

# Suunnitteluprosessi

Automaattinen pahvilaatikon sulkijalaite

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2017  
Lauri Karimo

Lahden ammattikorkeakoulu  
Mekatroniikka

KARIMO, LAURI:

Suunnitteluprosessi  
Automaattinen pahvilaatikon  
sulkijalaite

Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö, 50 sivua

Syksy 2017

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön aiheena on suunnitteluprosessin tarkastelu koneensuunnittelutyön kautta. Työn käytännön osuutena oli suunnittelutyö automaattisesta pahvilaatikon sulkijalaitteesta, jonka lopputulema oli noin 100 erilaista osa-, osakokoonpano- ja kokoonpanopiirustusta. Suunnittelutyö tehtiin Ermeka Oy:n palkkaamana Sinituote Oy:lle. Tavoitteena oli saada aikaiseksi valmistuspiirustukset, joista Sinituote Oy saattoi valmistaa laitteen. Työn teoriaosuuden tavoitteena oli tarkastella suunnittelutyötä tämän laitesuunnitteluprojektin kautta ja vertailla opittua aiheesta kirjoitettuun kirjallisuuteen.

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiä olivat seuraavat: miten johonkin tarpeeseen saadaan ideoitua ratkaisut, miten näitä ideoita voidaan jalostaa ja miten jalostetusta ideasta saadaan lopulta toimiva ratkaisu mahdollisimman tehokkaasti ja edullisesti. Käytännön osuuden tarpeena oli asiakkaan tuotantolinjan tehostaminen ja automatisointi.

Vastauksina teoriaosuuden tutkimuskysymyksille nousivat suunnitteluprosessin monimutkaisuuden ja kokonaisvaltaisuuden huomioiminen. Vaikka prosessi on helposti vaiheistettavissa, sen eri vaiheet ovat monisyisiä ja usein eri vaiheisiin joudutaan prosessin aikana palaamaan useita kertoja. Prosessissa keskeistä on ongelmanratkaisu eri menetelmin. Suunnitteluprosessin tarkastelussa esiin nousivat perinpohjaisen esisuunnittelun ja ideoinnin merkitys, suunnittelutyökalujen hallitsemisen hyödyllisyys, suunnittelijan merkittävä rooli kustannusten muodostumisessa sekä valmistusmenetelmien tuntemisen merkitys.

Asiasanat: Suunnittelu, koneensuunnittelu, automaattinen pahvilaatikon sulkijalaite

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in mechatronics

KARIMO, LAURI:

The engineering design process  
Automatic cardboard box closing  
machine

Bachelor's Thesis in Mechanical and Production Engineering, 50 pages

Autumn 2017

ABSTRACT

---

The subject of this Bachelor's thesis is the examination of the engineering design process by the means of designing a machine. The practical part of the thesis was to design an automatic cardboard box closing machine. The outcome of this design process was nearly 100 pages of different part-, subassembly and assembly drawings. The designing work was made as an employee of Ermeka Oy, and made to Sinituote Oy. The goal of this work was to generate production drawings to manufacture the machine by Sinituote Oy. The goal of the theoretical part of the thesis was to study the design process by this particular machine design project and to compare what was learnt of practice to the literature considering the subject.

The research problems of the thesis were the following: how to solve a problem for some demand by the means of ideation, how to refine these ideas and how to bring the most worth of these refined ideas. The demand for the practical part was the customers need of optimization and automation of their production line.

As the answers to these questions emerged the need to pay attention to the complicity and the pervasive nature of the design process. Although the design process can be easily divided to phases, these phases are complex and it is usually necessary to go back and forth between different phases several times. The essential part of the design process is problem solving by different methods. In the examination of the design process came up the importance of thorough preliminary designing and ideation, usefulness of mastering the designing tools, realizing the significant role of the designer in the forming of expenses and the understanding of production methods.

Key words: Design process, machine design, automatic cardboard box closing machine

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SUUNNITTELUPROSESSIN TEORIA	3
2.1	Suunnittelun lähtökohdat	4
2.1.1	Suunnittelun tarve ja investoinnin perusteet	4
2.1.2	Asiakaslähtöisyys	7
2.2	Suunnittelun vaiheet	7
2.2.1	Ideointivaihe	14
2.2.2	Esisuunnitteluvaihe	17
2.2.3	Suunnitteluvaihe	19
2.2.4	Viimeistelyvaihe	19
2.2.5	Suunnitteluprosessin lomittuva kokonaisuus	20
3	AUTOMAATTISEN LAATIKONSULKIJAN SUUNNITTELU	21
3.1	Projektin alkuvaiheet	21
3.1.1	Asiakkaan tarve	21
3.1.2	Ideointi ja idean myyminen asiakkaalle	22
3.1.3	Yhteinen projektinjohto ja vastuunjako	23
3.2	Ideasta ratkaisuksi	24
3.2.1	Toimintasuunnitelma	24
3.2.2	Ensimmäinen toiminnankuvaus	26
3.2.3	Runkorakenne	27
3.2.4	Pahvilaatikon kuljettaminen, kohdistaminen ja pysäyttäminen	29
3.2.5	Mekanismien kohdistaminen	32
3.2.6	Sivuläppien avaus	35
3.2.7	Pahvilaatikon sulkeminen	36
3.2.8	Lopullinen toiminnankuvaus	37
4	SUUNNITTELUPROSESSIN TARKASTELU	40
4.1	Esisuunnittelun merkitys	40
4.2	Suunnittelutyökalujen käyttö	41
4.3	Kustannusten muodostuminen	43
4.4	Valmistusmenetelmien tunteminen	43
4.5	Suunnitteluprosessin kokonaisvaltaisuus	44
5	YHTEENVETO	47



## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön käytännön osuutena oli suunnitella automaattinen pahvilaatikon sulkijalaite Sinituote Oy:n tuotantolinjastoon. Sen lisäksi työssä tarkastellaan suunnitteluprosessia erityisesti koneenrakennuksen näkökulmasta. Tämä jälkimmäinen osio jakautuu yleiseen suunnittelun ja projektityöskentelyn teoreettisempaan tarkasteluun sekä käytännön osuudesta oppimani pohtimiseen.

Tein käytännön suunnittelutyön Ermeka Oy:n palkkaamana Sinituote Oy:lle. Ermeka Oy on vuonna 2010 perustettu kone- ja laitevalmistukseen erikoistunut pieni, alle kymmenen työntekijän tilauskonepaja, joka toimii Hollolassa. (Ermeka 2017a) Yritys laajensi tarjontansa kone- ja laitesuunnitteluun vuonna 2017. (Ermeka 2017b) Sinituote Oy:n tilaama automaattinen pahvilaatikon sulkijalaite oli yrityksen ensimmäinen oma suunnitteluprojekti.

Sinituote Oy tytäryhtiöineen muodostaa Pohjoismaiden johtavan siivousväline-, vaatehuolto- ja autonhoitotarvikealan konsernin. Konsernissa työskentelee noin 400 henkilöä ja sen päämarkkina-alueet ovat Suomi, Ruotsi, Norja sekä Puola ja Saksa. (Sinituote 2017) Automaattinen pahvilaatikon sulkijalaite suunniteltiin yhtiön Kokemäen tehtaalle.

Tarve automaattisen pahvilaatikon sulkijalaitteen suunnittelulle tuli Sinituote Oy:n halusta tehostaa linjastoaan. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena ei ole niinkään selostaa laitteen jokaista teknistä yksityiskohtaa tai selittää CAD-ohjelmiston käyttöä, vaan perustella tehtyjä valintoja sekä valaista suunnitteluprosessin monitahoista kokonaisuutta. Henkilökohtaisena tavoitteenani oli oppia ymmärtämään tätä kokonaisuutta mahdollisimman laaja-alaisesti. Tämä oppi tuli käytännön työstä, työyhteisöstä sekä lukemastani kirjallisuudesta.

Johdannon jälkeisessä toisessa luvussa avaan suunnitteluprosessin

teoriaa, erityisesti sen kulun eri vaiheiden kautta. Nämä vaiheet lomittuvat kokonaisuudeksi, jossa myöhemmästä vaiheesta pitää välillä palata takaisin aikaisempiin vaiheisiin. Prosessin kulku voidaankin esittää paitsi lineaarisesti alusta loppuun etenevänä, myös spiraalimaisesti monia kertoja varhaisempiin vaiheisiin palaavana.

Luvussa kolme selostan, miten Sinituotteen suunnitteluprojekti käytännössä toteutui, eli miten asiakkaan tarve jalostui ideaksi ja siitä edelleen lukuisten vaiheiden, harhapolkujen ja takaisinpaluiden jälkeen valmiiksi suunnitelmaksi.

Lopuksi luvussa neljä tutkin tärkeimpiä asioita, joita prosessin aikana koneensuunnittelusta opin. Näiksi löysin huolellisen esisuunnitteluvaiheeseen paneutumisen tärkeyden, suunnittelutyökalujen ja niiden käytön osaamisen merkityksen, suunnittelijan mahdollisuuden vaikuttaa suuresti suunnittelemansa projektin kustannuksiin sekä valmistusmenetelmien tuntemisen merkityksen suunnittelijalle. Lisäksi suunnitteluprosessin kokonaisvailtaisuuden ymmärtäminen nousi hyvin merkittäväksi ja haasteelliseksi seikaksi koko prosessin onnistumisen kannalta.

## 2 SUUNNITTELUPROSESSIN TEORIA

Suunnittelu pohjautuu analyysiin, ennakoit tulevaisuutta ja tähtää tuloksiin. Suunnittelu on kehitystyötä, jossa asetetaan tavoitteita, arvioidaan vaihtoehtoja ja tehdään valintoja, jotka järjestävät käytössä olevat resurssit arvoa tuottavalla tavalla. (Laatuakatemia, 2010)

Suunnitteluprosessin teoriaa käsitellään kirjallisuudessa monin eri tavoin. Tutkimani kirjallisuus käsittelee suunnitteluprosessia enimmäkseen tuotekehityksen, prosessisuunnittelun, projektitoiminnan, muotoilun ja käsityön kannalta, mutta on soveltuvin osin pätevää myös koneensuunnitteluun. Pelkästään koneensuunnittelun teoriaan keskittyvää kirjallisuutta on huomattavasti vähemmän, eikä sitä ollut helposti saatavilla.

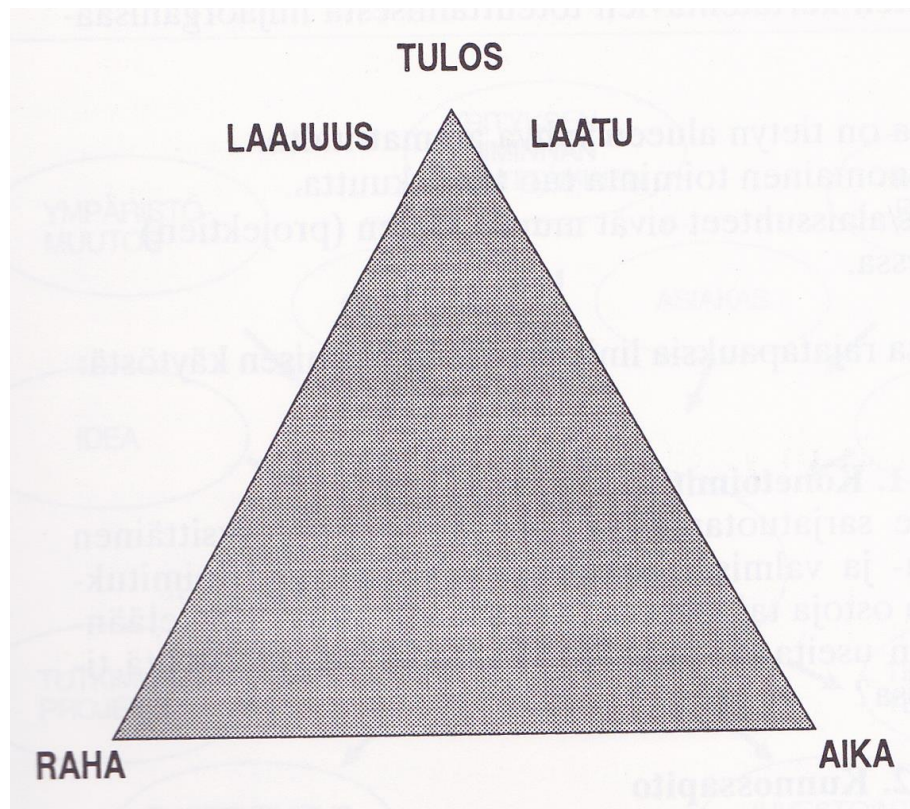
Tyypillinen suunnitteluprosessin teorioiden lähtökohta on jakaa prosessi erilaisiin vaiheisiin. Näitä vaiheita sekä nimetään että jaetaan eri tavoin, osin riippuen teorian kehittäjän lähtökohdista ja hänen valitsemastaan teorian abstraktiuden tai konkreettisuuden tasosta. Toisinaan teorioissa ei keskitytä niinkään prosessin kulkuun, vaan projektin päämääriin ja reunaehtoihin. Monimutkaisimmissa teoreettisissa malleissa pyritään yhdistämään suunnitteluprosessin kulun eri puolia ja tasoja.

Suunnitteluprosessin eteneminen esitetään usein kulkukaavioina, joista voi löytää kaksi päätyyppiä. Yksi päätyypeistä on lineaarinen, välillä vaihtoehtoiksi haarautuva, mutta ratkaisuksi supistuva kaavio. Toinen päätyyppi on syklinen spiraalimalli, jossa aikaisempiin vaiheisiin palataan prosessin kulun edetessä. Vaikka suurimmassa osassa lineaarisia malleja ei visuaalisesti palata aikaisempiin vaiheisiin, takaisin palaminen mainitaan kuitenkin usein kaavioita selittävässä teksteissä.

Suunnitteluprosessi on keino päästä haluttuun lopputulokseen. Lopputuloksessa keskeisiä ovat laajuus ja laatu. Mahdollistavina, mutta samalla rajoittavina tekijöinä ovat raha ja aika. Tuloksen, rahan ja ajan



tasapainoittelu on keskeinen osa suunnitteluprosessia. Näiden tekijöiden merkitystä avaan enemmän viimeisessä luvussa.



Kuva 1. Projektin tulostavoitteet. (Pelin 1990, 15.)

## 2.1 Suunnittelun lähtökohdat

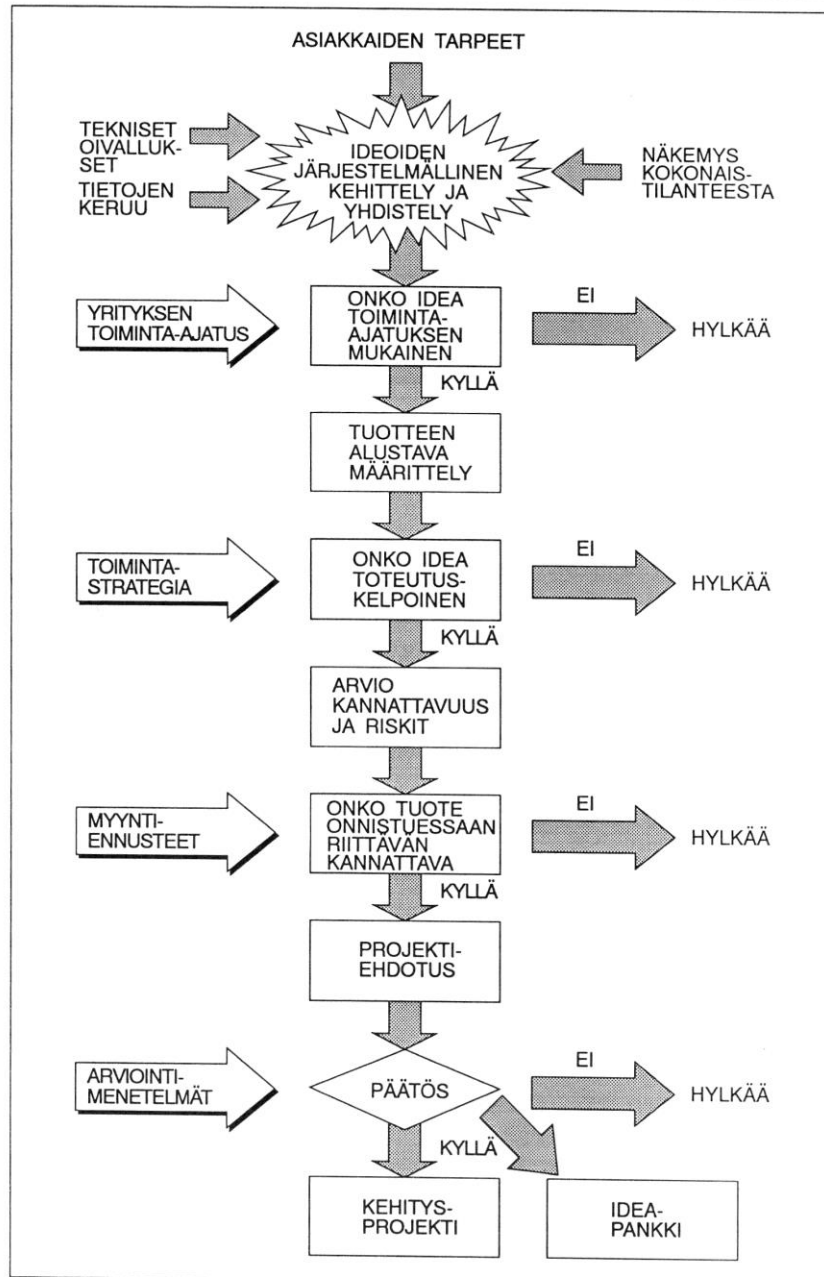
### 2.1.1 Suunnittelun tarve ja investoinnin perusteet

Suunnittelun lähtökohtana on jokin tarve, yleensä ongelman ratkaiseminen tai halu parantaa jo olemassa olevaa. Ongelman voi ratkaista ilman suunnittelua, mutta suunnitteluprosessi on keino etsiä paras ratkaisu.

