

LUT – YLIOPISTO

LUT Energiajärjestelmät

LUT Konetekniikan koulutusohjelma

Lassi Kiema

**KAUPALLISEN PAKKAUSLINJASTON MUOKKAAMINEN ARKKISYÖTTÖÄ
VARTEN**

Työn tarkastajat:

Professori Juha Varis

TkT Ville Leminen

TIIVISTELMÄ

LUT – Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Konetekniikan koulutusohjelma

Lassi Kiema

Kaupallisen pakkauslinjaston muokkaaminen arkkisyöttöä varten

Diplomityö

2018

62 sivua, 28 kuvaa, 1 taulukko ja 3 liitettä

Tarkastajat: Professori Juha Varis
Tkt Ville Leminen

Hakusanat: Lämpömuovaus, systemaattinen koneensuunnittelu, DFMA

Tässä diplomityössä oli tarkoituksena muokata LUT – yliopiston pakkaustekniikan laboratoriossa olevaa Variovac Primus pakkauslinjastoa niin, että sillä voidaan muovata myös arkkimuodossa olevaa materiaalia. Työn teoriassa keskitytään systemaattisen koneensuunnittelun teoriaan ja DFMA:n (design for manufacture and assembly) perusteisiin. Myös lämpömuovausmenetelmien ja yleisimpien muovattavien materiaalien teoriaan perehdytään lyhyesti.

Ongelmaa lähdettiin lähestymään systemaattisen koneensuunnittelun avulla kehittämällä laitteeseen helposti asennettavan ja poistettavan lisäosan, jolla arkkeja voidaan muovata rullatavaran sijaan. Suunnittelussa päädyttiin modulaariseen ratkaisuun, jotta jo olemassa olevia muotteja voidaan hyödyntää uusien pienempien muottien lisäksi.

Suunnittelun lopputuloksena saatiin kompaktin kokoinen laite, joka voidaan asentaa pakkauslinjastoon helposti ja ilman, että siihen tarvitsee tehdä muutoksia. Suunnitellulla laitteella voidaan kahta osaa vaihtamalla hyödyntää osaa Variovac Primuksen jo käytössä olevista muoteista. Laitteen suunnittelussa pyrittiin DFMA:n hyödyntämiseen valmistus ja kokoonpanoystävällisyyden saavuttamiseksi.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Lassi Kiema

Modifying commercial packaging line for sheet input

Master's thesis

2018

62 pages, 28 figures, 1 table and 3 appendices

Examiners: Professor Juha Varis
D. Sc. (Tech.) Ville Leminen

Keywords: Thermoforming, systematic machine design, DFMA

The objective of this master's thesis was to modify packaging line Variovac Primus so that it could be used to thermoform sheets. The fundamentals of systematic machine design and DFMA (design for manufacture and assembly) are explained. Also thermoforming as a forming method and common materials formed by this process are discussed.

The issue was approached by systematic machine design, developing an easy-to-install and to remove accessory device. The devices design ended up being modular so that existing molds could be used alongside new ones.

The result of the design was a compact device, which is easy-to-install and remove without making any modifications to Variovac Primus-packaging line. Some of the Variovac Primus old molds can be made use of by changing two parts on accessory device. Ease of manufacturing and assembly is confirmed by utilizing DFMA in design.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty LUT yliopiston pakkaustekniikan laboratoriossa yhteistyössä työn rahoittajan Stora Enso Oyj:n kanssa. Haluan kiittää sekä työn rahoittajaa että yliopistoa heidän tarjoamastaan mahdollisuudesta tehdä diplomityöni aiheesta, jossa pääsin suunnittelemaan jotain uutta ja joka oli mielenkiintoinen toteuttaa.

Haluan erityisesti kiittää työni tarkastajaa Ville Lemistä ja ohjaajaa Antti Pesosta kaikista neuvoista ja ohjeista, joita olen työtä tehdessäni saanut. Kiitos työni tarkastajalle Juha Varikselle, työssä mukana olleille Stora Enson henkilöstölle ja koko pakkaustekniikan henkilökunnalle. Anttia haluan erityisesti kiittää siitä, että hän on jaksanut vastaila typerimpiinkin kysymyksiin mitä minulle on tullut mieleen ja pitänyt toimiston ilmapiirin mukavana.

Suurin kiitos kuuluu kuitenkin vanhemmilleni, veljilleni ja kavereilleni, jotka ovat jaksaneet potkia minua eteenpäin ja kannustaneet mukana, vaikka opinnot vähän venähtivätkin. Lopuksi haluaisin vielä kiteyttää yliopistovuoteni näihin sanoihin: pitkä reissu, mutta tulipahan tehtyä.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	8
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Tutkimuksen tavoitteet	9
1.2 Tutkimuksessa käytettävät menetelmät	10
2 MUOVAUSPROSESSI JA MUOVATTAVAT MATERIAALIT	11
2.1 Thermoforming eli lämpömuovaus	11
2.1.1 Lämpömuovauskoneet	12
2.1.2 Lämpömuovauksen hyvät ja huonot puolet	13
2.2 Muovattavat materiaalit	13
3 MENETELMÄT	15
3.1 Systemaattinen/metodinen koneensuunnittelu ja sen perusteet	15
3.1.1 Systemaattisen koneensuunnittelun heikkoudet ja kritiikki.....	16
3.1.2 Hyödyllisiä metodeja systemaattisessa koneensuunnittelussa.....	17
3.1.3 Systemaattisen koneensuunnittelun suunnitteluprosessi ja työnkulku	18
3.1.4 Tehtävänasettelun selvitys ja vaatimuslista	20
3.1.5 Luonnostelu	21
3.1.6 Toimintorakenne ja osatoiminnot	23
3.1.7 Vaikutusperiaatteiden etsiminen.....	24
3.1.8 Vaikutusperiaatteiden yhdistäminen.....	25
3.1.9 Kehittely.....	26

3.2	Valmistus ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu (DFMA)	28
3.2.1	DFMA:n peruslähtökohdat	29
3.2.2	DFMA:n tuomat hyödyt.....	30
3.2.3	DFMA:n toteuttaminen.....	30
4	TULOKSET	32
4.1	Vaatimuslista	32
4.2	Luonnostelu	33
4.3	Toimintorakenne.....	34
4.4	Osatoiminnot.....	35
4.4.1	Lisäosan kiinnittäminen Variovac Primukseen	36
4.4.2	Arkin siirto muovauspisteeseen	38
4.4.3	Arkin paikoitus ja kiinnitys.....	39
4.5	Ratkaisuvaihtoehtojen karsiminen.....	41
4.6	Muovauskammioon tulevan arkinkiinnityksen ideoiminen.....	41
4.6.1	Kehyksen lukitus.....	44
4.7	Modulaarinen rakenne	46
4.8	Lämpölevyn siirto	48
4.9	Materiaalin valinta	49
4.10	Valmis laite	50
4.10.1	Kannen lukitus	52
4.10.2	Muotti ja sen vaihto	53
4.10.3	Arkin paikoillaan pitäminen	54
4.10.4	Tiivisteet	55
4.10.5	Modulaariset osat ja niiden vaihto	56
4.11	Kustannusarvio	56
5	TULOSTEN ANALYSOINTI	58
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	60

LÄHTEET	61
----------------------	-----------

LIITTEET

LIITE I: Kannen lämpölaajenemisen laskeminen

LIITE II: Räjätyskuva

LIITE III: Ostettavat osat

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

α	lämpölaajenemiskerroin
$^{\circ}\text{C}$	celsiusaste
<i>CNC</i>	Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus.
<i>DFMA</i>	design for manufacture and assembly, valmistus ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu
<i>K</i>	kelvin
<i>PCV</i>	Polyvinyylidikloridi
<i>PET-A</i>	amorfinen polyesteri
<i>PET-C</i>	kiteinen polyesteri
<i>PS-E</i>	vaahdotettu polystyreeni
<i>PS-HI</i>	iskunkestävä polystyreeni
<i>PP</i>	polypropeeni
<i>T</i>	toiveet
<i>V</i>	vaatimukset
ΔT	lämpötilan muutos
Δl	pituuden muutos

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan kaupallisen lämpömuovauskoneen (Variovac Primus) muokkaamista sellaiseksi, että sillä voidaan muovata yksittäisiä arkkeja rullatavaran ohella. Tällä hetkellä laitteella voidaan tehdä erikokoisia pakkauksia eri materiaaleista, mutta tähän voidaan käyttää vain rullalla olevaa materiaalia. Tämän tutkimuksen rahoittajana ja asiakkaana toimii Stora Enso.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Työn tarkoituksena on muokata laitetta niin, että sitä voidaan käyttää myös arkkeina olevien aihoiden muovaukseen. Tavoitteena on kahden arkkikoon tukeminen: laboratorioarkin ja toisen kooltaan hieman suuremman arkin. Arkkien syötön on tarkoitus tapahtua käsisyöttöisesti, eikä pakkauksille tehdä kantta. Laitteella on tarkoitus pystyä muovaamaan erilaisia arkkimateriaaleja.

Variovac Primus (kuva 1) on modulaarinen ja se voidaan tilata useilla eri kokoonpanoilla, muuttaen muun muassa rullan leveyttä ja tuotteiden pakkausmahdollisuuksia. Tässä työssä käytetään LUT – yliopiston pakkaustekniikan laboratoriossa olevaa laitetta ja työssä tehdyt muokkaukset on tarkoitettu tälle kyseiselle laitteelle. Koneeseen suunnitellut muutokset ovat sellaisia, että ne voidaan asentaa ja poistaa helposti, jotta konetta voidaan käyttää myös alkuperäiseen käyttötarkoitukseensa.



Kuva 1. Variovac Primus (Finnvacum 2018).

Työn lopussa on tarkoituksena olla valmiina suunnitelma koneen muokkaukseen tarvittavasta laitteistosta. Laitteiden valmistuksesta ja kokoamisesta/asennuksesta laaditaan kustannusarvio mahdollisien jatkotoimenpiteiden avuksi.

1.2 Tutkimuksessa käytettävät menetelmät

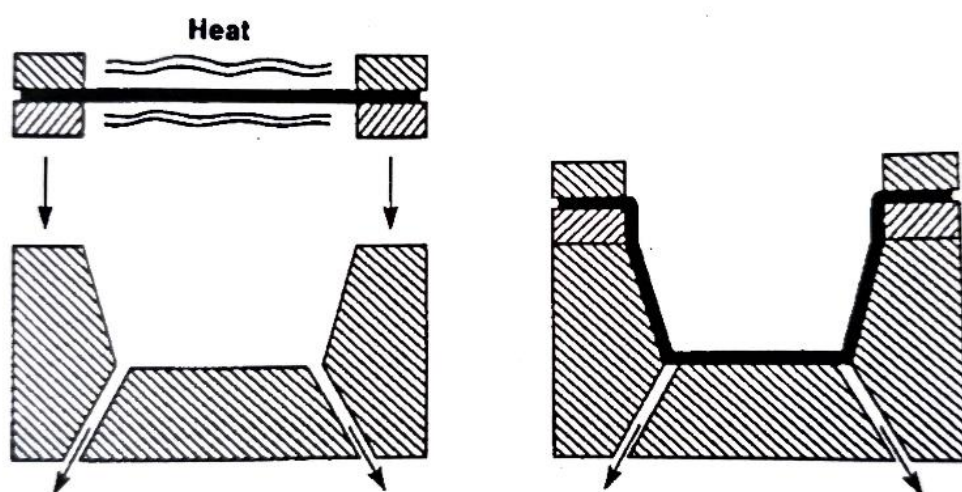
Työn menetelmät osiossa käydään läpi koneensuunnittelun teoriaa systemaattisen koneensuunnittelun näkökulmasta sekä perehdytään DFMA:n perusteisiin. Pakkaustekniikkaan liittyen perehdytään thermoformingin eli lämpömuovauksen teoriaan. Myös yleisimmät lämpömuovattavat materiaalit ja niiden käyttökohteet käydään läpi.

2 MUOVAUSPROSESSI JA MUOVATTAVAT MATERIAALIT

Variovac Primus muovaa materiaalia thermoformingin eli lämpömuovauksen avulla. Tässä osiossa käydään läpi, millainen muovausprosessi lämpömuovaus on ja mitä materiaaleja sillä voidaan muovata. Myös materiaalien ominaisuuksia käydään tarkemmin läpi.

2.1 Thermoforming eli lämpömuovaus

Thermoformingilla eli lämpömuovauksella tarkoitetaan muovausmenetelmää, jossa muovattava materiaali lämmitetään niin, että siitä tulee riittävän notkeaa. Tämän jälkeen se muovataan pakkaukseksi joko mekaanisesti, paineilmalla, vakuumilla tai näiden yhdistelmillä. Kuvassa 2 on esitetty yksinkertainen vakuumilla toimiva prosessi. Lämpömuovauksella voidaan muovata monia eri muoveja ja muoviseoksia. Se soveltuu myös tietyntilaisten kuitumateriaalien muovaamiseen. (Soroka, 1996, s. 232-233)



Kuva 2. Vakuumia käyttävä lämpömuovaus prosessi. (Soroka, 1996, s. 234)

Lämpömuovauksella tehtävän pakkauksen kokoa/syvyyttä rajoittaa käytettävän materiaalin paksuus, sillä muovattaessa materiaali venyy muottiinsa. Pakkauksen syvyyteen vaikuttavat myös aihion muoto sekä muovattava materiaali ja sen ominaisuudet. Mitä syvempi valmistettava pakkaus on, sitä suurempi vetokulma siihen tarvitaan, jotta se voidaan poistaa muotista. (Soroka, 1996, s. 232-233)

Vaikka lämpömuovausmetodeja on erilaisia, seuraa prosessi yleensä samaa kaavaa: Ensin muovattava materiaali lämmitetään haluttuun muovauslämpötilaan. Tämän jälkeen se muovataan muotin avulla haluttuun muotoon. Muovauksen jälkeen tuotteen annetaan jäähtyä niin pitkään, että se pysyy oikeassa muodossa. Viimeiseksi valmis tuote irrotetaan muotista. Samalla periaatteella muovataan niin arkkeja kuin rullalla olevaa materiaalia. (Engelmann, 2012, s. 5-6)

2.1.1 Lämpömuovauskoneet

Lämpömuovauskoneita on muutamaa eri tyyppiä ja ne eroavat toisistaan materiaalin syötön ja muovaustavan mukaan. (Engelmann, 2012, s. 6-7) Lämpömuovausta käytetään niin isojen kuin pienienkin tuotantomäärien valmistukseen. Sitä voidaan käyttää myös prototyyppikäytössä. Muovaus tapahtuu joko ilmanpaineella tai mekaanisesti. Käytettävä metodi riippuu materiaalista, sen paksuudesta, valmiin tuotteen vaaditusta ulkonäöstä, valmiin tuotteen koosta ja tuotantomäärästä. (ManufacturingET, 2018)

Arkkeja muovaavat koneet on tarkoitettu pienille ja keskisuurille valmistuserille, tai kun tuotteen väriä pitää muuttaa usein. Arkkisyöttöisiä koneita käytetään myös, kun valmistetaan suuria kappaleita. Tyypillisiä käyttökohteita ovat isot muoviosat kuten autojen sisäpaneelit tai puskurit. (Engelmann, 2012, s. 6-7)

Rullasyöttöisiä koneita käytetään, kun valmistetaan suuria ja keskisuuria eriä. Pienien erien valmistus ei ole kannattavaa, koska materiaali tulee isoissa rullissa. Tyypillisiä käyttökohteita ovat elintarvikepakkaukset kuten kupit tai jogurttikipot. (Engelmann, 2012, s. 8)

Skinilaitteilla lämmitetty kalvo muovataan pakattavan tuotteen päälle. Tässä metodissa ei tarvita muottia vaan kalvo tulee suoraan tuotteen päälle. Tapaa käytetään pienien tuotteiden kuten patterien pakkaamiseen. (Engelmann, 2012, s. 8)

Pakkauslinjastossa pakkaus muovataan lämpömuovauksella, täytetään halutulla tuotteella, suljetaan ja leikataan oikean kokoiseksi. Näillä linjastoilla voidaan tehdä muun muassa elintarvike kuten leikkele tai yksittäisannos pakkauksia. (Engelmann, 2012, s. 9)

2.1.2 Lämpömuovauksen hyvät ja huonot puolet

Lämpömuovauksen etuja muihin (muun muassa ruiskuvalu) muovausmenetelmiin verrattuna:

- Valmistettavan tuotteen mahdollinen suuri koko, niin painon kuin pinta-alan suhteen.
- Helposti muutettava seinämän paksuus (riippuu käytettävän materiaalin paksuudesta)
- Usean materiaalin käyttö samalla laitteella. Saadaan muun muassa vaihdettua tuotteen väriä ja muita ominaisuuksia helposti.
- Monikerroksisia pakkauksia voidaan tehdä helposti.
- Työkalukustannukset pienet (pelkkien muottien vaihto)
- Nopea tuotantonopeus
- Voidaan muovata jo valmiiksi painettuja materiaaleja (pakkaustekstit ynnä muut valmiina jo ennen muovausprosessia

(Engelmann, 2012, s. 7-8)

Lämpömuovauksen haittoja:

- Tuotteen muoto on rajoitettu (pitää olla tietty vetokulma, ei mahdollista tehdä ulokkeita)
- Seinämän paksuus vaihtelee
- Materiaalin ominaisuuksiin vaikuttaminen vaikeampaa (puolivalmis materiaali ostetaan suoraan valmistajalta)

(Engelmann, 2012, s. 7-8)

2.2 Muovattavat materiaalit

Lämpömuovauksella tehdään paljon elintarvikepakkauksia, ja Variovac Primuskin on tarkoitettu elintarvikepakkauksien tekoon. Materiaaleina lämpömuovauksessa käytetään yleensä eri muovilaatuja ja tässä kappaleessa käydään niistä läpi yleisimmät. Myös yhdistelmäateriaaleja ja kuitupohjaisia materiaaleja voidaan lämpömuovata ja niistäkin käydään läpi perusasiat.

Muoveista lämpömuovauksessa käytetään yleisesti polystyreeneitä, polyestereitä ja polyeteenejä. Polystyreeneistä yleisin käytössä oleva on ”iskunkestävä polystyreeni” (PS-HI, S/B). Tämä johtuu siitä, että se on helposti työstettävää kaikissa valmistusvaiheissa. Myös vaahdotettua Polystyreeniä (PS-E), Polyvinyylikloridia (PCV) ja Polypropeenä (PP)

käytetään. Näistä Polyvinyylidikloridin käyttö on kuitenkin ympäristösyistä vähenemään päin. Polyestereistä käytetyimpiä ovat ”Amorfinen polyesterei” (PET-A) ja ”Kiteinen polyesterei” (PET-C). Näistä PET-A muistuttaa hyvin paljon PVC:tä ja sen käyttö onkin lisääntynyt PVC:n käytön vähentyessä. PET kestää hyvin lämpöä ja näin ollen soveltuu esimerkiksi valmisruokapakkauksiin. (Järvi-Kääriäinen & Ollila, 2007 s. 114-115) Muoveista kaikkein yleisimmin (kun tutkitaan kaikkia käyttötarkoituksia) on käytössä ”Polyeteeni” (PE). PE kestää hyvin kemikaaleja, mutta sillä on alhainen lämmönkestävyys. (Järvinen, 2008, s. 28)

Yhdistelmäateriaaleilla voidaan tarkoittaa joko eri muovilaatujen yhdistelmiä tai kuitupohjaisia materiaaleja, jotka on päällystetty muovilla. Muovien yhdistelmillä on tarkoitus parantaa pakkauksen ominaisuuksia hyödyntämällä eri muovien hyviä puolia. Yhdistelmillä voidaan yrittää hakea myös parannusta pakkauksen ulkonäköön. (Järvi-Kääriäinen & Ollila, 2007, s. 115)

Kuitumateriaaleja käytetään pakkauksissa runsaasti ja niiden osuus on kasvamassa, koska ne ovat luonnonmateriaaleja ja niitä voi kompostoida ja kierrättää. Kuitupohjaiset materiaalit on tehty eri puiden kuiduista ja niiden ominaisuudet riippuvat paljon puusta ja kuitujen irrotustavasta. Kuitumateriaaleilla ympäristöllä on suuri merkitys materiaalin ominaisuuksiin, koska ne ovat hygroskooppisia (ne asettuvat tasapainokosteuspitoisuuteen ympäristön kanssa). Materiaalin kosteus taas vaikuttaa sen lujuusominaisuuksiin (lujuus laskee kosteuspitoisuuden kasvaessa). (Järvi-Kääriäinen & Ollila, 2007, s. 129-131)

3 MENETELMÄT

Tässä osiossa perehdytään koneensuunnittelun teoriaan ja kuinka sitä hyödynnetään laitteen suunnittelussa. Suunnittelun perustana käytetään systemaattista koneensuunnittelua ja DFMA:ta eli valmistus ja kokoonpanoystävällistä suunnittelua.

