

Lauri Vanhapiha

Moottorin tuotantolinjan suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Automaatiotekniikka
Insinöörityö
01.04.2012

Tekijä Otsikko	Lauri Vanhapiha Moottorin tuotantolinjan suunnittelu
Sivumäärä Aika	48 sivua + 2 liitettä 01.04.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kappaletavara-automaatio
Ohjaaja	Lehtori Timo Tuominen
<p>Insinööriyössä oli alkuperäisenä tarkoituksena suunnitella täysin automatisoitu tuotantolinja moottorin kasausta varten. Alustavien selvitysten jälkeen täysin automatisoidusta versiosta luovuttiin korkeiden kustannusten ja hankalasti automatisoitavien vaiheiden takia. Lopulliseksi valinnaksi tuli osittain automatisoitu tuotantolinja.</p> <p>Työn toisessa vaiheessa toteutettiin tuotantolinjan karkea suunnittelu 3dcreate-simulaatio-ohjelman avulla. Linjastosta luotiin kaksi eri luonnosversiota, U-mallinen sekä suoralinja. U-mallista luovuttiin, koska se vei liikaa tilaa leveyssuunnassa ja kaarteet olisivat tuottaneet ongelmia.</p> <p>Työn viimeisessä vaiheessa toteutin valitun linjamallin 3D-mallintamisen Solidworks-ohjelmalla. Kuvien perusteella tehtiin linjaston tilaus Kiinasta.</p> <p>Työtä varten etsittiin aineistoa tuotantolinjan suunnittelusta, 3D-simuloinnista sekä 3D-mallintamisesta. Teoriaosaa varten vertailtiin myös eri simulaatio- sekä mallintamisohjelmia keskenään. Insinööriyö antoi valmiuksia suunnittelutyöhön sekä opetti, mitä kaikkea suunnittelussa tulee ottaa huomioon.</p>	
Avainsanat	tuotantolinjan suunnittelu, 3d-simulointi, 3d-mallintaminen

Author Title	Lauri Vanhapiha Planning of the motor assembly line
Number of Pages Date	48 pages + 2 appendices 1 April 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	Assembly automation
Instructor	Timo Tuominen, Lecturer
<p>This thesis is about planning an assembly line of a motor assembly. It consists of three sections in which the first section of the thesis will explain the planning of automation level in a assembly line. Due to its high cost, difficult motor shape for automation and uncertain markets, automation level in a assembly line has been set to a low level.</p> <p>The second part of the thesis will cover the creation of raw simulation of a assembly line using a 3D-create simulation program. In this thesis, two simulation versions of the assembly line were created, which are the U- and I- shapes respectively. The I- shape version was chosen as having a higher suitability. In comparison, the U- shape version appeared to be too wide as well as misfitting to the assembly line due to its arch. The final part of the thesis comprises making 3D-models of assembly line parts. For the modeling of these parts, a Solidworks 3D software was used. After multiple changes to the 3D pictures, the assembly line was finally ordered from China.</p> <p>For the thesis, I have also made references to published materials about planning of assembly line, 3D simulation, and 3D modeling. I have also measured different 3D-programs in order to support the theories presented in this thesis. The process of completing this thesis has given me self-confidence in my job as a planning engineer. It has also given me an insight of the elements that need to be taken into consideration during a planning.</p>	
Keywords	Assemblyline planning, 3D-simulation, 3D-modeling

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Tuotantolinjan suunnittelu ja automatisointi teoriassa	1
2.1	Kulmakivet mieltiessä tuotantolinjan rakentamista ja automatisointia	1
2.2	Tuotantolinjan automatisointiin liittyvät hyödyt ja haitat	3
2.2.1	Automatisoinnilla saavutetut hyödyt	3
2.2.2	Automatisoinnin ongelmia	3
3	3D-simulointi ja ohjelmat	3
3.1	3D-simuloinnin tarkoitus ja käyttökohteet	3
3.2	3D-simulaatio-ohjelmia ja niiden ominaisuuksia	4
4	3D-mallintaminen ja mallintamisohjelmat	5
4.1	3D-mallintamisen perusteet ja käsitteitä	5
4.2	3D-mallit	6
4.3	3D-mallinusmenetelmiä	7
4.3.1	Kappalemallinnus	7
4.3.2	Levy mallinnus	8
4.3.3	Pintamallinnus	8
4.3.4	Kokoonpanot	9
4.4	3D-mallintamisen työvaiheista	9
4.4.1	Aloittaminen	9
4.4.2	Mallipohjat ja mallinnusasennot	10
4.4.3	Sketsit	11
4.4.4	Mallin luonti ja käsittely sekä viimeistely	12
4.4.5	Kokoonpanot	13
4.4.6	Sidokset	13
4.5	Kinemaattiset tarkastelut, kuvakääntäjät ja mallin käsittely	13
4.5.1	Kinemaattiset tarkastelut	13
4.5.2	Kuvakääntäjät	14
4.5.3	Mallin käsittely	14
4.6	Mallinnusohjelmat ja niiden eroja	15
5	Tuotantolinjan suunnittelu	15

5.1	Tuotantolinjan suunnittelun aloittaminen	15
5.2	Moottorin kokoonpanon vaiheiden suunnittelua	16
5.2.1	Moottorin osien kasausjärjestys	16
5.2.2	Vaadittavat tuotantomäärät	17
5.3	Automatisointiin liittyvät haasteet	18
5.4	Suunnittelun tulokset ja ratkaisut	19
6	Tuotantolinjan 3D-simulointi	19
6.1	Tuotantolinjan simuloinnin aloittaminen	19
6.2	U- ja I-mallien simulaatiot	19
6.3	Mallintamista varten valittu simulaatio	21
7	Tuotantolinjan osien 3D-mallintaminen	22
7.1	Mallintamisen aloittaminen	22
7.2	Mallinnettavat osat	23
7.2.1	Työskentelypöydät	23
7.2.2	Uuni ja liukuhihna	26
7.2.3	Karuselli ja muut pöydät	28
7.2.4	Muut mallinnettavat osat	31
7.3	Koko tuotantolinjan kokoonpano	32
7.3.1	Ensimmäinen versio kokoonpanosta	32
7.3.2	Kokoonpanon kehittäminen	34
7.3.3	Lopullinen versio tuotantolinjasta	36
7.4	Kuvien luovuttaminen	38
8	Yhteenveto	38
8.1	Lähtökohdat	38
8.2	Omat työvaiheet verrattuna teoriaan	38
8.2.1	Suunnittelu	38
8.2.2	3D-simulointi	39
8.2.3	3D-mallintaminen	40
8.3	Loppuanalysointi	40
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Alustavat ehdotelmat A ja B	

1 Johdanto

Kun yritys miettii uudelle tuotteelle kokoonpanolinjaa, sen täytyy ottaa huomioon monta asiaa, kuten automaatiotaso, investointikustannukset suhteessa tuotteen elinkaareen ja menekkiin, sekä löydettävä niille sopivat laitteet ja toimittaja ja toimitusaika.

Daum Electronit GmbH on urheiluvälineitä valmistava yhtiö Saksassa. Yritys on alkanut valmistaa uudenlaista sähköavusteista moottoria sähköpolkupyöriin, ja kasvaneen kysynnän vuoksi se päätti rakennuttaa oman tuotantolinjan yhtiön tehtaalle Saksaan.

Tämä opinnäytetyö käsittelee sähköavusteisen moottorin tuotantolinjan suunnittelua eri vaiheineen. Työn alkuvaiheessa oli tarkoitus suunnitella täysin automatisoitu tuotantolinja, mutta korkeiden kustannusten takia päädyttiin osittain automatisoituun ratkaisuun. Työn keskivaiheilla luotiin suuntaa antavia 3D-simulaatiomalleja linjasta. Valitun mallin pohjalta työn viimeisessä vaiheessa piirrettiin 3D-kuvia Solidworksillä Kiinasta tilausta varten.

2 Tuotantolinjan suunnittelu ja automatisointi teoriassa

2.1 Kulmakivet mieltiessä tuotantolinjan rakentamista ja automatisointia

Mieltiessään tuotteen valmistamista täytyy yhtiön ottaa huomioon monta tekijää, jotka vaikuttavat tuotteen kokoonpanotapaan. Uuden tuotteen valmistamista mieltiessä seuraavat neljä asiaa ovat yleisesti tärkeitä [1]:

1. tuotesuunnittelun sopivuus
2. vaadittava valmistusmäärä
3. työvoiman saatavuus

4. tuotteen elinkaari markkinoilla.

Jos tuotetta ei ole suunniteltu automatisoitu kokoonpano mielessä, niin todennäköisesti käsin tehtävä kokoonpano on ainoa ratkaisu. Myöskään automatisointi ei ole käytännöllistä, ellei tavoiteltu valmistusmäärä ole korkea. Kun taas työvoimaa on paljon saatavilla, haluttava automatisoinnin aste riippuu odotetusta tuotantokustannusten laskusta ja tuotantomäärän kasvusta, olettaen että toteutuva kasvu voidaan hyödyntää markkinoilla. Sijoitettu pääoma automaatiolaitteisiin pitää tulla takaisin tuotteen elinkaaren aikana. Jos tuotteen elinkaari on selvästi lyhyt, niin automatisoinnin sovittaminen tuotantoon on hankalaa. [1]

Vähäinen kokoonpanotyöntekijöiden saatavuus yleensä johtaa valmistajan miettimään automatisoitua kokoonpanoa silloin kun käsin tehtävä kokoonpano olisi halvempaa. Tämä tilanne nousee yleensä esiin, kun tuotteen kysyntä kasvaa räjähdysmäisesti. Toinen syy automatisoinnin miettimiselle tilanteessa, jossa käsin tehtävä kokoonpano on halvempaa kuin automatisoitu, on uusien tuotantotekniikoiden kehittäminen.[1] Alla joitakin automatisoinnista koituvia hyötyä, kun ollaan kohtalaisissa olosuhteissa:

1. noussut tuotantomäärä sekä valmistus kustannusten pieneneminen
2. laadukkaampi tuote suuremmalla luotettavuudella
3. poistuva tarve pitää työntekijöitä vaarallisissa valmistustehtävissä
4. mahdollisuus miettiä tuotteen suunnittelu uudestaan.

Tuottavuus on ulostulevien tuotteiden ja palveluiden sekä sisääntulevien työvoiman, pääoman ja resurssien välinen suhde. Se on ilmaistu ulostulevien suhdeluvulla sisääntuleviin. Yleisin tapa mitata tuottavuutta on ulostulo per mies-työtunti. Tämä tuottavuus on helppo ymmärtää ja ainoa luotettava tiedon lähde vuosien varrella.[1]

2.2 Tuotantolinjan automatisointiin liittyvät hyödyt ja haitat

2.2.1 Automatisoinnilla saavutetut hyödyt

Automatisoinnilla saavutettavia hyötyjä on mm. se, että pystytään pääsemään tarkempaan jälkeen esimerkiksi hitsaamisessa tai juottamisessa, saadaan siirrettyä vaarallisten aineiden käsittely ihmisiltä koneille, päästään isompiin tuotantomääriin sekä saadaan laskettua juoksevia kuluja pienemmällä henkilöstötarpeella.[1]

2.2.2 Automatisoinnin ongelmia

Yleisempiä automaattisen kokoonpanotyön ongelmia on, että tuotesuunnittelussa ei ole mietitty tarpeeksi, kuinka tuotteen kokoonpano tapahtuu, eikä huomioida valmistusta automatisoinnin kannalta.[1]

Viallisten osien havaitseminen ilman konenäköä on vaikeaa automaattilaitteilta verrattuna ihmisiin. Viallinen osa voi jumittaa tai rikkoa koneen, mikä aiheuttaa tuotantokatkoksen. Koneelta voivat mennä läpi myös rikkiäiset osat, jotka ihminen voi huomata, jolloin syntyy viallisia tuotteita ja siten rahallista menetystä.

3 3D-simulointi ja ohjelmat

3.1 3D-simuloinnin tarkoitus ja käyttökohteet

3D-simuloinnin tarkoitus on auttaa suunnittelussa, kun suunnitellaan esimerkiksi tuotantolinjaa tai robotin soveltuvuutta johonkin tehtävään. Oikean simulointiohjelman avulla voidaan helposti esimerkiksi suunnitella tuotantolinjan toteutusta, kuten sitä, millä tavalla erilaiset työkoneet vaikuttavat tuotantolinjan toimivuuteen. Simuloinnin avulla pyritään säästämään kustannuksia ja sekä pääsemään helpommin parempaan lopputulokseen esimerkiksi tuotantolinjan toteu-

tuksessa. Simuloinnin avulla nähdään ja saadaan korjattua suunnitteluvirheitä, joiden korjaaminen asennus tai valmistusvaiheessa tulisi kalliimmaksi.

3D-simuloinnin pääasialliset käyttökohteet ovat teollisuudessa ja tutkimuksessa. Suurin osa simulaatio-ohjelmista on keskittynyt robottien simuloinnin pariin. Tämä johtuu siitä, että yhä suuremmissa määrin robotit ovat alkaneet korvata perinteisesti ihmisten tekemää kokoonpano- ja valmistustyötä. Sen takia tarvitaan käyttökelpoisia simulaatio-ohjelmia helpottamaan suunnittelutyötä.

3.2 3D-simulaatio-ohjelmia ja niiden ominaisuuksia

Etsin muutamia esimerkkejä eri 3D-simulaatio-ohjelmista ja vertailin niitä toisiinsa.

Robotstudio on ABB:n tuottama ohjelma sen omille roboteille ja muille tuotteille. Huomioitavaa ohjelmassa on, että se ei toimi vain simulointityökaluna, vaan myös siinä tehdyn simulaation robotille voi viedä suoraan oikeaan vastaavaan robottiin, jolloin oikealle robotille ei tarvitse erikseen opettaa liikeratoja.[4]

3Dcreate on Visual Componentsin tuottamaan ohjelmaan saa myös useiden eri valmistajien tuotteita simulointia varten. Siihen pystyy myös tuomaan omia Solidworksin 3d malleja, joille on mahdollista ohjelmoida toimintoja Python Scriptillä. Pystyy myös saamaan ulos tuotantomääriä kappaleesta.

