

Ville Lehtinen

Suunnitteluautomaatti

Kuljetin

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Koulutusohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Ville Lehtinen

Työn nimi: Suunnitteluautomaatti: Kuljetin

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2018

Sivumäärä: 50

Liitteiden lukumäärä: 1

Opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa kolakuljettimelle suunnitteluautomaatti Team Vesmes Oy:n käyttöön. Käyttöliittymänä toimii Excel-pohja, jolla ohjataan kokoonpanoa muuttamaan halutunlaiseksi. Suunnitteluautomaatin tarkoitus on poistaa suunnittelusta johtuvia virheitä, vähentää dokumentointiin käytettyä aikaa, tehostaa suunnitteluosaston toimintaa ja vapauttaa osaston resursseja muihin tehtäviin.

Työssä tutustuttiin tuotekehityksen teoriaan, minkä jälkeen etsittiin suunnitteluautomaatin valmistamiseen vaadittavaa informaatiota. Aiheen yksityiskohtaisuuden takia siitä löytyi vain vähäisistä tietolähteistä mainintoja. Suunnitteluautomaatin valmistamisen kannalta todettiin, että mallin pitäisi olla modulaarinen, jotta sitä voisi hyödyntää automaatilla. Suunnitteluautomaatti valmistettiin Vertex G4 -mekaniikka-suunnitteluohjelmalla, jonka sisäisen tietokannan varaan automaatin teoria pitkälti perustuu. Alustavan suunnittelun jälkeen tehtiin tuotteiden mallinnusta suunnitteluautomaattia varten hyödynnettäviksi. Kolakuljetin koostuu neljästä pienemmästä kokoonpanosta, jolle määritettiin omat yksilölliset tarpeet muuttua automaattia ajassa. Jokaiselle kokoonpanolle tehtiin ensin omat suunnitteluautomaatit ja vasta lopuksi kokoonpanot liitettiin toisiinsa, jolloin saatiin aikaiseksi täysimittainen kolakuljetin.

Kolakuljettimen suunnitteluautomaatti osoittautui erinomaisesti toimivaksi kokonaisuudeksi. Käyttöliittymä saatiin tehtyä helposti omaksuttavaksi ja automaatti toimimaan luotettavasti. Suunnitteluun käytettyä aikaa kyettiin merkittävästi lyhentämään ja suunnittelusta johtuvia inhimillisiä virheitä vähentämään.

Avainsanat: tuotekehitys, tietokoneavusteinen suunnittelu, suunnitteluautomaatti

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Ville Lehtinen

Title of thesis: Automatic designer

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2018

Number of pages: 50

Number of appendices: 1

The main goal of this thesis was to manufacture an automatic designer of a scraper conveyor for Team Vesmes Oy. As the user interface of the automatic designer there is an Excel table whereby the diameters of the conveyor can be determined. The purpose of the automatic designer is to reduce human mistakes, increase effectiveness of the planning department and target the department's resources better.

First, information was collected about product development and computer aided designing. After that study concentrated on the automatic designer and its operating principles. The automatic designer was planned with Vertex G4 software and most of the information about the automation came from the internal database of the software. After the research started the designing of the product models which could be used at the automatic designer. The scraper conveyor consists of four different smaller assemblies and specific requirements were determined for each them. After preparing the automatic designer for every assembly, the assemblies were integrated together to create a final, fully working scraper conveyor.

The automatic designer of the scraper conveyor worked very well and it fulfilled the targets of the project. With the automatic designer, the planning time of the conveyor decreased considerably and the possibility for human errors diminished. The outcome of the thesis was successful.

Keywords: product development, computer aided design, automatic design

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ	3
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO	5
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET.....	6
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset	8
1.3 Työn rakenne	9
1.4 Yritysesittely	10
2 TUOTESUUNNITTELU JA MALLINNUS.....	11
2.1 Suunnittelu konetekniikassa.....	11
2.2 Tuotekehitysprosessi	13
2.2.1 Tuoteohjelman suunnittelu	14
2.2.2 Konseptisuunnittelu.....	15
2.2.3 Systeemisuunnittelu.....	15
2.2.4 Detaljisuunnittelu.....	16
2.2.5 Testaus ja parannus	16
2.2.6 Tuotannon käynnistäminen	16
2.3 Tietokoneavusteinen suunnittelu.....	17
2.4 2D-piirustus ja 3D-mallintaminen	18
3 SUUNNITTELUAUTOMAATTI	20
3.1 Vertex ja suunnitteluautomaatit	20
3.2 Suunnitteluautomaatin esivalmistelu ja rakentaminen.....	21
4 KOLAKULJETTIMEN SUUNNITTELUAUTOMAATTI	26
4.1 Suunnittelun aloitus.....	27
4.2 Rungon valmistelu automaatiksi.....	28
4.3 Kulman valmistelu automaatiksi	32
4.4 Taittopään valmistelu automaatiksi	36
4.5 Vetopään valmistelu automaatiksi.....	38

4.6 Kuljettimen rakentaminen automaatiksi.....	39
5 PROJEKTIN ETENEMISEN TARKASTELU JA TULOKSET	43
5.1 Projektin eteneminen ja haasteet.....	43
5.2 Tulokset ja tavoitteet	45
6 YHTEENVETO JA POHDINTA	46
LÄHTEET	48
LIITTEET	50

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Tuotekehitysprosessin kuvaus asiakaslähtöisestä tarpeesta.	13
Kuvio 2. Tuoteideasta tuotteeksi.	13
Kuvio 3. Tuotekehityksen eri vaiheet.	14
Kuvio 4. Koordinaattiakselit x,y ja z.	19
Kuvio 5 Osalle annettu mitta-arvo ja sille on nimetty viittaus kaavakenttään.	22
Kuvio 6. Kokoonpanon ominaisuudet ponnahdusikkuna, jossa määritetään polku käyttöliittymälle ja komentotiedostolle.	24
Kuvio 7. Kolakuljetin, jonka pohjalta lähdettiin rakentamaan malleja suunnitteluautomaattia varten.	27
Kuvio 8. Välituen alkuperäinen malli vasemmalla puolella ja suunnitteluautomaattia varten muokattu malli oikealla puolella	29
Kuvio 9. Exceliin kirjoitettu esimerkkikaava.	31
Kuvio 10. Automaatin ja asennuksen tekemisen helpottaminen loveamalla upotuskohta poikkituelle.	32
Kuvio 11. Kulman painin, jonka luonnos on apuviivoilla piirretty muuttumaan kulman, säteen ja korkeuden mukaan.	34
Kuvio 12. Lattateräksellä suunniteltu tuenta.	36
Kuvio 13. Takalevyyn tehty paikoitusreikä tukilevyä varten.	36
Kuvio 14. Kahden kappaleen elementtien nimeäminen automaatissa.	40
Kuvio 15. Kolakuljettimen käyttöliittymävälilehti, jonka arvoja muuttamalla saadaan halutunlainen kuljetin.	42
Taulukko 1. Ketjupyörä taulukko.	38

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

2D-suunnittelu	Kaksiulotteinen tasosuunnittelu
3D-suunnittelu	Kolmiulotteinen mallinnus/suunnittelu
DFMA	Design for manufacture and assembly. Suunnittelun ajattelutapa, jonka mukaan tuote suunnitellaan mahdollisimman helpoksi valmistaa ja kasata.
FEM	Finite Element Method on elementtimenetelmä, jolla laskeaan rakenteiden kestävyyttä.
Kolakuljetin	Kuivapolttoainetta kuljettamista varten oleva laite, joka on ketjuvetoinen.
Käyttöliittymä	Ohjelmiston, laitteen tai tuotteen osa, jonka avulla käyttäjä pystyy ohjaamaan tuotetta.
MBD	Model Based Definition, jonka avulla tuotetietoja hallitaan pelkästään 3D-mallia käyttäen
Mission Statement	Tuotekehitysprosessin alkuvaiheilla tehtävä tuotekuvaus, jossa selvitetään tuotteen lähtökohdat.
Paikallinen osa	Voidaan käyttää myös termiä lokaaliosa. Kokoonpanoon fyysisesti kuuluva osa, jota muuttamalla alkuperäinen malli ei muutu.
QFD	Quality function deployment, Japanissa kehitetty menetelmä, jonka tarkoitus on asettaa asiakastarpeet mitattaviksi tavoitteiksi. Keskeinen elementti on laatutalo, jolla arvioidaan ominaisuuksia ja niiden painoarvoa.
Suunnitteluautomaatti	3D-mallin automaattinen muuttamistyökalu, jota ohjataan ulkoisella käyttöliittymällä. Käyttöliittymä on useimmissa tapauksissa taulukkolaskentaohjelma.

Vertex 4G

Vertex Oy:n kehittämä suomalainen 3D mekaniikkasuunnitteluohjelmisto, jolla tuotteita pystyy suunnittelemaan mallintamalla tai piirtämällä.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyö tehtiin kauhajokiselle metallialan yritykselle Team Vesmesille. Opinnäytetyöhön ryhdyttiin, koska yritys haluaa tehostaa kolakuljettimien suunnittelua, jotta laitteet saataisiin aikaisemmassa vaiheessa tuotantoon ja näin ollen pystyttäisiin vastaamaan projektien kiireisiin aikatauluihin paremmin. Kolakuljetin koostuu neljästä osasta: vetopäästä, kulmasta, rungosta sekä taittopäästä. Työn tarkoitus oli valmistella jokaisesta näistä toimiva suunnitteluautomaatti ja lopuksi yhdistää ne yhdeksi kokonaisuudeksi, joka ohjautuu mahdollisimman vähäiä käsin syötettäviä parametrejä käyttäen. Suunnitteluautomaatin tarkoitus on ohjata 3D-mallia taulukko-pohjalla, jolloin voidaan nopeuttaa modulaaristen mallien valmistamista, vähentää suunnitteluun kuuluvia kustannuksia ja poistaa inhimillisten virheiden määrää (Dgn Innovation 2018).

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tämän työn tavoitteena oli aikaansaada suunnitteluautomaatti kolakuljettimelle, jotta saadaan nostettua suunnittelun tehokkuutta sekä kapasiteettia. Suunnitteluautomaatti on tarkoitus saada toimimaan niin, että käsin tarvitsee syöttää vain mahdollisimman vähän eri parametrejä. Tarkoituksena on myös tehdä automaatista varioituva eli saada poistettua sieltä kulma tarpeen mukaan, jolloin saadaan suora kuljetin aikaiseksi. Automaatti pitäisi olla helposti omaksuttava, jolloin kuka tahansa, joka ei ole ennestään käyttänyt suunnitteluohjelmaa, pystyy automaatilla suunnittelemaan tarpeensa mukaisen kolakuljettimen.

Toissijaisena tavoitteena voidaan pitää osa- ja kokoonpanopiirustuksien päivittämistä automaatilla ajaen sekä saada päivittyneiden piirustusten mitat pysymään paikoillaan niin, etteivät ne purkaannu irti muotoviivoista. Jos mittaviivat on sidottu esimerkiksi piirustuksessa olevan mallin kulmasta kiinni ja automaatilla muutetaan pyöristystä, irtoaa mittaviiva mallin muotoviivasta eikä päivity enää piirustuksen mukana.

Työssä ei ole tarkoitus suunnitella uutta kolakuljettinta, vaan tehdä vanhaan kolakuljettimeen suunnitteluautomaatti, koska kolakuljettimen malli on tällä hetkellä mo-
neen paikkaan sopiva eikä sitä ole tarvetta lähteä kehittämään. Tarpeen tullen joi-
takin osia voidaan muuttaa, jos se helpottaa suunnitteluautomaatin tekemistä tai
sen todetaan helpottavan osavalmistusta tai kokoonpanovaihetta.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön alussa käsitellään tuotekehityksestä ja eri tavoista, joilla kyseinen
prosessi saadaan vietyä läpi. Tuotekehitys osuuden jälkeen siirrytään sen yhteen
osa-alueeseen – detaljisuunnitteluun, joka on tietokoneavusteista suunnittelua. Tie-
tokoneavusteisessa suunnitteluosiossa tutkitaan, kuinka suunnittelu tietokoneilla on
muuttunut vuosien aikana, millaisia apukeinoja suunnittelijat ovat saaneet käyt-
ttönsä ja miten eri suunnitteluperiaatteita sovelletaan. Tarkoituksena on myös sel-
ventää, mitä ovat 2D-piirtäminen ja 3D-mallinnus sekä nykyisin käytössä oleva pa-
rametrinen piirremallinnus.

Teoriaosuus jatkuu seuraavaksi kertoen suunnitteluautomaatista. Tämä osuus si-
sältää tietoa siitä, mikä on suunnitteluautomaatti ja siinä kerrotaan, mitä eri auto-
maattivaihtoehtoja Vertex G4:llä on. Lisäksi tutkitaan prosessi, jonka avulla valmis-
tetaan suunnitteluautomaatti, ja mitä kaikkea malleissa ja rajoituksissa pitää huomi-
oida sitä tehdessä.