Tarpeen lisäksi tarvitaan mielikuva ongelman ratkaisun toteuttamismahdollisuudesta. (Jokinen 2001, 17.)

Suunniteltava tuote voi olla joko tuotantoprosessin osa tai kuluttajalle tarjottava lopputuote. Tarve koneensuunnittelulle syntyy usein jonkin laajemman tuotantoprosessin osan vaillinaisesta toiminnasta, joka haittaa kokonaisuuden toimintaa. Toisaalta tarpeen lähteenä voi olla myös kokonaan uusi tuote tai valmistusmenetelmä. Perusteet sille, että tarpeen tunnistamisesta edetään investointipäätökseen, löytyvät investoinnin kustannuksista, tehtävän työn mielekkyydestä sekä olemassa olevista resursseista.

Pelin luettelee lähtökohdiksi tuotekehitysprojektin idealle useita eri mahdollisuuksia. Näitä ovat asiakkaan toivomukset, puutteet nykyisissä tuotteissa, uuden tekniikan tuomat mahdollisuudet, kilpailijoiden toimenpiteet ja tuotteet, yhteiskunnan ja ympäristön muutokset tai uudet innovaatiot. (Pelin 1990, 31.)



Kuva 2. Projektin valintaprosessi. (Pelin 1990, 32.) Pelkästään prosessi asiakkaan tarpeesta kehitysprojektipäätökseksi voi olla hyvinkin monimutkainen.

Investoinnin perusteena yrityksellä on yleisesti ottaen halu saada tuloja. Ennen investointipäätöstä on selvitettävä investoinnin edellyttämä

kokonaispääoma ja rahoitusmahdollisuudet. Investointi on tyypillisesti jonkin rajatun ongelman ratkaisemiseen suunnattu projekti. Projektin tuloksen oletetaan maksavan siihen sijoitetun pääoman takaisin ja tuottavan lisäksi voittoa. (Haverila ym. 2005, 195-198.)

### 2.1.2 Asiakslähtöisyys

Haverilan ym. (2005, 226-227.) mukaan nykyaikaiseen markkinointinäkemykseen kuuluu laaja-alainen asiakslähtöisyys, joka tuo ”ylivoimaista” arvoa asiakkaalle. Tällöin tuodaan lisäarvoa asiakkaalle missä tahansa arvoketjun vaiheessa. Tuotannon, tuotekehityksen ja markkinoinnin välillä tavoitteiden tulee olla yhdenmukaiset.

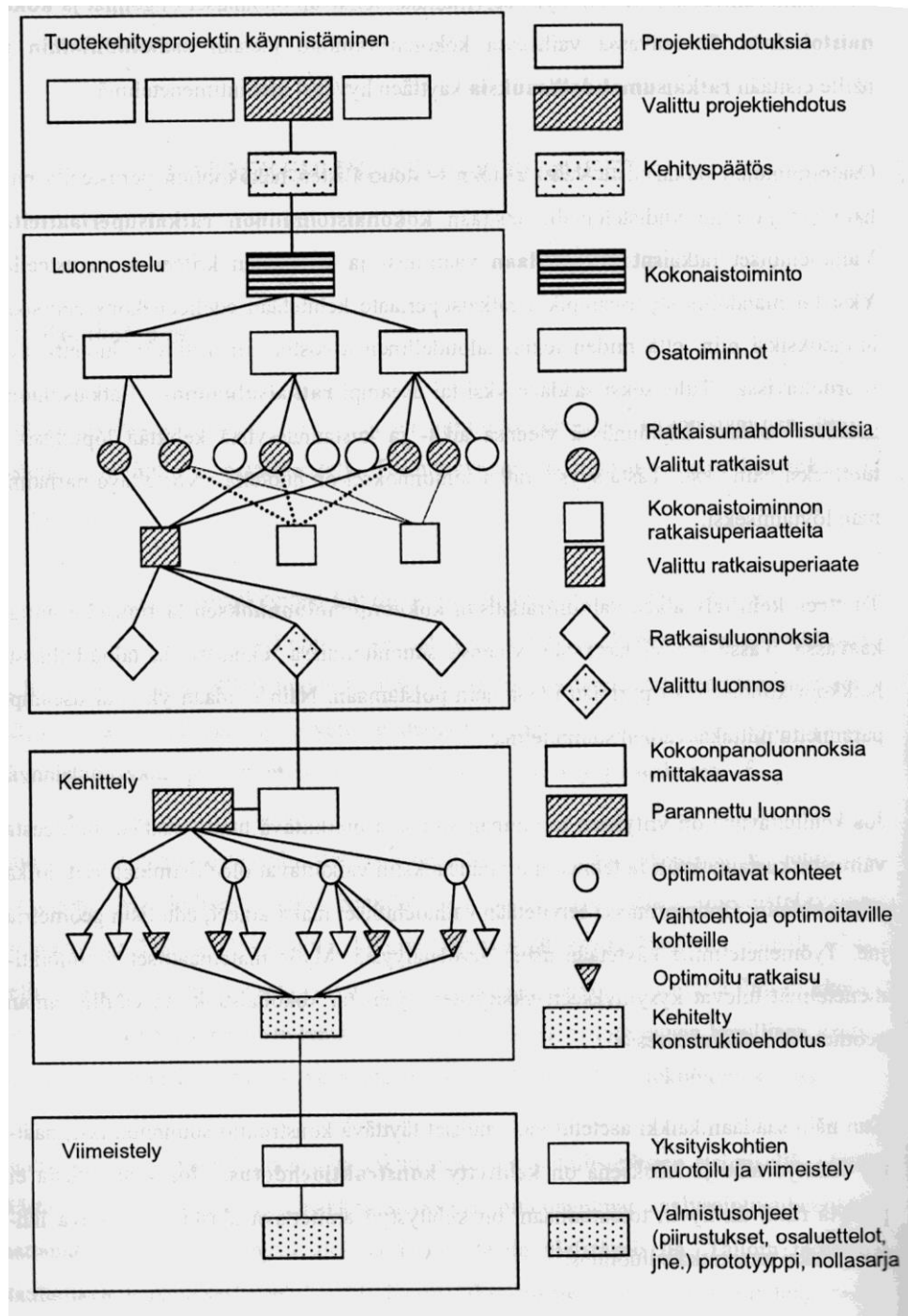
Tuotantohyödykkeiden markkinoinnissa tärkein asiakassuuntautuneen markkinoinnin onnistumisen este on liiallinen orientoituminen itse tuotteeseen, insinööritaitoon, sekä valmistukseen ja tekniikkaan. Tuotteen on kuitenkin oltava muuttuja, tärkeintä on, mitä se asiakkaalle tekee, sen tuoman hyötyjen kokonaisuus asiakkaalle. Tuotantohyödykkeiden markkinoinnissa tuote on paitsi teknisten, myös taloudellisten ja henkilökohtaisten seikkojen yhdistelmä, joita ostajan ja myyjän välillä on. (Haverila ym. 2005, 234.)

Tuotantohyödykkeiden asiakslähtöinen markkinointi kannattaa nähdä prosessina, ei pelkästään joidenkin tuuteominaisuuksien ja yhteydenpitojen yhdistelmänä. Se on monimutkainen ja pitkäkestoinen prosessi, joka alkaa kauan ennen myyntitapahtumaa ja jatkuu kauan sen jälkeen. (Haverila ym. 2005, 235.)

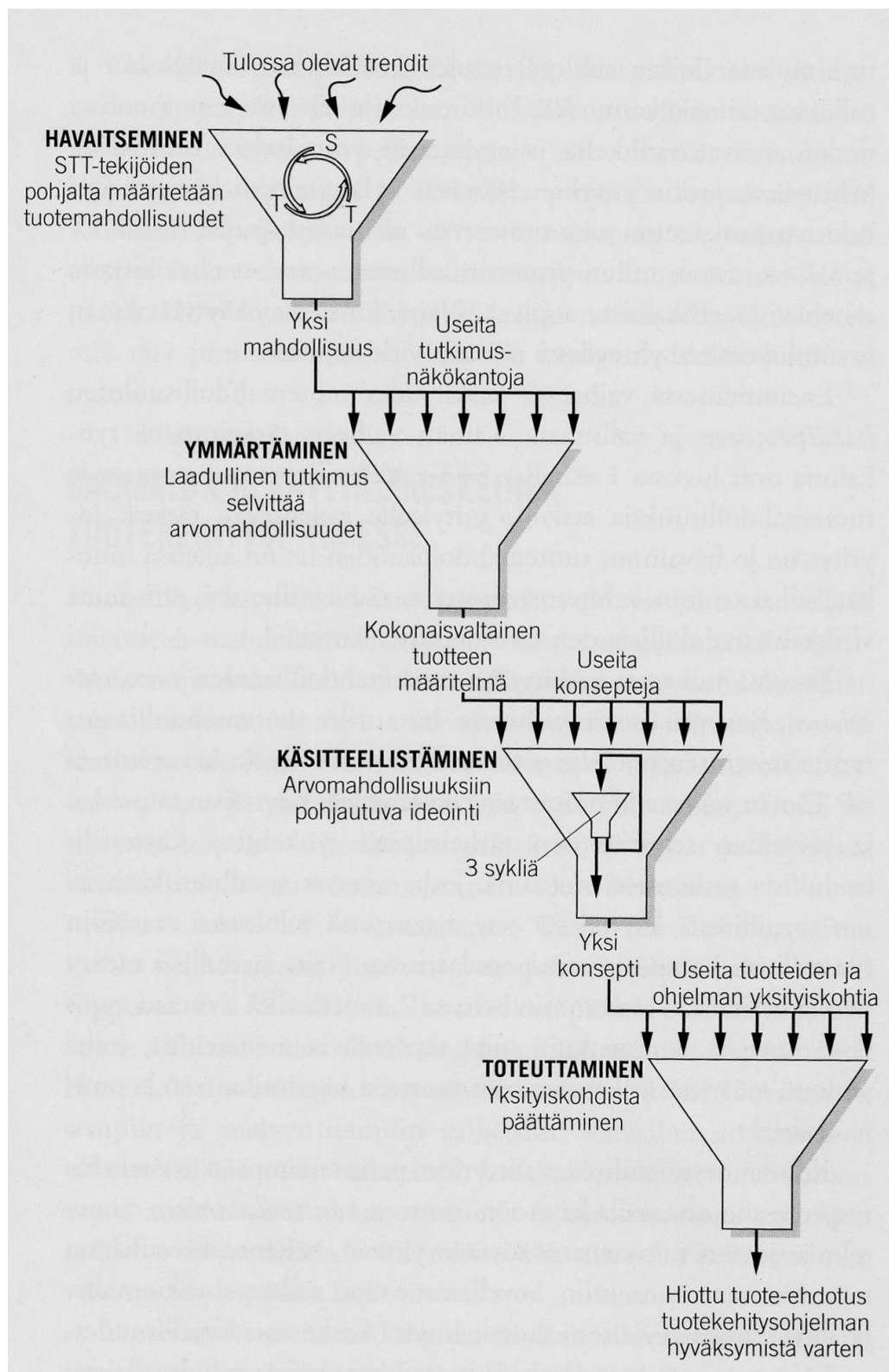
## 2.2 Suunnittelun vaiheet

Suunnitteluprosessin kulku jaotellaan kirjallisuudessa ja yritysten toiminnassa eri tavoin erilaisiin vaiheisiin. Termistö ei ole välttämättä yhtenevää ja samat termit omaavat erilaisia merkityksiä eri yhteyksissä. (Leino 2013, 2.) Esimerkiksi Jokinen (kuva 3) erottelee

tuotekehitysprojektin käynnistämisen-, luonnostelu-, kehittäminen- ja viimeistelyvaiheeseen. (Jokinen 2001, 16; Haverila ym. 2005, 281.) Routio puolestaan erottelee tuotekehitysprojektin ideointi-, konsepti-, suunnittelu- ja tuotannon valmisteluvaiheisiin. (Routio 2007)



Kuva 3. Hyvä esimerkki suunnitteluprosessin konkreettisen etenemisen lineaarisesta mallista on Jokisen (Jokinen 2001, 16.) tuotekehityksen toimintavaiheita kuvaava malli.



Kuva 4. Monien mahdollisten ratkaisuvaihtoehtojen supistumista suunnitteluprosessin edetessä eri tasoilla aina yhdeksi valituksi ratkaisuksi kuvaa suppilomalli, yhdenlainen lineaarinen malli (Cargan ja Vogel 2003, 172.)

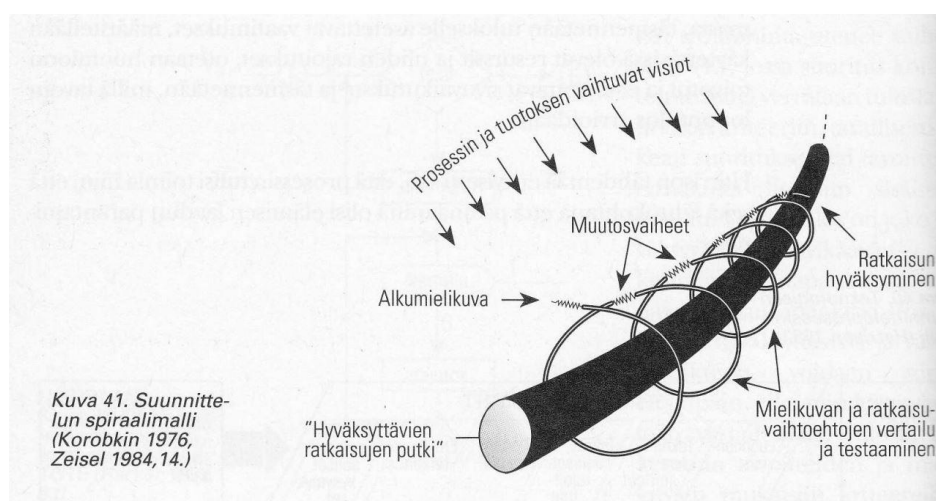
Suhteellisen yksinkertainen esimerkki spiraalimallista löytyy Routiolta (Kuva 5). Siinä Routio tarkastelee suunnitteluprosessin vaiheita hieman eri näkökulmasta. Hän katsoo että tuotekehityksessä on nähtävissä vakiintunut peruslogiikka. Alkuvaiheessa keskeisessä osassa on vaatimusten analyysi, keskivaiheessa varsinaisen suunnittelun synteesi ja lopussa ratkaisuehdotusten arviointi. Käyttämänsä spiraalimallin mukaisesti näitä vaiheita joudutaan toistamaan useita kertoja. Tuote siis täsmentyy asteittain, se tavallaan suunnitellaan moneen kertaan. Arvioinnin jälkeen mahdollisesti palataan hankkimaan lisätietoja, joiden perusteella tehdään tarvittavia muutoksia. (Routio 2007)



Kuva 5. Roution spiraalimalli. (Routio 2007) Tällaisena malli liittyy enemmän uuden kaupallisen massatuotteen suunnitteluprosessiin, mutta korvaamalla kohdan markkinointi toimeksiantajan hyväksynnällä se kuvaa hyvin yksittäisen koneen suunnitteluprosessin kulkua melko abstraktilla tasolla.