3.1 Systemaattinen/metodinen koneensuunnittelu ja sen perusteet

Systemaattisen koneensuunnittelun rinnalla on luova/intuitiivinen koneensuunnittelu. Siinä ajattelu ja idean kehitys tapahtuvat hyvin nopeasti ja usein yksittäisen ”älynväläyksen” seurauksena. Tällöin idea syntyy hetkessä ja siihen on vaikea vaikuttaa tai tilannetta luoda uudelleen. Intuitiivisella mallilla on saavutettu monia toimivia koneita ja ratkaisuja, mutta siinä on muutamia heikkouksia: suunnittelun perustuessa intuition joudutaan odottamaan oivallusta (sitä ei voi pakottaa), idea ja tulos ovat suuresti keksijän kokemuksen ja erityisosaamisen varassa. Lisäksi on vaarana, että ideaan jäädytään liiaksi ”jumiin” ilman, että sitä kehitetään eteenpäin ja muokataan.

(Pahl & Beitz, 1990, s. 34-35)

Edellä mainittujen syiden vuoksi on tarpeen käyttää tietoisempaa menettelytapaa, jotta ongelmaa voidaan lähestyä paremmin ja useammasta suunnasta. Tätä tapaa kutsutaan diskursiiviseksi. Siinä faktat ja toimintojen väliset yhteydet ovat koko ajan tarkkailussa ja niihin viedään tietoa sekä niistä saadaan tietoa. Ratkaisuja muodostetaan, hylätään, muokataan paremmiksi ja yhdistellään. Toisin kuin luovassa koneensuunnittelussa ratkaisua ei lähdetä hakemaan suoraan vaan tehtävä jaetaan osiin ja käydään läpi osatoiminto kerrallaan. Tämä ei kuitenkaan tarkoita intuition pois sulkemista vaan ennemminkin sen kohdistamista osaongelmien ratkaisuun. Näin suunnittelu pysyy kokonaisuutena kasassa ja etenee loogisessa järjestyksessä kohti ratkaisua (Pahl et al., 2007, s. 48)

Systemaattisessa koneensuunnittelussa onkin tärkeää, että tehtävänanto on hyvin määritelty ja sen perusteella voidaan asettaa suunnittelulle vaatimukset ja rajaukset. Näiden pohjalta voidaan ruveta jakamaan tehtävää osatehtäviin ja hakea niihin parhaita ratkaisumalleja. Hyvä rajausta ja osatoimintojen määrittäminen vähentävät myös virheiden mahdollisuutta, koska jokainen osa-alue käydään läpi erikseen ja eri osatoiminnoille voidaan soveltaa erilaista menetelmiä ja apukeinoja. Virheiden välttämiseksi hyvä

osatehtävien/osatoimintojen löytäminen on todella tärkeää. Jos ongelma ei meinaa ratketa voi vika olla huonosti rajatussa osatoiminnossa. Osatoiminnon ongelman uudelleen rajaaminen keskittymällä olennaiseen voi tarjota paremman lähtökohdan ongelman ratkaisemiseen kuin huonosti määritellyn osatoiminnon väkisin ratkaiseminen. Intuutiolla tehtäessä ratkaisuja voi ”pääidea” häiritä pienempiä osia tehtävästä, jolloin virheherkkyys kasvaa. (Pahl & Beitz, 1990, s. 35-36)

3.1.1 Systemaattisen koneensuunnittelun heikkoudet ja kritiikki

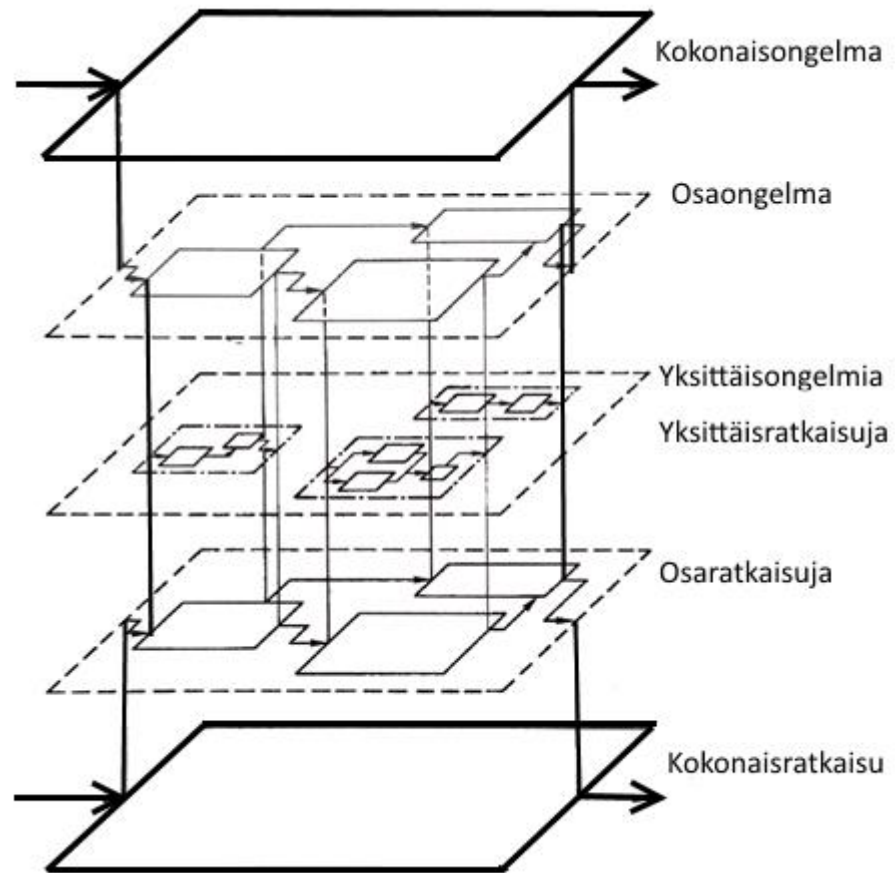
Huonoina puolina systemaattisessa koneensuunnittelussa pidetään sitä, että se on liiankin ”perinpohjainen” yrittäen ottaa huomioon jokaisen mahdollisen seikan ja vastata niihin. Tämän seurauksena suunnittelusta saattaa helposti tulla liian järjestelmällistä ja luovuus unohtuu, kun yritetään seurata ennalta määrättyä listaa tehtävistä asioista. (Childs, 2014, s. 15-16). Myös tehtävän jako useaan osatoimeen voidaan nähdä ongelmallisena, koska se saa suunniteltavat kohteet tuntumaan erillisiltä ongelmilta, vaikka tarkoituksena on luoda yksi toimiva tuote. Kun osaongelmia käsitellään yksittäisinä tehtävinä voi kokonaisuuden hahmottaminen ja osatoimien yhteensovittaminen jäädä taka-alalle. (Tuomaala, 1995, s. 96)

Osatoimintojen erillisessä ratkaisussa on ongelmana myös se, että ratkaisun löydyttyä sitä ei enää lähdetä helpolla muuttamaan. Tämä aiheuttaa sen, että koneen perusrakennetta on vaikea enää muuttaa suunnittelun edistyttyä pidemmälle. Ja jos rakennetta päätetään muuttaa, yritetään se sovittaa jo aiemmin keksittyihin ratkaisumalleihin rajoittaen näin uusien ideoiden syntyä, vaikka tietoa on tullut lisää verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen. (Tuomaala, 1995, s. 96)

Systemaattinen koneensuunnittelu on hyödyllinen väline uusien tuotteiden suunnittelussa, kunhan sitä osaa käyttää oikein. On tärkeää, että abstrahointi tehdään huolella, jotta vaatimuksista saadaan tarpeeksi laajat ja tehtävän ydin tulee hyvin esille. Kun vaatimukset ja osatoimiin jako on tehty hyvin, on niiden yhteensovittaminenkin helpompaa. Pitää myös muistaa olla takertumatta liiaksi jo päätettyihin ratkaisuihin ja aloittaa tarpeen tullen alusta, sillä muutoksien teko tuotantovaiheessa on paljon kalliimpaa. (Tuomaala, 1995 s. 96-95) On myös hyvä miettiä mikä osa systemaattisesta suunnittelusta on omassa työssä hyödynnettävissä ja kehittää itselle toimiva lähtökohta suunnitteluun huomioiden myös intuition käytön. (Childs, 2014, s. 22)

3.1.2 Hyödyllisiä metodeja systemaattisessa koneensuunnittelussa

- *Suunnatun kyselemisen metodi*: Suunniteltaessa kannattaa miettiä kysymyksiä työhön liittyen. Joko työstä heränneiden kysymysten tai valmiiksi kirjoitettujen kysymyslistojen avulla aktivoidaan intuitiota ja ajatusprosessia. Niillä autetaan myös diskursiivista ajattelua. Kysymysluetteloja voidaan käyttää työn eri vaiheissa esimerkiksi tarkistuslistana. (Pahl & Beitz, 1990, s. 37-38)
- *Kieltämisen ja uudelleenkieltämisen metodi*: Tätä metodia kutsutaan myös metodiseksi epäilemiseksi ja siinä tutkitaan jo tunnettua ratkaisua, joka jaetaan osiin ja sitten kielletään joko yksittäin tai ryhmänä. Tällä tavalla voidaan saavuttaa uusia ratkaisumalleja, kun asioita pitää ruveta miettimään uudestaan ja kiertämään tiettyjä ”kiellettyjä” ratkaisumalleja. (Pahl & Beitz, 1990, s. 38)
- *Etenevien askelten metodi*: Kun ongelmaa lähdetään käsittelemään, yritetään keksiä mahdollisimman monta tapaa edetä alkutilanteesta kohti ratkaisua. Tätä metodia kutsutaan myös tietoiseksi ajatusten harhailuksi. Tällä metodilla keksitään esimerkiksi ongelmalle kolme eri ratkaisumallia ja niitä taas jalostetaan eteenpäin. (Pahl & Beitz, 1990, s. 38)
- *Poistuvien askelten metodi*: Ongelmaa ruvetaan tutkimaan alun sijaan lopusta. Kuvitellaan ongelmalle niin sanottu ideaalisysteemi, joka vastaa täydellisesti asetettuihin vaatimuksiin. Systeemiä ei siis suunnitella vaan se toimii ajatustasolla ohjenuorana varsinaiselle suunnittelulle. Ideaalisysteemille oletetaan täydelliset olosuhteet ilman häiriötekijöitä. Tämän jälkeen aletaan miettiä mitä myönnytyksiä pitää tehdä, jotta ideaalisysteemistä saadaan aikaan toimiva ja reunaehdot täyttävä suunnitelma. Metodin ongelmana on ideaalin ratkaisun löytäminen heti alussa. (Pahl & Beitz, 1990, s. 39)
- *Tekijöihin jakamisen menetelmä (faktorisointi)*: Monimutkaiset järjestelmät jaetaan pienempiin, vähemmän monimutkaisiin, yksittäisiin elementteihin. Nämä elementit ovat määrääviä tapahtumassa ja ne voidaan ratkaista erikseen. Nämä osaongelmien ratkaisut tarjoavat ratkaisun kokonaisuongelmaan (kuva 4). Tätä metodia käytetään hyväksi, kun tehdään tuotteen toimintorakennetta ja mietitään osatoimintoja. (Pahl & Beitz, 1990, s. 39)

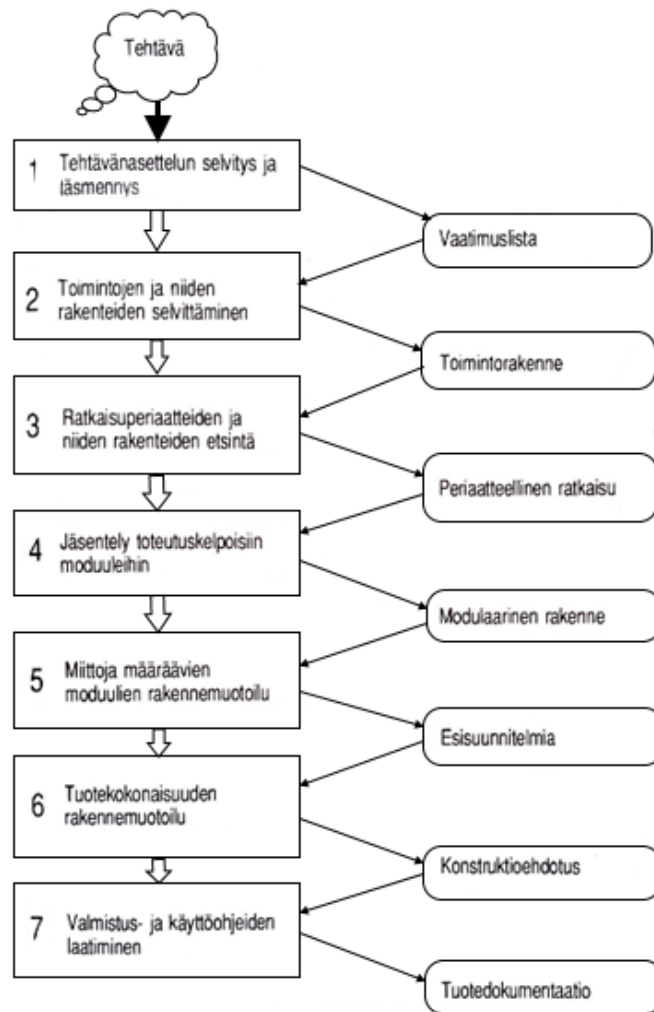


Kuva 3. Tekijöihin jakamisen menetelmä eli faktorisointi. (muokattu lähteestä Pahl & Beitz, 1990, s. 40)

- *Systemointimetodi:* Laaditaan yleisluontoinen järjestelykaavio (eli ideamatriisi/morfologinen laatikko), jolla saadaan kokonaiskuva ratkaisumahdollisuuksista. Kun kaikki ratkaisuvaihtoehdot ovat esillä yhdessä kaaviossa on niiden eri yhdistelmien hahmottaminen helpompaa. (Pahl & Beitz, 1990, s. 39)

3.1.3 Systemaattisen koneensuunnittelun suunnitteluprosessi ja työnkulku

Suunnittelussa pitää ottaa huomioon ongelman ratkaisun lisäksi projektin aikataulu, muiden mahdollisten projektien yhteensovitus ja projektin kustannukset. Siksi onkin hyvä olla selkeä etenemistapa, jota seurataan. Kuvassa 5 on esitetty yksi etenemistapa, jossa lähdetään annetusta tehtävästä ja päädytään valmiiseen tuotteeseen. (Pahl et al., 2007, s. 128)



Kuva 4. Etenemistapa systemaattiseen koneensuunnitteluun. (muokattu lähteestä Pahl & Beitz, 1990, s. 47)

Tässä työkulussa edetään tehtävänasettelusta, toimintojen tarkasteluun, periaateratkaisun tekoon, kokonaisuuden modulaarisen ratkaisun hahmottamiseen ja lopulta tuotantodokumenttien laatimiseen. Näistä työaskeleista (huomioon ottaen tuotteen luonnostelu, kehittäminen, viimeistely ja konkretisointi) saadaan karkea jako tuotekehityksen päävaiheisiin:

1. Tehtävän selvittely → informaation vahvistaminen
2. Luonnostelu → periaatteen vahvistaminen
3. Kehittely → rakennemuodon vahvistaminen
4. Viimeistely → Valmistustekniikan vahvistaminen

(Pahl, Beitz, 1990, s. 48).

3.1.4 Tehtävänasettelun selvitys ja vaatimuslista

Suunnittelu alkaa siitä, että on tarve ja halua täyttää tuo tarve. Se mitä pitää suunnitella aukeaa vasta, kun on saatu selville, mikä tarve todellisuudessa on. Tarve voi syntyä esimerkiksi siitä, että olemassa oleva kone tekee huonoa jälkeä ja sitä pitää muuttaa. Tarve ja tehtävänasettelu ovat eri asioita ja tehtävä (eli ratkaistava ongelma) saadaankin vasta kun kaikki tarvittava informaatio on kasassa. (Budynas, 2011, s. 6)

Työn aluksi siis tehdään tehtävänasettelun selvitys, joka tarkoittaa informaation hankintaa ratkaisulle asetetuista vaatimuksista sekä reunaehdoista. Kun tarvittava informaatio on kasassa, voidaan laatia vaatimuslista. Tätä listaa päivitetään aina vastaamaan uusinta informaatiota, jos jotain muuttuu tai lisätään tehtävään (Pahl & Beitz, 1990, s. 48). Vaatimuslistassa tehdään selväksi mitä työllä on tarkoitus saavuttaa ja mitä rajoituksia on. Nämä kirjataan vaatimuslistaan *vaatimusten ja toiveiden* muodossa:

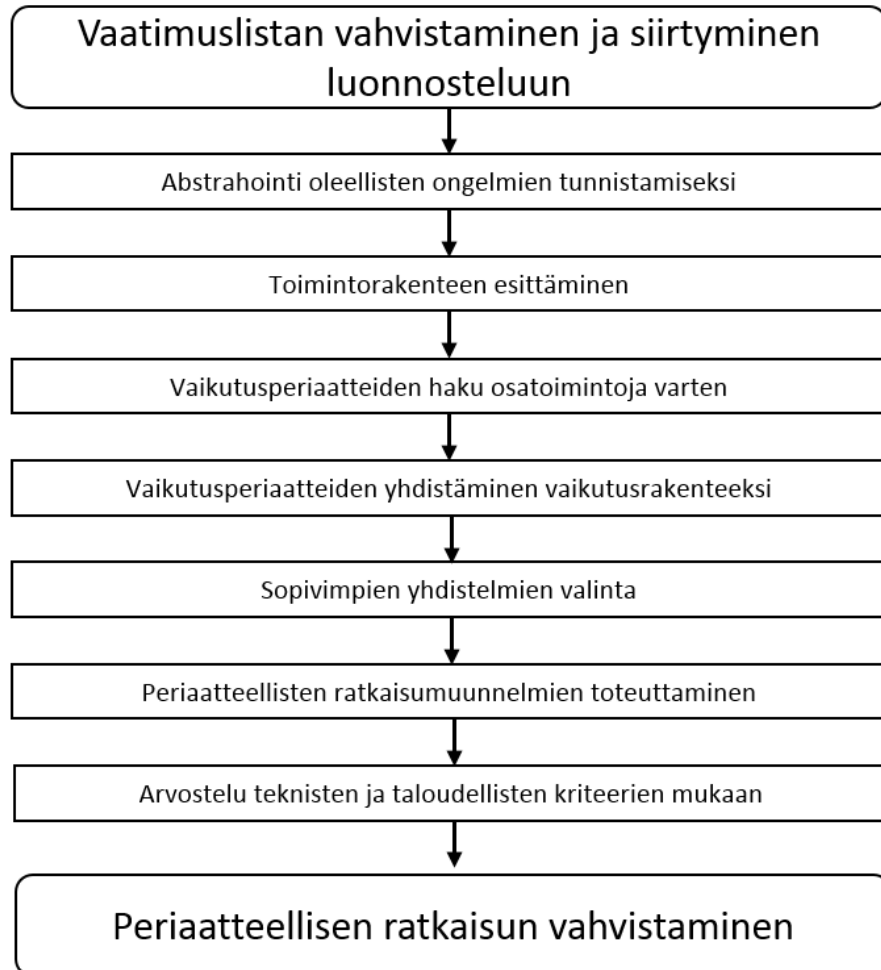
- *Vaatimukset* ovat tuotteen sellaisia ominaisuuksia, jotka tulee täyttää kaikissa tapauksissa. Vaatimuksien ohittaminen tai huomiotta ottaminen tekee ratkaisusta epäpätevän ja johtaa sen hylkäämiseen. Vaatimus voi olla myös vähittäisvaatimus, jossa asetetaan jokin tietty raja, jonka tuotteen tulee saavuttaa/toteuttaa (esimerkiksi $L = 400\text{mm}$).
- *Toiveet* ovat sellaisia ominaisuuksia, jotka otetaan huomioon vaatimusten täytön jälkeen ja niiden toteuttaminen riippuu yleensä budjetista ja projektin aikataulusta. Toiveet aiheuttavat yleensä ylimääräisiä kustannuksia ja ne kannattaakin merkitä jonkinlaiseen tärkeysjärjestykseen, jolloin on helpompi miettiä, mitä niistä voidaan/kannattaa toteuttaa. (Pahl & Beitz, 1990, s. 64)

Vaatimuslistaan kirjattujen vaatimusten tulee olla mahdollisimman tarkkoja niin lukuarvojen kuin rajoitusten suhteen, sillä sen perusteella tuotetta aletaan suunnitella. Vaatimuslista on kätevä apuväline koko suunnittelun ajan, koska siitä näkee kätevästi mikä on työn perimmäinen tarkoitus ja suuntaviivat. Tämän takia vaatimuslistaa pitää päivittää sitä mukaan, kun projektiin tulee uutta informaatiota. Vaatimuslista toimii myös hyvänä dokumenttina projektin johdon/teettäjän kanssa, koska heidän hyväksytyään sen on tehtävän rajat selvillä. (Pahl et al., 2007, s. 147)

Vaatimuslistan rakenteesta ei ole mitään valmista pohjaa, mutta on suositeltavaa, että siitä löytyy sekä kehittäjän, että asiakkaan nimet ja projektin työnimi. Itse vaatimukset tulisi kirjata selvästi taulukkomuotoon, missä vaatimukset voidaan merkitä esimerkiksi kirjaimella V ja toiveet kirjaimella T. Vaatimuslistaan vaatimuksia voidaan kirjata osatoimintojen mukaisesti tai kerralla koko tuotetta koskien. Osatoimintojen mukainen on suositeltavampaa, koska silloin työtä on helpompi jäsenellä. Isommissa projekteissa vaatimuslistaan voidaan myös merkitä kuka vastaa mistäkin projektin osaluueesta/osatoiminnosta. Näkyvissä tulisi olla myös listan tekopäivä ja päivä jolloin listaa on viimeksi muokattu. (Pahl et al., 2007, s. 147)

3.1.5 Luonnostelu

Kun tehtävänasettelu ja vaatimuslista on tehty, siirrytään seuraavaksi suunnittelussa luonnosteluun. Luonnostelussa abstrahoidaan, kehitetään tuotteen toimintorakenne ja sen perusteella osatoiminnot. Näihin etsitään parhaimmat vaikutusperiaatteet ja niiden yhdistelmät. Kuvassa 7 on esitetty luonnosteluvaiheen työaskeleet.



