

PUUMUOVIKOMPOSIITTIEŦ KÄYTTÖ HUONEKALUTEOLLISUUDEN KOMPONENTTEINA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Puutekniikan koulutusohjelma
Markkinoinnin ja tuotekehityksen suuntaut-
misvaihtoehto
Opinnäytetyö
Syksy 2006
Petteri Siponen

Lahden ammattikorkeakoulu
Tekniikan laitos
Puutekniikan koulutusohjelma

SIPONEN, PETTERI:

Puumuovikomposiittien käyttö huonekaluteollisuuden komponentteina

Markkinoinnin ja tuotekehityksen opinnäytetyö, 59 sivua

Syksy 2006

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää puukuitulujitteisen muovikomposiitin soveltuvuutta huonekaluteollisuuden komponenteiksi. Tarkoituksena oli selvittää puumuovikomposiitin ominaisuudet, huonekaluteollisuuteen sopivimmat valmistusmenetelmät ja kannattavuuteen vaikuttavat tekijät. Opinnäytetyön teoriaosan aineisto on hankittu pääasiassa muovialan teoksista, puumuovikomposiittia käsittelevästä materiaalista ja puumuovikomposiittia valmistavien yritysten antamista tiedoista. Teknistä tietoa ja hintatietoa käytettävistä materiaaleista ja laitteista on saatu puukuitulujitteisen muovikomposiitin raaka-ainevalmistajilta, tuotevalmistajilta ja laitevalmistajilta.

Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään puukuitulujitteista muovikomposiittia materiaalina, sen erilaisia valmistusmenetelmiä ja niihin tarvittavia laitteita sekä osia huomioiden huonekaluteollisuuden vaatimukset ja ominaispiirteet.

Tutkimustuloksista ilmeni, että puukuitulujitteisen muovikomposiitin modernin ja tehokkaan tuotannon aloittaminen vaatii varsin suuria investointeja. Tämä korostuu erityisesti, jos tuotantoa aloittavalla huonekaluteollisuuden yrityksellä ei ole jo ennestään muovituotantoa, laitteita ja tietotaitoa. Puumuovikomposiitin valmistukseen on kehitetty myös juuri tähän tarkoitukseen soveltuvia erikoislaitteita ja raaka-aineita muoviteollisuuden laitteista ja raaka-aineista. Riittävällä tietotaidolla ne helpottavat osittain puumuovikomposiitin valmistuksen ja tuotannon aloittamista. Niiden avulla myös puumuovikomposiitin tuotanto todennäköisesti tehostuu ja laatu mahdollisesti paranee.

Tutkimustuloksista voidaan päätellä, että oikeanlaisilla raaka-aineilla ruiskuvalu on sopivin ja kannattavin puumuovikomposiitin valmistusmenetelmä huonekaluteollisuuden käyttöön. Tuotantomäärien tulisi todennäköisesti olla melko suuret. Tuotantomäärän kannattaisi olla ainakin 100 000 kappaletta. Tehokkaan ja kannattavan tuotannon toteuttaminen vaatii kuitenkin paljon tietotaitoa ja investointeja. Olennaisia, huomioon otettavia asioita on erittäin paljon, joten menestyvän puumuovikomposiittia valmistavan tehtaan perustaminen on aikaa, vaivaa ja kustannuksia vaativa prosessi.

Avainsanat: puumuovikomposiitti, ekstruusio, ruiskuvalu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	TAVOITTEET	2
3	PUUMUOVIKOMPOSIITIN KOOSTUMUS	3
4	PUUMUOVIKOMPOSIITIN OMINAISUUDET	5
4.1	Lujuus	6
4.2	Työstettävyys	7
4.3	Ulkonäkö	8
4.4	Ekologisuus	8
4.5	Muut ominaisuudet	11
4.5.1	Kosteudenkesto	11
4.5.2	Mittapysyvyys	12
4.5.3	Lämmönkesto	12
4.5.4	Eristyskyky	13
4.5.5	UV-kestävyys	13
4.5.6	Värjättävyys	14
5	VALMISTUSMENETELMÄT	15
5.1	Ekstruusio eli suulakepuristus	16
5.2	Ruiskuvalu eli ruiskupuristus	20
5.3	Rotaatiovalu	24
5.4	Ahtopuristus	27
6	ESIMERKKEJÄ PUUMUOVIKOMPOSIITIN VALMISTUSPROSESSIKSI	30
6.1	Konevalinnat	30
6.1.1	Koneet ekstruusioon	30
6.1.2	Koneet ruiskuvaluun	34

6.2	Raaka-aineet	38
6.2.1	Raaka-aineet ekstruusioon	39
6.2.2	Raaka-aineet ruiskuvaluun	40
6.3	Layout	42
6.3.1	Ekstruusiotehtaan layout	43
6.3.2	Ruiskuvalutehtaan layout	44
6.4	Kustannusarviot	44
6.4.1	Kustannusarviot ekstruusioon	46
6.4.2	Kustannusarviot ruiskuvaluun	48
6.5	Laskelmat	50
6.5.1	Laskelmat ekstruusioon	50
6.5.2	Laskelmat ruiskuvaluun	51
7	PUUMUOVIKOMPOSITIN SOVELTUVUUS HUONEKALUKOMPONENTTEIHIN	52
7.2	Menestystekijät	55
7.3	Riskit	55
7.4	Mahdollisuudet	56
8	YHTEENVETO	56
	LÄHTEET	58

1 JOHDANTO

Tässä tutkimuksessa selvitetään puukuitulujitteisten muovikomposiittien eli puumuovikomposiittien soveltumista huonekaluteollisuuden käyttökohteiksi. Englanninkielessä on puumuovikomposiitista puhuttaessa käyttöön vakiintunut nimitys wood (thermo-)plastic composite, joka lyhennetään usein WPC. Nimityksellä tarkoitetaan puun lisäksi myös muilla luonnonkuiduilla lujitettuja muovikomposiitteja. Puukuitu on yksi monista luonnonkuiduista. Se on luonnollinen valinta lujitekuiduksi Suomessa, joten tässä opinnäytetyössä keskitytään puumuovikomposiitin tutkimiseen.

Puumuovikomposiitin käyttö on jo melko laajaa esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Japanissa. Puumuovikomposiitin tulevaisuudennäkymät myös Suomessa ovat lupaavat. Puumuovikomposiitilla saadaan yhdistettyä useita muovin ja puun hyviä ominaisuuksia, joten sen käyttömahdollisuudet myös huonekaluteollisuudessa on syytä tutkia. Erilaisia käyttömahdollisuuksia pyritään arvioimaan huonekalutehtaan näkökulmasta, joten tutkimuksessa selvinneet asiat ja niiden perusteella tehdyt johtopäätökset eivät välttämättä päde samalla tavalla muille teollisuudenaloille. Teoriaosan aineisto antaa kuitenkin jokaiselle asiasta vähemmän tietävälle yleistä tietoa, josta saa jo melko laajan käsityksen puumuovikomposiitista materiaalina ja keskeisistä valmistusmenetelmistä.

Puumuovikomposiitti on Suomessa vielä melko tuntematon materiaali erityisesti kuluttajien keskuudessa. Puumuovikomposiitin ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet pyritään tuomaan esille. Työssä selitetään aluksi yleisesti puumuovikomposiitteihin liittyvää olennaista asiaa. Tavoitteena on kertoa puumuovikomposiitin koostumuksesta siten, että se ymmärretään omana materiaalinaan. Koostumukseen vaikuttavat puu- ja muovivalinnat tuodaan esille. Tekniset, esteettiset ja ekologiset ominaisuudet selvitetään. Puumuovikomposiitin valmistusmenetelmien kannattavuus huonekaluteollisuuden käyttöön pyritään tutkimaan. Tarkoituksena on selvittää edut ja haitat ekstruusion, ruiskuvalun, rotaatiovalun ja ahtopuristuksen

välillä. Tämän jälkeen tutkimus kohdennetaan huonekaluteollisuuden alueelle. Sopivimmat valmistusmenetelmät ja siihen tarvittavat laitteet, raaka-aineet ja muut tarvittavat asiat selvitetään huonekaluteollisuuden käyttöä varten.

Opinnäytetyön on tarkoitus antaa suuntaa, esimerkkiä ja vaihtoehtoja puumuovikomposiitin valmistusprosesseiksi huonekaluteollisuuteen. Puumuovikomposiitin soveltuvuutta huonekaluteollisuuden käyttöön selvitetään kustannusarvioilla ja niiden pohjalta tehdyillä laskelmilla. Laskelmien avulla pohditaan tarvittavia investointeja sekä kustannuksia. Niiden perusteella tehdään päätelmiä, kannattaako puumuovikomposiitista valmistettujen tuotteiden käyttö huonekaluteollisuuden komponentteina.

2 TAVOITTEET

Pyrkimyksenä on selvittää puukuitulujitteisen muovikomposiitin soveltuvuutta huonekaluteollisuuden käyttökohteiksi, kuten opinnäytetyön toimeksiantajan Isku-Yhtymä Oy:n käyttöön. Monet huonekalualan yritykset, kuten Isku-Yhtymä Oy, ovat mahdollisia puumuovikomposiitin valmistajia tai ainakin valmistuttajia tulevaisuudessa. Aihe on siis ajankohtainen, ja useilla siitä on vielä varsin vähän tietoa, joten tavoitteena on ilmoittaa asiat niin selkeästi ja havainnollisesti, että asian ymmärtää myös tietämättömämpi lukija. Tavoitteena on selvittää sopivimmat puumuovikomposiitin valmistusmenetelmät ja niiden vaatimat kustannukset. Kustannuslaskelmilla on tarkoitus selvittää investointien kannattavuus huonekaluteollisuuden komponenteiksi valmistettavien puumuovikomposiittikappaleiden tuotantoon.

Puumuovikomposiitin valmistusprosessin esimerkkien tavoitteena on luoda realistinen malli puumuovikomposiittia valmistavasta tehtaasta, joka toimii osana huonekaluteollisuutta. Esimerkeissä pyritään mahdollisimman hyödylliseen ja taloudelliseen koneiden ja raaka-aineiden valintaan. Kustannusarvioiden ja laskelmien kautta on tarkoitus löytää mahdollisimman kannattava puumuovikomposiitista valmistettava tuote tai ainakin vartenotettava vaihtoehto kappaleeksi,

jonka tuotanto olisi todennäköisesti kannattavaa ja ainakin hyödyllistä ajatellen kokonaisuutta. Valmistettava kappale voi siis olla myytävä tuote jo sellaisenaan, mutta todennäköisemmin se on osa suurempaa kokonaisuutta, joka on myytävä tuote vasta kaikkien tarvittavien komponenttien ollessa mukana.

Lopuksi tehdään johtopäätökset puumuovikomposiitin soveltuvuudesta huonekalukomponentteihin. Soveltuvuutta pyritään pohtimaan huomioiden paras tai parhaat valmistusmenetelmät, tuotteiden ulkonäkö ja muut ominaisuudet, käytännöllisyys sekä ostajien odotukset ja vaatimukset. Pohdinnassa käytetään apuna markkinoinnillista ajattelua, jotta asiaa tulisi pohdittua useammalta kannalta. Tavoitteena on määrittää puumuovikomposiittimateriaalin menestystekijät, riskit ja mahdollisuudet huonekaluteollisuudessa. Kokonaisuuden tavoitteena on antaa uusia vaihtoehtoja, esimerkkejä, näkökulmia sekä virikkeitä puumuovikomposiitin tuotantoon huonekaluteollisuutta varten.

3 PUUMUOVIKOMPOSIITIN KOOSTUMUS

Puumuovikomposiitti koostuu kerta- tai kestopuuvista ja suhteellisen lyhyistä puukuiduista. Kuidut on sekoitettu sulaan muovimassaan. Puumuovikomposiitin ominaisuudet riippuvat olennaisesti sen sisältämän muovin ja puuaineksen määrästä. Puumuovikomposiitti sisältää tavallisesti 30-85% lujitetta. Puukuidun sijaan voidaan käyttää myös muita luonnonkuituja, kuten olkea, kenafia, hamppua, sisalia, pellavaa, banaanikuitua tai bambua. (Koto & Tiisala 2004.)

Suomessa edullisinta ja kannattavinta on hyödyntää puuteollisuuden sivutuotteita, joita ovat lähinnä käsitelty tai käsittelemätön havupuukuitu esimerkiksi kutterilastuna tai sahajauhona. Paperikuitua ja paperi- ja kartonkiteollisuuden kierrätysmateriaaleja voidaan myös käyttää. Puukuitu hyödynnetään yleensä lyhyenä kuituna tai jauhona yksittäisten pitkien kuitujen sijaan. (Koto & Tiisala 2004.) Puukuidun osuus lopputuotteesta voi vaihdella suurimmillaan 20%:n ja 90%:n välillä käytettävästä tuotantomenetelmästä riippuen.

Puun rakennetta ei pysty ennalta säätelemään. Puukuitujen ominaisuudet vaihtelevat puulajeittain sekä kasvupaikka- ja puukohtaisesti. Sekapuujiätteen käyttöä on pidetty yhtenä hyvänä vaihtoehtona. Parhaisiin tuoteominaisuuksiin voitaisiin kuitenkin päästä puukuitujen ollessa yhdestä puulajista, joka valitaan tuotteen vaatimusten mukaisesti. Toiset puulajit soveltuvat sisäkäyttöön, ja joidenkin puulajien ominaisuudet tulevat parhaiten esille ulkokäytössä. Esimerkiksi pyökki reagoi kosteuteen herkästi, lehtikuusi ja tervaleppä päinvastoin kestävät hyvin kosteutta. Tiikillä on hyvät lujuus- ja kestävyysominaisuudet. Vaahteraa on pidetty hyvänä soitinpuuna sitkeyden, tiiviyn ja kovuuden ansiosta. Siinä esiintyy värimuutoksia joutuessaan kosteissa olosuhteissa raudan, kuparin tai messingin kanssa kosketuksiin. (Koto & Tiisala 2004.)

Eri puulajien sisältämät erilaiset orgaaniset kemikaalit saattavat vaikuttaa valmistusprosessiin ja komposiitin työstöön. Kansainvälisten julkaisujen mukaan ongelmia aiheuttavat esimerkiksi puuraaka-aineen mukana tulevat epäpuhtaudet, hartsit, terpeenit ja uuteaineet. Jotkut puulajit, kuten haapa, myös tylsyttävät nopeasti työvälineitä. Puulajeilla on eroa myös pinnoitettavuus- ja kyllästettävyysominaisuuksissa. Tämä voi vaikuttaa muovin imeytymiseen puuhun ja niiden sitoutumiseen toisiinsa. (Koto & Tiisala 2004.) Puulaji vaikuttaa myös kuidun pituuksiin. Havupuilla on laajempi jakauma kuidun pituuksissa ja kuidut ovat pidempiä, kun taas lehtipuilla jakauma on pienellä välillä ja kuidut ovat lyhyitä.

Lämpökäsittely vaikuttaa puun kemialliseen rakenteeseen ja siten puun ominaisuuksiin. Lämpökäsittely parantaa merkittävästi puun sään- ja lahonkestävyyttä, jonka lisäksi puun kosteuseläminen pienenee jopa kymmenesosaan alkuperäisestä. Puun tasapainokosteus alenee ja pihka poistuu, joten lämpökäsittelyllä puu myös kevenee. (Stellac Oy.) Lämpökäsittely parantaa puun lämmöneristysominaisuuksiakin, joten se saattaisi parantaa myös komposiitin lämmöneristyskykyä. Puun lujuusarvot kuitenkin heikkenevät hieman puun lämpökäsittelyllä. (Koto & Tiisala 2004.)

Muovin valinnalla on olennainen merkitys komposiitin ominaisuuksiin. Pelkästään muovilaatuja on useita kymmeniä, ja niistä on valmistettu tuhansittain

alatyyppejä erilaisilla ominaisuuksilla. Muoveilla on monipuolinen muuntelumahdollisuus ja hallittavuus. Muovista voidaan valmistaa tasalaatuista materiaalia suurissa määrissä. (Koto & Tiisala 2004.) Suomi-Lindbergin (2001) mukaan kestopuovien ja luonnonkuitujen yhdistämistä rajoittaa tuotantoprosessin korkea lämpötila. Muovit vaativat korkeita käsittelylämpötiloja ja luonnonkuiduilla lämmönkesto on rajallinen. Siksi tärkein vaatimus kestopuoveja ja puukuituja yhdistettäessä on, että kestopuovien sulamislämpötilan tulee olla alle kuitujen sisältämien lignoselluloosayhdisteiden hajoamislämpötilan, joka on tavallisesti välillä 200-220°C. Tähän tarkoitukseen soveltuvia kestopuoveja ovat mm. polypropeeni, polystyreeni, vinyylit, low ja high -density polyeteenit, ABS ja ASA. Muovilajin valintaan vaikuttavat aina myös lopputuotteelle asetetut ominaisuudet ja vaatimukset. Mikäli tuotteen ominaisuudet eivät ole niin tärkeitä, voidaan käyttää kierätysmuovia. Se on varsin edullista, mutta tiettyjen muovityyppien saatavuus saattaa olla rajallista. Kertamuovien käyttö on myös mahdollista, mutta kertaikäisyys tekee kierrätyksen ja uudelleenkäytön mahdottomaksi. (Koto & Tiisala 2004.)

4 PUUMUOVIKOMPOSIITIN OMINAISUUDET

Puumuovikomposiittien ominaisuudet vaihtelevat runsaasti esimerkiksi valitun muovi- ja puumateriaalin mukaan. Ominaisuudet eivät ainakaan kaikilta osin säily samanlaisena, jos muovi- ja/tai puulajia muutetaan. Siksi ominaisuuksien kuvailun yhteydessä on selvitetty erilaisia mahdollisuuksia vaikuttaa kyseisiin ominaisuuksiin. Ominaisuuksien yhteydessä käytetään välillä vertailua puu- ja muovimateriaaliin, jolla saadaan paremmin havainnollistettua puumuovikomposiitin mahdollisia vahvuuksia ja heikkouksia.

Huonekaluteollisuuden erityisvaatimukset on tärkeää huomioida puumuovikomposiitin ominaisuuksien selvittämisen yhteydessä. Komponenteille asetettavat vaatimukset riippuvat käyttötarkoituksesta. Näkyviin osiin tarvitaan hienompaa ulkonäköä ja tukeviin osiin tai liitososiin hyviä lujuusominaisuuksia. Tärkeimpiä

ominaisuuksia huonekaluteollisuuden kannalta ovat tilavuuspaino, lujuus, työstettävyyttä, ulkonäkö, ekologisuus ja värjättävyys.