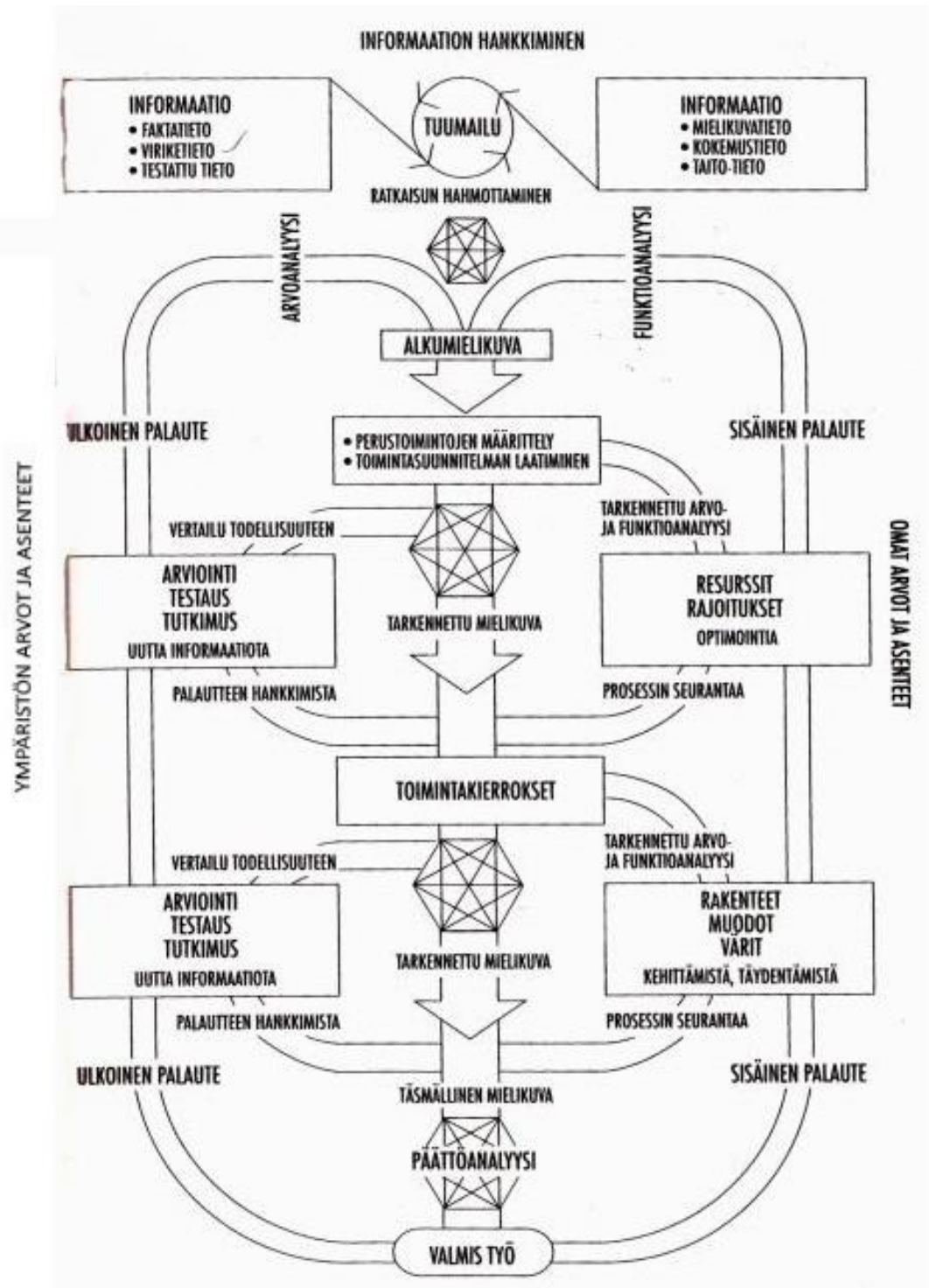


Monissa suunnittelun teoriaa kuvaavissa suomalaisissa opinnäytetöissä käytetään Anttilan teoksessaan esittämää spiraalimallia. Kyseinen malli on hänen mukaansa John Zeisellin teoksesta ”Inquiry by Design” vuodelta 1984, idean ollessa alunperin Korobkinin vuonna 1976 kehittämä. Mallissa on ”hyväksytyjen ratkaisujen” runko, jota prosessin ratkaisun alkumielikuvasta lähtevä vaihe vaiheelta täsmentyvä mahdollinen ratkaisu kiertää, päätyen lopulta hyväksytyksi ratkaisuksi.



Kuva 6. Anttilan spiraalimalli. (Anttila 1993, 98.)

Lineaarisen mallin mukainen kulkukaavio, jonka visuaalisessa ilmaisemisessa otetaan huomioon aikaisempiin vaiheisiin palaaminen, on melko monimutkainen eikä näytä enää yksinomaan lineaariselta. Esimerkki tällaisesta löytyi Anttilan käsityötuotteen suunnittelu- ja valmistusprosessin teoreettisen mallin kuvauksesta. Sitä ei aivan suoraan voi soveltaa koneensuunnitteluun, mutta koneensuunnittelun prosessiakin voi kuvata samankaltaisesti erilaiset palautteet myös visuaalisesti huomioivana.



Kuva 7. Käsiyötuotteen suunnittelu- ja valmistusprosessin teoreettinen malli. (Anttila 1993, 111.)

Verratessa Ermeka Oy:ssa syntyneitä suunnitteluprosessia edellä esiteltyihin malleihin, voidaan Ermeka Oy:n suunnitteluprosessi jaotella Ideointivaiheeseen, esisuunnitteluvaiheeseen, suunnitteluvaiheeseen ja viimeistelyvaiheeseen. Ideointivaiheessa luodaan mielikuva toteuttamismahdollisuuksista ja valitaan parhaat toteuttamismahdollisuudet. Se ei ole vielä asiakkaalta veloittavaa työtä, vaan ikäänkuin myyntityötä. Esisuunnitteluvaihe on jo veloittavaa työtä, jossa tehdään tarvittava tutkimustyö ideointivaiheen ideoiden perusteella. Siinä luodaan hahmotelmat tuotteesta ja pyritään päättämään mm. rakenne- ja komponenttityypit. Suunnitteluvaiheessa hahmotelmat jalostetaan tarkoiksi malleiksi ja osavaliinnat lyödään lukkoon. Viimeistelyvaiheessa tehdään tuotteen valmistuskuvat.

### 2.2.1 Ideointivaihe

Ideointivaihe on merkittävin osa suunnitteluprosessia, sillä siinä tehtävät valinnat määräävät koko projektin suunnan. Projektin alkuvaiheella voi tehdä isojaakin muutoksia suhteellisen edullisesti, kun taas projektin edetessä muutosmahdollisuudet vähenevät ja muutosten kustannukset nousevat. (Routio 2007; Cagan ja Vogel 2003, 165, 175.)

Koska ideoinnissa on kyse ongelmanratkaisusta, voidaan apuna käyttää lukuisia ongelmanratkaisun ja päätöksenteon menetelmiä. Ensin käsillä oleva ongelma täytyy analysoida. Tärkeimmät selvittävät asiat ovat ongelman ydin, rajoitukset sekä mitä ominaisuuksia ratkaisulla tulee olla. Lisäksi kannattaa selvittää asiakkaiden toiveet, standardit ja turvallisuusmääräykset. Analysoinnin apuna voi käyttää esimerkiksi TT-menetelmää, joka on japanilainen ryhmätyöskentelyyn perustuva ongelman analysointimenetelmä. TT-menetelmä muodostuu neljästä vaiheesta: tosiasioiden kerääminen ja sanallinen kuvaaminen, kerätyn aineiston ryhmittely, kaavion tekeminen ja kaavion suullinen ja kirjallinen selittäminen. Kun ongelma on saatu analysoitua, kannattaa projektille asettaa tasapainoitettut tavoitteet ja vaatimukset. (Jokinen 2001, 23-29.)

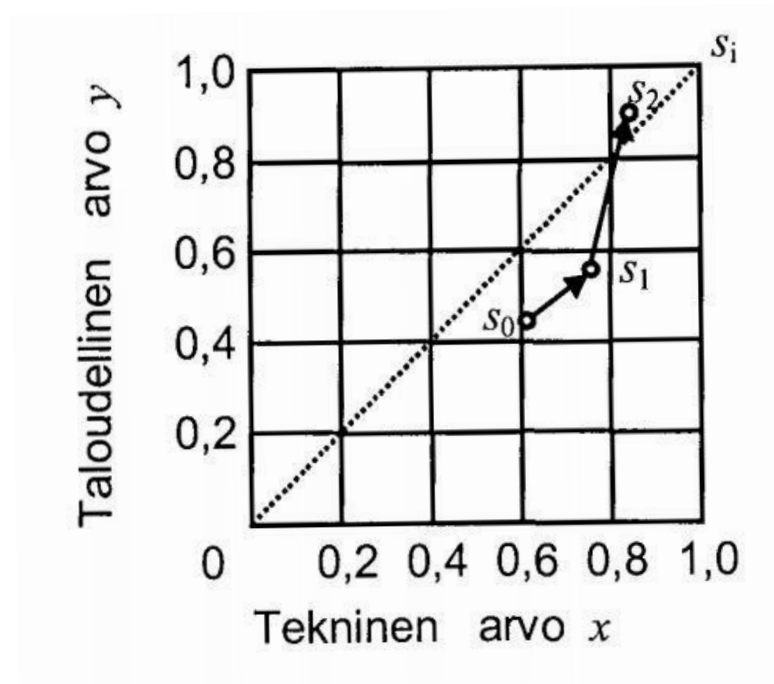
Kun ongelma on tarkkaan analysoitu ja tavoitteet asetettu, tulee sille löytää ratkaisu. Ongelmanratkaisumenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään, intuitiiviseen sekä diskursiiviseen ryhmään. Intuitiivisissa menetelmissä käytetään hyväksi alitajuntaa ja lykätään ideoiden arvostelemista pidemmälle antaen mahdollisuuden villeillekin ideoille. Diskursiivisissa menetelmissä arvostellaan ideoita varhaisemmassa vaiheessa ja hyviksi havaittuja ideoita pyritään analysoimaan systemaattisesti. Jokinen ja Arciszewski käsittelevät kirjoissaan kattavasti eri ongelman ratkaisun menetelmiä. Näitä ovat muun muassa tehtävän yleistäminen, tehtävän jako toiminnoiksi, aivoriihet, muuntelumenetelmä, synektiikka (heuristinen ja luova menetelmä jossa liitetään useita yhteismitattomia elementtejä ongelmanratkaisuprosessiin), TRIZ-menetelmä (etsitään ongelman ja sen ratkaisun abstrakti malli ja sitten sovelletaan saatuja abstrakteja ratkaisuja kyseessä olevaan ongelmaan) sekä bioinspiraatio (hakee luonnon biologisista rakenteista inspiraatioita tekniisiin ratkaisuihin). (Jokinen 2001, 30-72; Arciszewski 2016, Passim)

Ongelma on usein moniosainen, joten sen eri osioihin löydetty ratkaisuehdotukset täytyy yhdistää siten, että niistä muodostuva kokonaisuus täyttää parhaiten annetut vaatimukset. Täten voidaan luoda alustava ratkaisuluonnos. (Jokinen 2001, 73-74.)

Ongelmanratkaisun aikana syntyneitä ideoita on syytä arvioida ja arvostella, mikä on usein vaikeata. Arvostelua vaikeuttaa se, että on vaikea ottaa huomioon eri arvosteluperiaatteita, joita ei voida mitata samalla mittayksiköllä. Arvostelua vaikeuttaa myöskin epävarmuus, koska ikinä ei voida tietää ratkaisun onnistuneisuutta ennen sen kokeilua tai onko kaikkia asioita osattu huomioida. Epävarmuutta voi lieventää pyytämällä arvioita useammalta eri henkilöltä tai tekemällä kokeita pienoismittakaavassa. Arvostelu kannattaa aloittaa karkealla arvostelulla, eli karsia toivottomat vaihtoehdot tervettä järkeä käytten, jonka jälkeen voidaan käyttää erilaisia menetelmiä, kuten painoarvotaulukoita ja S-diagrammeja. (Jokinen 2001, 75-85.)

Ratkaisuvaihtoehdot	Arvosteluperusteet							Huomautuksia ( ohjeita, perusteluja )	Päätös
	A Vastaa tehtävän asetusta	B Täyttää vaatimustilan	C Toteuttamiskelpoisuus hyvä	D Kustannukset kohtuulliset	E Täyttää välittömät turvallisuus vaatimukset	F Soveltuu omaan alaan	G Muuta		
1	+	+	+	?	+	+		D: Lukuisat anturit nostavat hintaa	?
2	+	-						B: Hyötysuhde liian pieni	-
3	+	+	+	+	+	+			+
4	-	-							-
5	+	!	+	+	+	+		B: Vaatimustila tasapainoton ?	!
6	+	+	+	-					-
7	-	-							-
8	+	+	-						-
9	+	+	+	+	+	?		F: Tekninen tieto riittämätön ?	?
10	-	-							-
11	+	+	+	+	+				+
12	+	+	+	-					-

Kuva 8. Esimerkki karkean arvostelun taulukosta.



Kuva 9. Esimerkki S-diagrammista.  $S_0$  kuvaa vanhaa konstruktiota,  $S_1$  ensimmäistä ratkaisuvaihtoehtoa ja  $S_2$  lopullista ratkaisua.

Kun ongelmalle on löydetty paras ratkaisuehdotus, tulee se vielä hyväksyttävä toimeksiantajalla. Paras tapa saada hyväksyntä on ottaa toimeksiantaja mukaan prosessin eri vaiheisiin. Toimeksiantajan kannattaa antaa osallistua idean kehittelyyn, tutustua eri vaihtoehtoihin ja osallistua päätöksentekoon. (Jokinen 2001, 88.)

### 2.2.2 Esisuunnitteluvaihe

Esisuunnitteluvaihe muistuttaa monin osin ideointivaihetta. Vaihtoehtoiset ratkaisut pidetään vielä avoinna eikä ratkaisuehdotuksia pyritä viimeistelemään. Ideointivaiheessa hyväksytyt karkeita

ratkaisuehdotuksia jalostetaan tarkentamalla komponenttivalintoja ja hahmotelemalla toiminnalliset osat kokonaisuuksiksi. Ideointivaiheessa tehdyt ratkaisuehdotukset ovat vielä periaatteellisia.

Esisuunnitteluvaiheessa niihin paneudutaan ja ne konkretisoidaan. Tässä vaiheessa on syytä tehdä huolellista tutkimustyötä, jotta saavutetaan oikeat komponentti- ja rakennevalinnat. Valintoihin liittyy jo tarkkoja laskelmia ja kokeita.

Esisuunnitteluvaiheessa pyritään asettelemaan toiminnalliset osiot siten, etteivät ne haittaa tai poissulje toistensa toimintaa. Siinä luodaan toimiva kokonaisuus, jonka yksityiskohdat on otettu huomioon kuitenkin niitä tarkentamatta. Esimerkiksi CAD-ohjelmassa asetetaan sähkömoottori halutulle paikalleen siten, että otetaan huomioon kiinnitys ja laakerointi, kuitenkin niitä vielä mallintamatta.

Tässä vaiheessa tehtyjä suunnitelmia arvostellaan teknisin ja taloudellisin perustein. Mikäli arvo ei ole tyydyttävä, joudutaan mahdollisesti palaamaan ideointivaiheeseen asti. Tästä syystä ei ole järkevää tehdä suunnitelmia liian yksityiskohtaisesti esisuunnitteluvaiheessa. Jokinen tuo esiin vain teknisen ja taloudellisen arvon, kun taas Pelin tuo yhtälöön muuttujaksi myös ajan. (Jokinen 2001, 90-91; Pelin 1990, 20-21.)

Esisuunnittelu käsitteenä on vaiheista kaikista monimerkityksisin. Toisille se on myynnin tueksi tehtävää työtä, jota ei välttämättä laskuteta asiakkaalta. Toisille se on varsinaisen suunnittelun tueksi tehtävää pohjatyötä. Leino (2013, 2.) laskee esisuunnittelutyön osin myyntityötä tukevaksi ja osin varsinaista suunnittelua tukevaksi pohjatyöksi.

Verratessani tässä käyttämäni jaottelua Jokisen toimintavaiheisiin (Kuva 3) esisuunnittelu asettuu suurimmaksi osaksi Jokisen luonnosteluvaiheeseen lomittuen hiukan kehittämissä vaiheiden kanssa. Routhin spiraalimalli (kuva 5) korostuu esisuunnitteluvaiheessa. Huolellinen analyysi johtaa karkeaan synteesiin, jota huolellisesti arvioidaan. Tätä kierrettä jatketaan kunnes saadaan mahdollisimman hyvät synteessin suuntaviivat.

