

Henri Paulakoski

TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET

Muottivalinta

Lahden ammattikorkeakoulu Tekniikan ala Tuotantopainotteinen puutekniikka Opinnäytetyö Syksy 2009



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan ala Tuotantopainotteinen puutekniikka Opinnäytetyö Syksy 2009

Henri Paulakoski

TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET

Muottivalinta

Lahden ammattikorkeakoulu
Tekniikan koulutusala

PAULAKOSKI, HENRI: Termomuovattavat puulevyvalmisteet
Muottivalinta

Tuotantopainotteisen puutekniikan opinnäytetyö
Syksy 2009

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön teoriaosa käsittelee erilaisia muovaustekniikoita lähinnä muovialalta, mutta myös hieman puualalta. Teoriaosuuden pääasiallinen tarkoitus on kartoittaa termomuovattavalle puulevyvalmisteelle mahdollisia muovaustekniikoita. Lisäksi teoriaosuudessa tarkastellaan muottien rakennetta sekä erilaisia materiaaliveikkoja.

Teoriaosassa käsiteltyjen tietojen pohjalta valitaan mahdolliset muovaustekniikat sekä materiaalit, jotka parhaiten soveltuvat selkänöjan valmistukseen. Kyseinen selkänöja koostuu ABS-ytimestä, jonka pinnoille on liimattu puuviilut. Parhaat ratkaisut prosessille löytyvät muoviteollisuudesta, kahdesta erilaisesta lämpömuovaustekniikasta. Kyseiset tekniikat ovat kuumapuristus ja tyhjiö- eli alipainemuovaus. Mahdollisiksi muottimateriaaleiksi osoittautuu muutamia vaihtoehtoja, joista kuitenkin alumiini on lähtökohtaisesti ominaisuuksiensa puolesta paras.

Teoriaosan jälkeen lähetettiin tarjouspyyntöjä muottivalmistajille, joilta saatiin erilaisia tarjouksia. Opinnäytetyön loppuosassa vertaillaan tarjouksia eri näkökulmista, kuten muotin käyttöiän, työsyklin nopeuden ja hinnan perusteella.

Odotetusti neljästä valmistajasta kolme tarjosi kokonaan alumiinista muottia ja vain yhdessä tarjous käsitteli muusta kuin alumiinista valmistettua muottia. Tämä muotti valmistetaan epoksista, joka on lämmönkesto- ja lämmönjohtamiskyvyiltään alumiinia selvästi huonompi. Epoksimuotti on kuitenkin niin paljon halvempi, että useimmissa tapauksissa kahden erillisen epoksimuotin hankkiminen on halvempaa kuin yhden alumiinimuotin. Epoksimuoteilla on siis lyhyempi käyttöikä, mutta vastaavasti työsykli olisi huomattavasti nopeampi, kun toinen muotti on lämmittämistä ja toinen jäähdyttämistä varten. Alumiinisissa muoteissa erot tulevat esiin lähinnä muovaus- ja lämmitystavan sekä hinnan suhteen.

Tämän opinnäytetyön on tarkoitus antaa hyvät lähtökohdat lopullisen muottivalinnan tekemiselle. Huonekalutehdas Korhonen priorisoi tarpeensa ja tehnee valintansa käytettävissä olevista muottivaihtoehdoista.

Avainsanat: kuumapuristus, alipainemuovaus, alumiinimuotti, epoksimuotti, käyttöikä, työsykli

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

PAULAKOSKI, HENRI: Thermoformable wood panel products
Choosing the mould

Bachelor's Thesis in Wood Technology
Autumn 2009

ABSTRACT

This thesis deals with moulds for making the back of a chair from thermoformable wood panel. The study was commissioned by furniture factory Korhonen. The purpose was to give a basis for making the final decision concerning the moulds. The factory is going to prioritize their needs and based on that choose from the available mould alternatives.

The theory part examines different kinds of moulding techniques mostly in the plastic field, but also in the wood field. The main purpose of the theory section is to survey possible moulding techniques for a thermoformable wood product. The theory part also examines constructions of the moulds and different material alternatives.

The moulding techniques and mould materials that are the most suitable for producing the back rests were chosen based on the facts in the theory part. The particular back rest consists of an ABS core that has veneer coating glued on the surfaces. The best solutions for the process come from the plastic field: two different thermoforming methods, compression moulding and vacuum forming. There are some alternatives for the mould material, from which aluminium seems to be the best, what comes to its qualities.

After the theory part, the requests for quotation were sent to the mould manufacturers, who sent back their offers. At the end of the study the offers were compared with each other from different points of view, such as the mould's working life, the speed of the working cycle, and price.

As anticipated, three out of four producers offered a mould totally made of aluminium and only one offered a different material for it. This particular mould is made from epoxy, which has clearly weaker thermal resistance and conductivity. Nevertheless, the epoxy mould is so much cheaper that in most cases purchasing two epoxy moulds is cheaper than purchasing one aluminium mould. So epoxy moulds last less but correspondingly the working cycle is considerably faster, as one mould is for heating and the other mould is for cooling. The differences between the offered aluminium moulds were principally in the moulding technique, heating method, and price.

Key words: compression moulding, vacuum forming, mould, working cycle, price.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 MUOVAUSTEKNIIKAT	7
2.1 Lämpömuovaus	7
2.1.1 Tyhjiömuovaus	8
2.1.2 Kuumapuristus	8
2.2 SMC, BMC ja GMT	9
3 MALLIEN JA MUOTTIEN MATERIAALIVALINTA	9
3.1 Valettavat kertamuovit	10
3.2 Lasikuitulujitetut muovit	10
3.3 Hiilikuitulujitetut kertamuovit	10
3.4 Ruiskutettavat ja elektrolyttisesti pinnoitettavat metallit	11
3.5 Keraamit	12
3.6 Kipsit	12
3.7 Puu	12
3.8 Epoksit	13
3.9 Metallit	13
4 MUOTTIRAKENTEET ERI VALMISTUSTEKNIIKOILLA	14
4.1 Käsilaminointi- sekä kuituruiskutustuotteiden muotit	14
4.2 SMC-, BMC- ja GMT-tuotteiden muotit	14
4.3 Alipainepuristusmuotit	15
4.3.1 Pohjalevyt ja kiinnitys	15
4.3.2 Päästökulmat	16
4.3.3 Rei'itys	16
4.3.4 Kutistuma ja muotin avaus	17
4.3.5 Muotin jäähtytys	18
4.3.6 Paininavustustekniikka	18
4.3.7 Ongelmakohdat	19
4.4 Kuumapuristusmuotit	20
4.4.1 Esilämmitys	20
4.4.2 Muotin lämmitys	21
4.4.3 Kaasujen vapautus	21
4.4.4 Kutistuminen	21
4.4.5 Jälkikövetus	22
4.5 Muotopuristusmuotit	22
4.5.1 Suurjaksokuumennus	22
4.5.2 Vastuskuumennus	23

5 TARJOUKSET	23
5.1 Tarjouspyynnön sisältö	23
5.2 Vuoripoika Oy	25
5.3 Nortool Oy	26
5.4 Irepoint Oy	27
5.5 Merocap Oy	28
6 YHTEENVETO JA POHDINTA	28
LÄHDELUETTELO	31
LIITTEET	32

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee termomuovattavan puulevyvalmisteen valmistustekniikkaa ja erityisesti prosessiin tarvittavaa muottia. Termomuovattava puulevyvalmiste koostuu muoviytimestä, jonka pintaan liimataan puuviilut. Ajatuksena on valmistaa ensin tasomainen aihio, joka ennen kolmiulotteiseen muotoon muovausta esilämmitetään tarvittavassa lämpötilassa, jotta ydinmateriaali saavuttaa elastisen muodon. Tämän jälkeen termoplastinen levy laitetaan muottiin, jossa sille puristetaan haluttu muoto. Tämän jälkeen muotti tulee jäädyttää, jonka aikana kappale kiinteytyy muotoonsa. Jäähditys on tehtävä riittävän nopeasti, jotta liimasauma pysyy laadukkaana. Levyllä on myös koristeellinen merkitys. Ennen 3D-puristusta levyn viilupintaan voidaan jyrsiä kuvioita, joista muovi nousee pintaan lämpömuovauksen aikana.

Tässä opinnäytetyössä pohditaan muottivalintaa Huonekalutehdas Korhosen tuotteelle, joka on tuolin selkänoja. Selkänojaa on ollut tuotannossa jo aiemmin, mutta sitä on tähän mennessä valmistettu muotopuristemenetelmällä.

Työn tavoitteena on löytää ratkaisu perehtymällä muovi- ja puualan muotteihin ja muovaustekniikoihin kirjallisuuden avulla sekä lisäksi ottaa yhteyttä alan yrityksiin ja neuvotella näiden kanssa erilaisista ratkaisuista. Tutkimuksen on tarkoitus antaa Huonekalutehdas Korhoselle muutamia vaihtoehtoja muoteista, joilla menetelmää olisi mahdollista käyttää. Ratkaisun löytäminen on sikäli haasteellista, että kyseisen kaltaista tuotetta ei ole aiemmin valmistettu.

Projekti on Tekesin rahoittama, ja tutkimusryhmässä on mukana Lahden ammattikorkeakoulun valmistuvia oppilaita sekä opettajia. Lahden ammattikorkeakoulun tiloissa on tehty lukuisia testauksia mm. liimaukseen ja liimavalintaan liittyen, joiden tuloksia hyödynnetään myös tässä opinnäytetyössä.

2 MUOVAUSTEKNIIKAT

Muovialalla on kattava tarjonta erilaisia muovausmenetelmiä. Puualalla muovausta suoritetaan lähinnä muotopuristeiden valmistuksessa. Tässä luvussa on esiteltävänä muovaustapoja, joita olisi mahdollista soveltaa termomuovattaviin puulevyvalmisteisiin.

2.1 Lämpömuovaus

Lämpömuovaus suoritetaan siten, että kestopuuvainen levy lämmitetään ensin joustavaksi, jonka jälkeen se puristetaan muotissa muotoonsa. Sarjat ovat lämpömuovauksessa melko pienikokoisia; muutamasta kappaleesta satoihin kappaleisiin. Lämpömuovaus voidaan jakaa muutamiiin erilaisiin versioihin. Muovaus voidaan tehdä negatiivi- tai positiivimuotin päälle ja lisäksi muovauksessa voidaan käyttää tyhjiötä tai painetta varsinaisen muovauksen tekemiseen. Lämpömuovaustavan valitsemiseen vaikuttavat lopputuotteelta vaadittavat ominaisuudet sekä dimensiot, vetosuhte ja vaadittava materiaalin jakautuminen tuotteessa. (Vienamo 2009a.) Levyn paksuus on yleensä 10 mm tai enemmän (Rosato. 1997, 436).

2.1.1 Tyhjiömuovaus

Tyhjiö- eli alipainemuovaus on yleisin lämpömuovaustapa. Siinä kappaleen toinen pinta kopioiduu muotin pinnasta ja toinen pinta kappaleen oheneman mukaan. Aineen oheneman tasaisuuteen vaikuttaa lämmityksen tasaisuus sekä aineen venymä. Levy on mahdollista esivenyttää ennen tyhjiötä käyttämällä painimia. Pyöristykset suurenevät hieman ainepaksuuden mukaan. (Vienamo 2009a.)

Käytännössä levy kiinnitetään muovauskoneen raamiin, jossa se kuumennetaan sähkövastuksilla pehmeäksi, jonka jälkeen se puhalletaan kuplaksi. Koneen työkalupöytä nostetaan kuplan sisään ja ilma imetään alipainepumpulla kuplasta pois. Tämän jälkeen on vuorossa kappaleen jäähdytys ja irrotus. Lopuksi leikataan reunat pois sekä tehdään tarvittavat aukotukset. (Vienamo 2009a.)

Tyhjiömuovauksella tehdyt kappaleet eivät ole yhtä tarkkoja kuin ruiskuvalamalla tehdyt kappaleet, mutta menetelmä mahdollistaa ohuempien kappaleiden valmistamisen. Usein puisessa tai alumiinisessa muotissa muovataan 1–8 mm paksuja levyjä. Tyypillisiä tyhjiömuovattavia muoveja ovat PS ja ABS. Yleensä käytetään standardilevyjä, koska muussa tapauksessa levyt voivat tulla kalliiksi. Aihioista menee yleensä suhteellisen paljon hukkaan. Muotin pinta tulisi olla virheetön, etteivät sen virheet näy levyn pinnassa. Pintakuviointilla voidaan kuitenkin peittää virheitä. Kappaleen irrotus tehdään usein vannesahalla. Myös NC-robotteja voidaan käyttää irrotuksessa, jolloin voidaan tehdä monimutkaisempia muotoja. Jälkityöstössä käytetään yleensä jiggiä kappaleen tukemiseksi. (Vienamo 2009a.)