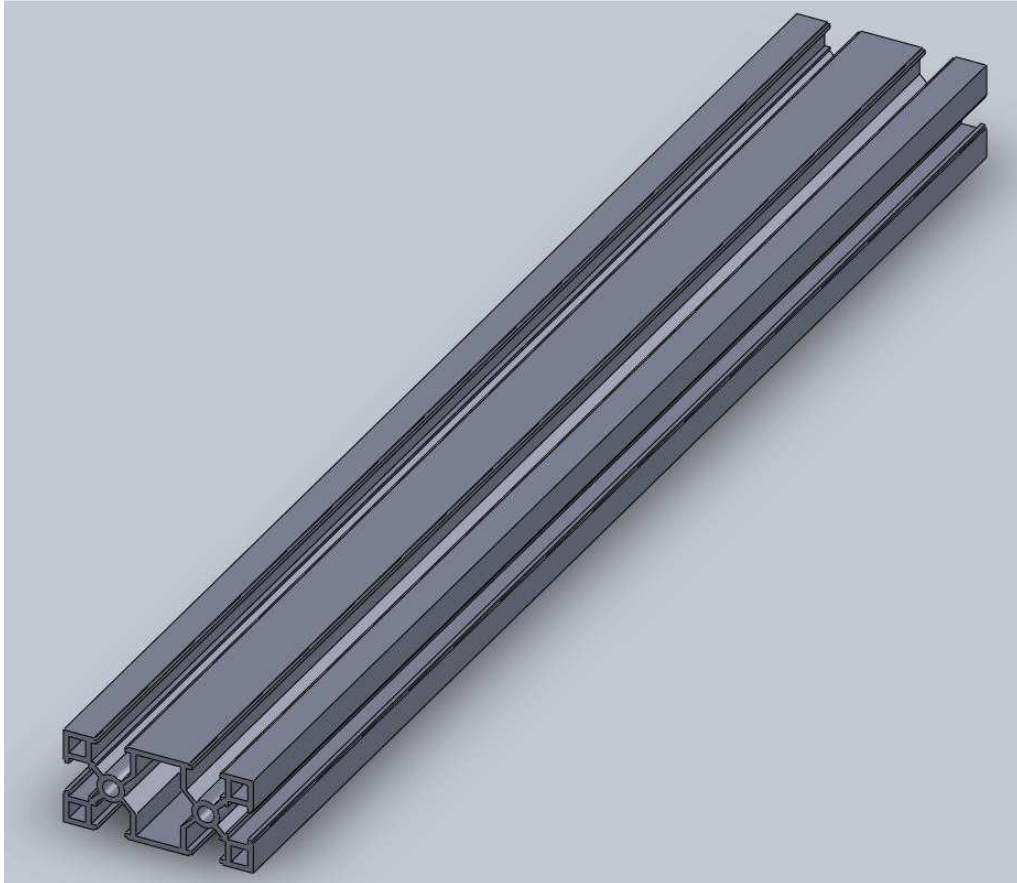
Workspace 5 on ohjelma, joka on keskittynyt robottien simulointiin, ja se on helppokäyttöinen. Se tukee useampaa robottiohjelmointikieltä ja auttaa vähentämään robottien tuotantokustannuksia [4]

Yobotics-ohjelma on keskittynyt biomekaanisten laitteiden kehittelyyn ja simulointiin. Se on ilmainen, eikä sitä ole tarkoitettu kaupalliseen käyttöön.[4]

Lisäksi muita simulaatio-ohjelmia ovat mm. Simbad, Roboworks, Roboguide sekä Webots.

4 3D-mallintaminen ja mallintamisohjelmat

Laajemmin 3D-mallintamista käsittävää kirjallisuutta oli hieman haastavaa löytää, koska suurin osa alan kirjallisuudesta käsitteli lähinnä tiettyä ohjelmaa ja toimi samalla käyttöoppaana kyseiseen ohjelmaan. Tämä johtuu siitä, että 3D-mallituksen alue on melko laaja ja eri alueilla on omat ohjelmansa niiden tarpeisiin räätälöityinä.



Kuva 1 Mallintamani alumiiniprofiili.

4.1 3D-mallintamisen perusteet ja käsitteitä

3D-mallinnuksella tarkoitetaan erilaisten tuotteiden suunnittelua kolmiulotteisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että mallintamisessa kappaleet, osat ja kokoonpanot mallinnetaan oikeaan kokoon ja vastamaan ominaisuuksiltaan todellisia tuotteita. Tuote suunnitellaan kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaatistosta.[2]

Mallintamisessa on tärkeää tietää kulmien kiertosuuntien positiivisuus ja negatiivisuus, koska ne vaikuttavat pyörähtämiseen ja ehdolliseen sijoittamiseen arville. Oletuksena on aina positiivinen pyörähtäminen ja parametrien anto. Kulmien kiertosuunnan positiivisuuden määrittämiseen voidaan käyttää apuna oikeakätistä suorakulmaista koordinaatistoa. Oleellisinta on ymmärtää kappaleiden pyörittelyssä koordinaattiakselin suuntien muutos.[2]

Lähtötietoja ovat joko yksinään tai yhdessä idea, luonnos tai toimeksianto, jota lähdetään työstämään. Mallinnuksella tarkoitetaan, että luodaan toimeksiannon pohjalta karkealuonnos eli sketch, josta luodaan malli. Tätä toistetaan, kunnes tuotteen kaikista osista on tehtymallit, minkä jälkeen niistä tehdään kokoonpano. Kokoonpanoista ja osamalleista tuotetaan tarvittavat 2D-piirustukset tuotetietoineen ja osaluetteloineen.[2]

Mallia täytyy tarkastella eri tavoin, jotta varmistutaan lopullisen tuotteen laadusta ja siitä, että se on suunnitelmien mukainen. Tarkastusvaiheet tähtäävät siihen, että varmistutaan lähtötietojen oikeellisuudesta ja paikkansapitävyydestä ja että lopullisesta tuotteesta saadaan toimiva kokonaisuus, joka vastaa annettua toimeksiantoa.[2]

4.2 3D-mallit

3D-mallilla tarkoitetaan kolmiulotteista tuotetta, joka vastaa ulkonäöltään ja ominaisuuksiltaan lopullista tuotetta. 3D-mallia voidaan tarkastella mallinnusohjelmissa eri tavoin.

3D-rautalankamallilla tarkoitetaan yleisesti ottaen niin sanottua reunasärmäkuvausta. Mallissa näkyy vain ääriviivat. Sen vahvuuksia ovat kohdistuspisteet, ja särmät voidaan määrittää tasojen läpi. Tartunta voidaan kohdistaa mihin tahansa rautalankamallin pisteeseen eri tasoista välittämättä. Mallin heikkouksia on

vaikeus nähdä, missä suunnassa malli on, ja hahmottaa, missä asennossa osa on. Siinä on vaikea tehdä sidoksia muihin malleihin. Malli on esityksenä sekava ja epäkäytännöllinen. [2]

3D-pintamallissa ovat näkyvissä vain pinnat, joista tuote koostuu. Työtapaa käytetään yleisesti valettavien ja pursotettavien tuotteiden suunnitteluun. Mallin vahvuuksia on, että sen tilavaikutelmaa saadaan hahmotettua. Kappaletta voidaan muotoilla vapaammin kuin pelkillä perustyökaluilla. Mallin heikkouksia on se, että voidaan työstää vain sen näkyvissä olevia pintoja.[2]

3D-mallia kutsutaan myös solidimalliksi ja tilavuusmalliksi. Mallissa on näkyvissä kaikki tieto, josta malli koostuu. Sen vahvuuksia on, että se sisältää tiedon mallin ulkomuodosta sekä siitä, mistä kohtaa mallissa on materiaalia ja missä ei. Esitystapa on havainnollinen ja selkeä. Mallia voidaan tarkastella sellaisena kuin se todellisuudessa on. Heikkoutena mallissa on, että voidaan valita vain ne pinnat ja tasot, jotka mallissa voidaan osoittaa. Tartuntoja ei voida tehdä tasojen ja pintojen läpi, vaan malli täyttyy pyörittää osoittamaan haluttua pintaa.[2]

4.3 3D-mallinusmenetelmiä

3D-mallinnusmenetelmiä on kolme päätyyppiä: kappalemallinnus, levymallinnus ja pintamallinnus.

4.3.1 Kappalemallinnus

Kappalemallinnus eli solidimallinnus perustuu valmiiden muotojen käyttöön. Mallinnuksen pohjana on jokin valmis umpinainen muoto, esimerkiksi kartio, ympyrä, neliö tai kolmio, jota muokataan halutulla tavalla. Yleisimmät muokkaukset ovat pursotus ja leikkaus, jolloin valmiista muodosta otetaan pois tai siihen lisätään muita sopivanmuotoisia kappaleita.[2]

Kappalemallinnuksella tuotettujen tuotteiden työstömenetelmiä ovat niin sanottu lastuavat työstömenetelmät, kuten sorvaus, jyrsintä, poraus ja erilaiset työkeskukset, jotka voivat sisältää edellä mainittujen työstömenetelmien yhdistelmiä. Tyypillisiä kappalemalleja ovat erilaiset ruuvit, mutterit, laakerit, laipat, akselit ja venttiililohkot.[2]

4.3.2 Levymallinnus

Levymallinnus perustuu erilaisten levyjen käyttöön. Levyn paksuudesta riippuen puhutaan joko levymallinnuksesta (sheet metal) tai ohutlevymallinnuksesta. Ohutlevymallinnuksessa käytetään levyä, jonka paksuus on 0,1-6 mm. Tätä paksumpien levyjen mallinnusta kutsutaan levymallinnukseksi. [2]

Levymallinnuksessa malli tehdään levystä, ja kuten levyjä, myös mallia työstetään levyille tyypillisiä työstömenetelmiä käyttäen. Levymallinnuksella tuotettujen tuotteiden työstömenetelmiä ovat kanttaus, särmäys, puristus ja vetotyökälu, pyörästyskoneet ja erilaiset levytyökeskukset, jotka voivat sisältää edellä mainittujen työstömenetelmien yhdistelmiä. [2]

4.3.3 Pintamallinnus

Pintamallinnus perustuu mallin muotoiluun erilaisten pintojen avulla. Menetelmänä se eroaa täysin kahdesta edellä mainitusta. Pintamallinnustyökaluja voi tuki käyttää muuhunkin mallintamiseen. Pintamallinnus on pääasiassa muotoilijoiden työkalu. Tyypillisesti sitä käytetään mallinnettaessa tuotteita, jotka valmistetaan valamalla ja erilaisia muovimuotteja sekä pursotustyökaluja käyttäen. Hyviä esimerkkejä tällaisista tuotteista ovat puhelimen kuori ja veneen muotti. [2]

4.3.4 Kokoonpanot

Yksittäisistä malleista, ns. osamalleista, koostuvat kokoonpanot sisältävät usein kappaleita, joista osa on valmistettu kappale- ja osa levymallinnusta käyttäen. Vaikka kokoonpanot voivat sisältää molemmilla mallinnusmenetelmillä tuotettuja kappaleita, yksittäiset mallit voidaan tuottaa vain jommallakummalla mallinnusmenetelmällä. Osamalli ei tavallisesti ole samanaikaisesti mallinnettu sekä kappale- että levymallinnusta käyttäen, koska kappale- ja levymallinnuksen ominaisuudet ovat keskenään erilaiset. Menetelmät eroavat toisistaan myös tuotannollisesti, sillä kappaletuotteita työstetään ja käsitellään aivan erilaisilla työmenetelmillä kuin levymallinnuksella tuotettuja tuotteita. [2]

Tehokkaan 3D-mallinnuksen edellytyksenä on, että suunnittelija osaa hyödyntää työskentelyssään eri mallinnusmenetelmiä siten, että lopputulos saavutetaan mahdollisimman vaivattomasti.[2]

4.4 3D-mallintamisen työvaiheista

4.4.1 Aloittaminen

Mallintaminen tulee aloittaa esivalmisteluilla ja ohjelman virittämällä sopivaksi suunniteltavaa tuotetta sekä asetettuja vaatimuksia ja noudatettavia standardeja varten. Esivalmistetut tulisi suorittaa mahdollisimman huolella ja selvittää tarkasti asiakkaan vaatimukset ja toiveet. Mm. seuraavia tietoja on hyvä olla selvillä ohjelman virittämistä varten [2]:

- valmistusmateriaali
- noudatettava standardi
- pintakäsittely
- mitoitus
- koneistustoleranssit
- koneistuspintamerkit

-paikka- ja sijaintitoleranssit.

Ellei esivalmisteluja ole tehty tarpeeksi huolellisesti, mallit joudutaan pahimmas-
sa tapauksessa tekemään kokonaan uudestaan. Mikäli käyttäjällä ei ole tietoa
siitä, kuinka mallinnusohjelman asetuksia muutetaan tai miten niitä tulisi muut-
taa, käy mallin tuottaminen hankalaksi ja tehottomaksi.[2]

Esivalmistelujen jälkeen siirrytään mallin aloittamiseen. Mallintamisen käyttö
suunnitteluprosessin osana perustuu kolmeen kulmakiveen, jotka ovat vahvasti
kytköksissä toisiinsa: esitiedot, osamalli(t) ja kokoonpano. Suunnittelija tarvit-
see suunniteltavasta tuotteesta esitiedot, joiden avulla luo osamallit ja niillä ko-
koonpanon. 2D-piirustus on tuote, jota varten 3D-mallit tehdään ja siten valmis-
tetaan lopullinen tuote.[2]

4.4.2 Mallipohjat ja mallinnusasennot

Lähes kaikissa mallinnusohjelmissa lähdetään liikkeelle perustasoajatuksesta,
jossa kappale luodaan tasolle tehtävän piirustuksen eli sketsin perusteella.
Sketsipohja, johon luonnostelu oletusarvoisesti aloitetaan, on viritettävä niin,
ettei kaikkia aloitustoimia tarvitse tehdä joka kerta uudelleen. Osan ja kokoon-
panon aloituksen helpottamiseksi voidaan määritellä myös, mille tasolle oletus
sketsi aukeaa. Järjestelmä on varmintä määrittää niin, että oletustaso ei auto-
maattisesti avaudu vaan käyttäjä itse päättää, mille tasolle sketsi piirretään. On
suositeltavaa sijoittaa sketsi tasoon, koska silloin sitä on helpompi hallita. Tartun-
nalla tarkoitetaan 3D-mallinnuksen yhteydessä yleisiä sidosehtoja, joilla viivat ja
pisteet sijoitetaan toisiinsa nähden. Jokaisessa ohjelmassa on määriteltynä ns.
tasoverkko, joka on samanlainen jokaisella mallinnustasolla. Verkon tiheyden ja
mitan voi käyttäjä itse määritellä.[2]

Pääsääntöisesti kappale mallinnetaan joko pääasiallisen käytön asentoon tai
valmistusasentoon. Poikkeuksena ovat pyörähdykaskappaleet, jotka mallinnetaan

siten, että kappaleen akseli on x-akselin suuntainen. Kappaleen mallinnusasento riippuu myös siitä, millaisesta rakenteesta on kysymys. "Väärän" mallinnusasennon valinta ei sinänsä estä kappaleen mallintamista, mutta haittaa mallin käyttöä, hidastaa työskentelyä ja saattaa aiheuttaa ongelmia mm. sidosehtojen purkautumisena.[2]

4.4.3 Sketsit

Yleisesti sketsillä tarkoitetaan piirrosta, jolla valmistettava tuote on tarkoitus tuottaa. Sketsi voi olla yksinkertaisimmillaan viiva tasolla tai tarkka profiili kappaleesta. Kun valmistettavalle tuotteelle valitaan perustaso, määrätään samalla valmistuvan kappaleen asento origoon ja koordinaatistoon nähden. Suunnittelijan on tiedettävä, miltä valmis kappale näyttää, jotta hän osaa valita perustason oikein. Useimmat kuvageneraattorit eli kuvankääntäjät tarjoavat oletusasentona taso edestä –kuvannon tai projektion edestä.[2]

Pääsääntö on, että kappale, joka on tarkoitus tuottaa, asettuu edestä katsottuna joko pääasiallisen käytön asentoon tai se mallinnetaan asentoon, jossa se pääsääntöisesti valmistetaan. Kappaleen mallinnusasento riippuu myös siitä, millaisesta rakenteesta on kysymys. Tämä tehdään mahdollisimman hyvän havainnollisuuden aikaansaamiseksi ja tehokkaan raaka-aineen käytön varmistamiseksi. Mikäli tasot valitaan väärin tai sattumanvaraisesti, on malli hankalaa sijoittaa kokoonpanoon. Tällöin on hankalaa hahmottaa sen sijoittaminen geometriaan nähden.[2]