### 2.2.3 Suunnitteluvaihe

Suunnitteluvaiheessa tuotteen suunnittelu viimeistellään yksityiskohtia myöten esisuunnitteluvaiheesta saatujen suuntaviivojen mukaan.

Suunnitteluvaiheessa korostuu rakenteiden teknis-taloudellinen tarkastelu ja optimointi. Siinä päätetään muun muassa rakenteiden geometriat ja materiaalit. Suunnitteluvaiheen jälkeen viimeistelyvaiheen mittapiirustusten tulee olla yksiselitteisesti tehtävissä. (Jokinen 2001, 89-91.)

Tuotteen optimoinnissa ilmenee samat ongelmat kuin ideoiden arvostelussa. Ei ole yleispätevää kriteeriä, jolla tuotteen hyvyys voidaan arvioida. Suunnittelijan on kuitenkin arvioitava tärkeimmät kriteerit ja pyrittävä löytämään edullisimmat ratkaisut näiden kriteerien täyttämiseksi. Optimoimisen tarve riippuu myös tuotteesta. Yksittäiskappaleiden optimoimiseen ei välttämättä kannata tuhlaa aikaa, kun taas massatuotetuissa tuotteissa optimoinnin merkitys korostuu. Optimoinnin avuksi on olemassa matemaattisia optimointimenetelmiä, kuten tyhjentävä haku, dikotominen haku, fibonaccin haku sekä ristikkohaku. (Jokinen 2001, 155-199.)

Suunnitteluvaihe on Jokisen toimintavaiheista verrattavissa kehittelyvaiheeseen. Jokinen liittää heikkojen kohtien poistamisen ja ideoimiseen palaamisen erityisesti kehittelyvaiheeseensa. Itse näkisin tärkeäksi kitkeä heikot kohdat pois jo aikaisemmassa vaiheessa, jottei ideointivaiheeseen jouduttaisi enää palaamaan. Varsinkin laajassa projektissa ideointivaiheeseen palaamiselta on kuitenkin vaikeaa täysin välttyä. Routhon spiraalimalliin suhteutettuna suunnitteluvaiheessa on vähemmän analyysia ja enemmän synteisiä. Lopputuloksen huolellinen arviointi on kuitenkin tärkeää, jotta valmistukseen ei mene virheellisiä suunnitelmia. Mikäli virheitä ilmenee, on analyysivaiheeseen palattava.

### 2.2.4 Viimeistelyvaihe

Vaihe jota toteuttamassani suunnitteluprosessissa kutsun viimeistelyvaiheeksi on suoraan verrannollinen Jokisen



viimeistelyvaiheeseen. Viimeistelyvaiheessa tuotteesta tehdään valmistusta varten mittapiirrustukset, kokoonpanokuvat ja osaluettelot, sekä huolto- ja käyttöohjeet. (Jokinen 2001, 96.) Yksittäisen osan mittapiirrustuksesta täytyy tulla ilmi kaikki, mitä sen valmistamiseen vaaditaan, kuten osan mitat, materiaali, aihio ja työstömenetelmät. Kokoonpanokuvissa täytyy tulla ilmi kokoonpanoon vaadittavat osat ja niiden sijoittelu kokoonpanossa. Kokoonpanot voidaan jakaa osakokoonpanoihin.

Mittapiirrustusten luomiseen kannattaa käyttää standardoituja tapoja ja piirustusohjelmia. Mittapiirrustuksia tehdessä on myös syytä tuntea osan tekemiseen tarvittavat valmistusprosessit, jotta mitoitus on riittävä sen valmistusta varten.

#### 2.2.5 Suunnitteluprosessin lomittuva kokonaisuus

Kuten aikaisemmin olen jo todennut, suunnitteluprosessi ei ole käytännössä lineaarinen. Myös lineaarisia malleja käsittelevissä teksteissä tämä on todettu. Kuitenkin useimpien mallien graafiset esitykset esittävät prosessin suoraviivaisesti etenevänä. Todellisuudessa prosessi on moniulotteinen, eri vaiheiden välillä hyppivä kokonaisuus. Mitä monimutkaisemmaksi ja laajemmaksi projekti kasvaa, sitä suuremmalla todennäköisyydellä virhe aikaisemmassa vaiheessa saa myöhemmät ratkaisut osoittautumaan toimimattomiksi. Jokainen osa-alue on kytköksissä toisiinsa ja muutokset helposti säteilevät laajalle.

Lineaaristen mallien tulisi olla täynnä silmukoita, jotka palaavat aikaisempiin vaiheisiin. Spiraalimalli sinällään kuvaa tätä hyvin, mutta se antaa kuvan alati lisääntyvästä sisällöstä. Todellisuudessa havainnot uudella kierroksella saattavat lohkaista pois isoja osioita aikaisimpien kierrosten tuloksista. Mitä vakaamman pohjan aikaisempien kierrosten aikana jatkosuunnittelun pohjaksi luo, sitä varmemmin suunnitteluprosessissa pääsee eteenpäin.

### 3 AUTOMAATTISEN LAATIKONSULKIJAN SUUNNITTELU

Opinnäytetyön käytännön osuus oli suunnitella automaattinen pahvilaatikonsulkija Sinituote Oy:n Kokemäen tehtaalle. Työ oli pääsääntöisesti itsenäistä, lukuunottamatta ohjausta ja ideointiapua, jonka sain Ermeka Oy:lta. Suunnittelun työkaluina käytin Geomagic Design CAD-ohjelmistoa sekä kynää ja paperia.

#### 3.1 Projektin alkuvaiheet

##### 3.1.1 Asiakkaan tarve

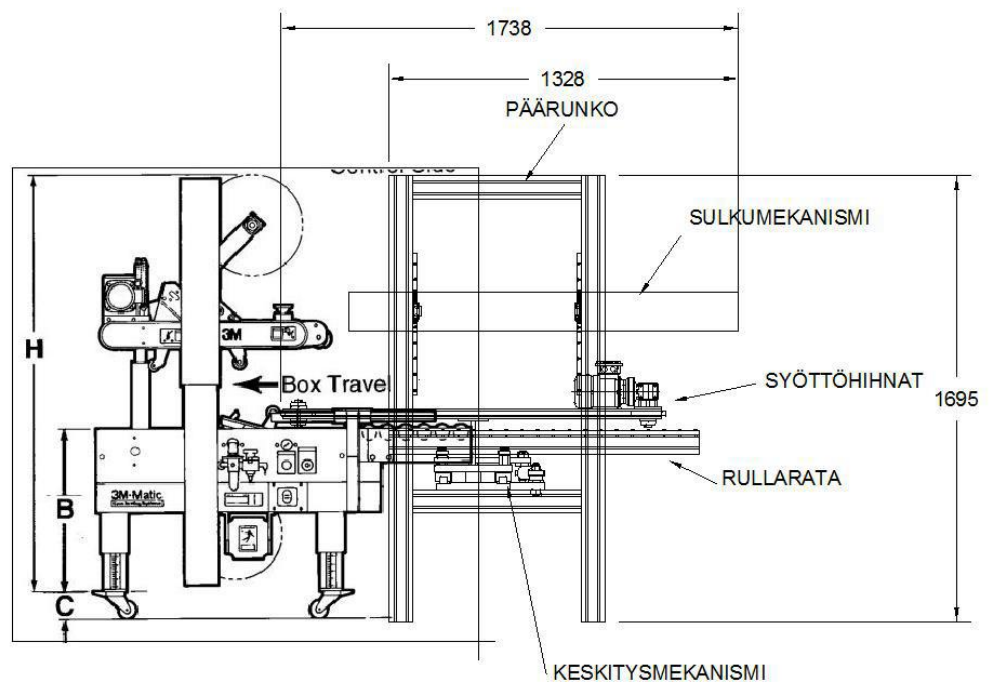
Asiakkaan linjaston lopussa oli teippauskone, joka vaati työntekijän sulkemaan pahvilaatikon ja syöttämään sen koneelle. Sama työntekijä vei teipatun pahvilaatikon pakkauslavalleen lähetystä odottamaan. Asiakas on tilannut robotin, joka asettaa teipatun laatikon omalle lavalleen. Robotti ei poista tarvetta syöttää pahvilaatikko teippauskoneelle, mutta tämäkin vaihe haluttiin automatisoida.

Laatikonsulkijoita on jo markkinoilla, mutta ne soveltuvat vain tietyn kokoisille laatikoille. Nämä laitteet ovat usein säädettävissä erikokoisille laatikoille, mutta säätö pitää tehdä manuaalisesti eikä ole järkevästi automatisoitavissa. Asiakkaan linjastossa suljettavat laatikot ovat eri kokoisia ja tulevat satunnaisessa järjestyksessä teippauskoneelle.

Asiakas tarvitsi laitetta, joka sulkee vaihtelevan kokoiset pahvilaatikat automaattisesti sekä kuljettaa ne kohdistettuina teippauskoneen läpi. Asiakas halusi runkorakenteen alumiiniprofiilista, käytöt mahdollisuuksien mukaan joko paineilmatoimimisina minisyylintereinä tai taajuusmuuttajilla ohjattuina 230 VAC oikosulkumoottoreina sekä muut rakenteet joko alumiinina tai ruostumattomana teräksenä. Näistä tekijöistä muodostuivat projektin reunaehdot.

### 3.1.2 Ideointi ja idean myyminen asiakkaalle

Asiakkaan tarpeesta piti muodostaa idea ongelman ratkaisevasta laitteesta. Idean tuli täyttää asiakkaan tarve ja reunaehdot mahdollisimman hyvin ollen kuitenkin kustannuksiltaan asiakkaalle houkutteleva. Ideointivaihe ei ollut asiakkaalta laskutettavaa työtä. Se loi pohjan suunnittelutyölle ollen samalla myyntityötä. Jo ennen kuin olin osallisena projektiin, myyntityön tueksi oli kehitetty laitteesta alustava myyntimalli.



Kuva 10. Myyntimallin hahmotelma teippauskoneen yhteydessä.

Idea kehitettiin myyntimallin pohjalta ryhmätyönä aivoriihinä, kaikenlaisia ideoita runsaslukuisesti heitellen ja niitä alas ampuen. Ryhmään kuului Ermeka Oy:n toimitusjohtaja, myyntijohtaja ja minä suunnittelijana.

Jokaisen rooli ryhmässä oli toimia teknisenä asiantuntijana. Ryhmän muut jäsenet ovat kokeneita koneenrakentajia ja koulutus pohjaltaan diplomi-insinöörejä, oman tietämykseni ja kokemukseni rajoituksessa insinöörikoulutukseen ja muutamaankin kesätyöhön.

Tärkeää ideointivaiheessa oli löytää ongelmakohdat ja saada niihin mahdollisimman paljon ratkaisuvaihtoehtoja, joista valita parhaat. Monet laitteen toiminnoista olivat itsestäänselvyksiä, jotka sivuutettiin nopeasti kokemukseräisen tiedon avulla. Tällaisia olivat muun muassa rullarata, hinnastot ja runkorakenne. Osa itsestäänselvistä rakenteista oli helposti ratkaistavissa olemassa olevilla ratkaisuilla, osa vaati runsaastikin tarkempaa suunnittelua.

Ongelmakohtiakin ilmeni. Keskeisimpiä näistä olivat sivuläppien avaaminen ennen päätyläppien sulkemista sekä pahvilaatikoiden mittoihin säätyminen automaattisesti laatikoiden kokojen vaihdellessa. Monien ratkaisujen, joihin päädyimme, todettiin myöhemmässä vaiheessa aiheuttavan ongelmia kokonaisuuden muissa osa-alueissa. Yksi useita ongelmia aiheuttava tekijä oli se, että ratkaisut, jotka toimivat hyvin suuremmilla laatikoilla, eivät fyysisesti mahtuneet toimimaan pienemmillä laatikoilla.

### 3.1.3 Yhteinen projektinjohto ja vastuunjako

Ratkaisuideoita esiteltäessä niitä pohdittiin myös yhdessä asiakkaan kanssa ja asiakas antoi ideoistamme palautetta sekä omia ehdotuksiaan. Suunnitteluvastuu oli Ermeka Oy:llä, mutta asiakkaan toiveita kuunneltiin ja kunnioitettiin. Suunnittelutyön ollessa jo melko pitkällä asiakkaan edustaja kävi läpi tekemäni mallin ja toi esille huolensa joidenkin kohtien käytännön toteuttamisessa. Tällöin pohdimme yhdessä muutosratkaisun ja toteutimme sen.

Asiakas halusi meiltä mekaniikkasuunnittelun ja antoi mahdollisuuden tarjota koneistettavat osat Ermeka Oy:lta toimitettaviksi. Asiakas halusi kuitenkin valmistaa osat mahdollisuuksiensa mukaan itse. Osto-osat sekä

automaatiosuunnittelun asiakas halusi tilata itse muualta. Kokoonpanon he myös halusivat hoitaa itse.

Projekti vaati kohteessa käynnin sekä ympäristön ja suunniteltavaan laitteeseen liittyvien koneiden, eli linjaston kuljetinhihnan ja teippauskoneen mittaamisen. Tässä projektissa meidän laitteemme mitoille annettiin hyvin väljät raamit. Myös olemassa olevia linjaston osia oli mahdollista muuttaa, jotta ne tarvittaessa saataisiin sopivaksi laitteemme kanssa.

### 3.2 Ideasta ratkaisuksi

Laadin ideoinnin pohjalta alustavan toimintasuunnitelman, jonka perusteella lähdin suunnittelemaan laitetta. Suunnitteluprosessin edetessä laitteesta muodostui useita toiminnankuvauksia. Prosessin aikana ilmeni monia ristiriitoja laitteen eri toimintojen välillä, joka johti ideointivaiheeseen palaamiseen. Laite muutti alati muotoaan prosessin edetessä.

Seuraavassa alaluvussa esittelen alustavan toimintasuunnitelman ja ensimmäisen toiminnankuvauksen. Sen jälkeen kerron eri rakenneosien kehityksestä lopulliseen muotoonsa. Lopuksi esittelen lopullisen toiminnankuvauksen.

#### 3.2.1 Toimintasuunnitelma

##### Ongelma

Linjasto kuljettaa erikokoisia, täytettyjä pahvilaatikoita kansiläpät avonaisena satunnaisessa järjestyksessä teippikoneelle. Yhden työntekijän täytyy sulkea kansiläpät ja syöttää pahvilaatikko linjaston päästä teippikoneelle.

##### Raamit

Suljettavien laatikoiden mitat:

Leveys 120-450mm

Korkeus 100-450mm

Pituus 200-1200mm

Koneen täytyy keskittää linjalta tuleva laatikko, sulkea kansiläpät, pitää niitä suljettuna ja syöttää laatikko teippikoneelle keskitettynä.

Sivukansiläpät voivat olla päätyläppien tiellä, joten ne on vedettävä pois päätyläppien tieltä. Päätyläpät suljetaan ensin.

Ratkaisuehdotus

Laatikat siirtyvät linjalta rullaradalle, jossa laatikat keskitetään ja pysäytetään tiettyyn nolapisteeseen valoverhoin/mekaanisin rajoin. Laatikon keskitys toteutetaan motorisoiduilla hihnoilla, jotka painetaan laatikon molempiin kylkiin tasaisesti. Hihnat auttavat laatikon syötössä teippikoneelle. Laatikon pituus ja leveys mitataan valoverhoin keskittämisen yhteydessä. Laitteen yläosa laskeutuu paineilmasyntereihin, mitaten samalla laatikon korkeuden ja pysähtyy laatikon korkeuden mukaan. Yläosa säätyy pituuden mukaan moottorin/paineilmasynterinin avulla. Yläosan etupää pysyy pituussuunnassa nolakohtassa. Laatikon sivuläpät avataan imukupein varustetuilla sylintereillä läpän molemmasta reunasta. Sylinterit liikkuvat kohtisuorassa laatikon kylkeen nähden. Päätyläpät suljetaan paineilmasyntereihin 45-asteen kulmassa, hieman lomittain toisiinsa nähden. Sivuläpät vapautetaan imukupeista. Sivuläppä, joka on kauempana päätyläpän sulkijoista, suljetaan reunoistaan kahdella paineilmasynterillä 45-asteen kulmassa. Päätyläpän sulkijat vedetään sisään ja suljetaan toinen sivuläppä edeltävällä tavalla. Laatikon päälle lasketaan tukirulla ja loputkin sylinterit vedetään taakse. Sivuhihnat ja rullarata siirtävät laatikon teippikoneelle. Laite hakee aloitusasemansa ja jää odottamaan seuraavaa laatikkoa.