Tyhjiömuovauksen yksi huomionarvoinen seikka projektimme suhteen on se, että muovatun kappaleen pinnoissa saattaa olla laatueroja. Mikäli muotin pinta on vaurioitunut, siirtyvät vauriojäljet kappaleen pinnalle. Vastaavasti jos esimerkiksi lämmitys on epätasainen, se ei vaikuttaisi kappaleen ulkopinnan laatuun siihen asetettavan viulun takia. Laatuero voidaan peittää käyttämällä positiivimuottia, jolloin mahdolliset virheet tulisivat selkänöjan selkää vasten asetuvalle puolelle. Tällöin virheet voitaisiin peittää verhoilemalla tai kuvioimalla. Mikäli valmistettava selkänöjaa ei haluta verhoilla, pitää muotin pinta pitää puhtaana esimerkiksi puhaltamalla rosakat ja pöly pois paineilmalla aina puristuksen jälkeen.

2.1.2 Kuumapuristus

Yleinen kuumapuristusmateriaali on kestonuovinen solumuovi, usein PE. Menetelmällä laminoidaan usein erikövuisia levyjä toisiinsa. Muotit ovat usein metallisia hyvän lämmönjohtavuuden takia, mutta prototyyppejä voidaan valmistaa myös puusta. Kappaleen toisesta pinnasta tehdään yleensä tasomainen, mutta myös kolmiulotteisten kappaleiden valmistus on mahdollista. (Vienamo 2009a.) Menetelmä on hyvin yksinkertainen. Aihio kuumennetaan ensin uunissa, jonka jälkeen se siirretään muottiin. Muotissa se puristetaan muotoonsa, jonka jälkeen se jäähdytetään. Lopuksi leikataan kappale irti. (Vienamo 2009a.)

Kuumapuristuksen huono puoli on, että virheitä on mahdollista tulla molemmille puolille selkänöjaa, mikäli muotin molemmissa puolissa olisi virheitä. Virheet voitaisiin tietenkin peittää molemmilta puolilta esimerkiksi verhoilun avulla, mutta tällöin ei voitaisi hyödyntää viulun urista näkyvää muovikuviointia, joka on kuitenkin yksi termomuovattavan levyn tärkeä ominaisuus.

Muotti tulisi siis pitää ehdottoman puhtaana, jotta pienet roskat eivät painaisi muottiin jälkiä. Tosin muotin virheet eivät kuitenkaan kopioituisi yhtä vahvasti viilun kuin muovin pinnalle.

2.2 SMC, BMC ja GMT

SMC (Sheet Moulding Compound) ei kuvaa niinkään valmistusmenetelmää vaan käytettävää puolivalmistetyyppiä. Menetelmässä kuumapuristus tapahtuu ahtopuristuksena. Siinä muuttaman mm:n paksuinen taipuisa SMC-levy puristetaan muottiin ja kovetetaan lämpötilan avulla. Menetelmä soveltuu hyvin levymäisten kappaleiden valmistukseen. Taloudellisen sarjakoon suuruusluokka on 10 000 kpl ja kappaleet voivat olla pinta-alaltaan 4,5 m². Menetelmällä ei kuitenkaan saada lujuudeltaan parasta mahdollista lopputulosta. (Vienamo 2009b.)

Myös BMC (Bulk Moulding Compound) kuuluu kuumapuristusmenetelmiin, jonka nimi tulee myös muovattavan materiaalin mukaan. BMC on taikinamaista massaa, joka on lujitettua ja täyteaineella täytettyä kertamuovimassaa, joka kovetetaan muovauksen aikana korkeammassa lämpötilassa. Pienien muottikutistumien ansiosta BMC-tekniikalla valmistetut tuotteet soveltuvat myös kohtalaisen mittatarkkoihin kohteisiin. Taloudellisesti kannattavat sarjakoot voivat olla melko pieniä, eli luokkaa 1000 kpl. Usein tuotantomäärät nousevat kuitenkin useisiin tuhansiin. (Vienamo 2009b.)

GMT-menetelmää (Glass Matt Thermoplastics) käytetään lasikuituseosteisten kestopuovituotteiden (GMT, RTC) valmistamiseksi kuumapuristamalla. Menetelmä soveltuu erityisesti monikerrostuotteiden valmistukseen. GMT-materiaalien käyttö on edullinen vain muutamankin sadan kappaleen sarjoissa. (Vienamo 2009b.)

SMC-tekniikkaa olisi mahdollista hyödyntää juuri selkänöjan tyyppisiin kappaleisiin niiden tasomaisen muotonsa vuoksi. Kyseistä menetelmää käytettäessä selkänöjasta ei voitaisi kuitenkaan tehdä kovinkaan paksua, koska levyn tulee olla ohut, jotta se saadaan taipumaan muottiin kylmänä. Ohuuden vuoksi lujuus kärsisi, joka saattaisi aiheuttaa vaikeuksia tuolin standardien mukaisissa lujuustesteissä. Lisäksi menetelmä toimii päinvastoin kuin menetelmä, jota alun perin on suunniteltu, eli lämmöllä kappale pehmenetään ja jäähdytyksellä jäykistetään. Ydinmateriaalit eivät siis vastaisi Lahden ammattikorkeakoululla tehtyjen testien ydinmateriaaleja.

3 MALLIEN JA MUOTTIEN MATERIAALIVALINTA

Lujitemuovikappaleen valmistuksessa tarvitaan yleensä muotti, jonka valmistukseen puolestaan tarvitaan malli. Muotin suunnittelulle asettaa omat vaatimuksensa valmistustekniikka sekä kappaleen muoto. Tavallisimpia suunnitteluparametrejä ovat sarjakoko, kovetuslämpötila, muottipaine, mittatarkkuus, lämpölaajeneminen, lämmönjohtavuus, muotin paino sekä jäykkyys. Mallien ja muottien oikealla rakenteella ja materiaalivalinnalla on erittäin merkittävä osuus sekä prototyypikappaleiden onnistumiseen että sarjatuotteiden taloudellisuuteen. (Airasmaa, Kokko, Komppa & Saarela 1991, 274.)

Avomuottimenetelmiä käytettäessä mallit tehdään puusta, savesta, kipsistä tai erilaisista muovimateriaaleista valamalla, laminoimalla tai työstämällä. Jos muotin kovetus vaatii korkean lämpötilan, voidaan myös käyttää grafiittia. Mallimateriaalin tulisi olla helposti muovailtavaa, mittapysyvää ja edullista. Mallin kestävyys ei ole niinkään merkittävä, koska sillä ei yleensä tehdä kovin monta muottia. Teräsmuotit työstetään yleensä ilman mallia. (Airasmaa ym. 1991, 274.)

Muottimateriaalien tärkeimmät valintakriteerit ovat kulumiskestävyys ja lämmönkesto. Parhaimmat muottiolosuhteet ovat huoneenlämpötilassa kovettavissa käsilaminointi tuotteissa. Kovimmat olosuhteet ovat kuumalujien teknisten kestumuovien ruiskuvalussa tai jatkuvalujitteisten kestumuovilevyjen puristuksessa. (Airasmaa ym. 1991, 274.)

3.1 Valettavat kertamuovit

Pieniä kappaleita valmistettaessa muottimateriaalina voidaan käyttää valettavia kertamuoveja. Yleisin on epoksi, jolla on kohtalaisen pieni kovettumiskutistuma. Sopivilla täyteaineilla saadaan lisättyä kulumiskestävyyttä ja pienennettyä muottien kutistumaa, painoa sekä lämpölaajenemista. Puhtaan hartsin jäykkyys ja lujuus ovat alhaisia, mistä syystä valumuotteja käytetään harvoin suurten kappaleiden valmistuksessa. Myös lämpölaajenemiskerroin on suuri, mikä puolestaan hankaloittaa valumuottien käyttöä korotetuissa lämpötiloissa. (Airasmaa ym. 1991, 274.)

3.2 Lasikuitulujitetut muovit

Lujitemuovit ovat tyypillisiä muottimateriaaleja pienillä muottipaineilla toimivissa puristus- ja RTM-menetelmissä sekä avomuottimenetelmissä. Lasikuitulujitteiset kertamuovimuotit ovat lujia, kevyitä ja helposti jäykistettävissä joko kerroslevyrakenteilla tai jäykisterivoin. Materiaali on myös hinnaltaan kilpailukykyinen ja se soveltuu erinomaisesti prototyypivalmistukseen. Rajallinen kulumis- ja lämmönkestävyys ovat lasikuitulujitteisten muovien huonoimmat puolet muotin valmistuksen kannalta. Joissain sovelluksissa myös lämpölaajenemista tapahtuu liikaa. (Airasmaa ym. 1991, 274.)

3.3 Hiilikuitulujitetut kertamuovit

Hiilikuitulujitteisiä muottimateriaaleja käytetään varsinkin hiilikuitulujitteisten lujitemuovituotteiden valmistuksessa alipainesäkki- ja autoklaavikovetuksilla. Materiaalilla on pieni lämpölaajenemiskerroin, joka on samaa luokkaa kuin valmistettavilla kappaleillakin. Tämä on pääasiallinen syy materiaalivalintaan. Kun lämpölaajenemiskertoimet ovat yhteneväiset, on mahdollista valmistaa mittatarkasti monimutkaisiakin kappaleita. Kuumalujien muovien käytöllä saadaan muotit kestäväksi myös autokaavinmenetelmässä käytettävien kovetusprosessien lämpötilat. Muotit ovat kevyitä ja lämpenevät nopeasti. Materiaali on kuitenkin moninkertaisesti kalliimpaa kuin lasikuitulujitteinen muovi. (Airasmaa ym. 1991, 274.)

Kuten myös muilla laminaattirakenteisilla muoteilla, sen huonona puolena on anisotropisuus. Lämpölaajenemisominaisuudet poikkeavat laminaattitasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa huomattavasti tasonsuuntaisista ominaisuuksista. Tästä johtuu muotin vääristyminen korotetuissa lämpötiloissa. Myös lämpötilasyklit voivat aiheuttaa kerrosten välisiä mikrohalkeamia, jotka vähentävät muotin käyttöikä. Hyvällä muottisuunnittelulla ja oikeilla hartsivalinnoilla voidaan

kuitenkin vähentää epäisotrooppisuuden haittapuolia. Korkean lämpötilan muotteja valmistettaessa tehdään usein myös ylimääräiset muotit huoneenlämpötilassa kovettuvista materiaaleista. Täten myös lopullisen muotin malli on valmistettu laminoidusta hiilikuidusta, jolla on sama lämpölaajenemiskerroin. (Airasmaa ym. 1991, 274.)

3.4 Ruiskutettavat ja elektrolyttisesti pinnoitettavat metallit

Kun muotilla on tarkoitus valmistaa suuria sarjoja, on kulumiskestävyys erityisen tärkeä ominaisuus materiaalia valittaessa. Metallimuottien korkean hinnan takia on kehitetty erilaisia ruiskutettavia metallityyppejä, joilla saadaan esim. lujitemuovimuotille kova ja kulutuksen kestävä sisäpinta. (Airasmaa ym. 1991, 276.)

Metallikuoren paksuus on muutamia millimetrejä. Tämä kuori jäykistetään betonilla, lujitemuovilla, muovilla tai muulla edullisella muottimateriaalilla. Kuori valmistetaan joko ruiskuttamalla tai elektrolyttisesti pinnoittamalla. Ruiskutettavia metalliseoksia ovat sinkki-, tina-sinkki- ja tina-vismuttiseokset. Näillä kaikilla metalliseoksilla on alhainen sulamislämpötila (noin 150 - 200 °C), jolloin mallin lämpötilankeston ei tarvitse olla korkea eikä ruiskutuslaitteistolta vaadita suurta tehoa. Niin sanotussa termisessä ruiskutuksessa, jossa metalli sulatetaan valokaarella tai kaasuliekillä, voidaan käyttää myös korkeammassa lämpötilassa sulavia metalleja. (Airasmaa ym. 1991, 277.)

Ruiskutettavan metallikuoren valmistaminen on taloudellista ja nopeaa. Suurin haitta on metallikuoren huokoisuus, joka ei anna kaikissa sovellutuksissa riittävän hyvää pinnanlaatua. Ruiskutettavia metalleja voidaan soveltaa prototyypinvalmistukseen suursarjamenetelmissä sekä myös keskiuurille sarjoille, jos puristuspainet ja lämpötilat ovat kohtuulliset. (Airasmaa ym. 1991, 277.)

