

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotekehityksen koulutusohjelma

Tarmo Lonka

PIKAMALLINNUKSEN HYÖDYNTÄMINEN RUISKUVALUTUOTTEIDEN
SUUNNITTELUSSA

Case: Produal Oy

Opinnäytetyö 2011

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa tuotekehitysinsinöörin tutkintoa varten. Työn toimeksiantajan on Produal Oy, jossa työni valvojana on toiminut tuotekehitysjohtaja Timo Hytönen. Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa työni ohjauksesta on vastannut osaamisalapäällikkö Markku Huhtinen ja työn käytännön osuudessa projektipäällikkö Ari Haapanen. Kiitokset heille kaikille saamastani ohjeistuksesta ja tuesta joiden avulla sain työni valmiiksi.

Työn käytännön osuuden lopputuloksena syntyneet mallit ovat salaisia. Tästä syystä kuvat malleista on sisällytetty liitteisiin, joita ei julkaista.

Kouvola 7. marraskuuta 2011

Tarmo Lonka

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotekehitys

LONKA, TARMO

Pikamallinnuksen hyödyntäminen ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa, Case: Produal Oy

Insinööri työ

49 sivua + 24 liitesivua

Työn ohjaaja

Osaamisalapäällikkö, Markku Huhtinen

Toimeksiantaja

Produal Oy, Timo Hytönen

Maaliskuu 2011

Avainsanat

ruiskuvalu, pikamalli, suunnittelu

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu on mukana viiden muun suomalaisen ammattikorkeakoulun ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa Rocket-kehittämiprojektissa. Projektin osahankkeena on tutkia ja kehittää pikamallinnustointaa. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia pikamallien hyödyntämistä ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa.

Työssä käydään läpi ruiskuvalutekniikan ja pikamallinnuksen perusteet, sekä pikamallien hyödyntämistä tuotesuunnittelun välineenä. Työn käytännönsuudessa valmistettiin yritykselle valmiiden konseptimallien pohjalta uusien säädinkoteloiden kansien mallit pikamallinnusta hyväksikäyttäen. Kansien lopullinen valmistusmenetelmä tulisi olemaan ruiskuvalu.

Työn tuloksena todettiin pikamallien käytön ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa olevan perusteltua. Ruiskuvalutuotteiden pikamallinnus mahdollistaa moniulotteisten kappaleiden valmistamisen, johon perinteisillä mallitekniikoilla ei päästä. Pikamallien avulla voidaan hakea erilaisia ulkonäkövariaatioita helposti, nopeasti ja halvalla. Niiden avulla lopullisen tuotteen esittely ja hyväksyttäminen asiakkaalla on helpompaa, kuin pelkkien kuvien perusteella. Pikamallien avulla voidaan testata tuotteen osien sopevuutta toisiinsa, sekä jo olemassa oleviin osiin. Niillä saadaan esiin helposti mahdolliset suunnitteluvirheet. Tuotetta pystytään siis tutkimaan ja esittelemään monitahoisesti, ennen kuin kalliita muottikustannuksia on päässyt syntymään.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Product Development

LONKA, TARMO

Utilization of Rapid Prototyping in Designing Die-Casting Products, Case: Produal Oy

Bachelor's Thesis

49 pages + 24 pages of appendices

Supervisor

Markku Huhtinen, Manager of Departments

Commissioned by

Produal Oy, Timo Hytönen

November 2011

Keywords

rapid prototyping, design, die-casting

The Kymenlaakso University of Applied Sciences takes part in the Rocket development project with five other Finnish universities of applied sciences and the Lappeenranta University of Technology. The objective of part of the project was to explore and develop the rapid prototyping operation. The aim of the thesis is to explore the utilization of rapid prototyping in designing die-casting products.

The thesis focuses on the basics of the die-casting technology and rapid prototyping, and also on utilization of rapid prototypes as a tool of product design. The practical part of the thesis included manufacturing new cover models for control unit cases utilizing rapid prototyping. The final manufacturing method for covers was decided to be die-casting.

As a result of the study it was found that using rapid prototypes in designing of die-cast products is justified. Using rapid prototyping enables manufacturing of multidimensional objects, which cannot be achieved with traditional modeling techniques. With the help of rapid prototyping it is easy, fast and affordable to try out different kinds of variations of appearance. The demonstration of the final product and getting an approval from a customer are easier with rapid prototypes than with bare pictures. Rapid prototypes are also good for testing the fitting of different parts on each other and on the already existing components. This way it is possible to find out the potential flaws in the design and thoroughly study and demonstrate the product before extensive mold expenses have built up.

SISÄLLYS	
TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	2
1 JOHDANTO	7
1.1 Rocket-hanke	7
1.2 Työn tarkoitus	7
2 PIKAMALLINNUS	7
2.1 Pikamallien käyttö	8
2.2 Menetelmät	9
2.2.1 SLA – Stereolitografia	10
2.2.2 SLS – Lasersintraus	11
2.2.3 FDM – Fused deposition modelling	12
2.2.4 LOM – Laminated object manufacturing	13
2.2.5 3D-tulostus	14
2.3 KyAMK:n pikamallinustuslaite	15
3 RUISKUVALU	16
3.1 Historia	16
3.2 Ruiskuvaluprosessi	17
3.3 Ruiskuvalukone	20
3.4 Muotit	27
3.5 Ruiskuvalutuotteiden suunnittelu	28
4 PIKAMALLIEN HYÖDYNTÄMINEN SUUNNITTELUSSA	31
4.1 Käyttökohteet	31
4.2 Pikamallien käytön hyödyt	31
4.3 Pikamallit ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa	32
5 CASE – PRODUAL	33
5.1 Yritys	33
5.2 Työntarkoitus	34
5.3 Lähtökohdat	34

5.4 Kansien mallinnus	35
5.4.1 Tyhjä kansi, versio 1	37
5.4.2 Tyhjä kansi, versio 2	37
5.4.3 Näytöllinen kansi	38
5.4.4 Snap-liitokset	38
5.5 Kansien pikamallien valmistus	40
5.5.1 Viimeistely	42
5.6 Lopputuloksen tarkastelu	42
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	43
LÄHTEET	45
LIITTEET	
Liite 1. Sädinkoteloiden kansien konseptikuvat	
Liite 2. Tyhjä kansi, ensimmäinen raakamalli	
Liite 3. Näytöllinen kansi, ensimmäinen raakamalli.	
Liite 4. Tyhjä kansi versio 1, lopullinen malli	
Liite 5. Tyhjä kansi versio 2, lopullinen malli	
Liite 6. Näytöllinen kansi, lopullinen malli	
Liite 7. Ongelmallinen snap-liitos.	
Liite 8. Uusi snap-liitos	
Liite 9. Valmiit pikamallit	
Liite 10. Viimeistely	

1 JOHDANTO

1.1 Rocket-hanke

Rocket-hankkeen päätavoitteena on metalli- ja koneteknologia-alan yritysten innovaatiotoimintaa ja kansainvälistymistä tukevien verkostojen ja rakenteiden kehittäminen suomalaisiin korkeakouluihin. Hanketta koordinoi Hämeen ammattikorkeakoulu ja mukana ovat myös Turun, Saimaan ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulut, Laurea- ja Metropolia-ammattikorkeakoulut, sekä Lappeenrannan Yliopiston Lahti School of Innovation. Hanketta Rahoittavat Euroopan aluekehitysrahasto ja Päijät-Hämeen liitto. Hanke on suunniteltu kolmivuotiseksi ja sen toteutusaika on 1.11.2009–31.10.2012. Hankkeen kokonaisbudjetti on 1,6 miljoonaa euroa. (1)

1.2 Työn tarkoitus

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Rocket-hankkeeseen liittyvän osahankkeen tavoitteena on tutkia pikamallinnuksen käyttöä tuotesuunnittelussa ja -kehityksessä. Pikamallinnuksen keskeisenä ideana on valmistaa nopeasti ja pienillä kustannuksilla fyysisiä malleja, prototyyppejä, suoraan tietokoneella tehtyjen 3D-mallien pohjalta.

Tämän työn tavoitteena on selvittää käytännössä, kuinka pikamalleja voidaan hyödyntää ruiskupuristustuotteita suunnitellessa. Työssä on käytännön osuus, jossa valmistettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun muotoilun yksikössä olevalla pikamallinnuslaitteella pikamalleja yritykselle.

2 PIKAMALLINNUS

Pikamallinnus on menetelmä, jossa CAD-mallien pohjalta rakennetaan kiinteä, konkreettinen kappale. Menetelmiä on useita, mutta kaikissa perustoimintaperiaate on sama, eli kappale rakentuu ohuista päällekkäisistä kerroksista. Pikamallinnusta kutsutaan myös pikavalmistukseksi. (2, 269)

Pikamalleilla voidaan konkretisoida tietokoneen näytöllä olevat mallit todellisiksi käsinkosketeltaviksi kappaleiksi. Tämä auttaa suunnittelijaa hahmottamaan suunniteltavan tuotteen mittoja ja muotoja, sekä helpottaa löytämään virheitä, joiden havainnointi CAD-mallista on vaikeaa. Pikamalleilla tuotteen havainnollistaminen asiakkaalle tai

muulle suunnitteluryhmälle on myös merkittävästi helpompaa. Pikamalleilla voidaan lisäksi testata tuotteen ulkonäköä, toimintaa ja useamman kappaleen kokoonpanoa. (3)

2.1 Pikamallien käyttö

Hahmomallit

Hahmomallin ei tarvitse täyttää lopullisen tuotteen fyysisiä ominaisuuksia eikä tarkkoja mittoja. Tarkoituksena on hahmotella kappaleen mittasuhteet suunnittelijan avuksi, koska usein ongelmien hahmotus on tietokoneen näytöltä vaikeaa. Pikamalleissa voidaan käyttää karkeinta mahdollista pinnantarkkuutta, jolloin mallin saa nopeammin valmiiksi.

Ulkonäkömallit

Ulkonäkömallit eivät yleensä ole teknisesti toimivia, vaan viimeistelyjä lopullisen tuotteen näköismalleja. Pikamallit viimeistellään käsin tasoittamalla ja maalamalla pinnat. Ulkonäkömalleilla voidaan testata kuluttajatuotteiden haluttavuutta markkinatutkimuksin, esitellä asiakkaalle tai messuilla yleisölle. Niitä voidaan käyttää myös tuote-esitteiden kuvauksissa sekä pakkauksien suunnittelussa ennen kuin lopullinen tuote on edes olemassa.

Toiminnalliset mallit

Pikamalleilla voidaan testata tuotteen mekaanisia toimintoja, sekä osien ja komponenttien yhteensopivuutta kokoonpanoissa. Pikamalleilla voidaan myös suorittaa sähkömagneettisten häiriöiden EMC-testaus. Usein on perusteltua yhdistää ulkonäkömalli ja toiminnallinen malli, jolloin samalla mallilla voidaan tutkia useita asioita. (3)

2.2 Menetelmät

Pikamallilaitteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- tekniset pikavalmistulaitteet
- 3D-toimistotulostimet
- rapid tooling -laitteet

Teknisiä pikamallinnuslaitteita käytetään pääsääntöisesti teollisuudessa. Niissä työskötkeroksen paksuus yleensä 0,1mm:n luokkaa. Käytössä on useita menetelmiä, joissa voidaan saavuttaa hyvä tarkkuus ja myös erittäin pienten mallien valmistus onnistuu tarkasti. Pieniä ja tarkkoja malleja voidaan käyttää muun muassa koruteollisuuden tarpeisiin. Ruiskuvalutuotteet ovat myös tyypillisiä näillä laitteilla mallinnettavia tuotteita.

3D-toimistotulostimet sopivat hyvin toimistoympäristöön, koska niistä ei aiheudu pöly-, haju- tai myrkyhaittoja. Nämä laitteet ovat myös helppokäyttöisiä, eivätkä näin ollen vaadi varsinaista käytön erikoisosaamista tai jatkuvaa valvontaa. 3D-toimistotulostimien mittatarkkuus ja kappaleiden lujuusominaisuudet ovat kuitenkin heikompia.