Käytännön osuus aloitetaan kolakuljettimeen kuuluvan rungon suunnittelulla ja käy-
dään paremmin läpi, kuinka suunnitteluautomaatti tehdään rungolle. Tästä edetään
yksitellen käsitellen jokaisen kuljettimen osan kulman ja veto- ja taittopään suunnit-
teluautomaatin valmistamisen. Näissä myöhemmissä kappaleissa kolakuljettimen
eri osista ei oteta enää niinkään kantaa automaatin rakennusprosessiin, koska au-
tomaatin tekeminen noudattaa samaa kaavaa jokaisella kuljettimen osalla. Niissä
perehdytään enemmänkin eri mallinnustapoihin ja vain niihin eri automaatin sisältä-
miin ominaisuuksiin, joita ei rungon valmistelukappaleessa vielä käsitelty. Kokoon-
panon valmistelu automaattiksi -osiossa tuodaan kaikki kolakuljettimen osat yhteen
viimeiseen kokoonpanoon ja tehdään niistä kaikista yhdessä toimiva suunnitteluau-
tomaatti yritykseen.

Rakenneosuuden jälkeen tarkasteltiin hieman, kuinka projekti eteni, mitä tuloksia saatiin aikaiseksi ja millaisia haasteita ilmeni työn edetessä. Lopussa on yhteenveto koko projektista ja pohdinta, kuinka automaattia voitaisiin kehittää vielä paremmaksi.

1.4 Yritysesittely

Team Vesmes Oy perustettiin vuonna 2011, mutta sen historia ulottuu 1970-luvulle, jolloin Onninen Vesme Oy aloitti toimintansa. Yritys on alkuajoista asti toiminut Etelä-Pohjanmaalla Kauhajoella, jossa on toiminut yrityksen suunnittelu- ja valmistusyksikkö. Tällä hetkellä Team Vesmes työllistää noin 25 työntekijää, joihin kuuluu metallimiehiä, sähkömiehiä, suunnittelijoita sekä muita toimihenkilöitä. Liikevaihto vuonna 2016 oli 2,2 miljoonaa euroa. (Team Vesmes 2017.)

Yritys on erikoistunut kiinteän polttoaineen (turve, hake jne.) syöttöjärjestelmiin, materiaalinkäsittelyjärjestelmiin, huoltoon sekä modifiointiin. Laitteet räätälöidään asiakkaan tarpeiden mukaan aina projektikohtaisesti. Näin pyritään saamaan paras mahdollinen lopputulos, joka miellyttää asiakasta. Koska henkilökunnalla on kymmenien vuosien kokemus huollon puolelta, yritys pystyy tarjoamaan tehokasta ja ennakoivaa huoltoa toimittamilleen laitteille. Toimituksia on tehty maailmanlaajuisesti, mutta päätoimisesti Suomeen. (Team Vesmes 2017.)

2 TUOTESUUNNITTELU JA MALLINNUS

Tässä opinnäytetyössä suunnittelua tutkitaan insinöörin näkökulmasta ja siitä, kuinka suunnittelu yhdistyy teollisuuteen. Käydään myös läpi, kuinka tuotekehitys toimii ja miten tietokoneiden yleistymisen on tuonut sen vaiheisiin tehokkuutta. Tutkitaan, miten suunnittelu toimii nykypäivänä ja perehdytään suunnitteluohjelman ominaisuuksiin, joilla pystytään helpottamaan sekä tehostamaan lopullisen tuotteen rakentamista.

2.1 Suunnittelu konetekniikassa

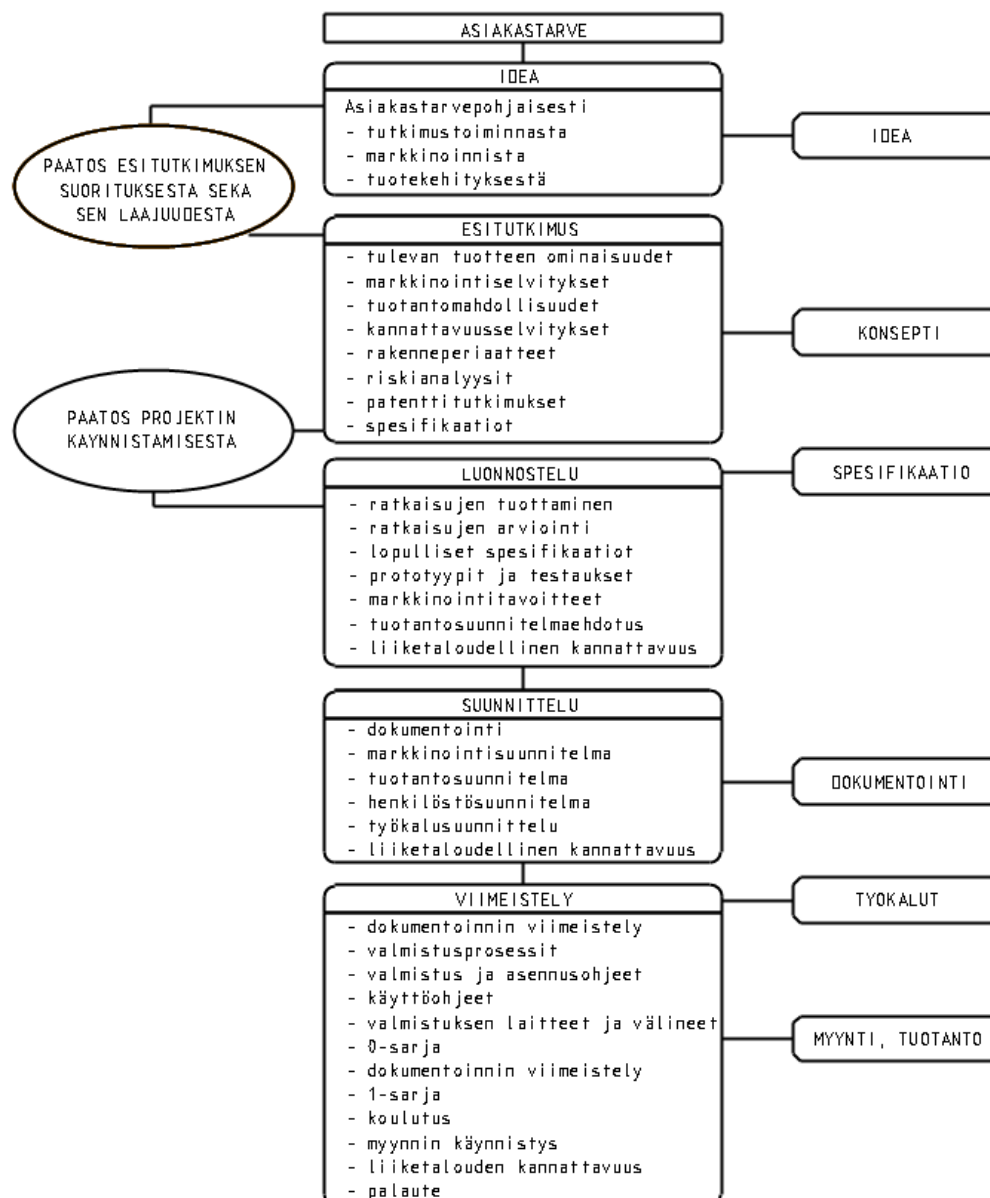
Suunnittelu käsitteenä on erittäin hankala kertoa yksiselitteisesti auki ja kirjallisuudesta löytyykin paljon erilaisia määritelmiä sille. Kaikkia näitä erilaisia määritelmiä yhdistää kuitenkin pyrkimys luoda jotakin sellaista, mitä ei vielä ole olemassa. Suunnittelua harrastavat monet ammattiryhmät, kuten teolliset muotoilijat, kuvanveistäjät, taidemaalarit jne. Insinöörin näkökulmasta katsottuna on suunnittelusta osuvampaa käyttää termiä tuotesuunnittelu, joka kuvastaa insinöörimäistä suunnittelua paremmin. (Hietikko 1995, 12–13.)

Konetekniikassa tuotesuunnittelu liitetään usein isompaan kokonaisuuteen, josta käytetään nimitystä tuotekehitys. Tuotekehittämisellä voidaan tarkoittaa täysin uuden tuotteen suunnittelua tai jo olemassa olevan tuotteen parantamista sen ominaisuuksiltaan. (Hietikko 2008, 41.) Kehitystyö on monesta osasta koostuva prosessi, joka pitää sisällään tuoteidean etsimisen, markkinoiden sekä muiden tuotekehityshankkeeseen olennaisten asioiden selvityksen, tuotteen luonnostelun yksityiskohteisesti, työpiirustusten tekemisen, käyttöohjeiden laatimisen ja valmistuksen suunnittelun (Jokinen 1987, 9-11). Nimenä tuotekehitysprosessi on kumminkin vanhentunut, koska sitä ei voi pitää erillisenä prosessina, vaan siihen on integroitunut niin paljon yrityksen muita toimintoja, että kuvastavampi nimitys on innovaatioprosessi (Hietikko 2008, 41).

Menestyvillä yrityksillä on kyky identifioida asiakkaiden tarpeita, jotta he pystyvät vastaamaan asiakkaiden sekä käyttäjien asettamiin vaatimuksiin parhaalla mahdol-

lisella tavalla. Innovaatioprosessissa on saatava yhdistettyä olemassa olevia tunnettuja ratkaisuja uudella innovatiivisella tavalla, jolloin tuotteesta saadaan hinnaltaan ja ominaisuuksiltaan kilpailukykyinen. Uusi teknologia on harvoin ydinsemassa tuotekehitysprojektissa. Tuotteen suunnitteluprosessissa tehtyjä virheitä on usein vaikea, ellei jopa mahdoton muuttaa jälkeinpäin valmistuksen tai huollon yhteydessä. Huolellisella suunnittelulla kustannukset ja laatu saadaan pidettyä parhaana mahdollisena. (Björk, Hautala, Huhtala, Kivioja, Kleimola, Lavi, Martikka, Miettinen, Ranta, Rinkinen & Salonen 2014, 9-10.)

2.2 Tuotekehitysprosessi



Kuvio 1. Tuotekehitysprosessin kuvaus asiakaslähtöisestä tarpeesta (Välimaa, Kankkunen, Lagerroos & Lehtinen 1994, 25).

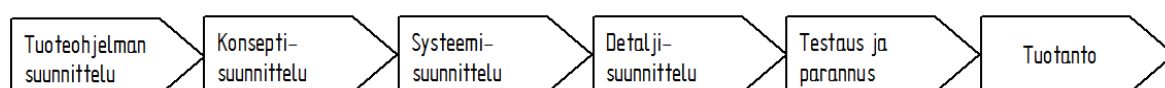


Kuvio 2. Tuoteideasta tuotteeksi (Välimaa, ym. 1994, 25).

Tuotekehitysprosessissa paljolti käytetty tapa on kuvattuna kuviossa 1 ja yksinkertaistettuna kuviossa 2, joissa lähtökohtaisesti tuotekehitystoiminta lähtee liikkeelle

asiakastarpeesta ja sen päämääränä on hyvä liiketoimintatulos (Välimaa ym. 1994, 25). Käynnistettäessä tuotekehitysprosessia tehdään esitutkimus, joka pitää sisälleen kartoituksen markkinoista, kuvataan tuotteen alustavat ominaisuudet ja käytettävä tekniikka, selvitetään työterveydelliset sekä ympäristölliset kysymykset, kustannukset ja saatavat tuotot sekä laaditaan aikataulukset. Kun näiden kaikkien todetaan olevan kunnossa, voidaan tehdä päätös tuotekehitysprojektin aloittamisesta. Siirryttäessä toiseen vaiheeseen eli luonnosteluun on tärkeää laatia kehitettävälle tuotteelle tavoitteet ja vaatimukset sekä miettiä erilaisia valmistusmenetelmiä. Kolmannessa vaiheessa, kehittämisessä, tuote suunnitellaan valmiiksi, päätetään valmistusmenetelmistä, alihankinnoista ja luodaan asiakaskontakteja. Tässä kohtaa ilmenee usein vielä taloudellisia ja teknisiä ongelmia, jotka pyritään kitkemään pois ideoinnilla. Viimeisenä tulee viimeistelyvaihe, jossa pyritään optimoimaan kustannukset, valmistus sekä tekniset ominaisuudet. Tällä tavalla saadaan paras mahdollinen rahallinen hyöty tuotteesta. Viimeistelyvaiheessa tehdään myös dokumentointi, prototyyppien valmistus ja myyntitoimenpiteiden valmistelu. (Jokinen 1987, 14-15; Björk ym. 2014, 10.)

Toinen tunnettu prosessin kuvaustapa, Ulricih-Eppinger-malli, on esitettyä kuviossa 3. Malli koostuu kuudesta eri kohdasta, joita ovat tuoteohjelman suunnittelu, konseptisuunnittelu, systeemis suunnittelu, detaljisuunnittelu, testaus ja tuotannon käynnistäminen. (Hietikko 2008, 42.)



Kuvio 3. Tuotekehityksen eri vaiheet (Hietikko 2008, 42).

2.2.1 Tuoteohjelman suunnittelu

Tuoteohjelman suunnittelun alkuun käydään olemassa olevat tiedot läpi ja tutkitaan, täyttääkö tuoteprojekti yrityksen tuotestrategian ehdot ja samalla määrätään projektille tavoite sekä reunaehdot. Esiselvityksen tekeminen on mahdollinen myös tässä vaiheessa. Projektin toteutuminen määräytyy siitä saatujen perusteiden mukaan. Alkuun on myös hyvä luoda Mission Statement -kuvaus, joka on yhdelle A4-sivulle

luotu kuvaus tuotteen lähtökohdista. Näihin kuuluu esimerkiksi rajausta, keskeiset tavoitteet, päämarkkinat, toissijaiset markkinat jne. (Hietikko 2014, 43–45.)