Lujuus- ja kimmo-ominaisuuksista tärkeimpiä ovat taivutuslujuus, veto- ja puristuslujuus, leikkauslujuus sekä iskulujuus. Määritettäessä taipumia eri rasisitustapuksissa taivutuskimmokerroin on ratkaisevana tekijänä. Huonekaluilta ja kalusteilta vaaditaan usein myös riittävää kovuutta. Työstettävyydellä on merkitystä erityisesti tehtäessä liitoksia, jolloin liitoksen lujuus ja ulkonäkö ovat ratkaisevia tekijöitä. (Koponen 1996, 16.) Ekologisuudella on merkittävä vaikutus esimerkiksi opinnäytetyön toimeksiantajan Isku-Yhtymä Oy:n materiaalivalintoihin.

4.1 Lujuus

Puumuovikomposiitin lujuuteen vaikuttavat esimerkiksi lisättyjen puukuitujen määrä, muovilajin lujuus ja valmistusmenetelmä. Mitä pidempi- ja kapeampikuituinen lujitemateriaali on, sitä parempi on komposiitin lujuus. Vastaavasti tällaiset kuidut heikentävät komposiitin sitkeyttä eli iskulujuutta. Jauhomaiset, lyhytkuituiset aineet toimivat lähinnä täyteaineiden tapaan, eli ne jäykistävät muovia mutta eivät tee siitä sitkeää. Komposiitin sitkeyttä on mahdollista lisätä myös parantamalla matriisin ja kuitujen välistä tartuntaa erilaisten kytke- ja dispergointiaineiden avulla sekä käyttämällä iskusitkeitä muovilajeja. Komposiitin iskulujuus on kuitenkin huonompi kuin vastaavan kestopuovin iskulujuus kuitujen ja muiden täyteaineiden käytön vuoksi. Iskulujuudella on vaikutusta erityisesti alhaisissa, alle 0°C:een käyttölämpötiloissa. (Koto & Tiisala 2004.)

Kuidun muodon lisäksi komposiitin lujuusominaisuuksiin vaikuttavat lujiteaineen määrä ja kuitujen partikkelikoko. Glasserin (1999) ja Parkin (1998) mukaan esimerkiksi liian suuri kuitupitoisuus voi huonontaa iskulujuutta ja venymää. Tietyn rajan yli kasvanut partikkelikokokin heikentää mekaanisia ominaisuuksia. Laineen (1998) mukaan komposiitin eri ainesosissa ja ulkoisissa olosuhteissa tapahtuvat erilaiset muutokset vaikuttavat myös mekaanisiin ominaisuuksiin, etenkin iskulujuuteen. Materiaalin lujuusominaisuuksiin vaikuttaa myös kuitujen

suuntautuminen valmistusprosessin yhteydessä sulan komposiittimateriaalin virtaussuuntien mukaisesti suuttimessa tai muotissa. (Koto & Tiisala 2004.) Tavallisesti puumuovikomposiitin kimmokerroin on noin 5 500 N/mm², mikä on noin puolet puun kimmokertoimesta. Taivutusrasituksessa puumuovikomposiitin jäyhyysmomentti täytyy olla siis kaksinkertainen puuhun verrattuna, jotta taipumat olisivat yhtä suuret.

Muovikappaleiden joutuessa jatkuvaan kuormitukseen niissä saattaa tapahtua osittain pysyviä muodonmuutoksia eli virumista. Viruminen vähenee puukuitujen lisäyksellä muovimatriisiin. Korotetuissakin lämpötiloissa puun 10 paino% lisäys polymeerimatriisiin vähensi virumista jopa 99%. Ratkaisevaa on muovimatriisin ja kuitujen hyvä sitoutuminen toisiinsa. Sitä vahvistetaan lisäämällä puukuidun ja muovin sekaan kytkentäapuaaineita, kuten maleoituja polymeerejä. (Koto & Tiisala 2004.)

4.2 Työstettävyys

Puumuovikomposiitteja voidaan sahata, hioa, jyrsiä, porata, ruuvata, kiillottaa ja liimata. Naulaaminen on hankalaa, joten reikien poraaminen on suositeltavaa. Ainakin naulaamis- ja ruuvaamisominaisuuksia voidaan parantaa materiaalin vaahdotuksella. Lastuavaan työstöön soveltuvat esimerkiksi puuntyöstökoneet. Myös muovin työstöön tarkoitetut menetelmät sopivat käytettäväksi. Työstettäessä puumuovikomposiitti murtuu herkemmin kuin aito puu. Materiaalin muovimainen pinta rikkoutuu, ja puukuidut joutuvat helpommin alttiiksi kosteudelle ja lialle. (Koto & Tiisala 2004.)

Komposiittien lämpömuovaaminen ja hitsaus ovat mahdollisia. Hitsauksen pitävyys riippuu kuitenkin lisätyn puun määrästä komposiitissa. Hitsaus antaa hyvän tuloksen, jos puuta on vähän. Puumuovikomposiitille tyypilliset ponttiliitokset helpottavat työstämistä. Pintaan voidaan valmistusprosessin aikana tai sen jälkeen painaa puunsyitä muistuttavia kuvioita. (Koto & Tiisala 2004.)

4.3 Ulkonäkö

Puumuovikomposiitin ulkoista olemusta on vaikea määritellä, koska siihen vaikuttavat monet eri tekijät. Näitä ovat puukuidun määrä, puulaji, muovilaji, pinnan eri kuvioinnit, värit tai materiaalin paksuus. Tuotteen vaatimat ominaisuudet taas muodostavat paljolti näiden tekijöiden suhteen. Materiaalin olemusta pidetään yleisesti enemmän muovimaisena kuin puumaisena. Tuotteen ulkonäkö muistuttaa enemmän muovia kuin puuta, vaikka pinnassa olisi puujäljitelmä tai puukuidun osuus olisi huomattavasti suurempi. Jotkut puumuovikomposiittituotteiden valmistajat karhentavat muovipinnan hiomalla, jotta pinta näyttäisi puumaisemmalta. (Koto & Tiisala 2004.)

Eri menetelmillä valmistettujen puumuovikomposiittituotteiden ulkonäkö vaihtelee paljon. Puulaji ja kuidun määrä vaikuttavat tuotteen ulkonäköön. Eri väriset puulajit värjäävät värittömän muovimatriisin. Myös puulajien koostumus eroaa hieman toisistaan. Esimerkiksi kertamuoviin sekoitetun lastulevyn pintalastu tekee tuotteesta vaalean puun värisen ja kuidut näkyvät tikkumaisempina. Lämpökäsitellystä kutterilastusta tehty tuote taas on sävyltään tummanruskea ja kuidut suurempia ja pidempiä. Puumateriaali, väri ja puukuitu on mahdollista huomioida jo tuotesuunnittelussa, ja niillä voidaan vaikuttaa lopputuloksen ulkonäköön. (Koto & Tiisala 2004.)

4.4 Ekologisuus

Tuotteiden ekologisuutta on hankala vertailla, koska ekologisuus näkyy tuotteen valmistuksen, käytön ja tämän jälkeisen toiminnan eri kohdissa. Tuotesuunnittelussa voidaan kuitenkin ekologisesti valita vähiten luontoa kuormittavat menetelmät ja ratkaisut. Valinta alkaa jo materiaalista. Monien muiden materiaalien tavoin puumuovikomposiitti ei kuitenkaan ole kaikilta osin ekologinen vaihtoehto. Puumuovikomposiittituotteen valmistaminen kuluttaa 3-4 kertaa enemmän energiaa kuin vastaavan puutuotteen valmistus. Se sisältää kuitenkin monia perusteita, jotka liitetään ekologiseen materiaaliin. (Koto & Tiisala 2004.)

Käytettävä puukuitu on teollisuuden sivutuote. Puukuitu hyödynnetään nykyään polttamalla se energiaksi jopa jätteen syntypaikassa, jolloin kuljetuksen aiheuttamia päästöjä ei ole. Toistaiseksi tämä on puukuidun hävittämisen ekologisin vaihtoehto. Puu on Suomessa yksi halvimista ja tärkeimmistä energialähteistä. Sen käyttäminen muuhun tarkoitukseen johtaa jossain määrin kalliimpien energialähteiden käyttöönottoon. Puukuituna voi käyttää paperi- ja kartonkiteollisuuden kierrätysmateriaaleja. Puumuovikomposiitista valmistetuissa tuotteissa jäykkyys saadaan ohuemmilla rakenteilla kuin neitseellisestä muovista. Tuote kevenee, jolloin kuljetus on edullisempaa. (Koto & Tiisala 2004.)

Kestomuovia sisältävän puumuovikomposiittimateriaalin voi heittää energijätteen, ja kertamuovinkin voi hävittää polttamalla. Kertamuovia on mahdollista polttaa polttolaitoksella. Puu on luokiteltu hiilidioksidittomaksi materiaaliksi, joten puumuovikomposiitin energiatuotannossa syntyvät päästöt ovat vähäiset. Muovit ja muovijätteet ovat öljyn ja maakaasun kiinteä olomuoto. Poltettavilla muoveilla on korkea lämpöarvo eli 40-46 MJ/kg. (Koto & Tiisala 2004.)

Kestomuovia tai kertamuovia sisältävän puumuovikomposiittimateriaalin voi uusiokäyttää. Myös valmistuksessa syntyvät kestopuoviset hukkapalat voidaan sulattaa takaisin massaan ja käyttää näin tehokkaasti. Kertamuovi voidaan nesteyttää mäntypikeen ja tällä seoksella korvata asfalttipäällysteen bitumia. Sitä voidaan myös sekoittaa uudelleen hartsiin. Vaikka on mahdollista kierrättää sekoitettuja muoveja tuotteisiin, tulos on parempi vain yhtä muovilajia käyttämällä. (Koto & Tiisala 2004.)

Uusiomuovia voidaan myös käyttää puumuovikomposiitin raaka-aineena. Teollisuus kierrättää tällä hetkellä muovia tehokkaammin kuin kuluttajat, joiden ongelmana on kulutustavaroissa käytetyt eri muovilajit, jotka päätyvät usein samaan jätteeseen. Biohajoavien muovien käyttö on luultavasti mahdollista, mutta ne eivät välttämättä ole ekologinen vaihtoehto. Täydellinen hajoaminen saattaa kestää kauan ja samalla tuhlautuu kierrätettäviä ja uudelleen käytettäviä resursseja. (Koto & Tiisala 2004.)

Kertakäyttöisten tuotteiden valmistus kuluttaa raaka-ainetta, eikä kaatopaikkojen täyttymisongelma poistu kokonaan biohajoavuudella. Kuusen (1994, 166) mukaan hapettomassa tilassa olevien muovien hajoaminen kaatopaikalla voi olla hyvin hidasta. Mitä enemmän puumuovikomposiittituotteita päätyy kaatopaikoille, sitä enemmän hukkaantuu kallista energiaa. Toisaalta biohajoavuudella saadaan uusia mahdollisuuksia. Kuusi (1994, 166) mainitsee esimerkkinä mahdollisuuden suojata esine naarmuuntumiselta ”maalatulla” kalvolla, joka voidaan liuottaa pois vaarattomasti. (Koto & Tiisala 2004.)

Öljy on uusiutumaton luonnonvara, jonka käyttöä puukuitu ja muut sellupohjaiset raaka-aineet korvaavat. Yleisesti raakaöljyn kulutuksen vähentämistä ja korvattavuutta pidetään hyvänä asiana. Materiaaleja korvattaessa on varmistettava, ettei ympäristökuormitus siirry elinkaaren vaiheesta toiseen. Esimerkiksi puukuidun kuljettamisen ja keräämisen aiheuttamat ympäristörasitukset tulee selvittää. (Koto & Tiisala 2004.)

Puumuovikomposiittimateriaalin ekologisuutta on vaikea määritellä tuotteen valmistuksen monivaiheisuuden takia. Kustannuksia ja ympäristökuormitusta aiheuttavia tekijöitä on useita. Valmistuksen jakaantuminen eri vaiheisiin voi olla esimerkiksi seuraavanlainen. Puukuitu pakataan tiiviisti ja kuljetetaan sahalta. Se kuivataan ja mahdollisesti pelletoidaan. Kuidut säilytetään kuivana ennen kompaundointia. Puumuovikomposiittien valmistuksessa kompaundointi tarkoittaa puukuidun, kestopuovien ja erilaisten lisäaineiden, kuten täyte- ja lujiteaineiden, pigmenttien ja modifiointiaineiden sekoittamista toisiinsa käytettävän muovin sulatilassa. Modifiointiaineita ovat esimerkiksi stabilisaattorit ja prosessiapaineet. (Koto & Tiisala 2004.)

Kompaundoinnin jälkeen valmis seos on granulaatti- tai pellettimuodossa, jollaisena se voidaan käyttää jatkoprosessoinnissa. Granulaatti on muovirae tai etenkin USA:ssa käytetyltä nimitykseltään pelletti. Se on pieni, yleensä noin 2-3 mm:n pituinen ja paksuinen muoviraaka-ainetta sisältävä toimitusmuoto. Seuraavaksi kompaundoinnin jälkeen granulaatit pakataan tiiviisti ja pidetään kuivana sekä kuljetetaan tuotteita valmistavalle tehtaalle ja säilytetään käyttöä varten. Kaikissa

tuotantomenetelmissä ei kuitenkaan ole näin monta vaihetta. (Koto & Tiisala 2004.)

Ekologisia materiaaleja ja niiden edustamien asioiden suosimista pidetään tärkeänä. Luonnonläheisyyden arvostuksen kautta myös luonnosta peräisin olevia materiaaleja arvostetaan. Värjäämättömän puumuovikomposiitin ulkonäkö luo miellyhtymän ekologisesta materiaalista. Toisaalta ekologisuudella korostettujen myyntituotteiden odotetaan olevan edullisia, eikä niiltä odoteta korkeaa laatua. Tuote ei kuitenkaan voi olla ainoastaan ekologinen. Myynnillisesti siinä täytyy olla muitakin perusteita. (Koto & Tiisala 2004.)

4.5 Muut ominaisuudet

Seuraavat ominaisuudet eivät välttämättä ole niin oleellisia huonekaluteollisuuden komponenteille, tai sitten niistä on vielä varsin vähän tietoa tutkimusten vähäisyyden takia.

4.5.1 Kosteudenkesto

Kosteuden imeytyminen vaikuttaa haitallisesti myös luonnonkuitukomposiitteihin lahattaen, turvottaen ja heikentäen niiden mekaanisia ominaisuuksia. Haitat ovat silti pieniä esimerkiksi massiivipuuhun verrattuna. Bledskin (1999) mukaan esimerkiksi MDF:n taivutuslujuus laskee 28 vuorokauden aikana vedessä 95%. Männyllä vastaava arvo on 50%, puukuitutäytteisellä polypropeenilla 8% ja puukuitutäytteisellä PVC:lla 9%. Komposiittimateriaalin kosteuskäyttäytymiseen vaikuttavat käytetyt kuidut, niiden määrä ja muovimatriisin valinta. (Koto & Tiisala 2004.)

Kuitupitoisuuden ollessa suuri myös absorptio eli kosteuden imeytyminen on suuri. Myös komposiitin ikä lisää kosteuden imeytymistä. Kosteuden vaikutuksia voidaan vähentää erilaisilla modifiointikäsitteilyillä ja muovimatriisin ja kuidun sitoutumista toisiinsa parantavilla apuaineilla. Lämpökäsitelty puukuitu imee

käsittelemättömään puukuituun verrattuna vähemmän kosteutta. Lahoamista ja sienten kasvua voidaan estää pinnoittamalla materiaali valmistusvaiheessa ohuella muovikalvolla. (Koto & Tiisala 2004.)

Yksi luonnonkuitukomposiittien valmistuksen haasteista on kuitujen kuivaaminen ja kuivana pitäminen, koska esimerkiksi normaalin, niin sanotun puusepäнкуivan puun kosteuspitoisuus on noin 5-7%. Kosteat kuidut tukkivat laitteita, huonontavat pinnanlaatua ja tekevät onkaloita materiaaliin sekä heikentävät mekaanisia ominaisuuksia. Gardnerin (2002) mukaan esimerkiksi perinteisellä 2-ruuviekstruuderilla kuitujen vesipitoisuuden on oltava alle 1%, ennen kuin ne syötetään laitteeseen muovin sekaan. (Koto & Tiisala 2004.)

4.5.2 Mittapysyvyys

Clemonsin (2002) mukaan muovit muuttavat lämmetessä muotoaan. Puukuidun lisäämisen on kuitenkin todettu jossain määrin vähentävän lämpölaajenemista. Yleisesti täyte- ja lujiteaineiden lisääminen matriisiin vähentää merkittävästi myös muotti- ja suulakekutistumaa ja niitä käytetäänkin usein mittatarkkojen tuotteiden valmistuksessa. (Koto & Tiisala 2004.)

4.5.3 Lämmönkesto

Luonnonkuitujen rajoitettu lämmön- ja palonkestävyys aiheuttaa ongelmia tuotteiden valmistuksessa, mutta myös rajoittaa niiden käyttöä vaativissa olosuhteissa. Palonestoaineiden lisäys komposiittiin kuitenkin parantaa kyseistä ominaisuutta. Lainsäädännön ja määräysten tiukentuessa pyritään mahdollisimman korkeaan paloluokitukseen. Palonsuoja-aineissa ongelmana on löytää aineet, jotka vaikuttavat komposiitin molempiin ainesosiin muoviin ja puuhun yhtä tehokkaasti. Palonsuoja-aineiden tulisi lisäksi olla halogeenittomia. Halogeenit, kuten bromi muodostavat palaessaan erittäin myrkyllisiä kaasuja. Halogeenien epäillään olevan myös karsinogeenisia. (Koto & Tiisala 2004.) Vilkin mukaan

materiaalivalinnoilla, kuten tuhkan lisäämisellä tuotteeseen palonesto-ominaisuuksia voidaan kehittää. Tuhka on jättemateriaali, jolle saataisiin näin hyötykäyttöä. (Törmänen 2005.)

4.5.4 Eristyskyky

Puumuovikomposiittirakenteen lämmöneristyskykyyn voidaan parhaiten vaikuttaa valmistamalla esimerkiksi suulakepuristamalla onttoja monikerrostuotteita, joiden välitila on täytetty valmistusprosessin yhteydessä muovivaahtoteristeellä kuten polyuretaanilla. Muovivaahtoteristeeksi soveltuvat myös kestumuoveista, kuten polypropeenista ja polyeteenistä, valmistetut vaahtokerrokset. Niiden lämmöneristyskyky ei ole ihan polyuretaanin tasolla, mutta ne ovat ympäristöystävällisiä ja kierrätettäviä vaihtoehtoja. (Koto & Tiisala 2004.)