Rapid tooling -laitteet ovat yleensä samoja laitteita kuin tekniset pikamallinnuslaitteet. Näitä laitteita käytetään valmistamaan työkaluja, joiden avulla itse malli valmistetaan. Esimerkiksi laitteella luodaan muotti tai malli muottia varten. Muotilla voidaan siten valmistaa pieni sarja lopullista tuotetta käyttämällä haluttua materiaalia. (3)

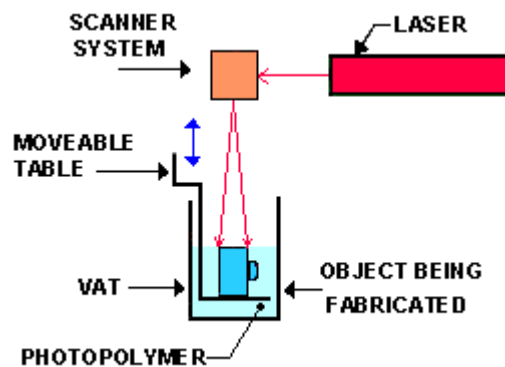
Vaikka laitteistovalmistajia on useita, voidaan laitteiden toimintaperiaatteet kuitenkin jakaa muutamaaan päätyyppiin:

- laserilla tai UV-valolla nestettä kovettavat
- sulasta materiaalista pursottamalla lisäävät
- jauhetta sintraavat

Myös pikamallinnusmenetelmiä on useita erilaisia. Seuraavassa esitellään käytetyimmät menetelmät. Jokaisen menetelmää kuvaavan kappaleen lopussa on taulukko tyypillisistä menetelmän työstöarvoista. Taulukot ovat suuntaa-antavia, koska jokaisella arvot muuttuvat laitevalmistajasta riippuen. Todelliset työstöarvot selviävät halutun menetelmän laitevalmistajalta.

2.2.1 SLA – Stereolitografia

SLA on ensimmäinen pikamallinnusmenetelmä ja edelleen myös yleisin käytössä oleva menetelmä. Menetelmässä kovetetaan lasersäteen avulla nestemäistä valokovetteista polymeeriä kerroksittain. Työskentelytaso sijaitsee nestettä sisältävässä altaassa ja laskeutuu jokaisen kerroksen jälkeen alaspäin, jolloin uusi kerros peittyy nesteeseen. Koneessa oleva lasta pyyhkäisee kerroksen yli varmistaen nesteen leviämisen. Kappaleen valmistuttua tulee sen jälkikovetta UV-valossa, koska muuten se ei pidä muotoaan hyvin. Menetelmä vaatii tukikehikon, joka muodostuu kennostoksi kappaleen alle samasta rakennusaineesta kuin itse kappale. Kovettumattomat aineet ovat myrkyllisiä ja tästä syystä menetelmä vaatii ilmastoinnin. SLA-menetelmän hyviä puolia ovat prosessin yksinkertaisuus ja suhteellinen edullisuus. Menetelmällä tehdyt kappaleet ovat hauraita ja pinnaltaan tahmeita - tosin käytettävät materiaalit kehittyvät koko ajan. Nykyisin tarjolla on muun muassa kovempia lasikuitulujitteisia aineita, sekä termoplastisten muovien ominaisuuksia jäljitteleviä aineita. (3)



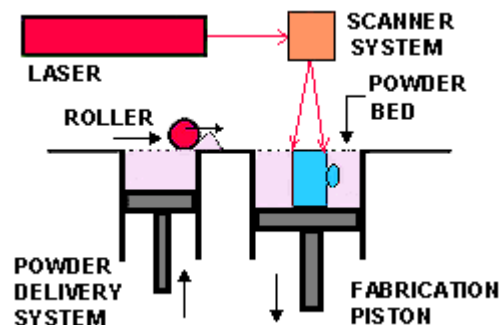
Kuva 1. SLA:n periaatekuva. (4)

Menetelmä	SLA
Materiaalin muoto	Neste
Materiaalit	Kestomuovit
Max. kappaleen koko	1500x750x500mm
Min. yksityiskohtan koko	0,10mm
Min. Kerroksen paksuus	0,025mm
Toleranssi	±0,127mm
Pinnan laatu	sileä
Rakennus nopeus	keskiverto
Käyttökohteet	Muoto/sopivuus/toiminta testaus, esittely mallit, korkean kuumuuden sovellukset, työkalumallit, erittäin pienten yksityiskohtien kappaleet, snap-liitokset

Kuva 2. SLA-menetelmän tyypilliset arvot (5)

2.2.2 SLS – Lasersintraus

SLS-menetelmässä lasersäteellä kovetetaan koneen levittämää hienoa jauhetta. Lopullinen kappale syntyy jauheen sisään haluttuun muotoon. Lasersintrauksella voidaan työstiä muovia, metallia sekä myös elastomeerejä. Menetelmän avulla voidaan valmistaa lähes yhtä lujia kappaleita kuin ruiskuvalulla samaisesta materiaalista tehdyt kappaleet. Tästä syystä menetelmällä tehdyt kappaleet sopivat hyvin ruiskuvalutuotteiden toimintojen testaukseen. Lisäksi menetelmällä voidaan tehdä muotoja, jotka eivät ruiskuvalulla onnistuisi, sekä pieniä sarjoja, jolloin säästetään kalliit muottikustannukset. Metallista voidaan sintrata prototyyppisiä ja osia pikamuotteihin. (3)



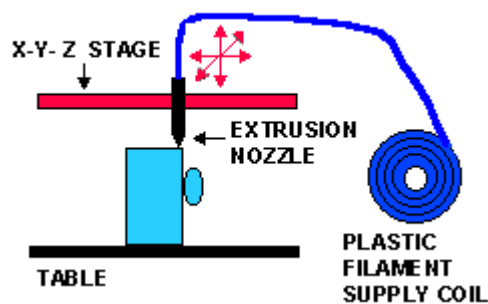
Kuva 3. SLS:n periaatekuva (6)

Menetelmä	SLS
Materiaalin muoto	Jauhe
Materiaalit	Kestomuovit kuten nailon, polyamidi, polystyreeni. Elastomeerit. Komposiitit.
Max. kappaleen koko	560x560x760mm
Min. yksityiskohdan koko	0,127mm
Min. Kerroksen paksuus	0,10mm
Toleranssi	±0,254mm
Pinnan laatu	keskiverto
Rakennus nopeus	nopea
Käyttökohteet	Muoto/sopivuus/toiminta testaus, korkean kuumuuden sovellukset, työkalumallit, vähemmän yksityiskohtaiset kappaleet, snap-liitokset

Kuva 4. SLS-menetelmän tyypilliset arvot (7)

2.2.3 FDM – Fused deposition modelling

FDM-menetelmässä pursotetaan pienen suulakkeen kautta sulaa muovia kerroksittain kappaleen pintaan. Materiaali on yleensä ohuena nauhana kelassa. Työalusta liikkuu jokaisen kerroksen jälkeen alaspäin. Myös FDM-menetelmässä on tarvittaessa tukiaine, joka on vesiliukoista ja sille on oma syöttösuutin. Materiaaleja on käytössä useita kuten, ABS, PA ja vaha. Menetelmällä ei päästä kovin ohuisiin muotoihin, mutta aikaansaadaan kuitenkin kohtalaisen luja lopputulos, jota voi käyttää sellaisenaan tai viimeisteltynä. (3)



Kuva 5. FDM:n periaatekuva. (8)

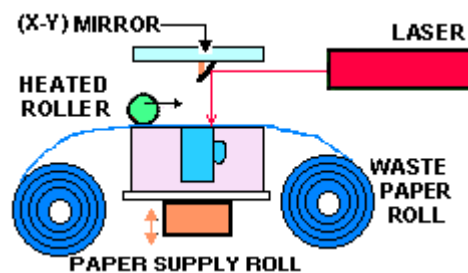
Menetelmä	FDM
Materiaalin muoto	Kiinteä lanka
Materiaalit	Kestomuovit kuten ABS, polykarbonaatti. Elastomeerit
Max. kappaleen koko	915x610x915mm
Min. yksityiskohdan koko	0,127mm
Min. Kerroksen paksuus	0,127mm
Toleranssi	±0,127mm
Pinnan laatu	karkea
Rakennus nopeus	hidas
Käyttökohteet	Muoto/sopivuus/toiminta testaus, esittely mallit, korkean kuumuuden sovellutukset, työkalumallit, pienten yksityiskohtien kappaleet, elintarvike ja lääketieteen sovellutukset

Kuva 6. FDM-menetelmän tyypilliset arvot (9)

2.2.4 LOM – Laminated object manufacturing

LOM-menetelmässä laminoidaan paperia kerroksittain. Kerrokset liimautuvat toisiinsa lämmön ja paineen avulla. Haluttu muoto saadaan aikaan leikkaamalla laserilla. Muodon lisäksi laser leikkaa apuleikkauksia, joiden avulla kappale on helpompi poistaa ympäröivästä ylimääräisestä aineesta. Valmis kappale on hyvin samankaltainen puun kanssa, joten sitä voi työstää samoin kuin puuta, lisäksi se myös turpooa kosteuden vaikutuksesta. Valmiiseen kappaleeseen usein imeytetään hartsia kovuuden lisäämiseksi. Menetelmä on nopea, mutta sillä ei pysty valmistamaan pieniä yksityiskohtia.

(3)



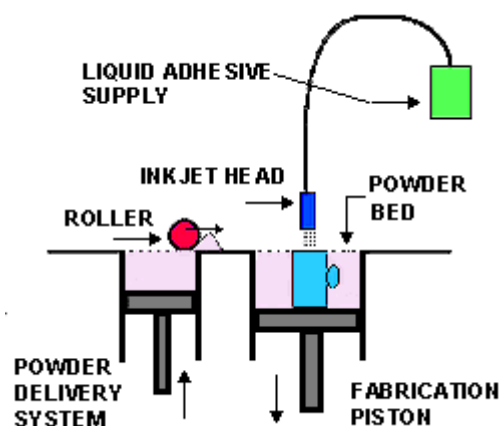
Kuva 7. LOM:n periaatekuva. (10)

Menetelmä	LOM
Materiaalin muoto	kiinteät arkit
Materiaalit	Kestomuovit kuten PVC. Paperi. Komposiitit.
Max. kappaleen koko	585x560x510mm
Min. yksityiskohdan koko	0,203mm
Min. Kerroksen paksuus	0,051mm
Toleranssi	±0,10mm
Pinnan laatu	karkea
Rakennus nopeus	nopea
Käyttökohteet	Muoto/sopivuus testaus, vähemmän yksityiskohtaiset kappaleet, työkalujen valmistus

Kuva 8. LOM-menetelmän tyypilliset arvot (11)

2.2.5 3D-tulostus

3D-tulostuksesta on useanlaisia toimistokäyttöön sopivia laitteistoja, jotka toiminnallisesti muistuttavat tavallisia paperimustesuihkutulostimia. Pääsääntöisesti toiminta perustuu suihkutettavaan plastiseen nesteeseen, joka kovettuu kerroksittain ja muodostaa kappaleen. Vaihtoehtoisessa tavassa laitteisto suihkuttaa nestettä, joka sitoo jauhe- maista ainetta ja muodostaa näin kappaleen. Jälkimmäinen tapa muistuttaa SLS- menetelmää, jossa laserin korvaa suihkutusyksikkö. Jauheen levitys ja työalustan toimi- minta ovat samanlaiset kuin SLS-menetelmässä. Kappaleen tukiaineena toimii sen ympärille jäävä ylimääräinen jauhe. Suoraan plastisoitua nestettä suihkuttavissa lait- teissa sen sijaan tarvitaan erillinen tukiaine, kuten vaha, jonka päälle kappale raken- tuu. (12)



Kuva 9. 3D-tulostuksen periaatekuva jauhetta sitovasta laitteesta. (13)

Menetelmä	3D-tulostimet
Materiaalin muoto	neste
Materiaalit	Kestomuovit kuten polyesteri
Max. kappaleen koko	305x152x152mm
Min. yksityiskohdan koko	0,127mm
Min. Kerroksen paksuus	0,013mm
Toleranssi	±0,025mm
Pinnan laatu	erittäin sileä
Rakennus nopeus	hidas
Käyttökohteet	Muoto/sopivuus testaus, erittäin yksityiskohtaiset kappaleet, työkalujen valmistus, korut ja muut hienot kappaleet, lääketieteelliset laitteet

Kuva 10. 3D-tulostuksen tyypilliset arvot (14)

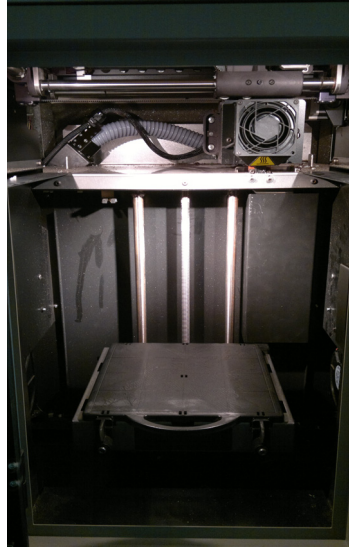
2.3 KyAMK:n pikamallinnuslaite

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Kasarminmäen kampuksella on käytössä Stratasys-yhtiön valmistama pikamallinnuslaite. Laite on malliltaan Prodigy Plus ja se käyttää kappaleiden valmistukseen FDM-menetelmää. Laitetta käytetään opetustarkoituksessa ja sillä valmistetaan prototyypimalleja yrityksille. Laitteen käyttöaste on hyvin vaihteleva: välillä yli kuukauden kestäviä yhtäjaksoisia ajojaksoja, kun taas toisinaan laite seisoo käyttämättömänä pitkiäkin aikoja. (15)



Kuva 11. KyAMK:n pikamallinnuslaite (15)