Kuva 5. Luonnosteluvaiheen työaskeleet. (muokattu lähteestä Pahl & Beitz. 1990, s. 72)

Abstrahoinnissa ongelmaa lähdetään käsittelemään yleisellä tasolla ja korostetaan oleellista. Näiden avulla päästään ongelman ytimeen. Tarkoituksena on välttää ennakkoluuloja ja käsityksiä siitä millainen tuotteen pitäisi olla. Kun ongelmaa käsitellään yleisesti, eikä yksityiskohtiin takertuen, voi syntyä kokonaan uusia ratkaisuvaihtoehtoja. Esimerkiksi jonkin projektin ongelmana voisi olla tietyn osan muuttaminen paremmaksi. Abstrahoinnissa lähdetään aivan aluksi miettimään, onko koko osa tarpeellinen tai voiko saman toiminnon toteuttaa jollain muulla tavalla. Yritetään siis etsiä se perimmäinen syy miksi osaa on alun perin haluttu parantaa. Vaikka parempaa ratkaisua ei löytyisi ongelma kuitenkin ymmärretty paremmin ja sen toimintorakenne ja osatoiminnot saadaan

muodostettua paremmin tarkoitusta vastaaviksi. Tehtävän ydinolemuksen ymmärtäminen on välttämätöntä, jotta sen ongelmat voi tunnistaa ja ratkaista.

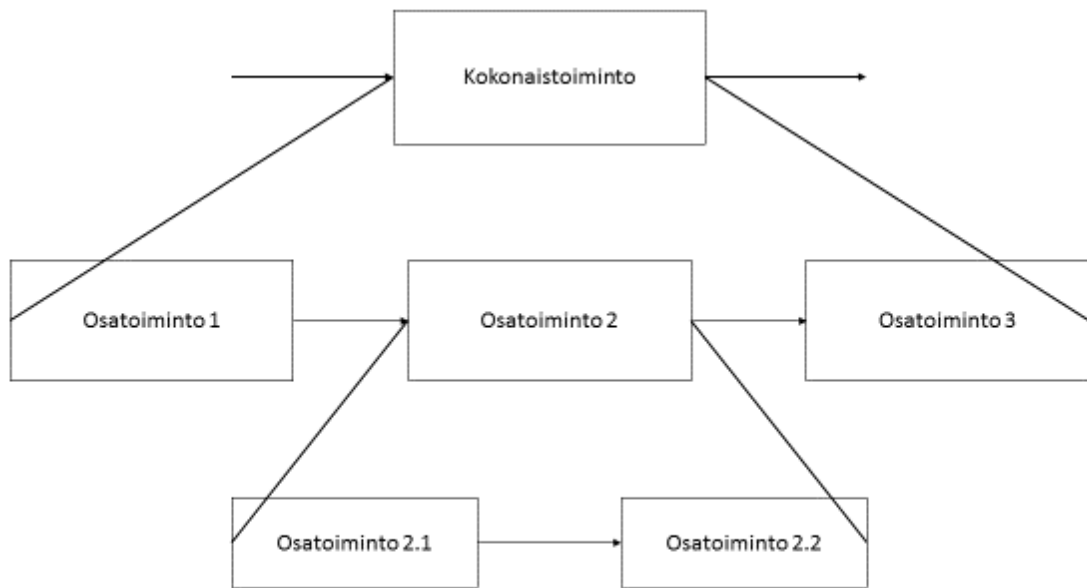
(Pahl & Beitz, 1990, s. 71-73)

Ongelman ydinolemus löytyy, kun vaatimuslistaa aletaan abstrahoida. Aluksi toiveet jätetään kokonaan huomiotta ja keskitytään vain vaatimuksiin. Vaatimuksista keskitytään vain niihin, jotka liittyvät toiminnallisuuteen tai ovat täysin oleellisia toiminnan kannalta. Määrälliset vaatimukset muutetaan laadullisiksi. Kun on saatu vaatimuslista karsittua täysin perustoiminnon ympärille, on ongelma helpompi muodostaa. (Pahl & Beitz, 1990, s. 73-74)

3.1.6 Toimintorakenne ja osatoiminnot

Kun ongelma on selvillä, voidaan muodostaa kokonaistehtävä/kokonaisongelma. Kokonaistehtävä on se mitä prosessissa tapahtuu tulon (esimerkiksi materiaalin syöttö laitteeseen) ja lähdön (valmis tuote saadaan ulos laitteesta) välillä. Kokonaistoiminto ja se jaettuna osatoimintoihin voidaan esittää kaaviona (esimerkki kuvassa 8). (Börklü et al., 2018 s. 5)

Koska kokonaistoiminto on usein monimutkainen ja sisältää useita vaiheita, jaetaan se osatoimintoihin. Osatoimintoihin jaolla saadaan vaikea kokonaistoiminto havainnollistettua paremmin ja yhden osatoiminnon suunnittelu kerralla helpottaa ongelmanratkaisua. Jos osatoimi on vieläkin turhan monimutkainen, voidaan se jakaa edelleen uusiin osatoimintoihin. Kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin auttaa myös modulaarisuuden tuomisessa suunnitteluun. (Pahl et al., 2007, s. 171-174)



Kuva 6. Toimintorakenne ja osatoiminnot. (muokattu lähteestä Pahl & Beitz, 1990, s. 82)

3.1.7 Vaikutusperiaatteiden etsiminen

Kun systeemille on määritetty osatoiminnot, pitää niille löytää vaikutusperiaatteita. Näistä muodostuu systeemin vaikutusrakenne. Lopulta saadaan periaatteellinen ratkaisu. Vaikutusperiaatteiden hakuun on monta eri tapaa: niitä voidaan hakea diskursiivisilla menetelmillä, tavanomaisilla menetelmillä ja intuitiivisilla menetelmillä. Nämä eivät ole toisiaan poissulkevia ja kaikki kannattaakin käyttää tilanteen mukaan parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Kappaleessa 3.1.2 Hyödyllisiä metodeja systemaattisessa koneensuunnittelussa mainittuja metodeja kannattaa käyttää myös vaikutusperiaatteiden etsimiseen. (Pahl et al., 2007, s. 181-182)

Tavanomaisilla menetelmillä tarkoitetaan valmiiden ratkaisujen tutkimisen kautta saavutettuja ratkaisuja. Vaikutusperiaatteita haetaan siis niin kirjallisuudesta kuin tunnettujen systeemien analysoinnista. Esimerkiksi kilpailijan tuotteiden tutkiminen on hyväksi jo senkin takia, että pysytään tietoisina nykYTEKNIKAN tasosta. Sillä estetään myös se, että ei niin sanotusti keksitä pyörää uudelleen. Myös luonnossa esiintyvät muodot ja rakenteet ovat hyviä lähteitä vaikutusperiaatteita hakiessa. Myös mittauksilla ja kokeilla saadaan arvokasta dataa suunnittelua varten varsinkin, kun tehdään jonkin tuotteen

jatkokehitystä. Näitä menetelmiä käyttäessä pitää kuitenkin olla varovainen, ettei jämähdä käyttämään vain tunnettuja ratkaisuja. (Pahl & Beitz, 1990, s. 99-103)

Diskursiivisissa menetelmissä edetään pienin askelin kohti ratkaisua. Työaskelista saadaan hyvin palautetta ja niiden avulla voidaan vaikuttaa systeemiin muuttamatta kuitenkaan kaikkea. Osatoimintojen yhdistämiseen voidaan käyttää jäsentelykaaviota. Jäsentelykaavion kootaan eri ratkaisuvaihtoehtoja niin että jokaiselle toiminnalle on useampi vaihtoehto. Näitä yhdistelemällä saadaan osatoiminnon tai lopulta kokonaistoiminnon ratkaisu. Kaavion avulla voidaan myös hylätä osa ratkaisuista ja valita useampi ratkaisu jatkokehitykseen, jonka jälkeen tehdään kaavio uudestaan. Jäsentelykaaviota kutsutaan myös *morfologiseksi laatikoksi* tai *ideamatriisiksi*. (Malmqvist et al., 1996, s. 4-5)







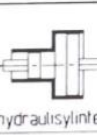
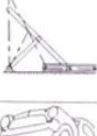
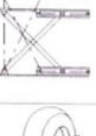

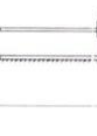
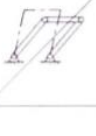
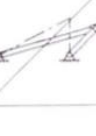


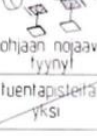

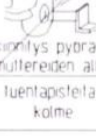
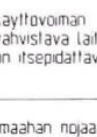

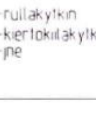
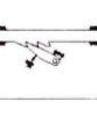

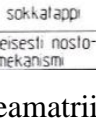


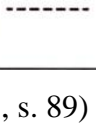



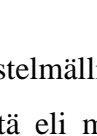
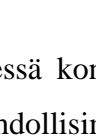
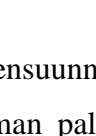
Intuitiivisella koneensuunnittelulla ratkaisu tulee alitajunnasta suunnittelijan omien kokemusten ja hankitun osaamisen pohjalta. Ratkaisua ei lähdetä hakemaan ennen kuin ongelma on perinpohjaisesti selvitetty. Kun ongelma on selvillä, on idean saaminen helppoa. (Tuomaala 1995 s.44). Idea ei välttämättä ole suoraan käyttökelpoinen, mutta siitä voidaan kehittää muita menetelmiä käyttämällä toimiva ratkaisu. Intuitiivisella menetelmällä on huonoina puolina, että ideaa ei voi pakottaa vaan se tulee, kun se tulee ja että ajatukset saattavat olla jämähtäneet tiettyyn ratkaisumalliin, jolloin ideatkin ovat sen ympäriltä. Paljon käytetty intuitiivinen menetelmä on keskustelu ja kriittinen väittely, koska sillä syntyy virikkeitä ja uusia assosiaatiota. (Pahl & Beitz, 1990, s. 103)

3.1.8 Vaikutusperiaatteiden yhdistäminen

Suunniteltavan laitteen kokonaistoiminnon toteuttamiseksi pitää vaikutusperiaatteet yhdistää vaikutusrakenteeksi. Vaikutusrakenne eli vaikutusperiaatteiden yhdistelmä tehdään niin, että se täyttää tuotteelle muodostetun toimintorakenteen. Siinä vaikutusperiaatteet yhdistetään huomioiden fysikaaliset ja geometriset vaatimukset ja niiden toisiinsa yhteensopivuus. (Pahl et al., 2007, s. 184)

Vaikutusperiaatteiden yhdistelyyn käytetään pääasiassa järjestelmällistä yhdistelyä, joka voidaan toteuttaa jäsentelykaaviolla eli ideamatriisilla (esimerkki esitetty kuvassa 9). Siinä osatoiminnot ja niihin ratkaisuksi kehitellyt vaikutusperiaatteet koostetaan yhteen taulukkoon. Tästä taulukosta saa nopeasti yleiskuvan siitä, minkälaisia kokonaisratkaisuja

tuotteelle voidaan tehdä. Eri osatoiminnoille olevien ratkaisujen yhdistäminen suuresta määrästä vaikutusperiaatteita voi olla haastavaa, koska kaikki vaikutusperiaatteet eivät välttämättä käy yhteen. Kokonaistoiminnoksi onkin yhdistettävä vain toisiinsa sopivia vaikutusperiaatteita. (Pahl, Beitz, 1990, s. 129-131)

Ratkaisuperiaate Osa toiminto	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Vahvistaa käyttövoima nostovoimaksi	 ruuvi ja mutteri	 asketvipuu	 hammaspyörästo	 hammastanko	 vakipyörästo	 telapyörä	 hydraulisyliinteri	-----
2 Johtaa nostovoima ja -liike auton nostokohtiin								
3 Kiinnittää autoon	 pohjaan nojaava tyyny	 vierintäesteet pyörin	 kiinnitys pyörän muuttereiden alle	-----	-----	-----	-----	-----
4 Tukea maahan	 tuentapisteitä yksi	 tuentapisteitä kaksi	 tuentapisteitä kolme	 tuentapisteitä neljä	-----	-----	-----	-----
5 Pidattaa	 käyttövoiman vahvistava laite on itsepidattava	 jousi sappipyörä	 -ruiläkytkin -kiertokätkin -jre					 vastavertaili hydraulisessa laitteessa
6 Lukita	 maahan nojaava tuki	 sokkatappi	 lasketaan auto erillisten pukkien varaan	-----	-----	-----	-----	-----
	lukitaan muutosulkeisesti nostovoiman johtava mekanismi							

Kuva 7. Esimerkki Ideamatriisista (Tuomaala, 1995, s. 89)

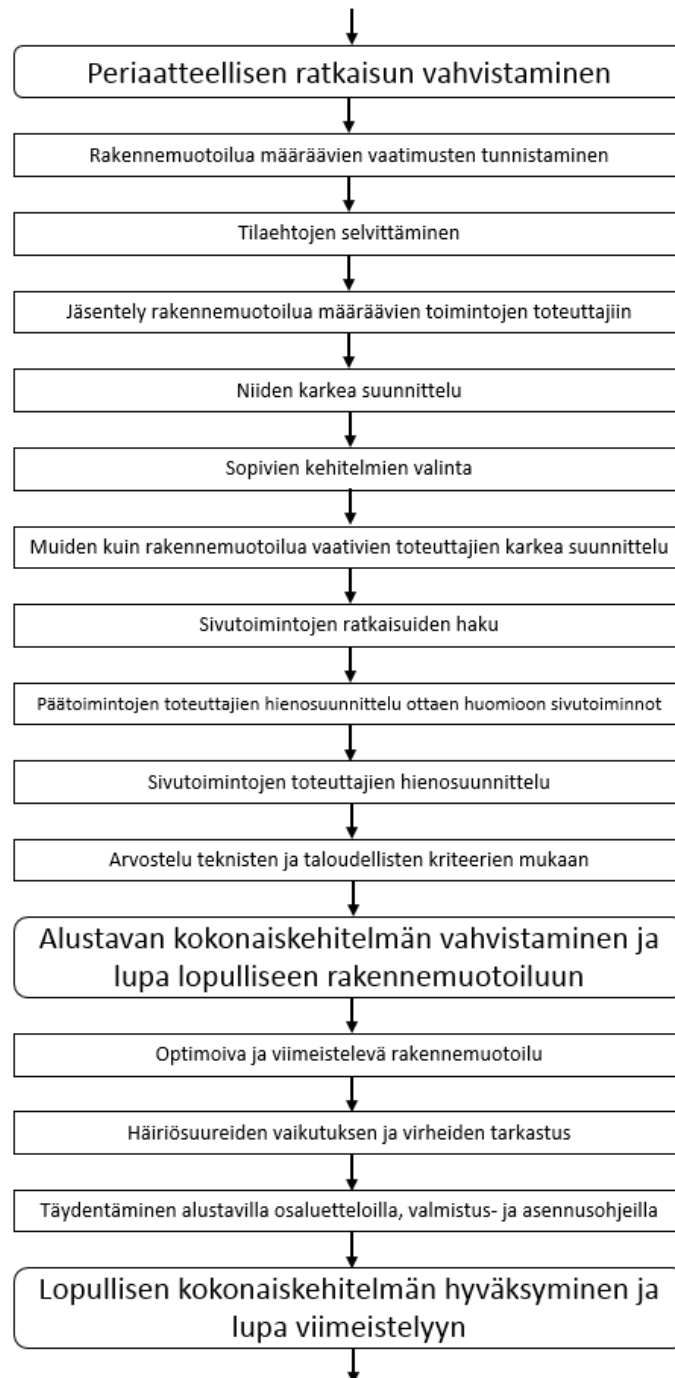
Koska järjestelmällisessä koneensuunnittelussa pyritään saamaan mahdollisimman suuri ratkaisukenttä eli mahdollisimman paljon vaikutusperiaatteita, tulee mukaan pakostakin huonoja tai sopimattomia ratkaisuja osatoiminnoille. Tällöin on hyvä hylätä osa ratkaisuista suoraan, ilman että niitä otetaan mukaan vaikutusperiaatteiden yhdistelyyn. Hylkäys voi johtua esimerkiksi jo alusta asti tiedossa olevasta korkeasta hinnasta. Tulee kuitenkin varoa, ettei toimivia ratkaisuja hylätä liian heppoisin perustein. Jos vaikutusperiaatteita on hylkäyksenkin jälkeen runsaasti kannattaa selkeästi toimivimmat nostaa etusijalle eteenpäin kehitystä ajatellen. (Pahl & Beitz, 1990, s. 133)

3.1.9 Kehittely

Kehittelyllä tarkoitetaan tuotteen kehittämistä vaikutusratkaisun pohjalta täydelliseksi tuotteeksi. Tällöin tuote on valmis kaikilta teknisiltä ja taloudellisilta osiltaan. Tässä

vaiheessa voi olla vielä mukana useampi vaihtoehtoinen suunnitelma, joista valitaan paras, kun kaikki suunnitelmat ovat valmiita. Tässä vaiheessa suunnittelua kaikki suunnittelu kohteen toiminnot ja vuorovaikutukset viimeistellään. (Malmqvist et al., 1996, s. 5)

Jotta lopullinen kokoonpano saadaan kasaan, tarvitaan usein monta kehitelmää. Tämä johtuu siitä, että kehittäessä käytetään paljon optimointia ja vikojen etsintää, mikä muuttaa kokoonpanon yksityiskohtia ja näin ollen lopullista kokoonpanoa. Esimerkiksi jokin kokoonpanon osa voikin olla mahdotonta valmistaa sellaisena kuin se alun perin suunniteltiin, tällöin sitä pitää muuttaa. Tämä muutos voi pahimmassa tapauksessa vaikuttaa koko kokoonpanon suunnitteluun. Jotta näin ei kävisi on hyvä noudattaa kaavaa, jossa siirrytään ”asteittain laadullisesta määrälliseen, abstraktista konkreettiseen tai karkeahammottelusta tarkkaan rakennemuotoiluun siihen liittyvine tarkastuksineen ja täydennyksineen”. Kehittelyn työaskeleet on esitetty kuvassa 10. (Pahl & Beitz 1990, s. 178)



Kuva 8. Kehittelyn työaskeleet. (muokattu lähteestä Pahl & Beitz, 1990, s. 178)

3.2 Valmistus ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu (DFMA)

Tässä osiossa käsitellään tuotteen valmistus- ja kokoonpanoystävällisen suunnittelun perusteita ja päämääriä. Lisäksi tutkitaan miten DFMA:ta voidaan hyödyntää suunnittelussa ja miten tämä käytännössä toteutetaan.