Muovi- ja puulajin valinta sekä niiden määrän säätely vaikuttavat myös mahdollisesti materiaalin akustisiin ominaisuuksiin, kuten ääneneristykseen. Luonnonkuitukomposiittien akustisia ominaisuuksia on tutkittu Joensuun tiedepuistossa Termoplastinen puu-projektin yhteydessä. Siellä on valmistettu pellavalujitteisista muovikomposiiteista esimerkiksi sähkökitaroita. Puiseen soittimeen verrattuna näiden etuina ovat materiaalin räätälöitävyys ja tasalaatuisuus. (Koto & Tiisala 2004.)

4.5.5 UV-kestävyys

Komposiitit, joilla on korkea muovipitoisuus, menettävät väriään ajan myötä muovin haalistumisen takia, jos niissä ei käytetä uv-suoja-aineita tai väriaineita. Jotkut puumuovikomposiittituotteiden valmistajat pyrkivät peittämään vuosien kuluessa tapahtuvaa haalistumista lisäämällä materiaaliin harmaata väriainetta. Värimuutoksia pyritään estämään myös komposiittimateriaalin pintaan lisättävällä muovikalvolla, joka sisältää uv-suoja-aineita. Sää- ja ilmastovaikutuksilla tai UV-säteilyllä ei ole todettu olevan suurta vaikutusta ainakaan ruiskuvalettujen

komposiittikappaleiden mekaanisiin ominaisuuksiin. Materiaalin iskulujuudessa huomattiin tapahtuvan eniten muutoksia. (Koto & Tiisala 2004.)

4.5.6 Värjättävyys

Puukuitujen värit määräävät tulevan komposiitin sävyn, jos käytetty muovimateriaali on väritöntä. Komposiitin luonnollisiin sävyihin voidaan vaikuttaa ainakin ekstruusiossa prosessoinnin lämpötiloja muuttamalla, koska puukuidut tummenevat lämpötilan noustessa. Ruiskuvalussa kuitujen väri ei muutu alle 220°C lämpötiloissa, mutta korkeat valmistuslämpötilat heikentävät komposiitin lujuusominaisuuksia. Puumuovikomposiittimateriaalia voidaan myös värjätä. Tarvittaessa materiaaliin voidaan prosessin aikana lisätä väriaineita. Ekstruusio- ja ruiskuvaluun lisätään väripigmenttejä, jotka läpivärjäävät massan. Muoville tarkoitetut väriaineet vaikuttavat yleensä kuitenkin vain muovimatriisin väriin kuitujen jäädessä ennalleen. (Koto & Tiisala 2004.)

Erilaisia pintakuvioita saadaan sekoittamalla väriaineita epätasaisesti matriisiin. Käytettäessä menetelmää puunomaisten pintakuvioiden tekemiseen väri muodostaa matriisiin pitkiä epätasaisia puunsyitä muistuttavia raitoja. Menetelmää ei pysty kuitenkaan hallitsemaan täysin. Läpivärjäys vaikuttaa tuotteen ulkonäköseikkoihin merkittävästi, koska tuotteeseen tulevat kolhut ovat huomaamattomampia tai tuotesovelluksesta riippuen niiden poistaminen hiomalla on mahdollista. Näin myös tuotteen ikä pitenee. (Koto & Tiisala 2004.)

Väriaineet, kuten muutkin apuaineet, lisäävät materiaalin painoa. Suurina pitoisuuksina käytettäessä ne myös heikentävät komposiitin mekaanisia ominaisuuksia. Uusiomuovista valmistetuissa puumuovikomposiittituotteissa käytetään eri värisiä jättepaloja. Mustan uusiomuovin määrästä riippuen värit sekoittuvat muovia sulatettaessa harmaaksi tai mustaksi massaksi. Massaan voidaan tarpeen mukaan lisätä väripigmenttiä. (Koto & Tiisala 2004.)

Kuitujen värin muuttaminen on hankalampaa mutta mahdollista. Puumuovikomposiittiin lisätyllä peittävällä värillä puukuidut peittyvät vain osaksi, koska muoveille tarkoitettu väripigmentti ei tartu puukuituun. Puukuidut näkyvät vielä paremmin, jos matriisiin lisätään transparentteja värejä. Kuitujen värjäämisen tulisi jo kustannusten takia tapahtua komposiitin valmistuksen yhteydessä. Ainakin ulkomailla tehtyjen kokeiden perusteella myös komposiitin maalaaminen on mahdollista. (Koto & Tiisala 2004.)

5 VALMISTUSMENETELMÄT

Perinteisen kestopuovituotteen valmistamiseen käytettävät laitteet ja menetelmät sopivat myös luonnonkuitukomposiiteille. Työstö ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton materiaalien erilaisuuden kuten bulkkitiheyden (yksikkönä kg kuivaainetta/m³), kosteuden tai viskositeetin takia. Jatkuvaa kehitystyötä tehdään, jotta luonnonkuitukomposiiteille löytyisi uusia, helpompia ja halvempia valmistustapoja. Komposiittimateriaalin kehitystyössä varsinkin erilaisilla lisä- ja apuaineilla on tärkeä merkitys. Erilaisten voitelu- ja väriaineiden käyttö on jo yleistä. Vaatimuksien kasvaessa ainakin käyttöiässä ja lujuusominaisuuksissa muiden aineiden, kuten mikrobien kasvua heikentävien aineiden, uv-stabilisaattorien ja kytkentäaineiden, käyttö tulevaisuudessa lisääntyy. (Koto & Tiisala 2004.)

Vilkin (2003) mukaan perinteisiä muovituotteiden valmistuslaitteita käytettäessä kestopuovia sisältävien puumuovikomposiittituotteiden valmistus on kolmivaiheinen prosessi: ensin puuaines kuivataan täydellisesti, kuidutetaan ja lajitellaan haluttuun mesh-partikkelikokoon. Toisessa vaiheessa puukuitu-, muovi-, ja apuainekomponentit sekoitetaan keskenään eli kompaundoidaan kompaunderilla pelleteiksi. Kolmannessa vaiheessa pelleteistä valmistetaan halutut tuotteet suulakepuristamalla eli ekstruusiolla tai ruiskupuristamalla eli ruiskuvalulla. (Koto & Tiisala 2004.)

5.1 Ekstruusio eli suulakepuristus

Ekstruusiolla valmistetaan suurina sarjoina poikkileikkaukseltaan vakiona pysyviä tuotteita kuten kalvoja, putkia, letkuja, listoja, profiileja, tankoja ja levyjä. Tuotteiden yhdistävänä tekijänä valmistuksessa on suulakepuristin eli ekstruuder.

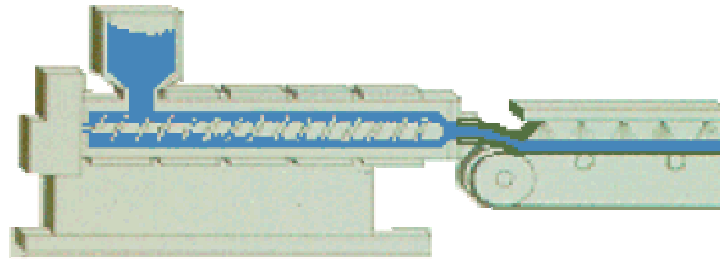
Ekstruuderissa muoviraaka-aine ja mahdolliset muut raaka-aineet sekä lisäaineet sulatetaan, sekoitetaan ja syötetään suuttimelle. Vasta suutinosa määrittelee

tuotekohtaiset erot. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 1999, 98.) Käytettävä kuitumäärä voi vaihdella paljonkin käyttökohteen mukaan. Luonnonkuitua voidaan käyttää jopa 85%. (Koto & Tiisala 2004.)

Ekstruusiossa eli suulakepuristuksessa tai -pursotuksessa lämmitetty sula muovi-massa ja kuidut puristetaan tiiviiksi massaksi ja johdetaan suulakkeen läpi, mikä antaa sille halutun muodon. Puristimessa oleva syöttöruuvi kuljettaa massaa eteenpäin. Ruuviin kierteiden väliin jäävä tilavuus pienenee kohti kärkeä ja aiheuttaa plastisoituvan raaka-aineen paineen nousun. Raaka-aineeseen syntyy sitä enemmän kitkaa mitä suurempi ruuvien kierrosnopeus on. Lämpövastusten avulla säädeltävä sylinterin lämpötila määrää sylinteristä johtuvan lämmön. Ruuvien tärkeitä tekijöitä ovat sen halkaisija sekä pituuden ja halkaisijan suhde. (Järvinen 2000, 109.) Ekstruusioimenetelmissä käytetään tyypillisesti perinteisiä muoviekstruusiolaitteita, vaikka erilaisia ekstruusioimenetelmiä on kehitetty ympäri maailmaa (Koto & Tiisala 2004).

Ekstruuderin muodostuu sylinteristä, jonka sisällä pyörii muotoiltu kierukkaruuvi eli syöttöruuvi. Ruuvien tarkoituksena on siirtää raaka-aine syöttösuppilosta suuttimelle ja sulattaa se tällä välillä joko kitkan tai sähkövastusten ja kitkan avulla. Sulatuksen jälkeen ruuvien loppupäässä muovisula homogenisoidaan eli tasaa-aineistetaan. Muovi sulaa ruuvisolassa vähitellen. Aluksi muodostuu sulafilmi sylinterin ja muovin välisen kitkan vaikutuksesta. Sulan muovin tiheys on suurempi kuin uuden raaka-aineen, joten syntynyt sulafilmi pyrkii kiertymään ruuvien harjaa vasten. Ruuvien ja sylinterin välyksestä syntyy takaisinvirtaus. Takaisinvirtaus tehostaa osaltaan raaka-aineen sulamista, koska lämpö siirtyy paremmin sulan

muovin välityksellä uuteen raaka-aineeseen. Ruuvin geometrialla säädellään esimerkiksi paineenkorotusta, materiaalin tarttuvuutta sylinterin seinämiin ja kaasunpoistoa. (Kurri ym. 1999, 99.)



KUVIO 1. Ekstruusio (Muoviteollisuus ry)

Toimintaperiaatteeltaan ekstruuderit voidaan määritellä kolmeen eri perustyyppiin. Pitkäruuviekstruuderit ovat yleisimpiä ekstruudereita. Niissä L/D -suhde eli ruuvin pituuden suhde halkaisijaan vaihtelee välillä 20:1-35:1. Vain noin 70% lämmöstä syntyy kitkan avulla, joten sulatukseen tarvitaan ulkopuolista lämmitystä. Kierrosluku vaihtelee 20...250 kierrosta/minuutti, sylinterihalkaisijat 25...250 mm:n ja siten kapasiteetti 5...1000 kg/h. Adiabaattisilla ekstruudereilla sulatus tapahtuu kokonaan kitkalämmöllä. Tämän mahdollistaa korkea kierrosluku 100...1000 kierrosta/minuutti. Adiapaattisissa ekstruudereissa on suhteellisen lyhyt ruuvi, L/D -suhde on vain 10:1-15:1. (Kurri ym. 1999, 100.)

Kartioekstruuderit ovat viimeisimpinä kehiteltyjä. Modulirakenteisen kartioekstruuderin perusyksikön muodostavat kartiovaippaseinämien välissä pyörivät kartiovaipparuuvit, joiden molemmille pinnoille ekstrudoitava massa syötetään granaulateina. Kehittelyn tavoitteena on ollut monikerrosekstruusimenetelmä, jossa orientaatiokenttä olisi ollut eri kerroksissa ristikkäinen. Tilan- ja energiantarvekin on saatu pienemmäksi. Sula massa kulkee ensin sihtipakan läpi ja johdetaan tämän jälkeen adapterin kautta suuttimelle. Sihtipakan tarkoituksena on seuloa massasta pois mahdolliset roskat, jotka suuttimeen joutuessaan aiheuttaisivat häiriötä. Samalla sihtipakka nostaa raaka-ainemassan paineen sopivaksi ennen suutinta. Sihtipakan verkot vaihdetaan pysäyttämällä ekstruuderin, automaattisesti painemittarin

ohjaamana tai käyttämällä jatkuvatoimisia suodattimia. (Kurri ym. 1999, 100-101.)

Profiilien ja putkien valmistus on joihinkin huonekaluteollisuuden komponentteihin soveltuva ekstruusiomenetelmä. Tällä ekstruusiomenetelmällä kaikille tuotteille on yhteistä se, että ne voidaan valmistaa samanlaisella tuotantolinjalla. Ainoastaan suulakkeet eli suuttimet ja kalibrointilaitteet ovat tuotekohtaisia. Tuotantolinja voidaan jakaa useampaan eri osaan. Ensin ovat säätölaitteet, sitten puristin eli ekstruuderin. Ekstruuderissa sulatettu muovimassa johdetaan putki- tai profiilipäähän ja suuttimeen, joka antaa lähes lopullisen muodon tuotteelle. Profiilisuuttimet tehdään virtausteknisesti sopiviksi sulalle polymeerille. Riittävä puristusaine saadaan käyttämällä suuttimen edessä suodatinjärjestelmää. Suodatinjärjestelmän tehtävänä on paineen aikaansaaminen ja tasaaminen. Kalibroinnilla annetaan suuttimesta muotonsa saaneelle tuotteelle tarkat ja lopulliset mitat ottaen huomioon jäähtymisessä tapahtuva kutistuminen. (Kurri ym. 1999, 113-114.)

Kalibrointimenetelmät ovat vetokalibrointi ja yli- tai alipaineen avulla tapahtuva kalibrointi. Putkien kalibrointi tapahtuu yli- tai alipaineella ja profiilien kalibrointi alipaineella. Vetokalibrointia käytettäessä suutin on muotoiltu profiilin muotoiseksi niin tarkasti, että oikea koko saadaan vain vetämällä profiilia nopeammin suuttimesta ulos tullessaan. Suuttimen on oltava noin 10% suurempi kuin tuote. Vetokalibrointia käytetään pääasiassa umpiprofiilien valmistuksessa. Kalibrointilaitteiden yhteydessä on yleensä ensimmäisenä jäähdytys. Jäähtymiseen käytetään vesisuihkua, -altaita tai paineistettuja vesikylpyjä. (Kurri ym. 1999, 114.)

Vetolaite vetää kalibroidun tuotteen tuotannon aikana jäähtymisen lävitse. Vetolaitteina käytetään katapultarivetokoneita. Vetolaitteiden jälkeen ovat katkaisulaitteet ja pakkaus. Tuotantolinjoja ohjataan tietokoneohjatulla automaatiolla. Säätölaitteet mittaavat valmistettavaa tuotetta ja säätävät mittausten perusteella tarvittavia arvoja. Tarvittavan automaation asteesta riippuen tietokone ohjaa esimerkiksi ekstruuderin pyörimisnopeutta, vetolaitteen nopeutta sekä lisäaineiden ja raaka-aineiden annostelua. (Kurri ym. 1999, 115.)



KUVIO 2. Tyypillisiä puumuovikomposiitti-profiileja ekstruusiassa (Strandex)

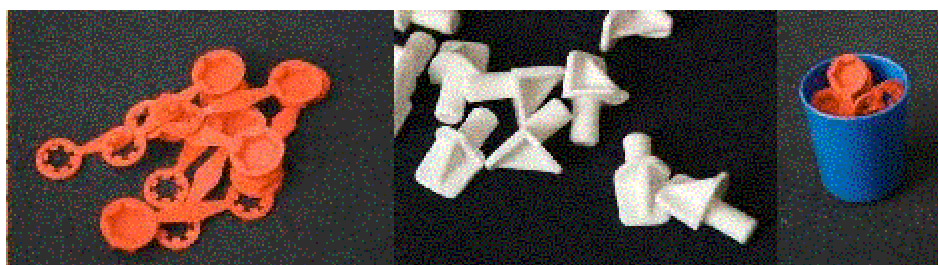
Suomessa on kehitetty ekstruuderit erityisesti puukuitukomposiittien valmistukseen. Conenor Oy:n kehittämän Conex Wood Extruderin etuna on seostaa laitteessa pienemmiksi osiksi jauhaantunut puukuituaine ja muovi tasakoosteiseksi seokseksi. Se myös poistaa haitallisen ylimääräisen kosteuden ja ekstrudoi massan valmiiksi tuotteeksi yhdessä laitteessa. Kuitujen viipymäaika ekstruusioprosessissa on lisäksi lyhyempi. Perinteisiin muoviekstruusiolaitteisiin verrattuna myös sekoitusteho on parempi. Perinteisissä muoviekstruusioprosesseissa käytetään peräkkäin ja rinnakkain useita laitteita lopullisen tuotteen valmistamiseksi. Ylimääräisten käsittely- ja työvaiheiden poistuessa säästetään kustannuksissa, ja myös energiakustannukset alenevat oleellisesti. (Vilkki 2006.)

Ekstruusio soveltuu huonekaluteollisuuden käyttöön, jos valmistettavat tuotteet ovat muodoltaan hyvin yksinkertaisia ja samanlaisia. Vaikeita, monimutkaisia kappaleita tarvittaessa ekstruusiota ei voida käyttää. Erityisesti Conex Wood Extruder-laitetta käyttämällä ekstruusio on kannattava puumuovikomposiitin valmistusmenetelmä huonekaluteollisuuden käytettäväksi. Tälläkin ekstruuderilla muodoltaan erilaisten kappaleiden valmistusmahdollisuudet jäävät kuitenkin suppeiksi. Ekstruusio sopii siis huonekaluteollisuuden valmistusmenetelmäksi tietynmuotoisiin puumuovikomposiitista valmistettaviin kappaleisiin, jolloin yhdenlaisen kappaleen tuotantomäärän olisi todennäköisesti kannattavaa olla suuri.

5.2 Ruiskuvalu eli ruiskupuristus

Ruiskuvalulla valmistetaan monimuotoisia sarjatuotteita, kuten juomakoreja, saaveja, pesuvateja ja erilaisia koteloita. Se on tärkeimpiä kestopuovikappaleiden valmistustekniikoita. Ruiskuvalun käyttö myös kertamuovin työstömenetelmänä on yleistynyt. Kertamuoveja ei voi ruiskuvalaa perinteisillä kestopuoveille tarkoitetuilla ruiskuvalukoneilla. Sen takia kertamuoveja varten on kehitetty omat tekniikat ja koneet. Luonnonkuitukomposiittien valmistuksessa ruiskuvalu on vasta viime vuosina noussut ekstruusion rinnalle yhdeksi valmistusmenetelmäksi. Ruiskuvalu vaatii aina esivalmistetun ja kuivatun komposiittikompoundin sekä muotin, johon materiaali ruiskutetaan. (Koto & Tiisala 2004.)

