institute of technology. [10] Inventorilla referensseistä löytyy Norgren group, Vimek, Sunkist Research ja Ammann group. [11] Vertexillä löytyy referensseistä Biogts, Molok oy ja Novart. [12]

Yläpuolella olevista referenssilistoista näkyy, että Solidworksia käyttää erittäin isoja ja tunnettuja yhtiöitä, jotka toimivat globaalisti. Tämä oikeuttaa viiteen pisteeseen.

Inventorilla on hieman heikompia referenssejä, mutta kansainvälisiä yrityksiä löytyy. Tämä oikeuttaa neljään pisteeseen.

Vertexillä pääasiassa Suomessa toimivia yrityksiä. Tällä saa vain kolme pistettä. Pisteet taulukossa 14.

Taulukko 14. Referenssien vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	4	5	3

Suurten mallien hallinta:

Suurten mallien hallinnassa viisi pistettä vaatii ohjelmalta sen, että erittäin isokaan rakenne ei aiheuta pätkimistä ja osien vaihto rakenteella onnistuu välittömästi. Yksikään ohjelma ei siihen pystynyt riittävän hyvin.

Vertex selvisi paremmin kuin Inventor ja Solidworks. Eli Vertex sai sen takia neljä pistettä.

Solidworksin ja Inventorin välille ei isoa eroa syntynyt, joten kumpikin saa kolme pistettä. Taulukossa 15 on nähtävillä pisteet.

Taulukko 15. Suurten mallien hallinta vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	3	3	4

Teräsrakennesuunnittelu:

Teräsrakennesuunnittelun viisi pistettä vaatii automaattisesti tehtävät laipat tai laippakirjaston, kattavan rakennekirjaston sekä että loveamiset ja liitokset onnistuvat hyvin. Neljän pisteen arvoiseen suoritukseen kelpaa se, että yksi ylläolevista ei toteudu. Kolmeen pisteeseen riittää, että on yksi heikkous tai puute vielä neljän pisteen vaatimusten lisäksi.

Yksikään ohjelmista ei mahdollista automaattisesti tehtäviä laippoja. Se on Solidworksin ja Vertexin ainoa puute, liitokset onnistuvat erinomaisesti sekä kummassakin on laaja rakennekirjasto. Eli ne saavat molemmat neljä pistettä.

Inventorilla on myös laaja rakennekirjasto. Toisaalta sitten Inventorilla on pieniä puutteita laippojen lisäksi muualla, joten Inventor saa kolme pistettä. Pisteet esitetään taulukossa 16.

Taulukko 16. Teräsrakennesuunnittelun vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	3	4	4

Mallien varastointi ja hallinta:

Mallien varastoinnissa ja hallinnassa tarvitaan viiteen pisteeseen automaattinen uusien mallien luonti alkuperäisen pohjalta, muutostietojen tarkastelu ja helppo mallin muokaus. Neljä pistettä saa, jos on pieniä puutteita ylläolevissa. Kolme pistettä saa, jos on myös isompia puutteita. Erittäin isot puutteet aiheuttavat sen, että pisteitä ei saa kuin kaksi. Pisteet esitetään taulukossa 17.

Solidworks kuuluu neljän pisteen kategoriaan, pienten puutteiden takia. Vertex kuuluu hieman isompien puutteiden takia kolmen pisteen kategoriaan. Inventor kuuluu kahden pisteen kategoriaan.

Taulukko 17. Mallien varastoinnin ja hallinnan vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	2	4	3

Attribuuttien hallinta:

Attribuuttien hallinnassa viiteen pisteeseen vaatimukset ovat helppo ja visuaalinen attribuuttien luonti, muokkaus ja tallennus. Lisäksi attribuuttien kaavojen ohjelmoiminen pitäisi olla helppoa sekä nopeaa. Neljän pisteen arvoinen suoritus on, se että näissä on pieniä puutteita.

Solidworks täyttää kaikki viiden pisteen vaatimukset. Inventor ja Vertex täyttävät neljän pisteen vaatimukset. Pisteet esitetään taulukossa 18.