2.2.2 Konseptisuunnittelu

Asiakastarpeen selvittämisestä aloitetaan siinä tapauksessa, jos asiakas ei ole liikelle-paneva voima, vaan tarve lähtee yrityksen omasta pyrkimyksestä parempaan tuottavuuteen. Systemaattisella työllä selvitetään projektin tarvelauseet ja benchmarkataan kilpailijoita. Tarvelauseilla tarkoitetaan joukkoa asiakastarpeita, joita pyritään selvittämään haastatteleamalla asiakkaita ja jakamalla heiltä saatu informaatio ominaisuuksiin, jotka tuotteen pitäisi täyttää. (Hietikko 2014, 43–58.) Benchmarkingilla taas pyritään vertaamaan omia käytäntöjä, tuotteita ja palveluita muiden yritysten vastaavanlaisiin (Niva & Tuominen 2005, 5). Näiden kahden edellä mainitun toiminnon perusteella voidaan luoda tuotespesifikaatiot, joilla voidaan myös tarkoittaa tuotevaatimuksia tai teknisiä ominaisuuksia. Spesifikaatiot ovat mittavissa olevia ominaisuuksia eli kullekin tarvelauseelle etsitään kuvaava suure ja mittayksikkö, jotka voidaan liittää esim. QFD-menetelmällä syntyvään laatutaloon. Tästä siirrytään luovan työn vaiheeseen, jossa yritetään saada mahdollisimman paljon ideoita, joista pystytään evaluoinnin avulla valitsemaan yksi tai kaksi parasta vaihtoehtoa, joita sitten lähdetään kehittämään. (Hietikko 2014, 43, 65, 99.)

2.2.3 Systemisuunnittelu

Systemisuunnittelu on edellisessä kohdassa olevan mallin arkkitehtuurin miettimistä, jossa pohditaan mallin tuoterakennetta ja millaisista osista sekä kokonaisuuksista se rakentuu. Alustava suunnitelma pääkokoonpanosta tehdään usein tässä kohtaa. Se sisältää karkean layoutsuunnitelman lopputuotteesta ja toiminnallisten tarpeiden määrittämisen alikokoonpanoille. Myös toimintoja kuvaava vuokaavio voidaan tehdä tuotteelle, jolloin suunnitteluryhmä pystyy paremmin havainnollistamaan tarpeet ja huomioimaan epäolennaiset kohdat. Tarpeellista on myös miettiä tuotteen modulointia ja sitä, kuinka saataisiin mahdollisimman monta asiakasta miellytettyä kyseisellä tuotteella. (Hietikko 2014, 43, 111; Ulrich & Eppinger 2012, 15, 192.)

2.2.4 Detaljisuunnittelu

Detaljisuunnittelussa luodaan jokaiselle osalle ja kokoonpanolle sen lopullinen muoto ja toleranssi. Detaljisuunnittelu on tietokoneavusteista suunnittelua, jolla luodaan tarkat mallit ja saadaan niistä piirustukset sekä osaluettelodokumentit tuotteen tarvittavista komponenteista. Näillä tiedoilla pystytään tilaamaan tarvittava raakamateriaali ja komponentit toimittajalta. Mallinnuksen ohessa määritetään valmistusvaiheet ja mahdolliset suunnittelutyökalut. Läpi koko tuotesuunnittelun kolme kriittistä asiaa kulkevat harkinnassa, mutta konkretisoituvat vasta detaljisuunnitteluvaiheessa: materiaalin valinta, valmistuksen hinta ja toimintojen toimivuus tuotteella. (Hietikko 2014, 43, 136; Ulrich & Eppinger 2012, 15.)

2.2.5 Testaus ja parannus

Testatessa tuotetta olisi hyvä olla olemassa prototyyppi, joka olisi lähestulkoon identtinen tulevan tuotteen kanssa tai vastaava tietokonemalli. Tietokonemalleja simuloimalla pystytään tarkastelemaan esimerkiksi valmiiden kokoonpanomallien lujuuksia sekä virtausdynamiikkaa. Prototyyppi ei välttämättä ole valmistettu tai kokoonpantu lopullisen suunnitelman mukaan, mutta sillä on usein tarkoitus testata tuotteen luotettavuus ja toimivuus ja tyydyttää avainasiakkaiden tarpeita. Prototyyppi voikin usein olla lopullisessa testauksessa asiakkaalla sen luonnollisessa toimintaympäristössä. Testausvaiheessa on kuitenkin tärkeintä, että pystytään varmistamaan siitä, että tuote on toimiva ja sitä pystytään vielä parantelemaan puutteiden ilmetessä ennen kuin se päästetään tuotantoon. (Hietikko 2014, 43, 179; Ulrich & Eppinger 2012, 15.)

2.2.6 Tuotannon käynnistäminen

Tuotannon käynnistämisenä tuotetta lähdetään valmistamaan sille tarkoitetuilla valmistustavoilla. Ensimmäinen sarja on aina koesarja, jonka avulla koulutetaan työntekijät valmistamaan uutta tuotetta. Tuotantoa käynnistettäessä on sitä tarpeen arvioida tarkkaan sekä tunnistaa kaikki mahdolliset virheet. Tuotannon aloittaminen

viimeistelyosion jälkeen ei tarkoita tuotekehitystyön päättymistä. Jatkuvalle kehittämisellä tuote pidetään kilpailukykyisenä ja pidennetään sen elinikää markkinoilla. (Jokinen 1987, 99; Hietikko 2014, 43; Ulrich & Eppinger 2012, 16.)

2.3 Tietokoneavusteinen suunnittelu

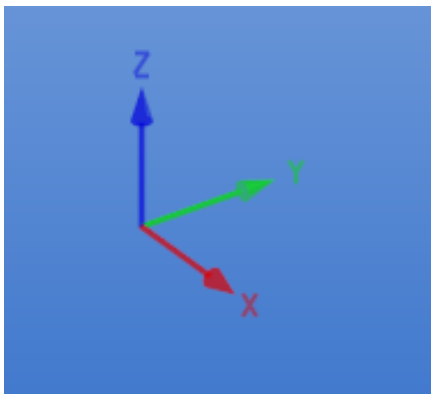
Henkilökohtaiset tietokoneet ilmestyivät markkinoille 1980-luvulla, jolloin ne saatiin jokaisen suunnittelijan ulottuville. Siitä lähtien on tietotekniikka kehittynyt nopeasti tuotekehityksen työkaluna. Tietokoneavusteinen suunnittelu eli CAD (Computer Aided Design) on suunnittelijan työkalu, joka käyttää tietokoneessa olevaa graafista ja matemaattista kykyä luoda malleja ja toimiikin näin ollen tuotesuunnitteluprosessin edetessä arvokkaana työkaluna dokumentointiin sekä piirustusten valmistamiseen. Piirustusten suunnittelupiirtämisessä tietokoneella CAD mielletäänkin usein käännettäväksi muotoon Computer Aided Drafting. Kolmiulotteinen suunnittelu on kehittynyt vasta 2000-luvun aikana sillä tavalla, että sitä pystytään hyödyntämään tuotteiden suunnittelussa. Viimeisen kymmenen vuoden mukana tullut parametrinen mallinnus on tehostanut suunnittelua entisestään. Parametrisessa mallinnuksessa voidaan muuttaa mittoja jokaisessa vaiheessa niin, että kohteen geometria muuttuu vastaavanlaiseksi. Tällöin lopullista kokoonpanoa tarkasteltaessa voidaan havaita mahdolliset törmäykset ja pystytään muuttamaan geometriaa, jolloin se päivittyy kaikkiin malleihin, joihin kyseinen osa liittyy. Parametrisella mallinnuksella pystytään myös muodostamaan relaatioita mittojen välille. Jos siis mallissa on kaksi mitta ja toista muutetaan, muuttuu myös toinenkin mitta. Lisäksi voidaan myös tehdä matemaattisia kaavoja mittojen välille tai määrittää ehtoja, kuten symmetria tai tasomaisuus osien välillä. (Hietikko 2008, 128; Hietikko 2012, 14, 23, 25.)

Pelkän piirtämisen ja mallintamisen sijasta pystytään tietokoneella tekemään myös erilaisia analyysejä sekä simuloiteja. Ehkä yleisin näistä eri tavoista on laskentatapa FEM (Finite Element Method), jossa tarkastellaan kappaletta kuormituksen alaisena. Lisäksi on käytössä liikerata-analyysejä, joilla ennaltaehkäistään törmäyksen tapahtumista ja törmäystarkasteluja, joilla tutkitaan osien sopimista niille tarkoitettuun tilaan. Näiden lisäksi on olemassa kinemaattinen tarkastelutapa, joka kuvaa mekanismin toimintatapaa. (Tuhola & Viitanen 2008, 123-127.)

Suunnittelussa yleisesti käytetään DFMA-metodia, joka tulee sanoista *Design For Manufacturing and Assembly*. Tämä periaate voidaan kumminkin jakaa omiin osiinsa DFA (Design For Assembly) ja DFM (Design For Manufacturing). Monesti nämä kaksi termiä nähdään kumminkin niin vahvasti toisiinsa liittyneinä, että käytetään vain yhteistä nimitystä DFMA. DFA:ssa tuote suunnitellaan niin, että sen kokoonpano on mahdollisimman helppo tehdä, se on virheetön ja yksinkertainen. DFM taas on kokonaisvaltaisemmin suunnittelua valmistusystävällisestä näkökulmasta katsottuna. Vähentämällä kokoonpanossa olevia monimutkaisia ratkaisuja, helpottamalla työtä sekä suunnittelemalla osat helpoiksi tuotannolle valmistaa saadaan laskettua valmistuskustannuksia alaspäin ja tehtyä enemmän voittoa. Usein suunnittelun yhteydessä esiintyy myös termejä DFQ (Design For Quality), jolla suunnitellaan laatua ja DFE (Design For Environment), jolla puolestaan suunnitellaan tuote ympäristöä ajatellen. (Hietikko 2008, 153; Hietikko 2012, 16–18.)

2.4 2D-piirustus ja 3D-mallintaminen

3D-mallintaminen on osa tietokoneella tehtävää suunnittelua, jossa tuotteiden suunnittelu tapahtuu kolmiulotteisesti. Kaikilla osilla, komponenteilla ja kokoonpanoilla, on samat fyysiset sekä mekaaniset ominaisuudet kuin valmistettavalla tuotteella ja ne näyttävät oikeilta. Mallinnusohjelmissa on käytössä koordinaatisto, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaattiakseleista kolmiulotteisessa avaruudessa. Kuviossa 4 on esitetty nämä koordinaattiakselit, jotka osoittavat koordinaattiakselien positiiviseen suuntaan. 2D-piirustus generoidaan 3D-mallin pohjalta, jolla tieto välitetään sitten eteenpäin. Piirustuksen mukana liikkuu paljon tietoa, kuten valmistusmateriaali, pintakäsittelyt, tuotteen mitoitus, toleranssit, koneistuspintamerkit jne. Piirustuksen onnistuminen riippuukin paljolti suunnittelijan ammattitaidosta ja kyvystä ottaa huomioon kaikki yrityksen ja kappaleen vaatimat tekijät. (Tuhola 2008, 17, 31–32.)



Kuvio 4. Koordinaattiakselit x,y ja z (Vertex Systems Oy 2016b).

Parametrisen piirremallinnuksen avulla saadaan kaikki piirustukset, jotka on generoitu 3D-mallista, muuttumaan mallin muuttuessa. Piirremallinnuksella tarkoitetaan, että tuote rakennetaan piirteistä, jotka muodostavat lopullisen kappaleen. Piirteet tulevat esille niin sanottuun piirrepuuhun, josta niitä on helppo muokata myöhemmin. Piirrepuu voidaan kuvitella koostuvan ikään kuin useista ikkunoista eri tasoissa, jolloin alimmassa kokoonpanossa olevan yksittäisen osan pystyy näkemään ylimmältä tasolta. Tämän avulla malli pystyy muuttumaan joka kokoonpanossa, johon se on linkitetty. Nykyään jopa yli 90 % mekaniikkasuunnittelusta tapahtuu parametrisella piirremallinnuksella. Tämä johtuu siitä, että tänä päivänä tuotesuunnitteluprosessi pitää sisällään paljon muutoksia, joihin reagoiminen helpottuu, jos käytössä on parametrinen mallinnus. (Hietikko 2012, 23–25.)

Kaikista uusimpana asiana CAD-mallintamisessa on tullut MBD (Model Based Definition), tuotetiedon dokumentointimenetelmä, jossa ei käytetä 2D-piirustuksia. MBD:ssä kaikki tuotetieto geometrian lisäksi, eli mitat, toleranssit, pinnankarheus ja muut yleisesti piirustusten mukana tulevat tiedot, on sisällytetty 3D CAD -malliin. Tarkoituksena MBD:llä on tuottaa parempaa laatua sekä kustannussäästöjä valmistus- ja suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Suunnittelijalla jää paremmin aikaa keskittyä 3D-mallin tekemiseen, kun 2D-piirustuksia ei tarvitse laatia. (Laaksonen, Nieminen, Pulkkinen, Rapinoja, Simons, Uski, Salmi & Vainionpää 2016, 6-7)

3 SUUNNITTELUAUTOMAATTI

Suunnitteluautomaatin avulla voidaan suunnitella ja valmistaa tehokkaasti haluttuja tuotteita. Jokaisen uuden kaupan yhteydessä voidaan vähentää dokumentointiin käytettyjä resursseja ja voidaan tuottaa piirustuksia niin nopeasti kuin on tarpeen. Suunnitteluautomaatin avulla ei tarvitse käyttää yhtä paljoa aikaa uudelleensuunnitteluun, piirustusten päivittämiseen, yksityiskohtien tarkasteluun ja se vähentää myöhästymisiä sekä poissulkee kaikkia suunnittelusta johtuvia virhetekijöitä, jotka pienentävät yrityksen voittoa tai vahingoittavat yrityksen imagoa. Automatisoimalla yrityksellä on enemmän aikaa panostaa uusiin innovaatioihin, nostaa suoritustehoa ja voittaa enemmän kauppvoja. (Driveworks Ltd 2017.)