Elektrolyttisessä pinnoituksessa asetetaan malli katodiksi elektrolyttiliuokseen. Anodilta liukenevat ionit saostuvat mallin pinnalle ja vähitellen muodostavat sen pinnalle metallikuoren. Valmiissa muotissa kuoren paksuus on noin 5 mm. Yleisin elektrolyttisessä pinnoituksessa käytettävä materiaali on nikkeli, jolla saadaan tiivis ja kulutusta kestävä pinta. Mallimateriaalin vaatimukset eivät ole suuret; sen tarvitsee vain kestää kosteutta sekä 30...40 °C:n lämpötila dimensioiden muuttumatta. (Airasmaa ym. 1991, 277.)

Elektrolyttinen pinnoitus on hidasta, ja tasaisen paksuuden aikaansaaminen vaatii ammattitaitoa. Tuloksena on kuitenkin pinnanlaadultaan hyvä muotti, joka soveltuu sekä suursarjatuotantoon että vaativiin kovetusolosuhteisiin. Valmistusmenetelmä ei aseta rajoituksia muotin koolle. Ainoa käytännön rajoitus voi olla elektrolyttialtaan koko. (Airasmaa ym. 1991, 277.)

Ruiskutettavia metalleja käyttämällä voitaisiin säästää muottikustannuksissa huomattavasti rakentamalla muotti pääosin esimerkiksi betonista ja pinnoittamalla se metallilla. Muotin pinnoitusmateriaali on kuitenkin valittava niin, että sulamislämpötila pysyy muovauksessa käytettävän muovauslämpötilan yläpuolella, tarvittaessa tekemällä pinnoitus termisellä ruiskutusmenetelmällä. Pinnan huokoisuus ei suurella todennäköisyydellä tulisi olemaan ongelma kappaleessa käytettävien pintaviilujen takia. Mikäli muotin pinta päätetään pinnoittaa elektrolyttisesti, on se syytä teettää ammattilaisilla.

3.5 Keraamit

Valettavia keraameja käytetään prototyypimuotteina etenkin korkean lämpötilan vaativilla materiaaleilla. Hyvän lämmönkeston lisäksi lämpölaajenemiskerroin on pieni. Valettavien keraamimuottien paksuudet ovat noin 100...200 mm, mistä syystä muotit ovat hitaasti lämpeneviä ja raskaita. Muotin pinta tulee tiivistää pinnan huokoisuuden takia. Muotin valmistus on yksinkertaista eikä vaadi erikoistyökaluja. Näin sekä työkustannukset että materiaalit ovat edullisia. Valettavia keraameja on käytetty myös matriisiaineena muovien sijasta. Lujituksena on tällöin käytetty hiilikuitua. Alussa vaivanneita kestävyysongelmia on saatu vähennettyä, ja nykyisillä keraamiseksi pystytään valmistamaan kestäviä, ohutseinäisiä ja alhaisen lämpölaajenemisen omaavia muotteja. Kuumalujien muottien valmistuksessa käytetään kemiallisesti sidottuja keraameja, joissa on metalli- ja keraamipartikkeleita SiCa-matriisissa. Ne saavat lujutensa kemiallisista sidoksista ja lujituksesta. Näillä pystytään valmistamaan muotteja, joiden seinämäpaksuus on vain 15...20 mm. Näin muoteista saadaan rakenteeltaan kevyitä, nopeasti lämpeneviä ja lisäksi ne kestävät isotrooppisen rakenteensa vuoksi lämpötilavaihtelua. (Airasmaa ym. 1991, 278.)

Keraamien paras puoli on luonnollisesti edullinen hinta niin materiaali- kuin työkustannuksiltaan. Lisäksi hyvät lämmönkesto-ominaisuudet ovat projektimme kannalta välttämättömät. Etenkin mahdollisen prototyypin valmistuksessa valettavat keraamit ovat yksi varteenotettava materiaalivehto.

3.6 Kipsit

Kipsistä saadaan valmistettua edullisia muotteja. Olennaista kipsimuotin valmistuksessa on se, että sen annetaan kuivua lämpimässä ympäristössä kolme päivää, ettei kosteutta pääse valumaan ilmanpoistokanavia pitkin vahingoittamaan koneistoa tai pumppua. Lisäksi kolmen päivän kuivattamisella kipsin kosteus saadaan tasapainotettua. On myös tärkeää muistaa eristää suodattimilla pulverin pääsy imujärjestelmään. Kipsin heikon lämmönkeston takia se kestää vain noin 50 työkiertoa. Tämän takia sitä käytetäänkin lähinnä prototyypin valmistuksessa. (Formech International Ltd, 25.)

3.7 Puu

Puiset muotit ovat helppoja sekä edullisia valmistaa, ja omaavat lisäksi noin kymmenen kertaa pidemmän käyttöikänsä kuin kipsimuotit. Puulajeina suositellaan käytettäväksi lehtipuita. Esimerkiksi Abachi soveltuu tarkoitukseen hyvin tiheän ja tasaisen syykuvion ansiosta. Näiden ominaisuuksien ansiosta sitä on helppo muovata eikä se halkea tai katkea työstön aikana. Puumuottien valmistukseen käytetään perinteisiä puuntyöstömenetelmiä. Puun tulee olla kuivattua työstettäessä, ettei se halkea tai vääristy. Puun laadun heikkeneminen sen kutistuessa ja turvotessa on väistämätöntä, mutta sitä voidaan vähentää pinnoittamalla tai lakkaamalla. Näin saadaan lukuisia muovauskertoja ilman uusia pintakäsittelyjä. (Formech International Ltd, 25.)

Puinen muotti olisi helposti valmistettavissa Lahden ammattikorkeakoulun puuntyöstökoneilla. Myös puun kuivaaminen onnistuu helposti LAMK:n kuivaamoja käyttämällä. Lisäksi materiaalikustannukset olisivat vähäiset, jolloin olisi mahdollista valmistaa prototyypimuotti testusta varten.

3.8 Epoksit

Markkinoilta on saatavilla lukuisia suhteellisen halpoja ja helposti työstettäviä hartseja. Epoksista tehdyt muotit ovat kestäviä, ja niillä saadaan aikaan tuotteelle hyvä pinnanlaatu. Jotkut synteettiset hartsit ovat heikkoja kestämaan lämpöä, mutta tätä voidaan korjata lisäämällä materiaaliin alumiinipulvereita tuomaan lämmön tasaisuutta ja kestävyyttä. Muovauksen tulisi olla vähintään 2 mm:n paksuista, ja se pitää kiinnittää esimerkiksi puukehykseen, jonka sisällä on hiekkaa tukemassa levyä vääntymiseltä. Sitten sekoitetaan hartsit ja kovete ja annetaan niiden kovettua. Kulujen vähentämiseksi ja painon vähentämiseksi isommat muotit voidaan täyttää esimerkiksi puupalikoilla. (Formech International Ltd, 26.)

3.9 Metallit

Metallien kestävyys, lujuus ja mittatarkkuus ovat tehneet ne ylivoimaisiksi materiaaleiksi korkeissa paineissa ja korotetuissa lämpötiloissa toimivien tuotantomuottien materiaaleina. Teräkset ja alumiinit ovat tyypillisiä muottimateriaaleja. Alumiinin pehmeä pinta ja varsinkin valetulla alumiinilla pinnan huokoisuus rajoittavat sen käyttöä suurilla muottipaineilla ja sarjoilla. Alumiini on edullisuutensa vuoksi suosittu useiden puristinmenetelmien prototyyppi- ja piensarjamuotteissa. (Airasmaa ym. 1991, 278.)

Alumiini on tiheästi toistuvassa lämpömuovauksessa usein käytetty muottimateriaali sen hyvien lämmönjohto- ja pintakovuusominaisuuksien sekä kevyen painon ansiosta. Se on myös kestävä materiaali painoonsa nähden. Muotti voidaan valmistaa valamalla mallin avulla tai työstämällä kiinteästä alumiinista. Alumiinin hyvien lämpöominaisuuksien ansiosta saadaan muovattava kappale myös nopeasti jäähdytettyä. Pinnankäsittelyssä on useita vaihtoehtoja, mutta hiekkapuhallettu pinta on toimivin ratkaisu, sillä se estää ilmaa jäämästä loukkuun muotin ja muovattavan levyn väliin. (Formech International Ltd, 30.)

Metaphor – F100 Al on huokoinen, ilmaa läpäisevä alumiini. Se on erityisesti suunniteltu käytettäväksi vakuumpuristuksessa. Se on melko kallis materiaali, mutta sillä on tiettyjä etuja alumiiniin verrattuna. Sen mikroskooppisen pienet huokokset ovat hyvin lähekkäin toisiaan, ja näin ollen työstettävä kappale pysyy tiukasti kiinni muotissa. Työstö on nopeampaa kuin tavallista alumiinia käytettäessä, eikä siihen tarvitse työstää ilmanpoistoreikiä. Materiaalista voidaan valmistaa monimutkaisempia muotteja sekä jyrkempiä muotoja. Materiaalia on saatavilla levyinä isobritannialaiselta toimittajalta, Alchemielta. (Formech International Ltd, 30.)

Teräs on tyypillisin muottimateriaali suurten paineiden ja sarjojen valmistusmenetelmissä, kuten ruiskuvalussa, GMT:n ja SMC:n puristuksessa sekä pultruusiossa. Työkaluteräksillä on erinomainen kestävyys ja pieni huollon tarve. Mittatarkkuus on myös hyvä. Teräsmuotit ovat kuitenkin epäkäytännöllisen painavia, niiden työstäminen on hidasta ja ne ovat hinnaltaan kalliita. Teräsmuottien toimitusajat ovat lisäksi pitkiä. Mittatarkkoissa korkean lämpötilan muotteissa käytetään teräsnikkeliseoksia, joiden lämpölaajeneminen on vähäistä. Prototyyppihin käytetään valettavia sinkkiseoksia, kuten kirksiittiä. Kirksiittiä voidaan käyttää useampia kertoja, mutta sen pinnan kovuus ei riitä suursarjavalmistukseen. (Airasmaa ym. 1991, 279.)

Valitessamme metallimuotin tulisi alumiini paremmin kyseeseen yksinkertaisesti halvemman hintansa ansiosta. Lämmönjohto-ominaisuudet alumiinilla ovat myös erinomaiset, minkä ansiosta työsykliä saadaan nopeammaksi. Lisäksi sen muut ominaisuudet, kuten kestävyys, lujuus ja mittatarkkuus, ovat projektimme kannalta erinomaisia.

4 MUOTTIRAKENTEET ERI VALMISTUSTEKNIIKOILLA

4.1 Käsilaminointi- sekä kuituruiskutustuotteiden muotit

Käsilaminointi sekä ruiskulaminointi ovat tyypillisiä avomuottimenetelmiä, joissa vain toinen pinta kappaleesta saadaan sileäksi. Lopputuotteen vaatimuksista riippuen muotista voidaan tehdä positiivi- tai negatiivimuotti. Valmistettavan kappaleen muodoista riippuen muotti valmistetaan yhdestä tai useammasta osasta niin, että kappaleen irroitus on mahdollista. Kohtuulliset nurkkapyöristykset ja muutaman asteen päästöt riittävät muottien yleissuunnitteluohjeiksi. (Airasmaa ym. 1991, 281.)

Avomuottimenetelmissä laminaatti kovetetaan tavallisesti huoneenlämpötilassa. Tämä helpottaa huomattavasti muottien suunnittelua ja materiaalivalintaa. Tyypillinen ruiskutus- tai käsilaminointimuotti valmistetaan lasikuitulujitteisesta epoksista tai polyesteristä. Pieniä kappaleita valmistettaessa muotit voidaan valmistaa 5...10 mm:n umpilaminaatista. Suuremmat muotit jäykistetään jäykistein tai kerroslevyrakenteilla. Rakenteen jäykkyyden määrää muotin oma paino ja sallitut taipumat. Laminaatin paksuuksia saatetaan joutua lisäämään jäykisteiden ”peilaamisen” estämiseksi. (Airasmaa ym. 1991, 281.)

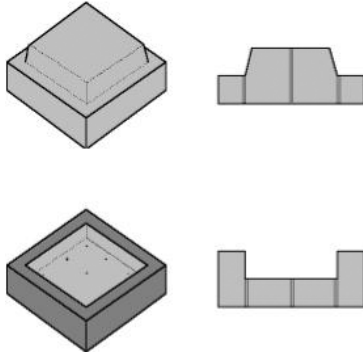
Laminaattirakenteet ovat yleensä kvasi-isotrooppisia, ts. laminointitasossa jatkuvia lujitteita on pääsuunnissa yhtä paljon. Lujittamisessa voidaan käyttää myös matto/kudos-rakennetta. Muotin pinnassa käytetään muottigelcoatia, joka on normaalia kovempaa ja paksumpana sallii myös hiontaa. Gelcoatin jälkeinen lujite on usein pintahuopaa tai kevyttä kudosta. Näin muottipinnasta saadaan tasainen, eikä lujitekuvio näy läpi. (Airasmaa ym. 1991, 281–283.)