Taulukko 18. Attribuuttien hallinnan vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	4	5	4

Grafiikkamoottori:

Grafiikkamoottorin viiden pisteen vaatimus on, se että graafinen suorituskkyky on hyvää ja grafiikkamoottori on optimoitu erittäin pitkälle. Yksikään ohjelmista ei tätä täytä täysin. Neljässä pisteessä sallittaisiin pienet heikkoudet, tätäkään yksikään ohjelma ei täytä. Kolmeen pisteeseen riittää, että graafisesti kaikki on riittävän käyttökelpoista (eli välttävää tai tyydyttävää) ja optimointia on hieman tehty.

Kaikki kolme ohjelmistoa saavat tästä kolme pistettä. Pisteet esitetään taulukossa 19.

Taulukko 19. Grafiikkamoottorin vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	3	3	3

Visualisointi:

Visualisoinnissa viiteen pisteeseen vaatimuksena on laaja valikoima erilaisia visuaalisia ominaisuuksia (esimerkiksi värit, kuviot ja niin edelleen) sekä erittäin nopea visuaalisten tehosteiden vaihtaminen tai käyttäminen. Myös nopea alustavan mallin luominen pitäisi onnistua. Yksikään ohjelma ei tähän pystynyt. Pieniä heikkouksia ylläolevissa ominaisuuksissa ansaitsee pisteiksi neljä. Isommilla puutteilla arvosanaksi tulee kolme pistettä. Pisteet esitetään taulukossa 20.

Inventor pystyy visualisointiin neljän pisteen arvoisesti. Sekä Solidworks että Vertex pystyivät suoriutumaan visualisoinnista kolmen pisteen arvoisesti.

Taulukko 20. Visualisoinnin vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	4	3	3

Suunnitteluautomaatit:

Suunnitteluautomaatilla viiteen pisteeseen tarvitaan automaattinen uusien kuvien luonti alkuperäisen mallin pohjalta, rakenteiden päivitys, osamäärien muutokset sekä automaattinen mitoitus. Pienillä puutteilla ominaisuuksista pisteiksi tulee neljä. Kolmeen pisteeseen oikeuttaisi tulos jossa on suhteellisen isoja puutteita ylläolevissa ominaisuuksissa. Kaksi pistettä saa, jos ylläolevista ominaisuuksista on merkittäviä puutteita.

Ainoa ohjelma joka pystyi viiteen pisteeseen, oli Solidworks. Inventor pystyi taas neljän pisteen arvoiseen suoritukseen. Vertexillä on ja siten se saa kaksi pistettä. Pisteet esitetään taulukossa 21.

Taulukko 21. Suunnitteluautomaatin vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	4	5	2

Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkaus:

Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkauksessa viiteen pisteeseen riittäisi käännytuki ja tekstiblokkien muokkaus. Neljä pistettä saa pienillä puutteilla. Kohtalaisilla puutteilla pisteitä tulee kolme. Isoilla puutteilla pisteitä saa vain kaksi.

Solidworksilla on pieniä puutteita ja se saa siten neljä pistettä. Inventorilla on kohtalaisia puutteita ja se saa siis kolme pistettä., Vertex saa puutteiden takia kaksi pistettä. Pisteet esitetään taulukossa 22.

Taulukko 22. Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkauksen vertailu

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Pisteet	3	4	2

5. TULOKSIEN POHDISKELU

Tässä luvussa käsitellään tutkimuksen varsinaiset tulokset, eli miten niihin päästiin ja miten ohjelmistot vertautuvat toisiinsa. Luvussa pohditaan myös mitä kaikkea tuloksiin liittyy ja mitä muuta olisi voinut tuloksissa olla.

5.1 Tulokset

Kriteerien perusteella luotiin laskentataulukko (Kuva 25.), jossa huomioitiin ohjelmistojen tulokset ilman painotuksia ja painotuksien kanssa. Mukaan otettiin myös prosentuaalinen osuus maksimista, prosentit parhaaseen nähden, prosentit painotettuun keskiarvoon nähden ja prosentit normaalituloksen keskiarvoon nähden.

Painotuksien kerroin toisiinsa nähden määritettiin ristiinvertailulla (Kuva 26.), jossa otettiin aiemmin luvussa 4.3 määritetyt kriteerit huomioon. Lopulliset painotuksien arvot on laskettu erillisellä taulukolla (Kuva 27.), jossa on määritetty vielä lisäksi merkittävyys, ristiinvertailun lisäksi. Taulukossa 23. esitetään vielä ohjelmien pisteet sekä sijoitus.