3.1 Vertex ja suunnitteluautomaatit

Vertex Systems Oy on maailmanlaajuinen suunnittelun ja ohjelmistoratkaisujen toimittaja yrityksille. Se on ollut toiminnassa vuodesta 1977 lähtien, ja sen asiakkaisiin kuuluu eri teollisuuden alojen osajia, kuten kone- ja laitevalmistajia sekä teollisia talorakentajia. Vertex Systems on kehittänyt eri aloille omia ohjelmistojaan, jotka on räätälöity asiakkaiden käyttötarkoituksen mukaan. Opinnäytetyössä on käytetty Vertex G4 -suunnitteluohjelmaa, joka on Team Vesmesillä käytössä. Vertex G4 tarjoaa käyttäjälleen kolmea eri suunnitteluautomaattivaihtoehtoa, jotka ovat Presto, Tempo ja Forte. (Vertex.fi 2017.)

Presto. Presto on ensimmäisen tason automaatti, joka sisältyy mukaan Vertex G4 -ohjelmaan, kun Vertex asennetaan käyttöön. Sillä pystyy tekemään varioituvista malleista suunnitteluautomaatteja, jotka sisältävät myös tuoterakenteen hallinnan. Preston pystyy käynnistämään Vertexin sisältä ja sen käyttöliittymänä toimii Excel-pohja, jota pystytään muokkaamaan oman käyttötarkoituksen mukaan. (Vertex Systems Oy 2016a.)

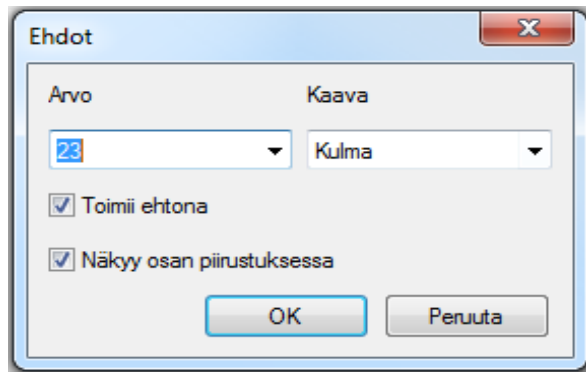
Tempo. Tempo on laajennettu malli Prestosta. Se sisältää kaikki samat ominaisuudet ja vielä lisäksi sitä voi ajaa ohjelman ulkopuolelta. Sen käyttöliittymänä on mahdollista käyttää myynnin järjestelmiä sekä laskentaohjelmia ja konfiguraattoreita.

Käyttäjän ei välttämättä tarvitse edes nähdä Vertex 4G -ohjelmistoa, jotta hän pystyisi luomaan sillä tuotedokumentteja sekä tallentamaan niitä asiakaskohtaisesti. Tempo vaatii useimmiten kumminkin koulutusta tai konsultointia, jotta sitä pystytään käyttämään. (Vertex Systems Oy 2016a.)

Forte. Tempon tavoin Forte sisältää kaikki edeltäjiensä ominaisuudet. Näiden lisäksi Fortella on kaikki suunnitteluautomaatin ominaisuudet. Sillä voi siirtää tietoa muihin järjestelmiin, kuten tuotannonohjaus, ERP ja FEM. Dokumentitkin voi siirtää suoraan muihin järjestelmiin sekä linkittää suoraan tuotantoon. Forte vaatii myös koulutusta tai konsultointia ennen käyttöönottamistaan. (Vertex Systems Oy 2016a.)

3.2 Suunnitteluautomaatin esivalmistelu ja rakentaminen

Niin kuin edeltävässä osiossa mainittiinkin, Team Vesmesillä on Vertex G4 käytössä ja se sisältää valmiiksi Presto-suunnitteluautomaattiohjelman, joten automaatti lähdettiin rakentamaan tätä suunnittelutyökalua käyttäen. Ennen kuin suunnitteluautomaattia lähdetään tekemään, mallit täytyy valmistella sitä varten. Täysin normaaleja, aikaisemmin luotuja Vertex G4 -malleja pystyy käyttämään suoraan suunnitteluautomaatin materiaalina. Mallien suunnittelu tulee miettiä tarkkaan, jotta ne saadaan parametrisesti muuttuviksi parhaalla mahdollisella tavalla ja automaatin toteuttaminen olisi helppoa. Jos osa muuttuu, on sen muuttuvat mitat nimettävä kuten kuviossa 5, jotta näihin mittoihin pystyy myöhemmin viittaamaan. Mittojen kaavakenttään voi myös suoraan syöttää lausekkeen, jonka mukaan kyseinen mitta muuttuu jonkun toisen mitan mukaan. Vertex 4G:ssä jokainen rajoitus on nimettävissä. Esimerkiksi nimetyt rajoituksia voivat olla luonnosten etäisyydet, pursotusten pituudet, viisteiden arvot ja niin edelleen. Nimeämisessä pitää kumminkin huomioida, että Vertex ei ymmärrä skandinaavisia kirjaimia. Väliviivan se tulkitsee vähennyslaskuksi, pistettä se ei osaa lukea ja viittaus ei voi alkaa numerolla. Lopuksi on muistettava avata kerran ja hyväksyä mittataulukko, että Vertex ymmärtää hakea kaikki nimetyt mitat. Edellä mainittu työvaihe voidaan kuitenkin automatisoida user/setup-tiedostossa lisäämällä teksti *set.dimensiontable.saving=1*, jolloin Vertex G4 kerää mittataulukkotiedot aina tallennuksen yhteydessä. (Vertex Systems Oy 2016a.)



Kuvio 5 Osalle annettu mitta-arvo ja sille on nimetty viittaus kaavakenttään (Vertex Systems Oy 2016b).

Vertexillä voidaan myös nimetä elementtejä. Elementtien nimeäminen on tärkeää, jotta saadaan osat rajoitettua oikealla tavalla kokoonpanossa. Nimettäviä elementtejä voivat olla viivat, pisteet, tasot ja origot, joiden nimeäminen tapahtuu samojen sääntöjen mukaan kuin muuttuvien mittojenkin. (Vertex Systems Oy 2016a.) Elementtien nimeämisen idea on ohjata halutuissa tapauksissa kahden eri osan paikkaa toisiinsa nähden. Jos esimerkiksi halutaan, että bussipysäkin kyltin paikka vaihtuu pysäkin oikealta puolelta vasemmalla, nimetään eri nimillä kummankin puolen elementit ja viitataan automaattisesti vasemmanpuoleiseen elementtiin. Tällöin kyltti siirtyy automaattisesti vasemmalle puolelle sen elementtitason kohtaan, joka sille on määrätty. Elementtien nimeämisiä tehtäessä on kumminkin hyvä muistaa, että ensiksi on nimettävä elementit ja sitten vasta ehdoilla kiinnitettävä kappale paikalleen, jos automaattilla tehdään osan tai alikokoonpanon vaihto. Muuten automaatti ei välttämättä osaa paikoittaa elementtejä oikein. (Käsnänen 2018a.)

Kun osat on valmisteltu halutunlaisiksi, ne voidaan liittää yhteen kokoonpanossa. Tässä kohtaa täytyy kuitenkin ottaa pari asiaa huomioon. Kokoonpanon osat täytyy muuttaa paikallisiksi osiksi, jos niissä on muuttuvia mittoja. Yksittäisiä osia ja alikokoonpanoja voidaan vaihtaa paikallisiksi. Kaikissa alikokoonpanoissa on myös oltava vähintään yksi kiinnitetty osa ja loput on paikoitettava rajoituksilla. Suunnitteluautomaatin voi myös koota linkkiosista testausvaiheessa, SOLVE-komennossa on valittuna osien automaattinen vaihtaminen paikallisiksi osiksi. Tämä kumminkin hidastaa automaatin ajamista, koska automaatin pitää lukea eri osien mittataulukko ja vaihtaa osat paikallisiksi. (Vertex Systems Oy 2016a.)

Kaikkien esivalmisteluiden jälkeen voidaan valmistella itse suunnitteluautomaatti. Kokoonpanon ominaisuudet -valikko aukaistaan ja kuvion 6 mukainen ponnahdusikkuna aukeaa. Tässä kohtaa tulee valita automaatin käyttöliittymä ja komentotiedosto. Käyttöliittymänä voi olla käytössä mikä tahansa ohjelma. Se voi olla Excel-pohja, yrityksen käytössä oleva myyntikonfiguraattori tai tuotetta varten räätälöity ohjelma. Käyttöliittymää voidaan käyttää ohjelman ulkopuolelta tai Vertexin sisältä. Ohjelman päätehtävä onkin muodostaa tekstitiedosto, josta löytyy tarvittavat komennot, jotka toimivat ohjelman komentotiedostona. Komentotiedostoon kerääntyy kaikki data tekstimuotoon ja se toimii konstruktio- ja jälkikäsittelyvaiheen pohjana. Se kertoo, miten osat varioituvat, mitkä osat sisältyvät kokoonpanoon ja minkälaisia tuloksia automaatista pitäisi saada. Vertex G4 voi käyttää suunnitteluautomaatin ohjaamiseen kolmea eri tehtäväoperaattoria VXG4_AUTOASSY, FILE_DIR, ja Flow. Tehtäväoperaattori lukee komentotiedoston ja muodostaa sen pohjalta valmiin tuotteen. (Vertex Systems Oy 2016a.)

Kokoonpanon ominaisuudet

Nimi: 1042097

Alkokokoonpanona jäädytetty Alkokokoonpanona räjähtävä

Kokoonpanon osaluetteloon Alkokokoonpanona ratkaistava

Symmetrinen Pura osaluetteloon

Taulukkomalli (useita nimikkeitä)

Id:

Suunnitteluautomaatti

Käyttöliittymäohjelma: Valitse

Komentotiedosto: Valitse

Pilotetut osat eivät työstä

Koneistuskokoonpano

Lohkokokoonpano

Putkikokoonpano

Pystysuunta kiinnitetty ratkaistaessa

OK Peruuta Ohje

Kuvio 6. Kokoonpanon ominaisuudet ponnahdusikkuna, jossa määritetään polku käyttöliittymälle ja komentotiedostolle (Vertex Systems Oy 2016b).

Lopuksi, kun on määritelty polut, joista Vertex G4 löytää käyttöliittymän ja komentotiedoston, ajetaan automaatti. Käytössä oleva tehtäväoperaattori lukee komentotiedoston ja mallintaa käyttöliittymän perusteella valmiin kokoonpanon (Vertex Systems Oy 2016a). Malleja voidaan optimoida suunnitteluautomaatilla helpommin muokkautuvaksi, jos automaatin ajaminen vie liikaa aikaa. Jotta malleista saataisiin nopeammin varioituvia, kannattaa mallin muuttuvat piirteet sijoittaa loppuun ja rasakat operaatiot, kuten pyöritykset sekä viisteet, alkuun, mikäli mahdollista. Pyöritykset ja viisteet olisi muutenkin hyvä suorittaa luonnoksen puolella, koska tällöin syntyy ainoastaan yksi luonnospierre, joka ratkeaa nopeammin kuin pyöritys- tai viistepierre. Aukilevityksiä kannattaa myös välttää automaatin nopeuden parantamiseksi. (Auttila 2016.) Kun tuotteessa on useita optioita samaksi osaksi, kannattaa

harkita osien poistamista vaihtamisen sijaan. Poistaminen on useimmiten nopeampi tapa ajaa automaattia kuin osan vaihtaminen sekä paikoittaminen. Lukuisat ylimääräiset kokoonpanossa olevat osat voivat kumminkin vaikuttaa mallin avaamisen nopeuteen. (Vertex Systems Oy 2016a.)

4 KOLAKULJETTIMEN SUUNNITTELUAUTOMAATTI

Team Vesmes on erikoistunut erilaisiin kuljetinratkaisuihin. Yksi kuljetintyyppi on kolakuljetin, jonka suunnitteluprosessi sitoo kuitenkin liikaa resursseja. Sen takia muihin suunnitteluprojekteihin ei jää niin paljoa aikaa. Isona haittana on myös se, että kolakuljettimia tehdään monia erilaisia. Tavoitteena on vähentää erilaisten kuljettimien määrää, jolloin tuote saataisiin standardoitua joidenkin osien kohdalta. Kuljetin koostuu neljästä eri osasta, kuten kuviossa 8 näkyy. Ne ovat runko, kulma, vetopää ja taittopää. Jokaisesta kuljettimen osasta määritettiin yrityksen tarpeenmukaiset muuttujat sekä muokattiin mallit parametrisesti muuttumaan automaattilla niitä ajettaessa.



Kuvio 7. Kolakuljetin, jonka pohjalta lähdettiin rakentamaan malleja suunnitteluautomaattia varten.