Aloitussketsillä aloitetaan mallin luonti. Aloituksessa tulee miettiä, mitä halutaan saada aikaan, miten se voidaan helpoimmin toteuttaa ja kuinka tuotosta voidaan jälkeempään muokata. Aloitussketsin tarkkuus eli se, kuinka hyvin malli vastaa todellista tuotetta, määräytyy halutun tuotteen muotoilusta ja halutusta lopputuloksesta. Mallinnuksen osat ovat absoluuttisen tarkkoja, ja on huomattava, että tuotannosta ei koskaan päästä samanlaiseen valmistustarkkuuteen. Suunnittelijan on lisäksi oltava selvillä, millaiseen tarkkuuteen valmistuksessa on

pyrittävä. Liika tarkkuus maksaa tuotantokustannuksissa ja liika väljyys taas tekee käyttötarkoitukseensa kelpaamattomia osia, mikä aiheuttaa kustannuksia vielä edellä mainittua huomattavasti enemmän.[2]

Muokkaussketseillä muokataan mallia tai lisätään piirteitä olemassa olevaan malliin. Apusketseillä voidaan lisätä olemassa oleviin kappaleisiin informaatiota, joka voidaan sitten jälkikäteen kutsua näkyviin.[2]

3D-sketsit ovat sketsejä, jotka piirretään suoraan kolmiulotteiseen koordinaatistoon. Niiden avulla voidaan muodostaa kappaleita samoin kuin tasosketseilläkin. Pääkäyttökohteita ovat pintojen muotoilu ja erilaiset putkilinjat.[2]

4.4.4 Mallin luonti ja käsittely sekä viimeistely

Mallin luonti perustuu siihen, kuinka tarkasti mallin on vastattava alkuperäiskappaletaan. Mallinnus aloitetaan jakamalla tuote kappale- ja levymalleihin. Kappale,- ja levymalleilla on kaksi pääkäyttötapaa: tilavaraus kokoonpanossa ja tuotantokappaleen kuvamateriaalin tuottamista varten. Mikäli mallista tehdään 2D-kuvat tuotantoa varten, niiden on vastattava täydellisesti tuotettavaa kappaletta.[2]

Malli pyritään tuottamaan yksinkertaisia operaatioita käyttäen. Eri mallinnustavat eivät muuta tuotteen ulkonäköä, mutta antavat mallille erilaisia muokausominaisuuksia. Malli kannattaa sitoa peruskoordinaatistoon, jottei se siirry jokaisen muokkauksen yhteydessä toiseen paikkaan omaan koordinaatistoonsa nähden. Kappalemalli ei voi saada levyominaisuuksia eikä levymallia, jolla on levyominaisuuksia voidaan muuttaa kappalemalliksi.[2]

Mallin viimeistelyssä 2d-piirustuksen tulee täyttää piirustusteknisesti konepiirustuksen standardivaatimukset. [2]

4.4.5 Kokoonpanot

Kokoonpanot ovat se mallinkäytön osa, jossa on eniten hyötyä 3D-ympäristössä. Kaikki tuotteet, jotka sisältävät enemmän kuin yhden osan, ovat kokoonpanoja. Ne jaotellaan seuraavasti: osakokoonpano, pääkokoonpano sekä tuotannon kokoonpano. Kokoonpanon käsittelyssä osien tulee olla sijoitettuna siten, että kokoonpano vastaa todellista toiminnallista laitetta kaikkine ominaisuuksineen. Kokoonpanon viimeistelyssä tehdään 2D-piirustukset ja osaluettelo. Lisäksi tarkastetaan, että 2D-piirustukset sisältävät kaiken tarvittavan tiedon ja ovat selkeästi luettavissa.[2]

4.4.6 Sidokset

Sidokset tarkoittavat määrittelyjä, joilla mallit ja niiden osat sidotaan paikoilleen. Sidokset käyttäytyvät eri tavoin sketseissä ja kokoonpanoissa. Sidoksia on monenlaisia, ja niiden vastapelurina voi olla lähes mikä tahansa osan fyysinen piirre. Suositeltavaa on, että yhdistettäviä elementtejä on aina vain kaksi. Sidos on pysyvä vain silloin, kun se tehdään kappaleen toiminnalliseen fyysiseen pintaan, jota ei enää sen jälkeen muokata, tai tasoihin, joita ei voida muokata. Sidosehto purkautuu aina, mikäli pintaa muokataan. Sidosten viimeistelyssä tarkastetaan, että sidokset on rakennettu oikein.[2]

4.5 Kinemaattiset tarkastelut, kuvakääntäjät ja mallin käsittely

4.5.1 Kinemaattiset tarkastelut

Mallinnusohjelmissa voi tehdä erilaisia tarkasteluja. Kinemaattiset tarkastelut keskittyvät kuvaamaan mekanismien toimintaa. Törmäystarkasteluissa tarkastellaan osien sopimista niille tarkoitettuun tilaan. Liikerata-analyyseillä tarkastellaan mekanismin toimintaa liikemäärien suhteen. Lujuusanalyyseillä tarkastellaan osia ja koneiden mekanismeja kuormitettuina. Kinematiikka käsittelee mekanismeja sen toimivuuden kannalta. Valmiit osat, joille on tehty lujuustarkaste-

lut, eivät välttämättä vaadi paljon mekaanista testaamista, jotta valmistuksessa saavutetaan vaadittava lujuus ja toimintavarmuus. Monimutkaisissa kuormitustilanteissa suunnittelijan on tarkasti tiedettävä, miten rakennetta kuormitetaan, jotta analyysin tulos olisi käyttökelpoinen.[2]

Kaikilla tarkasteluilla tähdätään siihen, että rakenne täyttäisi ne vaatimukset, joita varten se on tehty. Tarkastelujen tarve riippuu pitkälti siitä, minkälaiseen toimintaympäristöön suunniteltava tuote lopulta joutuu.[2]

4.5.2 Kuvakääntäjät

Kaikkiin mallinnusohjelmiin kuuluu dwg-kääntäjä, jolla kuva voidaan kääntää dwg-formaattiin ja se saadaan muokattavaksi AutoCad-ohjelmilla. Yleensä mallinnusohjelmat sisältävät useampia kääntäjiä, joista yleisempiä ovat Iges, step, (Stp), Dwg, Jpeg, Dfx ja Pdf. Varminta on käyttää step-kääntäjää, joka on yleisformaatti mallitiedon siirtoa varten. Tällöin mallitietokanta merkittävästi pienenee eli pakkautuu. Toisinaan tuotantoprosessi vaatii kuvatietokannan sellaiseen muotoon, että kuvanformaatiota voidaan käyttää suoraan koneen ohjaukseen. Markkinointi ja erilaiset esittelyt vaativat yleensä kuvan sellaiseen muotoon, etteivät ulkopuoliset käyttäjät voi tehdä muutoksia sisältöön.[2]

4.5.3 Mallin käsittely

Mallia käytetään seuraaviin asioihin: tilanvaraukseen ja tiedon keruuseen, mallinnustyötä varten, mainosmateriaalin tuottamiseen, tuotantomateriaalin tuottamiseen, myynnin tukiaineistona, päätöksenteon pohjana ja 2D-piirustuksien tuottamiseen. Tehokas malli ei sisällä liikaa yksityiskohtia. Malli on tuotettu minimimäärällä piirteitä. Kokoonpano on jaettu korkeintaan muutaman kymmenen osan kokonaisuuteen. Mallit mahdollistavat materiaalin tuoton suoraan mallitietokannasta.[2]

4.6 Mallinnusohjelmat ja niiden eroja

Kaikkiaan eri 3D-mallinnusohjelmia on useita kymmeniä eri käyttötarkoituksiin.

3ds Max, Maya ja MASSIVE ovat 3D-mallinnusohjelmia joita käytetään pääsääntöisesti peli- ja elokuvateollisuudessa. MASSIVE pystyy myös luomaan laajoja kohtauksia elokuvaan, joissa on monia yksittäisiä animoituja tekoälyllä varustettuja 3D-hahmoja. V-Ray-ohjelmaan käytetään 3ds Maxin ja Mayan kanssa renderointiin.[3]

Ympäristön 3D-mallintamiseen keskittyneitä ohjelmia ovat mm. Cityengine ja Grome. Cityengine on enemmän keskittynyt kaupunkiympäristön mallintamiseen, kun taas Grome on keskittynyt vesi- ja metsäelementtejen luomiseen.[3]

Koneiden, tuotteiden ja työkalujen suunnitteluun soveltuvia ohjelmia on mm. Solidworks, CATIA V5, Solidedge ja Inventor . Solidworksistä löytyy Visual Basic ja C-tuki, mikä mahdollistaa sillä tehtyjen 3D-mallien käytön 3D-simulaatio-ohjelmissa kuten Visual Components 3Dcreate.

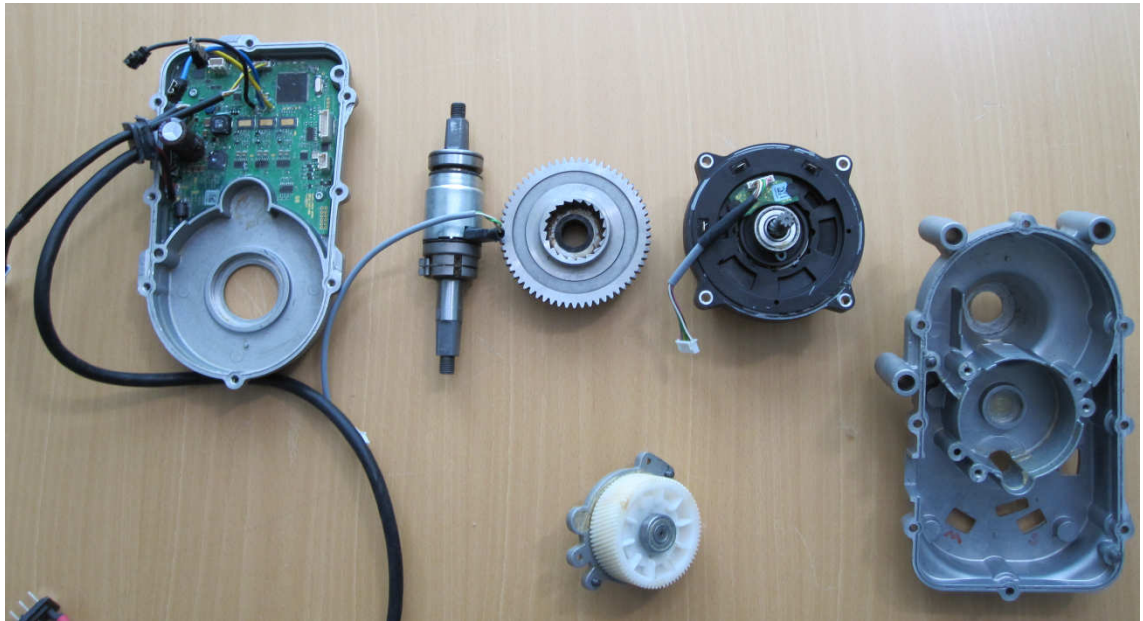
Suurin osa mallinnusohjelmista on kaupallisia, joiden hinnat alkavat sadoista euroista ylöspäin. Mutta saatavilla on myös ei-kaupallisia ilmaisohjelmia, kuten Blender ja Truespace.

5 Tuotantolinjan suunnittelu

5.1 Tuotantolinjan suunnittelun aloittaminen

Projekti aloitettiin tutustumalla kasattavaan tuotteeseen eli sähköavusteisen polkupyörän moottoriin. Mallikappale toimitettiin Saksasta ja purettiin osiin automaatiolaboratoriossa sen takia, että saatiin parempi kuva sen sisältävistä osista ja kasaukseen liittyvistä vaiheista.

Moottori koostuu seuraavasti: osista, joista osa tulee esikasattuna muualta, kahdesta alumiinilohkosta, moottorista, piirilevystä, metallisesta ja muovisesta hammasrattaasta, poljinakselista, jousesta, laakereista, eristematosta ja erilaisista ruuveista sekä sisältää tiivistemassaa ja vaseliinia. Kun moottorin sisältämät osat saatiin selville, aloitettiin moottorin kokoamisvaiheiden ja järjestyksen suunnitteleminen sekä se, mitä eri vaiheiden automatisoinnissa tulee huomioida.



Kuva 2 Moottori purettuna osiinsa.

5.2 Moottorin kokoonpanon vaiheiden suunnittelua

Aloittaessa kokoonpanon ja automatisointiratkaisujen suunnittelua oli tärkeää huomioida oikea osien kokoonpanojärjestys ja se, mitkä osat tulevat mihinkin lohkoon kiinni, ennen kuin lohkot kasataan toisiinsa. Suunnittelu aloitettiin jakamalla lohkot A:ksi, joka on moottoripuoli, ja B:ksi, joka on piirilevypuoli, jotta ne olisi helpompi erottaa toisistaan.

5.2.1 Moottorin osien kasaussjärjestys

Lohko A:han laitettavien osien kokoonpanojärjestyksen oli oltava seuraavanlainen. Lohkoon laitetaan ensin ulkopuolelle moottori jousen kanssa kiinni neljällä

ruuvilla. Automatisoinnin näkökulmasta jousi hankaloittaa ja kallistaa automatisointiratkaisua. Sen jälkeen lohko on käännettävä 180 astetta, että voidaan laittaa seuraavaksi tulevat osat paikalleen. Sisäpuolelle tulee ensin vaseliinia hammasrattaan koloon, minkä jälkeen muovinen hammasratas laitetaan koloon ja kiinnitetään kolmella ruuvilla. Viimeiseksi lohkoon laitetaan poljinakseli, minkä jälkeen lohko A on valmis liitettäväksi lohko B:hen.

Lohko B:hen tulevien osien kasaaminen on siinä mielessä helpompaa, ettei lohkoa tarvitse käänellä, koska kaikki osat tulevat siihen sisäpuolelle. Osien laittaminen lohko B:hen voidaan aloittaa laittamalla paikoilleen ensin iso hammasratas, joka voidaan laittaa piirilevyeristematon kanssa ja valaa suojaava eristemassa kerros piirilevylle. Voidaan myös halutessa toteuttaa niin, että hammasratas laitetaan vasta piirilevyn eristemassan laitton jälkeen. Lisäksi lohkoon tulee vielä lohkojen välinen tiivistemassa, ennen kuin se on valmis liitettäväksi lohko A:han.

Kun molempiin lohkoihin on saatu tarvittavat osat kiinni, ne voidaan liittää toisiinsa kiinnittämällä tarvittavat johdot sekä ruuvit, prikot ja mutterit, jotka lukitsevat lohkot toisiinsa. Tämän jälkeen tulisivat testaus ja kalibrointi, minkä jälkeen tuote vielä pakattaisiin, mutta ne eivät kuuluneet moottorin tuotantolinjan suunnitteluun mukaan.

5.2.2 Vaadittavat tuotantomäärät

Kasausjärjestyksen lisäksi suunnittelussa täytyi ottaa myös huomioon, kuinka monta moottoria tuotantolinjan täytyi pystyä valmistamaan päivässä. Alkuvaiheessa tavoite olisi 200 moottoria päivässä, jonka jälkeen tuotannon täytyisi kasvaa vähintään 500 moottoriin päivässä. Suunnittelun hahmottamisen helpottamiseksi tehtiin taulukko 1, josta saatiin selville, kuinka monen sekunnin välein yhden moottorin olisi valmistuttava päivässä eri valmistusmäärillä ja -ajoilla.

