

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Elektroniikkatuotanto

2011

Jens Holmström

MUOVIT JA NIIDEN HYÖDYN- TÄMINEN ELEKTRONIIKAN NÄKÖKULMASTA

- käsikirja



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma | Elektroniikkatuotanto

Lokakuu 2011 | Sivumäärä: 74 sivua

Ohjaaja: Yngvar Wikström, Ins. (YAMK)

Jens Holmström

MUOVIT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN ELEKTRONIIKAN NÄKÖKULMASTA

Tämän työn tarkoituksena on antaa lukijalle tietoa muoveista. Työ avulla pitäisi pystyä muodostamaan kuva erilaisista muovilaaduista, niiden ominaisuuksista ja käyttökohteista. Tämän lisäksi työssä käsitellään muovien historiaa ja muovien erilaisia valmistus- ja tuotantomenetelmiä. Työssä myös käsitellään muovien kierrätystä sekä mietitty miten työn tietoja voidaan hyödyntää elektroniikka alalla.

Työstä suurin osa on ollut tiedon keräämistä useammista lähteistä lyhyeen ja helposti sisäistettävään muotoon. Työn aikana ei ole tullut vastaan teosta, jossa olisi vastaavalla tavalla lyhyesti kerrottu muoveista ja mietitty tiedon hyödyntämistä elektroniikka-alalla. Suurin osa löydetyistä teoksista ovat englanninkielisiä. Muovien historiasta ei ole löytynyt vastaavaa koostetta missään. Työssä käsitellään eri kesto- ja kertamuovien ainesosat, ominaisuudet ja käyttökohteet. Tarkastellaan muovien kierrätyksen nykytilannetta ja pohditaan mahdollista kehitystä. Työssä käydään myös läpi muovien sopivuutta elektroniikan tarpeisiin. Tarkastelun kohteena ovat myös tätä rajoittavat tekijät kuten RoHS ja WEEE.

Tuloksena työn tekemisestä on koottu teos muoveista, sen raaka-aineista ja rajoituksista. Tieto- ja kartoittamalla on helpompi tutkia eri mahdollisuuksia esimerkiksi mikä muoveista olisi paras laitteiden koteloiksi.

Työ toimii hyvänä tukimateriaalina ”Elektroniikan materiaalit” – opintojaksolla.

ASIASANAT:

muovi, polymeerit

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Electronics Production

October 2011 | Total number of pages: 74

Yngvar Wikström, M.Sc.

Jens Holmström

PLASTICS AND THEIR USAGE FROM AN ELECTRONIC POINT OF VIEW

The thesis is a study of plastics. The goal was to make a manual, with which one can get general knowledge about different kinds of plastics in use. The thesis also includes a short history of plastics. The different methods of manufacturing plastic items are browsed through for easier understanding of shapes and sizes in which plastic parts can be made. There is a look into the consumption and production volumes of plastic to help with the understanding of how widely used it is.

Recycling is an important issue in today's world and therefore it is also a part of this thesis. There is also a small look into biodegradable plastics as they are on the rise. RoHS and WEEE are also looked into as they are in such a big role in the modern electronics industry.

The usage of plastics in electronics is also looked into. There are thoughts on a couple of new breakthroughs in the field. A general contemplation on the possibilities and limitations of plastics in electronics is also present.

KEYWORDS:

plastics, polymers

SISÄLTÖ

LYHENTEET

1 JOHDANTO	1
2 YLEISESTI MUOVEISTA	2
2.1 Historia	3
2.1.1 1800-luku	4
2.1.2 1900-luku	5
2.2 Muoviosien valmistusmenetelmät	8
2.2.1 Laminointimenetelmä	8
2.2.2 Painevalumenetelmät	14
2.2.3 Puristusmenetelmät	20
2.2.4 Suulakemenetelmät	24
2.2.5 Valssaus	27
2.2.6 Kerroslevyjien valmistus	27
2.2.7 Liimaus	29
2.3 Tuotantomäärät maailmalla	30
2.4 Muovit Suomessa	32
3 LUOKITUKSET	34
3.1 Kestomuovit	35
3.1.1 Polyeteenit	36
3.1.2 Polypropeeni	37
3.1.3 Muut polyolefiinit	38
3.1.4 Kloorimuovit	39
3.1.5 Styreenimuovit	40
3.1.6 Polyamidit	41
3.1.7 Akryylimuovit	43
3.1.8 Asetaalimuovit	44
3.1.9 Polykarbonaatit	45
3.1.10 Polyesterit	45
3.1.11 Polyfenyleenimuovit	46
3.1.12 Fluorimuovit	47
3.1.13 Erikoiskestomuovit	49
3.2 Kertamuovit	52

3.2.1 Polyesterihartsit	53
3.2.2 Vinyylesterihartsit	57
3.2.3 Epoksihartsit	58
3.2.4 Fenolihartsit	59
3.2.5 Aminohartsit	60
3.2.6 Polyuretaanihartsit	60
3.2.7 Allyylihartsit	62
3.2.8 Bismaleimidit	62
3.2.9 Polyimidit	63
3.3 Biohajoavat muovit	63
4 KIERRÄTYS	65
5 SOVELTUVUUS ELEKTRONIIKAN TARPEISIIN	68
6 YHTEENVETO	72
LÄHTEET	73

LYHENTEET JA SANASTOA

AAP	Asetyyliasetoniperoksidia
ABS	Akrylinitriilibutadieeni-styreeni
ASA	Akrylinitriili-styreeni-akryyliesteri
BMC	Bulk Molding Compound
BMI	Bismaleimidiharts
BPO	Bentsoyyliperoksidi
CEM	Composite epoxy material
CHP	Sykloheksanoniperoksidi
CTFE	Polyklooritrifluorieteeni
DAIP	Diallyyli-isoftalaatti, tunnetaan myös nimellä PDAIP
DAP	Ortodiallyyliftalaattia, tunnetaan myös nimellä PDAP
DBP	Dibutyyliftalaatti
DEA	N,N-dietyylianiiliini
DGEBA	Bisfenoli-A:n diglysidyylietteri
DKP	kumeenihydroperoksidi
DMA	N,N-dimetyylianiiliini
DMpT	Dimetyyli-p-toluidiini
E/CTFE	Eteeni-kloorifluorieteeni
E/TFE	Eteeni-tetrafluorieteeni
EPN	Fenoli-novolakka
FR	Flame Retardant
GMT	Glasmatten-verstärkte Thermoplaste