4.1 Suunnittelun aloitus

Kuten aiemmin jo mainittiinkin, opinnäytetyötä tehdessä käytettiin Vertex G4:n mekaniikkasuunnitteluohjelmaa, joka oli yrityksellä valmiiksi käytössään. Uutta kolakuljetinta ei tarvinnut suunnitella, vaan pohjana käytettiin edeltävän projektin kuljetinta. Lupa muutoksien tekoon annettiin, jos vastaan tulisi ongelmia, jotka vaikeuttaisivat automaatin tekemistä. Jos kokoonpanoprosessia tai valmistusta ajatellen löydettäisiin kohta, jota muokkaamalla saataisiin kokoonpanoon käytettyä aikaa vähennettyä, voitaisiin tarvittavat muutokset tässäkin tapauksessa suorittaa. Suunnitteluautomaatti päätettiin tehdä kaikille neljälle kuljetinosalle ensiksi erikseen, koska todettiin pienempien kokonaisuuksien hallitsemisen olevan helpompaa. Tällöin voisi paremmin hahmottaa, mitkä osat muuttuvat halutulla tavalla automaatilla ajaessa ja mitkä kaipaavat vielä lisää suunnittelua pääsemiseksi haluttuun lopputulokseen.

4.2 Rungon valmistelu automaatiksi

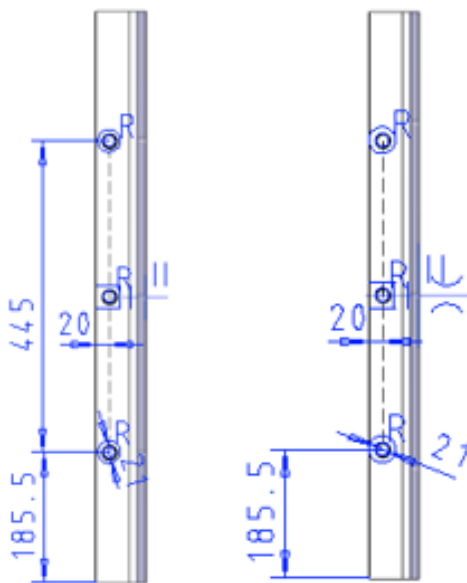
Rungon suunnittelua varten mietittiin ensiksi yrityksen edustajan kanssa, mitkä kaikki osat tulisi muuttua ja kuinka, kun niitä automaattilla ajetaan.

Muuttuvia osia ja asioita rungossa oli:

- pituus
- leveys
- korkeus
- reikäjaot ja reikämäärät pituutta muutettaessa
- lämmityspaikkojen määrät
- lämmitysputkien kohdistusnastojen paikat
- sprinkleriyhteiden paikat
- muovien ja kannattimien pitää muuttua muiden muutosten mukaan
- pohjalevyn materiaali ja koko
- kansien ja kannen tukien määrä
- symmetrisyys kaikilla osilla.

Edellä mainituista ainoastaan pituuden, leveyden sekä korkeuden täytyi olla manuaalisesti määritettäviä arvoja ja loppujen osien kuului muuttua automaattisesti niiden mukaan. Projekti aloitettiin muuttamalla ensiksi rungon kaikki alikokoonpanot ja mallit uudelle projektinumerolle, jolloin malleja muokattaessa edellisen projektin osat eivät muuttuisi siinä samassa. Kun rungon osat ovat omalla projektinumerollaan, niitä pystytään muokkaamaan vapaasti ja kokeilemaan eri ratkaisuja. Kun kaikki osat oli saatu muutettua omalle projektilleen, aloitettiin niiden mallinnuksen tutkiminen tarkemmin. Lähes kaikissa osissa oli lähtökohtaisesti jokin luonnospäälle tai pur-sotus, jota piti muuttaa. Harvoin riitti pelkästään yksittäisen mitan nimeäminen.

Kuviossa 8 on vasemmalla esitetty alkuperäinen suunnittelijan tekemä malli ja sen oikealla puolella siihen tehty pieni muokkaus, jonka avulla siitä on saatu suunnitteluautomaatilla järkevästi hyödynnettävä malli. Kyseisen kappaleen pituutta ohjataan leveyttä muuttamalla, joten alkuperäisen mallin mukaan, kun leveys muuttuisi kuljettimessa, lähtisi reikien symmetrisyys pois kappaleelta. Oikealla puolella olevaan malliin taas on sidottuna ensimmäinen reikä ainoastaan mittaehdolla kiinni ja symmetrisyysehdoilla määritetty, että toisen pään reikä pysyy samalla etäisyydellä keskitasosta. Ensimmäisen mallin mukaan pystyisi myös tekemään muuttuvan reikävälin kappaleelle nimeämällä reikien välimitan 445 mm ja tekemään sille kaavan Excelissä, mutta sitomalla jälkimmäisellä tavalla kappale kiinni ei tässä tapauksessa tarvitse nimetä mitään mittoja. Leveyden muuttuessa reiät muuttuvat ehdon mukaan automaattisesti, jolloin säästytään automaattia tehdessä yhdeltä työvaiheelta, joka taas nopeuttaa suunnitteluautomaatin tekemistä.



Kuvio 8. Välituen alkuperäinen malli vasemmalla puolella ja suunnitteluautomaattia varten muokattu malli oikealla puolella

Uudelleen mallinnus toteutettiin pohjatasolta asti, jossa käytiin kaikkien alikokoonpanojen mallit läpi niitä muokaten. Kun runko-osassa oli saatu kaikki mallit valmisteltua valmiiksi, oli aika ruveta tutkimaan, kuinka suunnitteluautomaatti saataisiin toimintaan. Pääkokoonpanossa mittataulukon avatessa pystyttiin huomaamaan,

että nimettyjä mittoja ei ollut siellä. Kaikki osat ohjeiden mukaan muutettiin paikallisiksi, minkä jälkeen ne ilmestyivät mittataulukkoon oikealla tavalla. Tästä siirryttiin rungon pääkokoonpanon ominaisuuksiin, josta rastittamalla kohdan suunnitteluautomaatti saatiin avattua käyttöliittymä sekä komentotiedostokenttä automaatille. Näitä kahta ei varsinaisesti vielä pystynyt valitsemaan, koska käyttöliittymää ei ollut vielä tehty. Pääkokoonpano täytyi vielä valmistella automaatiksi, jolloin Vertex aukaisi Preston Excel-ohjelman.

Liitteessä 1 on otettuna kuva Vertex G4 Preston käyttöliittymävälilehdestä, jolle automaatin käyttö rakennettiin. Käyttöliittymävälilehti ei pidä takanaan mitään tietoa tai makroviittauksia mihinkään, vaan sinne syötetään ainoastaan ne arvot, joita halutaan käsin muuttaa ja niihin arvoihin viitataan muilta välilehdiltä. Muita välilehtiä ovat tallennukset, mitat, piirustukset, poistettavat osat, vaihdettavat osat, ajettavat ohjelmat, tuotavat osat, rajoitukset, osatiedot ja tekstimakro. Näistä välilehdistä yleisimmin käytössä on mitat, johon syötetään osien kaavakenttään kirjoitettujen mittojen nimet. Paljolti käytössä on myös *poistettavat osat* -välilehti, jolla pystyy poistamaan osia kokoonpanosta ja *vaihdettavat osat* -välilehti, jolla voi vaihtaa vanhan osan johonkin toiseen. Näille kahdelle välilehdelle voi nimetä osia niiden ID-numeron tai arkistotunnuksen mukaan, mutta pitää muistaa, että arkistotunnusta käytettäessä kaikki samalla nimellä arkistoidut osat poistuvat tai vaihtuvat. ID-numero on jokaisella osalla yksilöllinen, joka tekee siitä turvallisemman käyttää, koska tällöin ei vahingossa poista tai vaihda liikaa osia. *Rajoitukset* -välilehdellä pystytään tekemään viittaukset nimettyihin elementteihin ja voidaan esimerkiksi valita, onko rajoitus kulmaan, etäisyyteen, makrolinkkiin tai johonkin muuhun nähden rajallinen. Muita välilehtiä tarvitaan vasta loppuvaiheessa, kun ajetaan valmista automaattia uudelle projektinumerolle ja päivitetään piirustuksia.

Valmistellessa kokoonpanoa automaatiksi ensimmäisen kerran huomattiin viimeistään, jos oli nimennyt osat väärin. Esimerkiksi *reikämäärä* ei ilmestynyt käyttöliittymäpohjalle, mutta *reikamaara* ilmestyi, koska se ei sisältänyt ä- ja ö-kirjaimia. Ohjelma ei myöskään hakenut osia, jotka oli unohtanut muuttaa paikallisiksi. Koska käyttöliittymä on Excel-pohjalla, sen soluviittaukset toimiva ohjelman normaalin käytännön mukaan. Kuviossa 9 on esimerkkiviittaus siitä, kuinka pituuden soluun C4

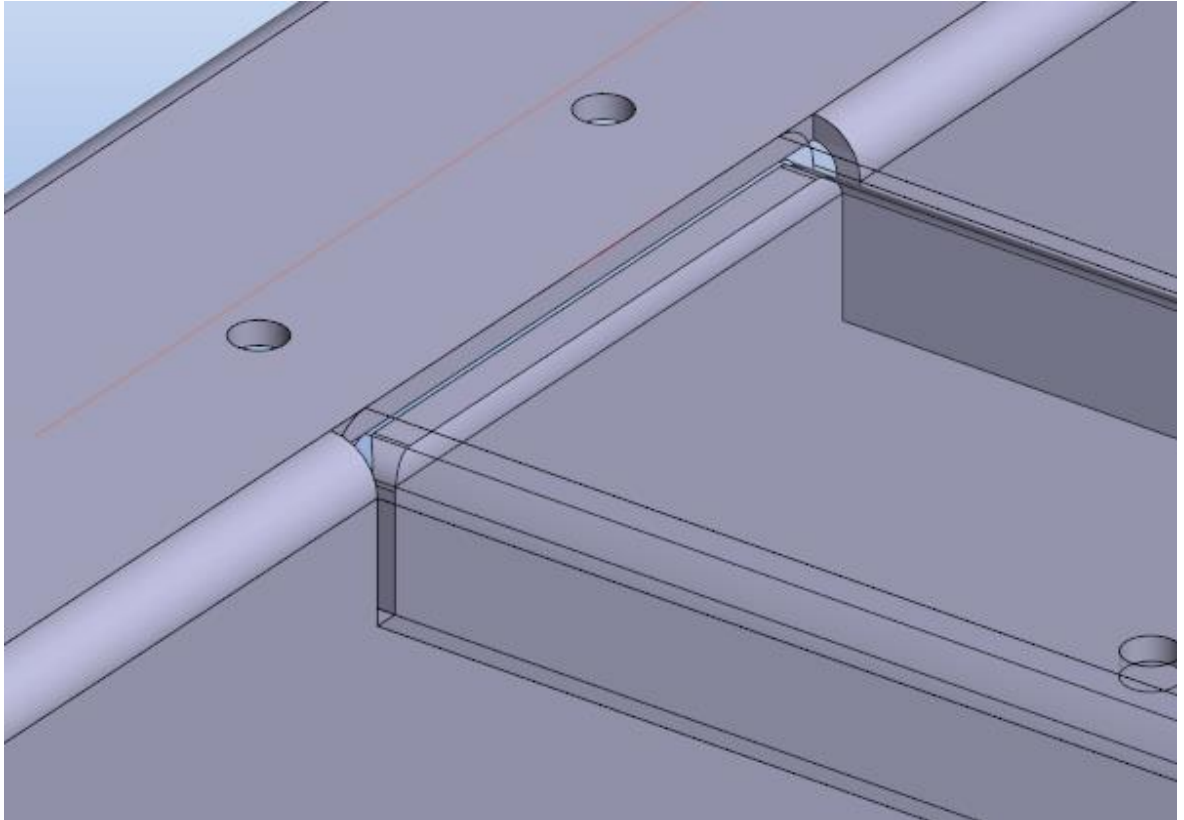
on viitattu tukien paikan muutoksella, kun siinä solussa oleva pituuden arvo muuttuu. Kaikille muuttujille annettiin arvo, joka on linkitetty leveyden, korkeuden tai pituuden muuttuja soluun. Kun käyttöliittymä oli valmis, se voitiin tallentaa ja käyttää komentoa "aja automaatti", jolloin Excel sulkeutuu itsestään. Nyt voitiin hakea käyttöliittymä ja komentotiedosto projektin kansioista kuvioon 6 niille kuuluviin tyhjiksi kenttiin. Lopuksi suunnitteluautomaatin puolelta valittiin "aja automaatti" -komento ja VXG4_AUTOASSY alkoi lukea tekstitiedostoa, jonka perusteella se valmisteli mitamuutokset kokoonpanoon.

```
=JOS(Kayttoliittyma!C4>=4501;0,25*Kayttoliittyma!C4;JOS(Kayttoliittyma!C4>=3001;0,33333*Kayttoliittyma!C4))
```

Kuvio 9. Exceliin kirjoitettu esimerkkikaava.

Useimmiten ensimmäisen ajon jälkeen vasta näki asiat, joita ei ole muistanut ottaa huomioon. Saattaa olla, että pituuden muuttuessa on jokin piirresarjan lukittu väärin, jonka seurauksena osa jääkin kappaleen ulkopuolelle eikä liiku kokoonpanon mukana. On myös mahdollista, että Vertex kääntää mitan toiselle puolelle automaattia ajaessa, jolloin malli tai luonnospierre jää kokoonpanon ulkopuolelle. Joissakin tapauksissa on lähes mahdotonta saada kappaletta muuttumaan järkevästi mallin mukana, joka kuitenkin osoittautuikin usein varsin positiiviseksi asiaksi. Tällöin voitiin käyttää 2.3 kohdassa mainittua DFA-metodia ja keksittiin paljon kokoonpanoystävällisempi tapa suunnitella hankalaa osaa.