### 3.2.2 Ensimmäinen toiminnankuvaus

Pahvilaatikko siirtyy liukuhihnalta vetävälle rullaradalle. Radan alussa oleva valokenno antaa ylärungon sylinterille käskyn työntää ylärunkoa alaspäin. Ylärungossa oleva valokenno tunnistaa laatikon läpän ja pysäyttää ylärungon liikkeen laatikon läppien yläpuolelle. Eturungossa oleva valokenno tunnistaa laatikon kulun, jolloin sivuhihnat keskittävät laatikon. Rullaradan lopussa on mekaaninen raja, johon laatikko sekä rullaradan ja sivuhihnojen liike pysähtyy. Tällöin ylärungossa oleva varreton sylinteri liikuttaa läpän avaajat sekä takaläpän sulkusuksen pysähtyen laatikon kohdalle peilistä heijastavan infrapuna-anturin avulla.

Laatikon keskittäjästä saadun leveystiedon perusteella sylinteri työntää ylärunkoa läpän korkeuden verran alaspäin. Samalla avaussylinterit työntävät sivuläpät auki. Ylärungon saavutettua haluttu korkeus, takaläppä työnnetään kiinni männänvarrettomalla sylinterillä. Samalla vapautuu etupään mekaaninen raja ja jatketaan laatikon liikettä rullaradalla ja sivuhihnoilla. Tällöin etuläppä kohtaa etuläpän sulkusuksen sekä sivuläppien sulkuputket. Samalla sivuläppiä auki pitävät sylinterien varret vetäytyvät ylös, pois sulkeutuvien sivuläppien tieltä. Takaläpän sulkusuksi seuraa laatikkoa etusukseen saakka, varmistaen takaläpän kiinnipysymisen. Sivuläppien sulkuputket jatkuvat teippikoneelle saakka pitäen läpät kiinni.

1. Keskittäjämekanismi, Sylinteri D16, isku 250mm, 2x Lineaarijohdetta/kelkkaa
2. Rullaradan moottori, 0,12kW - 106 1/min
3. Sivuhihna, 32mm leveä hihna, pituus kasvatettavissa teippikoneen läpi
4. Sivuhihnan moottori, 2x 0,12kW – 106 1/min
5. Sivuläpän avauslätkä
6. Takaläpän sulkusuksi

7. Yläpään pituussuunnan säätömekanismi, 1200mm männänvarreton sylinteri
8. Ylärungon laskumekanismi, 4x lineaarijohdetta/kelkkaa
9. Sivuläpän avaussylinteri, 2x D16, isku 250mm
10. Ylärungon laskusylinteri
11. Etupään mekaaninen stoppari
12. Sivuläpän sulkuputket
13. Etuläpän sulkusuksi

### 3.2.3 Runkorakenne

Sinituotteen tehtaalla oli jo entuudestaan käytössä alumiiniprofiilijärjestelmä, joten oli luonnollista valita runkomateriaaliksi alumiiniprofiili. Alumiiniprofiilijärjestelmä olisi muutenkin ollut todennäköinen valinta ominaisuuksiensa takia. Sen avulla runkorakenteet ovat helposti kasattavissa yhteen, siihen saa vaikeuksitta liitettyä muut osat haluttuun kohtaan, se on muokattavissa tarpeen mukaan, se on jämää ja helposti sovitettavissa oikeaan mittaansa.

Runkorakenne pyrittiin suunnittelemaan siten, että jokainen laitteen osakokonaisuus on helposti asennettavissa ja irroitettavissa muihin osakokonaisuuksiin kajoamatta. Runkorakenne suunniteltiin myös siten, että laite on helposti suojattavissa luukuin.

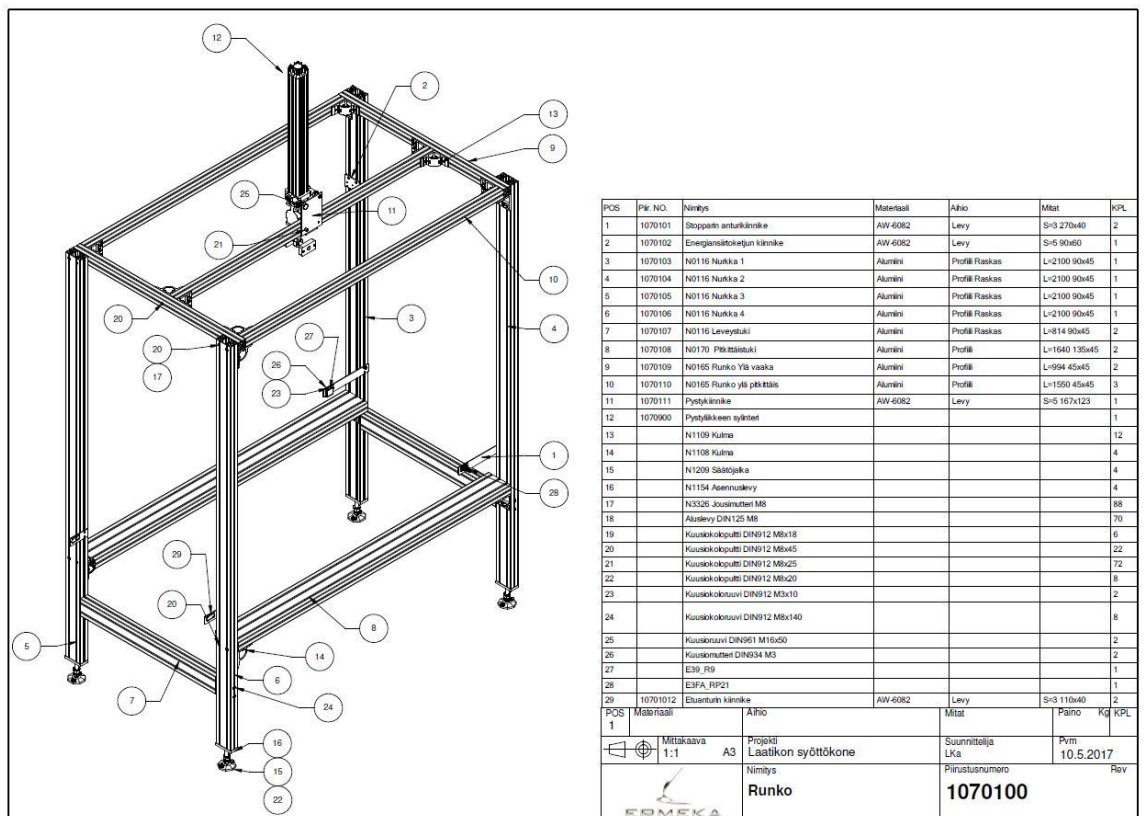
Runko oli ensimmäisiä asioita joita aloin suunnitella, vaikka sen pitäisi mielestäni olla yksi viimeisistä. Tavallaan runkorakenteen kuuluisi vain liittää toiminnalliset osat yhteen. Tarvitsin kuitenkin jonkinlaisen rangon, johon alkaa suunnitella näitä toiminnallisia osia. Rungon äärimitat määräytyivät toiminnallisten osien mukaan, joten tein siitä parametrisen mallin.

Parametrisella mallilla tarkoitan mallia, jossa suunniteltujen osien ja osakokonaisuuksien mitat on annettu muuttujina, joiden arvot annetaan joko suunnitteluohjelman omassa taulukossa tai Excel-taulukossa. Toisinaan mittana saatta toimia myös yhtälö, esimerkiksi rungon



nurkkapalkin korkeus on yhtä kuin rungon korkeus (taulukkoarvo) miinus ylärungon poikkipalkin paksuus. Täten antamalla taulukkoon rungon kokonaiskorkeuden ohjelma laskee tämän nurkkapalkin korkeuden.

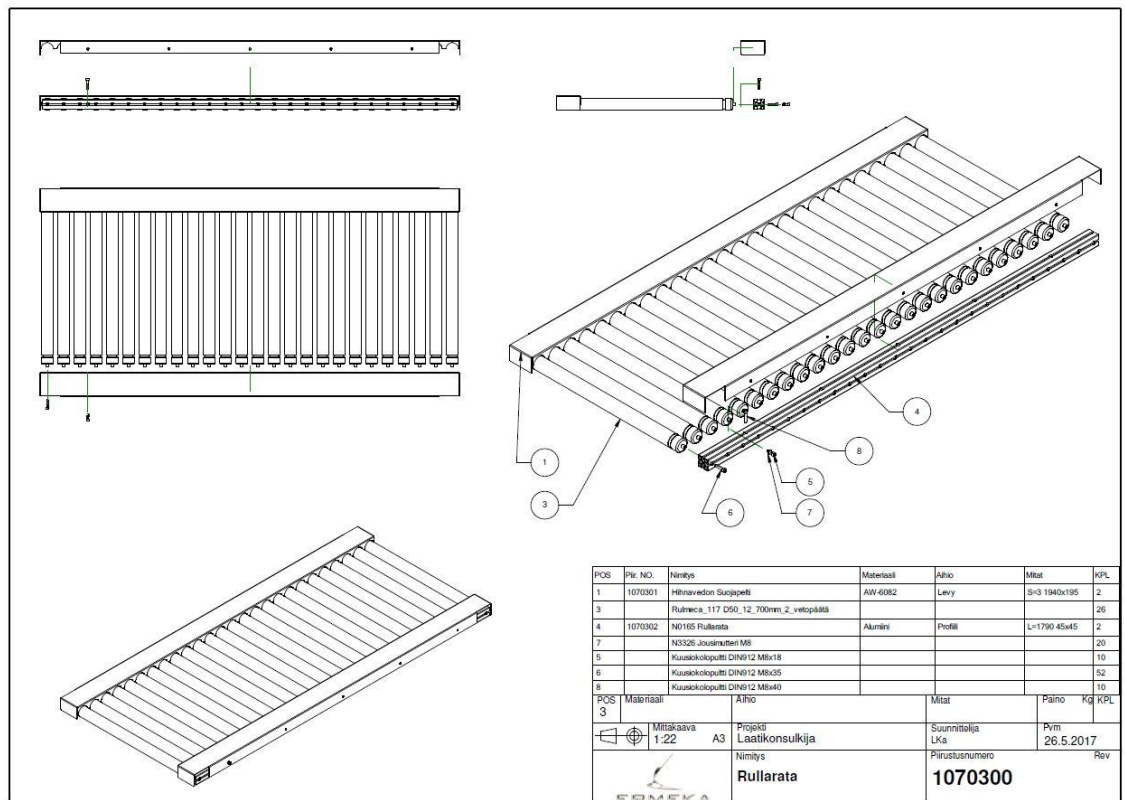
Parametrisyys tällaisessa suunnitteluprosessin edetessä alati muuttuvassa osiossa vähentää huomattavasti työtaakkaa. Sen sijaan, että muuttaisiin jokaisen muutoksen vaikutuksen alaisen osan yksitellen, kirjoitan halutun arvon vain taulukkoon ja suunnitteluohjelma tekee tarvittavat muutokset muihin osiin automaattisesti.



Kuva 11. Runkorakenteen kokoonpanopiirustus.

### 3.2.4 Pahvilaatikon kuljettaminen, kohdistaminen ja pysäyttäminen

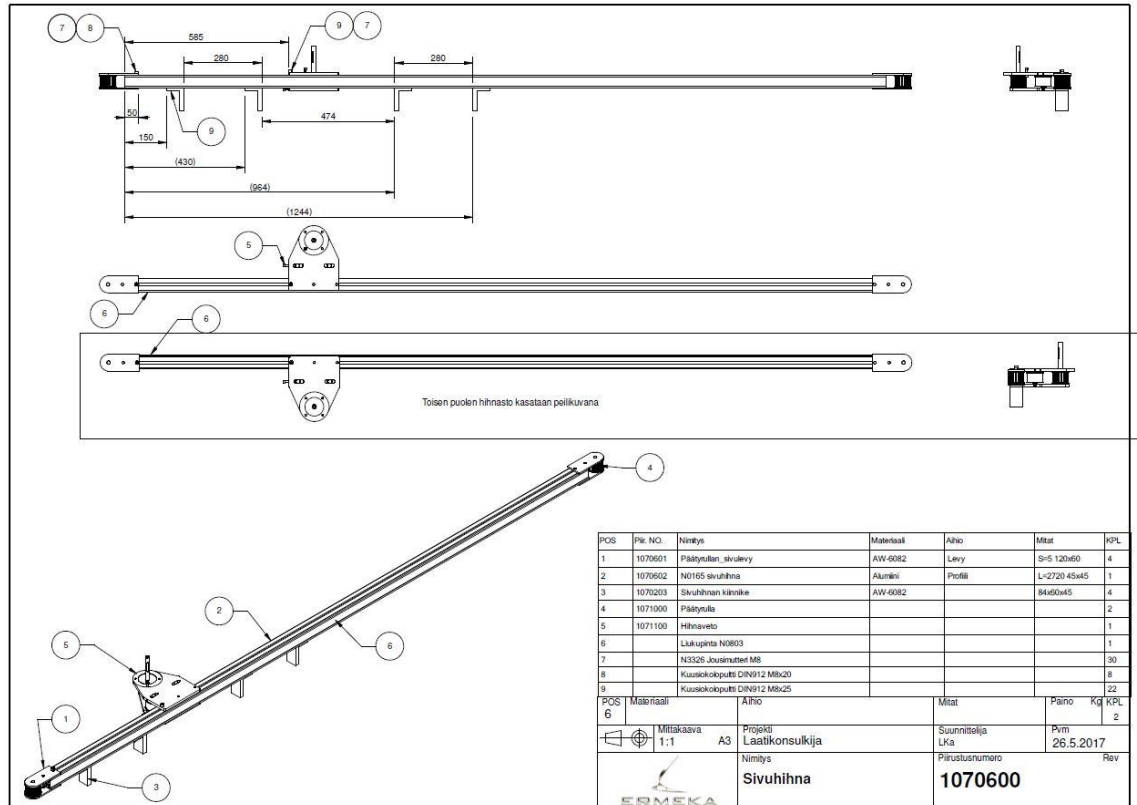
Pahvilaatikat tulevat sulkijalaitteelle pakkauslinjaston rullahihnaa pitkin. Laitteen tulee jatkaa tätä liikettä, joten suunnittelimme vetävän rullaradan kuljettamaan pahvilaatikon pakkauslinjaston lopusta teippikoneelle. Idea oli melko selvä koko projektin läpi, mutta vetotavalle kävimme läpi muutamia vaihtoehtoja. Vaihtoehtoina oli valta-akseliveto, ketjuveto tai pyöröhihnaveto. Päädyimme käyttämään pyöröhihnoja laatikoiden vähäisen painon takia. Käyttövoimaksi valitsimme vaihdemoottorin. Moottori on tarpeettoman tehokas, mutta projektin reunaehtoihin kuului käyttää 230 VAC moottoreita ja valitsemamme moottori oli pienin jonka löysimme.



Kuva 12. Hihnakuljettimen kokoonpanopiirustus.