4.2 SMC-, BMC- ja GMT-tuotteiden muotit

SMC- ja BMC-menetelmissä puristusaineet ovat niin korkeita, että sarjatuotantotyökalut valmistetaan metallista. Pinnan kovuutta lisätään kromaamalla tai karkaisemalla. Muotit voivat olla positiivimuotteja, vaakapursemuotteja tai niiden yhdistelmiä eli puoliposiivimuotteja. Vaakapursemuotissa yläpuoliskon liikettä rajataan alamuotilla. Tällainen muottityyppi soveltuu vain matalille kappaleille, joissa virtausmatkat ovat lyhyet. Yleensä käytetään positiivimuottia, jossa puristusaine vaikuttaa koko puristusvaiheen ajan. Tällä parannetaan tuotteen pinnanlaatua ja mahdollistetaan pitkät juoksumatkat. Toisaalta materiaalin annostuksen tulee olla tarkkaa, jotta seinämäpaksuudet pysyvät vakioina ja ilmaraot toimivat suunnitellulla tavalla. SMC-muotit ovat lämmitettäviä, mutta jäähdytystä ei käytetä, vaan kappale otetaan muotista kuumana ja sen annetaan jäähtyä jigin päällä. Ilmanpoisto tapahtuu kuristusraon kautta samalla tavalla kuin muillakin puristusmenetelmillä. (Airasmaa ym. 1991, 284–285.)

4.3 Alipainepuristusmuotit

Käytännössä alipainepuristusmuotit voidaan jakaa kahteen ryhmään, positiivi- ja negatiivimuotteihin (Kuvio 1). Positiivimuotti on kupera, jossa muotin pinta antaa tuotteelle sisäpuolisen muodon. Negatiivimuotti puolestaan on kovera, joten se antaa tuotteelle ulkopuolisen muodon. (Neva 2009.)



KUVIO 1. Ylempänä kuvassa positiivimuotti ja alempana negatiivimuotti (Formech International Ltd, 31)

On olemassa useita tekijöitä, jotka vaikuttavat valintaan positiivi- ja negatiivimuotin välillä. Se pinta, joka ei ole kontaktissa muottiin, tulee olemaan laadultaan parempi puoli. Syynä tähän on se, että muottiin kosketuksissa oleva pinta kopioi kaikki virheet muotin pinnalta, kuten pölyhiukkaset. Edellä mainittu seikka on usein ratkaisevin valintaa tehtäessä, mutta myös muita asioita on hyvä ottaa huomioon. Positiivimuotti on useimmiten myös huomattavasti helpompi valmistaa ja se soveltuu paremmin muodoltaan syvän tuotteen valmistukseen. Toisaalta negatiivimuotti soveltuisi paremmin esimerkiksi syvennettyjen tarjottimien valmistukseen. (Formech International Ltd, 31.)

Yleisesti muotti, joka on syvempi kuin sen halkaisija, ei anna hyväksyttävää lopputulosta ohennukseltaan tuotteen alakulmissa. Negatiivimuoteissa muovausmateriaali ohenee muotin reunoilta syyvyssuunnassa, koska kun alipaine käynnistetään, materiaali takertuu muotin reunoihin ja tämän takia se venyy alemmas mentäessä. Tämän takia materiaali olisi syytä esivenyttää mekaanisesti ennen alipaineen käynnistämistä. Positiivimuotissa esivenytys tapahtuu ikään kuin luonnostaan. Materiaalin toimittajan kanssa olisi syytä keskustella muottivaatimuksista. (Formech International Ltd, 32.)

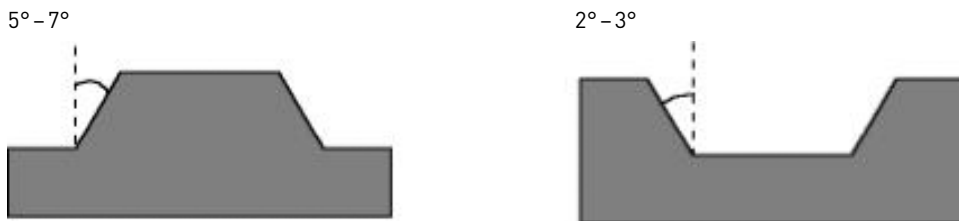
4.3.1 Pohjalevyt ja kiinnitys

Yleensä muotti olisi hyvä kiinnittää pohjalevyyn ennen muotin aukaisua, koska kappale usein tarttuu kutistumansa takia muottiin kiinni. Kun muotti on kiinnitetty pohjalevyyn, pysyy muotti paikallaan, kun muotinavauksessa käytetään imun sijasta puhallusta. Pohjalevy voidaan valmistaa kovalevystä tai teräslevystä. Levyn paksuus tulisi olla 3–5 mm. Levyn mitoitus riippuu muotin tyypistä, mutta esim. Formech International Ltd.:n mallia 660 käytettäessä levyn tulisi olla tarkalleen muotin muovausalueen kokoinen. Pohjalevy voidaan myös kiinnittää pöytäanalla

neljästä kulmasta. Kun muottia kiinnitetään levyyn, on niiden väliin jätettävä rako ilman poistumista varten esim. käyttämällä ohutta harsokangasta tai tekemällä ilmanpoistoreiät. (Formech International Ltd, 32.)

4.3.2 Päästökulmat

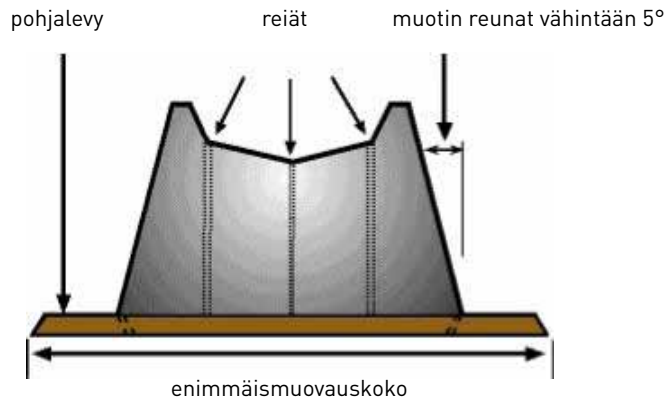
Muoteissa pitää olla aina päästökulmat (Kuvio 2), jotta kappale olisi helpompi irrottaa. Kulman suuruus riippuu muottipinnan laadusta, muotin syvyydestä, työstettävän kappaleen materiaalista sekä siitä, käytetäänkö esivenytystä vai ei. Kulma voi olla negatiivimuotissa nollakin astetta, mikäli kappale irtautuu kutistuman avulla. Yleisesti suositeltava minimipäästökulma on 5°. Mitä suurempi päästökulma on, sitä tasaisempi on kappaleen paksuus ja se on myös helpompi irrottaa. Negatiivimuoteille suositellaan yleiseksi minimipäästökulmaksi 3° ja positiivimuotille 5°. (Formech International Ltd, 33.) Päästökulmat eivät ole ongelma selkänöjää muovattaessa, koska kyseessä ei ole syvä kappale.



KUVIO 2. Vasemmalla positiivimuotin ja oikealla negatiivimuotin minimipäästökulmat (Formech International Ltd, 32)

4.3.3 Rei'itys

Vakuumpuristuksessa yksi tärkeä osa on muotin rei'ittäminen. Sen tarkoituksena on päästää ilma ulos muovattavan levyn ja muotin välistä. Pääasiassa reiät tulee sijoittaa reunoille, onkaloihin sekä sisäkulmiin (Kuvio 3). Näin saadaan aikaan hyvä tarkkuus sekä ilman tehokas poisto. (Formech International Ltd, 33.)



KUVIO 3. Muotin rei'itys (Formech International Ltd, 33)

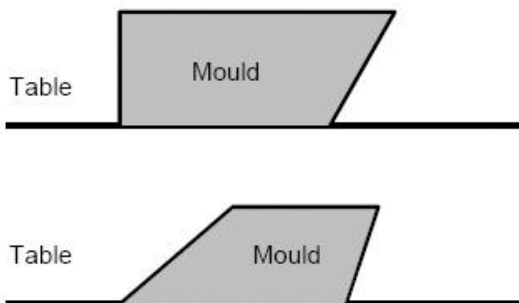
Tarvittava reikien määrä muodostuu muovattavan levyn sekä muotin muotojen perusteella. Reikiä tulisi olla mahdollisimman vähän ja niiden tulisi olla mahdollisimman pieniä, jotta muovauskappaleen pintaan jäisi mahdollisimman vähän ja mahdollisimman pieniä jälkiä. Mikäli reikiä on liian vähän ja ne ovat liian pieniä, alkaa ilma virrata ilmakuplien läpi. Tämän takia ilman virtaus saattaa olla liian hidasta ja kappale saattaa jäähtyä ennen kuin se on saavuttanut määrätyn tarkkuutensa. (Formech International Ltd, 34.)

Reikien halkaisijoiden muotin pinnalla tulisi olla vähemmän kuin muotin pinnalla olevan materiaalin paksuus tai $\frac{1}{2}$ –1 mm. Pinnan alla reikien alat voivat olla suurempia. Tämä voidaan tehdä niin, että porataan ensin ohut reikä pintaan korkeanopeuksisella käsiporalla ja sen jälkeen paksumpi reikä alapuolelta. (Formech International Ltd, 34.)

4.3.4 Kutistuma ja muotin avaus

Jäähdytys- ja kovetusvaiheessa muovauksella on taipumus kutistua positiivimuotissa. Eri termoplastisilla materiaaleilla on eri kutistuma. Myös muovattavan levyn paksuus vaikuttaa kutistumaan. Kidemäiset ja puolikidemäiset materiaalit kutistuvat enemmän kuin kiteytymättömät, koska kidemäiset aineet vaativat korkeamman muovauslämpötilan. Kutistuma-arvot on syytä selvittää materiaalin toimittajalta. Kutistuma-arvot tulee huomioida jo muotin suunnitteluvaiheessa etenkin jos toleranssit ovat pieniä. Vaikeudet kappaleen irrotuksessa muotista ovat suuressa määrin riippuvaisia muotin suunnittelusta. Jos muotti on tarpeeksi kartiomainen, siinä ei ole miinuskulmia ja pinnanlaatu on hyvä, irrotetaan kappale suoraan ylöspäin. Kappaleen irrotukseen on olemassa myös öljy- ja silikonipohjaisia suihkeita, joilla irrotusta voidaan helpottaa. On myös mahdollista helpottaa kappaleen irrotusta puhaltamalla paineilmaa muotista. Tehokkain tapa on kiinnittää muotti pohjalevyyn, joka puolestaan kiinnitetään nosto- ja laskupöytään. Kun muotti avataan, vain muovattava kappale irtautuu muotista. (Formech International Ltd, 34–35.)

Mikäli muottiin suunnitellaan miinuskulmia, tulee kappaleen irrotuksessa käyttää erotusvälineistöä. Miinuskulmia tehtäessä on käytettävä lisäksi sivupainimia. Jos muotissa on miinuskulma toisella laidalla, on toisen laidan oltava enemmän kallellaan toiseen suuntaan (Kuvio 4). (Formech International Ltd, 35.)



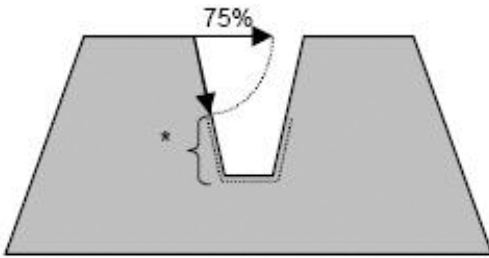
KUVIO 4. Ylempänä oleva muotti on mahdoton irrottaa, mutta alempana oleva on mahdollinen (Formech International Ltd, 35)

4.3.5 Muotin jäähdytys

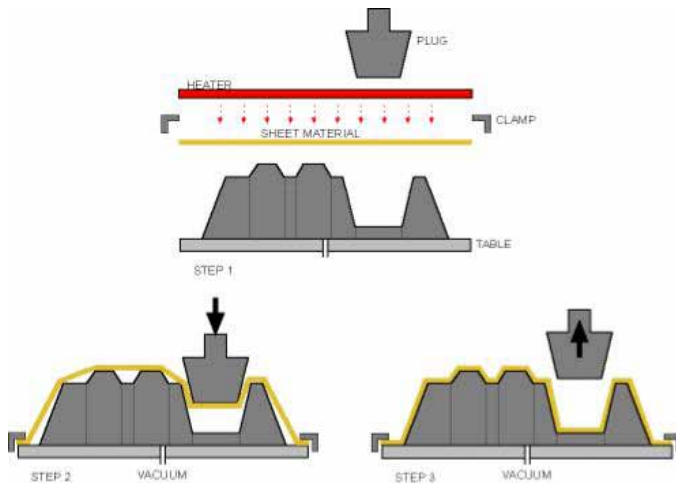
Suurten sarjojen muotteihin suositellaan vesijäähdytystä. Lämpötilaa säädetään tällöin jäähdytysyksiköllä, joka on liitetty suoraan muottiin. Jäähdytyskanavat sisällytetään muottiin heti sen valmistusvaiheessa. Tällä tavoin saadaan lämpötila pysymään vakaana ja täten myös muovausten lopputulokset hyvinä sekä kierrosajat optimaalisina. Muotti voidaan myös vaihtoehtoisesti sijoittaa jäähdytysalustan päälle. Jäähdytysalusta sisältäisi myös jäähdytyskanavat jäähdytysnesteen kierrättämistä varten. Edellä mainitun kaltainen muotti tulee kuitenkin merkittävästi kalliimmaksi kuin tavanomainen muotti, mutta joissakin tapauksissa tuotantomäärät vaativat sitä. (Formech International Ltd, 36.)