Rungon seiniin hitsattavat tuet kansien kiinnitystä varten osoittautuivat suunnitteluautomaatilla hankalasti muutettaviksi malleiksi. Aiemmin on ollut tapana, että tuet hitsataan vain niille määrättyihin kohtiin seinän yläreunan tasolle, mutta kuten kuviossa 10 on esitetty, upotuksen tekeminen nopeuttaa tätä työvaihetta. Loveamalla seinään upotukset tuille saadaan tuet kiinnitettyä upotukseen, jolloin automaatin tekeminen helpottuu, koska mallista tehtyä piirresarjaa ei saa lukittua yhtä hyvin kuin luonnoksesta tehtyä piirresarjaa. Tällä tavalla saatiin tuet mitoitetuiksi ja lukittuiksi parhaimmalla mahdollisella tavalla. Upotuksen tekeminen auttaa myös asennusvaiheessa hitsaajia, koska enää ei tarvitse mitoittaa kappaleen paikkaa, vaan se voidaan yläpuolelta asentaa sille tarkoitetulle paikalle, hitsata ympäriltä ja suorittaa työvaihe nopeammin.



Kuvio 10. Automaatin ja asennuksen tekemisen helpottaminen loveamalla upotuskohta poikkituelle.

4.3 Kulman valmistelu automaattiksi

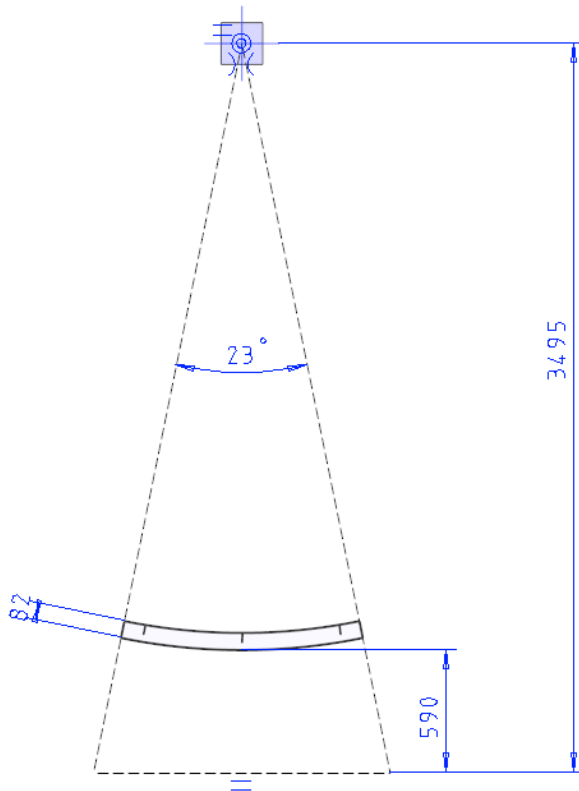
Kulmaosan tekeminen aloitettiin samalla tavalla kuin rungonkin. Ensiksi käytiin läpi, millä muuttujilla kulman määrittäminen toteutettaisiin, koska pituutta ei pystynyt kulmalle määrittämään. Päädyttiin siihen lopputulokseen, että kulman sekä leveyden ja korkeuden lisäksi mukaan täytyi ottaa pohjan säde, jonka mukaan kulman pituutta saisi säädeltyä järkevästi. Seuraavaksi tarkasteltiin, mitä asioita piti ottaa huomioon suunnitteluautomaattia tehtäessä.

Muuttuvia osia ja asioita kulmassa oli:

- kulma, leveys, korkeus ja säde
- kulman muutos 10 ja 40 asteen välille
- painimien etäisyydet toisistaan
- tukilattojen muotoilu

- kansien kanttaukset
- kulman muutoksen ja pohjan säteen yhdessä toimiminen
- vanerin poisto pohjasta
- muovien paikoitus.

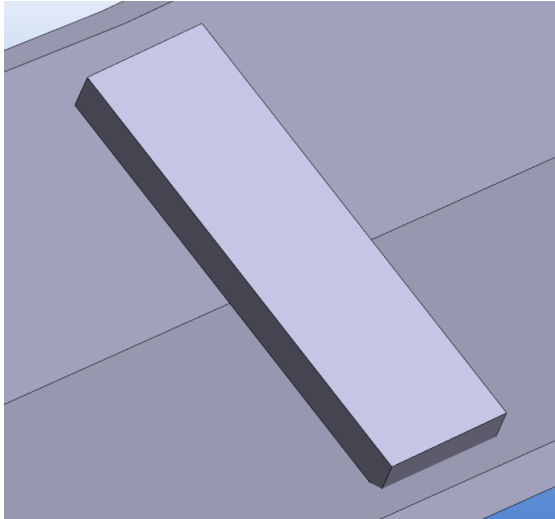
Kulmakokoonpanon tekeminen aloitettiin muuttamalla kaikki mallit ja alikokoonpanot samalle projektinumerolle kuin runko-osallakin. Tällä tavalla estettiin, että vanhan projektin mallit eivät muuttuisi samalla, kun malleja muokataan automaatile sopiviksi. Kulman tapauksessa täytyi suunnitella osia todella omalaatuisella tavalla, jotta niistä saatiin kaikkien parametrien mukaan järkeväksi muuttuvia malleja. Kuviossa 11 on esitettyä kulman kokoonpanoon kuuluvan painimen osa, jonka luonnos on jouduttu tekemään apuviivoja hyödyntäen. Koska painimeen vaikuttaa kolme muuttujaa: kulma, pohjan säde ja korkeus, on sen luonnos tehty muuttumaan edellä mainittujen arvojen mukaan. Kuvioon 11 ollaan määritetty apuviivoilla pohjan säteen olevan 3495 millimetriä ja pohjasta otetuksi korkeuden mitaksi 590 millimetriä. Lopuksi määritettiin myös kulmalle muuttuva arvo. Normaalisti suunniteltaessa mitoitettaisiin luonnoksen pohjasta säde ja lukittaisiin luonnos muotoviivasta origoon, jonka jälkeen sille annettaisiin kulman arvo. Lähes kaikki kulman kokoonpanon osat on toteutettu kuvion 11 mukaisella tavalla, jolloin pystytään helpoiten tekemään suunnitteluautomaatti niin, että sen mallit muuttuvat kulman, korkeuden ja säteen mukaan.



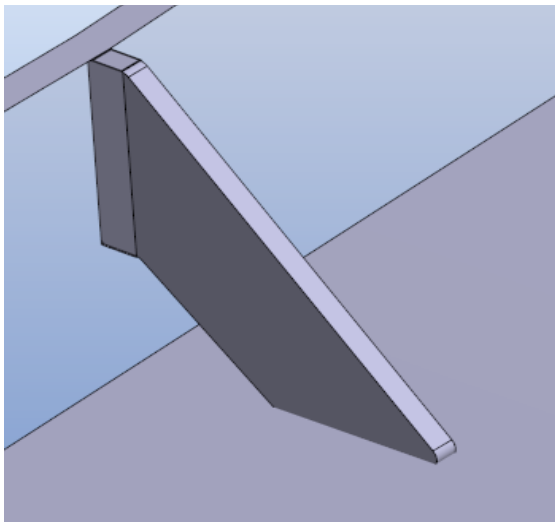
Kuvio 11. Kulman painin, jonka luonnos on apuviivoilla piirretty muuttumaan kulman, säteen ja korkeuden mukaan.

Automaatiksi valmistelu toteutettiin kulman kokoonpanolle samaa kaavaa noudattaen kuin rungolla. Kokoonpanolle valmisteltiin automaatti, jolloin sille saatiin avattua Excel-tiedosto ja päästiin syöttämään kaavat nimetyille muuttujille. Kulman kokoonpanoa piti automaattilla ajaa ja muuttaa monta kertaa, koska kaikkia osia oli hankala saada kerralla muuttumaan oikein ja jotkin osat oli vaikea kiinnittää niin, etteivät ne purkautuisi kesken ajon. Kuviossa 12 on esitetty, kuinka tukilatat oli vanhalla tavalla suunniteltu ja kuviossa 13, miten ne suunniteltiin tukilevyistä, että automaatti saatiin toimimaan. Vanhalla tavalla tehdessä tuotiin yksi tukilatta ja tehtiin siitä mallin polaarinen piirresarja, jolle annettiin säde ja kulma. Kun mallista tehdään piirresarja, Vertex tekee sille 3D-luonnoksen ja sen kiinnittäminen ehdoilla suunniteluautomaatin tapauksessa osoittautui liian hankalaksi. Kulmaa ja sädettä muuttaessa tukilatat eivät liikkuneet kokoonpanon mukana oikein. Kun tehtiin paikoitusreikä toiseen tuettavaan kappaleeseen, saatiin tuki liikkumaan kulman kokoonpa-

noa muuttaessa. Paikoitusreiän luonnoksesta tehtävä polaarinen piirresarja on helpompi lukita paikoilleen mallista ja näin saatiin paikoitusreikä liikkumaan mallin mukana oikein. Sitä varten suunniteltiin vielä omat tukilevyt, jotka sai helposti ainoastaan upottaa niille kuuluville paikoille. Tukilevyille pystyi tekemään pintaosan piirresarjan, jolla onnistuttiin välttämään vaikean 3D-luonnoksen lukitseminen. Uusi muotoilu helpottaa jälleen hitsaajien työtä ja nopeuttaa asennusta. Tukilevyjä voi myös käyttää vähemmän kuin tukilattoja, koska ne vahvistavat enemmän rakennetta.



Kuvio 12. Lattateräksellä suunniteltu tuenta.



Kuvio 13. Takalevyyn tehty paikoitusreikä tukilevyä varten.

4.4 Taittopään valmistelu automaattiksi

Taittopään suunnitteluautomaatti noudatti edelleen samaa kaavaa kuin edellisetkin kolakuljettimen osat. Taittopäälle päätettiin asettaa vakio pituus kahteen metriin, jolloin käsiteltäviksi muuttujiksi jäivät ainoastaan korkeus ja leveys. Yrityksen edustajan kanssa käytiin jälleen läpi muuttuvat kohdat taittopäässä ennen kuin osien mallintaminen aloitettiin.

Muuttuvia osia ja asioita olivat:

- leveys ja korkeus

- painimiin muutettava pitkittäiset reiät
- komponenttien vaihto
- anturikotelon pidikkeen tekeminen molemmille puolille
- akselin kätisyys sekä halkaisija
- ketjupyörien määrittäminen
- laakereiden puolenvaihtaminen kätisyyden mukaan.

Pohjaksi otettiin valmis taittopää, josta muutettiin tehtyjä osia uudelle projektille ja samalla muokattiin malleja automaatille sopivammiksi. Koska taittopäälle ei tarvinnut määritellä pituuden muuttujaa, oli se vähän helpompi tehdä toimivaksi kuin edelliset kuljettimen osat. Kaikki menikin vanhaa kaavaa noudattaen aina siihen asti, kunnes tuli vuoro tarkastella komponentteja ja ketjupyöriä. Akselin aihion kooksi määritettiin ainoastaan 90 mm, mikä helpotti laakereiden valintaa, koska kokoonpanoon tarvitsi lisätä niitä ainoastaan yhtä kokoa. Ketjupyörien kanssa ilmenikin haasteita, koska huomattiin, että niitä tarvittaisiin kuljettimeen erittäin paljon.

Taulukossa 1 on esitetty erilaisia ketjupyöriä, joita kuljettimessa voidaan käyttää. Taittopäässä päätettiin käyttää kahdeksalla hampaalla olevia M160, M224 ja M315 halkaistuja ketjupyöriä, koska Team Vesmes on niitä entuudestaan usein käyttänyt. Jokaisesta ketjunumerotyypistä on vielä olemassa neljällä eri ketjujaolla olevia ketjupyöriä ja neljälle eri ketjutyypille olevia ketjupyöriä. Jokaiselle jaolle tarvitaan ketjupyörä, mutta ketjutyypeistä käytössä olisi vain A- ja B-tyyppin ketjut. Tämä tekisi yhteensä 24 erilaista ketjupyörää, jotka pitäisi suunnitella. Tässä kohtaa päätettiin kuitenkin, että ei ole opinnäytetyön tarkoituksenaan mukaista suunnitella montaa erilaista ketjupyörää, joten mallinnettiin ainoastaan A-tyyppin ketjulle sopivia pyöriä kolmella eri jaolla M160, M224 ja M315 pyörille. Tämä vähensi pyörien määrän yhdeksään. Loput ketjupyörät lisätään jälkeempään, kun automaatti ollaan saatu toimintaan asti.

Taulukko 1. Ketjupyörätaulukko (Lapua-ketju.fi 2018).