Taulukko 23. Ohjelmien pisteet

Ohjelma	Inventor	Solidworks	Vertex
Painottomat pisteet	57	63	47
Painotetut pisteet	79.7	91.5	60.3
Sijoitus	2	1	3

Kuten tästä näkee, Solidworks voitti vertailussa sekä painotetuilla pisteillä että painottomilla pisteillä. Toisena vertailussa on Inventor, hieman Solidworksia jäljessä painottomilla pisteillä mitattuna ja suhteellisen paljon jäljessä painotetuilla pisteillä mitattuna. Kolmantena Vertex, molemmilla (painotetuilla ja painottomilla) pisteillä mitattuna.

Ominaisuus	Inventor	SolidWorks	Pistemäärät 1-5			Painoarvo	Painotetut pistemäärät			
			Vertex	Vertex	Vertex		Inventor	SolidWorks	Vertex	Vertex
Hankinta- ja ylläpitökustannus	5	4	4	4	0.9	4.5	3.6	3.6	4.5	
Käyttöliittymä	5	5	4	4	2.6	13	13	10.4	13	
Suorituskyky	3	4	4	4	1.2	3.6	4.8	4.8	6	
Pitruksusten teko & laatu	5	4	3	3	1.2	6	4.8	3.6	6	
Markkinaisuus & tunnetuus	4	5	2	2	0.5	2	2.5	1	2.5	
Kelitysresurssit & tulevaisuus	5	5	2	2	1.8	9	9	3.6	9	
Referenssit	4	5	3	3	0.5	2	2.5	1.5	2.5	
Suurten mallien hallinta	3	3	4	4	0.7	2.1	2.1	2.8	3.5	
Teräsrakennesuunnittelu	3	4	4	4	0.9	2.7	3.6	3.6	4.5	
Mallien varastointi ja hallinta	2	4	3	3	1.9	3.8	7.6	5.7	9.5	
Atribuuttien hallinta	4	5	4	4	1.6	6.4	8	6.4	8	
Grafiikkanoottori	3	3	3	3	0.5	1.5	1.5	1.5	2.5	
Visuaalisointi	4	3	3	3	0.2	0.8	0.6	0.6	1	
Suunnitteluautomaatit	4	5	2	2	5.5	22	27.5	11	27.5	
Asiakkaiden otsikkojen muokkaus	3	4	2	2	0.1	0.3	0.4	0.2	0.5	
Yhteensä	57	63	47	47	Keskiarvo 55.66666667					
Painotettuna	79.7	91.5	60.3	60.3	77.16666667	79.7	91.5	60.3	100.5	
Prosentti osuus maksimista	79.30 %	91.04 %	60.00 %	60.00 %						
Prosentti parhaaseen nähden	87.10 %	100.00 %	65.90 %	65.90 %						
Prosentti painotettuun keskiarvoon nähden	103.28 %	118.57 %	78.14 %	78.14 %						
Prosentti normaalituloksen keskiarvoon nähden	102.40 %	113.17 %	84.43 %	84.43 %						