3.2.1 DFMA:n peruslähtökohdat

Tuotteen valmistaminen ja kokoonpano tulisi ottaa huomioon jo tuotetta suunniteltaessa eikä lähteä muuttamaan tuotetta näille myönteisemmäksi vasta valmiin suunnitelman jälkeen. Näin vältetään uudelleensuunnittelua, joka on usein kallista ja hidastaa koko prosessia. DFMA korostaa suunnittelijan vastuuta sovittaa tuote käytettäviin valmistusmenetelmiin sen lisäksi, että tuote on järkevä ja toimiva. (Eskelinen & Karsikas, 2013, s. 9) Eskelinen ja Karsikas toteavat seuraavaa DFMA:n päämääristä kirjassa DFMA-Opas – Valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelu:

”

1. Suunnittelun ja valmistuksen parempi integrointi
2. Tuotekehitykseen kuluvan ajan ja rahan säästäminen
3. Tuotteen laadun ja luotettavuuden parantamista
4. Läpimenoaikojen lyhentämistä
5. Tuottavuuden lisääntymistä
6. Yrityksen nopeampaa kykyä vastata asiakkaidensa toiveisiin

” (Eskelinen & Karsikas, 2013, s. 9)

Konetekniikassa koetaan yleensä olevan muuri suunnittelun ja valmistuksen välillä. DFMA on kehitetty murtamaan tämä muuri. Muurille katsotaan olevan viisi pääsyytä:

1. Suunnittelija yrittää liiaksi hyödyntää standardoituja ja modulaarisia ratkaisuja tuotteen toiminnallisuuden kannalta ja jättää näin ollen valmistukselliset moduulit huomiotta.
2. Valmistaja taas haluaa tehdä tuotteeseen muutoksia tuotantolinjan ja välineistön suhteen, joka johtaa tuotteen muuttamiseen vääristä syistä (pyritään tuotannon sujuvuuteen mahdollisesti tuotteen käytettävyyden kustannuksella).
3. Ryhmätyö ei pelaa suunnittelijoiden ja valmistuksen välillä.
4. Suunnittelijalla on liian vähäiset tiedot valmistusmenetelmistä, joka johtaa epärealistisiin vaatimuksiin ja tuotteisiin, jota voi olla mahdotonta tai liian kallista valmistaa.
5. Valmistuksen teettäminen alihankkijoilla vaikeuttaa yhteistyötä johtuen niin kielimuurista, firmojen erilaisista käytännöistä ja pitkistä etäisyyksistä.

(Eskelinen & Karsikas, 2013, s. 9)

3.2.2 DFMA:n tuomat hyödyt

DFMA:n tuominen suunnitteluun mukaan jo alkuvaiheessa auttaa kaventamaan suunnittelun ja valmistuksen välistä kuilua. Valmistuksen huomioinen alusta asti vähentää tarvittavia muutoksia suunnittelun loppuvaiheessa ja näin ollen nopeuttaa ja sujuvoittaa suunnittelua. Suunniteltavat tuotteet myös pysyvät yksinkertaisempina, koska niihin ei tarvitse tehdä muutoksia vain valmistusta varten. Tällaiset muutokset saattavat huonontaa toiminnallisuutta, koska ne tehdään sen takia, että tuote voidaan valmistaa. Tämä voi johtaa joidenkin ominaisuuksien karsimiseen tai huonontumiseen. (Boothroyd, 2002, s. 21-22)

Kun DFMA on otettu huomioon jo suunniteltaessa, tarvitaan vuoropuhelua suunnittelijan ja valmistajan välillä. Tämä vuoropuhelu auttaa niin valmistuskustannusten alentamisessa, kuin hyvän tiimihengen muodostamisessa. Näin saadaan myös suunnitteluun uusia ideoita suunnittelutiimin ulkopuolelta. DFMA siis rohkaisee tiimityöskentelyyn. (Boothroyd, 2002, s. 22)

Myös kokoonpanon huomioiminen suunnitteluvaiheessa tuo huomattavia etuja. Kokoonpano onnistuu nopeasti ja sujuvasti, kun se on huomioitu jo suunnittelussa. Kun suunniteltavan laitteen osien määrää vähennetään, saadaan valmistuskustannuksia ja kokoonpanoon kuluva aikaa pienentyä. Kokoonpanoajan pienentyminen laskee myös koko tuotteen kustannuksia. (Ngatilah et al., 2017)

3.2.3 DFMA:n toteuttaminen

DFMA:n käytännön toteuttamisessa voidaan pitää lähtökohtana minimointia: osien määrä tulisi minimoida ja samalla osalle pitäisi mahdollisuuksien mukaan saada mahdollisimman monta toimintoa. Osien kiinnitys olisi hyvä tehdä ilman ylimääräisiä ja erillisiä kiinnitysosia ja/tai -muotoja. Myös valmistusvaiheiden ja -menetelmien määrä tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Samoin minimointiin liittyen tulisi valita valmistusmenetelmiä, jotka vaativat vähiten esi- ja/tai jälkikäsitteilyjä. (Eskelinen & Karsikas, 2013, s. 11)

Kokoonpano tulisi ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa niin, että siitä tehtäisiin mahdollisimman helppoa ja vaivatonta. Tuotetta suunniteltaessa tulisi asennusvaiheet tehdä niin, että ne voisi suorittaa yhdestä kokoonpanosuunnasta. Manuaalisessa tuotannossa asennuksen ergonomia tulee ottaa huomioon. Tuotetta suunniteltaessa tulee huomioida

asennuksessa käytettävät työkalut ja niiden vaatima tila. Lisäksi tulee muistaa automatisoitua tuotantoa silmällä pitäen tilat robottien tarttujille ynnä muille liikkuville osille. Kokoonpanoa voidaan helpottaa myös suunnittelemalla osia, jotka voidaan asentaa useammassa eri asennossa. Osat tulisi suunnitella niin, että ne eivät takerru toisiinsa kokoonpanovaiheessa. (Eskelinen & Karsikas, 2013, s. 11)

Valmistuksen helpottamiseksi tulisi aina käyttää mahdollisimman paljon standardikomponentteja. Erityisesti ruuvien, mutterien ynnä muiden pienten komponenttien suunnittelua ja valmistusta itse tulisi välttää. Suunnittelussa on kuitenkin huomioitava, että standardiosien käyttö ei saa johtaa tuotteen huononemiseen verrattuna itsevalmistettaviin osiin. (Boothroyd, 2002, s. 290)

Toleranssit tulee asettaa tuotteen vaatimuksia vastaaviksi, niin että ei tehdä turhaan ”liian hienoa”, koska se nostaa huomattavasti valmistuksen kustannuksia. Tuotteessa tulee käyttää sopivaa yleistoleranssia. Suunnittelun loppuvaiheessa tulee tarkastaa, että niin mitta-, paikka, pinnanlaatu ja geometriset toleranssit sopivat keskenään yhteen. Tuote on hyvä suunnitella automatisoitua tuotantoa varten, koska silloin se on yleensä edullinen myös manuaalisessa tuotannossa. (Eskelinen & Karsikas, 2013, s. 11)

Tuotteen suunnittelussa tulisi käyttää parametrissa suunnittelua ja suunnitella modulaarisia rakenteita. Tuoteperheajattelu yksittäisenkin tuotteen kohdalla ei ole turhaa, koska se helpottaa tuotteen mahdollisia jatkokehitys suuntia. Modulaarisuus helpottaa usein myös kokoonpanoa ja korjattavuutta. (Eskelinen & Karsikas, 2013, s. 11).

4 TULOKSET

Laitteen suunnittelu tehtiin systemaattisen koneensuunnittelun mukaisesti tekemällä ensin vaatimuslista. Sen perusteella tehtiin toimintorakenne, joka jaettiin osatoimintoihin. Tämän jälkeen näille osatoiminnoille kehitettiin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Ratkaisuvaihtoehtojen karsinta tehtiin alustavasti asiakkaan kanssa käydyssä neuvottelussa, jonka jälkeen jäljelle jääneitä ratkaisuja kehiteltiin vielä hieman pidemmälle ennen lopullisten ratkaisujen valintaa.

4.1 Vaatimuslista

Vaatimuslistan tekoa edelsi aloituspalaveri asiakkaan kanssa, missä käytiin läpi työn lähtökohdat ja tavoitteet. Asiakkaan kanssa päätettiin, mitä työhön sisällytetään ja mitä valmiissa työssä pitää olla. Tärkeimpänä informaationa oli asiakkaan antamat rajoitteet ja vaatimukset, jotka koneen tulisi täyttää. Näiden pohjalta tehtiin vaatimuslista, johon sisällytettiin myös toiveita koneen toiminnallisuuden ja käytettävyyden kannalta. Vaatimuslista on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Vaatimuslista.

Vaatimuslista	
Aihiosyötön mahdollistaminen kaupalliseen pakkauslinjastoon	
V/T	Vaatimukset/Toivomukset
V	Arkkien muovaus Variovac Primus laitteella
V	Kahden arkkikoon muovaaminen (165mm*165mm ja)
V	Kone on käsisyöttöinen
V	Voidaan ajaa koneen alkuperäisellä ohjelmistolla
V	Koneen oltava palautettavissa alkuperäiseen käyttötarkoitukseen
V	Voidaan käyttää eri materiaaleille ja materiaalipaksuuksille
V	Muovaus paineilmalla
T	Modaus on nopea asentaa ja poistaa
T	Voidaan soveltaa myös muille arkkiko'oilte
T	Kone on helppo ja halpa valmistaa

Listassa V:llä merkityt kohdat ovat vaatimuksia ja valmiin laitteen tulee täyttää ne. T:llä merkityt ovat toivomuksia ja ne pyrittiin ottamaan huomioon laitteen suunnittelussa, niiltä osin, kun ne eivät ole ristiriidassa vaatimuksien kanssa. Valmis vaatimuslista käytiin vielä läpi asiakkaan kanssa, jotta kaikki olivat samalla linjalla laitteen vaatimuksien kanssa.

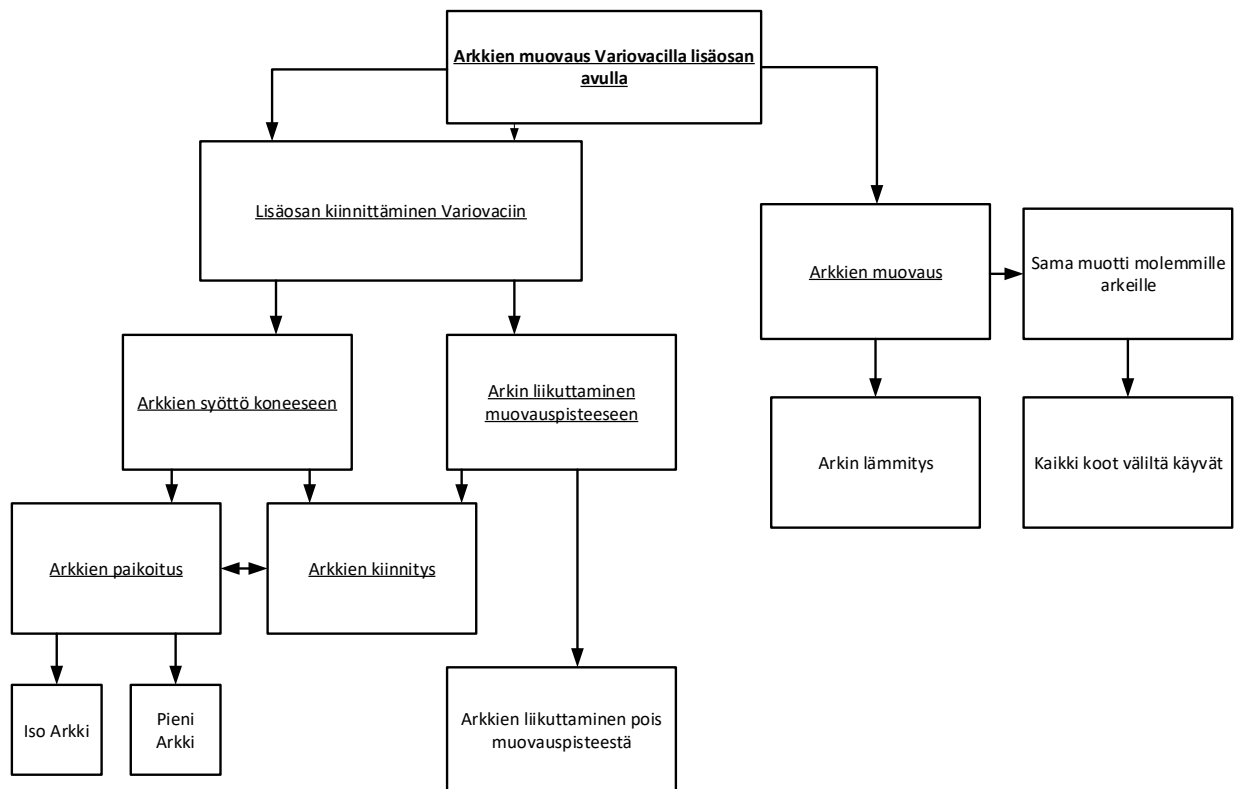
4.2 Luonnostelu

Laitteen vaatimuslistan perusteella saatiin hyvät ja selkeät rajat laitteen suunnittelulle. Vaatimuksien perusteella aloitettiin abstrahointi, jossa jätettiin toiveet huomiotta ja keskityttiin vain vaatimuksiin. Vaatimuksista suurin huomio oli toiminnallisissa vaatimuksissa. Toiminnallisia vaatimuksia ovat vaatimukset 1, 3, 4, 5 ja 7. Arkkien muovaus Variovac Primuksella on tärkein yksittäinen vaatimus ja se onkin koko työn perusta. Tämä ei tällä hetkellä onnistu ilman lämpömuovauslinjaston muokkaamista. Toinen tärkeä

vaatimus on, että laitetta voidaan käyttää myös alkuperäiseen tarkoitukseensa. Näiden kahden vaatimuksen perusteella saatiin päätoiminto, joka on: Arkkien muovaus Variovac Primuksella lisäosan avulla. Kun päätoiminto oli saatu abstrahoinnin avulla selville, tehtiin sen ympärille laitteen toimintorakenne.

4.3 Toimintorakenne

Päätoimen selvittyä muodostettiin toimintorakenne, jossa se jaettiin osatoimiin ja ne taas tarvittaessa uusiin osatoimiin. Toimintorakenne on esitetty kuvassa 11.



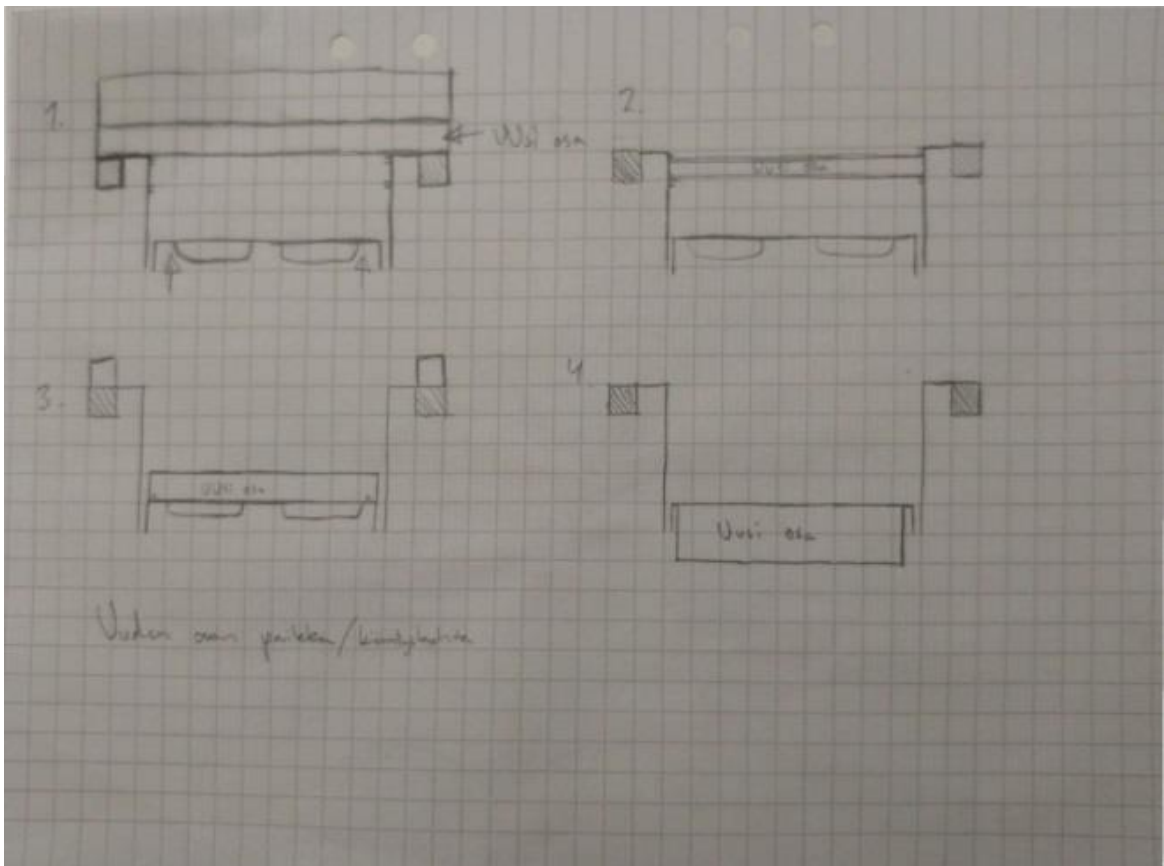
Kuva 9. Laitteen toimintorakenne.

Päätoimi on jaettu kahteen osatoimeen: lisäosan kiinnittäminen Variovac Primukseen ja arkkien muovaukseen. Lisäosan kiinnittäminen laitteeseen on jaettu vielä kahteen osaan: arkkien syöttö koneeseen ja arkkien liikuttaminen muovauspisteeseen. Syöttö on jaettu vielä kahteen osaan: arkkien paikoitukseen ja arkkien kiinnitykseen. Arkkienvuovausta ei varsinaisesti ole jaettu osatoimiin vaan sen yhteyteen on liitetty muovaukseen liittyviä huomioita otettavia asioita.

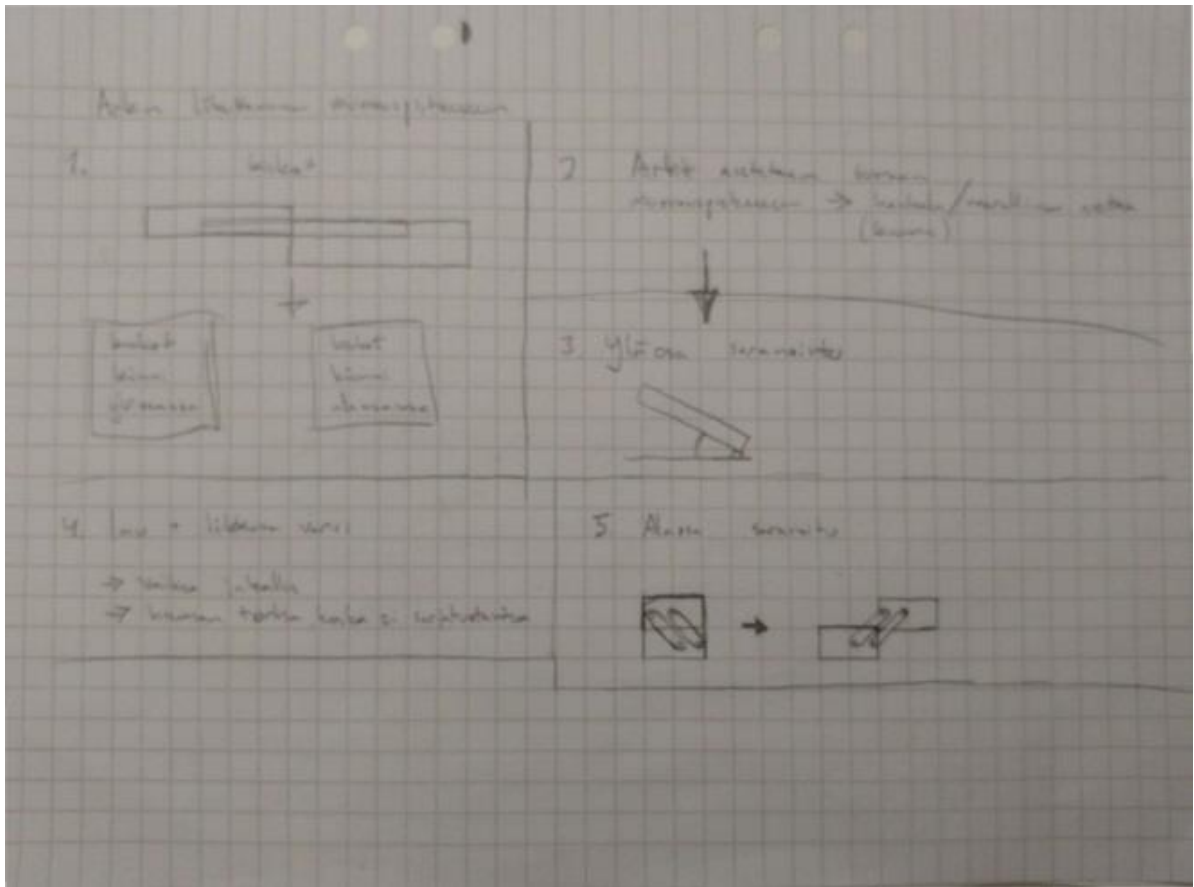
4.4 Osatoiminnot

Toimintorakenteesta löytyy kolme osatoimintoa, jolle lähdettiin kehittämään ratkaisuvaihtoehtoja: Lisäosan kiinnittäminen Variovac Primukseen, arkin liikuttaminen muovauspisteeseen sekä arkkien syöttö koneeseen (eli arkkien paikoitus ja kiinnittäminen).