Taulukko 1 Lasketut valmistusajat yhtä moottoria kohden päivässä eri tuotantomäärillä

Valmistusmäärä per päivä kpl	Tehollinen tuotantoaika per päivä (H/min/sec)				
	8h/480min 28800	7,5h/450min 27000	7h/420min 25200	6,5h/390min 23400	6h/360min 21600
500	57,6	54,0	50,4	46,8	43,2
600	48,0	45,0	42,0	39,0	36,0
700	41,1	38,6	36,0	33,4	30,9
800	36,0	33,8	31,5	29,3	27,0
900	32,0	30,0	28,0	26,0	24,0
1000	28,8	27,0	25,2	23,4	21,6

5.3 Automatisointiin liittyvät haasteet

Kokoonpanovaiheiden suunnittelussa huomasi, kuinka haastava moottori oli automatisoinnin kannalta. Ongelmallisia kokoonpanovaiheita oli useampia, jotka hankaloittaisivat automatisointia sekä lisäisivät sen kustannuksia.

Ensimmäinen haaste oli se, että toiseen lohkoon oli kiinnitettävä kahdelta puolelta osia ja muotonsa takia tämä vaatisi oman kääntäjän sekä molemmille puolille omat muottinsa, jotta olisi tukevasti paikallaan.

Toinen haaste olivat laitteen moottori, poljinakseli ja piirilevy, jotka sisältävät johtoja jotka ovat melko taipuisia. Ratkaisu tähän olisi laittaa kiinteiden johtojen sijasta pikaliittimet, joihin lisättäisiin johdot siinä vaiheessa, kun lohkoja oltaisiin liittämässä toisiinsa. Tämä ei kuitenkaan käynyt yritykselle, koska se ei halunnut muuttaa muiden kuin piirilevyn rakennetta.

Kolmas haaste oli piirilevyn eristemassan ja moottorin tiivistemassan kuivumisajat ja erilaiset ominaisuudet kuivumiseltaan. Se taas vaikutti siihen, kuinka monta moottoria pysytään valmistaan päivässä.

5.4 Suunnittelun tulokset ja ratkaisut

Loin alustavat ehdotelmät A:n ja B:n (liite 1) automatisoitua tuotantolinjaa varten, kunnes ilmoitettiin, että vain osassa vaiheista tultaisiin käyttämään automatiikkaa. Tämä johtui korkeista automatisointikustannuksista sekä epävarmasta moottorin tulevasta menekistä, koska neuvottelut sähköpolkupyörien valmistajien kanssa olivat kesken. Vaiheet, joissa käytetään automatiikkaa, ovat tiivistemassan pursutus sekä uunin liukuhihnan toiminta. Muut vaiheet tulisivat tapahtumaan ihmisten tekeminä.

6 Tuotantolinjan 3D-simulointi

6.1 Tuotantolinjan simuloinnin aloittaminen

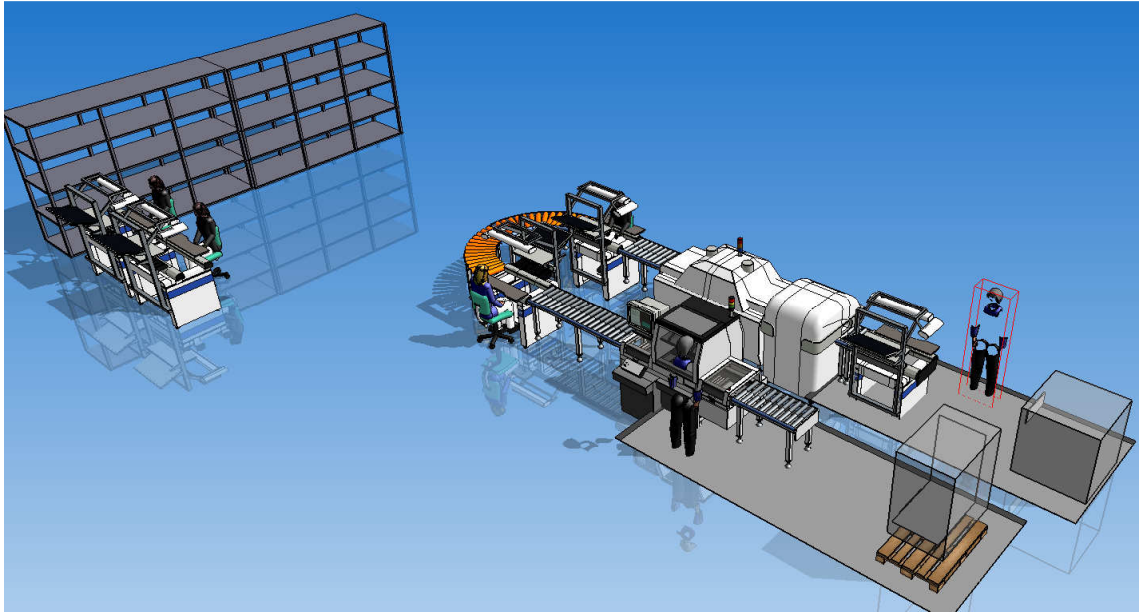
Toisessa vaiheessa tehtävänäni oli luoda alustavia simulaatioita tuotantolinjasta, yhteensä kaksi eri versiota Visual Components 3D-create-ohjelmalla. Aloitin työn tutustumalla ohjelmaan ja sen toimintoihin, koska ohjelma ei ollut minulle etuudestaan tuttu. Sain aloitettua simulaatioiden luomisen, kun Daum GHB oli saanut päätettyä automatisointiasteesta ja alustavasti siitä minkälaista tuotantolinjaa haetaan. Simulaatioita tehdessä jouduin soveltamaan löytyviä sopivia laitteita koulun ohjelman laitekirjastosta, koska yritys ei halunnut hankkia omaa ohjelmaa kattavammalla laite- ja osakirjastolla.

6.2 U- ja I-mallien simulaatiot

Simulaatioiden luomisen lähtökohtana oli selvittää tuotantolinjalle käytössä oleva tila, joka oli 7 metriä leveä ja 25 metriä pitkä. Huomioitavaa oli, että tilan toinen pitkä sivu oli hallin seinää, joka oli kaarevaa. 3d-create-ohjelmassa sai kätevästi määritetty vain käytettävissä olevan tilan alan näkyviin, mikä helpotti tilan käytön hahmottamista.

Käytössä olevan tilan määrittämisen aloitin U-mallin simulaation työstämisellä, johon etsin sopivat osat valmiista mallitietokannasta. Tarvitsin seuraavat osat simulaation luomista varten: liukuhihnoja, työskentelypöytiä, uunin ja tiivisteiden pursutuskoneen/robotin. Lisäksi etsin vielä mallit ihmistä ja kappaleesta, joka kulkisi linjaa pitkin. Kaikista muista paitsi pursutinkoneesta/robotista löytyvät hyvin kuvaavat mallit. Mallien tuonti simulaatioon oli hyvin yksinkertaista Drag and Drop-menetelmällä, ja mallit sai hyvin helposti liitettyä toisiinsa yhtenäiseksi tuotantolinjaksi. Lisäksi liukuhihnan ja uunin pituutta sekä liukuhihnan korkeutta pystyi muokkaamaan. Huonona puolena valmiiden osien käytössä oli, että niiden kokoa tai ulkomuotoa ei voinut muuten oikein muokata.

Kun tarvittavat osat oli saatu alustalle, oli aika säätää asetuksia ja tuoda tarvittavia Feeder- ja Storage-laatikoita sekä inlet- ja outlet-pintoja, että saatiin simulaatiossa olevat ihmiset ja tuotantokappaleet liikkumaan. Helpoin asia tässä vaiheessa oli säätää liukuhihnojen, työpöytien ja uunin nopeudet sen perusteella kuinka kauan kussakin pisteessä kappaleella menisi. Hieman vaikeampaa oli saada simulaatiossa ihmiset liikkumaan, hakemaan ja ottamaan kappaleet liukuhihnalta. Jotta yhden ihmisen sai liikkumaan simulaatiossa, tarvittiin aluspinta, jossa ihminen liikkuu. Inlet-pinnasta haetaan haluttu kappale ja Outlet-pintaan haluttu kappale viedään. Näiden lisäksi tarvittiin vielä manager-pöytä simulaatioon jokaista ihmistä kohden täysin ylimääräiseksi osaksi, koska sen toiminto oli vain määrittää asetuksista oikea ihminen, aluspinta sekä inlet- ja outlet-pinnat yhteen, että ne toimisivat.

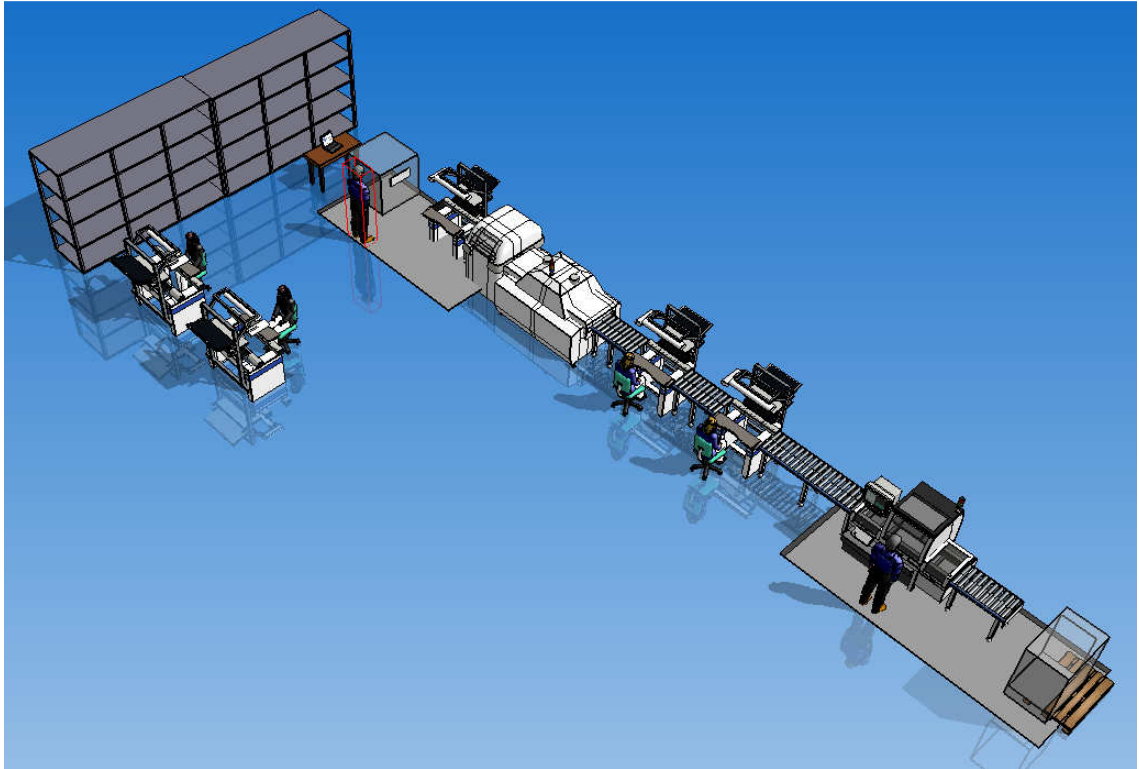


Kuva 3 U-mallin simulaatio tuotantolinjasta.

Saatuani U-mallin simulaation toimimaan pystyin käyttämään sitä pohjana I-mallille muokkaamalla sitä, jolloin sain I-mallin simulaation tehtyä paljon vaivattomammin ja nopeammin. Simulaatio-ohjelmaa oli jokseenkin hankala välillä käyttää. Koska jos oli unohtanut laittaa ruksin johonkin asetuksien valintakenttään, niin koko simulaatio ei sitten liikkunut. 3D-creteen olisi voinut tuoda omia solidworksin 3D-malleja ja niille olisi voinut luoda halutessaan toimintoja Python ohjelmointikielellä.

6.3 Mallintamista varten valittu simulaatio

Simulaatioiden perusteella yritys päätyi I-malliin, koska se oli käytännöllisempi, helpompi ja edullisempi toteuttaa. Tila, johon linjasto tultaisiin sijoittamaan, myös vaikutti I-mallin valintaan. Simulaatiomallin perusteella alettiin valmistella linjaston osien 3D-mallintamista, joiden perusteella linjasto tultaisiin tilaamaan Kiinasta.



Kuva 4 I-mallin simulaatio tuotantolinjasta.

7 Tuotantolinjan osien 3D-mallintaminen

7.1 Mallintamisen aloittaminen

Päätettiin, että tulisin suorittamaan osien mallintamisen koulun Solidworks-ohjelmalla, joten ennen varsinaista mallintamisen aloittamista kertosin ensin ohjelman käyttöä. Tämän jälkeen aloitin varsinaisen mallintamisen tekemällä aluksi pari luonnosta.

Kävin myös Lauri Jouhkin kanssa palaverissa, jossa päätettiin mallinnettavista osista, niiden koosta ja mallinnustarkkuudesta. Lisäksi oli alustava hahmotelma tuotantolinjan rakenteesta, missä kunkin työvaihe tapahtuisi. Palaverissa myös sovittiin, että osien ei tarvitse mennä täysin yksityiskohtiin eikä oikeisiin materiaaleihin vaan riittää, että osat näyttävät ulkoisesti halutuilta esiteiltä ja täyttävät niille asetetut mitat. Tämä siksi, että tarkempi suunnittelu ja linjaston valmistaminen tulee tapahtumaan Kiinassa lukuun ottamatta tiiviste- ja eristemassa-

robotteja, jotka tulevat suoraan niiden valmistajilta. Palaverin jälkeen luonnostelin mallinnettavia osia ensin vihkoon ennen niiden mallintamista.

7.2 Mallinnettavat osat

Tein mallintamisen siten, että mallinsin ensin yksittäisiä osia, joista tein osakokoonpanoja kuten työpöydän- ja uunia, joista sitten tein koko linjaston kokoonpanon. Osien mallintaminen ja osakokoonpanojen tekeminen oli melko helppoa Solidworksillä. Tosin kiireinen aikataulu tuotti hieman ongelmia, koska ohjelman käytöstä ei ollut rutiinia.