Perusohjeena voidaan pitää 1 000 kappaletta vähimmäismääränä, jolloin muotti kannattaa valmistaa. Tuotegeometrian on kuitenkin oltava yksinkertainen niin pienellä kappalemäärällä. Ruiskuvalua käytetään tyypillisesti lopputuotteen tuotantomäärän ollessa suuri, 10 000 - 100 000 kappaletta. Ruiskuvalutuotteelle on usein asetettu korkeat esteettiset vaatimukset. Monesti tuote on kokoonpano, joka sisältää runsaasti yhteen liitettäviä osia. Tyypillisesti tuotannossa olevaa tuotetta kehitetään edelleen ja tuotantomäärät kasvavat ennakoitua nopeammin. Ruiskuvalutuote on usein pienikokoinen ja tuotegeometria on vaikea, koska se sisältää esimerkiksi vaikeita kolmiulotteisia muotoja. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 1999, 275.)



KUVIO 3. Ruiskupuristuksen kappaleita (Oy Mariet Plast Ltd)

Ruiskuvalussa lämmitetty sula muovimassa ja kuidut valetaan/ruiskutetaan paineella suljettuun, jäähdytettyyn muottiin. Seos poistetaan vasta, kun se on

muuttunut kiinteäksi. Materiaalin luonnonkuitupitoisuus jää alhaisemmaksi tällä valmistusmenetelmällä. Tavallisesti siinä on noin 30-50% luonnonkuitua. Neileyn (2003) mukaan esimerkiksi Saksassa ruiskuvalulla on kuitenkin saatu valmistettua jopa 85% puukuitua sisältäviä polypropeenituotteita. (Koto & Tiisala 2004.)

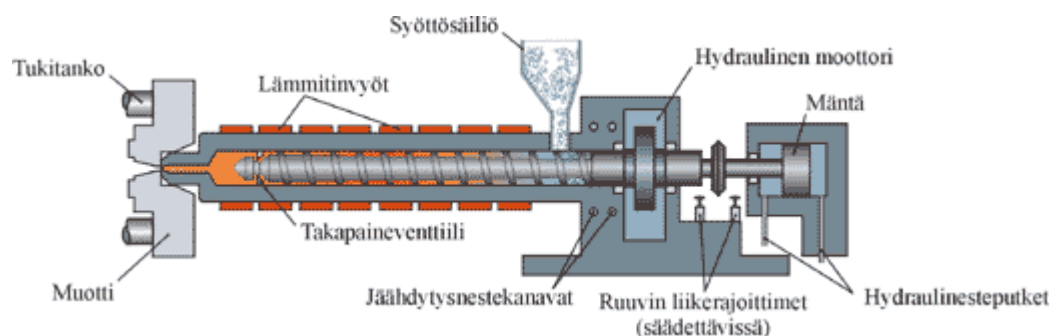
Ruiskuvalukoneen tarkoituksena on toteuttaa muotin avaamiseen ja sulkemiseen tarvittavat liikkeet ja muodostaa riittävä muottipuolikkaiden kiinnipitovoima eli sulkuvoima. Tämän jälkeen tarkoituksena on ruiskuttaa plastisoitu eli viskositeettiltaan ruiskuvalettavaan tilaan saatettu massa muottiin ja plastisoida uusi annos seuraavaa muotin täyttämistä varten. Ruiskuvalukoneiden kehityksen alkuvaiheissa lähes kaikki edellä mainitut vaiheet tehtiin käsikäyttöisesti. Tavallisimmin ruiskuvalukoneesta esitetään neljä toiminnallista osaa, joita kutsutaan yksiköiksi. (Järvelä ym. 1999, 92.)

Sulkuyksikkö on yleensä mekaaninen polvinivelsulkuyksikkö tai täyshydraulinen sulkuyksikkö. Sulkuyksikkö toteuttaa muotin aukaisemisen kappaleen ulostyöntöä varten ja muotin sulkemisen taas ennen seuraavaa massan ruiskutusta. Muovisula ruiskutetaan muottiin suurella paineella. Siksi sulkuvoiman tulee olla niin suuri, että muottipuolikkaat pysyvät riittävän hyvin toisiaan vasten ruiskutuksen ja jälkipaineen aikana. (Järvelä ym. 1999, 94-98.)

Ruiskutusyksikkö on useasti vaakatasossa oleva puristin ja annosteluruuvi, jonka päässä on sulkuventtiili. Sulkuventtiilin tarkoituksena on toimia takaisinvirtausesteenä sulalle muoville. Ruiskutusyksikön päätehtävinä on lämmittää ja plastisoida eli sulattaa muoviraaka-aineet, jotka on syötetty suppilon kautta koneen sylinteriin sekä ruiskuttaa muovisula muottipesään. Päätehtävänä on lisäksi muodostaa jälkipaine, joka vaikuttaa jäähtymisen ja jähmettymisen aikana kappaleeseen kopioiden muotin muodot mahdollisimman tarkoin. Tarvittaessa ruiskutusyksikkö myös siirtyy muottia vasten ja vastaavasti irrottautuu muotista ruiskutusjakson jälkeen. Se muodostaa tarvittaessa voiman, jolla ruiskutusyksikön sylinterin suutin pidetään tiiviisti muotin suutinta vasten. (Järvelä ym. 1999, 100-108.)

Ohjausyksiköllä ohjataan ja säädetään tavallisesti seuraavia ruiskuvaluun liittyviä toimintoja: sylinterilämpötilat, sulan lämpötila, kuumakanavan lämpötila, muotin lämpötila, kierukkaruuvien pyörimisnopeus, ruiskutusnopeus, jälkipaine, pöydän liikkeet ja keernatoiminnot. Keerna on kappaleen sisäpuoliset muodot aikaansaava muotin osa. Nykyaikaiset koneet on varustettu myös erityisillä laaduntarkkailu- tai laadunvarmistusohjelmilla. Laaduntarkkailuohjelmilla voidaan valvoa edellisten jaksojen toteutuneita arvoja. Arvoja ovat esimerkiksi: tyyny, jaksoaika, ruiskutus-aika, paineenvaihtoaika, sylinterilämpötilat takana ja edessä, jäähdytysaika, annosmatka ja hydraulipaine paineenvaihtokohdassa. Laaduntarkkailuohjelmilla on mahdollista myös mitata esimerkiksi raaka-aineelle ominainen virtausluku ja sää-tää prosessia sen mukaan. Tätä voidaan pitää jo laadunvalvontana, koska ruisku-tusparametrit eli ruiskutusnopeus ja jälkipaine vaikuttavat olennaisesti ruiskuvalu-kappaleen laatuun. (Järvelä ym. 1999, 111-112.)

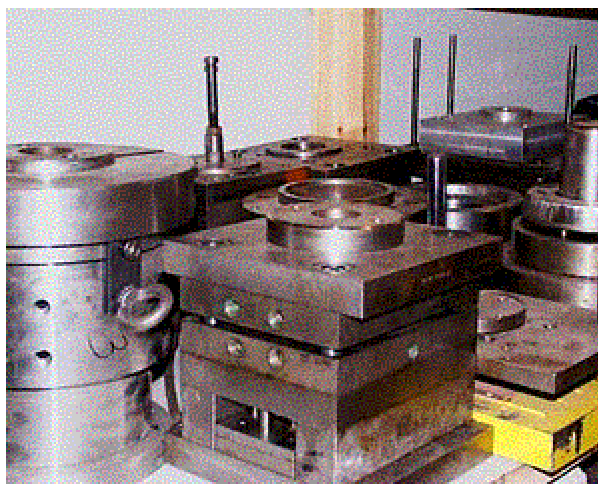
Käyttöyksikkö tavallisimmin tuottaa tarvittavat lineaariliikkeet. Sähkökäyttöisyys on nykyisin yleistynyt varsinkin annostelussa. Myös täyssähköisiä ruiskuvaluko-neita on alettu rakentaa entistä enemmän. Sähköisten koneiden olennaisia etuja sähköhydraulisiin koneisiin verrattuna ovat koneen nopeammat liikkeet, tarkem-mat liikkeiden säädöt, pienempi energian tarve ja alempi melutaso. Täyssähköis-ten koneiden rajoituksia ovat suurten ruiskutusnopeuksien aikaansaamisen ja keernatoimintojen järjestämisen hankaluus ilman hydraulikkaa. Lineaariset liik-keet, kuten ruiskutustapahtuma ja sulkukoneiston liikkeet, ovat varsin taloudellisia tuottaa hydraulikalla. Hydraulikan keskeisenä etuna on, että energiaa voidaan siirtää putkissa ja letkuissa tarvittavaan paikkaan, jolloin kaapeleita, hammastan-koja ja vipuja ei yleensä tarvita. (Järvelä ym. 1999, 108-109.)



KUVIO 4. Ruiskuvalu (Materiaalit ja niiden valinta -virtuaalikurssi)

Ruiskuvalumuotit ovat hyvin yksilöllisiä jo siksi, että ne tehdään jokaista erilaista kappaletta varten erikseen ja viimeistely tapahtuu useimmiten käsityönä. Muottien hinta on korkea verrattuna sarjatyönä tehtyihin koneisiin ja laitteisiin johtuen yksilöllisestä raaka-aineen valinnasta, suunnittelusta ja työvaltaisesta valmistuksesta. Yksinkertaisimmillaan ruiskuvalumuotti muodostuu kahdesta osasta eli kiinteästä muottipuolikkaasta ja liikkuvasta puolikkaasta, jotka on kiinnitetty ruiskuvalukoneen muottipöytiin. Nämä kaksi peruselementtiä, joita kutsutaan myös koiras- ja naarasmuottipuolikkaiksi, kuuluvat jokaiseen ruiskuvalumuottiin. Usein muottien rakenteissa on paljon muitakin elementtejä. (Järvelä ym. 1999, 113.)

Muotin perustehtävinä on toimia massasulan juoksukanavana, antaa ruiskuvalukappaleelle haluttu muoto, jäähdyttää ja jähmettää massasula kiinteään olomuotoon sekä työntää valmis kappale ulos muotista. Pystyäkseen tekemään vaaditut tehtävät muotin täytyy kestää suurta massan painetta kanavissa ja muottipesässä, kestää suuria ruiskuvalukoneen sulkuvoiman aiheuttamia rasituksia, olla helposti avattavissa ruiskuvalukoneen muottipöydän avausliikkeellä ja ohjata muottipuolikkaat tarkasti oikeaan kohtaan toisiaan vasten muotin sulkeutuessa. (Järvelä ym. 1999, 113.)



KUVIO 5. Pieniä ruiskuvalumuotteja (Tampereen Teknillinen Korkeakoulu)

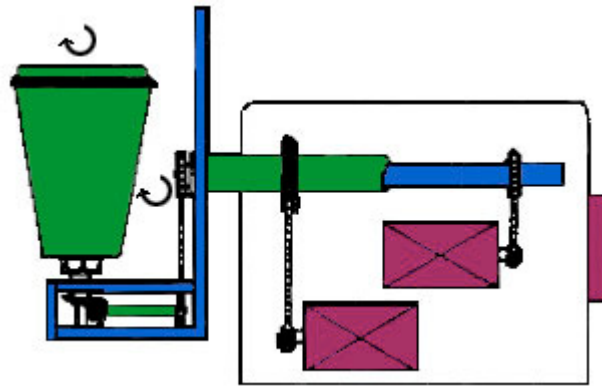
Perusmuotin toiminnalliset osat jakautuvat moniin muotin osiin. Muotin avaamisen ja sulkemisen aikana liikkuvat osat on keskitetty mahdollisimman tarkasti

ohjauselementeillä toisiinsa. Syöttökanavasysteemillä sula massa johdetaan muottiin. Muottipesässä sula massa saa halutun muotonsa. Muottipesien on syytä olla hyvin ohjattuja, koska niiden välinen jakotaso muodostaa muuten porrastuksen, ja sillä on suuri vaikutus ruiskuvalukappaleen laatuun ulkonäöllisesti. Jaksonaika määräytyy merkittävästi muotin kyvystä jäähdyttää sula massa kiinteäksi ja riittävän kovaksi ulostyöntöä varten. Siksi lämmönsäätöjärjestelmä on muoteissa erittäin tärkeä. Kappaleen jähmetyttyä riittävästi muotti avataan ja kappale poistetaan muotista ulostyöntömekanismilla, johon kuuluvat tapit ja levyt. (Järvelä ym. 1999, 114.)

Ruiskuvalulla voidaan tehdä monimutkaisia, erikokoisia ja mittatarkkoja kappaleita. Se on nopea valmistusmenetelmä ja sopii suursarjatuotantoon. Ruiskuvalulaitteet ovat suhteellisen edullisia. Ruiskuvalu soveltuu varsin hyvin huonekaluteollisuuden käytettäväksi puumuovikomposiitin valmistukseen. Se on tällä hetkellä yleisesti ottaen paras puumuovikomposiitin valmistusmenetelmä huonekaluteollisuuden komponentteihin.

5.3 Rotaatiovalu

Rotaatiovalulla valmistetaan esimerkiksi suuria säiliöitä, veneitä, poijuja, kuljetuslaatikoita ja jäteastioita, kuten kompostoreita. Tuotteiden koko on tilavuudeltaan muutamasta sadasta kuutiosenttimetristä 15 000 litraan. Rotaatiovalussa muovijauhe tai muovipasta lämmitetään suljetun muotin sisällä, joka pyörii, kunnes sulanut muovi on peittänyt kaikki muotin seinämät. Tämän jälkeen muotti jäähdytetään, pyörimisliike lopetetaan ja kappale poistetaan muotista. Muotti valmistetaan uuteen sykliin eli uuteen vastaavaan tapahtumasarjaan ja kappale trimmataan. (Muoviteollisuus ry; MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)



KUVIO 6. Rotaatiovalu (Muoviteollisuus ry)

Menetelmään tarvittavaan laitteistoon kuuluvat muottipöytä, muotti, täyttö- ja tyhjennysyksikkö, lämmityskammio ja jäähdytyskammio. Suuret kappaleet laiteetaan muottipöytään yksittäiskappaleina ja pienet useampi kerrallaan. Muottipöytä on vähintään kahden akselin suhteen pyörivä ja saman akselin päässä on yksi tai useampi muotti. Rotaatiovalulaitteisto on melko yksinkertainen verrattuna esimerkiksi ruiskuvalukoneeseen, joka painaa useita tonneja ja käsittää paljon erilaisia toimintakokonaisuuksia. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)



KUVIO 7. Muottipöytä (internet)

Yleisin raaka-aineen lämmitystapa on lämmitys kuumalla ilmalla. Se on puhdas, edullinen ja turvallinen. Lämpötila kuumalla ilmalla lämmitettäessä on 250-450°C. Muut lämmitystavat ovat kaasuliekki, IR-säteilijät ja lämmönsiirtoneste. Suoraa kuumennusta kaasuliekillä käytetään vain erikoistapauksissa. Lämmönsiirtonestettä käytetään lämmitysmenetelmänä kaksikerrosmuoteissa, ja lämpötila nousee lämmityksessä 330°C:een asti. Jäähdytys tapahtuu ilmalla, vesisuihkulla, nopealla jäähdytyksellä tai hitaalla jäähdytyksellä. Vesisuihku on nopea ja taloudellinen jäähdytysmenetelmä. Nopealla jäähdytyksellä tapahtuu kappaleiden vääntyilyä, mikä myös rajoittaa kiteen kasvua. Rajoittuneesta kiteen kasvusta seuraa pieni kidekoko, joka vaikuttaa mittapysyvyyteen, fysikaalisiin ominaisuuksiin ja iskunkestävyyteen. Hitaalla jäähdytyksellä kappaleisiin syntyy pientä vääristymää. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)

Rotaatiovalun tärkein yksikkö on muotti. Se on hallitusti lämmitettävä ja jäähdytettävä. Muotti on temperointitekniikasta riippuen yksi- tai kaksikerrosmuotti. Temperointi tarkoittaa materiaalin pitämistä vakio- lämpötilassa jäähdyttämällä tai lämmittämällä. Kaksikerrosmuotissa kerrosten välissä virtaa väliaine. Muotti on uuniin mennessä kylmä. Muotit valmistetaan alumiinista, teräksestä, nikkelistä, lasikuitulujitetusta epoksista tai pellistä. Nikkeliä käyttämällä muottiin saadaan elektronisesti työstämällä hyvä pinnanlaatu. Koemuotit tehdään lasikuitulujitetusta epoksista, johon käytetään huoneenlämmössä kovettuvia polyestereitä ja epokseja, jolloin muotit eivät kestä valulämpötiloja pitkiä aikoja. Pellistä valmistetaan protomallit ja suurten kappaleiden muotit. Rotaatiovalun muotit valmistetaan yleensä muutamassa viikossa. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)

Rotaatiovalumuotti on edullisempi kuin esimerkiksi ruiskuvalumuotti. Suhteellisen edullisten muottien ansiosta menetelmä soveltuu piensarjatuotantoon ja massatuotantoon. Rotaatiovalulla pystytään tekemään muun muassa kaksiseinämä-rakenteita ja täysin saumattomia rakenteita, joiden seinämävahvuutta voidaan tarvittaessa muunnella. Seinämäpaksuus saadaan tasaiseksi, ja seinämä voidaan tehdä jopa 10 millimetrin paksuiseksi. Rotaatiovalulla voidaan tehdä erilaisia pintakuvioita ja värejä. Menetelmällä voidaan valmistaa suuria jännitysvapaita kappaleita, ja laiteinvestoinnit ovat pienemmät kuin muissa, kilpailevissa menetelmissä.

Lämmitys ja jäähdytys tapahtuvat samassa työasemassa, joten tämä on hidas prosessi. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)

Täytön ja tyhjennyksen automatisointi on taloudellista vain suurilla sarjoilla, jolloin valmistetaan eri muotoiset ja kokoiset kappaleet yhdellä kertaa. Täytön automatisointiin on olemassa teknologia. Rotaatiovalulla tehdyt tuotteet eivät voi olla teräväsärmäisiä, vastakkaisten seinämien täytyy olla tietyn etäisyyden päässä toisistaan eikä tuotteessa saa olla kovin kapeita ja syviä syvennyksiä tai ulkonemia. Pienempien kappaleiden valmistukseen on kehitetty laitteita, joissa on kolmen tai neljän varren päähän sijoitetut muotit tai muottiryhmät. Kahteen suuntaan pyörivät muotit tai muottiryhmät kulkevat ympyränmuotoista rataa kuumennusuuniin, ilmaan, jäähdytyskammioon ja purku- ja täyttövyöhykkeeseen. Putkien tuotantoon käytetään keskipakovalua, jossa putkimainen muotti pyörii vain yhdessä suunnassa vaakasuoran akselinsa ympäri. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)

Rotaatiovalu ei ole kovin käyttökelpoinen menetelmä huonekaluteollisuuteen, koska tuotekoko on yleisesti liian suuri huonekalukomponentteihin. Rotaatiovalulla voidaan kuitenkin tarvittaessa valmistaa myös pienempiä kappaleita. Kappaleista ei saada muodoltakaan useisiin kohteisiin tarpeeksi monimutkaisia, vaikka koon puolesta joitakin sovelluskohteita löytyisikin. Rotaatiovalu on melko hidas valmistusmenetelmä, sen tuotantocykli on tavallisesti 5-15 minuuttia. Rotaatiovalua ei siis kannata valita puumuovikomposiittien valmistusmenetelmäksi huonekaluteollisuuden komponentteja varten.