Osatoimien yksittäisten ratkaisujen keksiminen tehtiin intuitiivisella menetelmällä ja niiden suunnittelu aloitettiin perinteisesti paperille piirtämällä. Kuvissa 12 ja 13 on esimerkkejä alustavista luonnoksista, joiden mukaisia ideoita lähdettiin kehittämään edelleen ja mallintamaan tarkemmin Solidworks –suunnitteluohjelmalla.



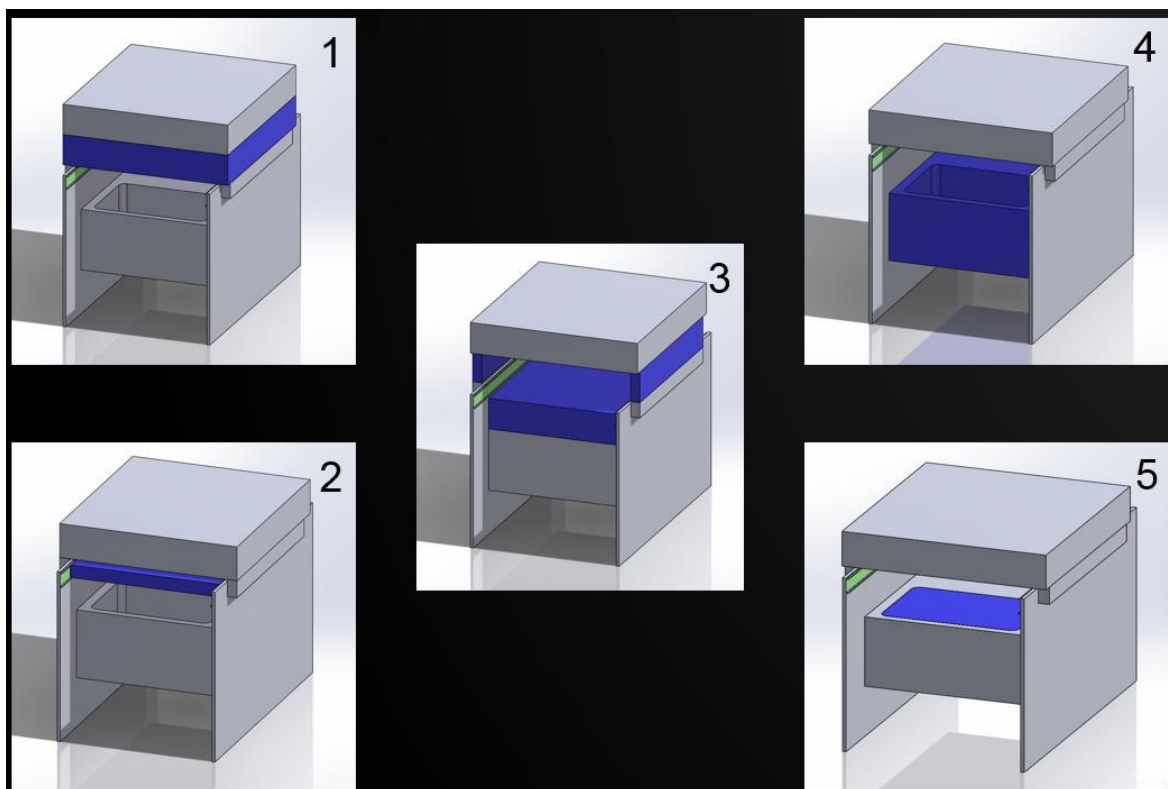
Kuva 10. Luonnoksia uuden laitteen sijoittamisesta Variovac Primukseen.



Kuva 11. Luonnoksia arkin siirtotavasta muovauspisteeseen.

4.4.1 Lisäosan kiinnittäminen Variovac Primukseen

Ensimmäisenä lähdettiin kehittämään ratkaisua lisäosan kiinnittämisestä koneeseen. Lisäosan tuli olla helposti asennettava ja poistettava, jotta normaali käyttö ei vaikeutuisi. Kuvassa 14 on esitetty viisi eri vaihtoehtoa lisäosan kiinnitykselle.



Kuva 12. Vaihtoehdot lisäosan kiinnittämiseen.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa lisäosa kiinnitetään suoraan lämpölevyn alle. Tässä vaihtoehdossa on hyvänä puolena helppo integrointi nykyiseen laitteeseen, sillä se voitaisiin kiinnittää käyttäen samoja ruuveja, millä lämpölevykin kiinnitetään. Huonoina puolina on lämmönsiirto lämpölevystä arkkiin, koska arkin tulee olla lisälaitteen alapinnan tasolla, jotta muovaus onnistuu. Lisäksi arkin asetus koneeseen saattaisi olla haastavaa.

Toisessa vaihtoehdossa lisäosa kiinnitetään Variovac Primuksen sisäseiniin. Tämä vaihtoehto sisältää samat ongelmat kuin edellinenkin ja lisäksi sen kiinnittäminen olisi huomattavasti vaikeampaa ja hitaampaa. Kammion nostomekanismin säätömahdollisuuksista riippuen tämä tapa ei saata olla edes mahdollinen (jos kammio nousee aina vakiomatkan ei välissä voi olla mitään).

Kolmannessa vaihtoehdossa lisäosa kiinnitetään suoraan kammion päälle. Tässä vaihtoehdossa hyvinä puolina on asennuksen ja paikoituksen helppous. Lisäosan paikoitus onnistuisi kammion reunoilla olevien piikkien (käytetään materiaalin paikallaan pitämiseen tavallisessa käytössä) avulla ja se pysyisi myös paikallaan niiden avulla. Lämpölevylle

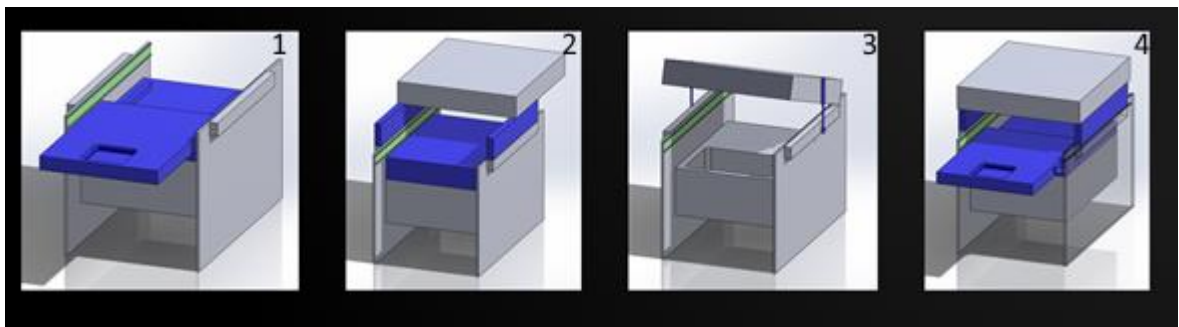
pitäisi tehdä korotuspalat, jotka olisivat saman paksuiset kuin lisäosa. Tämä toisi toki lisää valmistettavia osia ja nostaisi hieman valmistuskustannuksia. Sekä lisäosa, että korokepalat olisivat kuitenkin helppo asentaa ja poistaa.

Neljännessä vaihtoehdossa koko kammio uusittaisiin. Hyvänä puolena tässä on, että uudesta osasta saa juuri sellaisen kuin haluaa. Lisäksi muotin ja lämpölevyn etäisyys pysyisi samana kuin tavallisessa prosessissa, jolloin toiminta olisi tältä osin taattu. Huonoina puolina ovat korkeat valmistuskustannukset ja lisäosan hidas/vaikea asentaminen ja poistaminen Variovac Primukseen

Viidentenä vaihtoehtona on lisäosan asentaminen suoraan muottikammioon. Hyvinä puolina on helppo asennus ja poisto sekä pieni koko (auttaa varastoinnissa). Huonoina puolina on arkin asettaminen muovauspisteeseen (riippuen siirtotavasta) ja mahdollisesti vaikea arkin kiinnittäminen. Hyvänä puolena on myös se, että lämpömuovauslaitteeseen ei tarvitsisi tehdä muutoksia vaan lisäosa menisi paikoilleen samalla tavalla kuin nykyiset muotit eli kammioon laskemalla.

4.4.2 Arkin siirto muovauspisteeseen

Arkin siirtäminen muovauspisteeseen otettiin osatoimeksi, koska arkin käsin asetteleminen muovauspisteeseen olisi hankalaa ja mahdollisesti vaarallista. Arkin käsin muovauspisteeseen asettamisesta tekee hankalaa se, että arkki pitäisi pujottaa muotin ja lämpölevyn väliin. Tällöin on myös vaara, että käsi osuu kuumaan lämpölevyyn. Kuvassa 15 on esitetty ratkaisuvaihtoehtoja arkin siirrolle.



Kuva 13. Ratkaisuvaihtoehtoja arkin siirrolle.

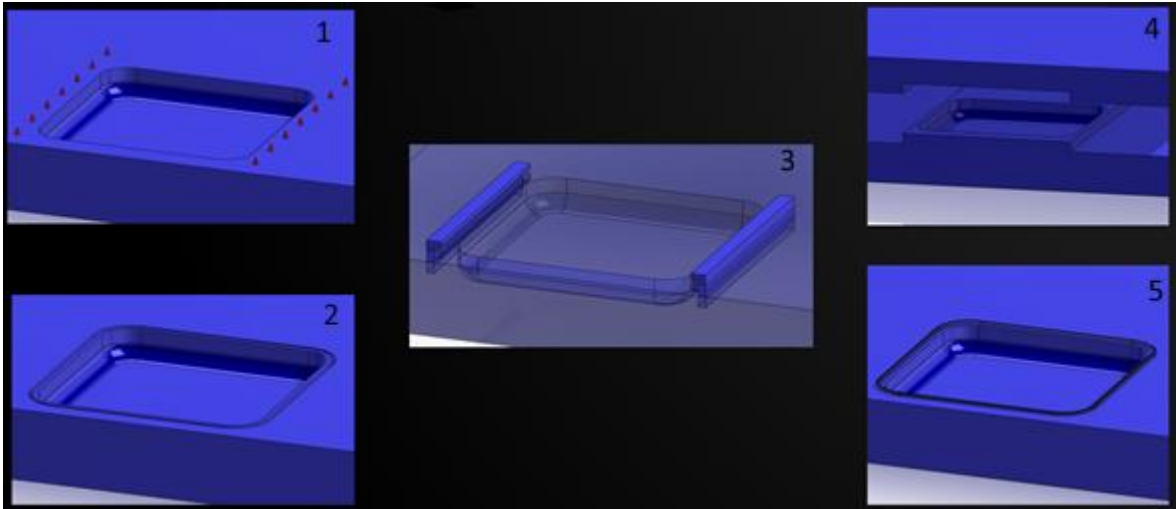
Ensimmäisessä ratkaisuvaihtoehdossa lisäosaan asennetaan kiskot, joiden avulla muotti liikkuu lämpölevyn (ei kuvassa) alta eteenpäin, jolloin arkki voidaan helposti asettaa paikalleen. Hyvinä puolen tässä ratkaisussa olisi helppokäyttöisyys. Huonoina puolina on mahdolliset ongelmat tiivistyksen kanssa sekä muotin sijoittaminen (liikkuuko kiskojen mukana vai ei).

Toisessa vaihtoehdossa lämpölevy itsessään liikkuu. Kuvassa levy on korotuspalojen päällä, mutta se voitaisiin toteuttaa myös ilman niitä. Hyvinä puolena tässä ratkaisussa on se, että levy liikkuu jo valmiiksi kevyesti edestakaisin, kun sitä paikallaan pitävät pultit irrotetaan. Jos ratkaisu tehdään korokepalojen kanssa, siitä tulee monimutkaisempi, sillä silloin tarvitaan joko kiskosysteemi tai korokepalojen pitää olla pitkät, jotta levy voi liukua vapaasti niiden päällä. Molemmissa tapauksissa levyn kiinnitys pitäisi käytön helpottamiseksi muuttaa jonkinlaista pikalukitusta hyödyntäväksi. Myös levyyn menevät johdot ja niiden pituus tulee ottaa huomioon tätä vaihtoehtoa suunniteltaessa.

Neljännessä ratkaisussa siirto tapahtuu saranoilla (hieman samantapaisesti kuin esimerkiksi työkalulaatikossa). Hyvinä puolina on helppokäyttöisyys ja parempi tiiveys kuin esimerkiksi kiskojen avulla toteutetussa ratkaisussa. Siirtyvä yläosa saattaa kuitenkin olla painava liikuttaa riippuen materiaalista ja siitä liikkuuko muotti mukana vai ei.

4.4.3 Arkin paikoitus ja kiinnitys

Arkin paikoitus on tärkeää, jotta muovausprosessi tapahtuu oikein. Jos arkki ei ole kunnolla muotin kohdalla, voi muovaus epäonnistua. Jos arkki on esimerkiksi hieman sivussa niin, että se ei peitä koko muottia, ei vakuunsa pääse syntymään. Myös arkin kiinnitys on tärkeää, että se ei irtoa kesken muovausprosessin tai että se ei liiku ilmavirran voimasta, kun muovauskammio nousee lämpölevyyn kiinni. Kuvassa 16 on esitetty ratkaisuvaihtoehtoja arkin kiinnittämiseen.



Kuva 14. Ratkaisuvaihtoehtoja arkin kiinnittämiseksi.

Vaihtoehdossa yksi arkin paikoitus ja kiinnitys tapahtuisi piikkien avulla, jotka lävistävät arkin reunat. Piikkien avulla arkki pysyy hyvin paikallaan, mutta arkin asetus piikkeihin voi olla ikävää. Jos taas arkki vain lasketaan piikkien päälle ja annetaan piikkien lävistää se, kun muovauskammio nousee ylös saattaa se ilmavirran vaikutuksesta liikahtaa. Tässä ratkaisussa lämpölevyn pinnalle pitäisi lisätä levy, jossa on kolot piikkejä varten. Tämä saattaa haitata lämmönsiirtoa ja mahdollisesti lämpölevyn lämmönmittauksen tarkkuutta (anturit eivät mittaa lisälevyn lämpötilaa).

Ratkaisussa kaksi muotin ympärillä on ura ja lämpölevyssä on vastakappale, joka painaa arkin uraan ja näin pitää sen paikallaan. Tämän ratkaisu vaatii lämpölevyyn tulevan lisäosan ja siinä on samat ongelmat kuin piikkiratkaisussa. Uran avulla arkki olisi tasaisesti kiinnitetty muotin jokaiselta puolelta.

Kolmannessa ratkaisussa arkki pujotetaan kahden sisään painuvan kiinnikkeen alle. Kun muovauskammio nousee lämpölevyä vasten painuvat kiinnikkeet alas ja pitävät arkin paikoillaan. Kiinnikkeiden alla on jouset, jotka nostavat kiinnikkeet ylös, kun muovausprosessi on valmis ja kammio laskeutuu alas. Tässä ratkaisussa hyvänä puolena on, että se ei tarvitse lämpölevyyn kiinnitettävää lisäosaa ja että arkki on helppo asettaa oikealle paikalleen kiinnikkeiden avulla. Tämä ratkaisu on kuitenkin monimutkaisempi valmistaa kuin edelliset. Lisäksi kiinnikkeet saattavat jättää jälkiä tai muuten vahingoittaa lämpölevyn pintaa.

Neljännessä vaihtoehdossa yläosa ja alaosa taivuttavat yhteen painuessaan arkin reunat, jolloin se ei pääse liikkumaan. Tässä ratkaisussa on samat ongelmat kuin vaihtoehdossa kaksi. Tämä on kuitenkin helpompi ja halvempi valmistaa.

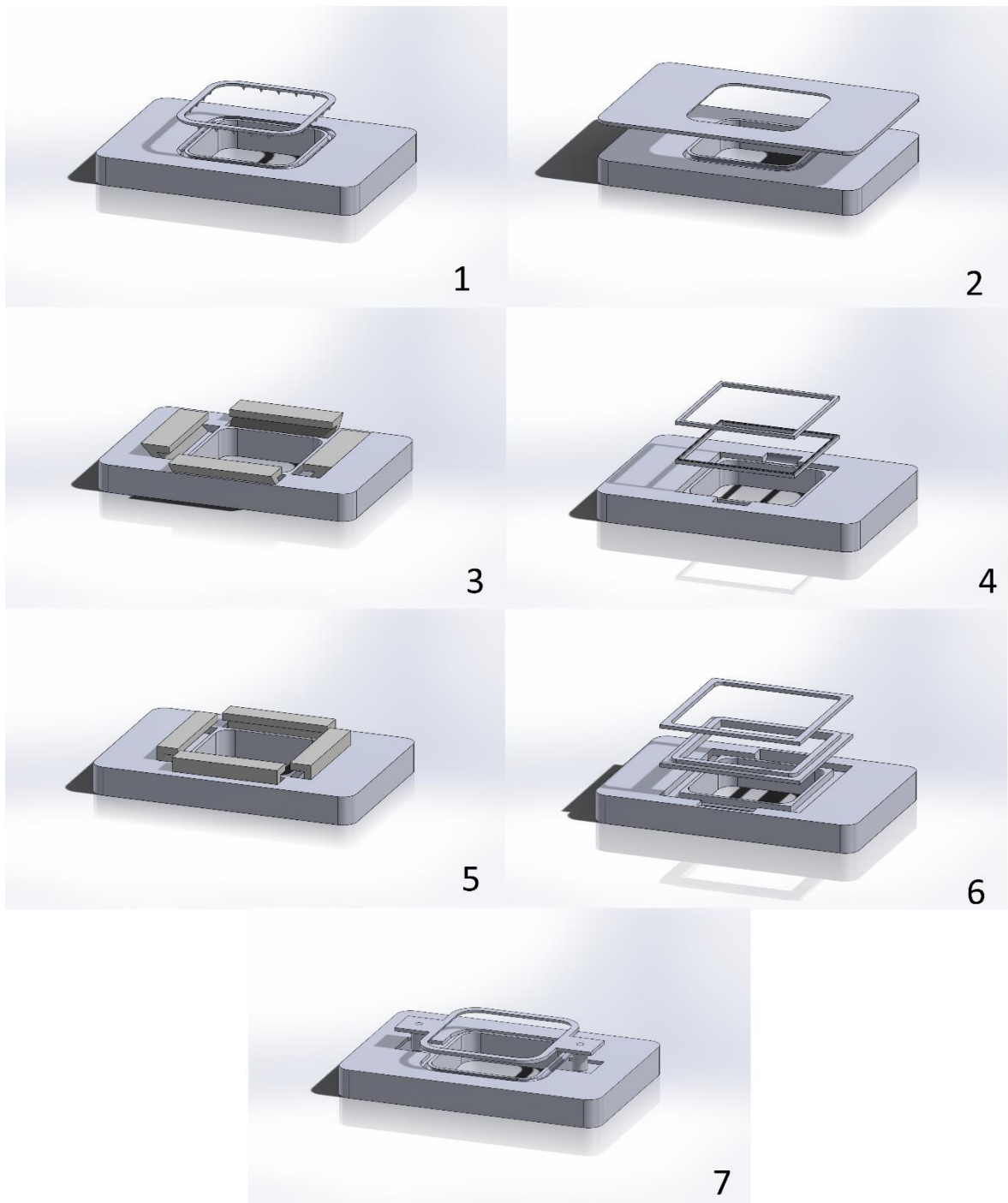
Viidennessä ratkaisuvaihtoehdossa muotin ympärille tulee silikonireuna (tai vastaava tiiviste). Tarkoituksena on, että tiivisteeseen muodostama kitka pitää arkin paikallaan. Tämäkin ratkaisu olisi siitä hyvä, että se ei vaadi lämpölevyyn tulevaa lisäosaa ja se olisi helppo valmistaa. Kysymysmerkkinä on arkin paikallaan pysyminen.