4.3.6 Paininavustustekniikka

Painintekniikkaa käytetään positiivimuoteissa, joissa on useampia muovausulokkeita lähellä toisiaan. Painintekniikan avulla saadaan aikaiseksi hyvät seinämätiheydet, kun muotissa on syviä onkaloita. Normaaleissa olosuhteissa muovi alkaa ohentua, kun muotin syvyys ylittää 75 % onkalon avaumasta (Kuvio 5). Paininta käytetään siten, että kuumennettu materiaali painetaan pelkästään painimella tai yhdessä imun kanssa. (Formech International Ltd, 36.)



KUVIO 5. Seinämän syvyyden tulee olla enintään 75 % avauksen läpimitasta (Formech International Ltd, 36)

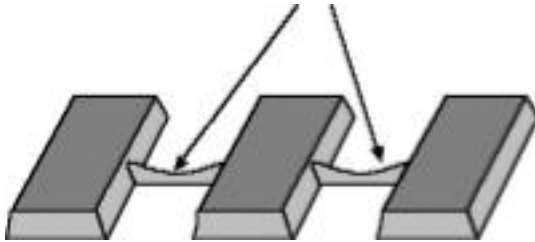


KUVIO 6. Painimen käyttö tyhjiömuovauksessa (Formech International Ltd, 37)

Paininavustuslaite on useimmiten lisävaruste, joka ripustetaan muovausalueen yläpuolelle (Kuvio 6). Painimet toimivat yleensä hydraulisesti tai pneumaattisesti, mutta myös manuaalisia versioita on saatavilla, joissa operaattori suorittaa painalluksen manuaalisesti. Paininavusteiset muotit ovat pääosin yksinkertaista tekniikkaa ja ne valmistetaan lehtipuusta. Painimen pinnat peitetään usein huovalla, jolla estetään muovin repiminen ja jälkien jääminen. (Formech International Ltd, 36.)

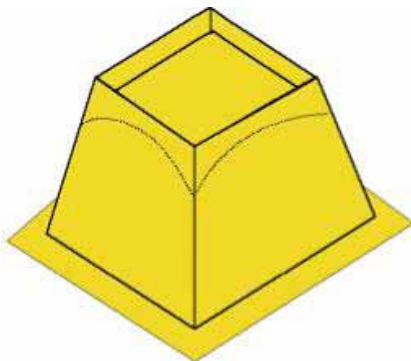
4.3.7 Ongelmakohdat

Yksi muotin suunnitteluun liittyvä tekijä on räpylöityminen (Kuvio 7), jonka välttäminen tulee ottaa huomioon. Tätä esiintyy, kun materiaali kutistuu takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Kyseiselle ilmiölle voi olla muutamia syitä: muotti voi olla liian korkea suhteessa pohja-alaansa, muotissa on teräviä pystykulmia minimaalisilla päästökulmilla, sarjaurosmuotit on suunniteltu liian lähekkäin tai materiaalia on liiallinen määrä pienessä muotissa. Kyseistä ilmiötä voidaan välttää esimerkiksi kutistuvalla kehyksellä tai painimilla. Ilmiötä voidaan minimoida hidastamalla imua tai käyttämällä paksumpaa levyä. Joissakin tapauksissa nämäkään keinot eivät tehoa, jolloin on muokattava muottia. (Formech International Ltd, 38.)



KUVIO 7. Negatiivimuotin räpylöityminen (Formech International Ltd, 38)

Kun syvää muottia nostetaan kohti lämmitettyä muovilevyä, kohta, joka ensiksi tarttuu levyyn, jäädyttää levyn kyseisestä kohdasta. Tästä johtuu, että muovi jäähtyy tästä kohdasta, jolloin sen venymiskyky heikkenee (Kuvio 8). Tämän takia muovi ohenee seinämiä vasten alaspäin mentäessä. Tämä ilmiö voidaan estää kasvattamalla päästökulmia ja varmistamalla, ettei muotti ole liian kylmä. Myös muovin esivenytys auttaa tähän ongelmaan. (Formech International Ltd, 38.)



KUVIO 8. Jäähtymisjäljet (Formech International Ltd, 38)

Oheneminen on yksi yleisimmistä ongelmista tyhjiömuovauksessa. Kyseinen ongelma johtuu suhteellisen syvästä muotista sekä pienistä päästökulmista. Muovin ohenemista voidaan kuitenkin välttää kuplaesityksellä, painintekniikalla, asentamalla muottiin tukirimoja sekä kasvatamalla sisäisiä päästökulmia. (Formech International Ltd, 39.)

4.4 Kuumapuristusmuotit

Kuumapuristuskone koostuu muottien kiinnityslevyistä, niiden ohjaustapeista sekä ohjauksesta. Muottien kiinnityslevyjä on kaksi tai useampia, joiden väliin itse muotit sijoitetaan. Yleensä muotteja liikutellaan pystysuunnassa, jotta muottien sijoittaminen ja materiaalin syöttäminen sujuisi helposti. Kuten muissakin muovaustekniikoissa, tulee muotin kiinnityslevyjen ja niiden tukirakenteiden olla riittävän vahvoja, etteivät ne pääse vääristymään. Kevyen mallisten laitteistojen kanssa kannattaa olla tarkkana, koska ne eivät välttämättä sisällä tarpeeksi terästä estääkseen vääntyilyä tai taipumista. (Rosato 1997, 422.)

Muotin ohjaustapit, jotka liikuttavat kiinnityslevyjä ja tuottavat paineen levyn kiinnittimiin, ovat yleensä kaksitoimisia hydraulisia sylintereitä. Siinä käytetään korkeapaineöljyä muottien yhteen puristamiseen ja avaamiseen. Sähköpumpulla saadaan öljynpaineeksi 13,8–20,7 MPa. Ohjaustapit koostuvat öljysäiliöstä, venttiilistöstä jne. Yleensä kuumapuristuskoneissa on tasainen, korkea puristusaine. Paremmen tuloksen aikaansaamiseksi kannattaa kuitenkin harkita myös vaihtuvaa painetta, jonka avulla sulavirta on merkittävästi paremman laatuinen kovettumisen aikana. Koneen toiminnot ovat yleensä joko puoliautomaattisia tai täysautomaattisia. (Rosato 1997, 422.)

Suurin osa puristimista on hydraulisia, mutta on olemassa myös pneumaattisesti toimivia puristimia. Puristinlevyt voivat vaihdella 15 cm²:stä 2,4 m²:iin, tai jopa ylikin ja puristusaineet vaihtelevat 6:n ja 10 000 tonnin välillä. Pienemmän puristusaineen koneissa ylälevy on liikuteltava ja suuremman paineen koneissa alalevy on liikuteltava. Joissakin puristimissa voidaan muotit siirtää sivuun puristimesta helpottamaan lastausta ja purkua ja joissakin on kääntyvä ylälevy. Edellä mainitun kaltaisia muovauskoneita on myös helpompi puhdistaa, huoltaa jne. Puristin voi olla myös kaksipuolinen, jolloin tuottavuutta saadaan paremmaksi, kun mahdollistuu kahden käyttäjän yhtäaikainen toiminta puristimen vastakkaisilla puolilla. (Rosato 1997, 422–423.)

4.4.1 Esilämmitys

Tavallisesti muoviseoksilla on hyvät lämmöneristysominaisuudet. Tämän takia usein käytetään esilämmitystä muovaustyökierroksen lyhentämiseksi. Tällä saadaan tasainen lämpö nopeasti koko materiaaliin, kuin lämmittämällä pelkästään muotin avulla. Esilämmitys voidaan suorittaa lämpölevyjen, infrapunalamppujen, lämminilmauunin tai ruuvi/tynnyriesilämmittimen avulla, mutta paras ja nopein tapa on korkeataajuuslämmitin. Esilämmitys tehdään yleensä 66–149 °C:n lämpötilassa, jonka jälkeen materiaali siirretään nopeasti muottiin. Varsinainen lämpötila riippuu materiaalista ja lämmittimen tehosta sekä muottiin siirtämisen nopeudesta. Pyöreitä aihioita lämmitetään korkeataajuuslämmittimillä, ja aihiota pyörittämällä saavutetaan tasainen lämmitys. (Rosato 1997, 420.)

4.4.2 Muotin lämmitys

Kuumapuristuksella muovattaessa lämpötila on pidettävä tasaisena materiaalin optimaalisen polymerisoitumisen saavuttamiseksi. Lämpötila on muotissa tällöin 149–204 °C. Optimaalisen muovauksen saavuttamiseksi muotin pinnan lämpötilan tulee olla tasainen ja onteloissa $\pm 1^\circ\text{C}$. Sähkölämmitys on yleisin käytössä oleva lämmitystapa. Siinä on asennettu lämpöpatruunoita muotin ylä- ja alaosien sisälle niin, että myös ontelot lämmittyvät mahdollisimman tasaisesti. Suuremmissa muoteissa käytetään myös lämpötilansäätimiä sekä lämpöantureita useissa kohdissa muottia. (Rosato 1997, 420.)

Vanhempi tapa muotin lämmityksessä on ollut höyryn johtaminen kanavia pitkin onteloihin. Etuna tässä on nopea lämpötilan palautuminen, koska lämpötilan laskiessa höyry kondensoituu kanaviin, joista kondensaation johdosta vapautuu lämpöä. Höyryä on kuitenkin vaikea johtaa muottiin ja muotista ulos kanavia pitkin. Se vaatii kohtuuttoman suuria paineita, kun tarvitaan korkeita muottilämpötiloja. (Rosato 1997, 420.)

Kierrätettävällä hydraulikkaöljyllä voidaan lämmittää muottia jopa yli 200 °C. Öljyllä toimivat lämmitys ja jäähdytys ovat erittäin käytännöllisiä kuumapuristusmuotin lämmönhallinnassa, mutta nesteellä lämmitettävät muotit ovat yleisesti kalliimpia kuin sähköllä lämmitettävät. Jotkut muovit tarvitsevat eri lämpötilat kovettumiseen ja kappaleen irrottamiseen. Tällöin tulee käyttää muottia, jossa on säädökset lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen. Silloin muovausajat kuitenkin pitenevät ylimääräisen jäähdyttämisen takia. On myös mahdollisesti olemassa muotteja, joissa on sähkölämmitys ja vesikanavat jäähdytystä varten. (Rosato 1997, 420.)

4.4.3 Kaasujen vapautus

Monet lämpömuovattavat muovit, erityisesti fenolit, ureat ja melamiinit, vapauttavat kovettuaan kaasuja, joiden on päästävä ulos muotista. Polyestereitä käytettäessä tätä ongelmaa ei kuitenkaan ole. Osa kaasuista vapautuu muottipuoliskojen välyksistä sekä poistotappien ympäriltä. On kuitenkin syytä varmistaa kaasujen ulospääsy raottamalla muottia 1–5 mm kovetuksen aikana. Mikäli kaasuja jäisi loukkuun muotin sisään, saattaisi se heikentää kappaletta tai tehdä siihen jälkiä. Mikäli on mahdollista, tulisi kyseistä toimenpidettä toistaa useita kertoja. Raottamisaika riippuu muovattavasta materiaalista sekä kappaleen koosta ja muodosta. Lisäksi muottien raottaminen saattaa myös nopeuttaa kovettumista. Joillakin materiaaleilla kaasuja voi vapautua vielä muovauksen jälkeenkin jopa kuukausia tai vuosia. Mikäli kappale tullaan pinnoittamaan, saattaa pinnoite myöhemmin revetä irti tällaiselta materiaalityypiltä. (Rosato 1997, 421.)