Kuva 25. Laskentaulukko

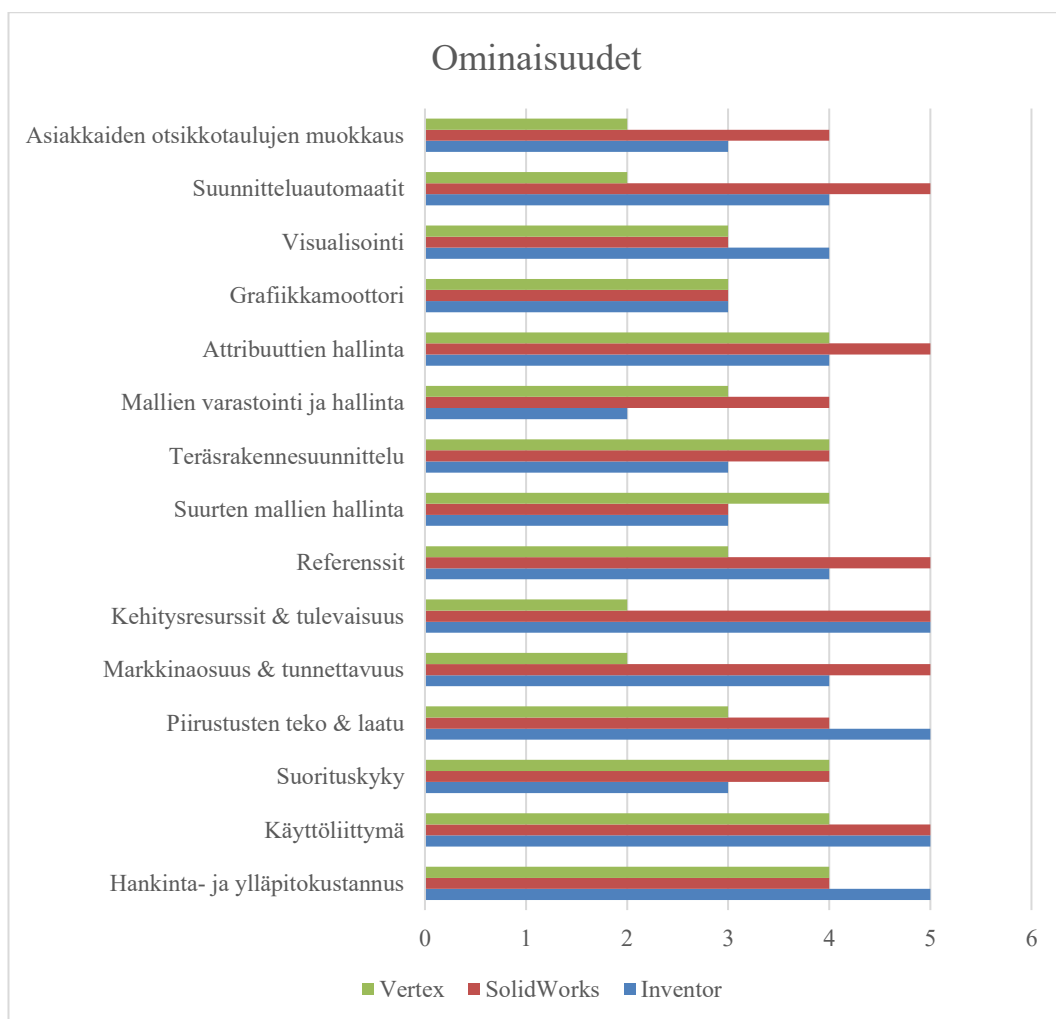
	Hankinta- ja ylläpitokustannus	Käyttöliittymä	Suorituskyky	Piirustusten teko & laatu	Markkinaisuus & tunnettuus	Kehitysresurssit & tulevaisuus	Referenssit	Suurten mallien hallinta	Teräsrakennesuunnittelu	Mallien varastointi ja hallinta	Atribuuttien hallinta	Grafiikkamoottori	Visualisointi	Suunnitteluautomaatit	Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkaus	Tulos (painoarvo)	sija (1-15, pienempi luku tärkeämpi)
Hankinta- ja ylläpitokustannus	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	7	8
Käyttöliittymä	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13	2
Suorituskyky	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	8	6
Piirustusten teko & laatu	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	8	6
Markkinaisuus & tunnettuus	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3	11
Kehitysresurssit & tulevaisuus	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	11	4
Referenssit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	3	11
Suurten mallien hallinta	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	6	10
Teräsrakennesuunnittelu	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	7	8
Mallien varastointi ja hallinta	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	12	3
Atribuuttien hallinta	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	9	5
Grafiikkamoottori	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	11
Visualisointi	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	14
Suunnitteluautomaatit	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	14	1
Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkaus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	15

Kuva 26. Ristiinvertailu

Painoarvojen laskennassa oli tärkeää määritellä, että miksi jokin arvo on huomattavasti suurempi kuin toinen ja millä kertoimella, vaikka eroa olisi vain yksi sija. Kuten seuraavasta huomataan, Käyttöliittymä sija 2. ja Suunnitteluautomaatit sija 1. eroa on 17 pistettä ja prosentuaalisesti sija 1. on yli 60% suurempi kuin sija 2.