4.5 Ratkaisuvaihtoehtojen karsiminen

Edellä esitetyt ratkaisuvaihtoehdot käytiin läpi palaverissa asiakkaan kanssa. Palaverin tarkoituksena oli lyödä lukkoon osatoimintojen ratkaisuvaihtoehdot tai osa niistä, jotta yksityiskohtaisempi suunnittelu voisi alkaa. Lisäosan kiinnittämisessä päädyttiin siihen, että paras ratkaisu olisi joko suoraan muovauskammioon mahtuva tai sen päälle tuleva laite. Arkin siirto muuttuikin lämpölevyn siirroksi, sillä huomattiin, että lämpölevyn mutterit irrottamalla levy liukuu kevyesti reunojen päällä. Näiden huomioiden kautta päädyttiin siihen, että lisäosa tulee muovauskammion sisään ja siirto tehdään lämpölevyä siirtämällä ja kehittämällä siihen pikakiinnitykset. Arkin kiinnitykselle tehtäisiin vielä uudet ratkaisuvaihtoehdot, jotka kaikki soveltuisivat muovauskammioon sijoitettavalle laitteelle. Lisäksi sovittiin, että arkin kiinnityksen pitää tapahtua kaikilta neljältä sivulta, jotta se vastaa tarkemmin tavallista lämpömuovauslaitteen muovausprosessia.

4.6 Muovauskammioon tulevan arkinkiinnityksen ideoiminen

Kun oli selvillä, että laite sijoitetaan suoraan muovauskammioon ja että siihen päästään käsiksi lämpölevyä siirtämällä, aloitettiin kiinnitykselle kehittämään uusia tälle ratkaisumallille soveltuvia vaihtoehtoja. Yhdeksi suunnittelun lähtökohdaksi otettiin myös se, että lämpölevyn alle ei tarvitse kiinnittää lisäosaa (näin lämmönsiirto tai lämmönmittaus ei häiriinny). Kuvassa 17 on esitelty uudet (osa myös vanhojen paranneltuja versioita) vaihtoehdot kiinnitykselle.



Kuva 15. Muovauskammioon soveltuvat arkinkiinnitys ideat.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa kiinnitys tapahtuu piikeillä varustetun kehyksen avulla. Arkki asetetaan muotin päälle, jonka jälkeen kehys painetaan arkin päälle. Kehyksen alapuolella on urat, johon arkki ja kehys uppoavat. Piikkien avulla arkki pysyy hyvin kiinni, eikä pääse liikkumaan nostovaiheessaan. Arkin paksuutta ei ole otettu huomioon, mikä saattaa paksumpien materiaalien kohdalla aiheuttaa ongelmia kehyksen ja lämpölevyn kontaktin

kanssa. Kehyksen irrottaminen ja pois ottaminen saattaa olla vaikeaa, jos se painuu kunnolla uraansa.

Toisessa ratkaisussa arkin kiinnitys tapahtuu koko laitteen kokoisen levyn avulla. Levy painaa arkin alas ja muotin reunoja kohti nouseva kieleke pitää arkkiä paikoillaan (taittavat arkkiä hieman, jotta se ei luistaisi vs. levy ja laitteen pinta olisivat suorat). Koska levy menee kokonaan kammion sisään, on se vaikea nostaa pois, kun prosessi on valmis. Jos muovattavan materiaalin paksuus muuttuu paljon saattaa levyn pinta jäädä joko kammion pinnan ylä- tai alapuolelle. Tämän voi toki ratkaista tekemällä useamman paksuisia levyjä.

Kolmas vaihtoehto on hieman samanlainen, mitä käsiteltiin jo aikaisemmin kappaleessa 4.4.3 Arkin paikoitus ja kiinnitys. Siinä kiinnikkeet painuvat kammion noustessa alas osuessaan lämpölevyyn. Poiketen edellisestä ideasta, tässä kiinnikkeet nousevat hieman vinosti, jonka ansiosta arkin voi asettaa suoraan paikoilleen ilman, että sitä pitää pujottaa kiinnikkeiden alle. Myös tässä ratkaisussa kiinnikkeiden alla on jouset, jotka palauttavat ne ylös. Ratkaisun toiminen on kuitenkin epävarmaa johtuen kulmasta, jossa kiinnikkeet liikkuvat. Kiinnikkeet saattavat jättää myös naarmuja tai muita jälkiä lämpölevyyn. Viides vaihtoehto on täsmälleen sama kuin kappaleessa 4.4.3 Arkin paikoitus ja kiinnitys paitsi, että siinä on neljä kiinnikettä kahden sijaan.

Neljännessä mallissa arkki kiinnitetään erilliseen kehykseen, joka sitten lasketaan muovauskammiossa olevalle paikalleen. Kehyksessä on pieni ura ja vastakappaleessa sitä vastaava muoto, mitkä pitävät arkin paikallaan. Koska reunojen yli menevä arkki ei pääse menemään mihinkään, pitäisi kehys mitoittaa juuri halutun arkin kokoiseksi. Uuden arkin vaihtaminen on hieman hitaampaa kuin, muissa ratkaisuissa, mutta se voitaisiin ratkaista tekemällä useita kehyksiä, joihin arkki laitetaan valmiiksi. Kun prosessi on valmis, koko kehys vaihdetaan. Koska arkki on kehyksen keskellä ei se tule suoraan lämpölevyä vasten, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia lämmityksessä.

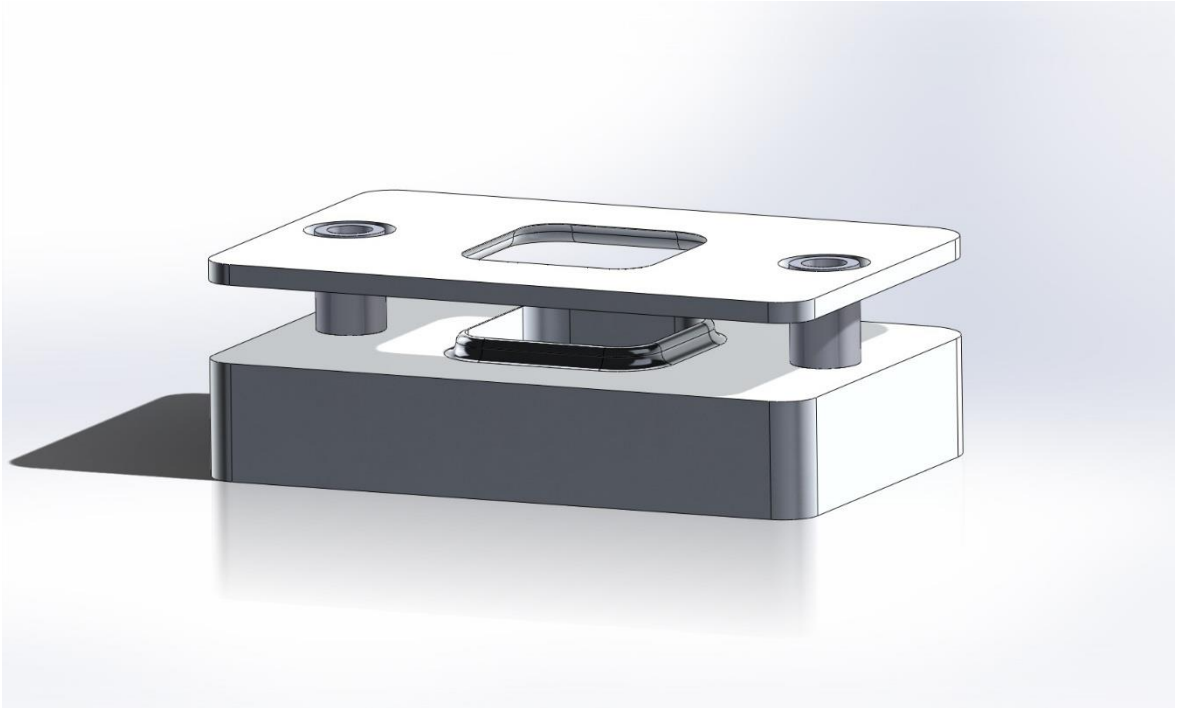
Myös kuudennessa mallissa on käytetty kehys ideaa, mutta se on toteutettu hieman eri tavalla. Tässä versiossa arkin pinta tulee kehyksen pinnan tasolle. Näin ollen se saadaan suoraan lämpölevyä vasten ja prosessi muistuttaa enemmän alkuperäistä. Muuten idea toimii samalla tavalla kuin edellinenkin.

Seitsemännessä ratkaisumallissa arkin alas painava kehys liikkuu kahden johteen varassa. Johteiden alle tulee jouset, joiden avulla kehys nousee ylös, kun muovausprosessi on valmis. Myös tässä ratkaisussa on huonona puolena se, että kehys saattaa jättää lämpölevyyn jälkiä painuessaan sitä vasten. Lisäksi arkki voi liikkua, kun kammio nousee ylös koska se ei ole vielä siinä vaiheessa kiinni. Arkin asetus ja sen pois ottaminen on kuitenkin helppoa ja työvaiheen toistaminen nopeaa. Jos arkki on isompi kuin kehys tulevat sen reunat ylös urasta, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia (arkki voi taittua useampaan kerrokseen, jolloin yläpuolen puhallus ei saata toimia).

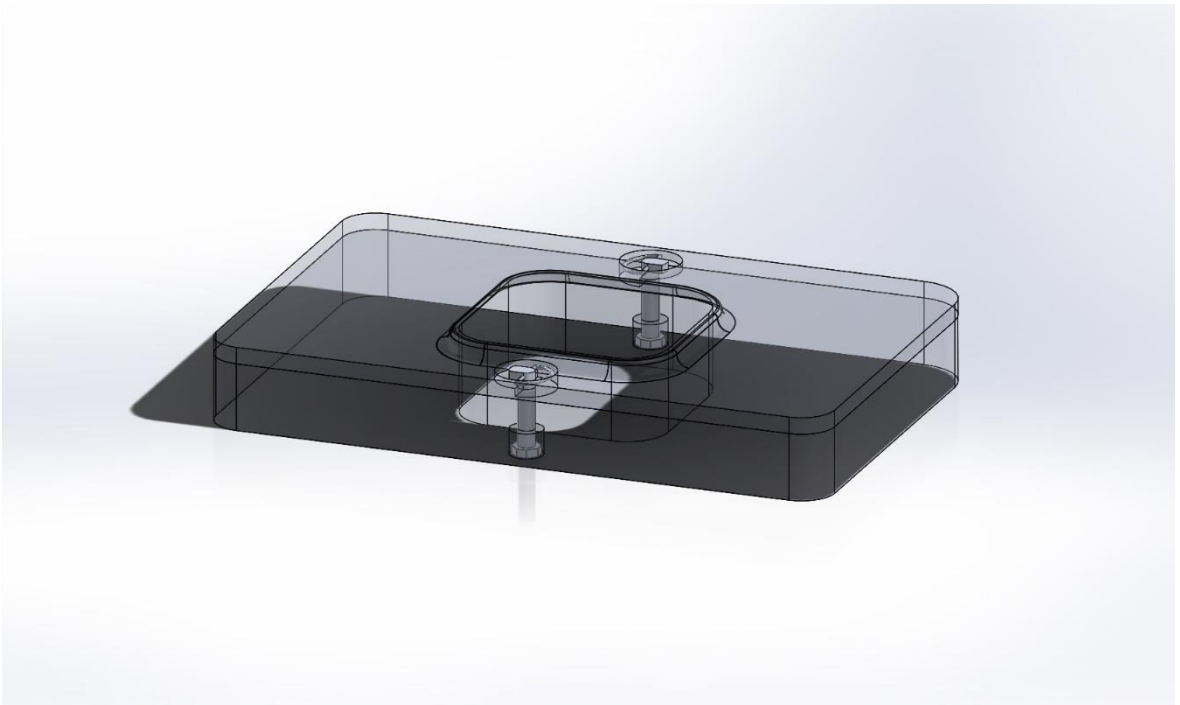
Näiden seitsemän mallin hyvät ja huonot puolet käytiin läpi palaverissa työn ohjaajien Ville Lemisen ja Antti Pesosen kanssa. Palaverissa päädyttiin heti hylkäämään vaihtoehdot 3 ja 5, koska ne ovat mekaanisesti vaikeimmat toteuttaa ja niiden toimivuudesta ei ole takeita (lisäksi niiden mahdollisesti haitallinen kontakti lämpölevyyn karsi ne pois). Irrotettavat kehykset karsittiin, koska niiden vaihtaminen voi olla hidasta ja aihion pitää olla tarkan mittainen. Lopulta päädyttiin tekemään yhdistelmä malleista 2 ja 7. Näistä molemmista saadaan hyvät puolet ja huonot vähenevät. Päätettiin myös, että kehys tulee saada kiinnitettyä ennen kuin muovauskammio nousee, jotta aihio pysyy paikallaan eikä toisekseen nousu riko uuden laitteen johteita.

4.6.1 Kehyksen lukitus

Kehyksen lukitukselle kehitettiin kaksi vaihtoehtoa, jotka on esitetty kuvissa 18 ja 19. Vaihtoehdossa yksi (kuva 18) kehys painetaan alas ja johteiden sisässä olevat kuulalukitustappit lukittuvat paikalleen, kun kehys on tarpeeksi alhaalla. Kun lukitustappien päällä olevia nappeja painetaan, niiden lukitus avautuu ja johteiden alla olevat jouset nostavat kehyksen ylös. Vaihtoehdossa kaksi (kuva 19) kehys painetaan alas, jonka jälkeen muotin molemmin puolin olevat salvat käännetään kehyksen päälle ja tämä lukitsee sen paikoilleen.



Kuva 16. Kuulalukitustapeilla tehty kiinnitys.

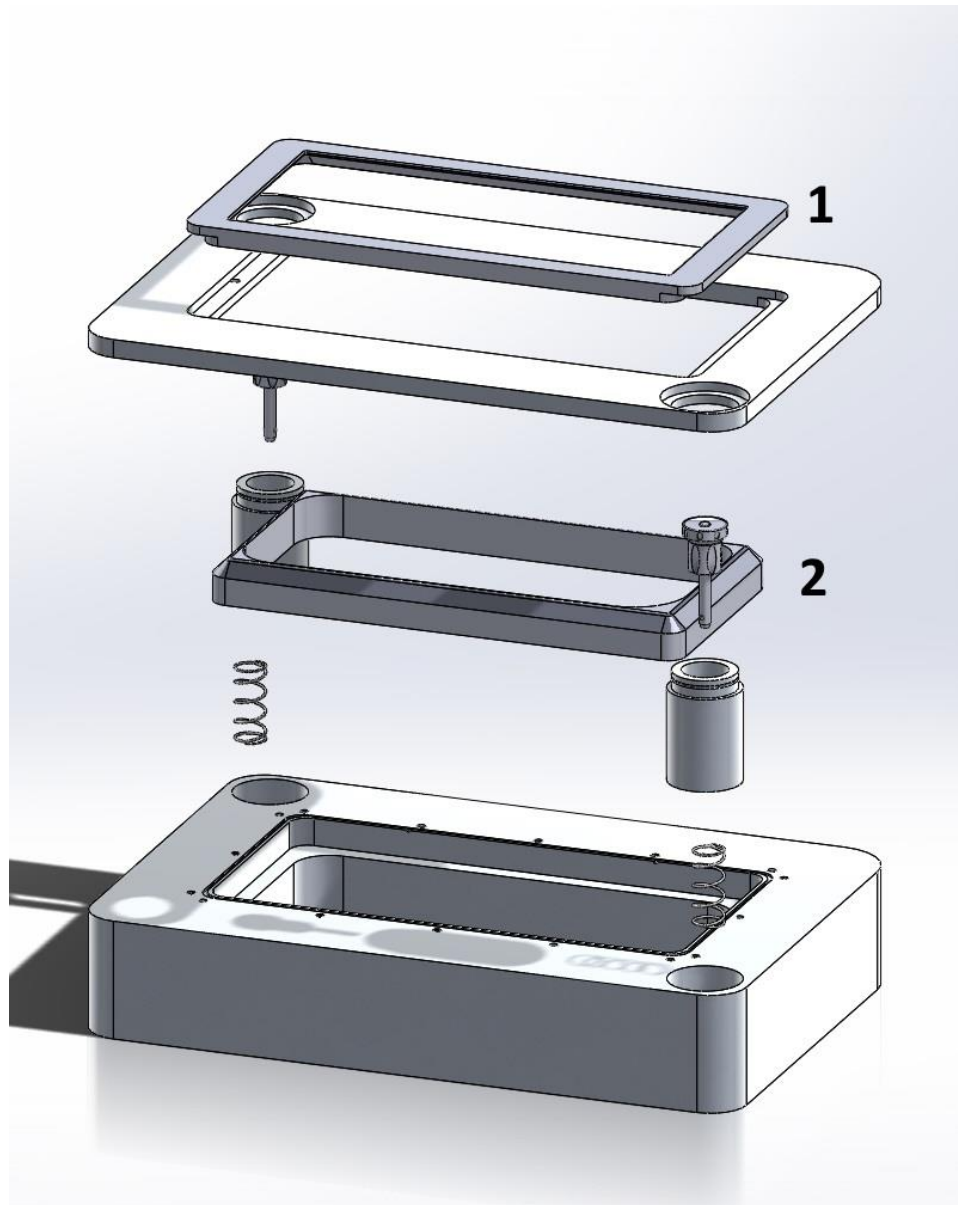


Kuva 17. Salvoilla tehty kiinnitys.

Näistä kahdesta mallista päädyttiin kuulalukitustapeilla tehtävään kiinnitykseen, koska sen käyttäminen on helpompaa: se on helpompi lukita, koska lukitus tapahtuu vain kehyksen alas painamalla. Lisäksi siinä laitteen pohjalevyyn tarvitsee tehdä vähemmän koneistusta, koska lukitus on johteiden kanssa samassa kohtaa.

4.7 Modulaarinen rakenne

Koska laitteella halutaan ajaa kahta arkkikokoa, halutaan myös, että siinä olisi useampi erikokoinen muotti. Yksi muotti olisi laboratorioarkille ja yksi isommalle arkille. Tämän takia modulaarinen rakenne olisi hyvä, jottei eri arkeille tarvitsisi valmistaa kokonaan uutta laitetta vaan pelkkä muotinvaihto riittäisi. Laitteeseen kehitettiin ratkaisu, jossa kahta osaa vaihtamalla saadaan muotin kokoa vaihdettua uudesta laboratorioarkille suunnitellusta muotista Variovac Primuksessa valmiiksi olevalle 3.1 muotille. Modulaarinen rakenne selviää kuvasta 20, jossa se on esitetty räjäytyskuvan avulla.



Kuva 18. Osittainen räjäytyskuva laitteesta.

Kuvassa 20 näkyvät osat 1 ja 2 pitää vaihtaa, jotta muottikokoa voidaan vaihtaa. Molemmat osat on helppo asentaa ja poistaa: osa 1 kiinnittyy ruuvien avulla kansiosaan ja osa 2 lasketaan paikalleen pohjaosassa olevaan koloon. Laitteen pohjaan tulevasta osasta tehdään tarvittavan korkea, jotta muottia voidaan laskea alas ja näin ollen saadaan syvempiä vuokia ilman syvempää muottia. Sama ratkaisu on käytössä Variovac Primuksessa alkuperäisellä muovausmenetelmällä. Modulaarisuuden tuominen laitteeseen lisää sen hintaa muun muassa lisääntyvien osien takia, mutta se on kannattavaa, jotta useampaa muottia voidaan käyttää. Myös mahdollisten uusien muottien suunnittelu on halvempaa, koska koko laitetta ei tarvitse uusia.

4.8 Lämpölevyn siirto

Lämpölevy siirretään pois muovauskammion ja lisäosan päältä, kun uusi arkki asetetaan muovauspisteeseen ja valmis vuoka otetaan pois muovauspisteestä. Lämpölevy pääsee liukumaan lämpömuovauslaitteen päällä, kun sen kiinnitysruuvit on avattu. Sen liikettä rajoittavat laitteen reunat ja siihen kiinnitetyt letkut ja johdot. Johdot ja letkut ovat niin pitkiä, etteivät ne vastusta lämpölevyn siirtämistä, kun sitä siirretään pois päin linjan tuotantosuunnasta. Näin ollen niille ei tarvitse tehdä tässä tapauksessa mitään. Jos käytön aikana huomataan, että johdot kääntyvät lämpölevyn eteen huonosti sitä liikuttaessa, pitää ne esimerkiksi sitoa kiinni tai niiden pituutta voidaan muuttaa sopivaksi.

Lämpölevy on tällä hetkellä kiinni laitteessa neljällä pultilla: yksi jokaisessa kulmassa. Kun laitetta käytetään normaalissa tuotannossa ei levyä tarvitse siirtää ja tämä kiinnitystapa on hyvä. Arkkeja muovatessa niiden syöttö on kuitenkin suunniteltu käsin tapahtuvaksi ja paikallaan oleva lämpölevy voi haitata arkin paikalleen asettamista ja olla myös mahdollinen vaaratekijä, jos käsi osuu kuumaan levyyn. Tämän takia levyä pitää siirtää, kun uusi arkki asetetaan ja valmis vuoka otetaan pois muovauspisteestä.