4.4.4 Kutistuminen

Kun kappale poistetaan muotista, se on vielä kuuma, eikä se ole vielä täysin jäykistynyt. Kappaleen sisäiset jännitteet saattavat aiheuttaa muodonmuutoksia kappaleen jäähtyessä. Kun toleranssit ovat pienet ja erityisesti kun kappaleessa on ohuita kohtia, se pitää sijoittaa heti muovauksen jälkeen puristimen lähelle jäähdytysmuottiin, jossa se voi jäähtyä, eivätkä sen mitat pääse muuttamaan. Mikäli kappaleessa on reikiä, on jäähdytysmuottiin laitettavissa tappeja reikiä kohdille, jotta reikiä mitat pysyvät oikeina. Jäähdytysmuotissa voidaan käyttää puristusemekanismia,

jossa kappaletta puristetaan kylmää pintaa vasten. Kappaleen jäähtyttyä se voidaan ottaa pois jäähtymismuotista ja mittatarkkuus saadaan näin pidettyä hyvänä. (Rosato 1997, 421.)

4.4.5 Jälkikövetus

Muovatut kappaleet yleensä jälkikovetetaan paistamalla niitä uunissa materiaalitoimittajan suosittelemilla ajoilla ja lämmöillä. Näin taataan, että mekaaniset ja termiset ominaisuudet sekä mittatarkkuus eivät kärsi. Lisäksi eliminoidaan kaasujen vapautuminen jälkikäteen. Lisäksi paistaminen parantaa virumiskestävyyttä sekä vähentää jännitteitä. Jälkikovetuslämpötila on yleensä alhaisempi kuin varsinainen muovauslämpötila. Jälkikovetus tehdään monivaiheisella lämmityksellä. Alle 3 mm:n paksuisille kappaleille tehdään kahden tunnin lämmitys 138 °C:ssa, neljä tuntia 166 °C:ssa ja neljä tuntia 191 °C:ssa. Yli 3 mm paksuilla kappaleilla em. ajat tuplataan jokaisen ylittävän 1,5 mm:n kohdalla. Aikojen lisääminen on tehokkaampaa kuin lämmön lisääminen. Muoviseoksen lujite määrää suuresti määrin lämmitysvaiheen. Muoviseokset, joissa käytetään orgaanisia lujitteita, kovetetaan matalammassa lämmössä kuin lasi- tai mineraalikoetteiset seokset. Kappaleella, jolla on paksuusvaihtelua, on myös epätasainen kutistuma, ja se on otettava huomioon muottisuunnittelussa. (Rosato 1997, 421–422.)

4.5 Muotopuristusmuotit

Tavallisesti muotopuristuksessa käytettävät puristimet toimivat hydraulisesti. Tarkka ja tasainen puristusaine saadaan aikaan 3–5 sylinterillä. Kuumentamiseen käytetään esimerkiksi suurjaksokuumennusta tai vastuskuumennusta. (Marttila 2006, 4.)

4.5.1 Suurjaksokuumennus

Suurjaksopuristin koostuu generaattorista ja elektrodista. HF-generaattorilla tehdään virta elektrodina toimiviin muotteihin. Puristettavaan aihioon johdetaan voimakas ja vaihteleva sähkökenttä, jonka avulla liimassa olevat vesimolekyylit alkavat värähdellä. Värähtelystä johtuvan kitkalämmön vaikutuksesta vesi haihtuu ja liima kovettuu. Muotti on messinkinen tai alumiininen, jotta sähkökenttä liikkuu edestakaisin puun sisällä. (Marttila 2006, 4.)

Alumiinin käyttäminen sekä muotopuristusmuoteissa että muovien lämpömuovausmuoteissa tukee alumiinin valintaa muottiin, jolla muovataan kappaletta, joka koostuu molemmista aineista. Muotopuristuksessa käytetään ns. täyspuulämmitystä. Siinä elektrodit asetetaan liimasauman suuntaisesti ja lämmitys kohdistuu koko kappaleeseen eikä pelkästään liimasaumaan. Puristusaikaan vaikuttaa kappaleen massa, puristimien virtateho ja sähköiset ominaisuudet, eli mitä tiheämpää puuta puristetaan, sitä pidempi aika tarvitaan liimasauman kovettumiseen. Puristusaikaa lisää myös veden höyrystymisen takia tehtävä tasaantuminen eli jäähtytysaika. Puristusaikaan ja lopputulokseen vaikuttaa myös vallitseva ilmankosteus, joka vaikuttaa viilujen kosteuteen ja sitä kautta liimauksen onnistumiseen. (Marttila 2006, 4.)

Suurjaksopuristamista kannattaa hyödyntää paksuihin kappaleisiin, jolloin niiden puristusaika ei kasva liian suureksi. Suurjaksolla ei voida hyödyntää monivälimuotteja, joten sillä ei voida puristaa yhdellä kertaa useampia aihioita. Esimerkiksi tuolien jalat ovat niin paksuja, että ne kannattaa puristaa suurjaksolla. (Marttila 2006, 4.)

Puristusajan määrittäminen suurjaksolle:

$\text{puristus aika} \div \text{mm} = (2,2 \times \text{kappaleen massa (kg)}) \div \text{käytetty teho (kW)}$. (Marttila 2006, 5).

4.5.2 Vastuskuumennus

Vastuskuumennuksessa muotin sisällä olevat vastukset kuumennetaan sähköllä. Vastukset johtavat lämmön muottiin. Lämmityslaitteisto muodostuu muuntajasta, sähköjohteista ja -vastuksista sekä muotista. Muotit on suunniteltava niin, etteivät vastukset vahingoitu puristusaineesta. Kuten suurjaksokuumennuksessa, myös vastuskuumentamisessa puulajilla on merkitystä sähkönjohtavuutensa takia puristusaikaan ja samoin höyryn paine on tasaannutettava. (Marttila 2006, 5.)

Vastuskuumennusta kannattaa hyödyntää ohuisiin kappaleisiin, joita tuotetaan paljon, koska vastuspuristuksessa puristusaikaa pidentää kappaleen paksuus ja koska siinä voidaan hyödyntää monivälimuotteja (Marttila 2006, 5).

Suurjaksomenetelmän valitseminen edellyttäisi vesiohenteisten liimojen käyttöä, mikä rajaisi suurimman osan liimavaihtoehdoista pois. Suurjaksokuumennus olisi siis optimaalinen paksuille kappaleille. Työstettävä selkänöjä ei kuitenkaan tule olemaan kovinkaan paksu, joten tämän takia vastuskuumennus voisi tulla kyseeseen. Vastuskuumennuksen avulla voitaisiin myös puristaa useampia selkänöjä kerralla käytettäessä monivälimuotteja. Sähköinen vastuskuumennus on myös yleisesti käytetty tekniikka muoviteollisuudessa, mikä luonnollisesti antaa hyvät lähtökohdat puristaa levyä, jossa käytetään sekä muovia että puuta.

5 TARJOUKSET

5.1 Tarjouspyynnön sisältö

Lämpömuovausmuottien valmistaminen on tarkkaa työtä ja se vaatii ammattitaitoa ja ainakin jonkinasteista kokemusta. Täten projektimme kannalta järkevin ratkaisu on turvautua alan ammattilaisiin. Muovialalla erilaiset kolmiulotteiset puristukset ovat erittäin tavanomaisia, joten tarjouspyynnöt lähetetään viidelle muovialan muottivalmistajalle. Kyseiset tarjouspyynnöt koskevat nimenomaan asiakkaallemme, Huonekalutehdas Korhoselle, kaavailtua muottia. Lisäksi Lahden ammattikorkeakoululla valmistetaan mahdollisesti prototyyppi, jotta voidaan tehdä testauksia ennen varsinaisen, asiakkaalle toimitettavan, muotin tilausta. Tässä luvussa keskitytään kuitenkin enemmän lopulliseen muottivalintaan liittyviin asioihin.

Muotilla valmistettava tuote on siis tuolin selkänöjä. Kyseinen selkänöjä on ollut tuotannossa aiemminkin, mutta sitä on tällöin valmistettu perinteisellä muotopuristusmenetelmällä.



KUVIO 9. Termomuovattavasta levystä tullaan valmistamaan kuvan tuolin selkänoja (HKT-Korhonen 2009)

Lähetetyissä tarjouspyynnöissä esiteltiin muotin tarpeet:

- Tuotteen molemmille puolille on tultava kova muottipinta.
- Muotissa on oltava sekä lämmitys että jäähditys.
- Muita yleisiä vaatimuksia/huomioitavia asioita olisivat mm. pinnanlaatu, lujuus ja kulumiskestävyys, ohjattavuus, kiinnitettävyyden, turvallisuus, huollettavuus, asennuksen helpous, kohtuullinen hinta jne.
- Tuotteen kokonaispaksuus on 10 mm.
- Ydinmateriaalina on ABS-levy ja tämän molemmissa pinnoissa koivuviilu, jonka paksuus 0,6 mm.
- Liimana on folioliima.
- Tärjättävä puristusaine on n. 2 N/mm².
- Maksimi muovauslämpötila on 100°C ja toisena vaihtoehtona 200°C (hinnat molemmille vaihtoehdoille).

- Mahdollisia muottimateriaaleja ovat:
 - alumiini
 - metallit
 - keraamit
 - puu
 - komposiitit ja polymeerit, esim. epoksit.
- Materiaalin valinnassa on huomioitava ainakin lämmönjohtavuus, lämpölaajenemiskerroin, materiaalin hinta, sarjakoot ja valmistuksen helppous.
- Muotin valmistusmenetelmiä ovat:
 - koneistus
 - valaminen ja pinnoitus
- Pinnoitevaihtoehtoja olisivat esim. PVD -pinnoituksella valmistettavat ohuet metallipinnat, keraamipinnoitteet sekä erilaiset komposiittipinnoitteet.

5.2 Vuoripoika Oy

Vuoripoika Oy on lahtelainen yritys, joka valmistaa muovialan muotteja alumiinista ja epoksista, joista molemmat ovat lähtökohtaisesti vahvoja vaihtoehtoja muotin materiaalivalinnan suhteen. Tarjouspyynnön lähettämisen jälkeisessä tapaamisessa nousi esille uusi idea kappaleen jäähdytyksen suhteen. Muottiin oli siis kaavailtu sekä lämmitystä että jäähdytystä, mutta mikäli muottiin rakennettaisiin molemmat, seuraisi siitä muutamia haittoja. Vuoripoika Oy:llä ei ole kokemusta tällaisesta ratkaisusta, joten valmistus olisi luonnollisesti vaikeampaa. Tämän takia lopputuloskin olisi todennäköisemmin luotettava sekä toimiva, kun muottiin asennettaisiin pelkkä lämmitys. Lisäksi muotin jatkuva vuoronperäinen lämmitys ja jäähdytys rasittaisivat muottia ja siten myös lyhentäisi sen käyttöikää. Muotin käyttäjä siis häviäisi rahaa muotin uusimiskuluihin, kun muotin kokonaishinta olisi kuitenkin vain marginaalisesti suurempi, kun muotissa olevien jäähdytysputkien sijasta hankittaisiin erillinen jäähdytysjigi.

Vuoripoika Oy:n tarjoama muotti valmistetaan epoksista. Vaihtoehtona muotin sisältämälle jäähdytykselle toimisi jäähdytysjigit. Kappale taivutettaisiin lämpimässä muotissa, josta se siirrettäisiin kaksipuoliseen jäähdytysjigiin, joka laitettaisiin puristukseen. Sen lisäksi, että tällainen muotti olisi jigeineen huomattavasti pitkäikäisempi ratkaisu, se myös nopeuttaisi työsykliä huomattavan paljon, kun aikaa ei tarvitsisi hukata jatkuvaan lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen. Muotti voitaisiin pitää jatkuvasti puristuslämpötilassa ja tarvittu puristusajan jälkeen kappale nostettaisiin jigien väliin jäähtymään. Jigien tulisi olla puristimessa ja mielellään viileässä tilassa. Sillä aikaa kun muovattu kappale jäähtyy jigissä, voidaan jo muovata uutta kappaletta muotissa.

Vuoripoika Oy:n tarjoamalla jigiratkaisulla prosessi etenisi siten, että ensin levy esilämmitetään uunissa tai infrapunalampulla 130 °C:n lämpötilaan, jotta ABSydinmateriaali saadaan termoplastiseksi. Tämän jälkeen kuumennettu levy asetetaan muottiin, jonka lämpötila on vähintään 70 °C. Levy viilenee muotissa noin puolessa minuutissa muotin lämpötilaan ja tänä aikana levy saa muotonsa. Sitten puristusta jatketaan muotissa vielä 4–4,5 minuuttia, jonka jälkeen muovattu levy nostetaan kaksipuoliseen jäähdytysjigiin joka laitetaan puristimeen. Jäähdytyksen aikana levyn lämpötilan tulee tippua 40 °C:seen suhteellisen nopeassa, noin viiden minuutin ajassa,

jotta levyn ominaisuudet säilyvät haluttuina. Muovipuolella riittää pelkästään yksipuoleinen jäähdytysjigi ilman puristusta, mutta tässä käyttökohteessa levyä on liimasaumojen takia puristettava vielä jäähdytyksenkin aikana. Jigien käytön edellytyksenä on siis yrityksellä oltava jonkinlainen puristusmahdollisuus.