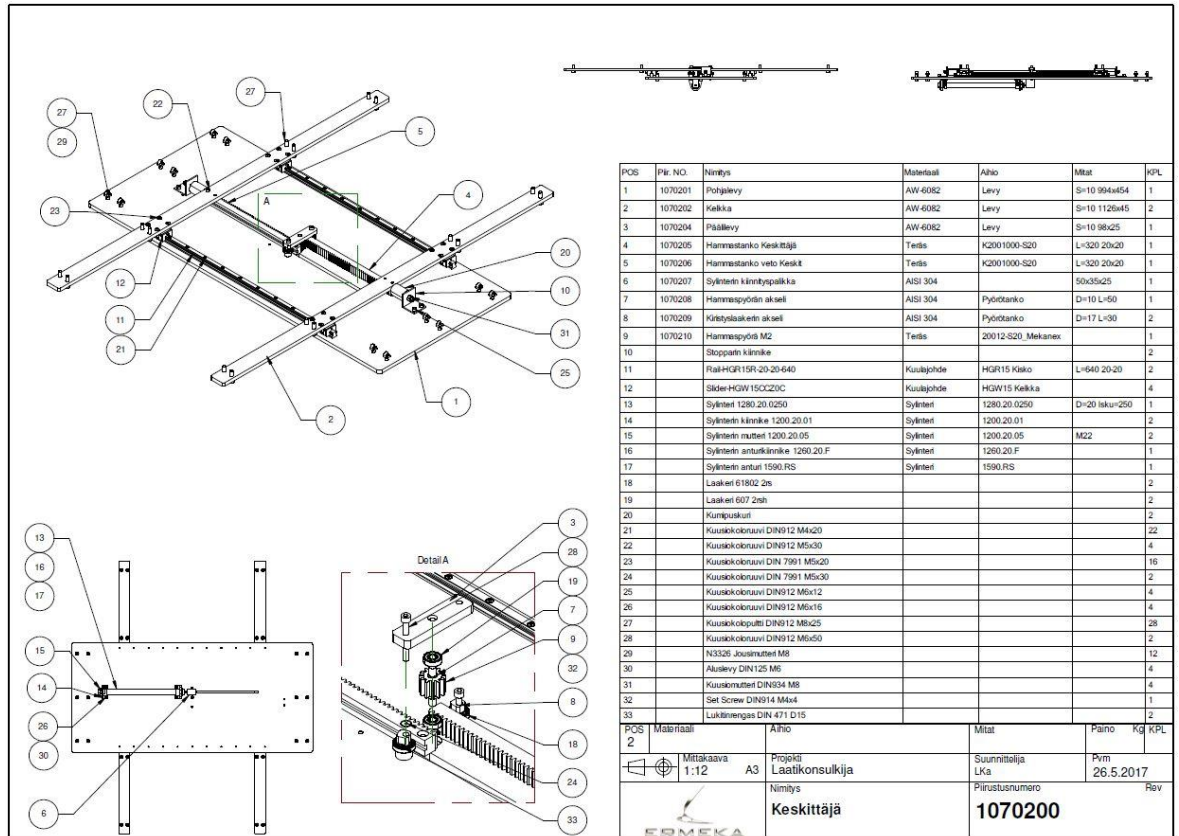
Teippauskoneen oma vetävä rullasto ei ollut varmatoiminen, joten asiakas halusi varmistaa laatikon kulun teippauskoneen läpi. Ratkaisimme tämän sivuhihnastoilla, jotka kuljettavat pahvilaatikon teippauskoneen läpi. Sivuhihnastoilla saimme myös kohdistettua pahvilaatikon läppien sauman teippauskoneen teippauspäähän tekemällä niistä keskittävän. Sivuhihnastot pitävät laatikon myös tukevasti paikoillaan sulkutoimintojen ja teippauksen ajan.

Sivuhihnaksi valittiin hieman pienintä laatikkoa kapeampi T-10 hammashihna. Hihnan vetotavaksi valittiin keskiveto hammaspyörällä, sillä hihnaston loppupäähän vetomoottori ei olisi mahtunut kun taas etupäästä hihnan laatikkoon kohdistuva liike olisi ollut työntävää. Paras tilanne olisi ollut veto takapästä, mutta keskiveto oli käypä kompromissi. Vetotavan takia suunnittelin täyslenkkisen hihnan, jonka kireys säädetään painamalla hihnaa sileiltä puolilta kiristysrullilla. Keskiveto on suunniteltu hieman ohjearvoista poiketen tilanpuutteen takia, mutta tämä katsottiin sallituksi hihnaan kohdistuvien voimien ollessa vaatimattomia. Sivuhihnaston vedoksi valitsimme saman moottorin kuin rullarataan, jotta saimme nopeudet kohtaamaan.



Kuva 13. Sivuhinnan kokoonpanopiirustus.

Sivuhihnojen yksi tehtävä oli keskittää pahvilaatikko. Totesimme kahden paineilmasylinterin tahdistamisen olevan liian epävarma tapa, joten suunnittelin keskittäjämekanismin, joka toimii yhdellä sylinterillä. Ensimmäinen idea yhden sylinterin keskittäjäksi oli käyttää Ermekeän aiemmassa projektissa käyttämää linkkumekanismia, joka kuitenkin osoittautui liikematkan riittämättömyyden takia huonosti soveltuvaksi tässä projektissa. Ideoin hammastankokeskittäjän, jonka toiminta perustuu kahteen hammastankoon, joiden väliin on asetettu hammaspyörä. Kun toista tankoa työntää paineilmasylinterillä, myös toinen tanko liikkuu samassa tahdissa. Koska pahvilaatikon leveysmittaa ei missään vaiheessa mitata, on tämän sylinterin paine säädettävä siten, että se keskittää pahvilaatikon kuitenkin sitä vaurioittamatta.



Kuva 14. Keskitinjämekanismiä kokoonpanopiirustus.

Pahvilaatikko tuli pysäyttää tiettyyn nollakohtaan tiettyjen sulkutoimintojen ajaksi. Suunnittelin vastelevyn, joka nousee paineilmasylinterillä rullaradan välistä pysäyttämään laatikon. Valokenno kertoo logiikalle, kun laatikko on saapunut pysäytyspisteeseen.

### 3.2.5 Mekanismien kohdistaminen

Alusta asti oli selvää, että pahvilaatikon läppien avaus- ja sulkumekanismit pitää saada kohdistettua vaihtelevilla mitoilla saapuvien pahvilaatikoiden kohdalle. Mekanismien kohdistaminen sekä korkeus että pituussuunnassa on tärkeää pahvilaatikon läppien sulkemisen kannalta. Päätimme tehdä korkeussuunnassa liikkuvan kehärungon, johon mekaniikit kiinnitetään.

Tämä hoitaisi korkeussäädön. Lisäksi päätimme tehdä tähän kehärunkoon pituussuunnassa liikkuvan kelkan, jolla saadaan takapäin mekanismit säädettyä pahvilaatikon pituuden mukaan.

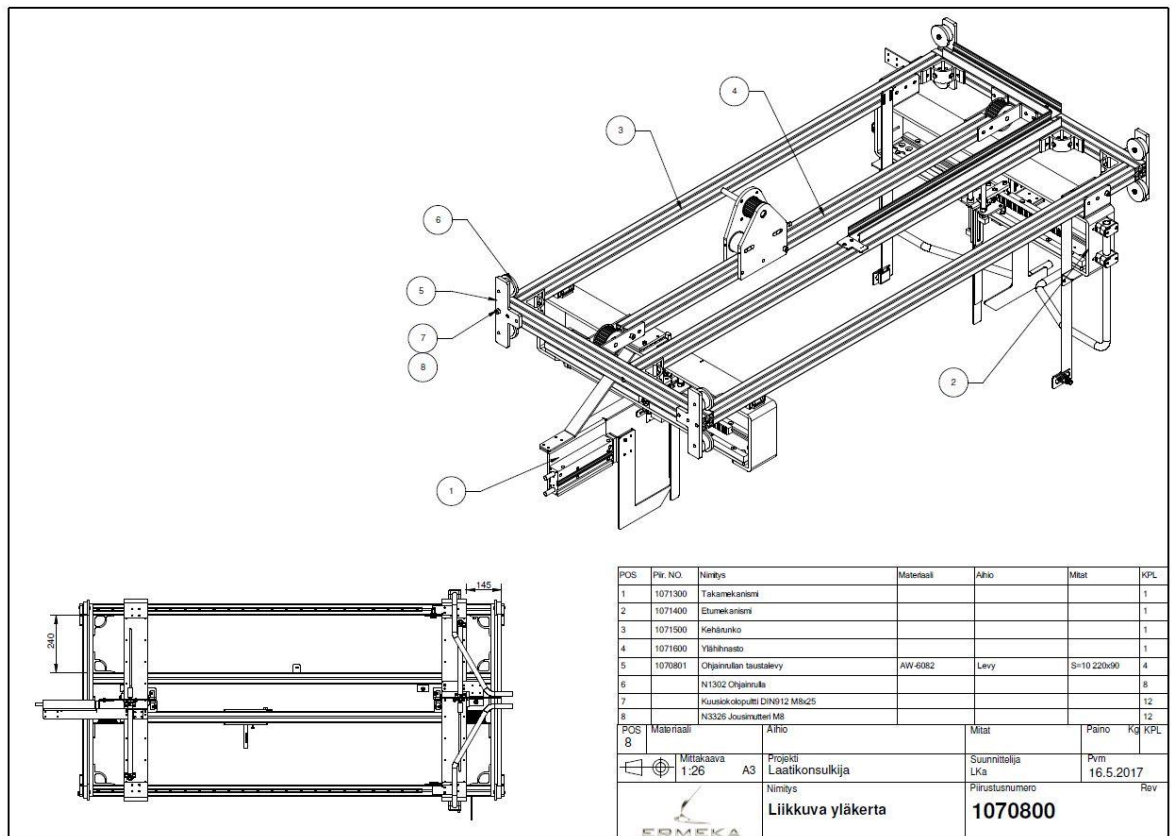
Kehärunkoa työnnettään paineilmasylinterillä ylhäältäpäin. Aluksi suunnittelin, että kehärunko tuettaisiin lineaarijohtein rungon pystytolpista. Lineaarijohteet ovat lähes välyksettömiä ja periaatteessa ajaisivat asian soveluksessa loistavasti. Asiakkaan edustaja kuitenkin otti kantaa siihen, että neljään nurkkaan asetettavien lineaarijohteiden tulee olla erittäin tarkkaan asennettu jotta kehärunko ei jäisi jumiin. Myös ulkoiset vaikutteet, kuten laitteen rungon tönäisy, saattaisi saada kehärungon jumiin. Lineaarijohteilla saavutettava tarkkuus ei ollut sovellukseen tarpeellista, joten ideoimme sen sijaan kehärungon tuennan ja ohjauksen rullilla, jotka kulkevat runkorakenteen alumiiniprofiilien urissa. Tämä rakenne on paljon anteeksiantavampi epätarkkuuksille ja ulkoisille vaikutuksille, ollen kuitenkin tarpeeksi tarkka sovellukseen.

Pituussuunnan säätöön suunnittelin kelkan, joka on tuettu kehärunkoon lineaarijohtein. Suunnittelin sen ensin toteutettavaksi männänvarrettomalla sylinterillä, mutta lopulta päädyin moottorivetoiseen hammashihnaratkaisuun. Päädyin tähän sillä perusteella, että kelkan tuli pystyä liikkumaan tahdistettuna sivuhihnojen ja rullaradan kanssa. Sylinteriä ei voida luotettavasti tahdistaa, kun taas taajuusmuuttajilla ohjatut moottorit on helposti tahdistettavissa keskenään.

Pituus- ja korkeustiedon löytämisen keinoksi valitsimme valokennot. Niiden avulla mekanismit ovat avaus- ja sulkutoimenpiteiden aloittamisen kannalta oikeassa paikassa. Pituussäädössä se toimii hyvin, mutta korkeussäätö oli ongelmallinen. Valokenno pysäyttäisi mekanismit pahvilaatikon avointen sivuläppien reunojen korkeudella, mutta laite ei tietäisi läpän korkeutta, vaan avonaisen läpän ja pahvilaatikon sivun yhteiskorkeuden.

Yhtenä ratkaisuvaihtoehtona ongelmaan oli ottaa keskittäjän sylinteriltä magneettianturilla paikkatieto, josta saataisiin laskettua pahvilaatikon

leveys. Pahvilaatikon sivuläpän korkeus on karkeasti pahvilaatikon leveys jaettuna kahdella. Näillä tiedoilla saisimme laskettua kehärungon sylinterille vaadittavan liikematkan saavuttaaksemme laatikon reunan. Paineilmasyntereillä paikoittaminen on kuitenkin epävarmaa. Lopulliseksi ratkaisuksi valikoitui mekaanisen rajakytkimen käyttö laatikon todellisen korkeuden selvittämiseksi. Mekaaninen rajakytkin aktivoituu pahvilaatikon päätyläpän sulkemisen yhteydessä sen kohdatessa pahvilaatikon päädyn reunan.



Kuva 15. Sulkumekanismien kokoonpanopiirustus.

### 3.2.6 Sivuläppien avaus

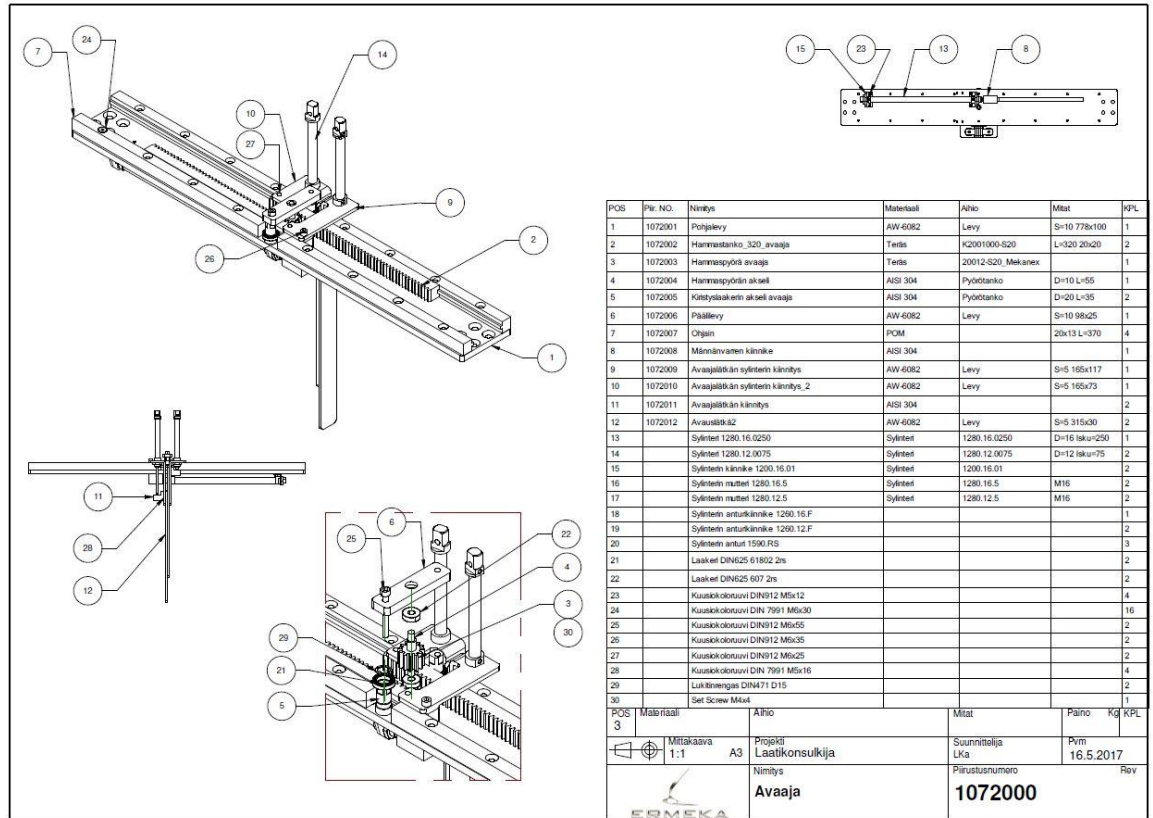
Pahvilaatikon läpät eivät välttämättä ole pystysuorassa saapuessaan laitteelle. Mikäli sivuläpät ovat taipuneena sisäänpäin, ne ovat päätyläpän sulkemisen tiellä. Joissain jo olemassaolevissa pahvilaatikon sulkemistorakaisuuksissa päätyläpät pakotettiin sisään sivuläpistä huolimatta, mutta meille se ei ollut vaihtoehto, jottei laatikko vahingoittuisi.

Ensimmäinen idea sivuläppien avaukseen oli käyttää imukuppeja paineilmasylinterin varren päässä. Idea kuitenkin hylättiin, koska läppää haluttiin pystyä pitämään auki myös laatikon ollessa liikkeessä.

Ratkaisuvaihtoehtoina oli myös monenlaisia malleja vipumeکانismeista, joissa läppiä avattiin kääntämällä avauslätkiä ylhäältä tai sivulta. Nämä kuitenkin hylättiin tilan puutteen takia.

Lopulliseksi ratkaisuksi muodostuivat avaaajalätkät, jotka työntyvät ylhäältä sivuläppien väliin ja keskeltä ulospäin, avaten sivuläppiä. Käyttövoimaksi kumpaankin liikkeeseen valitsin pienet paineilmasylinterit. Jotta sain lätkät työntymään samanaikaisesti keskeltä kumpaankin suuntaan sivulle, käytin jo keskittäjässä käyttämäni mekanismia hyväkseni ja kopioin sen pienennettynä mallina avaaajameکانismiin. Sivuläppiä ei saa kuitenkaan avata liikaa, koska nekin täytyy päätyläppien sulkemisen jälkeen sulkea. Sitä varten mekanismin sylinterin paine on säädettävä tarpeeksi matalaksi.





Kuva 16. Avausmekanismi kokoonpanopiirustus.