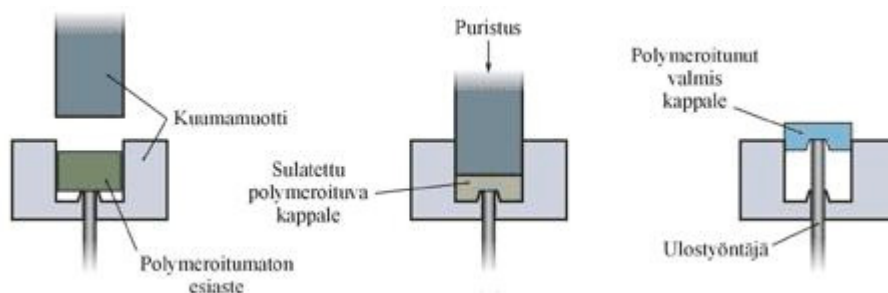
5.4 Ahtopuristus

Ahtopuristus eli puristusmuovaus on vanhin ja yleisin menetelmä kertamuovituotteiden valmistuksessa ja myös vanhin puumuovikomposiittien valmistusmenetelmänä. Ahtopuristuksessa raaka-aine puristetaan kahden muottipuoliskon välissä kuumennuksella ja paineella muotin mukaiseen eli valmistettavan tuotteen muotoon. Menetelmää käytetään sekä kerta- että kestopuoveille. Valmistettavat

kappaleet ovat lähinnä pieniä ja keskisuuria sarjakoon ollessa keskikokoinen tai suuri. Ahtopuristuksen edut ruiskuvaluun verrattuna ovat alhaisempi orientoituminen ja vähäisemmät sisäiset jännitykset. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)

Kertamuovimuotit ovat yleensä lämmitettäviä tuotteen kovettumisen nopeuttamiseksi. Käytettäessä raaka-aineena kestopuovia esikuumennus tapahtuu muotin ulkopuolella, jotta raaka-aine sulaisi ja pysyisi juoksevana riittävän kauan. Jäähdytyksellä materiaali saadaan jähmettymään ja valmistusta nopeutettua. Nykyaikaisissa prosesseissa määrällä painoiset tabletit tai mitatut jauhe-erät esikuumennetaan ennen puristusvaihetta lämpökaapissa, suurtaajuus-esikuumennuksella, infrapunasäteilyllä tai mikroaalloilla. Tehokas tapa on myös hartsin käsittely ekstruderin kaltaisessa esiplastisointilaitteessa, johon raaka-aine syötetään jauheena tai rakeina. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)

Puristimessa muottipuoliskot on kiinnitetty kahteen tukilevyyn, joista toinen on kiinteä ja toinen liikkuu männän avulla. Hydraulisesti toimivan männän puristusliike voi tapahtua alas- tai ylöspäin. Muotit ovat terästä, ja ne on varustettu poruksilla ja ulostyöntäjillä lämmitystä varten. Lämmitys tapahtuu höyryn, paineveden, öljyn tai sähkön avulla. Sähkö on osoittautunut varsin käyttökelpoiseksi uusissa puoliautomaattisissa ja automaattisissa puristimissa. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)



KUVIO 8. Ahtopuristus (Materiaalit ja niiden valinta -virtuaalikurssi)

Muotinpuoliskojen sulkeutumistavan perusteella muotit voidaan jakaa tasopurse-, nousupurse- ja sivupursemuotteihin. Purse on jakotason, keernojen tai

ulostyöntömekanismin välyksiin virrannut materiaali. Jakotaso on taso, jonka kohdalta ruiskuvalumuotti avautuu. Ulostyöntömekanismilla tarkoitetaan mekani-smia, jonka avulla kappale poistetaan muotista. Tasopursemuotti on edullisin ja soveltuu monien erilaisten muovi- ja kumikappaleiden valmistukseen. Tasopur-semuotilla reaktiokaasut pääsevät poistumaan saumakohdasta, ja samalla pieni määrä pehmeää hartsia muodostaa pursetta saumaan. Nousupursemuotti on tiivis ja hartsia pysyy muottitilassa. Sivupursemuottia on käytetty eniten muovien puris-tuksessa. Sivupursemuottia käytettäessä puristusvaiheen alussa muodostuu pur-setta, mutta sen jälkeen muotti on tiivis. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)

Tyypillinen puristusaika pienemmillä kappaleilla on 1-2 minuuttia. Suuret kappaleet vaativat useiden tuntien, jopa vuorokausien kovetusajan. Tarvittavien paineiden aikaansaamiseksi kookkaita kappaleita valmistettaessa männän kuormitusten on oltava erittäin suuria. Standardipuristimien kuormitukset ulottuvat 25 tonnista useisiin tuhansiin tonneihin. Suurimmat puristimet ovat jykeviä, kahden tai kolmen kerroksen korkuisia koneita. Varsinkin pienempien kappaleiden tuotantonopeus on noussut huomattavasti automatisoinnin ansiosta. Yhdelle muottilevyllä on asetettu 8-12 muottia. Niiden täyttö, puristus ja aukaisu sekä kappaleiden irrotus ja jälkikäsittely eli purseiden poisto tapahtuvat automaattisesti. (MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut.)

Ahtopuristus on hieman vanhentunut menetelmä puumuovikomposiitin valmistukseen. Ahtopuristusta voidaan pitää eräänlaisena ruiskupuristuksen kehitysvaiheena, joten ruiskupuristus on ahtopuristusta nykyaikaisempi ja tehokkaampi puumuovikomposiittien valmistusmenetelmä huonekaluteollisuuteen. Ahtopuristus ei siis ole kannattava valinta puumuovikomposiitista valmistettavien huonekaluteollisuuden komponenttien valmistusmenetelmäksi.

6 ESIMERKKEJÄ PUUMUOVIKOMPOSIITIN VALMISTUSPROSESSIKSI

Tehdassuunnitteluun tarvittavat koneet ja raaka-aineet valitaan huonekaluteollisuuden todennäköisimmin kannattavien puumuovikomposiitin valmistusmenetelmien eli ekstruusion ja ruiskuvalun laite- ja raaka-ainevaihtoehtoista. Vanhempija valmistusmenetelmiä ei huomioida tehdassuunnitteluvaiheessa ollenkaan, koska ne eivät ole tarpeeksi kannattavia vaihtoehtoja nykyaikaisen huonekaluteollisuuden sovellettavaksi. Layout tehdään sekä ekstruusio- että ruiskuvalutuotantoon erikseen. Näin voidaan havaita eroja koneissa ja niiden määrässä sekä tilan tarpeessa. Kustannusarvioissa saadaan vertailua hinnoissa ja samalla käsitystä, kannattaako puumuovikomposiitin valmistus välttämättä huonekaluteollisuudessa.

6.1 Konevalinnat

Koneet valitaan ekstruusioon ja ruiskuvaluun käytettävistä konevaihtoehtoista. Ekstruusiota käytettäessä puumuovikomposiitin valmistukseen on todennäköisesti kannattavaa valita Conenor Oy:n kehittämät ja käyttämät laitteet. Ruiskuvaluun Kareline Oy Ltd:n valmistamat komposiittiraaka-aineet ovat sopivat. Karelinen komposiiteilla ruiskuvalu onnistuu millä tahansa olemassa olevilla ruiskuvalukoneilla ja ruiskuvaluun käytettävillä muoteilla. Muut tarvittavat oheislaitteet valitaan käyttökelpoisuuden mukaan tai sen mukaan, mistä on saatu hintatietoa.

6.1.1 Koneet ekstruusioon

Conenor Oy:n laitteista täytyy tehdä valinta yksiruuvi- ja kaksiruuviekstruuderin välillä. Suomessa kehitetty Conex Wood Extruder-linja on kompakti. CWE-laite ei tarvitse esivalmistettua WPC-kompoundia. Se on alalla perinteisillä suulakepuristimilla yleisesti käytössä oleva, mutta kallis raaka-aine. CWE-teknologialla tuotanto on mahdollista käynnistää kannattavasti jo pienelläkin laajuudella. Käyttämällä raaka-aineena yleisesti saatavilla olevia halpoja tai ilmaisia esimerkiksi

omasta puuteollisuuden tuotannosta saatuja kuituraaka-aineita WPC-tuotannon voi aloittaa taloudellisesti kannattavalta pohjalta. (Conenor Oy.)



KUVIO 9. CWE 500-2-ekstruusiolaite (Conenor Oy)

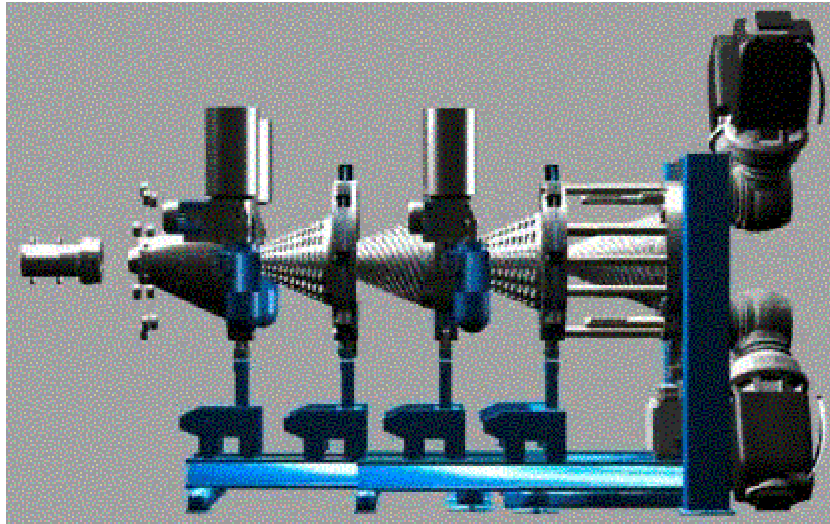
Tuotantokäyttöön kehitetty CWE 500-2 on kaksiroottorilaite, kuten lyhenteen viimeinen numero ilmoittaa. Se tuottaa suoraan monikerrostuotteita ilman jälkipinnoituksia. Jälkipinnoituksiakin voi tehdä tarvittaessa. Conenorin teknologialla ei ole tällä alueella lainkaan kilpailijoita. Eturoottorista tuleva puumuovikomposiittimassa ympäröi takaroottorilta tulevan massan koneen sisällä putkimaiseksi kaksikerrosvirtaukseksi. Se muotoillaan suuttimella haluttuun lopputuotteen muotoon, esimerkiksi profiiliksi tai levyksi. Levy muotoutuu putkesta levittämällä putkivirtaus suuttimessa haluttuun leveyteen ja tämän jälkeen litistämällä ylä- ja alapinnat yhteen. Menetelmällä levyyn saadaan ristikkäiskuituorientaatio, joka antaa levyille yhtenevät pitkittäis- ja poikittaisominaisuudet. Monikerroksellisuus antaa tuotesuunnitteluun paljon lisämahdollisuuksia. Prosessiohjaus on toteutettu Siemens S7-logiikalla. (Conenor Oy.)

CWE-laitteen suuttimet erilaisille tuoteprofiileille ovat rakenteeltaan yksinkertaisempia ja halvempia kuin perinteisten yksi- ja kaksiruuviekstrudereiden suuttimet. Ne eivät sisällä massanjakajien siivekkeitä tai spiraaliuria, jotka aiheuttavat lopputuotteen lujuuden heikkenemistä syntyvien WPC-massan yhtymäsaumojen vuoksi. Tämä on erityisen merkittävä etu erityisesti korkeita puupitoisuuksia käytettäessä, jolloin lopputuote hajoaa helposti juuri yhtymäsauman kohdalta. CWE-laitteella pystytään valmistamaan WPC-tuotteet hyvälaatuisina korkeallakin, jopa yli 80 % paino-osuudella. Laite myös poistaa kuiduissa olevan kosteuden, johon perinteiset suulakepuristimet eivät pysty. (Conenor Oy.)

Korkealla puupitoisuudella saadaan alhaisempi kustannusrakenne. Sahanpurua on helposti saatavilla edullisesti tai jopa ilmaiseksi, mutta muovin ostohinta on kallis verrattuna puuhun. Korkealla puupitoisuudella saadaan aikaan myös tärkeä esteettinen tekijä eli lopputuotteen puumateriaalia muistuttava ulkonäkö. CWE-menetelmällä valmistetun WPC-tuotteen vahvuutena on myös sen tasalaatuisuus ja lujuus. Vaikeasti prosessoitavien, heikkolaatuisten raaka-aineiden käytöstä ja korkeasta kuitupitoisuudesta huolimatta lopputuote on kuitenkin tasalaatuista. (Conenor Oy.)

Erilaisten jäte- ja sivuvirtaraaka-aineiden tai vaikeaksi tiedettyjen ilmaismateriaalien käytössä mukana voi olla usein niihin kuulumatonta materiaalia. Vieraan materiaalien joutuessa suulakepuristimen sisälle laitteen täytyy pysähtyä automaattisesti ilman rikkoontumisia, ja kone on pystyttävä avaamaan ja puhdistamaan nopeasti ja helposti. Kartiomaisen muotonsa ja teleskooppikiinnityksensä ansiosta Conex Wood Extruder-laitteen huolto on helppoa ja häiriöistä johtuvat pysähdykset tuotannossa ovat minimaaliset. (Conenor Oy.)

Conex Wood Extruder-laitteessa on siis kaksi kartioroottoria, joissa on reiät ja planeettavaihte. Kolme kiinteätä lämpösäädettyä staattoria, joissa on urageometria, ovat roottorin molemmin puolin. Kumpaakin roottoria syötetään erikseen omilla syöttöruuveilla. Molempien roottorien kierrosnopeutta ohjataan erikseen. Käyttömoottorit ovat takalevyssä. Laitteessa on teleskooppijalusta. (Conenor Oy.)



KUVIO 10. 2-roottori Conex Wood Extruder (Conenor Oy)

WPC-materiaali syötetään takaroottorille ja eturoottorille. Vapautunut höyry imeetään molemmilta roottoreilta. Eturoottorilta saapuva sula massa ympäröi takaroottorilta saapuvan sulan massan, ja ne muodostavat yhdessä tuurnan päällä putkimaisen kaksikerrosvirtauksen. Tämän jälkeen yksinkertainen suutin muodostaa tuoteprofiilin. Erikoisominaisuutena CWE-laitteella on WPC-päällystys. Menetelmässä profiili ajetaan koneen läpi. Päällystyskerroksia on yhtä monta kuin roottoreita eli esimerkiksi 2*4. WPC-tuotteen sisäpinnan jäähdytys toteutetaan jäähdytysöljykierrolla koneen takaa tuurnan sisällä. Jäähdytysöljy jäähdyttää tuurnan kärkeen kiinnitetyn suutinosan. (Conenor Oy.)

Ekstruusiotuotannosta jää Conenorin CWE-laitetta käyttämällä siis pois useita laitteita, mitä tavallisesti ekstruusioon tarvittaisiin. Välttämätön oheislaite on suulakepuristimen jälkeen saha, jolla katkaistaan jatkuva tuote määrämittaan. Sen jälkeen kaikki on valinnaista riippuen tehdaslogistiikasta ja mahdollisesta jatkojalostuksesta. (Conenor Oy.)

Sahaksi hankitaan esimerkiksi katkaisusaha Stromab PS 45/F tai vastaavanlainen katkaisusaha. Stromab PS 45/F sahassa on kiinteä sahausyksikkö ja rullapöytä (Tekma Oy). Moottorin teho on 4 kW ja terän nopeus 2800 kierrosta/minuutti. Terän halkaisija on 450 mm ja karan halkaisija 30 mm. Sahauskorkeus on 130 mm

ja sahauspituus 530 mm. Pöydät ovat 2,5 m + 2,5 m ja työtason leveys 510 mm. Sahan nettopaino eli paino rullapöydän kanssa on n. 360 kg. (Tekma Oy.)

6.1.2 Koneet ruiskuvaluun

Ruiskuvaluun voidaan valita koneet Kareline Oy Ltd:n valmistamien raaka-aineiden käyttöön parhaiten soveltuvista laitteista. Huonekaluteollisuudessa ekstruusioon käyttökelpoinen valmistusmenetelmä on Conenor Oy:n kehittämä ekstruusiomenetelmä, joten Karelinen valmistamat raaka-aineet huomioidaan vain ruiskuvalulaitteiden valinnassa. Kareline Oy Ltd valmistaa ruiskuvalettavia eli ruiskupuristettavia ja myös ekstrudoitavia luonnonkuitulujitettuja kestopuovikomposiitteja. Yrityksen tuote on siis muovigranulaatti eli muovirae. Se valmistetaan kompaunderilla tai kompaundoivalla ekstruuderilla puristamalla sulaa puovia tai muovikomposiittimateriaalia reikälevyn läpi ja katkaisemalla syntyvä nauha sopivan mittaisiksi pätkiksi.

Karelinen komposiiteilla ruiskuvalu onnistuu millä tahansa olemassa olevalla ruiskuvalukoneella ja kaikkiin olemassa oleviin ruiskuvalumuotteihin. Siksi Karelinen materiaalin käyttöönotossa ei ole suurta kynnystä verrattuna muovin valmistukseen, koska ruiskuvalukoneisiin ei tarvitse tehdä muutoksia. Karelinen komposiiteille käytettävät ruiskuvalumuotit ovat siis täysin samanlaisia kuin normaaleille kestopuoveille. (Kareline Oy Ltd.) Koneeksi voidaan valita siis perinteinen ruiskuvalukone ja muoteiksi tavalliset ruiskuvalumuotit. Tuotantoon tarvittavat muut laitteet ovat samat kuin normaaliin muovituotteiden ruiskuvalutuotantoon tarvittavat laitteet.