Ketju no	Jako	Navan pit.	z=8	Z=10	Z=12	Z=14	Z=16
M160	100	110	261	324	386	449	513
	125	110	327	405	483	562	641
	160	110	418	518	618	719	820
	200	110	523	647	773	899	1025
M224	100	120	261	324	386	449	513
	125	120	327	405	483	562	641
	160	120	418	518	618	719	820
	200	120	523	647	773	899	1025
M315	125	140	327	405	483	562	641
	160	140	418	518	618	719	820
	200	140	523	647	773	899	1025
	250	140	653	809	966	1123	1281

Kun kaikki ketjupyörät oli saatu suunniteltua, tuotiin jokainen niistä taittopään kokoonpanoon. Kokoonpanoon tuotiin myös yhteensä neljä laakeria, joista kahdessa oli toinen kylki suljettuna ja kaksi oli läpivietäviä. Malliin asennettiin myös molemmin puolin anturikotelo ja tuotiin vielä lopuksi kaksi akselia, jotka olivat kumpikin eri päin. Osat kasattiin päällekkäin siitä syystä, että se on nopein tapa ajaa automaattia, kuten kohdassa 3.2 todettiin. Jokaisesta kappaleesta otettiin ID-numero ja se lisättiin ”automaatin poistettavat osat” -kohtaan. *Poistettavat osat* -välilehdellä on valmiiksi olemassa ”käytössä-rivi”, johon syötetään numero 1, jos se on aktiivinen ja numero 0, jos se ei ole. Käyttöliittymävälilehdelle luotiin alavetovalikko, johon kuuluivat kaikki ketjupyörät. *Poistettavat osat* -välilehdellä viitattiin ketjupyörien alavetovalikon soluun, jolloin pystyttiin helposti valitsemaan, mikä ketjupyörän tyyppi otettiin käyttöön ja poistamaan tarpeettomat ketjupyörät. Käyttöliittymävälilehdelle tehtiin vielä valintanappi, jolla määritettiin, onko kuljetin oikea- vai vasenkätinen. Tämä nappi taas poisti ylimääräiset laakerit, väärän puolen akselin ja anturikotelon. Lopuksi ajettiin automaatti ja siellä oli ainoastaan tarpeelliset komponentit ja osat enää jäljellä.

4.5 Vetopään valmistelu automaattiksi

Vetopään kokoonpanon suunnittelu aloitettiin samalla tavalla kuin edellisetkin vaiheet. Vetopäälle määritettiin vakiopituus 1500 mm ja muuttujiksi leveys, korkeus

sekä akselin paksuus. Akselin aihion paksuus tulee olemaan 90 mm, kuten taittopäässä, ja akselin kokoa pitää voida muuttaa 120 millimetriin tarpeen tullen. Vetopäässä valmisteltiin kaikki osat uudelle projektinumerolle ja malleja muokattiin suunnitteluautomaatin käyttöön sopiviksi. Mitään uutta ei ilmestynyt enää vetopään kohdalla, vaan saatiin noudattaa samaa kaavaa kuin edellisissäkin kuljettimen osissa. Vetopään muuttaminen automaattilla ajettavaksi oli tästä johtuen nopeasti tehty.

Vetopäässä työllisti mallien muuttamisen lisäksi ketjupyörän napakoon muuttaminen. Isompaa akselikokoa varten jouduttiin tekemään isompinapaisia pyöriä. Ketjupyöriin ja kiristinpantoihin muutettiin 30 mm isompi reikä, että ne saatiin sopimaan kunnolla isomman akselin ympärille. Tämä toimenpide suoritettiin ainoastaan niille yhdeksälle ketjupyörälle, jotka oli luonnosteltu taittopäätäkin varten. Laakereita tuli luonnollisestikin myös kahta eri kokoa. Vetopäässä olevaa vaihdemoottoria ei tarvinnut asentaa paikoilleen, koska lopullisia käyttöön tulevia vaihdemoottoreita ei ollut vielä päätetty.

Vetopään automaattiksi valmistelu tapahtui samalla tavalla kuin edellisissäkin vaiheissa. Vetopäälle tehtiin käyttöliittymävälilehdelle samanlainen alasvetovalikko ketjupyörien valintaa varten kuten taittopäässäkin, ja lisättiin siihen isomman napakoon ketjupyörät. Laakereita varten tehtiin myös alasvetovalikko, jolla ohjattiin akselin kokoa. Kätisyydellekin tehtiin valintanappi samalla tavalla kuin taittopäässä.

4.6 Kuljettimen rakentaminen automaattiksi

Kun kaikista kuljettimen osista oltiin saatu tehtyä automaattit valmiiksi asti, oli aika tuoda ne yhteen kokoonpanoon, joka tulisi olemaan yrityksen käytössä oleva suunnitteluautomaatti. Kokoonpanoon tuotiin taittopää, kulma, rungon pituuden soviteosa, kolme rungon kiinteää osaa ja vetopää. Ideana oli, että rungon soviteosan pituutta muuttamalla pystyttäisiin kuljettimen kokonaispituutta muuttamaan ja rungon kiinteitä osia poistettaisiin aina sitä mukaan, kun soviteosasta loppuisi muuttumisvara. Soviteosa on kaavoiltaan ja osiltaan täysin sama kuin rungon kiinteätkin osat, mutta soviteosa piti tallentaa uudeksi kokoonpanoksi ja muuttaa kaikkien kaavojen mittojen nimiä, jotka vaikuttavat pituuden muutokseen. Tällöin rungon kiinteät osat eivät muutu samalla, kun soviteosan pituutta muutetaan.

Kuljetin olikin nopeasti siinä kunnossa, että se pystyttiin valmistelemaan automaattiksi. Koska kuljetin sisälsi monta eri osaa, muodostui mitoista todella pitkä lista, josta alkuun oli karsittava turhat tai kahteen kertaan ilmestyneet mitat pois. Kun mitat oltiin saatu järjestykseen, tehtiin käyttöliittymävälilehdelle kaikille tarpeellisille muuttuville parametreille solut ja nimettiin ne. Tämän jälkeen kopioitiin valmiiksi olemassa olevista automaateista mittoihin liitetyt kaavat ja lisättiin ne koko kuljettimen automaatin mittojen kenttiin. Joihinkin mittoihin ei oltu täysin tyytyväisiä ja niitä muutettiin tarpeen mukaan. *Poistettavat osat* -välilehdelle kopioitiin myös veto- ja taittopään automaateissa olleet valmiit kaavat poistettavien osien kohdalle. Tässä kohtaa oli hyvä tehdä koeajo automaatille ja katsoa kaikkien osien toiminta ja tehdä tarvittavat muutokset osiin sekä automaattiin.

Uutena asiana tuli elementtien nimeäminen. Kuten kohdassa 3.2 todettiin, elementtien nimeämisellä pystytään ohjaamaan osien paikkaa automaatin ajamisen aikana. Tässä vaiheessa, kun on tarpeen saada erilaisia variaatioita aikaan, on rungon kiinteitä osia poistettava pääkokoonpanosta, mikä edellyttää joidenkin osien elementtien nimeämistä. Kuviossa 14 on näytettynä kolme riviä, joissa on viitattuna rungon kiinteän osan päätytukeen ja vetopään vastaavaan kappaleeseen. Näille on määritetty distance-komento, jolla määritellään nimettyjen elementtien etäisyys toisistaan. Käytettävissä rivillä on taas ykkönen, jos elementtien rajausta on aktiivinen ja nolla, jos se ei ole käytössä. Aktiiviseksi linkittämiseen vaikuttaa se, poistetaanko rungon kiinteää osaa. Jos kuljettimen pituus todetaan soviterungon osalla oikeaan mitaan muutettavaksi, ei ole tarpeellista aktivoida näitä kolmea riviä. Kolakuljettimesta saatiin myös elementtien nimeämistä hyödyntäen vaakatasoinen kuljetin poistamalla kulma ja liittämällä runko suoraan taittopäähän.

Osa 1	Osan 1 rajaelementti	Osa 2	Osan 2 rajaelementti	Rajoitus	Arvo	Lisäparam.	Käytössä
#103/#100/#111	S(KIINNI)	#101/#100/#101/#123	S(TAITTO_KIINNI)	distance	0		0
#103/#100/#111	S(YLAKIINNI)	#101/#100/#101/#123	S(TAITTO_YLA)	distance	0		0
#103/#100/#111	S(SIVUKIINNI)	#101/#100/#101/#123	S(TAITTO_SIVU)	distance	0		0

Kuvio 14. Kahden kappaleen elementtien nimeäminen automaatissa.

Viimeisimpänä asiana kuljettimeen tuotiin kolat. Ensiksi mallinnettiin normaali kola, minkä jälkeen käytettiin samaa kolaa pohjana ja lisättiin siihen kaavainlevy. Kolia tulee luonnollisestikin olemaan todella monta, mutta kokoonpanoon lisättiin ainoas-

taan yksi kumpaakin kolaa. Suunnittelija määrittää lopuksi kolien määrän kokoonpanonpiirustukseen. Kolan leveys määrittää koko kuljettimen leveyden, joten se lisättiin käyttöliittymävälilehdelle käsin asetettavaksi arvoksi. Kolan korkeus lisättiin myös käsin syötettäväksi arvoksi, koska sillä pystytään vaikuttamaan kuljettimen kapasiteettiin.

Vertexin puolelta käytiin vielä jokaiseen malliin ja kokoonpanoon lisäämässä piirustukset ja antamassa malleille materiaalitiedot. Tämän jälkeen lisättiin *piirustukset*-välilehdelle kappaleiden nimikenumerot, jolloin automaatti päivittää piirustukset ajon aikana eikä jokaista piirustusta tarvitse enää erikseen käydä avaamassa ja päivittämässä.

Lopuksi tarvitsi enää viimeistellä käyttöliittymävälilehti niin, että se olisi mahdollisimman helposti omaksuttava. Kuviossa 15 näkyy käyttöliittymän ilmiasu, jota yrityksessä tullaan käyttämään. Punaisella merkattuja arvoja ei ole tarkoitus muuttaa, mutta se on myös mahdollista, jos esimerkiksi vetopään pituutta tarvitsee jostain syystä kasvattaa tai pienentää. Mustalla fontilla olevat arvot ovat käsin syötettävissä ja niitä muuttamalla saadaan kuljetin mitoiltaan suunnittelijan haluamaksi. Kuljettimen kätisyys on valintanapilla valittavissa, kuten se oli veto- ja taittopäidenkin automaateissa. Alasvetovalikoilla määritetään lopulliset komponentit, joita käytetään kuljettimessa. Variaatiokohdalla tarkoitetaan sitä, että kuljettimen pystyy muuttamaan myös suoraksi. Vaihtamalla numeron nollan ykköseksi variaatio-kohdassa automaatti poistaa kulman pääkokoonpanosta kokonaan ja kääntää kuljettimen vaakatasoon. Viimeisimmillä riveillä on ainoastaan informaatiota automaatin käyttäjälle kuljettimen pituudesta. Pituusrivejä tarkkailemalla käyttäjän on mahdollista muuttaa rungon sovitepalan pituutta sekä poistaa rungon kiinteitä osia, jotta kuljettimesta saadaan halutun mittainen.

ÄLÄ IKINÄ TALLENNA AUTOMAATTIA AJON JÄLKEEN KOKOONPANON PÄÄLLE!	
Pituus	5990
Vetopään pituus	1490
Taittopään pituus	1990
Rungon sisä leveys	816
Vetopään akselin säde	60
Sovite palan pituus	5000
Korkeus	714
Kulma	23
Kulman säde	3500
Rungon osien määrä	3
Kolan leveys	600
Kolan Korkeus	130
Kuljettimen käisyys:	
<input checked="" type="radio"/> Vasen	<input type="radio"/> Oikea
Vetopään Laakerinkoko:	
Laakeri Ø110	
Vetopään ketjupyörä:	
Ø85 M160-A125	
Taittopään ketjupyörä:	
Ø85 M160-A125	
Variaatio:	
0	(0-1)
Variaatio 0:	
1 = Taittopää	
2 = Kulma	
3 = Sovitepala	
4 = Muuttumaton runko osa	
5 = Vetopää	
Variaatio 1:	
1, 3, 4, 5	
Kulman pituus=	1395,58
Rungon pituus=	23000
Koko kuljettimen pituus=	24395,58 243,96 m

Kuvio 15. Kolakuljettimen käyttöliittymävälilehti, jonka arvoja muuttamalla saadaan halutunlainen kuljetin.

5 PROJEKTIN ETENEMISEN TARKASTELU JA TULOKSET

Opinnäytetyön tekijälle suunnitteluautomaatti oli täysin uusi asia ennen opinnäytetyöhön ryhtymistä, minkä takia se vaati alkuun paljon tutustumista sen toimintaan ja valmisteluun. Team Vesmesin suunnitteluosaston henkilökunnalta sai kumminkin tarpeen mukaan apua suunnitteluohjelmiston käytössä, jos vastaan tuli mallintamisesta tai ohjelmistosta johtuvia haastavia kohtia. Vertexiltä annettiin myös suunnitteluautomaattiin kuuluvaa tietoutta aina tarpeen tullen.

5.1 Projektin eteneminen ja haasteet

Projektin aloittaminen rungon suunnittelulla oli hyvä päätös, koska se ei sisältänyt alkuun mitään poistettavia osia eikä nimettäviä elementtejä, joten voitiin keskittyä ainoastaan mittojen muuttamiseen. Suunnitteluautomaatin Excelin käytön opettelu sekä siinä käytettävien kaavojen opettelu kulutti jonkin verran aikaa. Samantyyllisiä kaavoja käytettiin kuitenkin muissakin osissa eikä pelkästään rungossa, mikä nopeutti loppujen osien kaavojen tekemistä. Koska runko sisälsi epäsymmetrisesti riveissä olevia reikiä ja vaikeasti sidottavia poikittaistukia, hidastivat ne hankalilla ehtojen sitomisilla ja erikoisilla kaavoillaan huomattavasti automaatin tekemistä. Rungon automaattiksi valmistelussa esiintyneet haasteet olivat kumminkin todella opettavaisia ja samanlaisia haasteita esiintyi myöhemminkin eri osissa. Kaikki runkoon kuuluvat mallit saatiin lopuksi automaattia ajamalla muuttumaan oikealla tavalla, joten opinnäytetyön tekijä oli tähän varsin tyytyväinen.