Laitteen käyttämä materiaali on ABS. Lisäksi se käyttää vesiliukoista sideainetta kappaleiden tukemiseen. Mustat materiaalikasetit näkyvät kuvassa 40 laitteen alaosassa. Laitteella valmistettavan kappaleen maksimikoko on 203x203x305mm. Työstöarvot kerroksen paksuudelle voidaan valita kolmesta eri tarkkuudesta 0,18mm, 0,25mm ja 0,33mm, joissa karkein pinnanlaatu on nopein ja tarkin vastaavasti hitain. Käytännössä työstötarkkuus on tarkimmillaankin melko vaatimaton, joten karkeimpia vaihtoehtoja ei juurikaan käytetä. Työstönopeus tarkimmalla arvolla on n. 11.5cm³/h. (17)



Kuva 12. Laitteen sisällä näkyvät alhaalla työstötaso ja oikeassa yläkulmassa pursorinyksikkö. (15)

3 RUISKUVALU

Ruiskuvalu on yksi eniten käytetty kestopuovituotteiden valmistustekniikka. Painetta hyväksi käyttäen tällä menetelmällä saadaan valettua muovisulasta kolmiulotteisia valmiita kappaleita. Etenkin suurten sarjojen ollessa kyseessä on ruiskuvalu ainoa varteenotettava valmistusvaihtoehto. (2, 11)

3.1 Historia

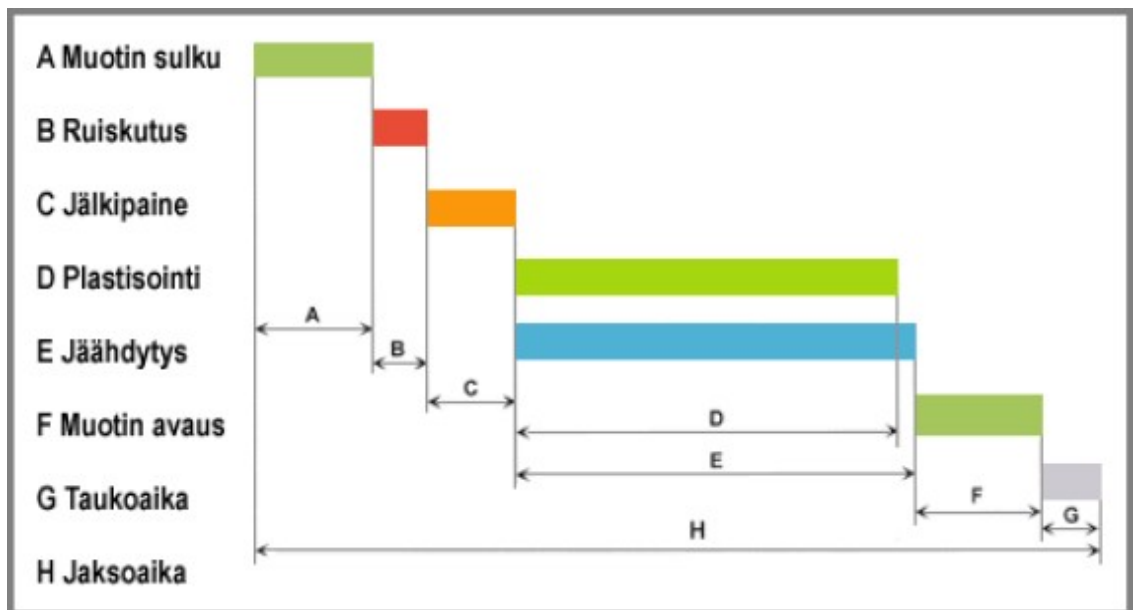
Ruiskuvalun alkuna pidetään vuotta 1872, kun veljekset Jon Wesley ja Isaiah Hyat patentoivat ensimmäisen ruiskuvalukoneen. Useamman vuosikymmenen hiljaisuuden jälkeen tekniikka sai tuulta alleen kahdesta syystä. Ensimmäinen oli 1930–50 luvuilla, kun muovimateriaalien kehitys eli kukoistusaikaansa. Tällöin useimmat nykyään käytössä olevat muovit tulivat kaupalliseen valmistukseen. Toinen merkittävä kehitysas-

kel ruiskuvalutekniikalle tapahtui 1940-luvulla, kun James Hendry kehitti nykyisistä ruiskuvalukoneista tutun ruuvitoimisen koneen. Tämä syrjäytti vanhan mäntätoimisen koneen ja aloitti uuden kehityskulun ruiskuvalutekniikassa, joka jatkuu vielä tänä päivänäkin. (2, 12)

Nykyään kehitys painottuu ruiskuvaluprosesseihin ja tuotteiden kokonaisvaltaiseen suunnitteluun. Uusia ruiskuvalussa käytettäviä erikoistekniikoita syntyy jatkuvasti, ja ne aikaansaavat yhä monimuotoisempia ruiskuvalutuotteita. (2, 12)

3.2 Ruiskuvaluprosessi

Ruiskuvaluprosessi jaetaan seitsemään eri vaiheeseen, jotka tapahtuvat peräkkäin, tai osittain samanaikaisesti. Näistä vaiheista muodostuu työkierto, joka jokaisen valmistettavan ruiskuvalukappaleen kohdalla käydään lävitse. Tätä työkiertoa kutsutaan jaksoajaksi. Jaksoajan alussa kappaleen valmistus alkaa, ja kun jaksoaika loppuu, on kappale valmis. (18, 78)



Kuva 13. Ruiskuvaluprosessin vaiheet ja jaksoaika (19)

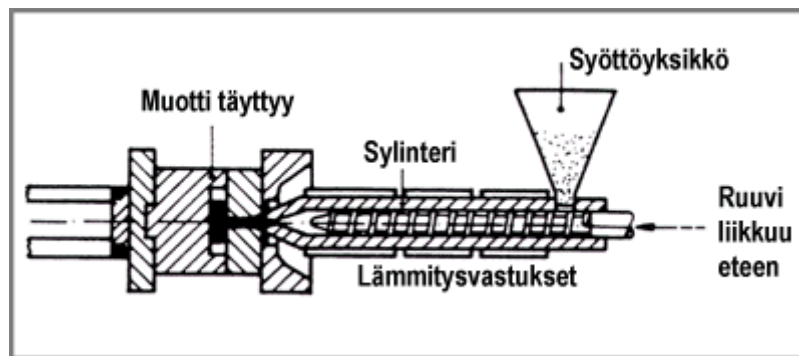
Muotin sulkeminen

Muotin sulkuliike on alussa nopea hidastuen reilusti juuri ennen muotin jakopintojen liittymistä. Usein käytetään muotinsulun varmistuspainetta varmistamaan, että muotin

osien välissä ei ole mitään edellisen kappaleen valmistuksesta jääneitä osia, jotka voisivat vahingoittaa muottia. (2, 48)

Ruiskutus

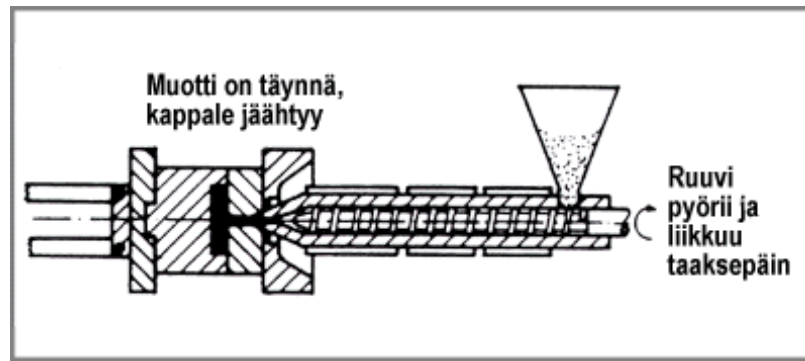
Muotin sulkeuduttua suoritetaan muovisulan ruiskutus muottiin. Ruiskutus tapahtuu yleensä erittäin kovalla nopeudella. Ruiskutuksen kesto riippuu käytettävästä materiaalista, kappaleen paksuudesta sekä sen muodosta, mutta yleensä kesto on muutamasta sekunnin kymmenyksestä muutamaan sekuntiin. Valmistettavan kappaleen laadulle erittäin tärkeitä ovat käytettävät ruiskutusasetukset. Varsinkin ruiskutusnopeudella on suuri merkitys kappaleen pinnanlaadulle. Ruiskutusvaiheen jälkeen on muottipesästä täytetty noin 95 %. (2, 48)



Kuva 14. Ruiskutusvaihe (20)

Jälkipaine

Ruiskutusvaiheen jälkeen seuraa jälkipainevaihe. Tämän vaiheen tarkoituksena on täyttää muottipesästä ruiskutusvaiheessa täyttämättä jäänyt tila sekä kompensoida muovimassan jäähtyessä tapahtuva kutistuma. Jälkipainevaiheella on oleellisesti merkitystä kappaleen painoon, sisäisiin jännityksiin ja kappaleen mittatarkkuuteen. (2, 48)



Kuva 15. Jälkipainevaihe (21)

Plastisointi

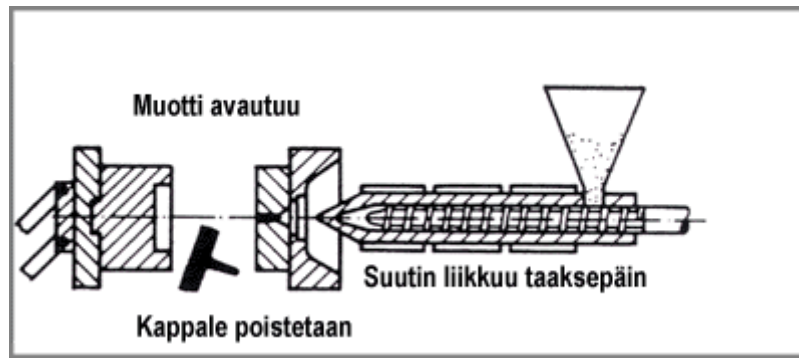
Plastisointi-vaiheessa ruiskuvalukone tekee seuraavaa valmistettavaa kappaletta varten uuden annoksen juoksevaa muovisulaa. Plastisointi tapahtuu samanaikaisesti vielä muotin sisällä olevan kappaleen jäähtymisen aikana. Plastisointiaika riippuu valmistettavan kappaleen tilavuudesta, mutta yleensä se on lyhyempi kuin jäähtymisaika. (2, 48)

Jäähtytys

Jäähtytysvaihe on useimmiten jaksoajan pitkäkestoisin vaihe. Käytännössä jäähtytys alkaa heti, kun muovimassa koskettaa muotin pintaa, mutta todellisuudessa jäähtytysaika lasketaan vasta kun jälkipainevaihe on loppunut. Muovimassan lämpötila ruiskutusvaiheessa on melko korkea 150–450 °C, ja muodostuneen kappaleen lämpötilan tulee laskea 60–120 °C:een ennen kuin kappaleen voi poistaa muotista. (2, 48)

Muotin avaus

Valetun kappaleen jäähtyttyä tarpeeksi muotti avautuu ja sen sisällä oleva kappale poistuu muotista. Kappaleen poistuminen voi tapahtua muotin avautumisen aikana, tai vasta kun muotinpuolikas on liikkunut kokonaan auki. Tähän päättyy ruiskuvaluprosessin jaksoaika ja uuden kappaleen valmistus voi alkaa, mikäli taukoaika ei ole tarpeen. (2, 48)



Kuva 16. Muotin avaus (22)

Tauko aika

Tauko aika on tarpeen niissä tapauksissa, joissa kappaletta ei saada poistumaan muotista yhdellä työntökerralla. Uusi jakso alkaa kun kappale on poistunut muotista. (2, 48)

3.3 Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukoneen tehtävänä on suorittaa muotin sulkemiseen ja avaamiseen tarvittavat liikkeet, muodostaa voima, jolla muotinpuolikkaat pysyvät kiinni ruiskutusvaiheen ajan, ruiskuttaa plastisoitu muovimassa muottiin, sekä plastisoida uusi annos muovisulaa seuraavaa ruiskutusta varten. Ruiskuvalukoneet luokitellaan yleisesti sulkuvoiman, ruiskutuspaineen tai ruuvikoon mukaan.