Selvästi paras ratkaisu Vuoripoika Oy:ltä on siis muotti varustettuna pelkällä lämmityksellä, minkä lisäksi käytettäisiin jäähdytysjigejä. Lisäksi on mahdollista saada muotti myös jäähdytysputkilla varustettuna, jonka hinta olisi vähän pienempi kuin jäähdyttämättömän muotin ja jigien hinta yhteensä. Mahdollinen puristimen hankinta lisäisi vielä jigratkaisun hintaa jonkin verran. Epoksimuotin pintaan on myös saatavilla Vuoripoika Oy:n toimesta ruiskutettava alumiinipinta.

5.3 Nortool Oy

Vuonna 1980 perustettu Nortool Oy on erikoistunut auto- ja lämmöneristysteollisuuden alumiinimuotteihin ja on alallaan Skandinavian suurimpia ja Suomen suurin. Nortool Oy:llä on käytössään modernit suunnittelumenetelmät sekä työstökonekanta, jonka avulla mahdollistuu pitkälle räätälöidyt toimitukset asiakkaille ympäri Eurooppaa. 50–60 % liikevaihdosta tuleekin tällä hetkellä viennistä. (Nortool Oy 2009a.)

Nortool Oy:lle lähtelyn tarjouspyynnön ajatuksena oli saada tarjous kokonaan alumiinisesta muotista alumiinin projektiimme soveltuvien ominaisuuksien, sekä metalliksi edullisen hinnan takia. Nortool Oy:n tarjoukset käsittelevät tyhjiömuotteja (Liite 1). Nortool Oy:n ensimmäinen tarjous käsittelee alumiinista tyhjiömuovausmuottia, jossa sekä lämmitys että jäähdytys tapahtuu vesiputkilla, kun liimana kappaleessa käytetään Akvapur SM 1200 -merkkiä. Lämmitykseen ja jäähdytykseen käytetään erillisiä putkistoja, eli kyseessä on niin sanottu vesikiertoinen kaksi-putkijärjestelmä. Myyjältä saatujen tietojen mukaan jäähdytys 70 °C:sta 40 °C:seen riittävän nopeasti saattaa kuitenkin tuottaa ongelmia. Hänen arvionsa mukaan jäähdyttäminen saattaisi kestää jopa 5–10 minuuttia, kun optimaalisen jäähdytyksen tulisi olla mahdollisimman nopea. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että edellä mainittu jäähtymisaika on vain karkea arvio. Suorilla kappaleilla tehtyjen testien mukaan jäähdytys saa kestää ainakin viisi minuuttia, jolloin liimasauman laatu on vielä ollut riittävän hyvä. Joka tapauksessa jäähdytyksen nopeudesta on hyötyä jo tuotannollisista syistä kapasiteetin parantuessa. Nortool Oy:ltä onkin mahdollista saada puristimeen ns. jäähdytetty painin. Tässä painin sisältäisi myös vesiputkijäähdytyksen, jonka avulla nopeutettaisiin jäähdytystä painamalla kappaletta kevyesti yläpuolelta jäähdytyksen aikana.

Mikäli kappaleen liimauksessa halutaan käyttää Novox-pinnoituskalvoa, on lämpötila saatava muotissa yli 150 °C:seen. Novoxin testauksissa lämpötilana on käytetty jopa 160–170 °C:n lämpötilaa. Tämä ei kuitenkaan onnistu vesiputkilämmityksellä veden liian alhaisen kiehumispisteen takia. Öljyä käytettäessä lämmitysnesteenä päästäisiin korkeampiin lämpötiloihin, mutta suositeltavampi vaihtoehto on kuitenkin käyttää lämmityksessä sähkövastuksia, kun aletaan lähestyä 200 °C:n lämpötilaa. Nortool pystyykin tarjoamaan muottia sähkövastuslämmityksellä sekä vesiputkijäähdytyksellä. Kyseisen muotin hinta olisi suunnilleen sama kuin vedellä sekä lämmitettävän että jäähdytettävän muotin. Huomion arvoinen seikka on kuitenkin hitaampi jäähdytysjakso, kun kappale pitää jäähdyttää yli 150 °C:sta 40 °C:seen. Jäähdytyksen nopeus ei ole kuitenkaan testien mukaan Novoxia käytettäessä yhtä kriittistä kuin Akvapur SM 1200 -liiman kanssa. Liimasauman laatu ei ole niinkään ongelma, vaan pidempi työsykli. Tämän takia

etenkin Novoxia käytettäessä jäähdytyspainimen merkitys korostuu entisestään. Mutta vaikka jäähdytyspainin olisikin käytössä, on selvää, että sarjakoot pienenevät huomattavasti verrattuna Akvapurille tarkoitettuun menetelmään.

5.4 Irepoint Oy

Irepoint Oy on turkulainen yritys, joka sai alkunsa vuonna 1995 (Irepoint Oy 2009a). Yritys keskittyy vaativaan tuotesuunnitteluun, ja sen palveluihin kuuluu suunnittelu, muotoilu, tuotekehitys sekä työkalujen, prototyyppien ja piensarjojen valmistus monipuolisilla menetelmillä. Irepoint Oy:n asiakaskunta koostuu yksityisasiakkaista aina suuryrityksiin. Tuotevalikoimaan kuuluu ruiskuvalu-, kaasuavusteiset ruiskuvalu- sekä lämpömuovaustuotteet. Yrityksen osaamisesta kertoo mm. useat henkilökunnan sekä yrityksen nimissä olevat patentit. (Irepoint Oy 2009b.)

Irepoint Oy valmistaa muotteja sekä alumiinista että epoksista. Yritys pystyy valmistamaan alipainemuovaus- tai kaksipuolisia kuumapuristusmuotteja. Tuotevalikoimaan eivät kuulu sähkölämmitteiset muotit. Irepoint Oy:n myyjät uskovat öljy34 lämmityksellä päästävän myös Novoxkalvolle tarvittavaan 150–170 °C:n lämpötilaan, mutta eivät suosittele muotin lämmitystä niin kuumaksi mm. liiallisen lämpölaajenemisen takia. Tarjotut muotit ovat siis vesilämmitteisiä ja tarkoitettu Akvapur SM 1200 -liimalla valmistetulle tuotteelle.

Ensimmäinen yritykseltä saatu tarjous käsittelee kokonaan alumiinista kaksipuolista kuumapuristusmuottia. Materiaaliksi on valittu alumiini sen hyvien lämmönjohtominaisuuksien sekä suhteellisen hyvän kestävyuden takia. Irepoint Oy:llä on noin 20 vuoden kokemus alumiinimuotteista ja tämän ansiosta he voivat luvata huomattavasti paremmin toimivaa muottia kyseisestä materiaalista. Epoksista muottia ei tarjottu lainkaan mm. sen takia, että epoksi toimii aineena ikään kuin eristeenä ja johtaa täten lämpöä huonosti. Koska prosessi vaatii sekä lämmityksen että jäähdytyksen, tulisi työsykli hidastumaan huomattavasti alumiinimuotin vastaavaan verrattuna. Toinen varten otettava seikka epoksin poissulkemiseksi on aineen heikompi kestävyys. Epäilyksiä herättää epoksimuotin kestäminen tarvittavassa 2 N/mm² puristuspainessa. Suhteellisen kova puristusaine saattaisi aiheuttaa murtumia epoksimuotissa.

Muotti valmistetaan matalapainevalumenetelmällä eli ns. vapaalla valulla. Tässä muotissa olisi joko yhdet vesiputket sekä lämmittämistä että jäähdyttämistä varten tai molemmat putkistot erikseen. Yhdellä vesiputkistolla muotti olisi halvempi. Lisäksi yhdet putkistot on huomattavasti helpompi saada mahtumaan muotin sisään. Hapon kestävästä teräksestä taivuttamalla valmistettu putkisto upotetaan valussa seinämien sisälle.

Irepoint Oy:n toinen vaihtoehto on alipainemuotti. Muotti on mahdollista saada joko positiivitaik negatiivimuotina. Positiivimuotti on kuitenkin lähtökohta sen edullisemman hinnan takia. Alipainemuotin imukyky vastaa 1 kg/cm². Alipainemuotin yksi ehdoton etu on sen kestävyys verrattuna kaksipuoliseen muottiin, kun muotin ei tarvitse kohdata puristusvoimia.

Myös Irepoint Oy:lla on kokemusta alipainemuovauksessa käytetystä yläpuolisesta painimesta. Painimien käytöstä on lukuisia kokemuksia, mutta jäähdytteisiä painimia ei ole aikaisemmin valmistettu. Tämä ei ole kuitenkaan mikään ongelma, sillä jäähdytysputkistojen sisällyttäminen yläpuoliseen painimeen ei juuri eroa jäähdytyksen asentamisesta varsinaiseen muottiin.

Alipainemuotin toimivuutta on kuitenkin ehdottoman tärkeää testata termomuovattavan puu- komposiittilevyn muovaamisessa, jotta saadaan selville miten viilupintainen ABS-levy käyttäytyy siinä. Irepoint Oy voikin valmistaa prototyypimuootteja alipainemenetelmällä uretaanista tai epoksista. Positiivimalliselle prototyypille tulisi hintaa 1000–1500 euroa. Irepoint Oy:n tarjoukset ovat ns. budjettitarjouksia, joiden hintoja tarkennetaan muutamien tilaukseen liittyvien yksityiskohtien myötä.

5.5 Merocap Oy

Merocap Oy on Vihdissä sijaitseva yritys, joka on toiminut muovialalla vuodesta 1992. Yritys suunnittelee ja valmistaa teknisiä muoviosia sekä muotteja. (Merocap Oy 2009.)

Yrityksellä on mahdollisuus valmistaa sekä alipaine- että kuumpapuristusmuotteja. Täten tarjoukset pyydettiin molemmista vaihtoehdoista. Kuten suurimmalla osalla muistakin valmistajista, materiaalivalinta on alumiini samoista syistä kuin muilla kyseistä materiaalia ehdottavilla valmistajilla. Kummassakin vaihtoehdossa lämmitys tapahtuu sähkövastuksilla ja jäähdytys vesiputkilla. Sähkölämmityksen ansiosta varmistuu, että muoteilla on mahdollista muovata sekä Novox- että Akvapurliimojen avulla valmistettuja selkänöjä. Jäähdytyksessä käytetään 8 mm:n kupariputkea, jota varten muottiin on työstetty urat.

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Teoriaosuudessa kartoitettiin muottimateriaaleja, muovaustapoja, lämmitystapoja ja muotin rakennetta. Lisäksi teoriaosuudessa esiteltiin muutamia muovaustekniikoita. Muottien tutkimisessa ilmeni muovialalla olevan erittäin monipuolinen tarjonta erilaisista muovaustekniikoista, kun taas puualalla muovaus on lähinnä muotopuristamista. Termomuovattaville puulevyvalmisteille muovausvaihtoehdoiksi muodostuivat alipaine- eli vakuumimuovaus sekä kaksipuolisella muotilla tehtävä kuumpapuristus. Materiaaleista ominaisuuksien puolesta alumiini osoittautui selkeästi parhaaksi vaihtoehdoksi, mutta muitakin halvempia mahdollisuuksia on olemassa, kuten epoksit tai keraamit. Käytännössä kuitenkin muottien valmistajat suosittelevat lämpömuovausmuoteissa tänä päivänä lähinnä alumiinia.

Tarjouksia lähetettiin siis aluksi neljälle muotin valmistajalle, jotka oletettavasti saattaisivat pysyä tarjoamaan jonkinlaista muottiratkaisua. Näistä yrityksistä kolme otti yhteyttä puhelimitse. Puhelinkeskusteluiden lisäksi sovittiin tapaaminen Vuoripoika Oy:n suunnittelijan Visa Malisen kanssa. Yksi yrityksistä, TK-työkalutiimi Oy, ei kuitenkaan ottanut yhteyttä eikä lähettänyt tarjousta ollenkaan, vaikka tarjousta pyydettiin puhelimitse jälkeenpäin. Tämä oli tulkittavissa siten, ettei kyseisellä yrityksellä ole valmiutta tarjota haluamamme kaltaista muottia. Tämän takia muottivalmistajia kartoitettiin lisää ja löytyi vielä yksi mahdollinen lämpömuovausmuotin valmistaja, Merocap Oy, jolta saatiin tarjoukset.