Ruiskuvalukoneet luokitellaan yleensä sulkuvoiman, ruiskutuspaineen tai ruuvikoon mukaan. Tavanomaisille ruiskuvalukoneille alueet ovat yleisesti: sulkuvoima 200-100 000 kN, ruiskutuspaine 120-250 MPa eli 1 200-2 500 bar, ruuvin halkaisija 18-120 mm. (Järvelä ym. 1999, 93.) Karelinen raaka-aineen ruiskuvaluprosessoinnissa materiaali on aina kuivattava ennen ruiskuvalua kuivailmakuivurissa, jossa se pidetään +100°C / 4h tai +80°C / 10h. Koneen lämpötilaprofiili on oltava

+200 / 200 / 195 / 190 / 180°C. Ensimmäinen lämpötila +200°C tarkoittaa suuttimen lämpötilaa ja viimeinen lämpötila +180°C syötön lämpötilaa. Koneelta edellytetään suurta ruiskutusnopeutta ja ruiskutuspaineen tulisi olla vähemmän kuin 100 MPa eli 1000 bar ja muotin lämpötilan 50°C...70°C. Ruiskuvalukoneessa on oltava riittävän suuri suutin, suositus on yli 4 mm ja muotissa on oltava riittävän suuria virtauskanavia. (Kareline Oy Ltd 2006.)

Ruiskuvalukoneeksi hankitaan esimerkiksi Negri Bossi Elma VE 160 sähkökone, koska sen kapasiteetti pitäisi olla tarpeeksi suuri, ja sähkökoneella tuotantonopeus on tavallisesti suurempi kuin hydraulikoneella. Ruuvien halkaisija on 52 mm. Maksimi iskunpaino on 435 g. Koneen mitat ovat kokonaisuudessaan 5 880 mm*1 420 mm* 2 170 mm. Koneen paino on 7 000 kg. (Negri Bossi.)



KUVIO 11. Ruiskuvalukone (Negri Bossi)

Robotiksi eli kappaleiden siirtelyyn voidaan valita 3-akselinen WEMO 8-5ES portaalirobotti koneen päälle (Oy Eko-Form Ab). Robotin maksimi kappaleen käsittelypaino on 5 kg (Wemo). Kyseistä robottia voidaan siis käyttää enintään viiden kg:n painoisten kappaleiden siirtelyyn. Robotille varattava tilakoko maksimiliikkuvuus huomioiden on noin 4,5 m*1,5 m* 1,5 m (Wemo).



KUVIO 12. Wemo 8-5-robotti (Wemo)

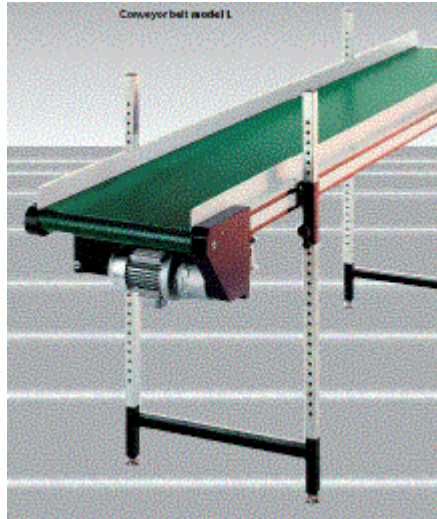
Kuivailmakuivuriksi valitaan esimerkiksi Moretto-kuivailmakuivuri. Sen suppilo on TC200P, jonka tilavuus on 200 dm³. Lämmitysyksikkönä on EH5A90, jonka lämmitysteho on 5,3 kW. Kokonaisuuteen kuuluu myös kehikko pyörillä CMS200 ja imukappale suuttimen alaosaan AV1F40. (Oy Eko-Form Ab.)



KUVIO 13. Moretto-kuivailmakuivuri (Moretto)

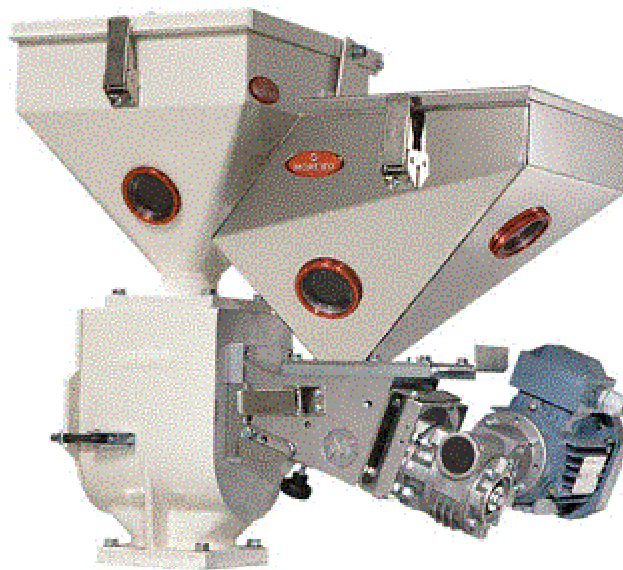
Tuotantoon tarvitaan myös raaka-ainemurit kuivurille ja ruiskuvalukoneelle. Hankitaan siis esimerkiksi kaksi F5F40 imuria ja kaksi TF 46m imuletkaa (Oy Eko-Form Ab).

Hihnakuuljetin voisi olla Crizaf suoramalli koneen vierelle L3000*500 (Oy Eko-Form Ab). Luvut kertovat pituuden 3 000 mm ja leveyden 500 mm.



KUVIO 14. Crizaf-hihnakuuljetin (Crizaf)

Hankittava väriannostelija on esimerkiksi Moretto DVM10.



KUVIO 15. Moretto-väriannostelija (Moretto)

Muotinlämmittimeksi voidaan hankkia esimerkiksi Greenbox TB-M-6. Sen lämmitysteho on 6 kW, väliaine vesi ja maksimi lämpötila +90°C. (Greenbox.)



KUVIO 16. Muotinlämmitin Greenbox TB-M-6 (Greenbox)

6.2 Raaka-aineet

Raaka-aineiden valinnassa on huomioitava huonekaluteollisuuden erityisvaatimukset. Raaka-aineet ekstruusioon valitaan Conenor Oy:n käyttämien CWE-laitteiden raaka-ainetarpeen mukaan. Ruiskuvaluun valitaan Kareline Oy Ltd:n valmistamat raaka-aineet, koska ne ovat tuotannon kannalta sopivat. Ruiskuvalu-tuotanto tehostuu nopeutuneen jaksonajan seurauksena, muottisuunnittelu yksinkertaistuu materiaalin pienten kutistumien seurauksena kokonaiskutistumien ollessa välillä 0,1% - 0,5% ja lisäksi ruiskuvalukappaleiden tekninen laatu paranee (Kareline Oy Ltd).

Karelinen raaka-aineet ovat monessa mielessä varsin sopivat ruiskuvaluun käytettävät raaka-aineet myös puusepän vaatimukset huomioiden. Siksi edellytyksenä on, että käytettävät raaka-aineet olisivat Karelinelta hankittuja tai vastaavanlaisia. Taulukossa 1 vertaillaan joitain huonekaluteollisuuden erityisvaatimuksia ja muita yleisiä ominaisuuksia Karelinen materiaalin, tavallisen WPC:n ja massiivipuun kesken. Ensimmäiset kolme materiaalia ovat Karelinen raaka-aineita.

TAULUKKO 1. Eri raaka-aineiden vertailua

ominaisuudet ja mahdollisuudet eri raaka-aineille					
erinomainen=5 hyvä=4 kohtalainen=3 heikko=1 ei mahdollisuutta=0					
ominaisuudet ja mahdollisuudet	materiaali				massiivipuu, pehmeät puulajit
	PPMS	PPMS EC	ABMS	WPC	
jäykkyys	4	4	5	4	5
lujuus	4	3	5	3	5
pinnan kovuus	4	4	4	3	1
jatkuvan käytön käyttölämpötila-alue	4	4	4	3	5
massiiviset valetut osat ja tuotteet	5	5	5	3	0
mekaaninen työstö	4	4	4	4	3
pinnan viimeistely ja käsittely	4	4	5	3	4
muottien kuluminen	4	4	4	3	0
luonnollinen ulkonäkö	4	5	5	4	5
ympäristöystävällisyys yleisesti	4	4	4	4	5

Karelinen raaka-aineilla on erinomaisia ominaisuuksia erityisesti verrattuna normaaliin WPC-materiaaliin eli puumuovikomposiittimateriaaliin. Pehmeisiin puulajeihin kuuluvat esimerkiksi koivu ja mänty, jotka ovat Suomessa keskeisiä huonekaluteollisuuden komponenteissa käytettyjä puumateriaaleja. Pehmeiden puulajien useat ominaisuudet eivät ole huomattavasti parempia verrattuna Karelinen materiaaleihin. Mekaanisessa työstössä Karelinen raaka-aineet ja WPC ovat jopa parempia kuin massiivipuu. Karelinen raaka-ainetta on mahdollista käyttää myös suulakepuristuksessa. Ottaen huomioon muun raaka-aineen edullisuuden käytettäessä CWE-ekstruuderia Karelinen raaka-aine on melko kallista, vaikka sillä onkin vahvuutensa.

6.2.1 Raaka-aineet ekstruusioon

Ekstruusioon valitaan raaka-aineet Conenor Oy:n käyttämiin laitteisiin soveltuvista raaka-aineista. Vaihtoehtoja on useita, joten ne määritellään ja niistä pyritään valitsemaan kaikkein kannattavin vaihtoehto. Raaka-aineesta riippuen täytyy ottaa huomioon myös käsittelykustannukset, kuten kuivaus, kuljetus jne. Muovin

valinnassa on oleellinen ero neitseellisen kestopuuvon ja kierrätetyn kestopuuvon välillä. Neitseellisen kestopuuvon kohdalla voidaan olla varma raaka-aineen puhtaudesta ja oikeasta koostumuksesta. Kierrätetty kestopuuvon saattaa sisältää epäpuhtauksia ja haluttu koostumus on tarkistettava huolellisesti. Toisaalta kierrätettyä kestopuuvon on kannattavampi käyttää sellaisten kappaleiden valmistukseen, joissa koostumuksella ei ole niin merkitystä.

Puukuituna voidaan käyttää teollisesti tuotettua kuivaa puukuitua, polttopellettiä tai raakaa sahanpurua. CWE-laitetta käytettäessä on edullista käyttää raakaa sahanpurua etenkin, jos sitä saadaan oman huonekalutehtaan tuotannosta. Näin kuljetuskustannukset ja muut hankkimiskustannukset jäävät hyvin vähäisiksi. Karelinen raaka-ainetta ei todennäköisimmin kannata käyttää Conenor Oy:n CWE-laitteella, koska laitteen erikoisominaisuudet verrattuna tavallisiin ekstruudereihin vähentävät Karelinen raaka-aineesta saatua hyötyä.

6.2.2 Raaka-aineet ruiskuvaluun

Kareline Oy Ltd:n valmistama raaka-aine on luonnonkuitukomposiitti, joka koostuu muovimatriisista ja valkaistusta, puhtaasta havuselluloosasta. Muovimatriisina käytetään ympäristöystävällisiä kestopuuvon. Raaka-aine mahdollistaa joissain tapauksissa jopa tavallista halvempien muottiratkaisujen käytön kuin perinteisiä puuvon käyttäessä. Komposiitin luontainen imuttomuus ja erinomainen mittatarkkuus mahdollistavat luonnollisten muottien käytön. Kappaleet voidaan tarvittaessa valmistaa massiivisina, eikä keinoitekoisia kevennyksiä tai riparakenteita tarvita. Ei siis tarvitse rakentaa monimutkaisia muotteja, joissa on esimerkiksi kalliita liikkuvia keernoja. (Kareline Oy Ltd.) Keerna on kappaleen sisäpuoliset muodot aikaansaava muotin osa. Pienehköt sarjakoot eivät siis enää rajoita ruiskuvaluosien käyttöä kyseisissä tuotteissa.

Muilla puumuovikomposiiteilla ruiskuvalu on hyvin hankalaa. Perinteiseen tapaan valmistetut olemassa olevat muotit eivät sovellu kunnolla muihin kuin Karelinen puumuovikomposiitteihin. Myös muottien likaantuminen tai pilaantuminen

pitkissä sarjoissa on varsin yleistä. Siksi markkinoilla ei ole paljon muista komposiittiraaka-aineista ruiskuvalettuja tuotteita. Huonekaluteollisuudessa on jonkin verran erittäin karkealaatuisia ruiskupuristettuja osia pääasiassa sovelluksissa, joissa ne eivät ole näkyvissä. Karelinen raaka-aineilla ruiskuvalutuotanto tehostuu kappaleiden irrotessa helposti muotista ja jaksonajan ollessa totuttua lyhyempi. Tuotteista voidaan tarvittaessa tehdä hyvin paksu- ja ohutseinämäisiä ja seinämänvahvuus voi vaihdella paljon samassa ruiskuvalukappaleessa. (Kareline Oy Ltd.)

Kareline valmistaa luonnonkuitukomposiitteja, joissa muovimatriisiksi on vaihtoehtona useita eri kestopuoveja. Niistä on valittava huonekaluteollisuuden käyttöön sopivimmat muovit ominaisuuksien mukaan. Kareline Oy Ltd:n mukaan parhaiten huonekaluteollisuuden komponentteihin, kuten istuinosiin, runkoihin ja liitoskomponentteihin sopivat Kareline PPMS, PPMS EC ja ABMS. Ensimmäiset kaksi kirjainta tarkoittaa komposiitissa käytettyä muovimatriisia. Komposiittien loppukirjaimet MS on Karelinen käyttämä kirjainyhdistelmä, joka on lyhenne komposiitissa käytetystä kuidusta eli mäntyselluloosasta. MS on siis mäntyselluloosa. EC on Karelinen käyttämä oma merkintä. Se tarkoittaa kyseisen materiaalin tuottavan varsin mielenkiintoisen ulkoasun ruiskupuristustuotteisiin. (Kareline Oy Ltd.)

Karelinen PPMS-komposiiteissa matriisimuovina on homopolypropeeni. Polypropeeni eli PP on käyttömäärältään kolmanneksi eniten käytetty muovi. Polypropeenin erilaisia lajikkeita on saatavissa kaikkiin mahdollisiin työstötekniikoihin räätälöitynä ja myös varsin moniin käyttösovelluksiin. Ruiskuvalu on polypropeenin yleisin työstömenetelmä. Polypropeenilla on hyvä kemiallinen kestävyys. Se on puhtaana täysin myrkytön. UV-valoa vastaan sen polymeerien ominaisuudet on stabiloitava eli vakautettava. Polypropeeni on vettä kevyempää. Sillä on kohtuulliset mekaaniset ominaisuudet ja pienehkö muottikutistuma. Liimaus ja pintakäsittely on vaikeaa. Sitä voidaan työstää kaikilla tunnetuilla kestopuovien valmistusmenetelmillä. Polypropeenin ominaisuudet säilyvät vedessä, ja sillä on helppo muokattavuus sekä hyvä jännityssäröilyn kestävyys. (Järvelä ym. 1999, 275.)

Karelinen ABMS-komposiitit pohjautuvat ABS-muovimatriisiin. ABS eli akryylinitriilibutadieenistyreeni on yksi eniten käytettyjä teknisiä muoveja erilaisissa käyttöesineissä ja laitteissa. ABS-muovia on käytetty hyvin monissa muoviseoksissa, joissa on parannettu ABS:n käyttöominaisuuksia. ABS on akryylinitriilin, butadieenin ja styreenin kopolymeeri. Lähtökomponenttien seossuhteiden avulla ominaisuuksia voidaan vaihdella laajalla alueella. ABS on helppo sulatyöstää, jatkojalostaa liimaamalla ja hitsaamalla sekä pinnoittaa elektrolyyttisellä pinnoituksella. Sillä on hyvä lujuus, jäykkyys ja iskusitkeys, pienehkö kutistuma ja vääntyilemättömyys. Sitä on saatavissa monina eri lajikkeina esimerkiksi palo-ominaisuuksia korostaen. ABS-muovilla on alhainen maksimikäyttölämpötila ja keskinertainen UV-säteilyn kestävyys. Sillä on heikko väsymislujuus, eikä se kestä juurikaan liuottimia. (Järvelä ym. 1999, 275.) Kareline ABMS sopii joustavuutta, iskunkestävyyttä ja hyvää pinnanlaatua vaativiin kohteisiin, eli se sopii huonekaluihinkin. Tarvittaessa ABMS-komposiittituotteelle saadaan varsin elävä väritys ja pintastruktuuri. (Kareline Oy Ltd.)

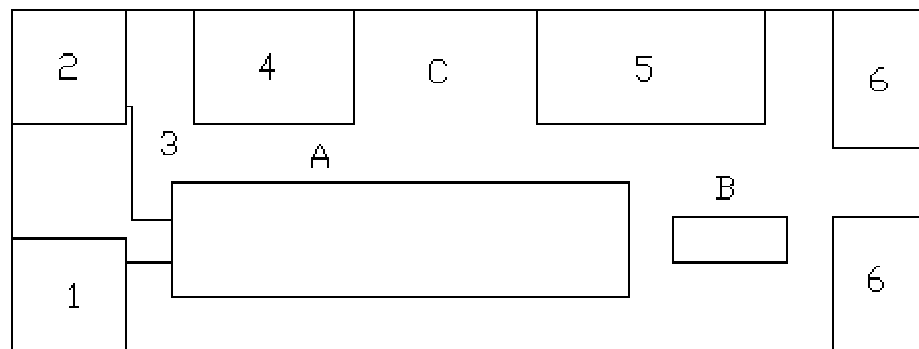
Eri komponenttien osiin kannattaa todennäköisesti käyttää erilaisia Karelinen komposiitteja käyttötarkoituksen mukaan. Näkyviin osiin voitaisiin valita PPMS EC, koska sillä saavutetaan ruiskuvalutuotteeseen poikkeuksellisen luonnonmukainen ulkoasu. Komponentteihin, joihin tarvitaan parempia lujuusominaisuuksia, on todennäköisesti kannattavaa valita ABMS. Se soveltuu käytettäväksi, kun kapaleelta vaaditaan joustavuutta, iskunkestävyyttä ja hyvää pinnanlaatua (Kareline Oy Ltd). Vartenotettavana vaihtoehtona huonekalukomponentteihin on myös PPMS.

6.3 Layout

Layouteissa on huomioitu pääkohdat eli tuotantoon tarvittavat laitteet ja tilat. Rakennuksiin kuuluvat tuotantotilat, huolto- ja varaosatilat sekä varastotilat. Raaka-aine- ja tuotevarastot arvioidaan erikseen omina tiloinaan mutta liitetään kuitenkin tuotantotilojen yhteyteen. Tarvittavat tilat arvioidaan siis kokonaisuutena yhtenä rakennuksena. Ruiskuvalutehtaaseen on suunniteltu sen verran tilaa, että

tarvittaessa tuotantoon voidaan lisätä toinen ruiskuvalukone. Layouteihin ei ole piirretty CWE-laitteen ja ruiskuvalukoneen yhteyteen kuuluvia raaka-aineimureita. Myöskään väriannostelijaa ja muotinlämmittintä ei ole piirretty ruiskuvalukoneen yhteyteen, vaikka ne todellisuudessa siihen kuuluvatkin.