Ominaisuus	Sija	Pisteet	Merkittävyys	Kerroin	Painoarvo
Hankinta- ja ylläpitokustannus	8	7.00	0.85	1.0	0.9
Käyttöliittymä	2	14.00	1.71	1.5	2.6
Suorituskyky	6	10.00	1.22	1.0	1.2
Piirustusten teko ja laatu	6	10.00	1.22	1.0	1.2
Markkinaisuus ja tunnettavuus	11	5.00	0.61	0.8	0.5
Kehistysresurssit ja tulevaisuus	4	12.00	1.46	1.2	1.8
Referenssit	11	5.00	0.61	0.8	0.5
Suurten mallien hallinta	10	6.00	0.73	1.0	0.7
Teräsrakennesuunnittelu	8	7.00	0.85	1.0	0.9
Mallien varastointi ja hallinta	3	13.00	1.59	1.2	1.9
Atribuuttien hallinta	5	11.00	1.34	1.2	1.6
Grafiikkamoottori	11	5.00	0.61	0.8	0.5
Visualisointi	14	2.00	0.24	0.7	0.2
Suunnitteluautomaatit	1	15.00	1.83	3.0	5.5
Asiakkaiden otsikkotaulujen muokkaus	15	1.00	0.12	0.6	0.1
Yhteensä		123.00	15.00	16.80	19.90
Keskiarvo		8.20	1.00	1.12	1.33

Kuva 27. Painoarvojen laskenta



Kuva 28. Kuvaaja pisteiden jakautumisesta

Kuvasta 28 nähdään vielä visuaalisesti erojen muodostuminen eri ohjelmistojen kesken. Kuten taulukosta huomataan, aika monessa kohtaa punainen palkki (Solidworks) saa täydet pisteet. Myös sininen palkki (Inventor) saa täysiä pisteitä. Vertex ei saa yhdestäkään kategoriasta täysiä pisteitä.

Jos suunnittelun automatisointia lähdetään nyt toteuttamaan, tutkimuksen tuloksena on selvästi se, että Solidworks + Automateworks järkevin ja suositeltava valinta sen toteutukseen.

5.2 Pohdiskelu

Tuloksien takana olevassa vertailumallissa on paljon omakohtaista kokemusta ja tietoa sekä ohjelmistoista että teoriasta suunnittelun automatisoinnin sekä hoitotasojen suhteen. Tämän takia on mahdollista, että vertailumallissa saattaa olla rajoitteita tai kiistanalaisia kriteereitä tai pisteytyksiä.

Tutkimuksen rajoittaminen koskemaan vertailumallia hoitotasojen suunnittelun automatisoinnin suhteen, vaikuttaa siten että jotain muissa automatisoinneissa (mahdollisesti) tärkeitä kriteerejä on jätetty huomioimatta tai ne ovat liian vähällä huomiolla tässä tutkimuksessa. Tätä on kyllä koitettu huomioida varsinkin teräsrakenteiden ja suurten mallien suhteen.

Suunnitteluautomaatti-kriteerin suuri painotus vaikuttaa siten että muiden kriteerien puuttuminen tai pieni painoarvo ei nouse niin suureksi ongelmaksi. Tietysti myös eri ohjelmiston yhteensopivuus -kriteerin (suunnitteluohjelmiston yhteensopivuus PDM- ja ERP-järjestelmiin) puuttuminen saattaa vaikuttaa tuloksiin (yhteensopivuuden hyötyjä esitetty luvussa 1.1). Tämän käyttö olisi laajentanut tutkimusta aivan valtavaksi, koska erilaisia ohjelmia on merkittävä määrä.

Myös vain kolmen ohjelmiston käyttö voidaan vertailussa asettaa kyseenalaiseksi, tällä rajoituksella saatiin tutkimusta rajattua suppeammaksi ja siten itse tutkimuksen ytimeen (eli vertailumalliin) pystyttiin panostamaan enemmän.

Tutkimuksen tulos on pienoinen yllätys, omiin ennakko-odotuksiini nähden. Erot olivat suuremmat kuin kuvittelin ja laskentamallin tulos ei ollut aivan se mistä olisin tehnyt aluksi valistuneen arvauksen. Tutkimus onnistui siis erittäin hyvin, koska nyt on olemassa perusteltu, laskentamallin avulla tehty, vertailu. Onnistumiseksi voidaan laskea myös se, että arvioitu lopputulos oli erilainen kuin toteutunut lopputulos. Tämä taas kertoo oletettavasti siitä, että tutkimukseen ei ole vaikuttanut merkittävästi henkilökohtaiset mielipiteet tai mieltymykset.