HFP	Heksafluoripropeeni
KHP	Kumeenihydroperoksidi
LCP	Nestekidepolymeeri
MDA BMI	Metyleenidianiliiniin
MEKP	Metyylietyyliketoniperoksidi
MF	Melamiiniformaldehydi
MMA	Metyylimetakrylaatti
PA	Polyamidi
PAEK	Polyaryylieetteriketoni
PAI	Polyamidi-imidi
PAR	Polyarylaatti
PB	Polybuteeni
PBB	Polybromattu-bifenylyli
PBI	Polybenstimidasoli
PBT	Polybuteenitereftalaatti
PC	Polykarbonaatti
PBDE	Polybromattu-difenyylieetteri
PE	Polyeteeni
PE-LD	Polyeteeni, Low Density
PE-LLD	Polyeteeni, Linear Low Density
PE-HD	Polyeteeni, High Density
PE-HMW	Polyeteeni, High Molecular Weight
PE-UHMW	Polyeteeni, Ultra High Molecular Weight

PE-MD	Polyeteeni, Medium Density
PE-VLD	Polyeteeni, Very Low Density
PE-X	Polyeteeni, cross-linked
PEI	Polyeetteri-imidi
PET	Polyeteenitereftalaatti
PFA	Perfluorialkoksialkaani
PI	Polyimidi
PIB	Polyisobuteeni
PMMA	Polymetyylimetakrylaatti
PMP	Polymetyylipenteeni
POM	Polyoksimetyleeni
PP	Polypropeeni
PPE	Polyfenyleenieetteri
PPS	Polyfenyleenisulfidi
PS	Polystyreeni
PS-E	Polystyreeni, Solustettu
PS-HI	Polystyreeni, iskunkestävä
PS-X	Polystyreeni, suulakepuristettu
PSU	Polysulfonit
PTFE	Polytetrafluorieteeni
PVC	Polyvinyylikloridi
PVC-C	Polyvinyylikloridi, kloorattu
PVC-E	Emulsio-PVC

PVC-P	Polyvinyylkloridi, pehmitetty
PVC-S	Suspensio-PVC
PVDC	Polyvinyylideenikloridia
PVDF	Polyvinyylideenifluoridi
PVF	Polyvinyylifluoridi
RIM	Reaction Injection Molding
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
RRIM	Reinforced Reaction Injection Molding
RTC	Reinforced Thermoplastic composite
RTM	Resin Transfer Molding
SAN	Styreeni-akrylinitriili
S/B	styreenibutadieeni
SMC	Sheet Molding Compound
SRIM	Structural Reaction Injection Molding
tBHP	Tertbutyylihydroperoksidi
TGAP	triglysidyyli-p-aminofenoli
TFE	Tetrafluorieteeni
TPI	kestomuovi-polyimidi
UP	Polyesteri
UF	Ureaformaldehydi
VCM	Vinyylkloridimonomeeri
WEEE	Waste from Electrical and Electronic Equipment

Adduktio = Reaktio jossa kaksi molekyyliä yhdistetään yhdeksi isoksi molekyyliksi

Aktiivihappi = Nopeammin ja tehokkaammin reagoivaa happea

Alifaattinen = Suorarakenteinen ketju, ei sisällä bentseenirengasta. Esim. alkaanit, alkeenit ja alkyynit.

Anhydridi = Kemiallinen yhdiste joka syntyy aineen reagoidessa hapen kanssa ja muuttuu hapoksi tullessaan kosketuksiin veden kanssa. Yhdiste absorboi vetyä vedestä.

Aromaattinen = Yhdiste joka sisältää bentseenirenkaan

Autoklaavi = sterilointiin käytettävä laite

Barcolkovuus = Aineen kovuutta kuvaava suure, joka määritetään mittaamalla jousikuormitteisen, teräksisen kärjen aineeseen aiheuttama painauma.

Dispergoitua = hajaantua

Dispersio = Seos jossa aine on sekoittunut toiseen aineeseen hienojakoisena erillisenä faasina.

Eksoterminen = Lämpöä vapauttava reaktio.

Elektrofiilinen = elektronihakuinen

Esteri = Yhdiste, joka syntyy alkoholin ja karboksyylihapon reagoidessa keskenään.

Faasi = Yhtenäinen aineen olomuotoalue, joka erottuu selvästi toisista faaseista.

Harts = Suurimolekyylinen, nestemäinen tai jähmeä, luonnossa esiintyvä tai synteettisesti valmistettu aine. Muovikomposiitteihin liittyen tavallisesti kertamuovin raaka-aine, joka usein sisältää seos- ja apuaineita.

Hydrolyysi = Reaktio jossa yhdiste hajoaa vettä lisättäessä takaisin lähtöaineikseen.

Hystereesi = Kappaleen jonkin ominaisuuden riippuvuus kappaleen aikaisemmista vaiheista, jälkivaikutus

Inertti = Reaktiokyvytön, eli reaktioon osallistumaton aine.

Initiaattori = reaktion aloittava aine

Ionisidos = Positiivisen ja negatiivisen ionin välille syntyvä sidos.

Kationi = positiivinen ioni

Lasipiste = ks. lasiutumislämpötila

Lasiutumislämpötila = Termodynaamisten ominaisuuksien muutos piste. Lasiutumislämpötilan läheisyydessä mm. polymeerin viskositeetti ja monet ominaisuudet muuttuvat merkittävästi.

Moolimassa = yhden moolin suuruisen ainemäärän massa.

Nukleofiilinen = ydinhakuinen

Peroksidi = Oksidi jossa on vähintään kaksi toisiinsaakin yhtynyttä happiatomia.

Pigmentti = Hienojakoinen, liukenematon väriaine.

Radikaali = Hyvin reaktiivinen aineen rakenneyksikkö, jolla on pariton elektroni.

Ristisilloittuminen = Kemiallisten sidosten muodostuminen polymeeriketjujen välille. Esim. hartsin kovettuminen kertamuoviksi.

Stökiometrinen = Kemian osa-alue, joka tutkii aineiden määriä, niiden suhteita sekä näiden muuttumista kemiallisissa reaktioissa. Tunnetaan myös nimellä stoikiometria

Substituutio = korvaaminen

Tiksotrooppinen = Lepotilassa jähme, mutta sekoitamalla juoksevaksi muuttuva.

Vetomoduli = Lineaarisesti kimmoisen materiaalin tai materiaaliyhdistelmän kimmoduuli vedossa.

Viruminen = Kuormitetun kappaleen hidas, ajan mukana tapahtuva muodonmuutos, josta osa voi olla palautumatonta.

Viskositeetti = Sisäisestä kitkasta johtuva aineen virtauksen vastustuskykyä kuvaava suure.

1 JOHDANTO

Tämä työ on tehty ”Elektroniikan materiaalit” – kurssin tukimateriaaliksi opettajan pyynnöstä. Muovit ovat jääneet pienelle huomiolle elektroniikan koulutusohjelman kursseissa. Työllä pyritään korjaamaan tätä puutetta. Vaikka työ onkin lyhyt, sisältää se kurssilla käyville tietoa helposti saatavilla. Mikäli lukija haluaa syventyä aiheeseen, saa hän tästä työstä hyvän pohjan jatkotutkimuksilleen.