7.2.1 Työskentelypöydät

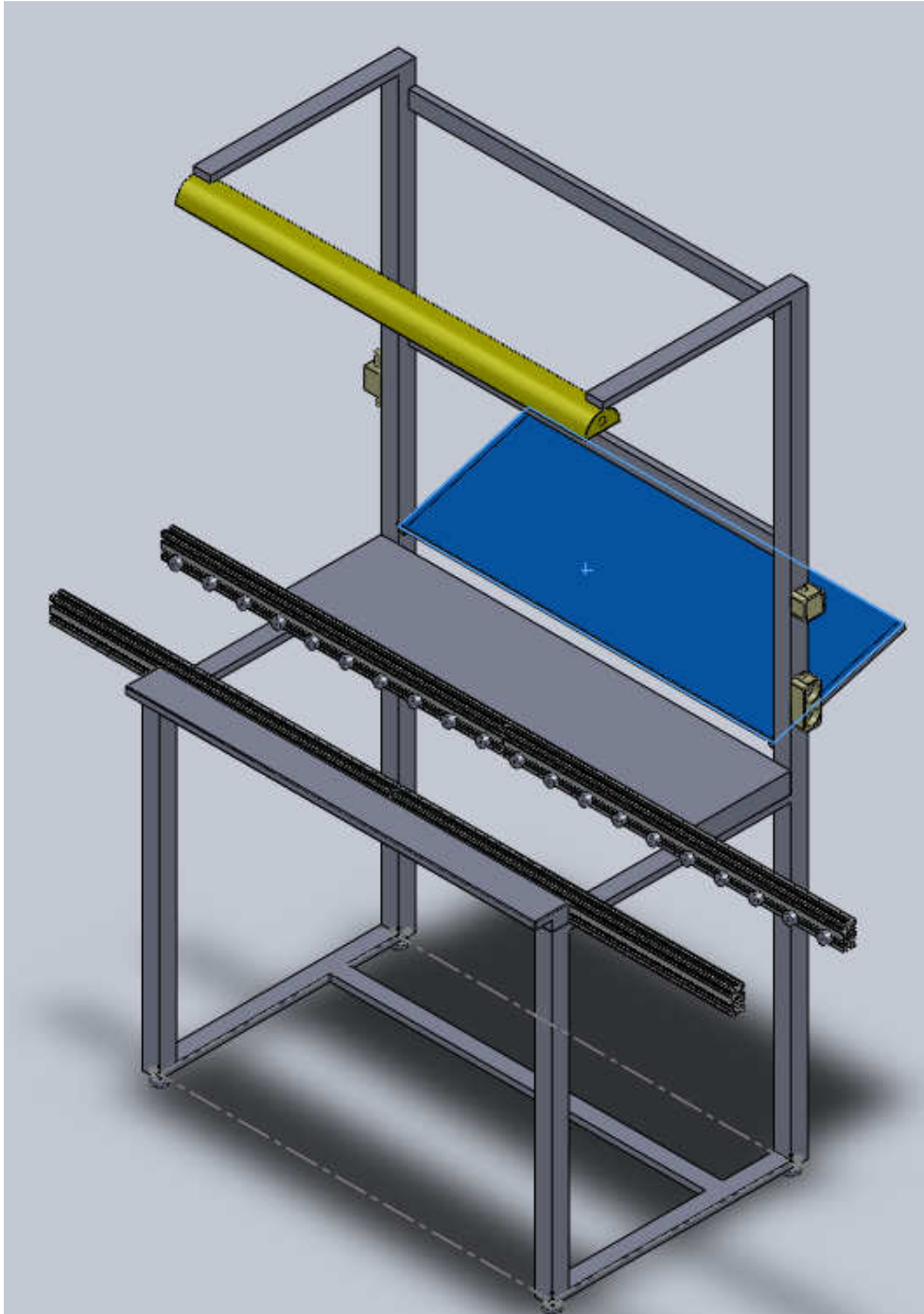
Suoritin työskentelypöytien mallintamisen siten, että tein pohjaksi yhden pöydän osakokoonpanon, jota pystyy kopioimaan useammaksi pöydäksi ja mukautamaan tarvittaessa kunkin työpisteen tarpeisiin. Pöytien korkeudesta ja leveydestä oli vaatimukset, samoin oli kerrottu, mitä niissä tulee olemaan.

Pöydän osakokoonpanoa varten mallinnettavat osat olivat pöydänrunko, pöytälevy, säätöjalat, kaksoispistorasia, valokatkaisin, valaisin, paineilmapieste, vetolaatikko sekä hyllytasot pieniä tarvikelaatikoita varten. Lisäksi pöytiä varten mallinsin pari eri kokoa olevat tarvikelaatikat, jotka pystyi sijoittamaan hyllytasolle, sekä käsikäyttöisen puristimen, joka tulee pöytälevylle tarvittaviin työvaiheisiin. Pöydän leveyden, korkeudet ja syvyyden tein haluttujen mittojen mukaan, ja osat kuten pistorasia sekä valokatkaisimen tein kuvaaviksi.



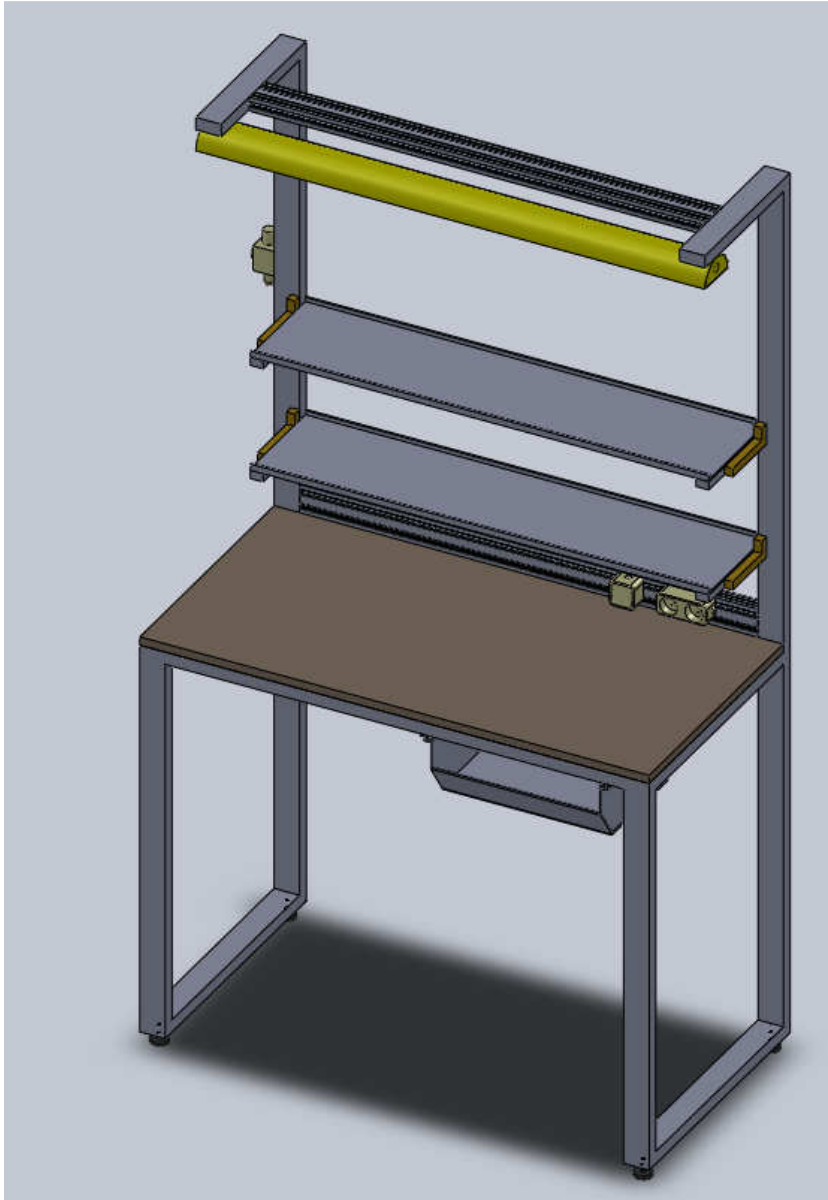
Kuva 5 Pöydän ensimmäisen version runko.

Tuotantolinjan ensimmäinen version aikana oli suunnitelmana, että joko linjan matkalla olisi rullat tai liukuhihna. Tässä johtuen myös pöydillä kulki rullat ensimmäisessä versiossa.



Kuva 6 Ensimmäinen versio työskentelypöydästä

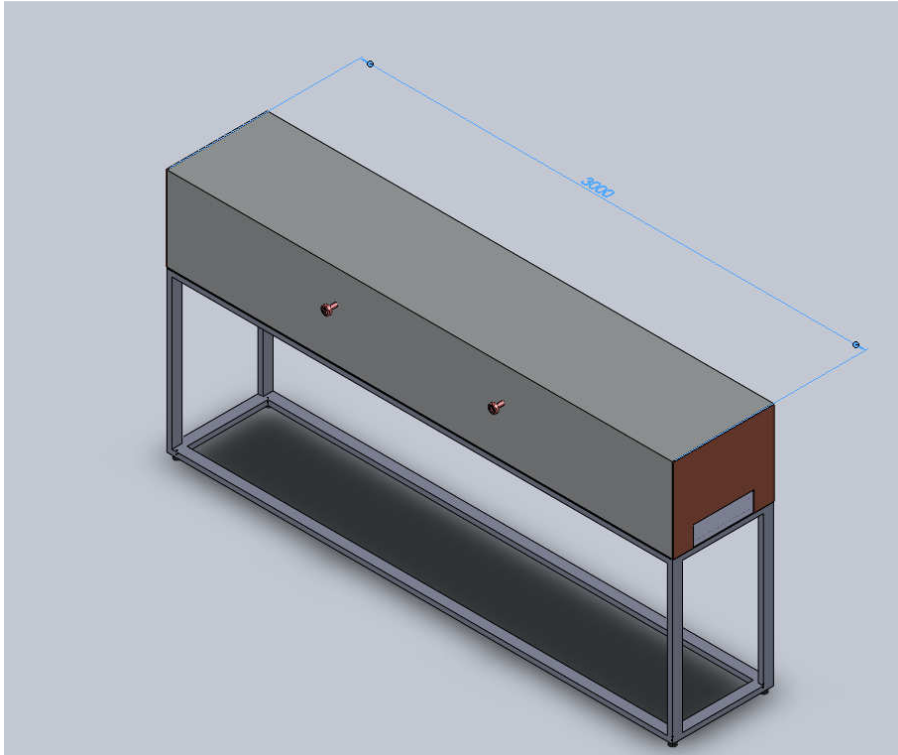
Hyllytasot sekä pistorasiat yms. hakivat lopullista paikkaansa ensimmäisten koonpanoversioiden aikana, ennen kuin niille löytyi sopivat paikat. Myös pöydän mallin rakenne muuttui jonkin verran tuotantolinjan ensimmäisestä versiosta viimeiseen versioon mennessä.



Kuva 7 Lopullinen versio työskentelypöydästä

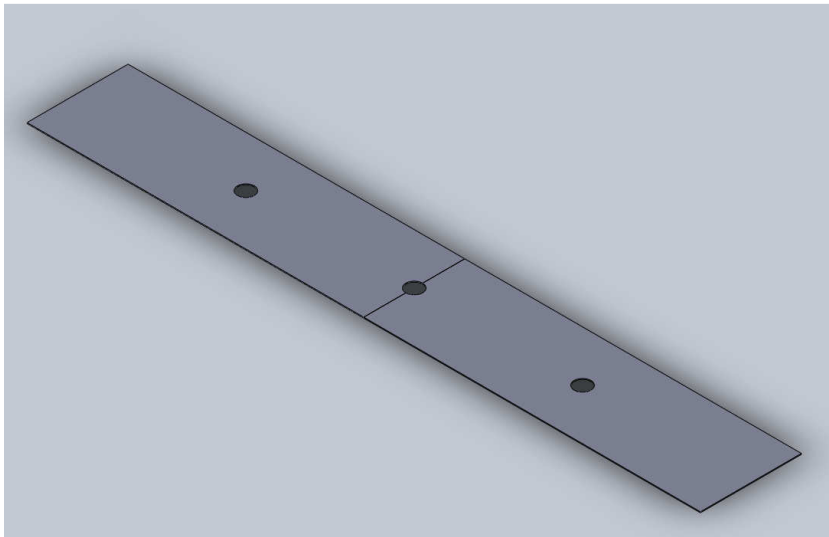
7.2.2 Uuni ja liukuhihna

Uunin osakokoonpanoa varten tarvitsi mallintaa jalusta, pohjalevy, kuorilevy, päätylevyt ja kuvaavat osat lämpömittareiksi. Uunin osien mallintamisessa ei ollut kovin paljoa muuta erityistä kuin että tein pohja levyn kahdesta 2 metrin pituisesta palasesta ja yhtenäisessä palasessa oli metrin välein kolme reikää poistoilmaputkille. Myös päätylevyissä piti olla tarpeeksi leveä ja korkea aukko, että liukuhihna mahtui kappaleen kanssa siitä.



Kuva 8 Uuni mallinettuna.

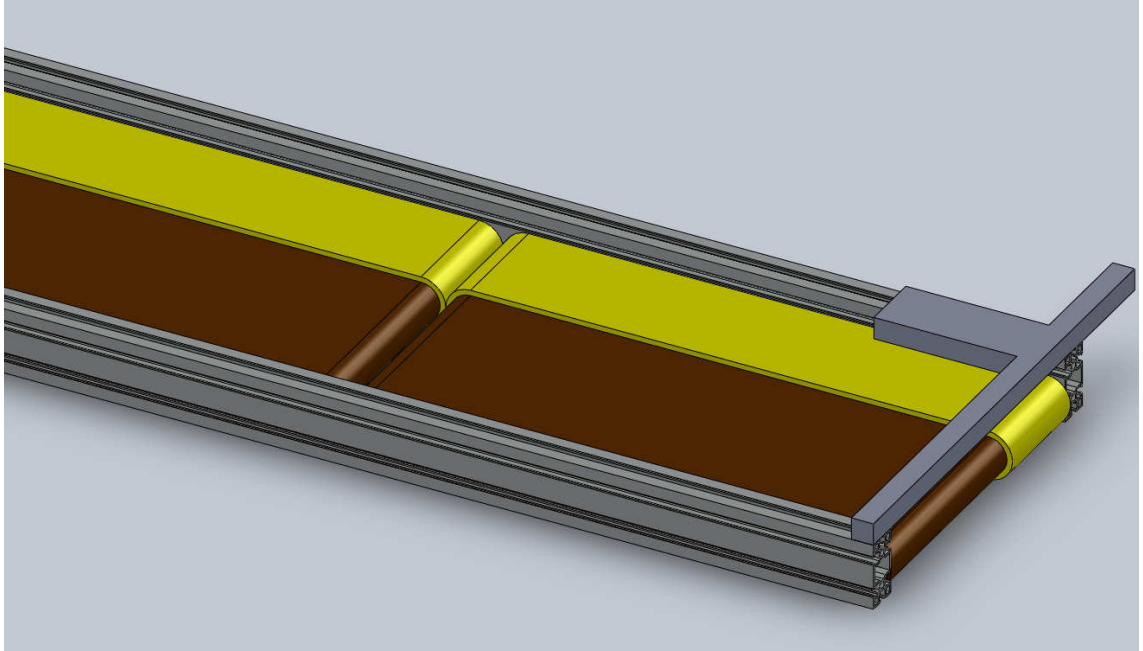
Uunin mallintaminen oli melko yksinkertainen, ja eikä siinä ollut muuta erikoista kuin reiät pohjalevyssä kuten kuvasta 9 näkee.



Kuva 9 Uunin pohjalevy.