5.3 Tutkimuksen yleistettävyys ja jatkotutkimus

Aiemmin mainittu mahdollinen tiettyjen kriteerien puuttuminen tai pieni painoarvo jättää mahdollisuuden jatkaa tutkimusta myöhemmin yleisemmässä mittakaavassa. Jos kyseessä on esimerkiksi täysin moduloitu tuote, voisi asiakkaiden otsikkotaulujen muokaus -kriteeri olla isommalla painoarvolla tai teräsrakenteiden suunnittelu pienemmällä. Kriteereinä voisi olla myös esimerkiksi:

- Ohutlevysuunnittelu
- Putkistosuunnittelu
- Koulutusmateriaali
- Tekninen tuki
- Lujuuslaskenta, lujuuden tarkastelu ja yhteensopivuus lujuuslaskenta-ohjelmistoihin
- Ohjelman käyttö etänä (joko ilman nettiyhteyttä tai virtuaalityöpöydällä)

Myös erikseen mainittu ohjelmistojen yhteensopivuus -kriteerin puute, kannattaa ottaa huomioon, jos tutkimusta lähdetään toistamaan, jatkamaan tai tarkentamaan. Mieluiten

siten että muut käytettävissä olevat ohjelmat ovat tiedossa, viimeistään kun tutkimus aloitetaan.

Tutkimusta voi myös jatkaa mahdollisesti eri ohjelmistoilla tai lisäämällä ohjelmistoja vertailuun. Laskentamalli ei aseta tälle rajoituksia, vaan skaalaus useaan ohjelmaan on toteutettavissa.

Tutkimuksessa tuotettu laskentamalli pitäisi olla helposti yleistettävissä useaan muihunkin kohteeseen, pienillä muutoksilla. Mahdollisilla kriteerien muutoksilla (lisäys, poisto tai painoarvon muutos), ohjelmistojen vaihtamisella tai mahdollisesti ohjelmistojen saadessa päivityksiä tai lisää ominaisuuksia, voi olla suurikin vaikutus laskentamallin tuloksiin. Jos suunnittelun automatisointia lähdetään toteuttamaan tulevaisuudessa, kannattaa tarkistaa onko kaikki tiedot vielä ajantasaisia.

6. YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoitus oli, saada aikaan laskentamalli jolla voidaan vertailla eri ohjelmistojen sopivuutta suunnittelun automatisointiin, tässä kyseisessä tapauksessa rajoitettujen hoitotasojen, portaiden ja kaiteiden suunnittelun automatisointiin. Tutkimuksen alussa esiteltiin hoitotasot, portaat ja kaiteet, niiden standardia ja niiden suunnittelua. Sen jälkeen käsiteltiin automatisointiin liittyviä asioita, sekä automatisoinnin hyötyjä ja haittoja.

Tämän tutkimuksen oleellisin osuus on tutkimuksessa esitelty ohjelmistojen vertailu kriteereillä. Vaikeinta oli valita riittävä määrä sopivia kriteerejä, liian vähän kriteerejä ja painoarvot saattavat vääristää tulosta liikaa, eikä kaikkea tule otettua huomioon. Jos kriteerejä olisi liian paljon, suurin osa kriteereistä olisi joko erittäin pienellä painoarvolla tai suurin osa kriteereistä ei olisi pienellä painoarvolla, jotka kummatkin saattavat vääristää lopputulosta. Tähän liittyy myös kriteerien perustelut, jokaisen kriteerin kohdalla piti pohtia, onko se tarpeellinen vai turha verrattuna muihin.

Kun kriteerit oli valittu, oli suhteellisen helppo edetä siitä. Enää piti määrittää kriteerien tärkeysjärjestys, joka onnistui suhteellisen helposti ristiinvertailun avulla. Sen jälkeen oli vuorossa vielä painoarvot ja niiden valinta, joka ei myöskään ollut läheskään yhtä työlästä kuin kriteerien valinta. Näiden jälkeen oli helppoa tehdä vertailumalli. Vertailumallissa ohjelmien vertailu oli myös suhteellisen helppoa ja nopeaa, koska käyttökoke-musta ohjelmista löytyi ja tämä säästi sekä aikaa että työtä vertailussa.

Vertailumalli onnistui hyvin ja sitä voidaan käyttää muussakin kuin hoitotasojen, portaiden ja kaiteiden suunnittelun automatisoinnin ohjelmien vertailussa. Luultavasti myös vertailumallin tulos otetaan merkittävästi huomioon jos (ja kun) suunnittelun automatisointia näiden osalta lähdetään toteuttamaan eli ohjelmia valitsemaan. Eli tutkimusta voidaan pitää hyvin onnistuneena.