### 3.2.7 Pahvilaatikon sulkeminen

Laitteen perimmäinen tarkoitus, eli pahvilaatikon sulkeminen ennen teippauskoneelle menoa, oli toteutukseltaan melko yksinkertainen. Alkuperäinen idea laatikon läppien sulkemiseen oli työntää ne paineilmasylintereillä edestä, takaa ja sivuilta. Pahvilaatikoiden leveysvaihtelu haittasi tätä ajatusmallia, joten etsimme uusia. Pienen tutkimisen tuloksena huomasimme pahvilaatikon sulkijoissa usein käytettävän auramaista putkistoa sivuläppien sulkemiseksi. Idea oli yksinkertainen toteuttaa ja soveltuu useille laatikkoleveyksille ilman leveyssuunnassa liikkuvia osia, joten käytimme sitä.

Päätyläpät tulee kuitenkin sulkea ennen sivuläppien sulkemista. Päätyläpän sulkemiseksi mietittiin sylintereillä työntämisen lisäksi erilaisia heiluriratkaisuja. Päädyimme kuitenkin ylhäältäpäin laskeutuvaan suksimalliin, jossa suksen viistottu kulma työntää päätyläppiä kiinni. Pelkkä viistolla pinnalla suoraan alaspäin ajaminen ei kuitenkaan riitä sulkemaan läppää kokonaan, joten takapään suksi on sylinterissä kiinni, joka työntää takaläpän loppuun asti kiinni. Etupään suksi työntää etuläpän kiinni, kun pahvilaatikkoa lähdetään ajamaan eteenpäin. Jotta päätyläpät saadan pysymään varmasti alhaalla sivuläppien sulun ajan, ovat sukset riittävän pitkiä ja takasuksi seuraa pahvilaatikon liikettä, kun sitä ajetaan sivuläppien sulkijoille. Ohut suksirakenne mahtuu olemaan laatikon päällä sivuläppiä suljettaessa, koska sivuläpät eivät mene aivan yhteen pahvilaatikon ollessa kiinni.

Kun pahvilaatikon päätyläpät on saatu kiinni, laatikko jatkaa matkaansa sivuläppien sulkuputkiston läpi ja siitä edelleen teippauskoneelle. Sivuläppien sulkuputkisto on muotoiltu siten, että sen loppupää pitää pahvilaatikon läpät kiinni teippauskoneelle asti.

Varsinainen sulkutoimenpide on melko yksinkertainen, mutta siihen vaadittavat valmistelevat toimenpiteet osoittautuivat monimutkaisiksi. Kokonaisratkaisua suunnitellessa piti ottaa huomioon kaikkien vaiheiden yhteisvaikutus. Suunnitteluprosessissa pitikin monesti palata miettimään uudestaan aikaisempia ratkaisuja.

### 3.2.8 Lopullinen toiminnankuvaus

Pahvilaatikko saapuu liukuhihnalta valokennolle S1, jonka vaikuttuessa vetävä rullarata kuljettaa pahvilaatikon pysäyttimen valoveräjälle S2 asti moottorin M1 avulla. Valokennon S1 vaikutuksen lakatessa sivuhihnastojen moottorit M3 ja M4 käynnistävät sivuhihnaston ja keskitysmekanismin sylinteri C1 keskittää pahvilaatikon rullaradan keskelle. Keskitysmekanismin sylinterin C1 paine on säädetty siten, että

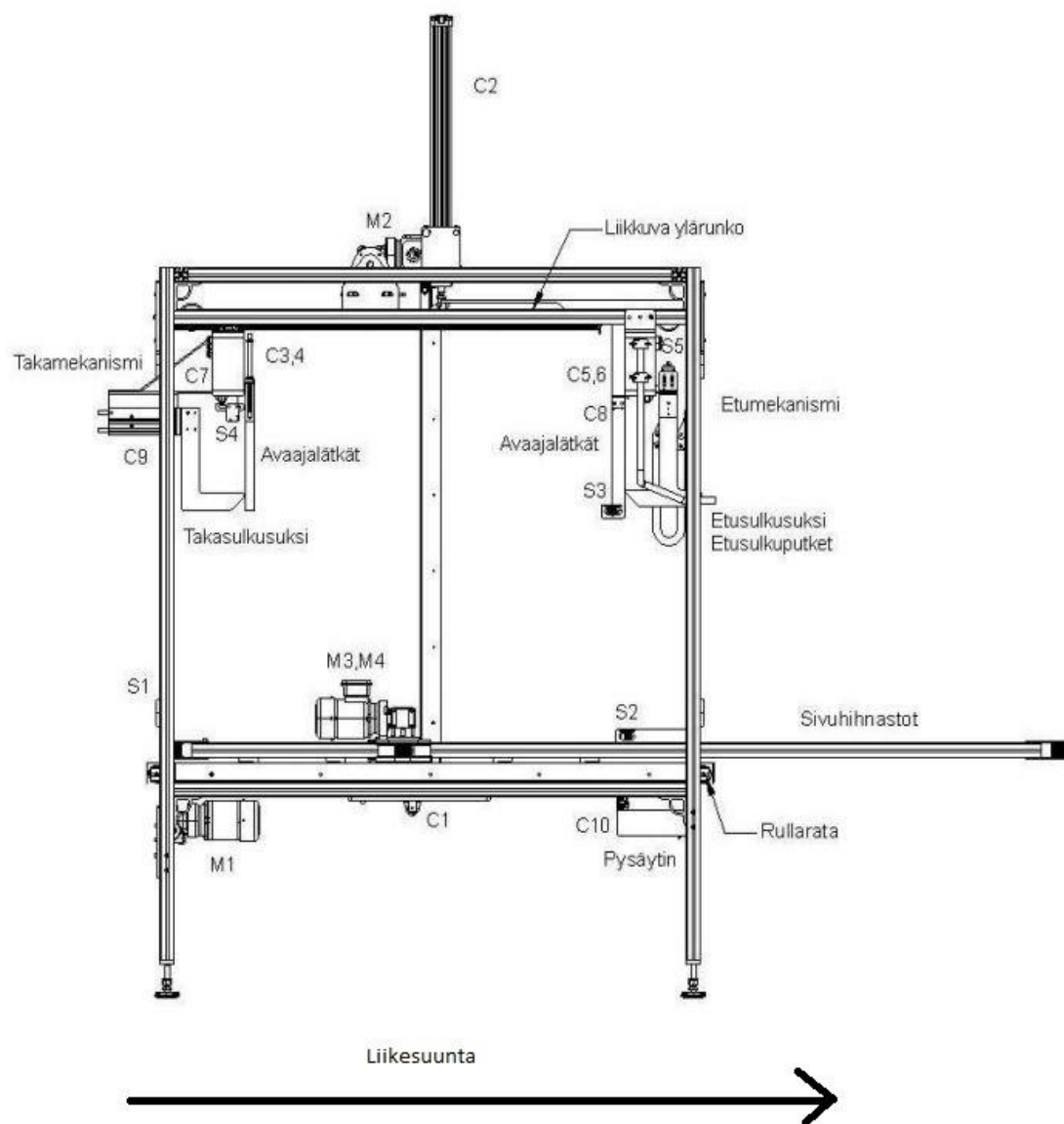
pahvilaatikko saadaan keskitettyä ja pysyy tiukasti sivuhihnojen välissä, mutta ei kuitenkaan vahingoita pahvilaatikkoa.

Pysäyttimen valokennon S2 vaikuttuessa moottorit M1, M3 ja M4 pysähtyvät ja pystyliikkeen sylinteri C2 työntää liikkuvan ylärungon alas, kunnes etumekanismiin valokenno S3 vaikuttaa. Valokennon S3 vaikututtua ylähihnaston moottori M2 liikuttaa takamekanismin pahvilaatikon takareunan kohdalle, eli kunnes laseranturi S4 vaikuttaa. Tällöin mekanismit ovat toiminta-alueellaan.

Kun mekanismit ovat toiminta-alueellaan, avaajamekanismin sylinterit C3, C4, C5 sekä C6 työntävät avaajalätkät alas ja avaajamekanismin sylinterit C7 ja C8 työntävät avaajalätkä pahvilaatikon sivuläppien sisäreunoja vasten. Sylintereiden C7 ja C8 paine on säädettävä siten, että pahvilaatikon sivuläpät aukenevat hiukan, mutta avauslätkä eivät poistu pahvilaatikon sisältä.

Pahvilaatikon sivuläppien avauksen jälkeen (ajastetusti) pystyliikkeen sylinteri C2 työntää ylärunkoa alaspäin, jolloin sulkusukset painavat pahvilaatikon päätyläpät kiinni. Samanaikaisesti avaajalätkien sylinterit vedetään takaisin ylös ja avaajamekanismi vedetään takaisin keskelle. Sylinterin C2 työntö pysäytetään, kun etumekanismissa oleva mekaaninen rajakytkin S5 vaikuttaa pahvilaatikon reunasta. S5 vaikututtua, ylärunkoa liikutetaan takaisin ylöspäin tarvittava määrä, jotta sulkusukset ovat juuri pahvilaatikon reunan yläpuolella.

Kun sulkusukset ovat pahvilaatikon reunan yläpuolella, takasulkijan sylinteri C9 työntää takasulkusuksen pahvilaatikon reunan yli. Tämän jälkeen pysäyttimen sylinteri C10 vetää pysäyttimen pois tieltä ja rullaradan moottori M1, ylähihnaston moottori M2 ja sivuhihnastojen moottorit M3 ja M4 liikuttavat samalla nopeudella sekä pahvilaatikkoa että takamekanismia eteenpäin siten, että takasulkijasuksi pysyy laatikon takareunan päällä. Pahvilaatikon liikuessa eteenpäin etumekanismissa kiinni oleva sulkuputkisto sulkee pahvilaatikon sivuläpät. Sivuhihnast saattavat pahvilaatikon teippikoneen läpi loppuun asti.



Kuva 17. Lopullinen toiminnankuvaus.

## 4 SUUNNITTELUPROSESSIN TARKASTELU

Sinutöteen projektin suunnitteluprosessin läpikäyminen osoittautui paitsi laaja-alaiseksi, myös monimutkaiseksi. Prosessi ei ollut suoraviivainen, jouduin usein palaamaan aikaisempiin vaiheisiin ja muutokset eri vaiheissa säteilivät kokonaisuuden eri osiin. Tässä luvussa käsittelen tärkeimmiksi kokemiani prosessista oppimiani kohtia. Näiksi nousivat etenkin perinpohjaisen esisuunnittelun merkitys, kustannusten muodostumisen huomioiminen, projektin monimutkaisuuden hallitseminen, käytettävissä olevien työkalujen ja niiden hyödyntämisen merkitys sekä suunnitteluprosessin kokonaisvaltaisuuden ymmärtäminen.

### 4.1 Esisuunnittelun merkitys

Esisuunnittelun asema projektin kokonaisuudessa on mielestäni ristiriitainen. Toisaalta projektin alkuvaiheessa ei voi takertua liian perinpohjaisesti yksityiskohtiin ajan ollessa rajallinen resurssi, mutta toisaalta epäkohta pohjustuksessa voi tuoda vakavia ongelmia prosessin myöhemmissä vaiheissa. Kolmantena kohtana Pelinin (1990, 333.) kirjasta löytyvästä listassa ”101 syytä miksi projekti meni pieleen” on ”*Esitutkimusta ei suoriteta kunnolla*”.

Perinpohjainen esisuunnittelu vie aikaa, mutta voi säästää myöhemmin paljon aikaa ja rahaa jos sen ansiosta vältytään perustavanlaatuisilta virheilä. Laatikonsulkijaprojektissa tämä tuli esille vahvasti kuljetintyyppin valinnassa. Valitsimme pyöröhihnakuljettimen periaatteella ”näin näitä on ennenkin tehty” sen enempää asiaa tutkimatta. Kuljetintyyppi kuitenkin osoittautui riittämättömäksi ja se huomattiin vasta valmistusvaiheessa. Kuljetintyyppin muuttaminen oli ongelmallista, koska laite oli suunniteltu kyseisen tyyppisen kuljettimen ympärille ja muutokset vaikuttivat moniin laitteen muihin osiin.

Esisuunnittelussa tehtävällä tutkimustyöllä voidaan myös ehkäistä turhaa työtä. Etsimällä samankaltaisten hankkeiden ratkaisuja ongelmiin voi löytää käyttökelpoisia ratkaisumalleja omiin ongelma-kohtiin, joko suoraan

tai soveltamalla. Kuten vanha sanontakin sanoo, pyörää ei kannata keksiä uudestaan.

Esisuunnittelun merkitys ei kuitenkaan ole aivan niin yksiselitteistä. Kattavakaan esisuunnittelu ei välttämättä voi huomioida kaikkia ongelmakohtia. Ratkaisut voivat vaikuttaa toimivilta, kunnes niiden yhteen nitominen tuo ongelmat esiin. Esisuunnittelussa onkin löydettävä kultainen keskitie riittävän perinpohjaisuuden ja ripeän etenemisen välillä. Tärkeä on myös säilyttää avoimuus eri ratkaisuvaihtoehdoille ja tarvittaessa hylätä valittu ratkaisumalli ja palata nöyrästi takaisin ongelmakohtaan juuriin.

#### 4.2 Suunnittelutyökalujen käyttö

Suunnittelu CAD-ohjelmistoa apuna käyttäen on pitkälti ideoiden ja ratkaisumahdollisuuksien hahmottelemista, niiden yhteen nivomista ja lopulta hiomista lopullisiksi ratkaisuksiksi. Suunnittelun työkaluna käytin Geomagic Design CAD-ohjelmistoa. On luonnollisestikin tärkeää tuntea ohjelman ominaisuudet, jotta sen täysi potentiaali saadaan valjastettua suunnittelutyöhön. Suurin osa CAD-ohjelmistoista on ominaisuuksiltaan pitkälti saman tasoisia.

Yleensä CAD-ohjelmalla suunnitellessa jokainen yksittäinen osa mallinnetaan erikseen ja näistä osista muodostetaan kokoonpano tai useita alikokoonpanoja, jotka muodostavat lopullisen laitteen. Se, mitkä osa-alueet muodostavat kokoonpanon tai alikokoonpanon, kannattaa kokemukseni mukaan miettiä jo aikaisessa vaiheessa.

Suunnitteluohjelmalla on helppo muodostaa yksi iso kokoonpano, jossa kaikki osat ovat. Kokoonpanot on kuitenkin syytä jaotella loogisiin osioihin, koska valmistusta ja kokoonpanoa ajatellen kokoonpanopiirustusten tulee olla tarpeeksi yksinkertaisia ja selkeitä.

Kun idea suunniteltavasta asiasta on mielessä, siitä kannattaa ensin piirtää käsivaraisluonnos paperille. Tällöin se ei ole pelkästään mielessä ja CAD-ohjelmalla mallintaminen helpottuu. Usein varsinkin laajemmissa kokonaisuuksissa ennen varsinaisen 3d-mallin luomista on myöskin

tarpeellista piirtää hahmotelma ja äärimitoitus kaksiulotteisena CAD-ohjelmalla. Mikäli suunniteltavana on liikkuvia osia ja nivelrakenteita, kaksiulotteisella hahmotelmalla voi myöskin mallintaa näiden liikkeitä ja ratkaista muun muassa vipusuhteiden mitoituksia.

Yksittäistä osaa mallintaessa on syytä miettiä tapa, jolla sen mallintaa. Usein asioita voi tehdä monella eri tapaa, mutta osa suunnittelijan ammattitaitoa on osata valita kussakin tilanteessa tarkoituksenmukainen tapa. Esimerkiksi kappaleen voi mallintaa joko tasopinnasta pursottamalla tai pyörähdyskappaleena. Monesti kappale, joka myöskin valmistetaan pyörähdyskappaleena sorvilla, kannattaa myös mallintaa pyörähdyskappaleena. Tällöin jo suunnitteluvaiheessa voi havaita helpommin mahdollisia sorvauksessa tulevia ongelmia.

Osa kannattaa mallintaa siten, että sitä on helppo muokata jälkikäteen. Monesti asioissa voi oikoa siten, että mallintaminen on nopeampaa, mutta mahdollisten muutosten tekeminen vaikeutuu. Kokemukseni mukaan kannattaa panostaa siihen, että miettii miten mallista saa tehtyä helposti muokattavan. Muokattavuuteen vaikuttavia asioita ovat muun muassa muotojen väliset suhteet, keskiviivoitusten käyttö ja nollakohdan valinta. Myös parametrisuutta kannattaa käyttää hyväkseen.