Työn aihetta sivuavia opinnäytetöitä on tehty Turussa, muttei vastaavaa kokonaisuutta. Theseus-verkkokirjastosta löytyy useita töitä töitä, joista voi esimerkiksi mainita Timo Nissisen joka kertoi hieman muovituotteiden valmistusmenetelmistä työssään ”Teollisen muotoilun valmistusmenetelmät”. Jesse Lindholm käsittelee muovilaatuja ja niiden ominaisuuksia työssään ”Esiselvitys muovikomposiitin käyttömahdollisuudesta sillan välitukipilarin pinnoitteena: kloridirasitusta vastaan”.

Työn tarkoituksena on saada aikaan käsikirja muoveista. Aluksi selvitetään, mitä muovit ovat. Paremman kuvan aikaansaamiseksi, käydään läpi muovin historiaa. Muovituotteiden valmistusmenetelmiä käsitellään myös. Tarkastellaan muovien valmistusta ja kulutusta Suomessa ja maailmalla, jotta lukija saa jonkinlaisen, kuvan miten suurista määristä on kyse. Myös eri muoviluokitukset käydään läpi ja tarkastellaan niin raaka-aineita kuin ominaisuuksia sekä käyttökohteita. Tämän lisäksi tarkastellaan, miten muoveja voi hyödyntää elektroniikan eri osa-alueilla. Elektroniikkatuotannossa muovit ovat suuressa käytössä niin tukirakenteina kuin tuotteiden koteloina. Suuri osa tuotetusta elektroniikasta päättyy jätteeksi nopeammin kuin aikaisemmin, joten materiaalien kierrätettävyyden on myös tärkeä osa tätä työtä.

2 Yleisesti muoveista

Muovi on nykyään niin yleisesti käytössä, että tuskin moni ajattelee sen laajuutta. Vaikuttaa siltä että suuri osa kaupasta ostetuista tuotteista on pakattu muoviin. Sama koskee myös käytössä olevia laitteita, jotka ovat muovilla päällystettyjä. On vaikea edes kuvitella, miten tämän päivän yhteiskunta toimisi ilman muovia tai jotakin vastaavaa ainetta.

Tuntuu siltä että moni on kiinnostunut siitä mistä tuote on kotoisin, kuka sen on valmistanut tai onko käytetty lapsityövoimaa. Vaikuttaa kuitenkin siltä että harvoin kysytään siitä kuka on kyseisen asian keksinyt. Keksittiinkö tuote täyttämään jonkin suuren tarpeen vai oliko sen syntymä pelkkää sattumaa. Tässä luvussa käsitellään muovien menneisyyttä ja kehittymistä.

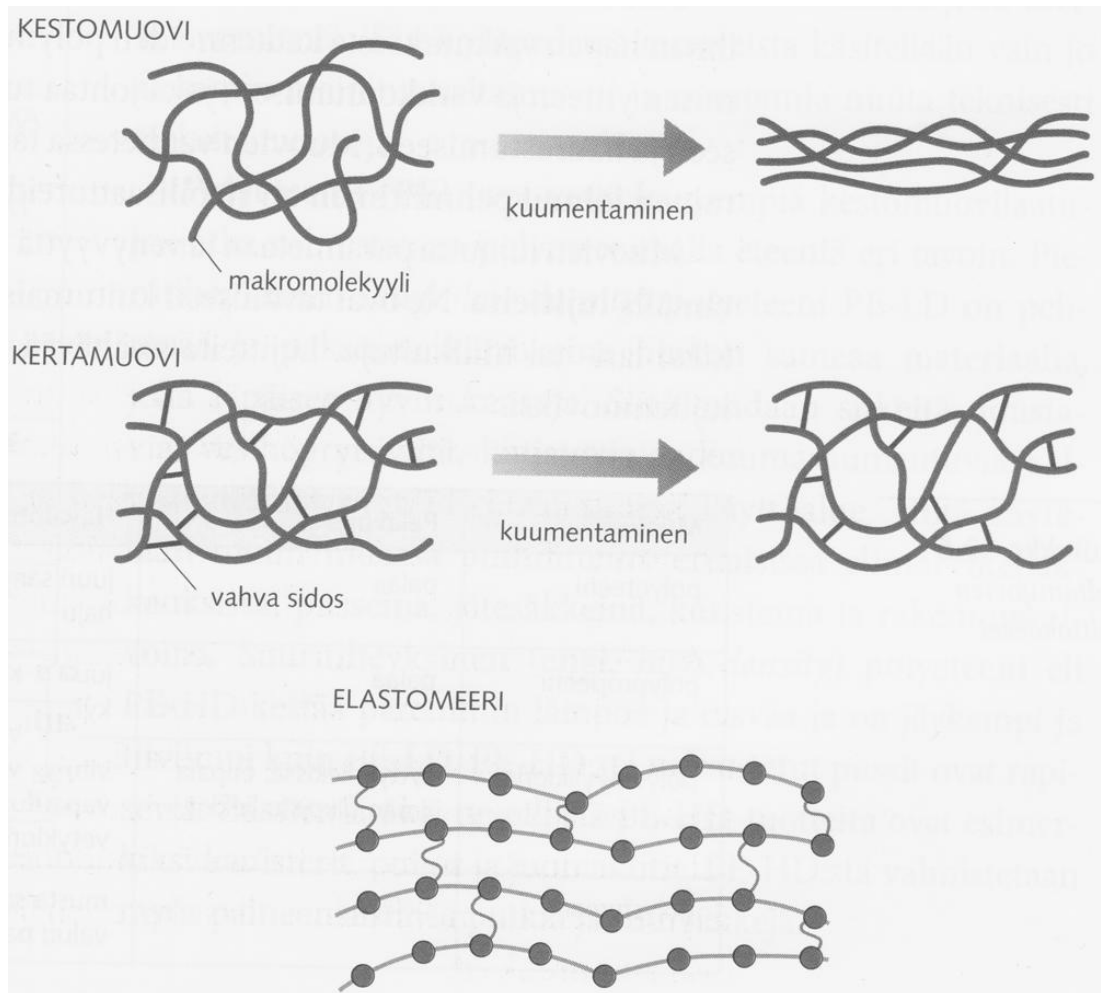
Selityksiä sille mitä muovit ovat, löytyy monesta eri paikasta. Yksinkertainen selitys löytyy Suomen luonnonsuojeluliiton julkaisemasta ”*Muovinen huominen*” kirjasesta:

”Muovit ovat kiinteitä materiaaleja, jotka koostuvat polymeereistä, joka on muovin tärkein ainesosa, sekä apu- ja lisäaineista. Polymeerit ovat pitkiä lankamaisia tai haaroittuneita molekyyliä tai niiden muodostamia verkkorakenteita.” [1]