Kulman kokoonpano oli kaikkein haastavin ja eniten aikaa ottava kaikista kuljettiin liittyvistä osista. Suurimmat haasteet olivat normaalin suunnitteluideologian pois jättämisen ymmärtämisestä, jotta kulma saatiin muuttumaan kaikkien haluttujen parametrien mukaisesti. Kaikki osat piti suunnitella tarkkaan muuttumaan säteen, korkeuden ja kulman mukaan, koska muuten automaatin ajon jälkeen kulman kokoonpano irrotti mallit ehdoistaan ja niin sanotusti räjäytti kokoonpanon. Ensimmäisten mallien tekeminen automaattilla ajettavaksi kesti kolmen normaalimittaisen työpäivän verran, joten koko kulman kokoonpanon toiminnan eteen sai tehdä todella

paljon töitä. Kulma saatiin kuitenkin toimimaan moitteettomasti, mikä oli suuri helpotus monien vaikeuksien jälkeen.

Taittopään aloitus sujui jo rutiinilla kulman ja rungon kokoonpanojen automaattiksi tekemisen jälkeen. Koska tiedettiin, että ketjupyöriä ja muita komponentteja pitää pystyä poistamaan automaattilla, sovittiin vierailu Vertexillä. Vierailun tarkoitus oli, että saisimme heiltä apua osien poistamisen suhteen, koska emme siinä itse onnistuneet. Tapaamisessa ilmeni, että olimme käyttäneet vanhaa Excel-pohjaa Prestolla ja uuden pohjan opettelu hidasti jälleen projektin etenemistä. Uusi pohja oli kuitenkin paljon parempi ja helppokäyttöisempi kuin vanha pohja. Taittopäästä saatiin lopuksi kaikki ylimääräiset komponentit poistettua automaattia ajaessa.

Vetopää ei viimeisimpänä kuljettimeen kuuluvana kokoonpanona tuonut enää mitään uutta asiaa automaatin puolella. Uusien ketjupyörien mallintaminen hidasti vähän työn etenemistä, mutta vetopään valmistelu automaattiksi sujui muuten vaivattomasti.

Viimeisimmässä osuudessa lisättiin kaikki automaattiksi valmistetut osat: taittopää, vetopää, kulma ja runko yhteen lopulliseen kokoonpanoon. Osien yhdistämisen jälkeen saatiin koko kuljettimen automaatti toimimaan nopeasti, koska voitiin jo olemassa olevista automaateista kopioida kaavat siihen. Elementtien nimeäminen tuli tässä kohtaa uutena asiana, mutta Excel-pohjan välilehti, johon sidottavien elementtien tiedot syötetään, oli tehty todella helpoksi käyttää. Koska elementtien rajaaminen toisiinsa nähden oli vaivatonta tehdä, saatiin automaatti toimimaan nopeasti. Kolakuljettimen pääkokoonpanon muokkaaminen oli enää lopuksi pelkästään pienten yksityiskohtien muuttamista paremmiksi. Parin testiajon jälkeen voitiin todeta, että automaatti toimii halutulla tavalla ja tarvittavat variaatiot saatiin toimimaan automaattia ajaessa.

Lopuksi käytiin vielä tekemässä valmiit piirustukset kaikille malleille ja niille lisättiin automaattiin päivittämiskomennot. Tällä onnistutaan säästämään aikaa, kun jokaisen mallin kohdalla ei tarvitse käydä aukaisemassa mallin puolella piirustuksia, vaan voidaan tallentaa mallit suoraan halutulle projektille.

5.2 Tulokset ja tavoitteet

Tuloksena saatiin aikaiseksi toimiva suunnitteluautomaatti, joka täytti sille asetetut tavoitteet. Tavoitteena oli aikaansaada toimiva suunnitteluautomaatti, jonka avulla kyettäisiin nostamaan suunnittelun tehokkuutta ja samalla vapauttamaan suunnitteluosaston resursseja muihin tehtäviin. Käytön tarkoitus oli saada mahdollisimman vähillä käsin syötettävillä arvoilla ohjattava käyttöliittymä ja täten tehdä siitä myös helposti omaksuttava. Toissijaisena tavoitteena oli piirustusten päivittäminen ja niissä mittojen mukana muuttuminen. Tärkeimpänä edellä mainituista tavoitteista oli kolakuljettimen suunnittelun tehostaminen ja automaatin avulla onnistuttiinkin nopeuttamaan sen suunnitteluprosessia merkittävästi.

Yhtenä merkittävänä tuloksena, jota ei alkuun edes asetettu tavoitteeksi, oli kolakuljettimen muuttuminen asiakasräätälöidystä tuotteesta vakiotuotteeksi. Kaikki kolakuljettimet on tehty aina asiakastarpeen mukaan projektikohtaisesti, mutta automaattia varten akselikokoja ja komponentteja vakioitiin tietyn kokoisiksi, jolloin näissä kohdin kuljettimesta saatiin muuttumaton kokonaisuus aikaan.

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Aluksi opinnäytetyössä tutkittiin teoriaa suunnitteluautomaatista ja suunnitteluun liittyvistä toimintatavoista, minkä perusteella aloitettiin suunnitteluautomaatin valmistaminen. Kaikille kuljettimeen kuuluville kokoonpanoille tehtiin oma suunnitteluautomaatti, jolloin automaattia käytettäessä olisi helpompi huomata ongelmakohtat. Jokaiselle kokoonpanolle määritettiin omat muuttujat ja osaa malleista muutettiin suunnitteluautomaatilla käytettäväksi, jotta kuljettimesta saatiin toimiva kokonaisuus. Käytettäviä komponentteja ja joitakin mittoja vakioitiin, mikä teki kolakuljettimesta standardoidumman kokonaisuuden. Kaikki kokoonpanot liitettiin lopuksi yhteen, jotta saatiin aikaan kokonainen kolakuljetin, jolle tehtiin yrityksen käytössä oleva suunnitteluautomaatti.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaiseksi täysin toimiva suunnitteluautomaatti kolakuljettimelle. Automaatille asetetut tarpeet, eli mahdollisimman vähillä käsin syötetyillä parametreilla ajaminen ja variaation mahdollisuus suoraksi vaakakuljettimiksi, onnistuttiin toteuttamaan. Suunnitteluautomaatin käyttöliittymävälilehdestä saatiin helppokäyttöinen, jolloin uuden käyttäjän on vaivatonta tehdä halutunlainen kuljetin. Piirustusten päivittäminen malleihin onnistui myös halutulla tavalla, jolloin piirustusten käsittelemiseen ei tarvitse käyttää paljoakaan aikaa. Kolakuljettimen suunnitteluun käytettyä aikaa saatiin merkittävästi lyhennettyä, mikä mahdollistaa suunnittelun käytössä olevien resurssien kohdentamisen muihin tehtäviin. Suunnitteluautomaatin tekemisestä johtuvan valmistusystävällisen suunnittelun toteuttaminen tietyille kappaleille auttaa myös koko tuotteen läpivientiprosessia lisäämällä tehokkuutta ja tuoden virheettömyyttä kokoonpanon tekemiseen. Suunnitteluautomaatin avulla onnistuttiin tehostamaan suunnittelua ja vähentämään inhimillisten virheiden määrää kolakuljettimen suunnittelussa. Kaikkien yksityiskohtien tarkasteluun ja piirustusten jatkuvaan päivittämiseen ei tarvitse enää käyttää aikaa, jolloin voidaan keskittyä uusiin innovaatioihin.

Projektin aikataulu venyi odotettua pidemmäksi ja oli työlämpi toteuttaa kuin alkuun oli ajateltu. Väärin arvioitu työmäärä johtui pitkälti siitä, ettei 3D-mallien työmäärää osattu arvioida oikein. Toisena syynä viivästyksen oli väärän käyttöliittymän käyttäminen, joka jouduttiin myöhemmin hylkäämään ja ottamaan päivitetty versio sen

tilalle. Uusi käyttöliittymä oli todella hyvä sekä mieluista käyttää. Yksi merkittävä tekijä opinnäytetyön valmistumisen kannalta oli Vertexiltä saatu tuki ja Team Vesmesin osaava suunnitteluosaston henkilökunta, joilta sai tarvittavaa apua ongelmallisissa tilanteissa.

Kolakuljettimen suunnitteluautomaattiin tehdään vielä eri variaatiomahdollisuuksia, joiden avulla saadaan paremmin vastattua asiakastarpeisiin. Kolakuljettimeen voisi esimerkiksi lisätä toisen kulmaosan ennen vetopäätä ja muuttuvan runko-osan heti taittopään jälkeen. Kuljettimen suunnittelun nopeutta voitaisiin myös edistää ostamalla suunnitteluautomaattiin lisäosa, jonka avulla voitaisiin kokoonpanot sekä yksittäiset mallit tallentaa automaattia ajamalla uudelle nimikenumeralle. Koska lisäosa on maksullinen, sen ostamispäätös jää kuitenkin Team Vesmesin harkintaan.

Parannettavaa suunnitteluautomaatin tekoprosessissa olisi ollut kokoonpanojen rakentamisessa. Kaikkein järkevintä olisi ollut tehdä luurankomalli eli skeleton jokaiselle kokoonpanolle ja skeletoniin lisätä aputasoja, joita olisi automaattilla ohjattu. Tällä tavalla olisi voitu yksittäiset mallit kiinnittää näihin aputasoihin, jolloin mallit eivät olisi luultavasti purkautuneet irti toisistaan kovinkaan helposti. Vertexille olisi voinut myös ottaa yhteyttä ennemmin, jolloin olisi saatu mahdollisimman aikaisessa vaiheessa uusi Prestonin suunnitteluautomaattipohja käyttöön.

LÄHTEET

- Autila, J-M. 2016. Tuoteautomaatiokurssi. [Koulutusmateriaali]. Tampere: Vertex System Oy. [Viitattu 30.1.2018]. Vain yrityksen sisäiseen käyttöön.
- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6. p. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Dgn Innovation. 2018. Suunnitteluautomaatti ja konsultointi. [Verkkosivu]. DGN Consulting Oy. [Viitattu 4.1.2018]. Saatavana: <http://www.dgn.fi/suunnitteluautomaatti/>
- DriveWorks Ltd. 2017. Design automation. [Verkkosivu]. DriveWorks Ltd. [Viitattu 15.12.2017]. Saatavana: <http://www.driveworks.co.uk/design-automation/>
- Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonian-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.
- Hietikko, E. 2012. SolidWorks tietokoneavusteinen suunnittelu 2012. 5.p. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Jokinen, T. 1987. Tuotekehitys. 6. p. Helsinki: Otatieto.
- Käsnänen, H. 2018. Ohjelmistoasiantuntia. Tampere: Vertex Systems Oy. Haastattelu 15.1.2018.
- Laaksonen, T., Nieminen, J., Pulkkinen, A., Rapinoja, J-M., Simons, J., Uski, P., Salmi, H., Vainionpää, M. 2016. Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet [Verkkoraportti]. METSTA ry. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavana: http://www.metsta.fi/ajankohtaista/Uutisia/MBD_Raportti_2016.pdf
- Lapua-ketjut Oy. 2018. Ketjupyörät [Verkkosivu]. Lapua-Ketju Oy [Viitattu 23.1.2018]. Saatavana: <http://www.lapua-ketjut.fi/ketjutuotteet/ketjupyorat/>
- Niva, M. & Tuominen, K. 2005. Benchmarking käytännössä. Turku: Oy Benchmarking Ltd.
- Ulrich, K & Eppinger S. 2012. Product design and development. 5.p. New York: McGraw-Hill Companies.
- Team Vesmes. 2017. Yritys. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.10.2017]. Saatavana: <http://www.teamvesmes.fi/index.html>

Tuhola, E & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.

Vertex System Oy. 2016a. Vertex G4-ohjelman ohjetiedot. [Ohjetiedosto]. Tampere: Vertex Systems Oy [Viitattu 16.1.2018]. Saatavana: Vaatii Vertex G4-ohjelman.

Vertex Systems Oy. 2016b. Vertex G4-ohjelma. [Suunnitteluohjelma]. Saatavana: Vaatii Vertex G4-ohjelman.

Vertex Systems. 2017. Suunnittelu- ja tiedonhallintaohjelmistot teollisuudelle. [Verkkosivu]. Vertex Systems Oy. [Viitattu 15.12.2017]. Saatavana: <https://www.vertex.fi/web/fi>

Välimaa, V., Kankkunen, M., Lagerroos, O. & Lehtinen, M. 1994. Tuotekehitys asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

LIITTEET

Liite 1. Preston käyttöliittymävälilehti

Liite 1. Preston käyttöliittymävälilehti

The image shows a screenshot of the Microsoft Excel application interface. The title bar at the top indicates the file name is 'Automaattipohja, tyhjäksi [Hänenopiva tilä] - Excel'. The ribbon is set to the 'Tyyli' (Style) tab, and the 'Lähtötyylinä' (Default Style) dropdown menu is open, showing various style options: 'Normaali', 'Huono', 'Hyvä', 'Neutraali', 'Laskenta', 'Avattu hylse...', 'Huomautus', and 'Hypselinkki'. The spreadsheet grid is visible, with columns labeled A through AC and rows numbered 1 through 41. The 'Vertex G4 Presto' logo is prominently displayed in the top-left corner of the spreadsheet area. The status bar at the bottom right shows 'Käyttöliittymä' (User Interface).