Ruiskuvaluprosessissa plastisoitu muovimassa ruiskutetaan erittäin suurella nopeudella muottipesään. Muovimassan riittävän hyvän ruiskutusnopeuden saavuttamiseksi ja hyvän muotin täyttymisen aikaansaamiseksi tarvitaan korkea ruiskutuspaino. Tämä ruiskutuspaino aiheuttaa muotin sisällä massan paineen, joka pyrkii avaamaan muotin puolikkaat toisistaan. Massan paineen kumoamiseksi tarvitaan vastapaino, jota kutsutaan sulkuvoimaksi. Sulkuvoimaa tarvitaan sitä enemmän, mitä suurempi ruiskutuspaino ja muottipesän projektiopinta-ala muotin avaamissuunnassa on. Käytännössä kuitenkin sulkuvoiman määrittelee pääasiassa projektiopinta-ala, koska kappaleen tilavuus vaikuttaa vähemmän tarvittavaan paineeseen. (2, 92)

Luokittelualueet tavanomaisille koneille ovat:

- sulkuvoima 200 – 100000 kN
- ruiskutusaine 120 – 250 MPa
- ruuvin halkaisija 18 – 120 mm

Kansainvälisen kokoluokituksen mukaan käytetään sulkuvoimaa ja arvoa P . P :n arvo määritellään tuotteen maksimitilavuuden ($V_{s, \max}$) ja ruiskutusaineen ($P_{in, \max}$) avulla.

$$P = V_{s, \max} P_{in, \max} / 1000$$

Kaavassa $V_{s, \max}$ on maksimaalinen iskutilavuus ja $P_{in, \max}$ on maksimi ruiskutusaine. (2, 94)

Ruiskuvalukone voidaan jakaa toiminnallisesti neljään yksikköön, jotka ovat ruiskutusyksikkö, sulkuyksikkö, käyttöyksikkö ja ohjauksyksikkö.

Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikön tärkeimpinä osina ovat syöttösuppilo, sylinteri, kierukkaruuvi, sulkuventtiili, suutin ja lämmitysvastukset. Ruiskutusyksikön tehtävä on plastisoida syöttösuppilosta tuleva muoviraaka-aine, ruiskuttaa plastisoitu muovisula muottiin ja muodostaa jälkipaine. Lisäksi tehtävinä tarvittaessa voi olla ruiskutusyksikön liikutus muottia vasten ja siitä irti, sekä pitää suutin tiivisti kiinni muotissa. (2, 100)



Kuva 17. Ruiskutusyksikkö ja sen osat (23)

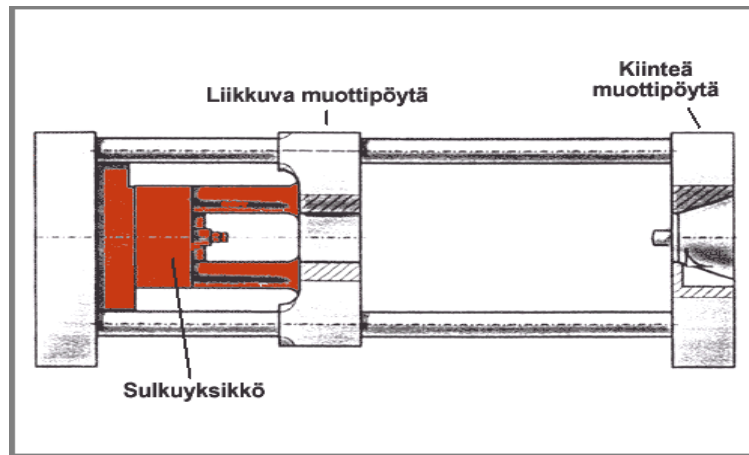


Kuva 18. Valokuva ruiskutusyksiköstä. (24)

Sulkuyksikkö

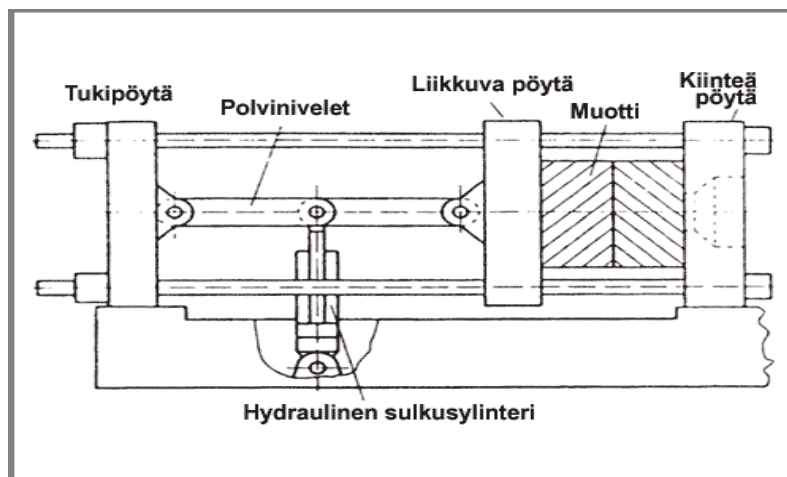
Sulkuyksikön tehtävänä on sulkea muotti ennen muovisulan ruiskutusta ja avata muotti, kun kappale on jäähtynyt. Tämän lisäksi yksikön tehtävänä on myös muodostaa tarvittava sulkuvoima, jotta muotti pysyy tiiviisti kiinni ruiskutuksen ja jälkipaineen ajan. Sulkuyksiköt jaetaan mekaanisiin, hydraulisiin tai mekaanis-hydraulisiin malleihin.

Sulkuyksikön runko voi olla johteellinen tai johteeton. Johteellisessa rungossa muotti on saatava asetettua johteiden väliin, mikä onkin tämän mallin selkeä haittapuoli. Johteettomissa ongelmana sen sijaan on tukevan rungon aikaansaaminen ilman johteita. Tukevan johteettoman sulkuyksikön paino on merkittävästi suurempi vastaavaan johteelliseen malliin verrattuna. Tästä syystä johteelliset sulkuyksiköt ovat yleisempiä.



Kuva 19. Sulkuyksikön johteellinen runko (25)

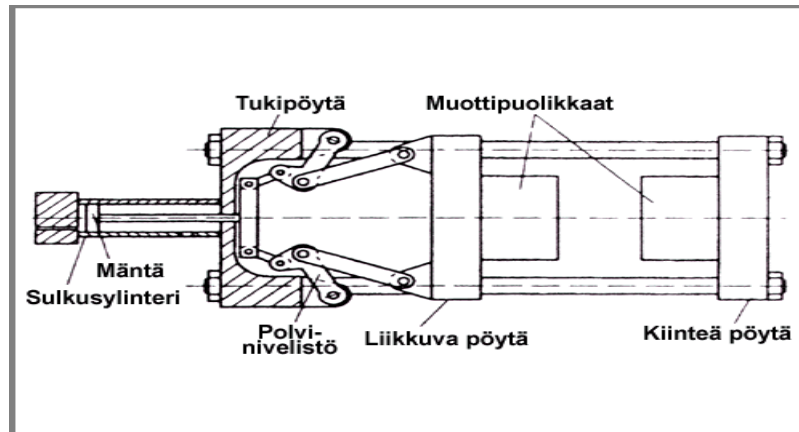
Mekaanisissa sulkuyksiköissä muotin avaaminen ja sulkeminen tapahtuu erilaisia niveltankosysteemejä hyväksi käyttäen, joita kutsutaan polvinivel-sulkumekanismeiksi. Pienimmissä koneissa käytetään yksinkertaista ja halpaa kahden niveltangon, tai niveltankoparin mekanismia. Tämän mekanismin haittoina on kuitenkin huono toimintavarmuus, rajoittunut liikerata ja nopeus ja lisäksi koneiston ohjaus ja säätö on hankalaa. Mekanismia käytetään kuitenkin pienissä alle 500 kN:n koneissa, joissa tarkka säätö ei ole tarpeellinen. (2, 94)



Kuva 20. Yksinkertainen polvinivelmekanismi. (26)

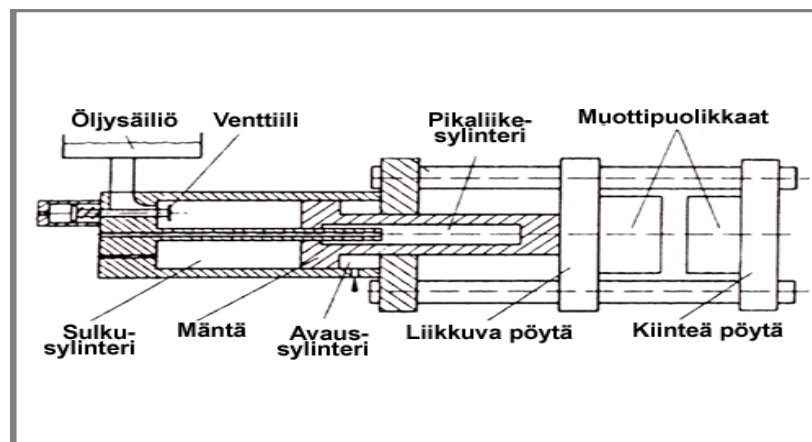
Isompien koneiden sulkuyksiköissä on käytössä neljä- tai viisineliset kaksoispolvinivelmekanismit. Niiden käyttö on myös perusteltua pienemmissä koneissa, mikäli muotin säädöltä tarvitaan tarkkuutta. Verrattuna yksinkertaiseen polvinivelmekanis-

miin nämä ovat tarkempia, nopeampia, voimakkaampia ja mahdollistavat suuremmat sulkuyksikön liikeradat.



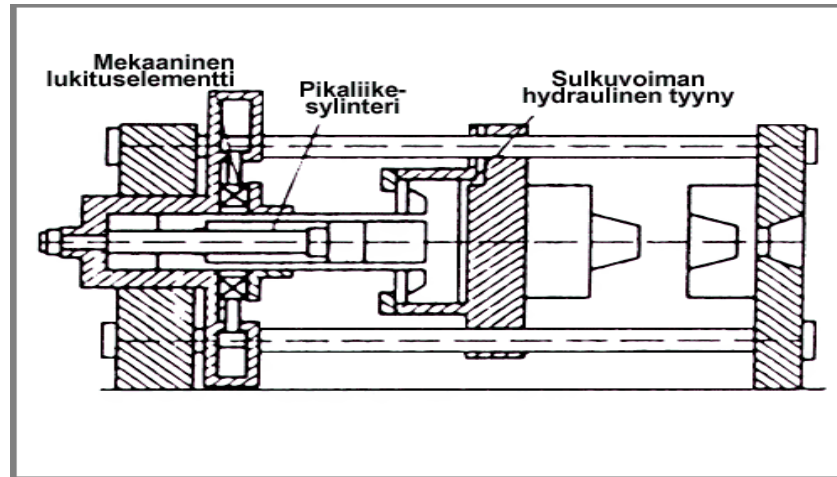
Kuva 21. Viisinivelinen kaksoispolvinivelmekanismi. (27)

Hydraulisessa sulkuyksikössä on useimmiten suurempi pääsylinteri, jonka tehtävänä on muodostaa tarvittava sulkuvoima, sekä pienempi kuljetussylinteri, jonka tehtävänä on suorittaa muotin sulku- ja avautumisliikkeet. Kuljetussylinterillä saadaan säästettyä käytettävän hydrauliöljyn määrää, koska liikkeiden aikana ei tarvitse pumpata suuria määriä paineistettua öljyä pääsylinteriin. Hydrauliset sulkuyksiköt antavat ruiskutuksen aikana enemmän joustoa kuin mekaaniset sulkuyksiköt. Tämä johtuu siitä, että muotin sulkeutuessa pääsylinteriin muodostuu öljytyyny, joka joustaa ruiskutuspa-
neen voimasta. Tästä syystä hydraulisissa yksiköissä tarvitaan suurempaa sulkuvoimaa. (2, 93)



Kuva 22. Hydraulinen sulkuyksikkö (28)

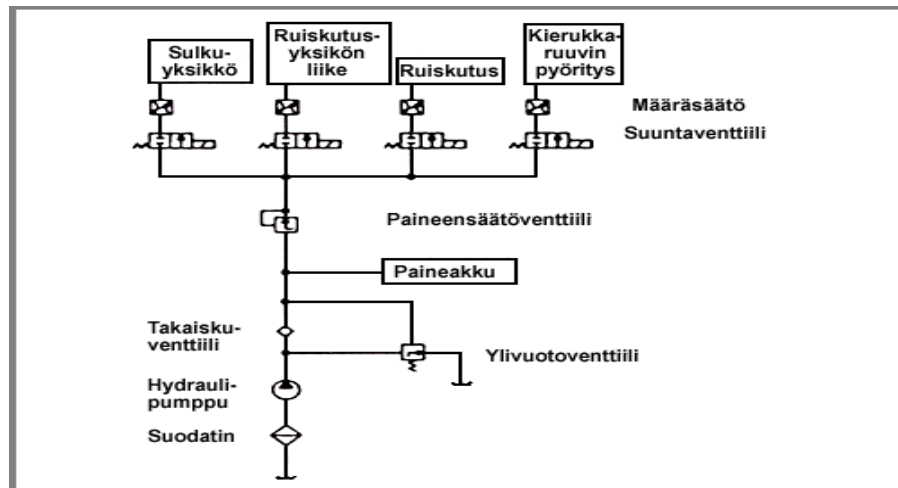
Hydraulis-mekaaninen sulkukoneisto on kehitetty vähentämään hydraulisessa koneistossa tarvittavaa öljyn pumppausta. Tässä sulkukoneistotyypissä muotin sulkemisliikkeen saa aikaan yksi tai useampi pieni mutta pitkäskuinen sylinteri. Sulkemisen jälkeen muotti lukitaan mekaanisilla lukituselementeillä. Näin saadaan aikaan hydraulinen paine, joka saa aikaan tarvittavan sulkuvoiman. Hydraulioöljyä ei tarvitse kierrättää suurina määriä ja myös paine saadaan nopeammin aikaan verrattuna hydrauliseen koneistoon. (2, 97)