Levyn kiinnitys on tarkoitus toteuttaa siipiruuvien avulla, jotka ovat hieman lyhyemmät kuin nykyiset mutterit. Kun käytetään siipimuttereita, ei avaamiseen ja sulkemiseen tarvita erillistä työkalua. Lyhyemmillä ruuveilla on tarkoitus nopeuttaa kiinnittämistä ja avaamista, jotta koko muovausprosessin kesto ja näin ollen laitteen jatkuva käyttö ei hidastu turhaan. Ruuvien ja lämpölevyn väliin voi myös laittaa pienet jouset, jotka nostavat ruuveja ylös, kun ne eivät ole kierrettynä kiinni. Näin niitä ei tarvitse ottaa pois lämpölevystä joka irrotuksen yhteydessä.

Ruuvien toimivuus käytännössä huomataan vasta, kun kone on toiminnassa ja sitä on testattu tarvittava aika. Jos kuitenkin todetaan, että ruuvit ovat liian hidat/vaivalloinen kiinnitys on olemassa mahdollisuus tehdä salpakiinnitys. Levyssä on sivuilla reiät, joihin kiinnitetyillä ruuveilla levy voidaan nostaa pois lämpömuovauslaitteen päältä. Sivuille tulevien ruuvien avulla voidaan tehdä salpakiinnitys, jossa salvat laitetaan Variovac Primuksen reunoihin kiinni ja niillä vedetään lämpölevy kiinni. Kiinnityksen suunnittelua vaikeuttaa se, että lämpölevyyn ei voi porata lisää reikiä, koska se saattaa vahingoittaa sitä.

4.9 Materiaalin valinta

Materiaalin valinnassa tulee ottaa huomioon laitteen käyttö ja olosuhteet, jossa laitetta käytetään. Käytössä laitteen materiaalin valintaan vaikuttaa siihen kohdistuvat voimat ja kuinka paljon se lämpenee tai tarvitseeko sen kestää vettä tai muita olosuhteita. Muovauskammio ja tämänhetkiset muotit on tehty alumiinista, ja Variovac Primuksen runko on tehty ruostumattomasta teräksestä.

Lujuuden puolesta materiaalille ei ole erityisiä vaatimuksia, koska laitteeseen ei kohdistu sellaisia voimia, jotka voisivat aiheuttaa muutoksia rakenteeseen. Suurin rajoittava tekijä lämpömuovauslaitteen puolelta on lämpö, jonka lämpölevy aiheuttaa. Muovauskammiossa on jäähditys, jotta muotit pysyvät viileinä. Tämä sama jäähditys pitää myös suunnitellun laitteen viileänä. Lisäksi laite on suunniteltu koko muovauskammion kokoisen muotin mukaan, jossa on pieni välilyönti kammioon nähden. Tämän ansoista pieni lämpölaajeneminen ei haittaa, sillä se ei saa laitetta juuttumaan kammioon. Jotta laitteen kannen pituus muuttuisi 1mm tarvitsisi sen lämmittää yli 120 K (lasku esitetty liitteessä I). Jäähdytyksen ja pienen kontaktiajan takia näin suuria muutoksia ei kuitenkaan pääse käymään.

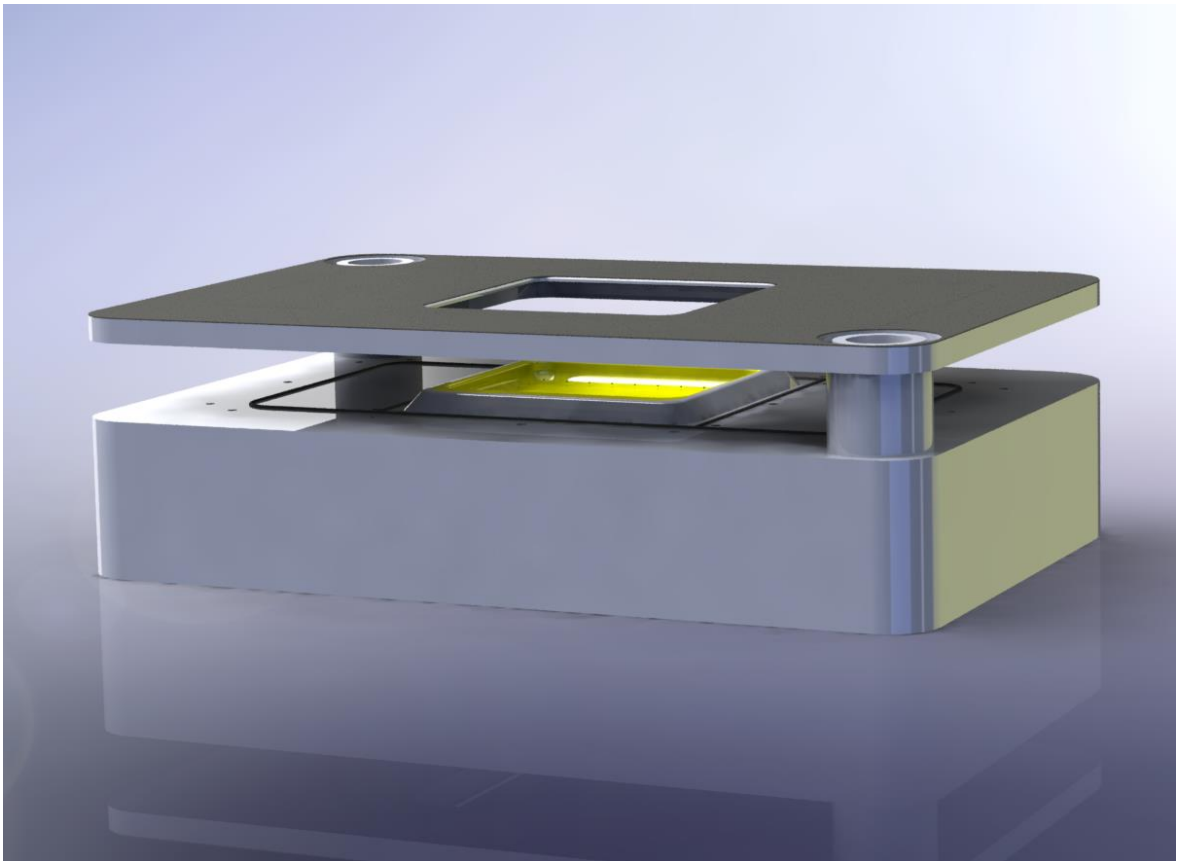
Materiaalin tulee olla korroosion kestävä, sillä kammiossa olevan jäähdytyksen takia muottien pinnalle (tai tässä tapauksessa laitteen pinnalle) tiivistyy kosteutta. Tämä sulkee tavalliset teräkset pois materiaalinvalinnasta. Variovac Primus on pestävissä esimerkiksi painepesurilla ja on kokonaisuudessaan vedenkestävä ja korroosionkestävä. Myös tämän takia suunniteltavan laitteen on hyvä olla näitä molempia.

Laite on tarkoitettu asentaa kammioon käsin ilman apuvälineitä. Jotta tämä onnistuisi helposti on laitteen oltava tarpeeksi kevyt. Jos laite tehdään teräksestä, painaisi se 39,2 kg ja jos se tehtäisiin alumiinista, painaisi se 13,4 kg. Alumiinilla on huomattava etu massan suhteen, mikä helpottaa laitteen asennusta ja liikuttamista. Tämä ja vaatimus korroosionkestosta puoltavat alumiinin käyttöä laitteen materiaalina. Alumiinin käyttö myös nopeuttaa koneistamista ja vähentää koneistuksessa syntyviä kappaleen vääntymisiä. Varsinkin kansi ja yläkehys olisi vaikea koneistaa teräksestä, koska ne ovat niin ohuita, että teräksen sisäiset jännitykset voisivat vääntää kappaletta.

Edellä mainittujen seikkojen takia materiaaliksi valittiin siis alumiini. Tarkempi alumiinilaadun valinta perustuu hintaan, korroosionkestoon ja koneistettavuuteen. Tarkka materiaalin valinta tapahtuu vasta, jos laite valmistetaan ja se perustuu osittain myös siihen mitä materiaaleja koneistuksen hoitavalla konepajalla on käytettävissä. Sopivia alumiini laatuja olisivat esimerkiksi 6000-sarjan alumiinit, koska niillä on hyvä lastuttavuus ja korroosionkesto.

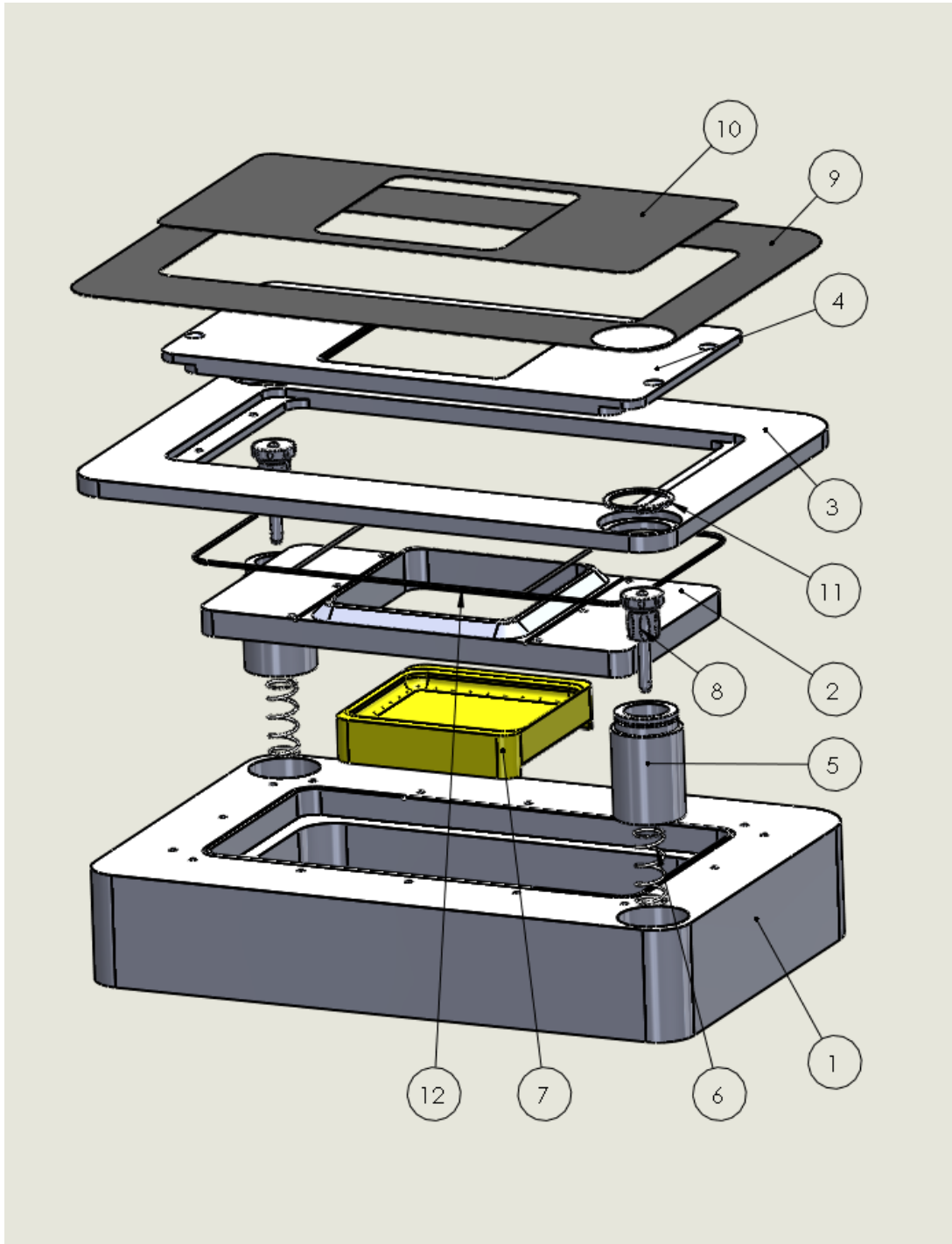
4.10 Valmis laite

Kuvassa 21 on esitetty valmis laite, jossa on uuden muotin vaatimat modulaariset osat ja uusi laboratorioarkin muovaamiseen tarkoitettu muotti. Kuvassa näkyy Variovac Primuksen muovauskammioon asennettava laite ilman lämpölevyä ja sen kiinnittämiseen tarvittavia osia.



Kuva 19. Valmis kammioon tuleva laite.

Kuvassa 22 on esitetty räjäytyskuva laitteesta ja siitä selviää tarkemmin laitteen eri osat ja osien lukumäärä. Räjäytyskuva osaluettelon kanssa on myös esitetty liitteessä II.

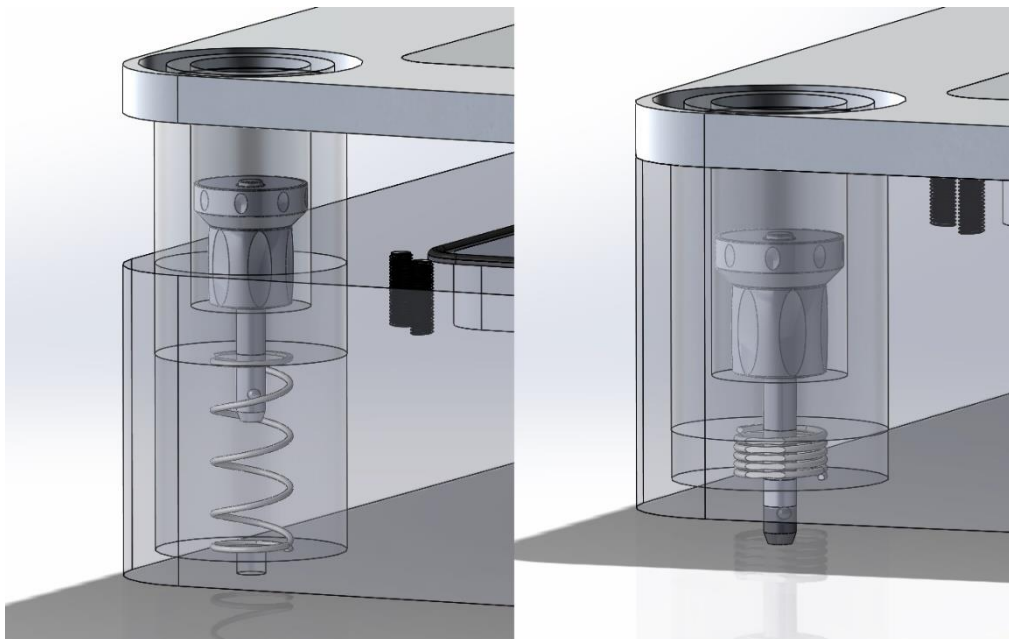


Kuva 20. Räjäytyskuva.

Kuvasta puuttuvat ruuvit (sekä yläkehysten kiinnittämiseen tarvittavat, että pohjaan tulevat pidätinruuvit), mutta kaikki muut osat ovat esillä. Osat 1-5 ja 7 ovat koneistettavia ja loput ovat standardiosia. Yhteensä laitteessa on 16 osaa (ruuvit lukuun ottamatta). Laite painaa noin 14 kg ja on 75mm korkea. Asennus ei vaadi erityisiä työkaluja tai ohjeita, vaan on hyvin virtaviivainen, kuten räjäytyskuvasta näkyy. Kansi on kiinni johteissa varmistinrenkailla ja yläkehys on kiinni kannessa ruuveilla. Kansi johteineen lasketaan pohjassa oleviin reikiin, joissa on jouset.

4.10.1 Kannen lukitus

Kannen lukitus ja avaus tapahtuvat lukitustappien avulla, jotka ovat kantta nostavien johteiden sisällä. Kuvassa 23 on esitetty lukitustappien asento niin lukitussa kuin avonaisessa tilassa. Lukitustapeista pitää poistaa pieni uloke, joka on tarkoitettu ulosvetonarun kiinnittämiseen. Tämä on tehty sen takia, että johteen halkaisijaa ei tarvitsisi suurentaa, mikä taas puolestaan pienentäisi muiden osien kokoa ja näin ollen saattaisi jopa estää 3.1 muottien käytön.



Kuva 21. Kansi auki ja kiinni.

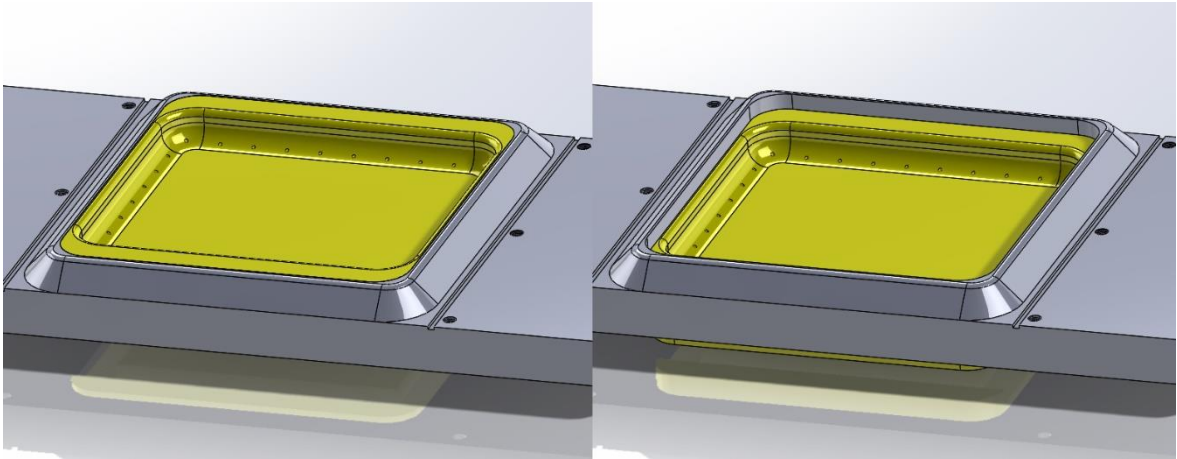
Kun kansi suljetaan, painetaan se alas. Kun kansi on alhaalla, painetaan kuulalukitustapit alas ja ne lukittuvat paikoilleen. Kun kansi halutaan vapauttaa, painetaan kuulalukitustappien nappia ja johteen alapuolella olevat jouset nostavat kannen ylös. Jouset on mitoitettu niin, että ne jaksavat nostaa kannen ylös, mutta eivät ole liian tiukat painaa käsin alas. Kuulalukitustappien korkeus on säädettävissä niissä olevan kierteen avulla (kuva 24s). Säädöllä saadaan mukautettua pohjan ja kannen väli sopimaan eripaksuisiin materiaaleihin.



Kuva 22. Säädettävät kuulalukitustapit (Halder 2018)

4.10.2 Muotti ja sen vaihto

Muotin varsinaista muotoa ei ole päätetty, vaan se voidaan valita tarpeen mukaan sitten, jos laite valmistetaan. Muotin ulkomitat on kuitenkin suunniteltu, joten pelkän halutun muodon suunnittelu riittää. Muotin korkeuden säätö tapahtuu samalla tavalla kuin tälläkin hetkellä eli sen alapuolella olevia korotuslevyjä vaihtamalla. Korkeutta voidaan säätää noin 20 mm (kuva 25). Muotin alapuoli on suunniteltu niin, että muotissa olevat reiät eivät tukkeudu, kun se asetetaan paikalleen.

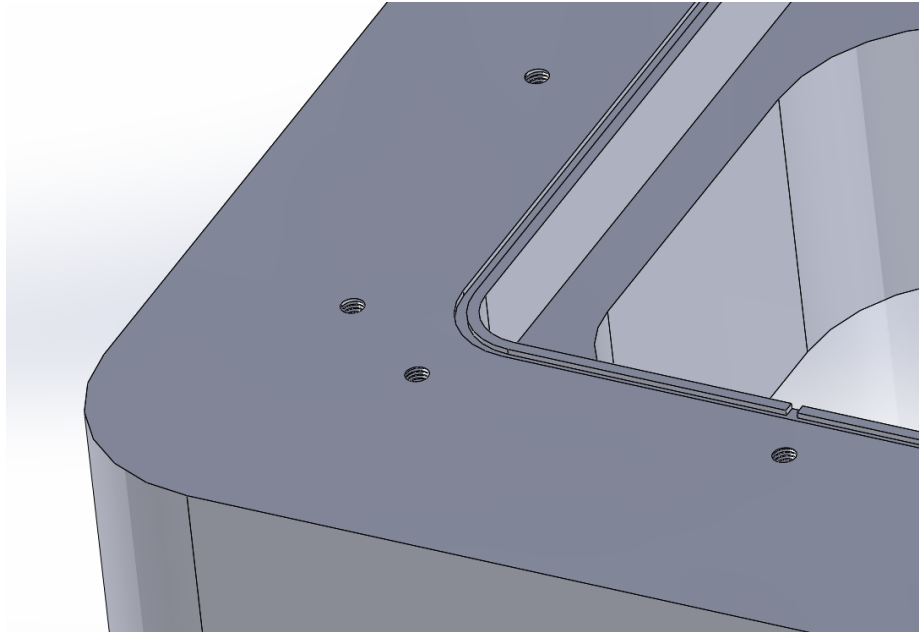


Kuva 23. Muotin syvyyden säätö.