Polymeerien valmistus aloitetaan tekemällä raaka-aineesta monomeerejä, esimerkiksi tislamalla raakaöljyä. Tämän jälkeen käytetään lämpöä, painetta ja katalyyttiä, joiden avulla saadaan monomeerit yhdistymään polymeereiksi eli molekyyliketjuiksi. Aineesta riippuen molekyyliketjut ovat haaroittuneita, haarattomia tai verkottuneita. Vaikka polymeerit ovatkin muovin keskeinen osa, niiden ominaisuudet harvoin sopivat tuotteiden valmistukseen. Tämän takia polymeerien lisäksi käytetään täyte-, apu- ja väriaineita sekä lujitteita. Näiden avulla saadaan muovin ominaisuuksia paranneltua tarkoituksiin sopivaksi.[2]

Muovit lajitellaan yleisesti kolmeen ryhmään: kertamuoveihin, kestopuoveihin ja elastomeereihin. Kertamuovit ovat nimenmukaisesti kertakäyttöisiä, eli niitä voidaan muovata vain kerran. Kun muovi on päässyt jäähtyessään asettumaan, se säilyttää tämän muodon, eikä sitä pysty muovaamaan uudelleen. Tämä myös hankaloittaa kertamuovien kierrätystä. Kestomuoveja voidaan muokata asettumisenkin jälkeen lämmittämällä ne uudestaan. Kestomuovi on amorfinen aine, eli se pehmenee hitaasti lämmitettäes-

sä, eikä sillä ole tarkkaa sulamispistettä. Uudelleen muovaamisomaisuutensa ansiosta kestopuovien kierrätys on helpompaa kuin kertapuovien. Elastomeerit ovat kerta- ja kestopuovien välimuoto. Niitä ei voi muovata uudestaan, kun ne ovat kerran asettuneet, mutta ne ovat joustavia ja ne pehmenevät lämmitettäessä. Kuvassa 2.1 näkee nämä rakenne erot. [3]



Kuva 2.1 Kerta- ja kestopuovien sekä elastomeerien periaatteelliset rakenteet [4]

2.1 Historia

Muovit ovat suhteellisen uusia materiaaleja, sillä niiden valmistus alkoi vasta 1800-luvulla. Tätä ennen käytettiin eläinten sarvia ja kilpikonnien kuoria vastaaviin tarkoituksiin. Englanninkielisissä teksteissä viitataan näihin käytettäessä nimitystä "natural plastic", luonnollinen muovi.

2.1.1 1800-luku

Yksi muovin kehitykseen todennäköisesti vaikuttanut aine on kumi. Kovakumi, joka keksittiin 1851, oli ensimmäinen valmistettu materiaali, joka lämmön ja paineen avulla saatiin asettumaan haluttuun muotoon. Se oli myös ensimmäinen aine, joka valmistettiin kemiallisesti muokkaamalla luonnollista ainetta, ja sitä käytettiin muun muassa eristeenä sähkösovelluksissa. Samoihin aikoihin saksalais-sveitsiläinen kemisti Christian Schönbein kehitti metodin, jolla selluloosaan lisättiin nitriittiä hallitusti. Tästä kehittyi kollodiumia, joka on selluloosaluos alkoholi-eetteriseoksessa. Alexander Parkes huomasi, että kollodiumin kuivuessa siitä jäi jäljelle kova, elastinen ja vedenpitävä aine. Hän patentoi vuonna 1856 kankaiden vedentivistysmenetelmän, joka pohjautui tähän aineeseen. Vuonna 1862 Lontoossa pidetyssä maailmannäyttelyssä Parkes esitteli uuden aineen, jonka hän oli nimennyt itsensä mukaan parkesiiniksi. Parkesiini on monien mielestä ensimmäinen muovi. Parkes perusti myös ensimmäisen parkesiiniä valmistavan yrityksen, mutta "the Parkesine Company" ajautui nopeasti konkurssiin. [5,6,7,8]

Amerikassa kiinnostuttiin myös nitroselluloosasta. 1865 John Hyatt oli mukana kehittämässä korvaavaa materiaalia biljardipalloja varten, joita valmistettiin silloin norsunluusta. Hän kehitteli aluksi yhdisteen palloja varten sekoittamalla kangasta, sellakkaa ja jauhettua norsunluuta. Tämän seoksen hän päällysti kollodiumilla. Mutta vuotta myöhemmin Hyatt oli mukana hakemassa patenttia luumaiselle aineelle, joka saatiin, kun yhdistettiin nitroselluloosaa ja kamferia. Vaikka Parker olikin maininnut työssään kamferin hyödyntämisestä pehmittimenä, vasta Hyatt huomasi sen todellisen arvon. Vuonna 1872 ainetta ruvettiin nimittämään selluloidiksi ja Hyatt perusti veljensä kanssa myös yhtiön valmistamaan sitä. He myös kehittivät samaan aikaan ensimmäisen ruiskukoneen. [5,6,7,8]

Nitroselluloosan jälkeen tärkein raaka-aine muovien alkuvaiheessa oli formaldehydi. Formaldehydin ja kaseiinin (maitoproteiini) reagoitessa saatiin muovimainen aine, joka alun perin kehitettiin, kun Saksassa oli kysyntää valkoiselle liitutaalulle. Ainetta alettiin myydä nimellä galaliitti, ja se muistuttaa norsunluuta koostumukseltaan. Britanniassa Arthur Smith patentoi fenolin ja formaldehydistä valmistetun hartsin korvikkeeksi kovamuoville eristeenä sähköratkaisuissa vuonna 1899. [5,6,7,8]

2.1.2 1900-luku

Tuotantomäärien kasvaessa ilmestyi tarve nitroselluloosan korvaamiselle, syynä oli nitroselluloosan helppo syttyvyys. 1900-luvulla kehitettiin tähän tarpeeseen selluloosa-asetaatti. Sitä käytettiin mm. suojakerroksena sen ajan lentokoneissa, jotta kangas olisi jäykkä sekä vesitiivis. Ensimmäinen polyvinyylikloridin patentti sekä sellofaani ovat molemmat 1910-luvun alkupuolelta. [5,6,7,8]

1907 Leo Baekland kehitti bakeliitin, joka on kova ja väriltään tumma sekä ensimmäinen täysin synteettinen polymeeri. Bakeliitti-hartsia oli yhdistelmä karboksyylihapoa ja formaldehydiä. Hartsia vahvistettiin täyteaineilla, yleensä kuiduilla tai puujauheella. Bakeliittista valmistettiin monia eri tuotteita. Sen hyvät eriste-ominaisuudet tekivät siitä mainion aineen muun muassa hiustenkuivaajiin, radioihin sekä kameroihin. Bakeliitin etuna oli myös pumainen ulkonäkö, jonka ansiosta se oli yleisesti käytössä autojen sisustuksissa. Kun 1920- ja 1930-luvulla saatiin uusia väri vaihtoehtoja, bakeliitista valmistettiin myös helmiä, rannerenkaita ja korvakoruja. [5,6,7,8]