Kuva 23. Hydraulis-mekaaninen sulkumekanismi. (29)

Käyttöyksikkö

Ruiskuvalukone voi olla täyssähköinen tai hydraulinen. Täyssähköisten koneiden ongelmana on suurten ruiskutusnopeuksien aikaansaaminen sekä keernatoimintojen hankala toteutus ilman hydrauliiikkaa. Tästä syystä täyssähköisten koneiden osuus konekannasta on hyvin pieni. Hydraulisia koneita käytettäessä tarvitaan käyttöyksikkö, jonka tehtävänä on toimittaa kaikki koneen tarvitsemat liikkeet ja toiminnot. Käyttöyksikkö koostuu öljypumpusta, paineakusta, säiliöstä, letkuista jne. Hydrauliikan avulla on taloudellista suorittaa lineaariset liikkeet, kuten sulkukoneiston liikkeet ja itse ruiskutustapahtuma. Hydrauliikalla voidaan myös helposti siirtää energia sinne, missä sitä tarvitaan käyttämällä putkia ja letkuja. Lisäksi sen etuina on myös korkea energiatiheys, hyvä toistotarkkuus sekä turvallisuus koneiden ylikuormitustilanteissa. (2, 108)



Kuva 24. Hydraulisen käyttöyksikön kaaviokuva (30)

Ohjausyksikkö

Ohjausyksikkö on ruiskuvalukoneen hermokeskus. Se säätelee ja ohjaa hyvin pitkälti automaattisesti ruiskuvaluprosessia. Nykyään ohjausyksiköt sisältävät myös mikroprosessoreita, jotka pystyvät laskemaan tarvittavia prosessi- ja säätöarvoja. Nämä mahdollistavat myös ruiskuvalukoneen ja siihen kytkeytyneiden oheislaitteiden automatisoinnin. Ohjausyksiköllä ohjataan ja säädetään seuraavia toimintoja:

- sylinterilämpötilat
- muovisulan lämpötila
- kuumakanavan lämpötila
- muotin lämpötila
- kierukkaruuvien pyörimisnopeus
- ruiskutusnopeus
- jälkipaine

- pöydän liikkeet
- keernatoiminnot

Nykyaikaisissa koneissa on usein myös laaduntarkkailu- tai laadunvarmistusohjelmia, joilla voidaan tarkkailla viimeisimpien jaksojen toteutuneita prosessiarvoja. (2, 111)



Kuva 25. Ruiskuvalukoneen ohjausyksikkö. (31)

3.4 Muotit

Jokaiselle ruiskuvalutuotteelle on oma yksilöity muottinsa. Koska jokaiselle muotille on oma yksilöity raaka-aineen valinta, suunnittelu, työvaltainen valmistus ja käsityönä tehtävä viimeistely, ovat niiden kustannukset erittäin korkeat. Valmistusaikaa on onnistuttu lyhentämään tietokoneohjatulla suunnittelulla ja valmistuksella, mutta kustannukset ovat silti pysyneet korkeina. Ruiskuvalumuotti koostuu yksinkertaisimmillaan kahdesta osasta: kiinteä muottipuolikas ja liikkuva puolikas. Nämä kaksi osaa ovat kiinnitettyinä muottipöytiin. Muotin tehtävinä on:

- toimia massasulan juoksukanavana
- antaa ruiskuvalettavalle kappaleelle muoto
- jäähdyttää sula massa kiinteäksi
- poistaa valmis kappale muotista

Muotilta vaaditaan myös paljon, jotta se pystyy suoriutumaan edellä mainituista tehtävistä. Muotin täytyy kestää ruiskutusvaiheessa sulan massan aiheuttama paine kuin myös ruiskuvalukoneen sulkuvoiman aiheuttamat rasitukset. Lisäksi sen tulee olla helposti avattavissa muottipöydän liikuessa ja kuitenkin pystyä ohjaamaan muotin puolikkaat tarkasti kiinni toisiinsa. (2, 113)



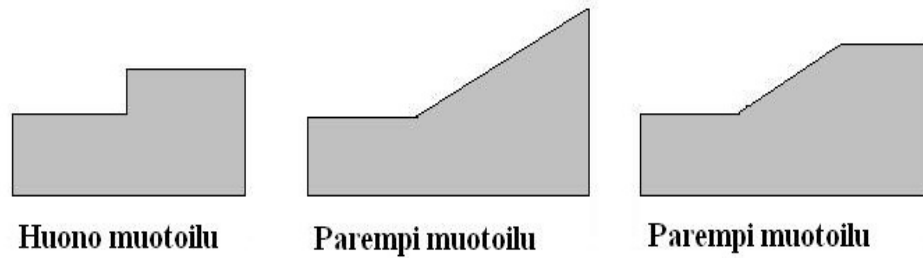
Kuva 26. Ruiskuvalumuotteja (32)

3.5 Ruiskuvalutuotteiden suunnittelu

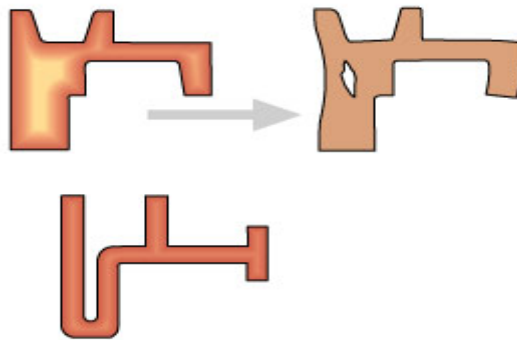
Ruiskuvaluttavien tuotteiden suunnittelu on hyvin vapaata. Muottikustannukset nousevat sitä enemmän, mitä monimutkaisempi tuote on, mutta toisaalta ruiskuvalu on suurien sarjojen tuotantomenetelmä, joten tarpeeksi suurilla tuotantomäärillä muottikustannukset saadaan peitettyä melko helposti. Vaikka suunnittelu on vapaata ja ruiskuvalu sopii hyvin erittäin vaikeiden 3D-muotojen valmistusmenetelmäksi, on kuitenkin monia tekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon ruiskuvalutuotetta suunnitellessa. Seuraavassa käydään läpi tuotteen muotoilullisesti tärkeimpiä tekijöitä. (33)

Raaka-ainekertymät

Ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa tulee välttää suuria raaka-ainekertymiä ja materiaalin liian jyrkkiä paksuuden vaihteluita. Raaka-ainekertymät aiheuttavat imuja, kutistumaonkaloita ja ennen kaikkea pintavikoja. Pinnan paksuuden jyrkät vaihtelut aiheuttavat kappaleeseen jännityksiä, jolloin se voi särkyä. Tästä syystä pintojen tulisi jatkua jouhevasti, eikä teräviä pinnanpaksuuden vaihteluita tulisi käyttää. (33)



Kuva 27. Pinnamuotojen esimerkkejä. (34)



Kuva 28. Esimerkki raaka-ainekertymien välttämiseksi (35)

Seinämänpaksuus

Ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa seinämäpaksuuden tasaisuus on yksi tärkeimpiä huomioitavia asioita. Seinämäpaksuuden tulisi olla mahdollisimman pieni ja tasainen koko kappaleen alueelta. Mikäli kappale tarvitsee joltain osin jäykkyyttä, tulee se toteuttaa muotojen tai ripojen avulla eikä lisäämällä seinämäpaksuutta. Yleensä kappaleiden seinämäpaksuus ruiskuvalussa on välillä 0,8 – 4,8 mm, riippuen kappaleen koosta ja käytetystä materiaalista. (33)

Päästöt

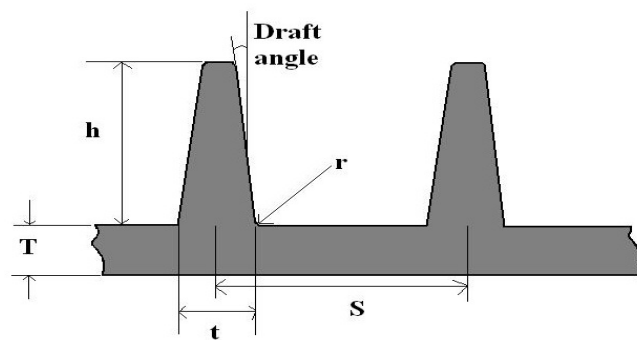
Kaikissa valutuotteissa tulee olla päästöjä. Päästöjen avulla varmistetaan kappaleen poistuminen hyvin muotista. Ruiskuvalussa käytetyt päästöt ovat pääsääntöisesti väliltä 1,5 - 3°. (33)

Terävät kulmat

Terävien kulmien käyttöä tulisi välttää, etenkin loviherkillä materiaaleilla. Kaikki kulmat tulisi pääsääntöisesti pyöristää. (33)

Rivat

Etenkin suurissa tasomaisissa pinnoissa tarvitaan usein jäykistystä. Tämä onnistuu parhaiten ripojen avulla. Mikäli yksittäisellä rivillä ei saada haluttua jäykkyyttä aikaiseksi, tulisi mieluummin lisätä ripojen määrää, kuin kasvattaa rivan kokoa. Ripojen mitoitus on melko tarkkaa, ja sen säännöt selviävät kuvasta 27. (33)



Kuva 29. Rivan mitoitus. Kuvassa t = rivan pohjan leveys ($t \leq 0,5T$), h = korkeus ($h = 3T$), r = nurkan pyöristyssäde, ($r \geq 0,25 - 0,4T$), S = ripojen välinen matka ($S \geq 2T$), päästökulma $\geq 0,5^\circ$. (36)

Reiät

Ruiskuvalukappaleiden reiät tulisi mennä koko kappaleen lävitse, jolloin ne voidaan tukea muotin molemmilta puolin. (33)

4 PIKAMALLIEN HYÖDYNTÄMINEN SUUNNITTELUSSA

4.1 Käyttökohteet

Tuotekehityksessä ja -suunnittelussa puhutaan usein kolmen F:n säännöstä: Form, Fit and Function, eli muoto, sopivuus ja toiminta. Tällä voidaan myös hyvin kuvata pikamallien käyttökohteita suunnittelussa.

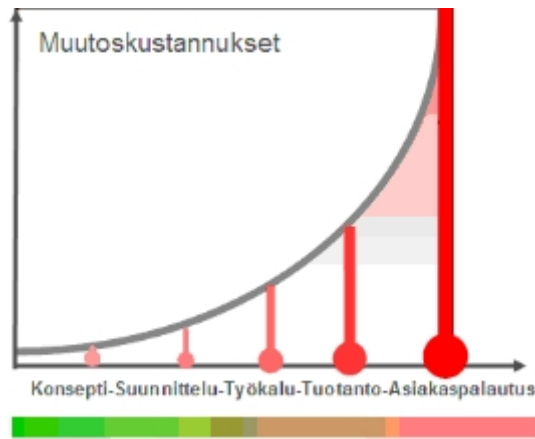
Ulkomuotomalleilla voidaan tutkia tuotteen erilaisia muotoilullisia variaatioita, sekä myös vertailla erilaisia muotoiluehdotuksia. Näin saadaan tuotteelle valittua hyvältä pohjalta paras mahdollinen ulkonäkö. Ulkomuotomalleilla voidaan lisäksi tutkia ja kehittää tuotteen ergonomiaa.

Sopivuusmalleilla voidaan testata tuotteen eri osien sopivuutta toisiinsa, sekä uuden tuotteen sopivuutta jo olemassa oleviin osiin. Samoin voidaan testata osien kokoonpanoa ja kehittää sen saumattomuutta ja nopeutta.

Toiminnallisilla malleilla voidaan tutkia tuotteen mekaanisia ominaisuuksia, kuten jäykkyyttä ja iskunkestävyyttä. Lisäksi niillä voidaan joissakin tapauksissa suorittaa varsinainen käyttöttestaus. (37)

4.2 Pikamallien käytön hyödyt

Tuotesuunnittelussa tuotteen kehityskaari alkaa konseptisuunnittelusta ja etenee useiden vaiheiden kautta lopputuotteena asiakkaalle. Mitä pidemmälle tuotteen kehityskaari on edennyt ennen kuin mahdolliset virheet, säätökohteet tai muutostarpeet havainnoidaan, sitä kalliimmiksi muutuskustannukset kasvavat. Pikamallit mahdollistavat näiden seikkojen havainnoinnin helposti, nopeasti ja kustannustehokkaasti.