Tarjottujen muottien hinnoissa oli merkittäviä eroja (Liite 2). Vaikka tarjouksissa annettiin useita materiaalivaihtoehtoja muotille, valikoitui materiaalien joukosta kuitenkin yksi materiaali, alumiini, joka jo opinnäytetyön teoriavaiheessa vaikutti erittäin vahvalta vaihtoehdolta. Ainoas-

taan Vuoripoika Oy tarjosi epoksimuottia. Epoksi ei ole materiaalina niin kestävää kuin alumiini, mutta tarjouksen epoksiin on sisällytetty alumiinirouhetta. Kuten aiemmin teoriaosuudessa mainittiin, saadaan näin muotille lisää lämmön kestävyyttä ja tasaisuutta.

Vuoripoika Oy:llä ei ole mahdollisuutta tarjota kokonaan alumiinista muottia, koska yrityksellä ei ole tarvittavia työkaluja, joilla onnistuisi valmistaa halutun kaltainen alumiinimuotti. Kyseinen yritys pystyy tarjoamaan alumiinipintaa muottiin, mutta tämä ei kuitenkaan paranna muotin lämmönjohto-ominaisuuksia, koska muotin päämateriaalina toimiva epoksi hidastaisi lämmitystä sekä jäähdystä. Alumiinipinta voisi kuitenkin lisätä muotin kestävyyttä. Vuoripoika Oy keskittyy painottamaan enimmäkseen lämmitettävää muottia, jonka lisäksi toimitettaisiin lasikuituinen jäähdytysjigei. Tällä menetelmällä saataisiin työsykliä huomattavasti lyhyemmäksi, kun sekä lämmitys että jäähdytys jätetään kokonaan pois. Jigei olisi kuitenkin lasikuituinen, eikä siinä olisi jäähdystä eikä puristusta lainkaan. Näin ollen jigeijä tulisi teettää kaksi kappaletta, ylä- ja alapuolinen, jotka tulisi laittaa kylmään tilaan puristukseen jäähdytysjakson ajaksi. Tässä siis vaadittaisiin yritykseltä mahdollisuus puristaa jigeijä kylmässä tilassa, mikä saattaisi aiheuttaa lisäkustannuksia.

Vuoripoika Oy:n tarjoama muotti on hinnaltaan niin edullinen, että kyseeseen voisi tulla kahden muotin hankinta, joista toisessa suoritettaisiin lämpömuovaus ja toisessa jäähdytys. Edellä mainittu ratkaisu olisi periaatteessa Vuoripoika Oy:n tarjouksista muodostettuna ainoa järkevä tapa. Tällöin jäähdytysmuotti voisi sijaita lämpömuovausmuotin lähellä ja se sisältäisi jäähdytyksen sekä puristuksen. Kahden muotin yhteishinnaksi muodostuisi 4200 euroa, joka tulisi erittäin halvaksi huomioiden muiden valmistajien yhden muotin hinta. Ainoastaan Merocap Oy:n tarjoama alipainemuotti olisi halvempi ratkaisu, verrattuna Vuoripoika Oy:n kahteen muottiin. Tässä ratkaisussa lämmönjohto-ominaisuudet menettävät merkityksensä, koska muottien lämpötilat pidetään vakiona koko työpäivän ajan. Tämän kahden muotin ratkaisun eduksi voidaan laskea nopean työsyklin ansiosta suuri sarjakoko sekä edullinen hinta. Selvänä haittapuolena ratkaisussa on epoksin heikompi kestävyys ja se, että Novox-pinnoitekalvon käyttö selkänøjassa on poissuljettu. Ilman sähkövastuksiakin muotin lämmityskapasiteetti olisi periaatteessa nostettavissa käyttämällä öljyä, mutta epoksin heikon lämmönkeston takia tämä ei ole suositeltavaa.

Nortool Oy on yksi valmistajista, joiden kaikki tarjoukset käsittelevät alumiinista lämpömuovausmuottia. Kaikissa tarjotuissa muoteissa on sekä lämmitys että jäähdytys. Vaihtoehtona on myös sähköinen lämmitys, joka mahdollistaa suuremman mahdollisen lämpötilan myötä myös Novox-pinnoitekalvon käyttämisen selkänøjassa. Sähköinen lämmitys ei myöskään kasvata muotin hintaa. Lisäksi jäähdytetyllä painimella saadaan lisää tehoa jäähdytykseen ja täten sarjakoja voidaan kasvattaa, sekä varmistaa, että jäähdytys on riittävän nopea pitämään liimasauva laadukkaana. Vaikka muotti on selvästi kalleimmasta päästä, se on materiaaliltaan paljon kestävämpi kuin Vuoripoika Oy:n tarjoama muotti. Lisäksi alipainemenetelmällä muovattaessa muotti ei joudu kohtaamaan suuria rasituksia puristuksen takia. Nortool Oy on alansa suurimpia Skandinaviassa ja suurin Suomessa, joten ammattitaito on takuulla huippuluokkaa. Myös palveluhalukkuus Nortool Oy:llä oli Vuoripoika Oy:n ohella parasta neljän muottia tarjonneen yrityksen kesken. Tarjousten tekemiseen paneuduttiin kunnolla ja niistä keskusteltiin pitkään.

Irepoint Oy:n tarjoukset olivat hinnoittelultaan karkeimpia arvioita. Yritykseltä saatiin vaihtoehdot alumiinisista matalapaine- ja kuumpuristusmuoteista. Irepoint Oy ei puolestaan tarjoa säh-

köistä lämmitystä lainkaan, joten tarjoukset kohdistuvat vain Akvapur SM 1200 -liimaan. Lisäksi varsinkin kuumapuristusmuotti oli hinnaltaan erittäin korkea, johtuen todennäköisesti siitä, että yritys on keskittynyt alipainemuovausmuotteihin. Tarjoukset ovat pitkälle vastaavanlaisia Merocap Oy:n tarjousten kanssa sillä erotuksella, että Merocap Oy tarjoaa molempia vaihtoehtoja

huomattavasti halvemmalla. Lisäksi Merocap Oy:n molemmissa vaihtoehtoissa on sähkölämmitys, joten niihin voidaan soveltaa molempia liimavaihtoehtoja. Merocap Oy:ltä saatiin kaikkein halvimmat tarjoukset alumiinisista muoteista. Merocap Oy:n alumiininen tyhjiömuotti on jopa halvempi ratkaisu kuin Vuoripoika Oy:n kahden muotin ratkaisu. Sekä Irepoint Oy:n että Merocap Oy:n palveluhaluus oli hieman heikompaa kuin Nortool Oy:n ja Vuoripoika Oy:n. Tarjousten sisältö oli varsinkin Merocap Oy:llä suppeaa ja ne viipyivät pidempään, kuin oli sovitettu. Myöskään Merocap Oy:n ammattitaito ei vakuuttanut yhtä hyvin kuin Nortool Oy:n. Lopullista päätöstä tehtäessä tulee huomioida muutamia seikkoja. Materiaalivalintana alumiini on turvallisempi kuin epoksi. Sitä käytetään niin puualan, kuin muovialankin muoteissa. Alumiiniin kaikki ominaisuudet tukevat prosessin tarpeita. Toinen tarjottu vaihtoehto, eli epoksi-muotti, tulisi puolestaan hinnaltaan halvemmaksi ja työsykli kahden muotin työkierrolla lyhyemmäksi, mutta kestävyys on heikompaa, vaikka sitä alumiinirouheen avulla onkin parannettu. Mikäli liimana käytetään varmuudella Akvapur SM 1200 -liimaa, on Vuoripoika Oy:n tarjous varteenotettava vaihtoehto. Mikäli kuitenkin ratkaisu on alumiinimuotti, on valinta kannattavinta tehdä Nortool Oy:n ja Merocap Oy:n väliltä. Jos muovaustavaksi valitaan kuumapuristus alumiinimuotilla, jää Merocap Oy tällöin järkevimmäksi vaihtoehdoksi, koska Irepoint Oy:n vastaavan hinta on lähes kolminkertainen. Merocap Oy:n vahvuuksiin kuuluu myös sähkölämmitys, joten lämmittämisnopeuteen voidaan vaikuttaa lisäämällä lämmitystehoa, kun taas vesiputkilämmityksen nopeuttaminen on rajallisempaa.

7 LÄHTEET

Painetut lähteet:

Airasmaa, I., Kokko, J., Komppa, V. & Saarela, O. 1991. Muovikomposiitit.
Jyväskylä:Gummerus Kirjapaino Oy,.

Marttila, P. 2006. Muotopuristuksen tuottavuuden kehittäminen. Opinnäytetyö.
Lahden ammattikorkeakoulu. Lahti.

Painamattomat ja elektroniset lähteet:

Formech International Ltd. A Vacuum Forming Guide. Esite.

HKT-Korhonen Oy. 2009. Chairs [viitattu 2.10.2009].Saatavissa: http://www.hktkorhonen.fi/tuotteet/koti_solachair.shtml

Irepoint Oy. 2009a. Historia. [viitattu 16.10.2009]. Saatavissa: <http://irepoint.fi/?n=16524>

Irepoint Oy. 2009b. Yritys. [viitattu 16.10.2009]. Saatavissa: <http://irepoint.fi/?n=564>

Merocap Oy. 2009. 2009. Menestystä ja lisäarvoa tuotteillesi. [viitattu 16.10.2009] Saatavissa:
<http://www.merocap.com/valisivut/yritys.html>

Neva, T. 2009. Lyhyesti lämpömuovauksesta. Esitys työpalaverissa 16.4.2009.

Nortool Oy. 2009a. Nortool - Muotteja ja tuotantotyökaluja auto- ja
lämmöneristysteollisuuden tarpeisiin [viitattu 14.10.2009]. Saatavissa: <http://www.nortool.fi/x1FI/html/2000/2000.htm>

Nortool Oy. 2009b. Moulds and Machinery [viitattu 14.10.2009]. Saatavissa: http://nortool.fi/x1FI/kuvat/4000/4000_esite_en_01.pdf

Rosato, D. 1997. Plastic Processing Data Handbook. The University Press, Cambridge.

Vienamo, T. 2009a. Muovikomposiittien prosessointitekniikoita. [viitattu 9.6.2009].
Saatavissa:<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/159/223/>

Vienamo, T. 2009b. Muovikomposiittien prosessointitekniikoita. [viitattu 9.6.2009].
Saatavissa: <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/51/231/>

LIITTEET

Liite 1 Nortool Oy:n alumiinisia positiivi- ja negatiivimuotteja



(Nortool Oy 2009b.)

Liite 2 Muottien hinnat

Valmistaja	Muotti	Lämmitys/jäähdytys	Liimasoveltuvuus	Muovaus	hinta €
Yritys 1.	Epoksimuotti	Yksinkertaiset vesiputket	Akvapur SM 1200	Kuumapuristus	n. 2100
	Epoksimuotti	Kaksiputkijärjestelmä	Akvapur SM 1200	Kuumapuristus	n. 2400
	Epoksimuotti	Vesiputket/jäähdytysjigrit	Akvapur SM 1200	Kuumapuristus	n. 2740
	Alumiinipinnoitettu epoksimuotti	Kaksiputkijärjestelmä	Akvapur SM 1200	Kuumapuristus	n. 3400
	Alumiinipinnoitettu epoksimuotti	Vesiputket/jäähdytysjigrit	Akvapur SM 1200	Kuumapuristus	n. 3740
Yritys 2.	Alumiinimuotti	Kaksiputkijärjestelmä	Akvapur SM 1200	Alipainemuovaus	n. 7400
Yritys 2.	Alumiinimuotti	Kaksiputkijärjestelmä ja jäähdytetty painin	Akvapur SM 1200	Alipainemuovaus	n. 9700
	Alumiinimuotti	Sähkövastukset, vesiputket ja jäähdytetty painin	Akvapur SM 1200 tai Novox	Alipainemuovaus	n. 9700
Yritys 3.	Alumiinimuotti	Yksinkertaiset vesiputket	Akvapur SM 1200	Kuumapuristus	n. 15000
	Alumiinimuotti	Yksinkertaiset vesiputket	Akvapur SM 1200	Alipainemuovaus	n. 6500
	Alumiinimuotti	Yksinkertaiset vesiputket ja jäähdytetty painin	Akvapur SM 1200	Alipainemuovaus	n. 10000
Yritys 4.	Alumiinimuotti	Sähkövastukset ja vesiputket	Akvapur SM 1200	Alipainemuovaus	n. 2740
	Alumiinimuotti	Sähkövastukset ja vesiputket	Akvapur SM 1200	Kuumapuristus	n. 5580