6.3.1 Ekstruusiotehtaan layout



Tehdastilat:

Tehdas 15m*40m

1 Muoviraaka-ainevarasto 5m*5m

2 Puuraaka-ainevarasto 5m*5m

3 Tuotantotilat n. 350m²

4 Huoltotilat ja vara-
osavarasto 5m*7m

5 Valmisvarasto 5m*10m

6 Pakkaus ja lähtevä tavara 4m*12m

Laitteet ja työpisteet:

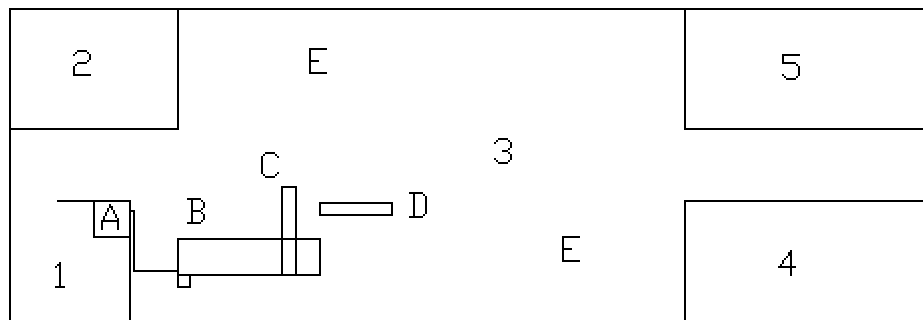
A CWE-linja
pituus noin 20m
leveys noin 5m
korkeus noin 6m

B Katkaisusaha
pöydät 2,5m+2,5m

C Mahdolliset
jatkokäsittely- ja
kokoontilan

Kuvio 17. Ekstruusiotehtaan layout

6.3.2 Ruiskuvalutehtaan layout



Tehdastilat:

Tehdas 13m*38m

1 Raaka-ainevarasto 5m*5m

2 Huoltotilat ja vara-
osavarasto 5m*7m

3 Tuotantotilat n. 289m²

4 Valmisvarasto 5m*10m

5 Pakkaus ja lähtevä
tavara 5m*10m

Laitteet ja työpisteet:

A Kuivailmakuivuri

B Ruiskuvalukone
5880*1420*2170

C Robotti

D Hihnakuuljetin 0,5m*3m

E Mahdolliset jatkokäsittely-
ja kokoonpanotilat

Kuvio 18. Ruiskuvalutehtaan layout

6.4 Kustannusarviot

Laitteiden, niihin liittyvien osien ja muiden oleellisten asioiden hintatiedot ilmoitetaan Conenor Oy:n ja Kareline Oy Ltd:n käyttämien menetelmien pohjalta.

Ruiskuvalussa on tehtävä valinta käytettyjen koneiden ja uusien koneiden välillä.

Uusissa ja käytetyissä koneissa on yleisesti suuret hintaerot. Yksityiskohtaisia, tarkkoja kustannusarvioita on hankala ilmoittaa, koska esimerkiksi laitteiden hinnat etenkin ruiskuvalumenetelmää käyttämällä vaihtelevat suuresti. Hinnat

perustuvat monesti tarjouksiin, joten täysin kiinteää hintaa ei yleensä ole. Tarjouksia ja tinkimisen mahdollisuutta ei tässä tapauksessa ole huomioitu, vaan kustannusarvioissa on käytetty suoraan laitevalmistajilta, maahantuojilta tai jälleenmyyjiltä saatuja hintatietoja sellaisenaan. Kustannusarvioihin vaikuttavia tekijöitä on hyvin monia. Kustannukset vaihtelevat tuotekohtaisesti niin paljon, että kustannusarviot on ilmoitettava jollain hintavälillä.

Ensin määritellään yleiset, molempien valmistusmenetelmien tuotannon toteuttamiseen tarvittavat kustannustekijät. Raaka-ainekustannukset kokonaisuudessaan arvioidaan ilmoittamalla tuotantomäärä kappaleina, kappaleen arvioitu massa ja laskemalla näiden perusteella tarvittava raaka-ainemäärä, joka kerrotaan raaka-aineen hinnalla. Tätä arviointimenetelmää käytetään molemmille valmistusmenetelmille. Rakennusten kustannukset arvioidaan tilojen vuokrana, rakentamista ei huomioida. Sähkönkulutus ja siitä aiheutuneet kustannukset pyritään arvioimaan. Lämmityskustannukset sisältyvät rakennusten vuokraan. Vuokra on siis lämmityskustannusten takia selvästi korkeampi kuin kylmän tilan vuokra.

Työntekijöiden palkat ovat olennainen osa kustannuksia pidemmällä aikavälillä. Työntekijöitä on tehdaskohtaisesti eri määrä, mutta palkka voidaan asettaa samansuuruiseksi. Työntekijälle maksettavan normaalin palkan ohella myös henkilösivukustannukset on syytä huomioida. Henkilösivukustannuksiin kuuluvat lomaja sairausajan palkat, lomarahat, sosiaaliturvamaksut ja muut lakisääteiset kustannukset. Kokonaisuudessaan työntekijöiden palkkojen henkilösivukustannukset mukaan lukien arvioidaan olevan 17 €/henkilö/tunti. Palkat oletetaan siis tuntipalkoiksi. On tärkeää määritellä, monessako vuorossa tehdas toimii. Kolmeen vuoroon tarvittaisiin esimerkiksi kolminkertainen määrä työntekijöitä. Molempien tehtaiden oletetaan toimivan tässä tapauksessa yhdessä vuorossa.

Kustannusrakenne voidaan ilmoittaa molemmille menetelmille pääpiirteiltään samalla tavalla. Materiaalikustannus lasketaan yleensä kertomalla tuotteen paino raaka-aineen hinnalla (Järvelä ym. 1999, 275). Työkustannus/osa on suora työkustannus konetta kohti kerrottuna osan valmistukseen tarvittulla ajalla. Katteeseen sisältyvät varastointikustannukset, investointien kuoletus, liikevoitto sekä

epäsuora työvoimakustannus eli esimerkiksi laadunvalvonta, huolto ja asetukset. Laatuksennukseen kuuluu prosessin puutteiden, virheiden ja vastaavien asioiden seurauksena aiheutunut hävikki. (Järvelä ym. 1999, 275.)

6.4.1 Kustannusarviot ekstruusioon

Ekstruuderiksi voidaan valita Conenor Oy:n Conex Wood Extruder 500-2-laite eli CWE 500-2-laite. Laitteen budjettihinta koko linjalle on noin 600 000 euroa (Conenor Oy). Tämän lisäksi teknologian siirrosta on maksettava palkkio. Se tarkoittaa maksua, joka maksetaan yrityksen teknologian luovuttamisesta toisen yrityksen käyttöön. Conenor Oy:n tapauksessa siihen kuuluu olemassa oleva ja tulevaisuuden tietotaito sekä patentit puumuovikomposiittiin liittyen. Yhtä ekstruuderia kohti veloitus on 125 000 euroa.

Ekstruusioon tarvitaan lisäksi ainakin katkaisusaha. Käytetyn Stromab PS 45/F-katkaisusahan hinta on 5400 euroa Alv 0% (Tekma Oy). Kaksi F5F40 imuria ja kaksi TF 46m imuletkua maksavat yhteensä noin 1 500 euroa (Oy Eko-Form Ab). Laitekustannukset ovat yhteensä siis noin 606 900 euroa. CWE-linjan hinta muodostaa erittäin suuren osan laitekustannuksista. Se on kuitenkin koko linja, johon tavallisella ekstruusiomenetelmällä kuuluisi monia muita laitteita.

Materiaalikustannukset ekstruusioon riippuvat olennaisesti käytettävistä raaka-aineista ja niiden määrästä tuotteessa. Taulukkoon 2 on kerätty Conenor Oy:n ilmoittamien tietojen perusteella erilaiset raaka-ainevaihtoehdot ja niiden hinnat.

TAULUKKO 2. Puumuovikomposiitin tuotantoon käytettävien raaka-aineiden hinnat (Conenor Oy)

raaka-aine	hinta
neitseellinen kestomuovi	1,5 €/kg
kierrätysmuovi	0,4 €/kg
kuiva sahanpuru	0,05 €/kg
puupelletti	0,12 €/kg
lisäaineet ka.	2,0 €/kg

Raaka-aineiden hinnat vaihtelevat paljon. Suurilla tuotantomäärillä kustannuksissa syntyy suuri ero raaka-aineiden välillä. Neitseellisellä kestumuovilla ja kierrätysmuovilla on suuret hintaerot. Tästä aiheutuu suurin ero raaka-ainekustannuksissa, joten on tärkeää valita tuotantoon sopivin muovi. Tietysti myös muovilajien välillä on hintaeroa, mutta tässä tapauksessa sitä ei ole huomioitu. Hinnat ovat vain yhden lähteen perusteella otettu hintaesimerkki, joten niissäkin on vaihteluvaraa.

Muut kustannukset sisältävät tilan vuokran, työntekijöiden kustannukset, sähkökustannukset, huolto- ja korjauskustannukset sekä hävikkikustannukset. Tilan koon oletetaan olevan noin 600 m² ja lämpimän tilan vuokraksi arvioidaan noin 5 €/m², joten tilan kokonaisvuokraksi tulee noin 3 000 €/kk. Kustannukset jaetaan kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Työntekijöitä oletetaan tarvittavan kolme. Työntekijöiden palkat oletetaan tuntipalkoiksi, joten ne sijoitetaan muuttuviin kustannuksiin. Työntekijöiden kustannukset lasketaan kokonaisuudessaan henkilösivukustannukset mukaan lukien koko vuodelle. Kustannukset ovat 17 €/henkilö/tunti ja työntekijöitä on kolme. Vuodessa arvioidaan olevan 227 työpäivää ja työpäivässä 8 työtuntia, joten työntekijöiden kokonaiskustannuksiksi saadaan 92 616 €/vuosi. Sähkökustannuksiksi arvioidaan noin 5 000 €/vuosi, huolto- ja korjauskustannuksiksi noin 2 000 €/vuosi ja hävikkikustannuksiksi noin 1 000 €/vuosi. Lisäksi sähkön perusmaksuksi oletetaan noin 500 €/vuosi.

Oletetaan, että vuoden aikana valmistetaan kahta erilaista kappaletta. Ensimmäistä kappaletta valmistetaan 200 000 kappaletta, ja se painaa yhden kilon. Toista kappaletta valmistetaan 100 000 kappaletta ja sen paino on viisi kiloa. Molemmissa kappaleissa on 75% kuitua, 20% muovia ja 5% lisäaineita. Ensimmäisessä kappaleessa käytetään sahanpurua ja neitseellistä muovia, toisessa kappaleessa sahanpurua ja kierrätysmuovia. Pienemmän kappaleen raaka-ainekustannukset ovat siis 87 500 € ja kilohinnaksi tulisi noin 0,44 €/kg. Suuremman kappaleen raaka-ainekustannukset ovat 108 750 € ja kilohinnaksi tulisi noin 0,22 €/kg. Yhteensä raaka-ainekustannukset ovat 196 250 € ja raaka-aineen keskihinnaksi saataisiin noin 0,33 €/kg. Kappaleet ovat osa tuotetta, joten niistä saatuja myyntituloja on vaikea arvioida. Pienemmän kappaleen myyntituloiksi arvioidaan 8 €/kpl ja suuremman kappaleen myyntituloiksi 12 €/kpl. Pienemmästä kappaleesta saadaan myyntituloja

1 600 000 € ja suuremmasta kappaleesta 1 200 000 €. Myyntitulot ovat siis yhteensä 2 800 000 €.

6.4.2 Kustannusarviot ruiskuvaluun

Valitut laitteet ovat uusia, koska niistä oli saatavilla runsaammin ja parempaa tietoa. Suurin kustannusero uusien ja käytettyjen laitteiden välillä on ruiskuvalukoneen hinnassa. Muotti on investointina suuri, koska muotin valmistaminen saattaa maksaa kymmeniä tuhansia euroja, ja suuret muotit maksavat jopa satoja tuhansia euroja. Karelinen raaka-aineilla muotteihin ei välttämättä tarvitse investoida yhtä paljon kuin esimerkiksi pelkästä muovista valmistettavien tuotteiden muotteihin. Raaka-aine täytyy kuitenkin hankkia erikseen, mikä aiheuttaa kustannuksia. Karelinen PPMS5050 komposiitti maksaa tilauksen laajuudesta, lisäaineistuksesta yms. riippuen noin 2,5 € - 4,0 €/kg. (Kareline Oy Ltd). Hinnasta käytetään keskiarvoa, jolloin hinnaksi saadaan noin 3,3 €/kg.

Ruiskuvalutehtaan kooksi arvioidaan noin 500 m², joten tilan vuokraksi tulee noin 2 500 €/kk. Työntekijöiden palkat oletetaan tuntipalkoiksi, joten ne sijoitetaan muuttuviin kustannuksiin. Työntekijöitä oletetaan tarvittavan kolme. Työntekijöiden palkkojen kokonaiskustannuksiksi tulee siis noin 92 616 €/vuosi niin kuin ekstruusiossakin. Sähkökustannuksiksi arvioidaan noin 5 000 €/vuosi, huolto- ja korjauskustannuksiksi noin 2 000 €/vuosi ja hävikkikustannuksiksi noin 1 000 €/vuosi. Lisäksi sähkön perusmaksuksi oletetaan noin 500 €/vuosi.

Muotille ei voi antaa tarkkaa hintaa, koska sen kustannukset saattavat vaihdella paljon valmistettavan tuotteen mukaan. Muotin hinnaksi arvioidaan noin 8 000 €. Eri lähteissä muotille on ilmoitettu erilaisia hintoja, esimerkiksi 6 000 € ylöspäin ja 5 000-120 000 €. Muotin hinta asetetaan suhteellisen alhaiseksi, koska Karelinen raaka-aineita käytettäessä muotin ominaisuuksilta ei vaadita niin paljon kuin muissa tapauksissa. Muotti saattaa usein olla varsin edullinen verrattuna muiden raaka-aineiden tarvitsemiin muotteihin. Muotin hinta otetaan mukaan laitekustannuksiin.

TAULUKKO 3. Laitekustannukset ruiskuvaluun

laitteet	hinta
ruiskuvalukone Negri Bossi Elma VE 160 sähkökone	100 000 €
robotti WEMO 8-5ES kolmiakselinen	
portaalirobotti koneen päälle	24 000 €
kuivailmakuivuri Moretto, suppilo TC200P, lämmitysyksikkö EH5A90, kehikko pyörillä CMS200, imukappale suppilon alaosaan AV1F40	
kokonaisuuden hinta noin	4 250 €
raaka-aineimurit F5F40 * 2 kpl, imuletku TF46m * 2 kpl	1 500 €
hihnakuljetin Crizaf L 3000*500	2 000 €
väriannostelija Moretto DVM10	1 500 €
muotinlämmitin Greenbox TB-M-6	2 900 €
muotti	8 000 €
yhteensä	144 150 €

Ruiskuvalukone muodostaa oleellisen osan laitteiden kustannuksista. Muiden laitteiden kustannukset eivät ole yhteensäkään samansuuruiset ruiskuvalukoneen kustannuksen kanssa. Muotin osuus kustannuksista on varsin suuri keskimääräistä pienemmälläkin muotin hinnalla, koska erilaisille kappaleille täytyy olla toisenlainen muotti. Valmistettaessa runsaasti erilaisia kappaleita melko edullisenkin muotin osuus kustannuksista kasvaa suureksi. Tämä korostuu, jos yhdenlaista kappaletta valmistetaan pieni sarja.

Oletetaan, että vuoden aikana valmistetaan kahta erilaista kappaletta. Ensimmäistä kappaletta valmistetaan 100 000 kappaletta, ja sen paino on 500 grammaa. Toista kappaletta valmistetaan 200 000 kappaletta, ja se painaa 800 grammaa. Molemmissa käytetään Karelinen raaka-aineita hinnan ollessa 3,3 €/kg. Pienemmän kappaleen raaka-ainekustannukset ovat siis 165 000 € ja suuremman kappaleen 528 000 €. Raaka-ainekustannukset ovat yhteensä 693 000 €. Kappaleille tarvitaan erilaiset muotit, joten muotin hinta kerrotaan kahdella. Molemmille muoteille oletetaan sama hinta eli 8 000 €. Muottikustannuksiksi saadaan näin 16 000 €. Kappaleet ovat osa tuotetta, joten niistä saatuja myyntituloja on vaikea arvioida. Pienemmälle kappaleelle arvioidaan tässä tapauksessa myyntituloja 5 €/kpl ja suuremmalle kappaleelle 7 €/kpl. Pienemmästä kappaleesta saadaan myyntituloja 500 000 € ja suuremmasta kappaleesta 1 400 000 €. Yhteensä myyntitulot ovat siis 1 900 000 €.

6.5 Laskelmat

Laskelmissa on käytetty yhteenlaskettuja kustannuksia eritellen kiinteät ja muuttuvat kustannukset. Laskelmat ovat vain yksi vaihtoehto ja esimerkki, mutta niistä saa kuitenkin käsityksen huomioitavien asioiden määrästä ja ne antavat suuntaa tehtaaseen liittyviin kustannuslaskelmiin. Kustannuslaskelmissa on arviolta noin 10%:n virhearvio muuttuvissa kustannuksissa. Kaikkia tekijöitä ei ole otettu huomioon, joten laskelmia ei voida pitää erityisen tarkkoina. Kustannukset on laskettu vuoden ajanjaksolle.

6.5.1 Laskelmat ekstruusioon

TAULUKKO 4. Ekstruusion kokonaiskustannukset ilman laitekustannuksia

muuttuvat kustannukset	määrä €
raaka-aineet	196 250 €
työn osuus	92 616 €
sähkökustannukset (voimavirta)	5 000 €
huolto- ja korjauskustannukset	2 000 €
hävikkikustannukset	1 000 €
muuttuvat kustannukset yhteensä	296 866 €
kiinteät kustannukset	
tilojen vuokrat	36 000 €
sähkökustannukset (voimavirran perusmaksut)	500 €
kiinteät kustannukset yhteensä	36 500 €
kokonaiskustannukset yhteensä	333 366 €

Laskettujen kokonaiskustannusten perusteella raaka-ainekustannukset muodostavat oleellisen osan kustannuksista, vaikka kuituraaka-aineeksi molempiin valmistettaviin kappaleisiin on valittu halpa sahanpuru.