Suuri askel muovialalla otettiin 1922, kun saksalainen Hermann Staudinger teki löydön työskennellessään synteettisen kumin kanssa. Hän huomasi, että muovit koostuvat tuhansista molekyylien muodostamista ketjuista. Staudingerille myönnettiin Nobelin kemianpalkinto vuonna 1935. [5]

1920-luvulla alkoi ureaformaldehydin tuotanto, joka oli hiilidioksidin, ammoniakkin ja formaldehydin sekoitus. Lopputulos oli vaalea ja muovailtava muovi, joka oli erittäin suosittua aterimien valmistusaineena. Tuotteiden ulkonäön sai muistuttamaan alabasteria, marmorin tai kiveä lisäämällä tuotantovaiheessa väri jauheita. Tämän ansiosta muovinen tuote ei ollut enää pelkästään käytännöllinen, vaan myös kaunis ratkaisu. Ureaformaldehydiä, joka myös tunnetaan karbamidiformaldehydinä, käytettiin myös laminaateissa, lakoissa ja sidosaineena. [5]

Ruiskuvalukone automatisoitiin vasta 1930-luvulla, vaikka itse menetelmä olikin keksitty jo 60 vuotta aikaisemmin. Menetelmä oli tähän asti ollut ongelmallinen ja, vaikka se automatisoinnin yhteydessä paranikin, sen kehitys jatkuu vielä. Ruiskuvalu on vielä tänä päivänäkin tärkein muoviesineiden valmistustekniikka. Toinen, suuri 1930-luvulla tapahtunut edistysaskel muovien saralla, oli raakaöljyn käyttöönotto raaka-aineena. Näiden kahden keksinnön ansiosta muoviteollisuuden tuotantomäärät kasvoivat. Tämän seurauksena muovista valmistettujen tuotteiden hinnat putosivat, joka toi ne pa-

remmin myös pienituloisten ulottuville. Polystyreeni, joka oli keksitty pari vuotta aikaisemmin, näki myös päivänvalon kaupallisissa tuotteissa 1937. Viiveen syynä oli se, että styreenin polymerisoitumisen estäminen varastointivaiheessa ei alussa ollut hintasyyistä kannattavaa. Myös akryyli (polymetyylimetakrylaatti) näki päivänvalon 1930-luvun puolivälissä. Akryyliä (puhekielessä usein käytetään nimitystä pleksi) alettiin käyttää lasin sijaan muun muassa lentokoneiden ohjaamoiden valmistuksessa. Vuosikymmenen lähestyessä loppuaan kodeista alkoi löytyä yhä enemmän muovista valmistettuja esineitä. Osasyynä tähän on todennäköisesti se, että yhä harvemmillä oli kotonaan palvelijoita, joten alustoista ja työvälineistä haluttiin helposti puhdistettavia ja kestäviä). [5,6,7,8]

1940-luvun alkupuolisko oli muoveille hyvä, vasta alkanut toinen maailmansota antoi työntöapua kasvussa olevalle muoviteollisuudelle. Sodan alettua maan sisällä tuotettujen materiaalien tarve kasvoi, koska kuljetusten vaikeutuessa, tuontimäärät laskivat. Maat keskittyivät pitkälti armeijoidensa varustamiseen ja tämän yhteydessä muoviteollisuudessa kehitettiin uusia tekniikoita ja materiaaleja, joista sodan jälkeen oli hyötyä myös kuluttajille. Nailon oli kehitetty jo 20-luvun lopulla ja oli ensimmäinen täysin ihmisten tekemä kuitu. Sen käyttö oli kuitenkin vähäistä ennen toista maailmansotaa, jossa sitä käytettiin muun muassa laskuvarjoissa. Tunnetumpaa alkuajoilta on kuitenkin nailonista valmistetut sukat ja sukkahousut. Toinen tunnettu muovi, joka keksittiin näihin aikoihin, oli polytetrafluorieteeni eli PTFE. Se tunnetaan kuitenkin paljon paremmin nimellä Teflon, jolla yhdysvaltalainen DuPont alkoi sitä myydä. [5,6,7,8]

Samoihin aikoihin alkoi myös PVC:n yleistymisen, varsinkin LP-levyjen keksimisen jälkeen. Toinen samaan aikaan yleistyvä aine oli melamiiniformaldehydiharts, jota käytettiin astiastojen valmistamisessa. 1950-luvun loppupuolella, näiden suosion ollessa korkeimmillaan, lähes 50 % myydyistä ruokailuvälineistä sisälsi kyseistä ainetta. Myös autoteollisuudessa oli huomattu muovit ja niiden ominaisuudet. Citroen toikin 1956 markkinoille automallin, jonka katto oli tehty polyesteristä, joka oli vahvistettu lasikuidulla. Muiden huomattessa miten hyvin yhdistelmä toimi, sitä alettiin käyttää yhä suuremmissa määrin autojen osissa sekä erityisesti veneissä. Vaikka polyeteeni (PE) olikin keksitty jo 1933, sen läpimurto tapahtui vasta 1950-luvulla. Syynä PE:n yleistymiselle oli uuden ja turvallisemman tuotantomenetelmän kehittyminen. Koska aineella on korkea sulamispiste, sitä pystyttiin käyttämään sellaisissa paikoissa, joissa muut muovit eivät olleet kestäneet. Käyttökohteita olivat muun muassa roskakorit, vauvoille tarkoitettut kylpyammeet sekä kemikaalien säilytykseen tarkoitettut säiliöt. Tunnetuin PE:tä hyö-

dyntävä tuotemerkki on varmaankin Tupperware. Myös vaatetusteollisuus alkoi hyödyntää muoveja yhä enemmän vuosisadan puolivälissä. Polyesteri, elastaani ja nailon ovat helposti pestäviä ja halpoja vaihtoehtoja luonnollisille kankaille. Naisten yhä suurenevissa määrin käydessä töissä, näille helppohoitoisille vaatetusteknologiaa oli suurta kysyntää. [5]

Muovien kehittymisestä oli suurta hyötyä 1960-luvulla, kun ihmisten kiinnostus muotia kohtaan kasvoi. Tässä yhteydessä markkinoille ilmestyi uusia innovatiivisia ratkaisuja, kuten suojaavalla pinnalla varustettua vaahtomuovia, kiiltäväpintaista polyuretaania sekä läpinäkyvää akryyliä. Sisustuksen puolella eksentriset suunnittelijat pääsivät toteuttamaan itseään tuoden markkinoille esimerkiksi täytettävät tuolit sekä akryylistä valmistetut lamput. Myös polypropeenista alettiin valmistaa kotitaloustuotteita, kuten kampoja, pullonkorkkeja ja sitruunanpuristimia. Suurin kilpajuoksu 1900-luvun toisella puoliskolla oli avaruuskilpa. Muovit olivat erittäin hyvä materiaali avaruusaluksissa, sillä ne olivat monikäyttöisiä ja kevyitä. Yhtenä esimerkkinä muovien suuresta käytöstä voidaan ottaa Neil Armstrongin kuuhun pystyttämä lippu, joka oli tehty nailonista.[5,7]