Jo yksittäistä osaa suunnitellessa on syytä pitää mielessä laitteen kokonaisuus. Taso ja nollakohdat, mistä osa on mallinnettu, saattavat vaikuttaa osien kokoonpantavuuteen ohjelmassa. Vaikka kokoonpanovaiheessa ohjelmassa osia voikin asetella haluamallaan tavalla, voi osan mallinnustavalla tai nollakohdan valinnalla olla joissakin tilanteissa merkitystä, ainakin suunnitteluprosessin jouhevuuden kannalta. Kokoonpanoa tehdessä kannattaa myös miettiä kokoonpanon nollakohdat ja tasot. Monesti esimerkiksi keskitasoja voi käyttää symmetristen kokoonpanojen osien peilaamiseen.

#### 4.3 Kustannusten muodostuminen

Suunnittelija määrää valinnoillaan suuren osan projektin kustannuksista. Valinnan vaihtoehtoja rajaa tietysti projektin raamit. Suunnittelija valitsee näiden puitteissa niin ratkaisumallit, komponentit, materiaalit sekä valmistusmenetelmät, mutta toisaalta myös päättää milloin suunniteltu osa tai kokonaisuus on valmis. Suunnittelija löytää usein loputtomasti paranneltavaa, mutta jossain pisteessä suunnitteluun käytetty lisäaika ei ole enää tarkoituksenmukaista.

Tarkoituksenmukaisuuden etsiminen onkin suunnittelutyössä keskeistä. Valittu ratkaisumalli määrää, minkä tyyppisiä komponentteja ja materiaaleja voidaan käyttää. Näiden kaikkien tulisi täyttää tehtävänsä tekemättä ylimääräistä, olettaen ylimääräisen tarkoittavan lisäkustannuksia. Komponenttivalinnoissa pitää myös miettiä komponenttien valmistajan valintaa. Tämän suhteen nousee kysymyksiä. Onko halvempi tarpeeksi laadukas? Minkälainen huoltopalvelu tarjotaan? Mikä on varaosien saatavuus? Näihin kysymyksiin harvoin löytyy helppoa vastausta. Suunnittelijan tehtävä on löytää toimiva ja edullinen, eli tarkoituksenmukainen ratkaisu.

#### 4.4 Valmistusmenetelmien tunteminen

Suunnittelijalle valmistusmenetelmien tunteminen on tärkeää, pelkästään senkin takia, että kaikki suunnittelupöydällä hyvältä näyttävä ei välttämättä ole valmistettavissa. Tuntemalla valmistusmenetelmät suunnittelija pystyy vaikuttamaan tuotteen kustannuksiin. Osa on usein valmistettavissa useilla eri tavoilla. Suunnittelijan kannattaa pyrkiä valitsemaan kokonaisuuden kannalta toimivimman ja kustannustehokkaimman valmistusmenetelmän. Esimerkiksi valmis L-profiili on yleensä halvempaa kuin tehdä se kanttaamalla levystä, mutta mikäli profiiliin pitääkin tehdä runsaasti reikiä, voi levystä laserleikkaaminen ja kanttaaminen olla L-profiilin poraamista parempi ratkaisu.



Samaa osaa ei kannata käyttää useissa eri työvaiheissa useilla eri koneilla, mikäli se vaan voidaan välttää. Yksi tärkeä syy tähän on asetteiden teko, joka on monesti työläimpiä vaiheita koneen käytössä. Myöskin samalla koneella kannattaa mahdollisuuksien mukaan välttää usean asetteen tarvetta. Suunnittelija pystyy valinnoillaan vaikuttamaan näihin tekijöihin, mutta on kuitenkin muistettava että osan toiminnallisuus on keskeisin tavoite. Tämäkin on yksi kohta, jossa suunnittelijan on tasapainoteltava eri tekijöiden välillä.

Yksi puoli valmistusmenetelmien tuntemisen tärkeydessä on valmistuspiirrustusten tekeminen käyttökelpoisiksi. Eri valmistusmenetelmät vaativat piirustuksiin erilaisia mitoituksia sekä projektioita. Tietysti oletusarvoisesti piirustuksista löytyy aina tarvittavat mitat, mutta valmistusmenetelmästä riippuen mitoitus tapa sekä esimerkiksi nollakohtien valitseminen helpottaa osan valmistajan työtä.

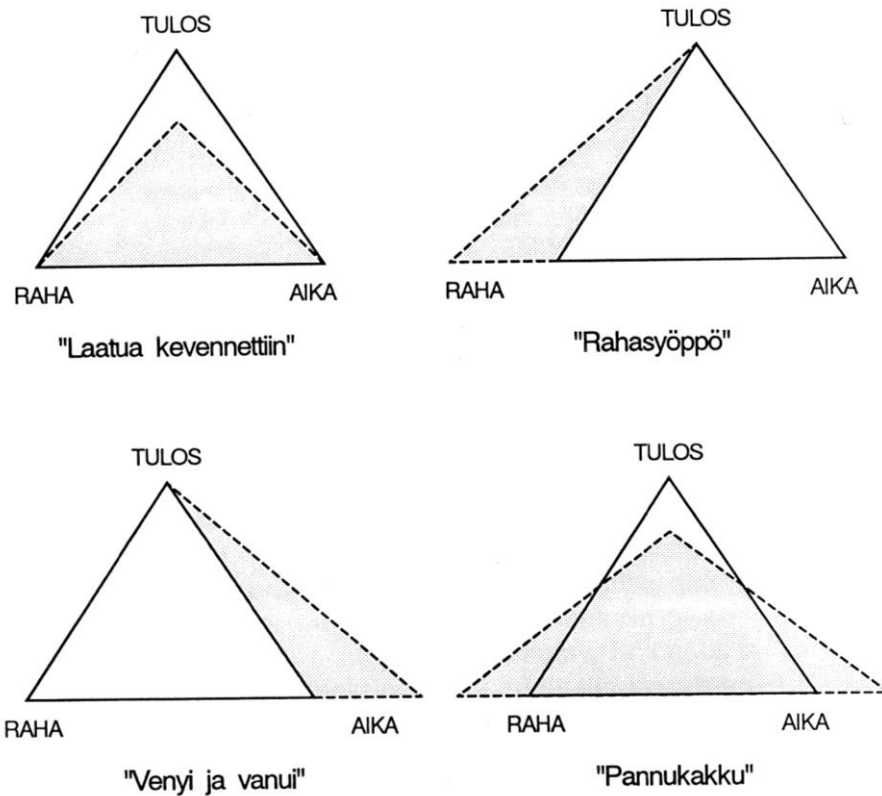
Materiaalituntemus ja valmistusmenetelmien tunteminen kulkevat käsi kädessä. Eri materiaalien valmistus ja työstäminen eroavat toisistaan. Suunnittelija pystyy näissä valinnoillaan vaikuttamaan lopputuotteen laatuun ja kustannuksiin.

#### 4.5 Suunnitteluprosessin kokonaisvaltaisuus

Kuten jo teoriassa, niinkuin myös tässäkin luvussa, on todettu suunnitteluprosessin olevan hyvin kokonaisvaltainen. Kokonaisvaltaisuus tässä tarkoittaa sitä, että suunnitteluprosessin eri osa-alueet vaikuttavat toinen toisiinsa ja muodostavat yhdessä kokonaisuuden, joka on enemmän kuin osiensa summa. Itse suunniteltava laite on jo moniulotteinen ja kokonaisvaltainen, mutta suunnittelijan kannattaa suunnittelutyötä tehdessään laajentaa huomionsa myös esimerkiksi asiakkaan tarpeeseen, valmistusmenetelmiin, komponenttitietämykseen, kilpailijoiden tuotteisiin ja markkinoihin, muodostaen kaikesta kokonaisnäkömyksen.

Kokonaisvaltaisuuden takia muutokset yhdessä suunniteltavan laitteen osa-alueessa vaikuttavat muihinkin osa-alueisiin. Kattavan pohjustustyön merkitys korostuu, kun sillä voidaan välttyä muutoksilta, mutta toisaalta muutosten kuitenkin tullessa eteen hyvä pohjustus voi vähentää muutosten kielteisiä vaikutuksia. Kuten teoriaosuudessa esittelemissäni Roution spiraalimallissa (Kuva 5, sivu 11.) sekä Anttilan mallissa (Kuva 7, sivu 13.), on takaisin paluu aikaisempiin vaiheisiin usein väistämätöntä, joten avoimuus hylätä ongelmia tuottavat ratkaisut ja lähteä kehittämään uusia ratkaisuja uudesta suunnasta on tärkeää.

Toisesta, enemmän teknis-taloudellisesta näkökulmasta, suunnitteluprojektin kokonaisuutta voi tarkastella Pelinin kolmiomalliin (Kuva 1, sivu 4.) tukeutuen. Projektin pitäisi saada aikaan haluttu tulos käytettävissä olevalla budjetilla ja ajalla. Pelinin mukaan jokaisessa tai jopa kaikissa näistä osa-alueista voidaan epäonnistua.



Kuva 18. "Miten projektissa kävikään". (Pelin 1990, 20.)

Suunnitteluprojektin kokonaisvaltaisuus tulee esiin mallista siten, että projektin jokaisessa osa-alueessa täytyy miettiä tätä tuloksen, rahan ja ajan tasapainoa. Projektin lopullinen kokonaiskolmio muodostuu jokaisen osa-alueen perusteella. Täydellisesti toteutetun projektin tulos on loistava ja saavutettu nopeasti ja kustannustehokkaasti. Käytännössä kuitenkin kustannusvaikutusten optimoiminen vie aikaa ja voi haitata tulosta, tuloksen korostaminen vaatii aikaa ja tulee maksamaan, kun taas nopeasti tehdyssä projektissa ei ehditä paneutumaan sen paremmin kustannuksiin kuin laatuunkaan.

Suunnittelutyössä on tärkeää ymmärrys sen kokonaisvaltaisuudesta, prosessin moninaisuudesta ja sen osa-alueiden keskinäisistä yhteyksistä. Osa-alueiden kesken on hyvä löytää tarkoituksenmukainen tasapaino. Ongelmia kohdatessa on syytä säilyttää avoimuus muutoksille.

## 5 YHTEENVETO

Automaattisen pahvilaatikon sulkijalaitteen suunnitteluprojekti oli haastava, sillä Ermeka Oy:lla ei ollut olemassa olevaa suunnitteluorganisaatiota eikä itselläni ollut kokemusta suunnittelemisesta opinnoissa esille tulleen lisäksi. Aloitin siis kaiken lähestulkoon puhtaalta pöydältä. Tämä loi kiinnostuksen ja tarpeen selvittää suunnitteluprosessin kokonaisuutta laajemmin ja syvällisemmin.

Kaikki piti ajatella laajemmin, aina tiedostorakenteesta ja piirustusohjelmista lähtien suunnittelun ja ongelmanratkaisun keinoihin, valmistustekniikkaan ja piirustustekniikkaan asti. Uutta opittavaa tuli jatkuvasti eteen ja loin projektin edetessä pohjaa myös tulevia projekteja varten, kuten esimerkiksi piirustusohjelmat. Projektin edetessä huomasin monia asioita, joita olisi pitänyt tehdä alusta asti toisin. Tällainen oli muun muassa piirustusten osakokonaisuuksien tekeminen alusta asti tarkoituksenmukaisesti. Koska perusta suunnittelutyölle haki vielä muotoaan, tuli projektissa vastaan monia haasteita. Näiden haasteiden ansioista koen kuitenkin oppineeni paljon suunnitteluprosessista, sillä olen joutunut pohtimaan asioita syvällisemmin ja kokonaisvaltaisemmin.

Suurta apua haasteisiin vastaamisessa sain työyhteisöltä sekä toimivasta yhteydestä asiakkaaseen. Yhteydenpito asiakkaan automaattisuunnitteluun olisi ollut myös suureksi hyödyksi viime hetkien muutosten välttämiseksi. Tärkeimpiä oppimiani asioita olivat perinpohjaisen esisuunnittelun ja ideoinnin merkitys, suunnittelutyökalujen hallitsemisen hyödyllisyys, suunnittelijan merkittävä rooli kustannusten muodostumisessa, valmistusmenetelmien tuntemisen tärkeys sekä ymmärrys suunnitteluprosessin kokonaisvaltaisuudesta.

Nämä oppimani asiat muodostavat kokonaisuuden, jossa eri osa-alueet vaikuttavat toinen toisiinsa. Suunnittelijan tulee löytää tarkoituksenmukainen tasapaino näihin osa-alueisiin vaikuttavien tekijöiden välillä. Tekemällä valmistusprosessin kannalta tarkoituksenmukaiset piirustukset kykenin vaikuttamaan projektin

kokonaiskustannuksiin. Tiedon tarkoitustenmukaisten piirustusten tekemiseen sain niin kokeneiden ohjaajien opastuksesta kuin mahdollisuudesta keskustella suunnittelemini osien piirustuksista osia tekevien ammattilaisten kanssa. Totesin myös, että tehdessäni tämän huolellisesti jo esisuunnitteluvaiheessa, säästyin ongelmilta myöhemmissä vaiheissa. Yksityiskohtia miettiessä täytyi aina muistaa kokonaiskuva, jos halusi välttyä tulevilta ongelmilta.

Monet asiat opin kantapään kautta. Suunnittelijan täytyy tietää erittäin laaja-alaisesti eri asioista ja opittavaa on vielä paljon. Jo opinnäytetyössäni käsittelemieni seikkojen lisäksi tulevaisuudessa minulla on panostettavaa muun muassa projektin hallinnassa, kuten tiedostonhallinnassa ja arkistoinnissa, vakio-osa- ja profiilikirjastojen käytössä, fysiikan ja insinööritieteiden soveltamisessa sekä vakiintuneiden ratkaisuiden opiskelemisessä ja käytössä.

Luovutettuani automaattisen pahvilaatikon sulkijalaitteen piirustukset asiakkaalle tämä valmisti laitteen. Laitetta kokoonpantaessa kävi ilmi rullaradan toimimattomuus. Tein rullaradasta muutossuunnitelmat ja ongelma saatiin ratkaistua. Sen lisäksi laitteen automaatio-ohjelmoija halusi tehdä muutoksia joihinkin laitteen osiin. Täten laitteesta ei tullut täysin suunnitelmieni mukainen. Laitetta suunniteltaessa olisi ollut syytä tehdä yhteistyötä myös automaatio-ohjelmoijan kanssa. Asiakas oli kuitenkin tyytyväinen toimittamiini piirustuksiin ja ymmärsi jo alun perin laitteen olevan prototyyppi, joka tulisi todennäköisesti muuttumaan alkuperäisestä suunnitelmasta. Laite on kirjoitushetkellä toiminnassa.

Suunnitteluprosessi ideasta valmiiksi laitteeksi ja toimivaksi osaksi linjastoa on ollut mielenkiintoinen ja opettavainen. Kaikessa haasteellisuudessaan projekti oli täydellinen mahdollisuus kehittyä suunnittelijana.

## LÄHTEET

Anttila, Pirkko. 1993. Käsityön ja muotoilun teoreettiset perusteet. Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Arciszewski, Tomasz. 2016. Inventrive Engineering. Knowledge and Skills for Creative Engineers. Boca Raton: CRC Press.

Ermeka 2017a. Etusivu [viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <http://ermeka.fi/>

Ermeka 2017b. Yritys [viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <http://ermeka.fi/yritys>

Haverila ym. 2005. Teollisuustalous. Tampere: Infacs Oy.

Jokinen, Tapani. 2001. Tuotekehitys. Kuudes korjattu painos. Helsinki: Otatieto. Oy Yliopistokustannus University Press Finland.

Laatuakatemia. 2010. Laatusanasto [viitattu 23.9.2017]. Saatavissa: <http://www.kotiposti.net/tuurala/Laatusanasto.htm#Suunnittelu> 23.9.2017

Leino, Tommi. 2013. Kattilalaitoksen puitkistojen layout-esisuunnittelu. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21955/Leino.pdf?sequence=1>

Pelin, Risto. 1990. Projektin suunnittelu ja ohjaus. Käsikirja. Hämeenlinna: Weilin + Göös.

Routio, Pentti. 2007. Teollisen tuotteen kehittäminen [Viitattu 23.9.2017]. Saatavissa: <http://www2.uiah.fi/projekti/metodi/030.htm>

Sinituote 2017. Sinituote Oy, tietoa konsernista [viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <http://www.sinituote.fi/sinituote-oy/tietoa-sini-konsernista>

Valkonen, Sohvi. 2015. Välikausitakin mallin ja tuotannon suunnittelu yritykselle. Opinnäytetyö, Savonia-ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93052/Valkonen\\_Sohvi.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93052/Valkonen_Sohvi.pdf?sequence=1)