Liukuhihnan mallintaminen oli melko helppo ja nopea, koska vaatimuksena olivat 40 cm:n leveys ja se, että puolet hihnasta olisi leveyssuunnassa paksumpaa, että kappale pysyy tasapainossa. Osakokoonpanossa käytin apuna jo aikai-

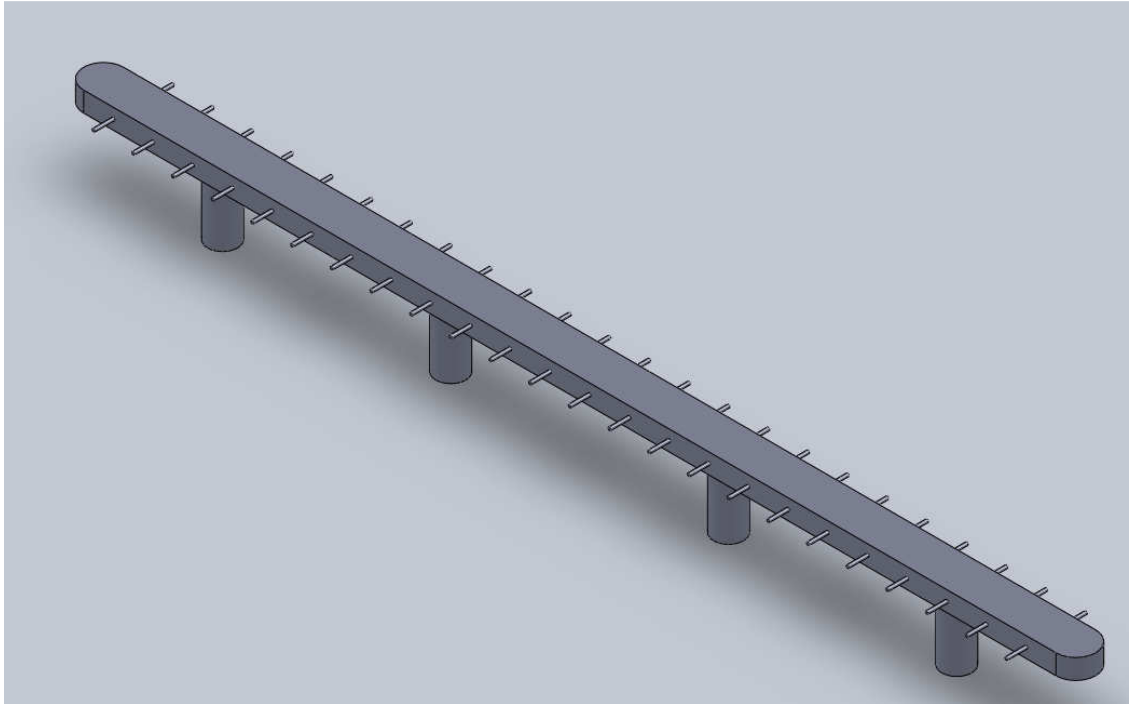
semmin mallintamaani profiilin palasta, joiden väliin sijoitin ensin yksinkertaisesti mallinnetut pyörät, joihin sidoin alemman liukuhihnan. Paksumman liukuhihnan puolikkaan sidoin alempaan hihnaan.



Kuva 10 Lopullinen versio liukuhihnasta

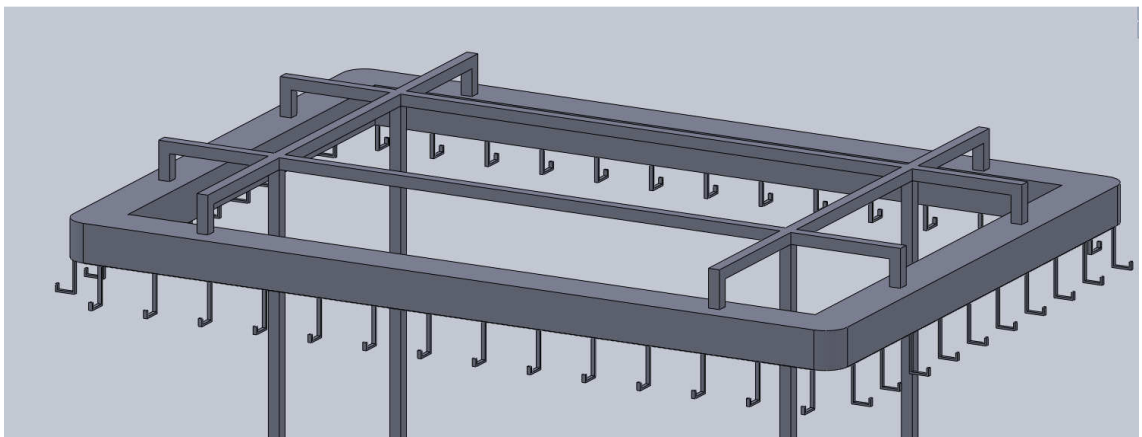
7.2.3 Karuselli ja muut pöydät

Karusellin osakokoonpanon tekeminen tuotti hieman työtä, koska se haki ensin muotoaan eikä sitä voinut täysin kunnolla mallintaa, koska ei ollut tietoa, millainen siitä tulee. Ainoat asiat, mitkä siitä pystyi mallintamaan, olivat koukkujen koko, radan pituus ja muoto, millä koukut kulkevat, sekä koukkujen määrä ja välimatka toisistaan. Karusellin kehikosta pystyi tekemään vain rangon, jolla se saatiin sidottua uuniin linjankokoonpanokuvaa varten. Karusellin muoto ja koko kehittyi kokoonpanojen myötä.



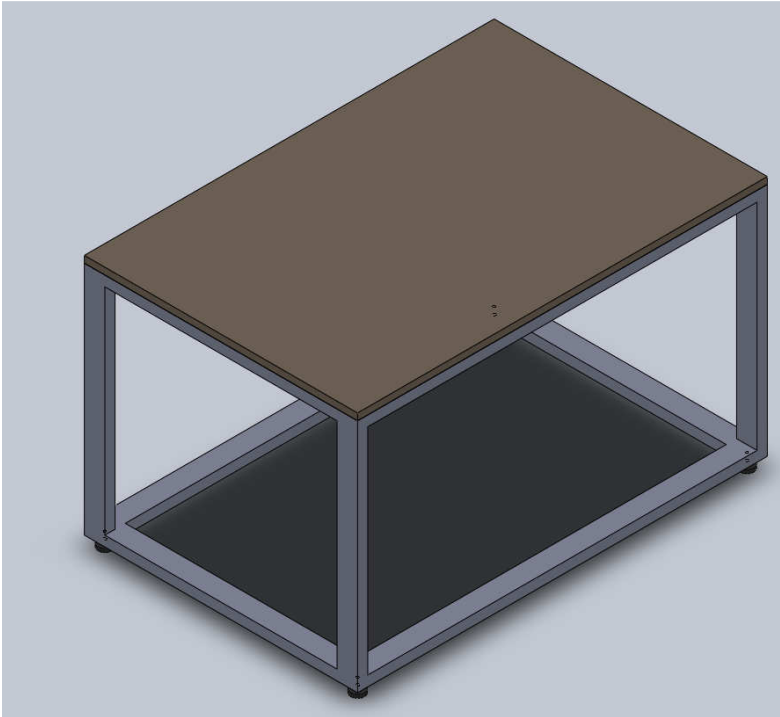
Kuva 11 Ensimmäinen versio karuselistä

Karuselli muuttui eniten mallintamisprosessin aikana, kun tuotantolinjan ensimmäistä versiota lähdettiin kehittämään.



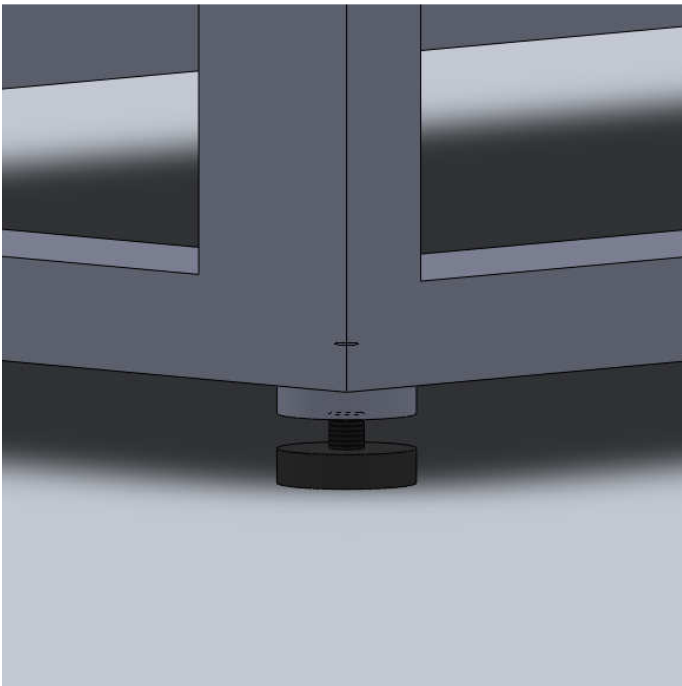
Kuva 12 Lopullinen versio karuselistä

Työskentelypöytien lisäksi tarvitsi mallintaa omat pöydät eristepursutin robotille ja suojamassakoneelle sekä kahdenlaiset sivupöydät, joista toisessa mallissa oli pyörät.



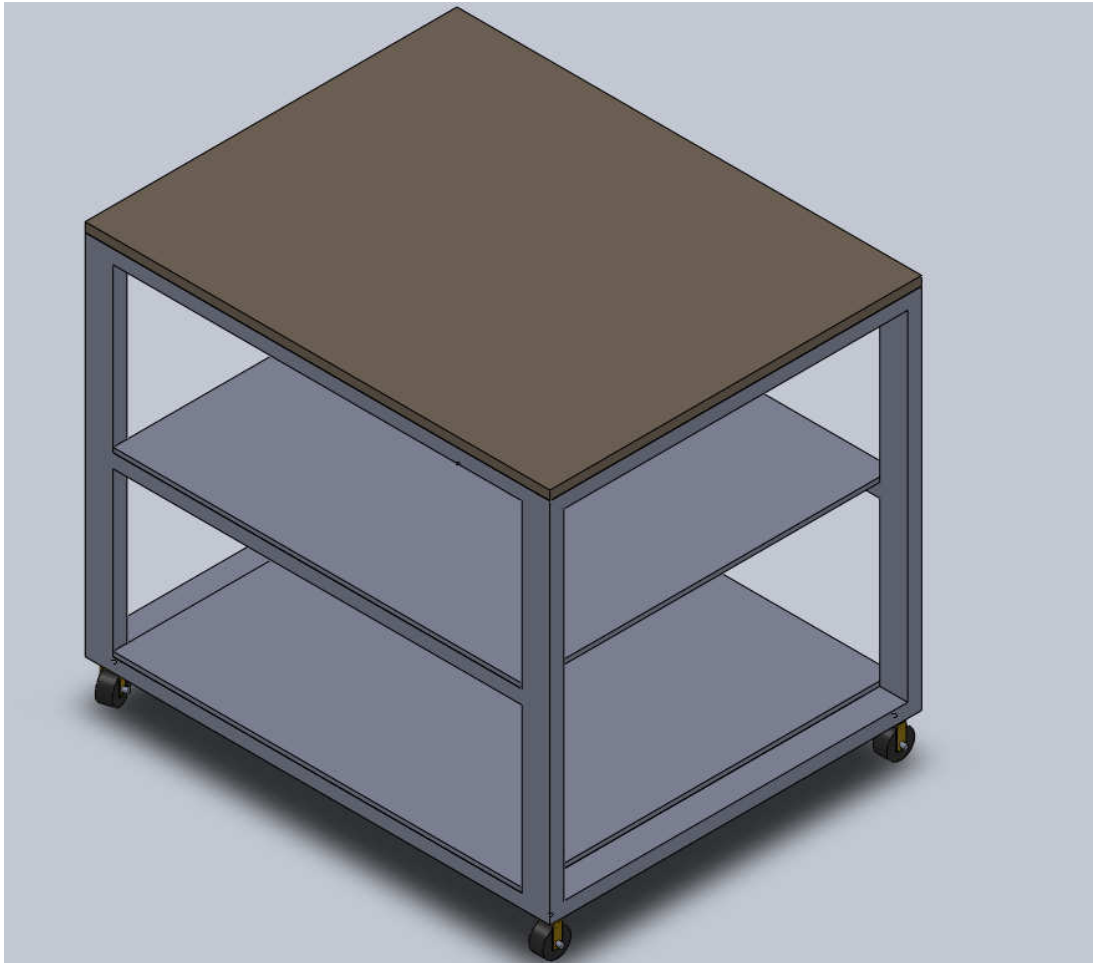
Kuva 13 Laatikoita varten mallinnettu sivupöytä

Robotinpöytä, massakoneenpöytä sekä pyörätön sivupöytä koostuivat jalustasta, pöytälevystä haluttujen mittojen mukaisesti sekä työskentelypöytiä varten mallinnetuista korkeuden säätöpaloista.



Kuva 14 Säätöjalka

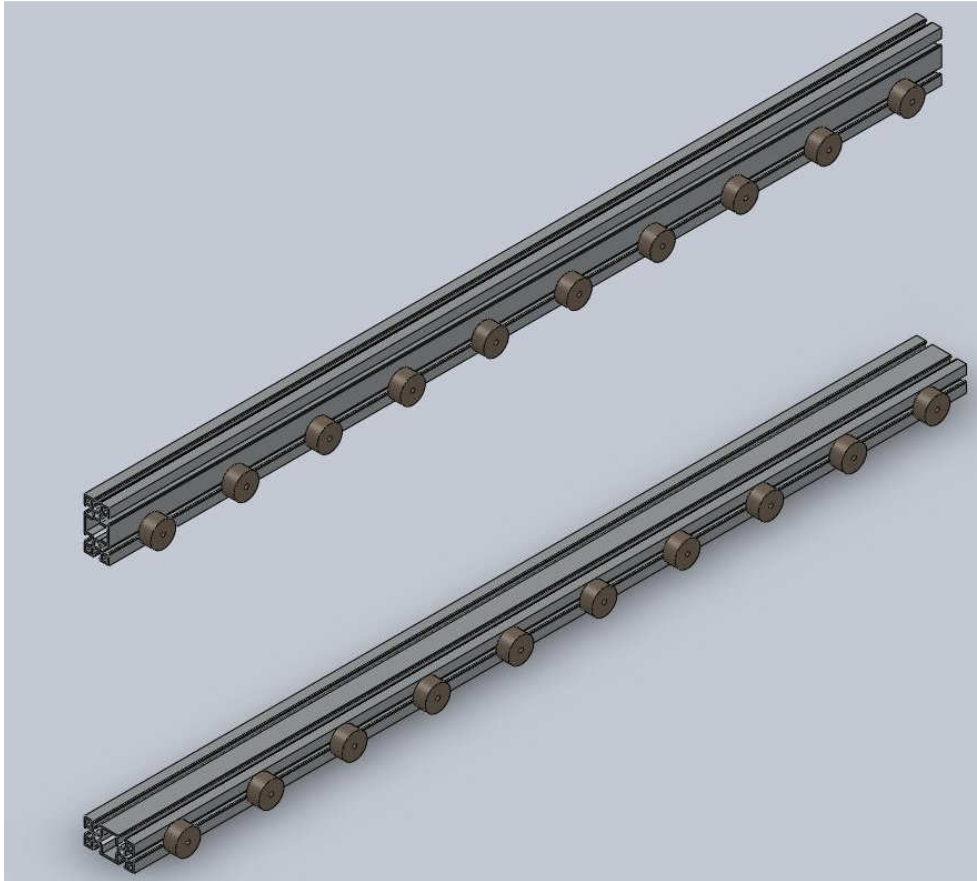
Liikuteltava sivupöytämalli poikkesi siten, että siinä oli korkeuden säätöpalojen tilalla pyörät ja pöytälevyn alla kaksi hyllytasoa tavaroita varten.



Kuva 15 Rullilla oleva apupöytä

7.2.4 Muut mallinnettavat osat

Olellaisten osien mallinnusten lisäksi mallinsin muotin palautuslinjan, joka oli vain ensimmäisessä versiossa esillä. Lisäksi mallinsin havainnollistamisen vuoksi ilman oikeita mittoja pahvilaatikoita, pursutinrobotin, massakoneen, lohkopuolien muotteja, käsikäyttöisen mekaanisen puristimen sekä työskentelypöydille erikokoisia tarvikelaatikoita.