Kuva 30. Muutoskustannuksien kasvu tuotteenkehityskaaren mukana. (38)

Muutamia näkökohtia pikamallien käytölle tuotesuunnittelussa:

- Suunnittelun varmistaminen, virheiden ja kehityskohteiden löytäminen
- Erilaisten variaatioiden tarkastelu
- Asiakas- tai käyttäjäpalautteen saaminen jo suunnitteluvaiheessa
- Työkalunvalmistus
- Markkinointimateriaalin ja pakkauksien luominen
- Suunnittelu- ja tuotekehityskustannuksien vähentäminen
- Työkalumuutokset vähenevät ja läpimenoaika nopeutuu

Nämä edellä mainitut seikat onnistuvat pikamallien avulla nopeasti ja kohtuullisilla kustannuksilla. (37)

4.3 Pikamallit ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa

Edellisessä kappaleessa mainitut pikamallien näkökohdat pätevät pitkälti myös ruiskuvalutuotteiden suunnitteluun.

Merkittävin etu pikamallien käytölle ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa on niiden muotovapaus. Pikamallien 3D-geometrian rajoitteena on vain mielikuviutus. Ruiskuvalutuotteet ovat usein 3D-geometrialtaan monimutkaisia ja lähestulkoon mahdottomia mallintaa perinteisillä mallitekniikoilla.

Ruiskuvalutuotteiden valmistuksessa tärkein elementti on muotti. Muotti on erittäin kallis ja vaatii paljon huomiota tuotesuunnitteluvaiheessa. Lähes jokaisen tuotteen kohdalla tarvitaan useita muottikiertoja, joiden aikana muotti viimeistellään parhaimman mahdollisimman lopputuotteen aikaansaamiseksi. Usein muottiin jätetään ylimääräistä materiaalia ikään kuin toleranssiksi, jota voidaan muottikierron välissä poistaa haluttua lopputulosta silmälläpitäen. Ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa tapahtuvat vakavat virheet johtavat usein muotin hylkäämiseen tai vastaavasti suuriin ja kalliisiin muutoksiin. Ongelmalliseksi asian tekee se, että muotti täytyy valmistaa ennen koe-erän valmistamista. Pikamallit mahdollistavat näiden virheiden löytämisen ja koko tuotteen kehittämisen ilman muottikustannuksia. Näin muotin valmistus voidaan aloittaa pitkälle tutkitun ja kehitetyn tuotemallin pohjalta ja kalliilta virheilta ja muutostarpeilta säästyään.

Pikamallien heikkoutena ruiskuvalutuotteidensuunnittelun apuna on niiden heikko tarkkuus. Lisäksi pikamallimenetelmillä ei voida valmistaa erittäin pieniä yksityiskoh-
tia omaavia tuotteita. Kuitenkin oikean menetelmän valinnalla ja pikamallien valmistustekniset seikat huomioiden saadaan aikaan hyviä malleja. Ulkonäkömalleja valmistettaessa joudutaan usein viimeistelemään mallia käsin, jotta paras mahdollinen ulkonäkö saavutetaan. Käsin suoritettu viimeistely heikentää edelleen lopullisen mallin mittatarkkuutta. Toiminnallisia malleja valmistettaessa tulee käytetyn pikamallimenetelmän tarkkuus ottaa huomioon ennen mallien valmistusta. Yleensä välyksiä joudutaan suurentamaan, jotta mallista saadaan toimiva ja sopiva muihin osiin. (37)

5 CASE – PRODUAL

5.1 Yritys

Produal Oy on vuonna 1987 perustettu kotkalainen kiinteistöautomaation mittaus- ja säätölaitteiden suunnitteluun ja valmistukseen erikoistunut yritys. Yrityksen asiakkaina ovat kaikki merkittävät kotimaiset kiinteistölaite- ja järjestelmätoimittajat. Yritys toimii myös kansainvälisesti ja sillä on toimipaikat Ruotsissa, Tanskassa ja Venäjällä.

Tämän lisäksi yrityksen tuotteita saa jälleenmyyjiltä useissa Euroopan ja Aasian maissa. (39)

5.2 Työntarkoitus

Yrityksen tavoitteena on ollut uudistaa nykyisten julkistentilojen säädinkoteloiden ulkoinen ilme. Säädinkotelot sisältävät elektroniikkaa, joilla mitataan muun muassa lämpötilaa ja ilmankosteutta. Kotelot rakentuvat kahdesta kappaleesta, eli kannesta ja pohjasta, sekä kotelon sisältämästä elektroniikasta. Uutta ilmettä haettiin kotelolle, jossa ei ole säätimiä tai näyttöä, käytän siitä jatkossa nimitystä tyhjä kotelo, sekä näyttöiselle kotelolle. Muutokset tulisi kohdistua koteloiden kansiin, jolloin koteloiden pohja pysyisi nykyisen kaltaisena. Ulkoisen ilmeen lisäksi tavoitteena oli saada kotelosta nykyistä matalampi tai vastaavasti matalamman näköinen.

Työntarkoituksena oli mallintaa 3D-ohjelmaa käyttäen uudet kannet konseptimallien pohjalta. 3D-mallien avulla tehtäisiin kansista pikamallit KyAMK:n pikamallilaitteella. Pikamallien tarkoituksena oli toimia puhtaina ulkonäkömalleina, joiden avulla yritys voi käsin vertailla uusia kansikonsepteja.

5.3 Lähtökohdat

Yrityksellä oli aikaisemmin ollut projekti Kymenlaakson ammattikorkeakoulun muotoilijoiden kanssa. Ari Haapasen vetämässä projektissa DE09-ryhmään kuuluneet muotoilijaopiskelijat suunnittelivat yritykselle uusia kansimallikonsepteja näyttöisen kotelon ja tyhjän kotelon kansista. Näistä konsepteista yritys valitsi mieluisimmat, jotka toimivat muotoilullisena pohjana työlle. Tämän työn muotoilupohjana käytetyt konseptit näkyvät liitteessä 1.

Uusien konseptien lisäksi työn lähtökohtana olivat myös nykyisten koteloiden pohjaosat, koska uusien kansien tuli sopia nykyisiin pohjiin. Nykyisissä yrityksen koteloiden on kaikissa malleissa käytössä sama pohjaosa. Kansi ja kotelon sisältämä elektroniikka muuttuvat käyttötarkoituksen mukaan. Lisäksi koteloiden sisältämä elektroniikka tuli huomioida kansien suunnittelussa.



Kuva 31. Produalin nykyiset kansimallit. (40)

Produal Oy hankkii säätimissä käytetyt kotelot alihankintana. Koteloiden kannet sekä pohja valmistetaan ruiskupuristustekniikalla. Kansien mallinnuksessa tuli siis ottaa huomioon myös kansien lopullinen valmistusmenetelmä, sekä ruiskuvalutuotteiden muotoilulliset suunnittelunäkökulmat.

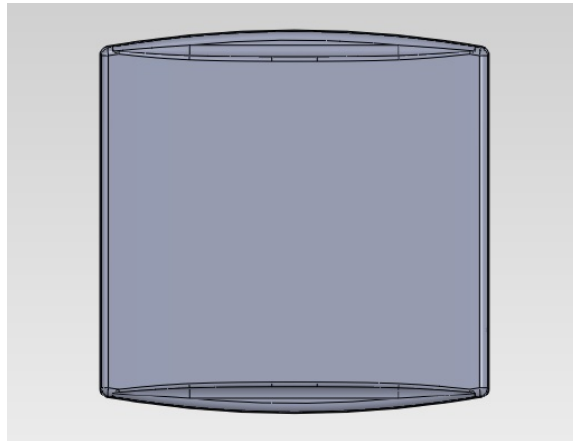
5.4 Kansien mallinnus

Kansien mallinnukseen käytettiin KyAMK:n muotoilun yksikön käytössä olevaa kaupallisella lisenssillä varustettua SolidWorks 2011 ohjelmaa. Produalilta saatiin käyttöön nykyisen tyhjän koteloiden 3D-mallit step-muodossa, sekä mitoituksia kansien sisältämästä elektroniikasta.

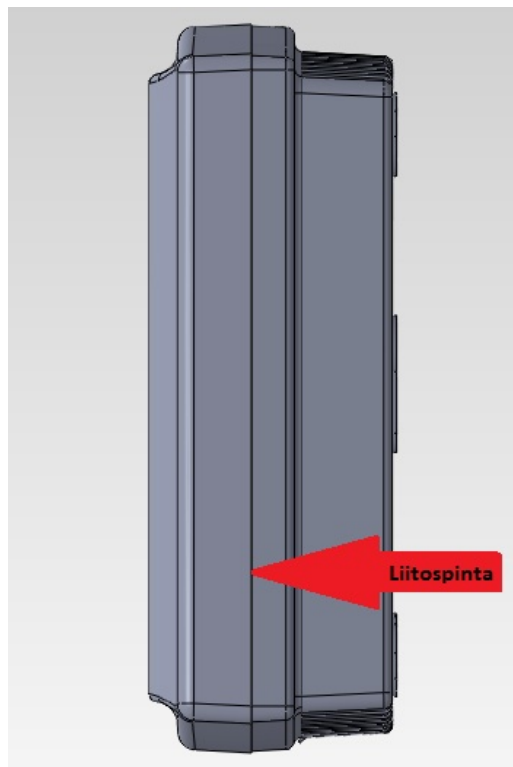
Kansien mallinnus aloitettiin avaamalla nykyisen pohjan 3D-malli kokoonpanoon ja lisäämällä sinne uusi osa, josta muodostuisi uusi kansimalli. Jotta uudet kansimallit sopisivat vanhoihin pohjiin, projisoitiin nykyisestä pohjasta tarvittava liitospintojen geometria uuteen kanteen. Tämän geometrian pohjalta aloitettiin uusien kansien mallinnus.

Koska kansien lopullinen valmistusmenetelmä tulisi olemaan ruiskuvalu, tuli kappaleessa 3.5 esitetyt muotoilulliset suunnittelunäkökohdat ottaa huomioon heti alusta alkaen. Hankalaksi mallinnuksen teki kansien ja pohjan melko monimutkainen 3D-geometria, joka on tyypillistä muovituotteille.

Nykyisessä kotelossa kannen pohjan liitospinta on kotelon päätyreunoissa, jolloin kansi toimii suorana jatkeena pohjalle. Uusien kansien pyrkimyksenä oli olla matalampia kuin vanha kansi. Mataluutta korostettiin myös tekemällä kansista leveys- ja korkeussuunnassa suurempi kuin pohjaosa on, jolloin kansi peittää pohjaosan alleen. Tästä syystä uusien kansien ja pohjan liitospinta saatiin tehtyä kannen sisälle, jolloin pohjaosan mahdollisimman suuri peittäminen ja kotelon mataluus korostuisivat.



Kuva 32. Nykyinen tyhjä kotelo edestä (15)



Kuva 33. Nykyinen tyhjä kotelo sivusta (15)

5.4.1 Tyhjä kansi, versio 1

Ensimmäinen versio tyhjästä kannesta tehtiin täysin konseptikuvan mallin mukaiseksi. Konseptikuvassa kannen ylä- ja alareunan nurkat ovat hieman eri korkeudella pystyvien ollessa suorat. Nurkkien ollessa eri korkeudella syntyy vaakareunoihin toiseen sivuun päin voimistuva kaarevuus. Kannen reunat kääntyivät pohjaosan päälle, jolloin peittävyys lisääntyi. Kansi- ja pohjaosan liitos tehtiin kannen sisäpintaan. Liitteessä 1 esitetään ensimmäisen välikatsauksen aikainen hyvin kärjistetty malli kannen muodosta.

Välikatsauksessa todettiin vaakareunojen kaarevuuden olevan liian suuri ja kannen ulkoisen ilmeen näyttävän vinolta. Tästä syystä päätettiin, että kaarevuus käännetään kannen sisäpuolelle ja samalla nurkat sijoitetaan samalle tasolle. Näin välttyttäisiin ulkopuolella olevan kaarevuuden aiheuttamalta kannen vinolta ilmeeltä. Lisäksi todettiin, että reunoja tulisi saada enemmän pohjaosan päälle, jotta kotelon yleisilmeestä tulisi matalampi. Tässä versiossa kannen ja pohjan liitospinta kiertää koko kotelon ympäri. Se nähtiin tarpeettomaksi ja pelkät nurkissa olevat ”tassut” olisivat riittävät.

Välikatsauksen jälkeen päätin jakaa kannen kahteen versioon. Jatkaisin nykyisen versio 1:n ulospäin kaarevien pintojen muokkaamista ja tekisin toisen mallin, jossa kaarevuus kääntyy sisäänpäin. Liitteessä 4 näkyy lopullisen tyhjän kannen (versio 1) malli, jossa kaarevuus on edelleen ulospäin. Kaarevuutta on reilusti pienennetty, sekä kavennettu vinon ilmeen välttämiseksi. Ulkoreunoja on jatkettu pidemmälle pohjaosan päälle ja sisäpuolen liitospinta on jaettu neljään pohjaosan nurkkiin kohdistettuun osaan.