Tutkimus päättyy Albert Einsteinin toteamukseen [24] *Tärkein asia on olla lopettamatta kyselemistä.*

LÄHTEET

- [1] SFS-EN ISO 14122-1:2016, Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 1: Kahden tason välisen kiinteän kulkutien valinta. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2016
- [2] SFS-EN ISO 14122-2:2016, Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutiet. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2016
- [3] SFS-EN ISO 14122-3:2016, Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2016
- [4] Autodesk Inventor overview, saatavissa: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> (viitattu 2.12.2017)
- [5] Autodesk Inventor, ILogic functionality, saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/Inventor/files/GUID-B98DF82D-E489-4C19-8351-11C0ED63C349-htm.html> (viitattu 2.12.2017)
- [6] Rapoport, R.N., Three dilemmas of action research. Human Relations, 1970. 23: p. 499
- [7] Susman, G.I. and R.D., Evered, An assessment of the scientific merits of action research. Administrative science quarterly, 1978. 23(4): p. 582-603.
- [8] Argyris, C., Reasoning, learning and action: individual and organizational. 1982, San Francisco: Jossey-Bass Publishers
- [9] Zhiqiand, J., Xilan, F., Xianzhang, F., Jinfa, S., A study of the information integrated approach on CAx and ERP for aviation manufacturing enterprise based upon PDM. 2011, management and service science, international conference.
- [10] Dassault Systemes, Solidworks, Customers, saatavissa: <http://www.solidworks.com/sw/successes/customer-success-stories.htm> (viitattu 21.11.2017)
- [11] Inventor, Case studies, saatavissa: <https://www.autodesk.eu/products/inventor/case-studies> (viitattu 21.11.2017)
- [12] Vertex Systems, Uutiset ja tapahtumat, saatavissa: <https://www.vertex.fi/web/fi/uutiset-ja-tapahtumat> (viitattu 22.11.2017)
- [13] Vertex Systems, mekaniikkasuunnittelu, saatavissa: <https://www.vertex.fi/web/fi/mekaniikkasuunnittelu> (viitattu 27.11.2017)

- [14] Vertex Systems, tuoteautomaatti, saatavissa: https://www.vertex.fi/documents/99885/106518/Tuotteet_G4_tuoteautomaatti_1000.png/9506b93d-fa9d-496d-92de-c7accb4b931d?t=1428999299240 (viitattu 27.11.2017)
- [15] Dassault Systemes, Solidworks capabilities, saatavissa: <http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/capabilities.htm> (viitattu 26.11.2017)
- [16] Autodesk Inventor, Inventor vs Inventor LT, saatavissa: <https://www.autodesk.eu/compare/inventor-vs-inventor-lt> (viitattu 3.12.2017)
- [17] Ameri, F. Dutta, D. Product lifecycle management: closing the knowledge loops. Computer-Aided Design & Applications, Vol. 2, No. 5, 2005
- [18] Cadworks, Automateworks 4 PDF-esite, saatavissa: http://www.cadworks.fi/sites/cadworks.fi/files/inline-files/AutomateWorks_4_esite_FIN%20%28ID%203015%29.pdf (viitattu 1.12.2017)
- [19] Vilpola, Inka. Applying user-centred design in ERP implementation requirements analysis, Tampere University of Technology, Publication 739, 2008, 1-5 p.
- [20] Hurri, Lauri. CAD-ohjelmiston ja ERP-järjestelmän intergraatio, Tampereen teknillinen yliopisto, 2009, s. 5.
- [21] Economic Times, What is automation, saatavissa: <https://economictimes.indiatimes.com/slideshows/work-career/the-why-what-and-how-of-automation-and-its-impact-on-job-market/what-is-automation/slideshow/57062526.cms> (viitattu 2.12.2017)
- [22] Roima Intelligence, Tuotehallinta, saatavissa: <https://roimaint.fi/tuotehallinta/aton-tuotteen-elinkaaren-hallintaan/> (viitattu 28.11.2017)
- [23] Philpotts, Mike. An introduction to the concepts, benefits and terminology of product data management, 1996. MCB University press.
- [24] Quotation page, Albert Einsteinin sitaatit, saatavissa: <http://www.quotationpage.com/quote/1433.html> (viitattu 4.12.2017)