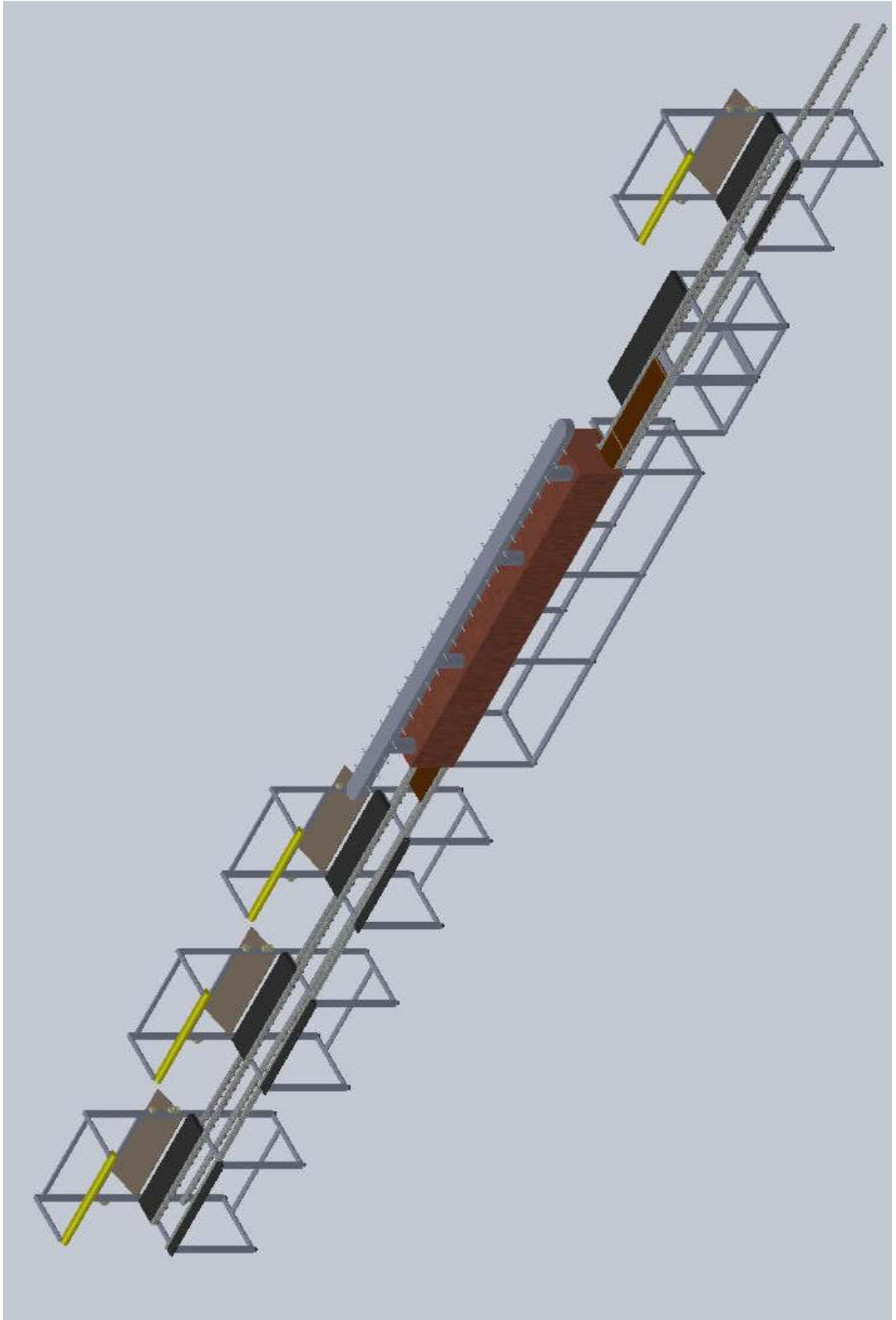
Kuva 16 Palautuslinjan rakenne

7.3 Koko tuotantolinjan kokoonpano

Tuotantolinjan koko 3D-kokoonpano tehtiin mallinnetuista osista ja osakokoonpanoista suunnitellun työvaihejärjestyksen perusteella. Ensimmäinen versio syntyi kiireellä, jossa oli puutteita, ja sitä kehittämällä päästiin lopulliseen versioon.

7.3.1 Ensimmäinen versio kokoonpanosta

Tuotantolinjan ensimmäinen versio oli melko alkeellinen, koska sen tekemiseen oli vain vähän aikaa. Se koostui neljästä työskentelypöydästä, uunista, jonka päällä oli alkeellinen karuselli, eristerobotin pöydästä, rullalinjasta, jossa oli uunin kohdalla liukuhihna, sekä lohkomuotin palautusrullalinjasta. Kuvasta 17 näkee ensimmäisen version rakenteen.

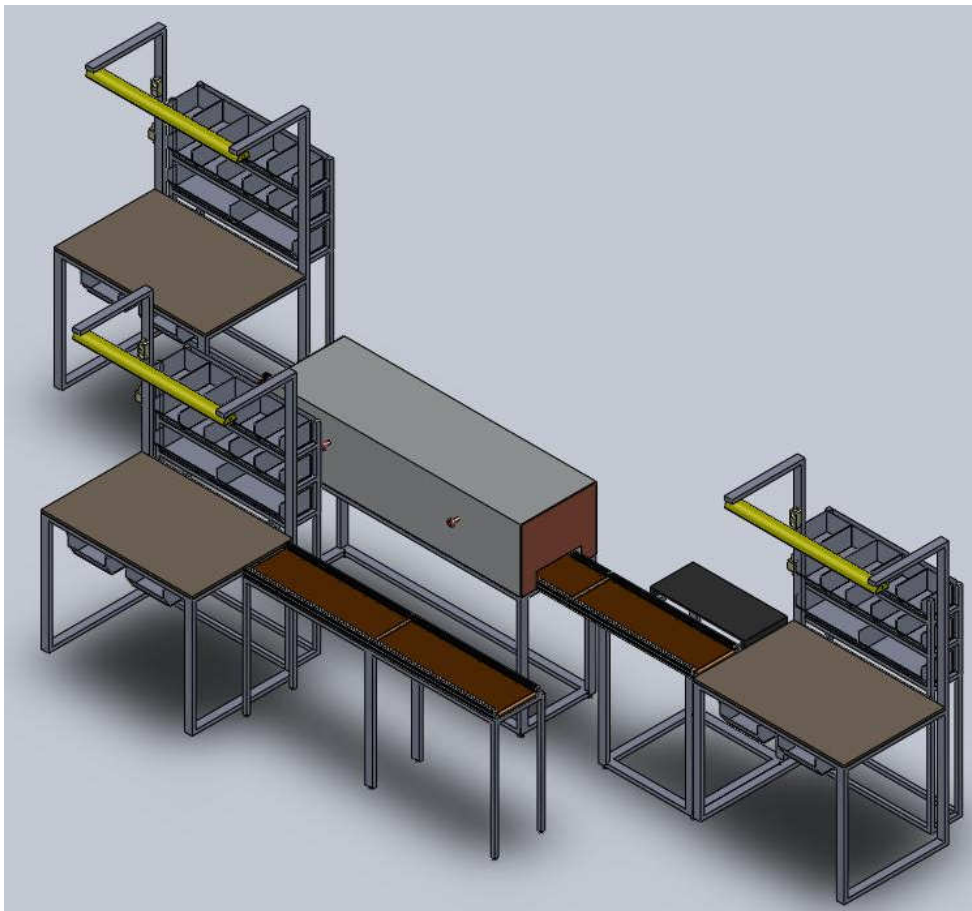


Kuva 17 Ensimmäinen versio tuotantolinjasta (näky parhaiten, kun kääntää 90 astetta)

7.3.2 Kokoonpanon kehittäminen

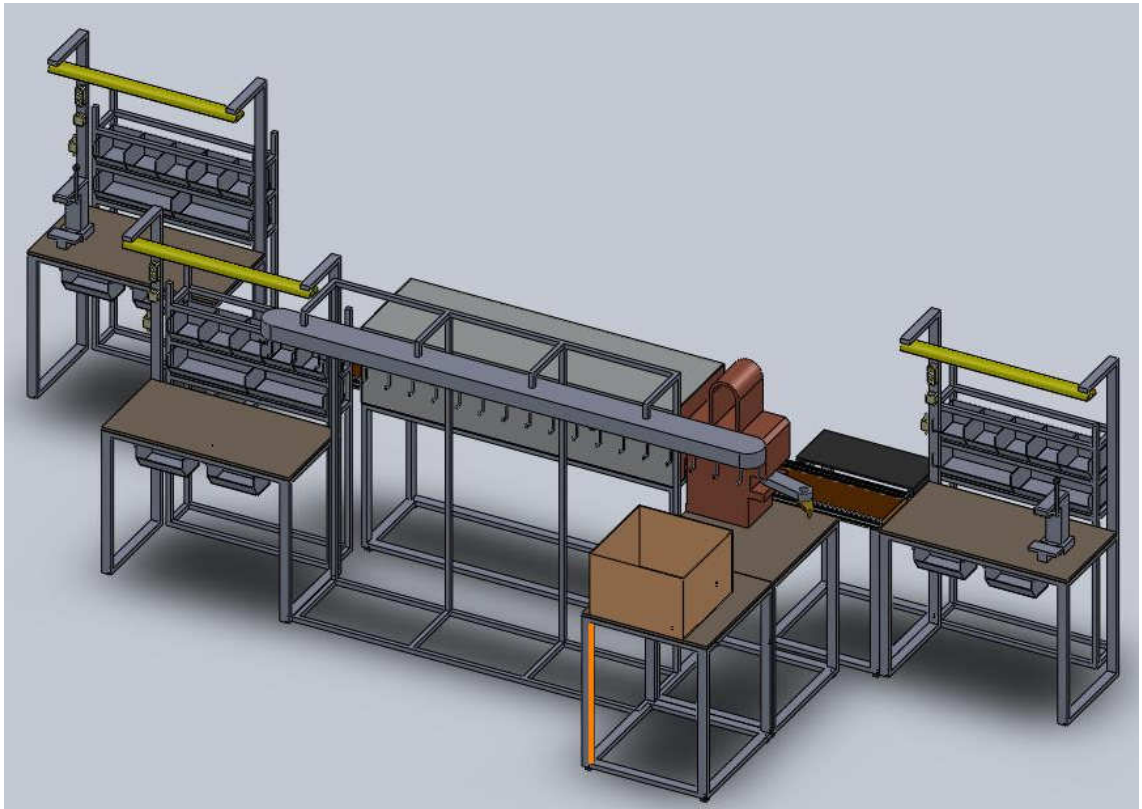
Kokoonpanon puutteellisuuden takia sitä täytyi lähteä radikaalisti kehittämään, lisäksi eri työvaiheiden paikkoja piti miettiä uudestaan. Aluksi kokoonpanosta poistettiin muotin palautuslinja sekä työskentelypöytien läpi kulkevat rullat. Myös työpöytien rakennetta, määrää ja sijaintia täytyi kehittää. Lisäksi täytyi karusellin muotoa myös lähteä kehittämään.

Ensimmäisten muutosten jälkeen syntyi kuvan 18 mukainen versio tuotantolinjasta. Oleellisia muutoksia olivat: pöydät olivat saaneet erilliset tavarahyllyt taakseen, karuselli korvattiin liukuhihnalla sekä muotin palautuslinja ja pöytien läpikulkeva rullalinja oli poistettu. Myös työpisteiden paikat muuttuivat hieman. Muutosten jälkeen tuotantolinja ei ollut vielä hyvä ja karusellin korvannut liukuhihna oli liian lyhyt kuivattamaan tarpeeksi monta piirilevylohkoa, joten tuotantolinjan kehittämistä täytyi jatkaa.



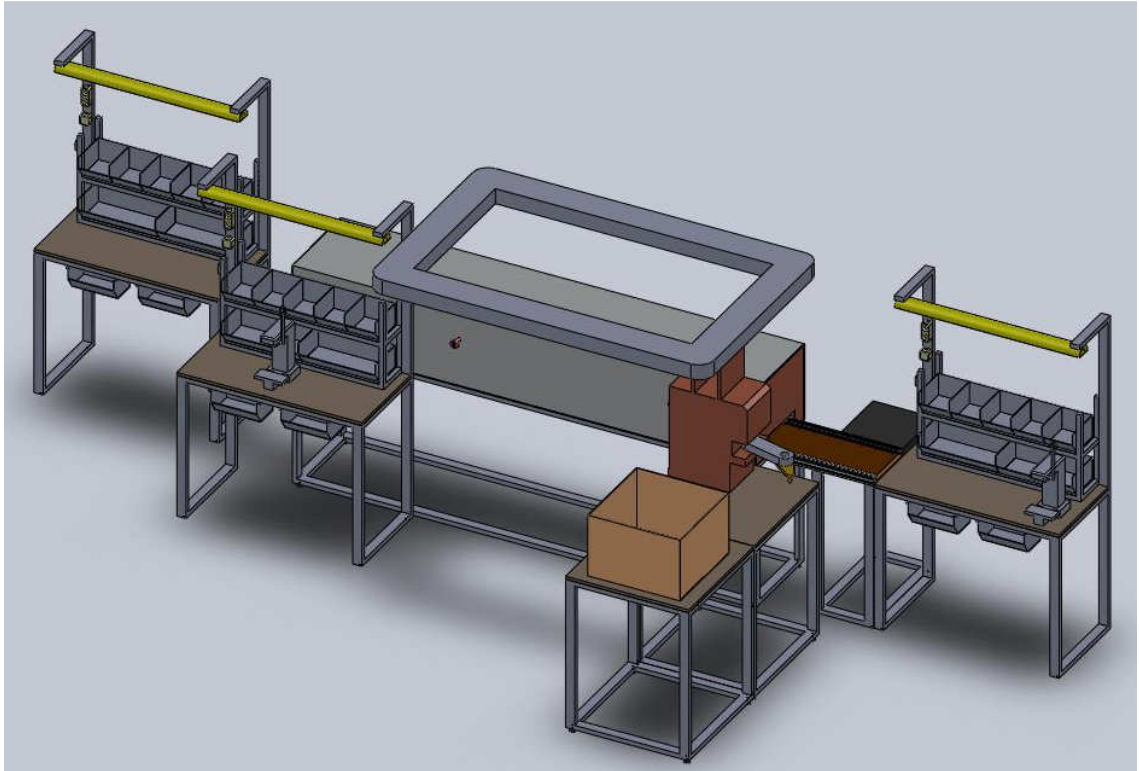
Kuva 18 Ensimmäinen kehitysversio tuotantolinjasta.

Piirilevylohkon kuivattamisesta liukuhihnan avulla päätettiin luopua ja tuoda karuselli takaisin muokattuna. Lisäksi piirilevyn suojamassakoneen paikkaa täytyi muuttaa ja sitä varten tehdä omat pöydät, kuten kuvassa 19 näkyy. Isoin ongelma oli kuitenkin vielä se, ettei karuselliin ei mahtunut tarpeeksi monta piirilevylohkoa kuivumaan kerralla, kun asiaa katsottiin tavoitellun tuotantomäärän päivää kohden näkökulmasta.



Kuva 19 Toinen kehitysversio tuotantolinjasta.

Tuotantolinjan eri työvaiheiden paikat eivät juurikaan muuttuneet kuvan 19 jälkeen. Karusellin muotoa täytyi kumminkin muuttaa ja koukkujen radan kokoa kasvattaa, niin että siihen mahtui enemmän lohkoja kerralla kuivumaan. Lisäksi erillisistä tavarahyllyistä luovuttiin ja tilalle tehtiin pöydille tulevat hyllyköt, kuten kuvassa 20 näkyy.