Muovien muodikkuus 1960-luvulla oli hetkellistä, sillä 70-luvulla tapahtui romahdus. Ihmiset halusivat taas enemmän luonnollisia materiaaleja koteihinsa. Muovin sijaan haluttiin taas niitä aineita, joita muovi oli varsinkin edellisellä vuosikymmenellä suurissa määrin korvannut, eli villaa, nahkaa, puuta ja metalleja. Samaan aikaan mieltymysten muuttumisen kanssa, maailmalla oli energiakriisi, jonka johdosta raaka-aineista oli pulaa. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun muovialalla oli taantuma. Toisaalta muovien osuus kulutuksen takana kasvoi. Teknologian kehittyessä muovia alettiin käyttää yhä enemmän korvaamaan metalleja. Varsinkin tietotekniikassa, joka oli näihin aikoihin vielä lapsenkengissään, käytettiin suuria määriä muovia. Myös sairaanhoitopuolella muovien käyttöaste nousi, johtuen muovien hygieenisistä ominaisuuksista. Vuosikymmenen loppupuolella alkanut Punk tyyliin sai aikaan kuluttajien muovikiinnostuksen kasvua. Vaatteissa ja muotiasusteissa alettiin hyödyntää erityisesti vinyyliä. Vaikka ala kärsikin pienimuotoisesta taantumasta, muovista monissa muodoissaan tuli maailman käytetyin raaka-aine 1976. [5,7]

Muovit ovat 1980-luvulla alkaneen tietoliikennetekniikan räjähdysmäisen kasvun yksi mahdollistaja. Tietokoneet, optiset kaapelit ja puhelimet käyttävät muoveja useisiin eri tarkoituksiin. Muoveista haetaan kestävyttä, eristyskykyä, joustavuutta ja keveyttä laitteisiin ja komponentteihin. Myös muut alat käyttävät muoveja enemmän ja enemmän. Esimerkkinä vaikkapa autoteollisuus, joka vuonna 1988 käytti 11 % enemmän

muovia tuotteissaan, verrattuna vuoteen 1974. 80-luvulla tehtiin ensimmäisiä kokeita lentokoneilla, jotka oli kokonaan valmistettu muovista. Lääketieteessä tehtiin suuri askel muovien hyödyntämisessä 1982, kun ensimmäinen keinosydän asennettiin ihmiseen. Monelle muoveista tutut kolmionmuotoiset kierrätysmerkit julkaistiin 1988. Merkkejä on nykyään käytössä 7, lisätietoa löytyy luvussa neljä. [5,7]

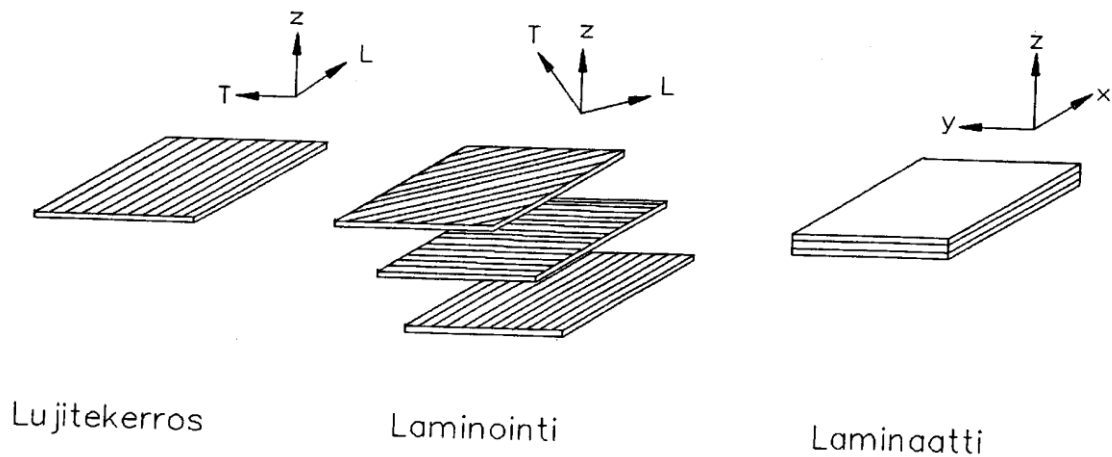
Kauppojen ja ostostottumusten muuttuessa sekä super- ja hypermarkettien synnyttyä, muoveja on myös alettu käyttää yhä enemmän päivittäistavaroiden pakkaamiseen. Kun ennen ostettiin ruoka-aineksia pienistä ja usein tiettyihin tuotteisiin erikoistuneista kaupoista, tuotteen paketoitiin vasta kaupassa joko paperiin tai suoraan asiakkaan omaan kassiin. 1900-luvun loppupuolella alettiin näitä tavaroita pakata yhä enemmän pienempinä erinä, jotka asiakas itse poimi hyllyistä. Muoveja hyödynnettiin yhä suuremmissa määrin myös pilaantumisen estämiseen. Muovien kehityksestä kertoo myös se, että niiden ominaisuudet alkoivat jopa olla paremmat kuin niiden aineiden, joita muovien piti matkia. Hyvänä esimerkkinä voidaan käyttää PVC:tä, josta saatiin tehtyä nahkan näköisen kankaan lisäksi marmoria tai graniittia imitoivaa pintamateriaalia. Nämä pintamateriaalit julkaistiin 80-luvulla ja ne olivat kovempia kuin kovapuu. [5]

2.2 Muoviosien valmistusmenetelmät

Kuten muoveja myös niiden valmistusmenetelmiä on monia. Perusmenetelmiä ovat laminointi-, puristus-, painevalu- ja suolakemenetelmät sekä valssaus. Näitä perusmenetelmiä on myös muokattu ja yhdistelty. [9]