5.4.2 Tyhjä kansi, versio 2

Versio 2 syntyi välikatsauksen jälkeen, kun todettiin versio 1:ssä olevan ulospäin suuntautuvan kaarevuuden aiheuttavan vinon ilmeen kannelle. Tämä versio on muilta piirteiltään samanlainen versio 1:n kanssa. Sisäänpäin käännetty yläpintojen kaarevuus tehtiin reilummaksi kuin versio 1:ssä oleva ulospäin suuntautuva kaarevuus. Tämä siitä syystä, että kannelle tulisi enemmän konseptikuvan mukaista ilmettä. Liitteessä 5 näkyy tyhjän kannen versio 2 lopullinen malli.

5.4.3 Näytöllinen kansi

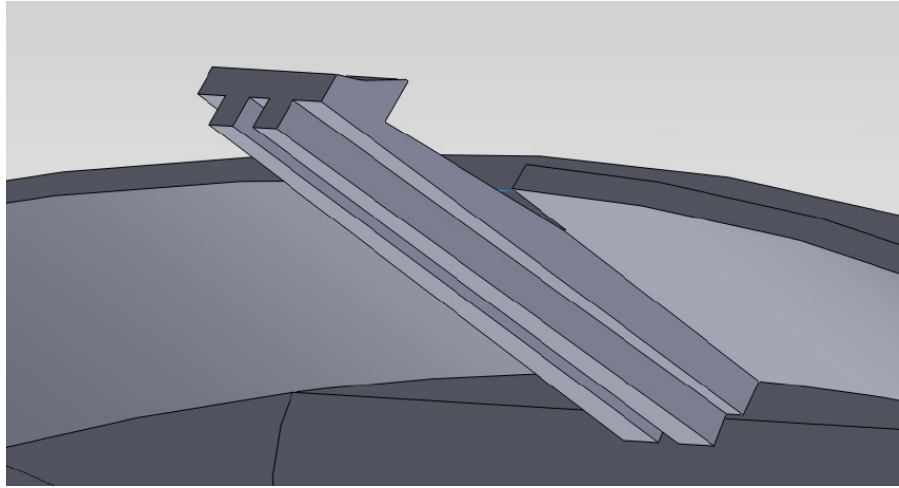
Näytöllisessä kannessa tavoitteena oli tehdä ohut kehys, jonka sisään tulisi erillinen tummennettu lasiosa. Toinen versio olisi samalla kehyksellä, mutta läpinäkyvän lasiosan korvaa valkoinen pleksi. Tähän valkoiseen pleksiin voidaan sitten jyrsiä testimielessä aukkoja näytölle ja säädinnappuloille. Liitteessä 3 on välikatsauksen aikainen malli. Välikatsauksessa todettiin, että kannen reunat tulisi saada tyhjän kannen tavoin pohjaosan päälle. Lisäksi kantta tulisi leventää enemmän, minkä johdosta saadaan pohjaosaa enemmän piiloon.

Liitteessä 6 on näytöllisen kannen lopullinen malli. Kansi tuli reilusti alkuperäistä mallia matalammaksi, ja sisäpuoliset muodot muuttuivat melko paljon.

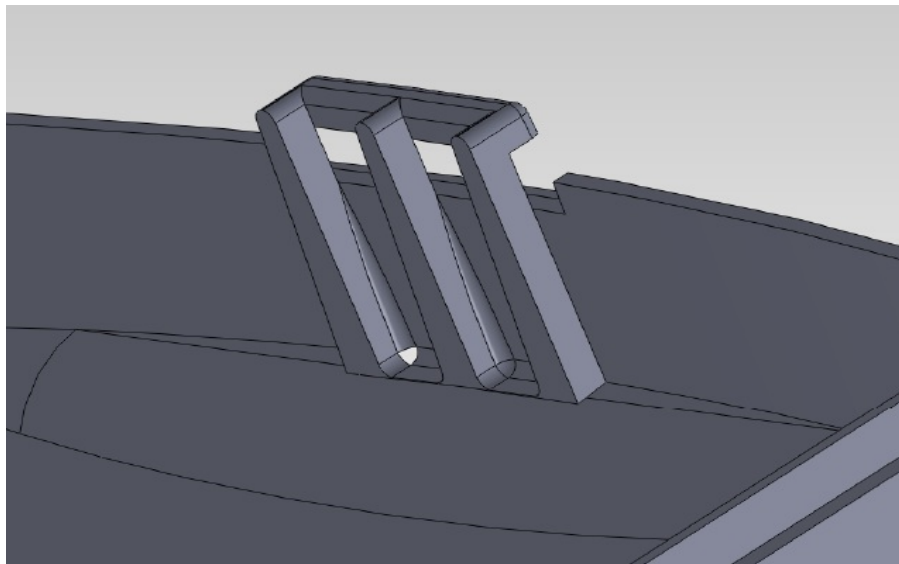
5.4.4 Snap-liitokset

Alkuperäisenä tavoitteena oli tehdä kansien pikamalleista ainoastaan ulkonäkömällit, joista selviää konseptien ulkomuoto ja muotoilua voidaan konkreettisesti tarkastella. Työn aikana Haapasen Arin kanssa kuitenkin päätettiin lisätä kansiin snap-liitokset, joiden avulla kannet saadaan kiinnitetyksi pohjaosiin. Näin kansista saataisiin lisäksi myös toiminnalliset mallit, joiden avulla voidaan tutkia uusien kansien liittymistä pohjaosaan sekä kotelon sisältävän elektroniikan sopivuutta.

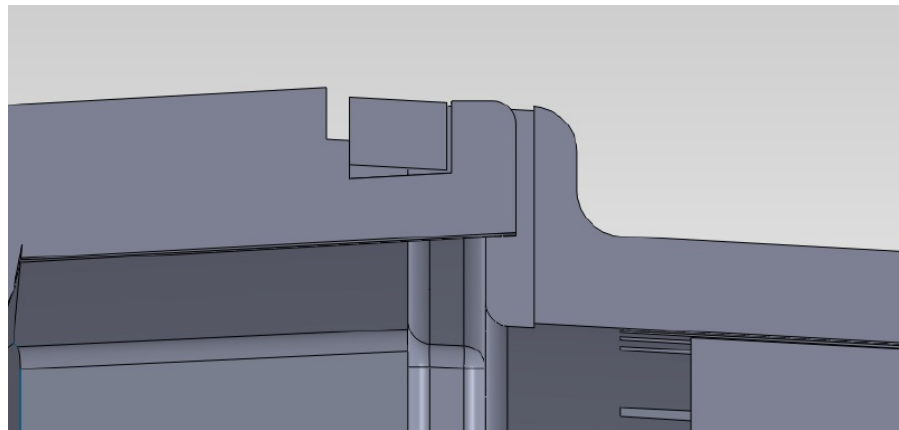
Nykyisessä kannessa snap-liitos on toteutettu ulospäin suuntautuvilla kynsillä. Kannen snap-liitin tulee pohjan sisäpuolelle, joka näkyy kuvassa 54. Kannen irrotus pohjaosasta tapahtuu puristamalla kantta, jolloin kansi joustaa ja snapin kynsi vapautuu pohjaosan urasta.



Kuva 34. Nykyisen kannen alaosan snap-liitin. (15)



Kuva 35. Nykyisen kannen yläosan snap-liitin. (15)



Kuva 36. Nykyisen kotelon snap-liitos. (15)

Uusiin kansimalleihin mallinnettiin snap-liitokset nykyisen kotelon mallin mukaan. Mallien valmistuttua oli selvää, että nykyisen kotelon mukainen snap-liitos, jossa kynsi on ulospäin ei tulisi toimimaan uusien kansimallien kanssa. Ongelmaksi muodostui uusissa kansissa oleva reuna, joka menee reilusti pohjaosan päälle. Snap-liittimien kynsi osat jäivät kannen reunan alle, jolloin niiden valmistus olisi muottiteknisesti mahdotonta. Liitteessä 7 on havainnollistettu snap-liitoksen ongelma. Kannen reunan ja snap-liittimen väliin ja 2,5 – 4,5 mm tilaa, joka ei mahdollista toimivan keerna ratkaisun tekemistä valumuottiin.

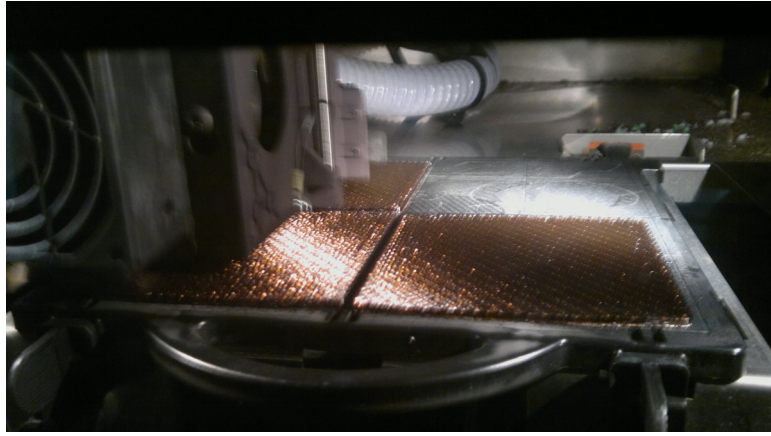
Ongelma ratkaistiin kääntämällä snap-liitoksen kynsi sisäänpäin. Uusien kansien ollessa leveydeltään suurempia kuin pohjaosa saatiin snap-liittimet melko vaivattomasti kannen reunan sisäpintaan. Sisäänpäin kääntyneessä snap-liitoksessa avaamista ei mahdollista kannen puristaminen, vaan päinvastoin kantta tulee vetää ylöspäin. Tästä syystä ylempi toiminnallisempi snap-liitin tuli muotoilla pyöreäreunaiseksi molempiin suuntiin. Näin varmistetaan liittimien sulava liike avatessa ja kiinnitettäessä kantta. Liitoksien alle lisättiin rivat antamaan kynnelle tukea, sekä ehkäisemään snapin kohdalle muodostunutta paksua ainekertymää. Liitteessä 8 on esitetty uusitut snap-liitokset.

5.5 Kansien pikamallien valmistus

Yrityksen hyväksytyä lopulliset mallit aloitettiin pikamallien valmistus. Yritys halusi että molemmista tyhjän kannen versioista tehtäisiin pikamallit. Näiden lisäksi myös näytöllisestä versiosta tehtiin pikamallit. Pikamalleja tehtäisiin kolme kappaletta jokaisesta mallista, joten pikamalleja tulisi yhteensä yhdeksän kappaletta.

Ennen pikamallien tekoa täytyi malleihin tehdä pieniä muutoksia. Kannot oli mallinnettu ruiskuvalutekniikan mukaisin välyksin, jotka olisivat liian pieniä käytössä olevalle FDM-menetelmälle. Kansien ja pohjaosan välisiä liitospintojen välyksiä kasvatettiin 0,2 mm:n ja myös snap-liitosten välykset muutettiin samaan arvoon.

Kansien mallit tallennettiin SolidWorksissa STL muotoon. Tämän jälkeen STL-tiedosto avattiin Insight-ohjelmassa, jossa kansi asetetaan haluttuun asentoon työstöalustalle, monistetaan ja määritellään työstöarvot. Tyhjistä kansista tulostettiin kaikki kolme kappaletta kerralla, koska ne mahtuivat työstöalustalle hyvin. Näytöllinen kansi jouduttiin tulostamaan kahdessa erässä, koska työstöalueen tila ei riittänyt. Pikamallien tulostuskertoja tuli siis neljä, joista pisin kesti 12 tuntia ja lyhin 2 tuntia.



Kuva 37. Pikamallilaite tulostaa tukiaineella pohjaa kansille. (15)

Kannet tulostettiin siten että niiden etupuoli oli tulostusalustalla ylöspäin. Tyhjien kansien etuosa oli hyvin loivasti kaareva. Koska pikamallit valmistuvat erittäin monesta päällekkäisestä kerroksesta, tuli kansien etuosasta melko karkea ja pinta muistutti rappusia. Tämän olisi voinut välttää asettamalla kannet tulostusalustalle pystyasentoon, jolloin kannen etureuna olisi osoittanut sivulle ja pinnasta olisi tullut paljon parempi. Kuitenkin materiaalinkulutus, etenkin tukiaineen kohdalla, olisi ollut merkittävästi suurempi ja näin pikamallien hinta kasvanut turhankin paljon. Näyttöllisen mallin pinta onnistui hyvin, koska se oli suora kauttaaltaan. Liitteessä 9 on esitelty tulostetut pikamallit.

Tulostuksen jälkeen pikamallit irrotettiin tulostusalustasta, sekä poistettiin varovasti käsin suurimmat tukiaineet pois. Tämän jälkeen mallit laitettiin ultraäänipesuriin, jossa loput tukiaineet liukenevat pois.



Kuva 38. Ultraäänipesuri. (15)

5.5.1 Viimeistely

Tapasimme yrityksen kanssa pikamallien tarkastelua varten. Koska pikamallit tulevat yritykselle uusien kansikonseptien esittelytarkoitukseen muille yrityksen tahoille, niin sovittiin että tyhjien kansien pikamalleista molemmista kaksi kappaletta viimeistellään, koska kansien etupuolen kaareva pinta oli melko karkea.