Kilohinta ekstruusiotuotteille lasketaan tässä tapauksessa muuttuvien kustannusten perusteella. Ekstruusiotuotteiden kilohinnaksi saataisiin noin 0,42 €/kg. Se on varsin edullinen kilohinta. On kuitenkin huomioitava, että saatu kilohinta sisältää kahden erilaisen tuotteen raaka-ainekustannukset. Kierrätysmuovia sisältävän kappaleen raaka-ainekustannukset olivat selvästi alhaisemmat kuin neitseellistä muovia sisältävän kappaleen, joten se vaikuttaa olennaisesti lopputuotteen

kilohintaan. Kilohinta jäisi joka tapauksessa varsin alhaiseksi molemmilla muoviraaka-aineilla. Conenor Oy:n tuotantokustannusten laskentaesimerkin mukaan puumuovikomposiitin hinta olisi noin 0,34 €/kg kierrätysmuovia ja sahanpurua käyttämällä. Sahanpurua ja neitseellistä muovia käyttämällä hinta olisi noin 0,57 €/kg. Edellä laskettu kilohinta 0,42 €/kg asettuisi juuri näiden hintojen väliin.

6.5.2 Laskelmat ruiskuvaluun

TAULUKKO 5. Ruiskuvalun kokonaiskustannukset ilman laitekustannuksia

muuttuvat kustannukset	määrä €
raaka-aineet	693 000 €
työn osuus	92 616 €
sähkökustannukset (voimavirta)	5 000 €
huolto- ja korjauskustannukset	2 000 €
hävikkikustannukset	1 000 €
muuttuvat kustannukset yhteensä	793 616 €
kiinteät kustannukset	
muottikustannukset	16 000 €
tilojen vuokrat	30 000 €
sähkökustannukset (voimavirran perusmaksut)	500 €
kiinteät kustannukset yhteensä	46 500 €
kokonaiskustannukset yhteensä	840 116 €

Laskettujen kokonaiskustannusten perusteella raaka-ainekustannukset muodostavat todella suuren osan kustannuksista. Valmistettavista tuotteista olisi siis syytä saada raaka-ainekustannuksiin suhteutettuna runsaasti myyntituloja.

Kilohinta ruiskuvalutuotteille lasketaan tässä tapauksessa muuttuvien kustannusten perusteella ja lisäämällä niihin muottikustannukset kiinteistä kustannuksista. Ruiskuvalutuotteiden kilohinnaksi saataisiin noin 3,86 €/kg. Hinta on paljon korkeampi kuin ekstruusiotuotteilla raaka-aineen hinnan takia. Ekstruusiotuotteiden valmistus tulee selvästi kannattavammaksi pidemmällä aikavälillä, mikä oli havaittavissa jo kokonaiskustannuksista.

7 PUUMUOVIKOMPOSIITIN SOVELTUVUUS HUONEKALUKOMPONENTTEIHIN

Puumuovikomposiitin soveltuvuus huonekalukomponentteihin riippuu olennaisesti käytetystä valmistusmenetelmästä ja raaka-aineista. Ruiskuvalulla valmistetuilla kappaleilla on eniten huonekalukomponentteihin sopivia ominaisuuksia. Tuotteista voidaan tehdä erittäin monimuotoisia ja erikokoisia. Ruiskuvalumuotit ovat varsin kalliita, mutta hinnan merkitys vähenee, mitä suurempia sarjoja niillä valmistetaan. Samalla muotilla voidaan tehdä tarvittaessa jopa satojatuhansia kappaleita. Ekstruusiolla kappaleista ei saa niin monimuotoisia ja erikokoisia kuin ruiskuvalulla. Tästä syystä ruiskuvalulla tehdyt puumuovikomposiittikappaleet soveltuvat yleisesti parhaiten huonekaluteollisuuden, kuten kyseisen opinnäytetyön toimeksiantajan Isku-Yhtymä Oy:n käytettäväksi.

Karelinen komposiittia käytettäessä ruiskuvalutuotantoon tarvitaan paljon enemmän laitteita kuin ekstruusiotuotantoon Conenorin laitteita käyttämällä. Laitekustannuksissa ei kuitenkaan ole suurta eroa, jos molempiin tuotantoihin oletetaan vain yksi varsinaisen valmistusmenetelmän laite. Harvemmissa yrityksissä on kuitenkin vain yksi laite käytössä, koska tuotantomäärät eivät ole yhdellä laitteella riittävät kannattavuuteen suhteutettuna. Todennäköisesti on kannattavampaa hankkia tuotantoa varten useampi laite. Näin tuotannossa voitaisiin tehdä enemmän erilaisten kappaleiden sarjoja. Sarjojen koko ja erilaisten kappaleiden valmistustarve vaikuttavat laitteiden lukumäärän valintaan.

Ruiskuvalumenetelmän yhä lisääntyvä kehittäminen myös sisätiloihin tarkoitettuihin sovelluksiin mahdollistaa tuotteiden sopivuuden tulevaisuudessa entistä paremmin huonekaluteollisuudenkin komponenteiksi. Markkinoilla on jo joitakin versioita integroiduista compoundointi & ruiskuvalulaitteistoista, jossa ruiskuvalukoneen plastisoitu raaka-aine on integroitu tuottamaan suoraan ruiskuvalukoneelle ilman erillisiä lisälaitteita. Kehitys jatkuu koko ajan, joten tulevaisuudessa ruiskuvaluunkaan ei välttämättä tarvita useita oheislaitteita, ja samalla esimerkiksi laatu sekä kustannukset ovat hyväksyttäviä.

Tutkittaessa puumuovikomposiitin soveltuvuutta huonekalukomponentteihin on syytä huomioida esimerkiksi valmistukseen ja kustannuksiin liittyvien asioiden lisäksi myös erilaisia valmiin tuotteen myyntiin ja markkinointiin liittyviä seikkoja. Tuote on saatava varastosta oikeisiin paikkoihin kuluttajien saataville. Tuotteelle on laskettava sopiva markkinahinta, jolla saataisiin mahdollisimman paljon voittoa. Hinnan olisi kuitenkin syytä olla kilpailukykyinen muiden markkinoilla olevien WPC-tuotteiden, puusta valmistettujen tuotteiden ja joissain tapauksissa muovituotteidenkin kanssa. Siksi hinta kannattaa mahdollisesti laittaa ensin sen verran korkeaksi, että sitä voidaan laskea kilpailutilanteen ja menekin mukaan tarvittaessa minikannattavuuteen asti. Valmistustekniikoiden kehittyessä ja markkinoille saatavalla runsaalla tuotemäärällä hinnat alkavat pudota ja kysyntäkin kasvaa.

Tuotteille on asetettava tietyt vaatimukset ja on huolehdittava niiden täyttymisestä. Korkealla laadulla on monta tärkeää tekijää, jotka vaikuttavat tuotteen menestymiseen. Korkealla laadulla minimoidaan hävikki, ja myös tuotteiden reklamatiokustannukset alenevat. Kilpailukyky on luonnollisesti parempi korkealaatuisella tuotteella. On huolehdittava työntekijöiden korkeasta osaamistasosta, jotta laatu säilyy sille asetetuissa vaatimuksissa. Ammattitaitoisten työntekijöiden saaminen on siis tärkeää. Tuotteen kannattavuus on parempi mahdollisimman korkealla laadulla, jos hinta pystytään pitämään kilpailukykyisenä. Kuluttajat eivät välttämättä maksa tuotteesta selvästi korkeampaa hintaa kilpaileviin tuotteisiin verrattuna, vaikka laatu olisikin selvästi parempi.

Valmistettavaksi kappaleeksi voitaisiin valita esimerkiksi työtuolin käsinoja. Käsinoja valmistettaisiin puolikkaina, jotka sitten liitetään yhteen. Kappaleeseen valitaan valmistusmenetelmäksi ruiskuvalu. Materiaaliksi sopii PPMS perinteistä muovimaista ulkonäköä tavoiteltaessa. Haluttaessa erikoisempaa ulkonäköä käsinojiin voidaan käyttää raaka-aineena PPMS EC:tä. Työtuolit ovat kuitenkin melko konservatiivinen kohde, joten tähän tarkoitukseen perinteisen, varsinkin mustan muovin ulkonäkö on todennäköisesti sopivin. On myös kyseenalaistettava, kannattaako nimenomaan tähän kohteeseen käyttää puumuovikomposiittia.



KUVIO 19. Työtuolin käsinoja. (Isku-Yhtymä Oy)

Todennäköisesti parempi käyttökohde olisivat huonekalujen osat, joissa tavallisesti on käytetty materiaalina puuta. Puumuovikomposiitista valmistettuja komponentteja voisi käyttää esimerkiksi tuolien selkänojiin tai muina osina, sängyn, lepotuolien ja sohvien jalkoina sekä lepotuolien puisten käsinojien tilalla erityisesti näkyviin osiin, joissa ei olisi verhoilua päällä. Silloin vartenotettavana vaihtoehtona nimenomaan näkyvissä osissa olisi uuden, erikoisemman ulkonäön aikaansaava puumuovikomposiittimateriaali. Karelinen valmistamista raaka-aineista löytyy tähän tarkoitukseen sopivia vaihtoehtoja. Edellä mainitut komponentit valmistettaisiin ekstruusiolla tai ruiskupuristuksella komponentin muodosta riippuen. Tasomaiset ja yksinkertaisen muotoiset kappaleet valmistettaisiin ekstruusiolla ja monimutkaisemman muotoiset kappaleet valmistettaisiin ruiskupuristuksella.



KUVIO 20. Karelia-tuoli (Isku-Yhtymä Oy)

Laatikkojen etu-, sivu- ja takasarjat sekä pohjat on mahdollista valmistaa puumuovikomposiitista. Tässä tapauksessa valmistusmenetelmänä käytettäisiin

ekstruusiota. Ainakin pohjat olisivat eri paksuiset laatikon muiden osien kanssa. Myös materiaalina kannattaisi mahdollisesti käyttää erilaista puumuovikomposiittia laatikon eri osiin. Sivu- ja takasarjat voisivat olla samasta materiaalista niin kuin ne monesti ovat. Etusarjat voisivat olla näyttävämmästä materiaalista ja pohjat erityisen kestävästä materiaalista.

7.2 Menestystekijät

Puumuovikomposiitin mahdolliset vahvuudet ja kilpailuedut ruiskuvalutekniikalla ovat suurten tuotantoerien ja muodoltaan monimutkaisten kappaleiden tuotannossa. Ekstruusiolla vahvuudet saadaan hyödynnettyä, kun kappaleista tehdään muodoltaan varsin yksinkertaisia. Tuotantomäärä voi olla suuri. Tällöin saadaan ekstruusiolla tehtyä suhteellisen pienin kustannuksin haluttuja kappaleita. Ekstruusion heikkoutena on nimenomaan kappaleiden huono muodon muunteluominaisuus. Ruiskuvalu palvelee huonekaluteollisuuden komponenttitarpeita selvästi monipuolisemmin kuin mikään muu valmistusmenetelmä eli käyttämällä samanlaisia tai ominaisuuksiltaan yhtä käyttökelpoisia raaka-aineita kuin Kareline Oy Ltd ruiskuvalu on kannattavin puumuovikomposiitin valmistusmenetelmä huonekaluteollisuuteen.

7.3 Riskit

Riskeinä ovat esimerkiksi kuluttajien suhtautuminen huonekalutuotteisiin, joissa puumuovikomposiittimateriaali on näkyvillä ja se näyttää selvästi enemmän muovilta kuin puulta. Riskiä voidaan mahdollisesti vähentää tekemällä erilaisilla pintakäsittelymenetelmillä puumuovikomposiitista enemmän puun näköistä. Vaihtoehtona on tehdä komposiitista aivan oman näköisensä materiaali. Sille täytyisi silloin saada oma identiteetti ja maine. Todennäköisesti olisi kannattavaa, jos tuote näyttäisi mahdollisimman luonnonmukaiselta. Conenorin CWE-laitteella saadaan tarvittaessa ulkonäöltään melko paljon puumateriaalia muistuttavia

ekstruusiotuotteita. Tämä on erittäin tärkeää Euroopassa ja erityisesti Pohjoismaissa, jotta kuluttajat saataisiin hyväksymään puumuovikomposiittimateriaali puuta korvaavissa käyttökohteissa.

7.4 Mahdollisuudet

Puumuovikomposiitilla on hyvät tulevaisuuden näkymät erityisesti muovista valmistettujen tuotteiden korvaajana, jos öljyn hinta jatkaa nousuaan. Pelkästä puusta valmistettujen tuotteiden korvaamisessa puumuovikomposiitin mahdollisuudet ovat epävarmemmat mutta eivät missään tapauksessa mahdottomat. Puumateriaalilla on etenkin Suomessa niin vahva identiteetti ja sitä on helposti saatavilla, että sille on vaikea löytää kilpailijaa ja korvaajaa. Oikeanlaisella markkinoinnilla voidaan mahdollisesti vaikuttaa kuluttajien asenteisiin. Ainakin heidän tietouttaan voidaan parantaa. Kuluttajien luottamus materiaaliin saadaan todennäköisesti pidemmällä aikavälillä heidän saatua omakohtaista kokemusta tuotteista. Tuotekehityksen pitää olla ajan tasalla, jotta tuotteet ovat vielä kilpailukykyisiä ja ajan mukaisia, kun asiakkaiden luottamus ja tietty markkinaosuus on saavutettu. Oleellista olisi korostaa tuotteen ekologisuutta ja mekaanisia ominaisuuksia, jotka suurimmaksi osaksi ovat parempia kuin pelkän muovi- tai puumateriaalin.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää puumuovikomposiittien soveltuvuus huonekaluteollisuuden käyttökohteiksi. Teoreettinen tieto esimerkiksi puumuovikomposiitin koostumuksesta ja valmistusmenetelmistä löytyi useamman lähteen kautta. Vaikeutena oli saada hintatietoa erilaisista laitteista, joita tarvitaan puumuovikomposiittituotteiden valmistukseen. Oli vaikea selvittää, mitkä laitteet olisivat sopivimmat ja minkä hintaisia ne ovat. Saadut hinnat olivat joissakin tapauksissa melko epämääräisiä eli hintahaitari oli suuri, joten niistä valittiin keskiarvo. Monessa tapauksessa valittiin laitteet, joista oli kattavat tekniset tiedot ja tarkat hintatiedot. Etenkin ruiskuvalun osalta oli tehtävä valinta käytettyjen ja uusien koneiden välillä.

Ruiskuvalulaitteissa on niin paljon erilaisia valmistukseen ja valmistettavan kapaleen ominaisuuksiin liittyviä parametrejä, että niiden täydelliseen selvittämiseen ja sitä kautta esimerkiksi sopivimman koneen ja muotin valitsemiseen olisi vaadittu enemmän konkreettista tutkimusta ja asiantuntemusta. Myös laitteiden yhteensopivuus tuotantoon tarvittavien oheislaitteiden kanssa oli pyrittävä selvittämään. Ekstruusioon ja ruiskuvaluun valitut laitteet, tilat ja muut tuotantoon tarvittavat asiat sekä niiden perusteella tehdyt kustannusarviot ja laskelmat ovat suuntaa antavia eivätkä ainoita vartenotettavia vaihtoehtoja puumuovikomposiitin tuotantoon. Tehtyjen selvitysten on siis tarkoitus olla suuntaa antavana esimerkkinä huonekaluteollisuudelle puumuovikomposiitin valmistuksen toteuttamista varten. Kyseiset tavoitteet ovat mielestäni onnistuneet hyvin. Tutkimusten perusteella saa käsityksen tuotantoon tarvittavista laitteista ja kustannuksista sekä sopivista valmistusmenetelmistä.

Täytyi myös omaksua runsaasti muovialan asioita, kuten valmistusmenetelmiä ja erilaisia käsitteitä. Lisäksi piti tutustua Suomessa kuluttajien keskuudessa vielä hyvin vähän tunnettuun luonnonkuitukomposiittimateriaaliin, erityisesti puumuovikomposiittiin. Materiaalilla on ehdottomasti nykyistä tärkeämpi merkitys tulevaisuudessa, joten opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen haaste ja tapa tutustua puukuitulujitteiseen muovikomposiittiin ja myös useampaan puumuovikomposiitin sekä muovin valmistusmenetelmään.

LÄHTEET

- Conenor Oy. 2005. Conex[®] Wood Extruder -teknologia puumuovikomposiittien valmistukseen. [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.10.2006]. Saatavissa: www.conenor.com/Tiedote_Conenor.doc
- Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 1999. Ruiskuvalu. Plastdata Oy, Tampere.
- Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. WS Bookwell Oy, Porvoo.
- Kareline Oy Ltd. Saatavissa: www.kareline.fi
- Koponen, H. 1996. Huonekalujen valmistus ja suunnittelu. Teknillinen korkeakoulu, Otaniemi.
- Koto, T & Tiisala, S. 2004. Muovi+puu Puukuitulujitteiset muovikomposiitit. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 1999. Muovitekniikan perusteet. Hakapaino Oy, Helsinki.
- Moretto. Saatavissa: <http://www.moretto.com>
- Muoviteollisuus ry. Tervetuloa muovin maailmaan! [verkkodokumentti]. Muoviteollisuus ry. [viitattu 2.10.2006]. Saatavissa: <http://www.luemuovia.net/index.html>
- Negri Bossi. Saatavissa: <http://www.negribossi.it>
- Oy Eko-Form Ab. Saatavissa: <http://www.ekoform.fi>
- Stellac Oy. Lämpökäsitelty puu kestää – luonnollisesti. [verkkodokumentti]. Mikeli: Stellac Oy. [viitattu 3.10.2006]. Saatavissa: <http://www.stellac.fi/lampokasittely.htm>

Tampereen teknillinen korkeakoulu. Ruiskuvalu [verkkodokumentti]. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu [viitattu 2.10.2006]. Saatavissa: <http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/frontpage.html>

Tampereen teknillinen yliopisto. MOL-6300 Polymeerituotteiden muotit ja työkalut [verkkodokumentti]. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto [viitattu 29.9.2006]. Saatavissa: http://72.14.221.104/search?q=cache:W5owTBpjc74J:www.tut.fi/plastics/liitteet/MOL-6300/Luento12.pdf+ahtopuristus&hl=fi&gl=fi&ct=clnk&cd=2&lr=lang_fi

Tekma Oy. Saatavissa: <http://www.tekma.fi>

Törmänen, E. 2005. Puumuovi voi korvata painekyllästetyn puun. Tekniikka&Talous. Saatavissa: www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f_id=812822

Vilkki, M. 2006. Luonnonkuitukomposiittien ekstruusio. Conenor Oy. Messuille tehty materiaali. Sähköpostilla saatu materiaali.