Muottia voidaan vaihtaa ilman muiden osien vaihtoa, jos se on ulkomitoiltaan samankokoinen kuin nykyinen muotti. Jos siis halutaan samankokoisia, mutta eri muotoisia pakkauksia riittää pelkän muotin vaihto. Jos taas halutaan käyttää isompaa muottia (kuten valmista 3.1 muottia) pitää laitteen ylä- ja alakehykset vaihtaa. Isomman muotin asennus ja korkeudensäätö toimivat samalla tavalla kuin pienemmässäkin.

4.10.3 Arkin paikoillaan pitäminen

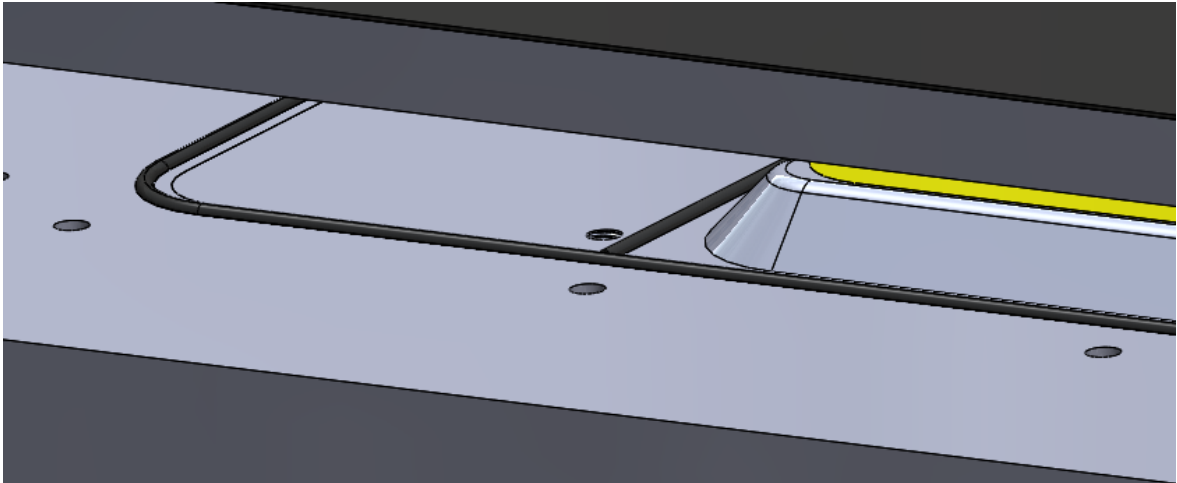
Arkki pysyy paikoillaan alas painettavan kannen avulla. Kehyksien muoto pitää arkin paikoillaan, että se ei lähde liikkeelle, kun muovaus tapahtuu. Alakehyksen muoto on suunniteltu niin, että se ei leikkaa arkkia, kun kansi painetaan paikalleen. Tämä on tehty tarpeeksi loivalla kulmalla ja pyöristyksillä. Jos käytössä huomataan, että arkki ei pysy paikoillaan muovauksen aikana on pohjassa ja alakehyksessä paikat pidätinruuveille (Kuva 26), jotka voidaan laittaa paikoilleen. Nämä lävistävät arkin, kun kansi painetaan alas ja pitävät sen paikoillaan.



Kuva 24. Pidätinruuvien paikat.

4.10.4 Tiivisteet

Laitteessa on tiivistenauha arkin paikoillaan pitävän muodon ympärillä, mikä estää ilman pakenemisen arkin reunoilta. Pohjaan on tehty ura tiivistenauhalle (kuva 27). Laboratorioarkki ei riitä toisesta suunnasta pohjan tiivisteeseen asti, jonka takia myös alakehykseen on tehty ura tiivistenauhaa varten. Laitteen kannen päälle tulee silikonista valmistettu matto, jonka tarkoituksena on tiivistyksen lisäksi estää lämpölevyn naarmuuntuminen tai vahingoittuminen kontaktista. Jos käytössä havaitaan, että kammion reunoilta ilma pääsee pakenemaan, voidaan päällä olevaa tiivistettä suurentaa niin että se tulee kannen ja kammion reunojen yli.



Kuva 25. Arkin alle tuleva tiiviste.

4.10.5 Modulaariset osat ja niiden vaihto

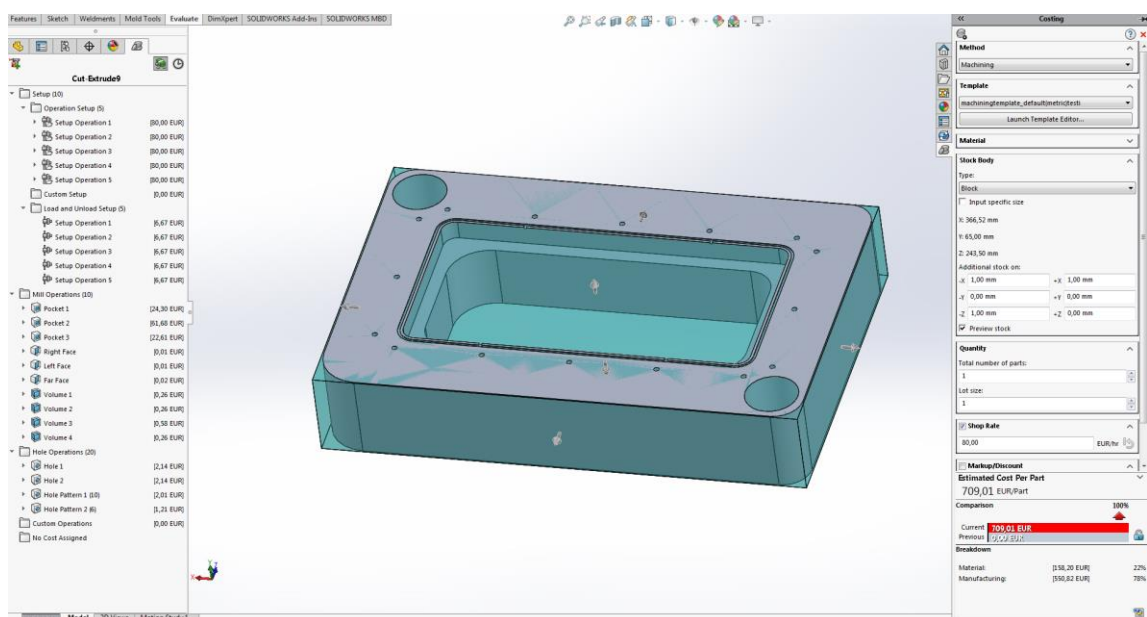
Jotta laitteella voidaan käyttää lämpömuovauslaitteen 3.1 muottia pitää siitä vaihtaa sekä ylä- että alakehys. Ala kehys nostetaan vain pois pohjasta ja uusi laitetaan paikoilleen. Alakehysten vaihtoon ei tarvita työkaluja. Yläkehys on kiinni kannessa kahdella ruuvilla puoleltaan. Rajoituksena uusien muottien suunnittelulle on kehysten koko. Muuten muodolla ja koolla ei ole väliä. Jos laitteeseen tehdään uusia muotteja ja tätä myöten kehysiä tulee niihin muistaa tehdä pidätinruuvien paikat, mikäli muovattava arkki ei yllä pohjassa oleviin pidätinruuveihin.

4.11 Kustannusarvio

Kustannusarvio koostuu sekä koneistettavien osien valmistuskustannusten arviosta, että ostettavien osien jälleenmyyntihintojen selvittämisestä. Koneistuksen hinnat ovat arvioita, jotka on saatu Solidworks Costing lisäosalla, ja ostettavien osien hinnat ovat kuluttajahintoja (molemmat ovat alv 0 %). Hinnat on laskettu pelkästään uutta muottia varten tehtäville osille. Myös uuden laboratorioarkeille tarkoitetun muotin hinta on arvioitu Solidworksin avulla, mutta se voi käytetystä muottigeometriasta ja toleransseista johtuen muuttua paljonkin. Suuntaa antavana hintana voidaan kuitenkin käyttää Solidworksin lisäksi aiemman 3.1 muotin hintaa, joka oli noin 1800€. Jotta Variovac Primukselle jo olevaa 3.1 muottia voidaan käyttää, tarvitsee laitteeseen vaihtaa muotin kehys sekä pohjaan että kanteen. Näiden hintaluokan voi olettaa olevan sama kuin uuden muotin kehysten eli noin 2500 – 3000 €.

Ostettavien standardiosien hinnat on etsitty eri nettikaupoista ja kuulalukitustappien tapauksessa on pyydetty tarjouspyyntö maahantuojalta. Hinnat ovat pelkästään osille itselleen eikä niissä ole mukana mahdollisia toimituskuluja tai vastaavia. Liitteessä IV on esitetty ostettava tuote, tuotteen tiedot, ja jälleenmyyntiliike. Ostettavien standardiosien yhteishinta on noin 500 €, josta suurin yksittäinen osuus tulee kuulalukitustapeista.

Koneistettavien osien kustannusarviot on tehty Solidworksin Costing lisäosan avulla. Se arvioi osan valmistuskustannukset tarvittavien toimenpiteiden (esimerkiksi jyrsintä, sorvaus), materiaalikustannusten ja koneistuksen tuntihinnan avulla. Se laskee aihioista poistettavan ainemäärän mukaan koneistuksen keston ja sen perusteella hinnan. Se ottaa myös huomioon tarvittavan kappaleen asetteluun ja kiinnittämiseen menevän ajan. Kuvassa 28 on esitetty esimerkkinä pohjan kustannusarvion Solidworks analyysi. Näiden hinnan se laskee annetuilla koneistuksen tuntihinnoilla. Koneistuksen hinnat ovat CNC-koneistuksen tuntihinta arvioita. Yksinkertaisten kappaleiden työstämisen hinnaksi arvioitiin 80€/h ja monimutkaisempien kappaleiden 140€/h. Tässä tapauksessa halvempaa hintaa on käytetty pohjan ja kannen hinnan arviointiin ja kalliimpaa kehyksien ja muotin hinnan arviointiin. Kaikkien osien yhteishinnaksi materiaalikustannukset mukaan lukien tuli noin 5000 – 8000 €. Kalleimmat osat koneistaa ovat kehykset, koska niiden asetteluun ja kiinnittämiseen menee eniten aikaa.



Kuva 26. Esimerkki Solidworksin Costing-lisäosan käytöstä.

5 TULOSTEN ANALYSOINTI

Työn tuloksena saatiin valmis malli laitteesta, jolla voidaan muovata arkkeja Variovac Primus lämpömuovauslaitteella. Laite on kompakti ja se voidaan asentaa ja poistaa käsin. Laitteella saadaan muovattua eri kokoisia arkkeja niin paksuuden kuin pinta-alan puolesta.

Suunnittelu on tehty järjestelmällisen koneensuunnittelun mukaisesti luoden ensin tehtävänasettelu ja vaatimuslista. Näiden pohjalta luotiin toimintorakenne ja osatoiminnot. Osatoiminnoille etsittiin ratkaisuvaihtoehtoja pääasiassa intuition kautta ja nämä ratkaisuvaihtoehdot kerättiin yhteen arviointia varten. Osatoimintojen ratkaisuvaihtoehtojen karsinta käytiin läpi työn ohjaajien kanssa ja parhaat ratkaisut yhdistettiin kokonaisratkaisuksi. Isoa, kaikki ideat kattavaa ideamatriisia, ei tässä tapauksessa tehty, koska osa ratkaisuvaihtoehdoista ei käynyt yhteen vaan ensin piti päättää tietyn osatoiminnon ratkaisu ennen seuraavaa. Esimerkiksi laitteen sijoitus lämpömuovauslaitteeseen piti päättää ennen kuin muita osatoimintoja päästiin ratkomaan.

DFMA pyrittiin huomioimaan suunnittelussa niin, että laitteen osat olisivat helposti valmistettavissa ja että laite olisi helppo kasata. Laitteen osamäärä haluttiin pitää pienenä kokoonpanon helppoutta ajatellen. Kokoonpano onnistuu ilman erikoistyökaluja ja sen pystyy suorittamaan yksi henkilö. Ruuvien ja varmistinrenkaiden asennukseen on jätetty tarpeeksi tilaa ja ne ovat asennettavissa niin, että asentaja näkee koko ajan mitä on tekemässä. Modulaariset eli arkkikokoa muuttaessa vaihdettavat osat on helppo vaihtaa, eikä niiden vaihtaminen vaadi kuin ruuvimeisselin. Modulaarinen rakenne lisäsi osien määrää integroituun nähden, mutta sillä saavutettiin laajempi tuki eri kokoisille arkeille ilman, että koko laitetta tarvitsee suunnitella uudestaan.

Laitteen tulee kestää vettä, koska Variovac Primus on suunniteltu puhdistettavaksi vedellä esimerkiksi painepesurin avulla. Lisäksi muovauksessa laitteen pinnalle saattaa tiivistyä vettä. Kaikki laitteen osat on suunniteltu niin, että ne kestävät vettä eli ne ovat joko alumiinia tai ruostumatonta terästä. Koska laite on muovausprosessin aikana lämpölevyä vasten, tulee sen kestää lämpöä noin 200 °C asteeseen asti. Lämpölaajeneminen ei ole kuitenkaan ongelma lyhyen kontaktiajan ja kammiossa olevan jäähdytyksen takia.

Suunnittelun tavoitteena oli saada myös laite, jota voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti soveltaa mekaaniseen muovaukseen (mäntämuovaus). Tämä onnistuu tällä laitteella, koska laite tulee muovauskammion tasoon. Jotta mäntämuovausta voitaisiin käyttää, pitäisi siihen kuitenkin tehdä suunnitellulle laitteelle soveltuva muovauspää. Muuten käyttö olisi samanlaista kuin vakuumin kanssa.

Laitetta käyttäessä lämpölevyä tulee siirtää, kun arkki asetetaan laitteeseen ja otetaan pois. Levyn kiinnitys tapahtuu ruuveilla. Työssä päädyttiin korvaamaan olemassa olevat ruuvit lyhyemmillä siipiruuveilla, joita voi kiertää käsin. Tämä nopeuttaa avaamista ja kiinnittämistä tavallisiin ruuveihin nähden. Lämpölevyn lukitusta voidaan kehittää käyttökokemusten perusteella paremmaksi, jos havaitaan siipiruuvit huonoksi vaihtoehdoksi.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli tutkia, miten kaupallista lämpömuovauskonetta (Variovac Primus) voidaan käyttää arkkien muovaukseen, rullalla olevan materiaalin sijaan. Työssä päädyttiin suunnittelemaan laite, joka voidaan asentaa Variovac Primukseen ja poistaa siitä niin, että lämpömuovauslaite toimii molemmissa käyttötarkoituksissa. Työn teoria osuudessa perehdyttiin systemaattiseen koneensuunnitteluun ja tuloksista huomataan, että laitteen suunnittelu on tapahtunut tämän työvaiheita seuraten.

Haasteita suunnitteluun toivat alussa puuttuvat valmistuspiirustukset Variovac Primuksesta, mutta ratkaisumallissa, johon päädyttiin ei näitä lopulta tarvittukaan kuin muovauskammion osalta. Myös muovauskammion tarkat mitat ja jo olemassa olevien muottien hyödyntäminen rajoittivat ja toivat lisähaastetta suunnitteluun. Toisaalta nämä olivat myös hyväksi, sillä ne asettivat suunnittelulle konkreettiset rajat, joita noudattaa.

Tavoitteena oli, että lämpömuovauslaitteella voitaisiin muovata laboratorioarkkeja ja sitä hieman isompia arkkeja. Suunnitelulla laitteella molemmat onnistuvat. Myös eripaksuisia arkkeja voidaan muovata säädettävän lukituksen ansoista. Laitteen rakenteesta tehtiin modulaarinen, jotta isompien arkkien muovaus onnistuisi ilman, että koko laite pitäisi valmistaa uudelleen. Modulaarisuuden avulla laitteeseen voidaan myös suunnitella ja tehdä uusia muotteja kolmea osaa vaihtamalla.

Tuloksissa esitetty valmis malli vaikuttaa toimivalta, mutta tämä selviää vasta, jos se oikeasti valmistetaan. Käytössä huomataan mahdolliset puutteet ja muutosta vaativat kohdat. Yksi epävarmuustekijä on lämpölevyn lukitseminen ja sen toteutusta voidaan kehittää paremmaksi käyttökokemusten perusteella. Jatkokehityskohteita ovat paremman kiinnityksen lisäksi uudet muotit ja mahdollinen soveltaminen muihin vastaaviin laitteisiin.

LÄHTEET

Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. 2002. Product Design for Manufacture and Assembly. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press. 698 s.

Budynas, R., & Nisbett, J. 2011. Shigley's Mechanical Engineering Design. Yhdeksäs painos. New York: McGraw-Hill. 1088 s.

Börklü, H., Yüksel, N., Çavdar, K., Sezer, H. 2018. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.10.2018].

Saatavissa: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jamdsm/12/2/12_2018jamdsm0036/_article

Childs, P. 2014. Mechanical Design Engineering Handbook. Boston: Butterworth-Heinemann. 817 s.

Engelmann, S. 2012. Advanced thermoforming: methods, machines and materials, applications and automation. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 335 s.

Eskelinen, H. & Karsikas, S. 2013. DFMA-opas: valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelu. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 115 s.

Finnvacum 2018. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.10.2018]. Saatavissa: <https://www.finnvacum.fi/koneet/pakkaaminen/syvavetokoneet/17/variovac-primus>

Halder 2018. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.10.2018]. Saatavissa: <https://www.halder.com/fi/Tuotteet/Standardiosat/Kone-ja-laiteosat/Kuulalukitustapit/Kuulalukitustapit-itselukittuva-saeaedettaevae-kiinnityspituus>

Järvi-Kääriäinen T., Ollila M. 2007. Toimiva pakkaus. Helsinki: Hakapaino Oy. 313 s.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy. 263 s.

Malmqvist, J., Axelsson, R., Johansson, M. 1996. A Comparative analysis of the theory of inventive problem solving and the systematic approach of Phal and Beitz. Göteborg: Chalmers University of Technology

ManufacturingET 2018. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.10.2018]. Saatavissa: <http://www.manufacturinget.org/home/tech-3421-manufacturing-processes-ii/forming-and-molding-plastics/>

Ngatilah, Y., Pulansari, F., Ernawati, D., Pujiastuti, C., Parwati, C., Prasetyo, B. 2017 [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.10.2018]. Saatavissa: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/953/1/012235/pdf>

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus pain. 608 s.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K. H. 2007. Engineering design: A systematic Approach. Translated from German and edited by Ken Wallace & Lucienne Blessing. London: Springer-Verlag. 617 s.

Soroka, W. 1996. Fundamentals of packaging technology. Leicestershire: The Institution of Packaging. 463 s.

Tuomaala J. 1995. Luova koneensuunnittelu. Tampere: Tammertekniikka. 287 s.

Kannen lämpölaajenemisen laskeminen

$$\Delta l = \alpha l_1 \Delta T$$

$$\rightarrow \Delta T = \frac{\Delta l}{\alpha l_1}$$

$$\rightarrow \Delta T = \frac{1 \text{ mm}}{22 * 10^{-6} \frac{1}{K} * 364,52}$$

$$\rightarrow \Delta T = 124 \text{ K}$$

$$\Delta l = 1 \text{ mm}$$

$$\alpha = 22 * 10^{-6}$$

$$l_1 = 364,52 \text{ mm}$$

LIITE III

Ostettavat osat

Osa	Tuotenimi	Kpl	Jälleenmyyjä
Tiivistenauha	OR-nauha 2,0mm	1 m	eshop.tiivistekeskus.fi
Varmistinrenkas	DIN 471 35x1,5mm	2	eshop.tiivistekeskus.fi
Kuulalukitustappi	Halder 22380.0606	2	www.tanreco.fi
Tasotiiviste	RX Silicon 300x200x1	2	eshop.tiivistekeskus.fi
Pidätinruuvi	M4x12	21	www.kiertokanki.com
Jousi	22300	2	www.jouset.com