2.2.1 Laminointimenetelmä

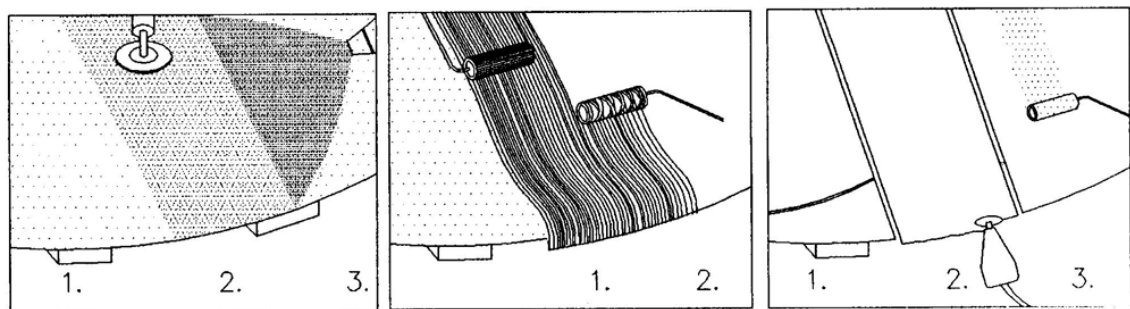
Laminointimenetelmiä ovat kuitukelaus, käsin- ja ruiskulaminointi sekä näiden muunnokset. Valmistus tapahtuu avomuotissa, jossa laminaatin kerrokset kovetetaan joko ali- tai ylipaineen puristuksessa tai ilman paineenmuutosta. Käsinlaminointi voidaan tehdä kahdella tavalla. Märkälaminoinnissa käytettävät lujitteet kostutetaan nestemäisellä hartsilla. Toinen vaihtoehto on kuivalaminointi, jossa käytetään esikäsiteltyä puoli- valmisteita. Kuivalaminointi tunnetaan myös nimellä prepreglaminointina, koska puoli- valmisteita kutsutaan prepregeiksi. Laminaattirakenne on esitettyä kuvassa 2.2. [9]



Kuva 2.2 Laminaattirakenne [9]

Käsinlaminointi

Käsinlaminoinnissa lujitetta laitetaan avonaiseen muottiin kerroksittain käyttäen käsiä ja käsityökaluja. Kerrokset kostutetaan hartsilla ja tehdään mahdollisimman tasaisia. Ilmakuplat poistetaan ilmanpoisteloilla. Hartsia voidaan märkälaminoinnissa levittää siveltimellä, maalausrullalla, lastalla tai ruiskuttamalla. Riippuen siitä miten työ tehdään ja mitä lujitetta käytetään, kostutus tapahtuu joko lujitteen alta, päältä tai molemmilta puolilta. Suosituksena on, että lujitteiden ilmanpoistotelaus tehdään erikseen jokaiselle kerrokselle, jotta saadaan paras lopputulos. Käsinlaminointiaessa suoritettavat työvaiheet ovat esitettynä kuvassa 2.3. [9]



1. Muotin kiillotus
2. Irrotusaineen levitys
3. Gelcoat levitys

1. Lujitteiden asetus ja kostutus hartsilla
2. Ilmanpoistotelaus

1. Kappaleen irrotus
2. Viimeistely
3. Pintamaalaus

Kuva 2.3 Käsinlaminoinnin perustyövaiheet [9]

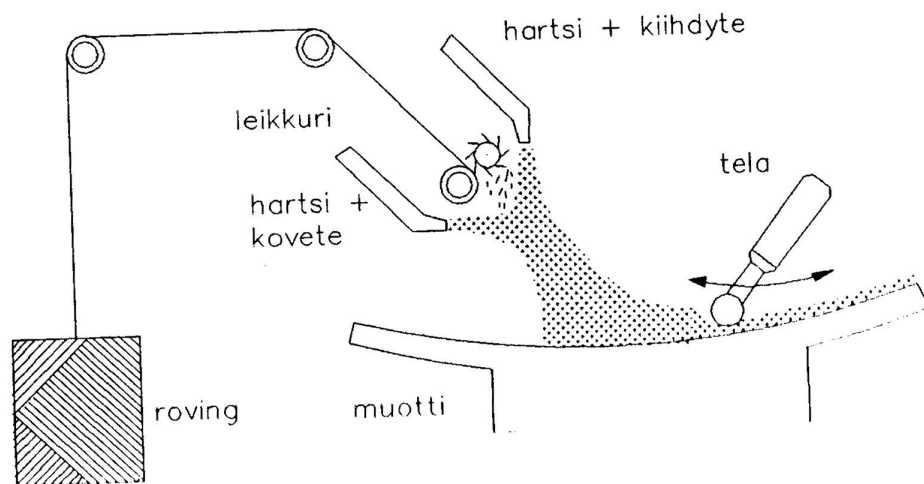
Useimmat lujitemuodot ja lujitetyypit sopivat käsinlaminointiin. Riippuen valmiin laminaatin käyttötarkoituksesta, voidaan käyttää eri lujitteita. Esimerkiksi halpaa kilohintaa ja hyvää lujuutta haettaessa, on lasikuitu oiva valinta lujitteeksi. Lasi-, hiili- tai ara-

midikuitukudokset ovat hyviä vaihtoehtoja, kun halutaan lujuutta, lämmönkestoa tai väsymyksenkestoa. Helppo kasteltavuus ja muovautuvuus ovat vaatimuksia käsinlaminoinnin lujitteille. Hartsien viskositeetti, haihtuvien liuottimien määrä sekä työskentelyaika ovat oleellisia tekijöitä työskentelyn kannalta. Nämä ominaisuudet ovat taas riippuvaisia ilmankosteudesta sekä tilan ja hartsin lämpötilasta. Viskositeettiin vaikuttaa liuottimena käytetyn aineen määrä sekä tyyppi. Työn tekemiseen kuluva aika riippuu valmistettavan osan koosta, työtilan olosuhteista ja valmistustavasta. Sitä voidaan säätää käyttämällä erilaisia hidaste-kiihdyte-koveteyhdistelmillä. Kovetusajan ollessa hyvin pitkä, joudutaan kovettumisasteen riittävyden varmistamiseksi käyttämään jälkikovetusta. Työsuojelumääräykset vaativat, että käsinlaminointia tehdään ilmastoidussa tilassa. [9]

Käsinlaminointi antaa suuren valinnan vapauden materiaalien ja rakenteiden suhteen. Käytettävät muotit voivat olla monimutkaisia ja suuria, kuitenkin kustannukset pysyvät kohtuullisina. Haittapuolena käsinlaminoinnissa on sen hitaus eli se ei sovi hyvin suurien sarjojen valmistukseen. Työn laatu riippuu myös pitkälti tekijän ammattitaidosta ja työtilassa on oltava hyvä ilmasto. [9]