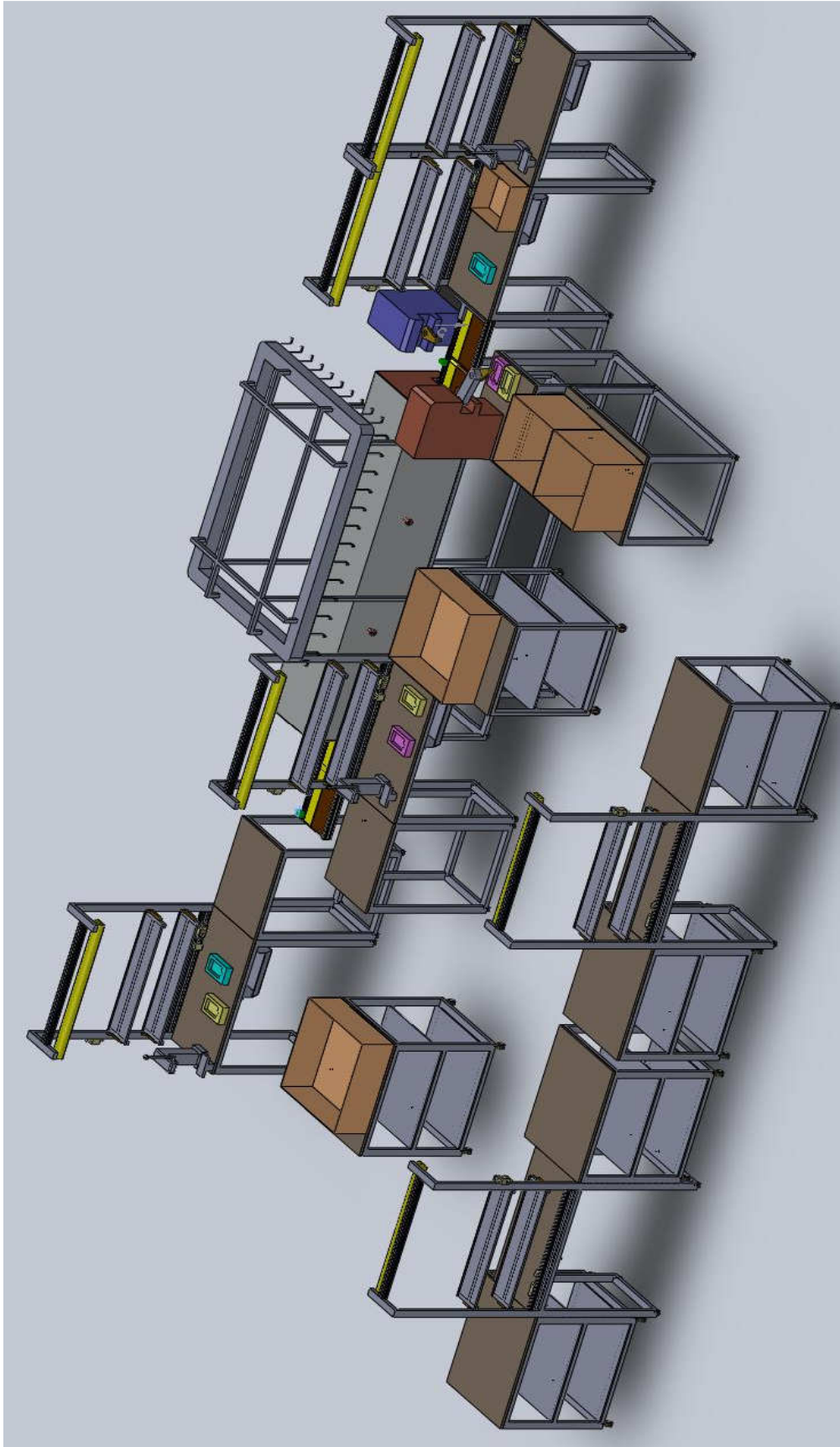


Kuva 20 Kolmas kehitysversio tuotantolinjasta.

Kuvassa 20 tuotantolinjan työvaiheet alkoivat olla jo lopullisilla paikoillaan. Uuden työvaihejärjestyksen ja kuvan 20 perusteella lähdettiin kehittämään ja tekemään lopullista versiota tuotantolinjasta.

7.3.3 Lopullinen versio tuotantolinjasta

Kehittämisprosessin tuloksena eri työvaiheiden paikat sekä tuotantolinjan muoto kokivat valtavan muutoksen, kun verrataan ensimmäistä kokoonpanoa (kuva 17) lopulliseen kokoonpanoon tuotantolinjasta (kuva 21). Kokoonpanossa tein pöytien, uunin ja karusellin sijoittamisen toisiinsa nähden suunnitellun työvaihejärjestyksen perusteella. Lisäksi lopulliseen kokoonpanoon tuli tavaraa lisää, kuten apupöytiä ja muita työpisteitä sekä huomattavasti lisää kuvaavia malleja kuten pahvilaatikoita.



Kuva 21 Lopullinen kokoonpano tuotantolinjasta.

Lopullinen versio koostui kuudesta työskentelypöydästä, uunista, karusellista, liukuhihnasta, yhdestätoista erilaisesta sivupöydästä sekä kaikenlaisesta kuvaavasta materiaalista.

7.4 Kuvien luovuttaminen

Kun tuotantolinjan 3D-kokoonpano oli saatu haluttuun muotoonsa, piti vielä pöydistä uunista ja karusellista sekä liukuhinnan leveydestä tehdä kuvat, mistä näkyy niiden ulkoiset mitat. Tarvittiin myös kokonaiskuvat viistosta ja ylhäältä sekä kuvia yksityiskohdista kuten säätöjaloista ja sivupöydän rullista yms. Kuvien eteenpäin luovuttamisen jälkeen oma osuuteni oli projektissa valmis.

8 Yhteenveto

8.1 Lähtökohdat

Kun projekti aloitettiin, minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta tuotantolinjan suunnittelusta. Sitä varten lainasin kirjan Assembly automation and product design josta oli jonkin verran apua. Myös 3D-simulointi oli melko uutta, aikaisemmin olin vain muutaman kerran käyttänyt joitakin eri simulaation ohjelmia parilla kurssilla. 3D-mallintamisesta olin sentään käynyt pari kurssia, joista oli apua, ja minulla melko hyvät käyttöohjeet Solidworksiin.

8.2 Omat työvaiheet verrattuna teoriaan

Vertaan alla hieman jokaista tekemään työvaihetta teoriaan erikseen omissa alaluvuissa sekä käyn läpi, mitä olisi voinut tehdä paremmin.

8.2.1 Suunnittelu

Suunnitteluvaiheessa lähdin suoraan miettimään, miten moottorin automaattinen kokoonpano tapahtuisi ja millaisia laitteita siihen tarvittaisiin. Kustannuksia

ja tarvittavaa työntekijämäärää mietin aluksi vain vähän. Teorian mukaan tuotteen elinkaari ja markkinat olisi mietittävä, samalla kustannussäästöt ja se, paljonko valmistusmäärä kasvaa investoimalla automaatioon.

Myös tuotteen rakenne tulee huomioida automatisoinnin kannalta. Yritin saada tuotteen rakenteeseen muutosta, koska se oli suunniteltu huonosti automaattisen kokoonpanon näkökulmasta.

Omia suunnittelutapoja verratessa teoriaan olisi minulla ainakin parannettava ja kiinnitettävä huomiota finanssipuoleen enemmän ja miettiä paremmin kannattava investointi automaatioon nähden tuotteen elinkaareen. Tosin tässä projektissa investointien ja tuotteen elinkaari sekä markkinaosuuden miettiminen ja tietäminen olivat yrityksen vastuulla. Mutta jos tulevaisuudessa tulen osallistumaan samankaltaisiin projekteihin, niin on tärkeää muistaa ottaa huomioon kyseisiä asioita, jolloin saa paremman tuloksen aikaan.

8.2.2 3D-simulointi

Simulointia on vähän huono lähteä vertaamaan, koska sillä haettiin vain suuntaa antavaa mallia tuotantolinjalle. Sekä myös sen takia, että käytettiin ilmaista lisenssiä, jossa oli vain tietty määrä käytettävissä olevia valmiita 3D-malleja.

Projektissa päästiin haluttuun tulokseen simuloinnissa, jolla päästiin eteenpäin. En ole huomannut, mitä olisin voinut tehdä paremmin projektin simulointiosuudessa, koska haettiin vain suuntaa antavaa mallia ilmaisilisenssillä. Asia olisi ollut varmasti toinen, jos simulaatiolla olisi haettu parempaa kuvaa tuotantolinjasta ja siinä oikeasti käytettäviä laitteita simulaatioon. Lisäksi olisi myös haluttu statistiikkaa ulos tuotantomääristä ja -ajoista.

8.2.3 3D-mallintaminen

Mallintamisen oli voinut tehdä paljon paremmin, koska on lukenut teoriaa siitä ja saanut jo hieman enemmän kokemusta mallintamisessa.

Alkutietojen sekä asiakkaan vaatimusten ja halujen selvittäminen onnistui hyvin, mutta ohjelman säätöä ja erilaisia määrittelyjä kyseistä mallintamista varten ei tullut tehtyä. Tietokantojen käytöstä ja selvittämisestä en ollut myöskään tietoinen, eikä siitä tosin oikeastaan olisi ollut hyötyä, koska tein mallit Solidworksillä, jota yrityksellä ei taas ollut käytössä. Myöskään kuvien kääntämisestä dwg-muotoon ei ollut puhetta.

Mallintamisen alkuvaiheesta tuotti ongelmia se, ettei kunnolla ensin miettinyt, millä tapaa lähtee mallintamaan eri osia, mutta myöhemmässä vaiheessa tapahtui kehitystä ja tuli paremmin mietittyä, jolloin sai aikaan parempaa jälkeä. Kaiken kaikkiaan mallintaminen onnistui kohtalaisen hyvin, vaikka siinä olisi ollut parannettavaa. Tosin ei mallintamistaito kehity, jollei sitä tee.

8.3 Loppuanalysointi

Omasta mielestäni osuuteni projektissa onnistui hyvin, vaikka minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta tuotantolinjan suunnittelemisesta. Suurimpia ongelmia olivat ajoittainen tiedonpuute yrityksen suunnasta, miten pitäisi edetä, ja aluksi hieman liian tiukalla aikataululla vaaditut 3D-kuvat.

Suunnittelu onnistui suhteellisen hyvin, vaikka välillä oli vaikea saada tietoa mil-laista linjaa halutaan ja paljonko on suunniteltu investoitavaksi tuotantolinjaan. 3D-simuloinnissa päästiin tavoitteeseen ja saatiin haluttu alustava karkea malli tuotantolinjasta, eikä siinä ilmennyt ongelmia. 3D-kuvien ensimmäinen aikataulu oli liian tiukka, johon ei pystynyt millään samaan kunnollisia kuvia. Ne joutui tekemään alusta asti ja tuotantolinjan rakenne haki muotoaan, kun aloitin kuvien piirtämisen. Lopullisista kuvista tuli mielestäni melko hyviä kiireelliseen aika-tilaan nähden.

Projekti antoi arvokasta kokemusta suunnittelutyöstä ja itsevarmuutta omaan osaamiseen. Sen avulla voi jatkossa kehittää omaa osaamistaan työelämässä.

Lähteet

[1] Boothroyd Geoffrey. Assembly automation and product design. 2nd Edition CRC Press 2005.

[2] Tuhola Esa ja Kristiina Viitanen. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tammertekniikka 2008.

[3]3D-mallintaminen

http://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics_software

http://fi.wikipedia.org/wiki/Luettelo_3D-grafiikkaohjelmista. Luettu 1.2.2012.

[4] 3D-simulation <http://www.smashingrobots.com/robot-simulation-software-list/>. Luettu 2.3.2012.

Ehdotelma A, alustava

Moottori, esikasattuna lohko A:han, ihmisen laittamana?

Lohko B:n esikasauksessa tapahtuu maton, piirilevyn ja eristemassan laitto + piirilevyn niittaus/ruuvaus. **

Lohko A:han laitetaan vaseliini ja muovinen hammasratas paikalleen, ruuvataan kiinni ja poljinakseli laitetaan paikalleen. Samaan aikaan tapahtuu lohko B:n kasaus, jolloin siihen kiinnitetään hammasratas, laitetaan vaseliini ja levitetään lohkojen tiivistemassa. Molempia lohkoja tulisi tulla vähintään noin 30-40 sekunnin välein johtojen laittajalle/laittajille, jotta päästää noin 500 kappaleen päivävauhtiin. Johtojen laitton jälkeen siirtyy ruuvattavaksi, mikä tulisi tapahtua n. 30s kuluessa.

Jokainen automatisoitava vaihe vaatii oman laitteensa.

Oikeastaan ainoa mahdollinen, jossa kaksi vaihetta voidaan toteuttaa yhdellä koneella, on vaseliinin laitto, mutta kone joutuisi tekemään kaksinkertaisen määrään toistoja muihin koneisiin nähden ja puolta nopeammin. Tämä voi taas johtaa siihen, että koneen huoltoväli on lyhyempi ja aiheuttaa pullonkaulan hajotessaan.**

Hyödyt:

- +yksinkertaisemmat laitteet
- +koneet kuluvat tasaisemmin ja vähemmän
- +toiminta varmempi

Haitat:

- kalliimpi investointi
- enemmän laitteita

Ehdotelma B alustava

Lohko A on moottoripuoli ja lohko B on piirilevyapuoli.

Lohko A:n ja lohko B:n kasaus tapahtuu eri päivinä tai eri viikkoina, esim. lohkot liitetään toisiinsa lohko B:n kasauspäivinä. Esikasaukset tapahtuvat joka päivä.

Lohkojen A ja B kasauksessa käytetään samoja koneita, joissa on sopivat ohjelmat molemmalle lohkolle. Lisäksi koneesta/robotista riippuen vaihdetaan työkalu kutakin vaihetta varten.

Käytettävät laitteet:

Vaseliinipursutin hoitaa vaseliinin laitton molempiin lohkoihin esim. vuoropäivin/viikoin.

Robotti vaihdettavalla työkalulla hoitaa muovisen hammasrattaan laitton lohko A:han ja tiivistemassan laitton lohko B:hen vuoro päivin/viikoin. Mahdollinen konenäkö massaa varten.

Ruuvipenkki vaihdettavalla ruuvikoolla hoitaa muovisen hammasrattaan kiinnityksen ja lohkojen kiinnityksen vuoropäivin/viikoin.

Poljinakseli ja metallien hammasratas vaativat oman laitteensa. Hammasrattaan laitto voisi mahdollisesti tapahtua lohko B:n esikasauksessa.

Sijoittelussa tulee huomioida, että johtojen kasaus mahtuu robotin ja ruuvipenkin väliin. Lohko B:n esikasauksessa tapahtuu maton, piirilevyn ja eristemassan laitto. Sekä piirilevyn niittaus/ruuvaus **

Hyödyt:

+vähemmän laitteita

+säästöä investoinnissa

Haitat:

- tarvitaan monitoimilaitteita

-koneet joutuvat enemmän raskuudelle

-mahdolliset lyhyemmät huoltovälit

-työkalujen vaihdosta aiheutava tuotantoaikamenetyk