Kansien viimeistely aloitettiin levittämällä BodySoft 2-komponentti-polyesterikittiä, jonka jälkeen suoritettiin hionta. Tämä toistettiin jokaiselle kannelle kaksi kertaa sekä yhdelle vielä kolmannen kerran. Pinnan ollessa jokaisessa kannessa riittävän tasainen suoritettiin pohjamaalaus ja tämän jälkeen vielä kevyt hionta. Näytöllistä kansimallia kitattiin vain vähän, koska pinta oli hyvä jo pikamallinnuksen jälkeen. Lopuksi kannet maalattiin valkoiseksi. Liitteessä 10 on esitelty viimeistely ja viimeistellyt mallit.

5.6 Lopputuloksen tarkastelu

Työn alkuperäisenä tarkoituksena oli tuottaa uusien kansien konseptimallien pohjalta ulkonäköpikamallit. Työn edetessä kuitenkin päädyttiin lisäämään malleihin snap-liitokset, joilla tavoiteltiin toiminnallista lisäarvoa pikamalleille.

Ulkonäköllisesti ongelmia tuotti tyhjien kansien kaareva etupinta. Pikamallinnukseen käytetty FDM-menetelmä pystyy tuottamaan etenkin kerroksen paksuuden kohdalla melko karkean lopputuloksen. Toki kappaleen erilainen asettelu työstöalustalle olisi antanut paremman lopputuloksen, mutta haittapuolena kustannukset olisivat kasvaneet merkittävästi. Työssä päästiin kuitenkin hyvään lopputulokseen viimeistelemällä pikamallit käsin.

Toiminnallisen arvon lisääminen snap-liitoksilla onnistui myös hyvin, sillä kannet sopivat nykyiseen pohjaan ja ne pysyvät paikallaan. Tässä tapauksessa käytetty FDM-menetelmästä oli hyötyä, koska sen käyttämä ABS-muovi kestää melko hyvin taivutusta ja vääntelyä, eikä ole haurasta. Toki on muistettava, että malleihin täytyi lisätä suuremmat välykset kuin mitä lopullisessa tuotteen valmistustekniikassa käytettäisiin. Käytetty Stratasyn Prodigy Plus FDM-laite on jo iäkäs laite, joten uusimmilla laitteilla päästäisiin parempaan tulokseen tarkkuuden suhteen.

3D-mallien suhteen eniten ongelmia aiheuttivat päästöt ja snap-liitokset. Päästöistä ongelmallisia teki kaikkien pintojen vinous, jolloin uusien piirteiden luonti vaikeutui. Tämä johtuu pitkälti mallintajan kokemattomuudesta muovituotteiden suunnittelussa. Snap-liitoksissa nykyisen kannen tyyppinen ratkaisu ei ollut toimiva, koska sen esti muottitekniset rajoitteet. Uusien kansiin pohjaosaa leveämpi rakenne kuitenkin mahdollisti snap-liittimien sijoituksen pohjaosan ulkopuolelle. Pienillä kynnen muutoksilla snap-liitimestä saatiin kaksisuuntainen ja sen toiminta nykyisen pohjan kanssa on toimiva.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Vanhan sanalaskun mukaan yksi kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa. Uskallan työni perusteella väittää, että fyysinen kappale kertoo enemmän kuin tuhat kuvaa. Pikamallit kattavat tuotesuunnittelussa koko prosessin aina konseptimalleista prototyyppien testaukseen asti. Niiden avulla voidaan tuottaa malleja erittäin moniulotteisista tuotteista, koska vain mielikuvitus toimii muotoilullisena rajana pikamallien valmistuksessa. Pikamallit sopivat niin hahmomallien, ulkonäkömallien kuin myös toiminnallisten mallien valmistukseen. Etenkin viimeistellyissä ulkonäkömalleissa ja toiminnallisissa malleissa pikamallit ovat hyödyllisiä. Niillä saadaan lopullisen tuotteen näköisiä sekä niiden toiminnan omaavia kappaleita. Useiden erilaisten tuotevariaatioiden tarkasteleminen on helppoa ja nopeaa. Virheiden ja tuotteen muotokielen havainnointi on käsin kosketeltavasta kappaleesta selvästi helpompaa kuin 3D-mallista tietokoneen näytöltä. Markkinointi ja pakkaussuunnittelu saavat pikamallien avulla enemmän aikaa suunnittelu työhön, koska valmista tuotetta ei tarvitse odotella.

Ruiskuvalutuotteiden suunnittelussa pikamallit ovat hyviä, koska millään muulla mallitekniikalla ei vastaavat mallit onnistuisi. Pikamallien vapaa muotoilu antaa ruiskuvalutuotteen suunnitteluun käsin kosketeltavaa palautetta, jota ei kuvien avulla voi korvata. Tämän lisäksi pikamallien avulla voidaan testata lopullisen tuotteen toimintaa ja tehdä helposti muutoksia. Tuotteen esittely asiakkaalle ja myynnille on pikamallien avulla vaivatonta, etenkin koska monitahoisten muotojen havainnointi on pelkistä kuvista vaikeaa. Täydellisiä pikamallit eivät ruiskuvalutuotteiden havainnointiin kuitenkaan ole. Suurimpana ongelmana on niiden heikko tarkkuus verrattuna ruiskuvalutuotteiden vaatimuksiin. Ulkonäkömallien kohdalla joudutaan usein turvautumaan käsin-

tehtyyn viimeistelyyn. Viimeistelyn kautta kappaleesta saadaan esittelykelpoinen, mutta tämä tapahtuu mittatarkkuuden kustannuksella. Toiminnallisissa malleissa täytyy käytettävän menetelmän tarkkuus ottaa huomioon ennen pikamallien valmistusta. Tarvittavat välykset tulee lisätä, jolloin varmistetaan kappaleen haluttu toimivuus ja sopivuus. Lopullisen tuotteen kannalta asialle ei kuitenkaan ole merkitystä.

Työn käytännönsuudessa valmistettiin yritykselle uudet säädinkoteloiden kansien mallit KyAMK:n pikamallinvalmistuslaitetta hyväksikäyttäen. Vaikka työn aikana oli ongelmia, niin lopputulos oli mielestäni yllättävän hyvä. Pikamallit jouduttiin huonon pinnanlaadun johdosta viimeistelemään käsin, mutta toiminnallisesti mallit onnistuivat. Ainoastaan kansien sovite pohjaosaa vasten epäonnistui. Lopullisissa kansimalleissa snap-liitos käännettiin sisäänpäin. Tästä syystä olisi ollut parempi kääntää myös pohjaosan sisäpuolen reunoihin tukeutuva sovite ulkopuolelle, jolloin kannen paikalleen asettaminen helpottuisi. Työn alkuperäinen tarkoitus oli luoda ulkonäkömallit valmiiden kansikonseptien pohjalta. Tältä osin työn tavoite mielestäni saavutettiin ja lisäksi saatiin lisättyä kansiin myös toiminnallisuutta snap-liitoksen avulla.

Tässä työssä kerrotaan perusteet pikamallinnuksesta ja ruiskuvalusta, sekä käydään läpi myös ruiskuvalutuotteiden suunnittelua ja pikamallien hyödyntämistä suunnittelussa. Vaikka pikamallinnus on erittäin laaja aihealue ja menetelmiä ja laitteita on useita, Suomessa ei alan varteenotettavia julkaisuja juurikaan ole. Tämä vaikeutti tiedonhankintaa ja aiheutti osaltaan työni jäämisen melko suppeaksi tutkittavaan aiheeseen nähden.

LÄHTEET

1. Vipu voimaa EU:lta projektin kuvaus. Eura 2007. Saatavissa:
<https://www.eura2007.fi/rrtiepa/projekti.php?projektikoodi=A31052> [Viitattu 7.10.2011]
2. Järvelä, Syrjälä, Vastela. 1999. Ruiskuvalu. Tampere: Plastdata Oy.
3. Muoviteknologia. Taideteollinen korkeakoulu. Virtuaaliyliopisto. Saatavissa:
<http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/pikamallit/index.html> [Viitattu 20.10.2011]
4. SLA:n periaatekuva. Castle Island Co. Saatavissa:
http://www.additive3d.com/sla_int.htm [Viitattu 21.10.2011]
5. SLA-menetelmän pääarvot -kuva. CustomPartNet. Saatavissa:
<http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography> [Viitattu 24.10.2011]
6. SLS:n periaatekuva. Castle Island Co. Saatavissa:
http://www.additive3d.com/sls_int.htm [Viitattu 21.10.2011]
7. SLS-menetelmän pääarvot kuva. CustomPartNet. Saatavissa:
<http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering> [Viitattu 24.10.2011]
8. FDM:n periaatekuva. Castle Island Co. Saatavissa:
http://www.additive3d.com/fdm_int.htm [Viitattu 21.10.2011]
9. FDM-menetelmän pääarvot kuva. CustomPartNet. Saatavissa:
<http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling> [Viitattu 24.10.2011]
10. LOM:n periaatekuva. Castle Island Co. Saatavissa:
http://www.additive3d.com/lom_int.htm [Viitattu 21.10.2011]

11. LOM-menetelmän pääarvot kuva. CustomPartNet. Saatavissa:
<http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing> [Viitattu 24.10.2011]
12. Muovimuotoilu. Taideteollinen korkeakoulu. Saatavissa:
<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/126/184/> [Viitattu 21.10.2011]
13. 3D-tulostuksen periaatekuva. Castle Island Co. Saatavissa:
http://www.additive3d.com/ink_int.htm [Viitattu 21.10.2011]
14. LOM-menetelmän pääarvot kuva. CustomPartNet. Saatavissa:
<http://www.custompartnet.com/wu/ink-jet-printing> [Viitattu 24.10.2011]
15. Haapanen, A. Haastattelu 20.10.2011. KyAMK
16. Kuva on opinnäytetyöntekijän ottama.
17. Prodigy Plus käyttöohje. Stratasys Inc. Saatavissa:
http://groups.csail.mit.edu/drl/wiki/images/3/3c/ProdigyPlusUserGuide04_web.pdf [Viitattu 21.10.2011]
18. Kurri, Malén, Sandell, Virtanen. 1999. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
19. Ruiskuvaluprosessikuva. Valuatlas. Saatavissa:
<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf> [Viitattu 9.10.2011]
20. Ruiskutusvaihekuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/prosessi/index.html> [Viitattu 9.10.2011]
21. Jälkipainevaihekuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/prosessi/index.html> [Viitattu 9.10.2011]

22. Muotin avaus kuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/prosessi/index.html>
[Viitattu 9.10]
23. Ruiskutusyksikkökuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/2/index.html> [Viitattu 10.10.2011]
24. Ruiskutusyksikön valokuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/kuvat/eng2_1_6.html [Viitattu 10.10.2011]
25. Sulkuyksikön rungon kuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/3/index.html> [Viitattu 10.10.2011]
26. Yksinkertaisen polvinivelmekanismin kuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/kuvat/eng3_1_1.html [Viitattu 10.10.2011]
27. Viisinivelisen polvinivelmekanismin kuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/3/index2.html> [Viitattu 10.10.2011]
28. Hydraulisen sulkuyksikön kuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/3/index3.html> [Viitattu 10.10.2011]
29. Hydraulis-mekaanisen sulkuyksikön kuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/3/index4.html> [Viitattu 10.10.2011]

30. Hydraulisen käyttöyksikön kaaviokuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/4/index.html> [Viitattu 20.10.2011]
31. Ruiskuvalukoneen ohjausyksikön kuva. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/5/index.html> [Viitattu 20.10.2011]
32. Kuva ruiskuvalumuoteista. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/ruiskuvalukone/6/index.html> [Viitattu 20.10.2011]
33. Ruiskuvalukappaleen suunnittelu. Valuatlas. Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_overallprocess_FI.pdf [Viitattu 20.10.2011]
34. Pinnan muotojen suunnittelukuva. Valuatlas. Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_overallprocess_FI.pdf [Viitattu 20.10.2011]
35. Raaka-ainekertymien esimerkkikuva. Taideteollinen korkeakoulu. Saatavissa:
<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/44/77/> [Viitattu 20.10.2011]
36. Ripojen suunnittelukuva. Valuatlas. Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_overallprocess_FI.pdf [Viitattu 20.10.2011]
37. Mitä on 3D-tulostus. C-Advice. Saatavissa: <http://www.c-advice.com/?q=node/35> [Viitattu 26.10.2011]
38. Muutoskustannuksetkuva. C-Advice. Saatavissa: <http://www.c-advice.com/?q=node/35> [Viitattu 26.10.2011]

39. Tietoa yrityksestä. Produal Oy. Saatavissa: <http://www.produal.fi/FI/Yritys> [Viitattu 23.10.2011]
40. Sädinkoteloiden kuva. Produal Oy. Saatavissa: <http://www.produal.fi/FI/Tuotteet/Langattomat> [Viitattu 23.10.2011]