Ruiskulaminointi

Ruiskulaminointi tehdään ns. ruiskupistoolilla, jonka avulla lujite ja hartsi ruiskutetaan muottiin pinnalle (kuva 2.4). Ruiskulaminoinnissa käytetään ohuita, lasikuidusta valmistettuja, kierteettömiä kuitukimppuja, jota kutsutaan rovingiksi. Roving-lujite syötetään leikkuriin, joka sijaitsee ruiskupistoolissa. Leikkuri pätkii lujitteen halutunkokoisiksi kuituiksi. Ruiskupistoolissa sekoitetaan myös hartsi ja kovete. Tämän hartsisuihkun sekaan lisätään lujitepätkät ja tämä seos ruiskutetaan muottiin. Ilmanpoisto tapahtuu myös ruiskulaminoinnissa telalla. Laminaatin kerroksien väliin voidaan asettaa ydinaine, sinne voidaan myös lisätä muita lujitteita tai kudoksia. Kovetus voidaan suorittaa huoneen lämmössä tai vähän nostetussa lämpötilassa. [9]



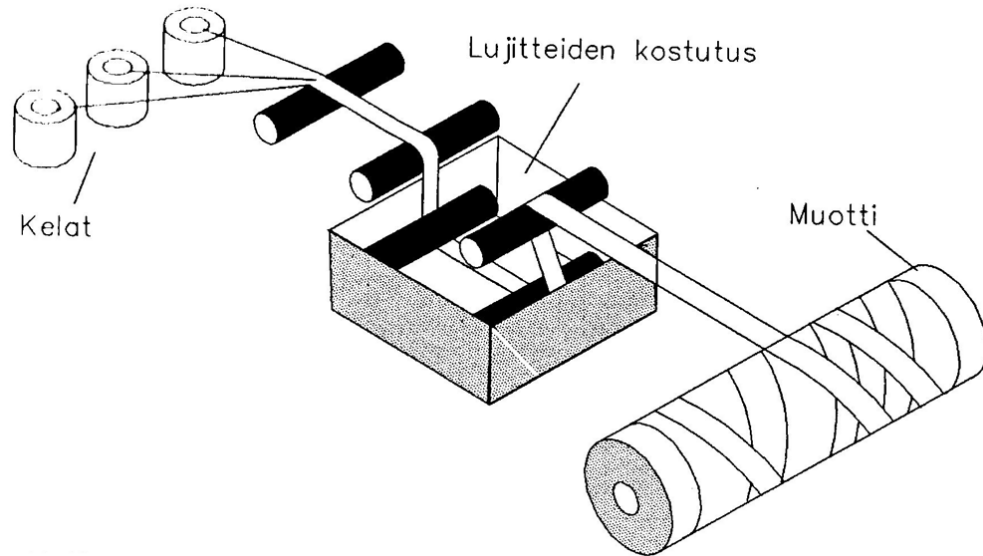
Kuva 2.4 Ruiskulaminoinnin periaate [9]

Laitteiston pääkomponentit ovat kovete- ja hartsipumput, kuituleikkuri sekä sekoituspää. Laitteet ovat aikalailla samanlaisia, suurinta valmistajakohtaista eroavuutta löytyy sekoituspäistä. Sekoitus malleja on kaksi erilaista, ulkoinen ja sisäinen sekoitus. Erona menetelmissä on hartsin ja kovetteen sekoitus paikka. Ulkoisessa sekoituksessa tapahtuu sekoitus pään ulkopuolella, kun taas sisäisessä se tehdään sekoituspäässä. Itse sekoittaminen voidaan toteuttaa joko matala- tai korkeapainesekoituksena. Matalapaine mallilla sekoittamisen apuvälineenä käytetään ilmaa, kun taas korkeapaineveriossa ilmaa ei tarvita. Tavallisin ruiskulaminointimenetelmä todennäköisesti on sisäinen matalapainesekoitus. Sekoitustavalla voidaan vaikuttaa hartsisuihkun leveyteen, ilmapitoisuuteen sekä kovetteen haihtumiseen. [9]

Ruiskulaminoinnin avulla voidaan valmistaa suurempia sarjoja kuin käsinlaminoimalla. Toisaalta tuotteen lujuusvaatimukset eivät voi olla yhtä kovat. Tavallisimmat ruiskuvalulla valmistetut tuotteet ovat pienet säiliöt, soutuveneet ja erilaiset muotokappaleet. Kuten käsinlaminoinnissa, ruiskulaminoinnissakin muottikulut ovat pieniä eivätkä ruiskulaitteistotkaan ole kovin kalliita. Ruiskulaminoinnin lujuusominaisuudet ovat aika huonot. Tämä johtuu siitä, että yleensä katkottu roving on ainoa käytetty lujite. Menetelmän kustannuksia välillisesti nostaa hyvän ilmaston ja työntekijän suojaamisen tarve. Ruiskulaminointia on tehty pääosin manuaalisesti, jolloin työn laatu riippui tekijän ammattitaidosta. Automatisointia tehdään yhä enemmän ja sen avulla saadaan tasaisempaa laatua. [9]

Kuitukelaus

Kuitukelauksella valmistetaan yleensä kartiomaisia tai sylinterimäisiä kuoria avomuotissa (kuva 2.5). Kuitukelauksesta on tehty myös kaksi muunnosta, punonta ja käärintä. Menetelmässä pyörivälle muotille johdetaan altaassa kostutettuja kuitukimppuja. Kun aineen vahvuus on haluttu, muotti joko siirretään kovetusuuniin tai sen annetaan kovettua huoneenlämmössä. Kovettumisen jälkeen muotti poistetaan. [9]



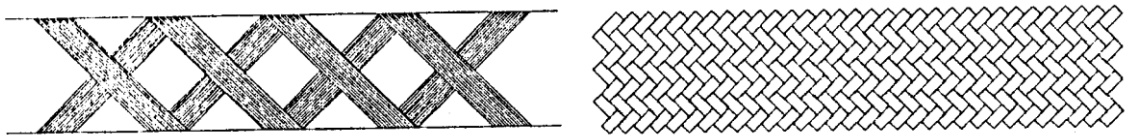
Kuva 2.5 Kuitukelauksen periaate [9]

Muuttamalla pyörivän muotin ja kastelualtaan liikkeitä pystytään vaikuttamaan kelauskulmaa. Nauhan leveyttä ja nousua voidaan muuttaa lisäämällä tai vähentämällä kuitukimppukelojen määrää. Yleensä nauhasta tehdään kerralla koko muottipinnan kattavaksi kerrokseksi. Tällä tavalla kuitukelaus on omiaan putkien valmistamiseen. Se on myös valmistusmenetelmän yksinkertaisin muoto. Vaativampien kappaleiden valmistus voidaan toteuttaa muuttamalla kelauksen asettelua. Mitä enemmän akseleita kelauskoneella on, sen vaikeammaksi laitteen ohjaus muuttuu. Nykyään ohjausta hallitaan paljolti tietokoneilla, joka mahdollistaa useamman akselin käytön kuin ihmisohjauksella. Kelauskoneen suunnittelussa tarvitsee ottaa huomioon monta asiaa. Lujitteen jännitys pitää olla kokoajan tasainen ja kelauspään pitää olla tarkka jokaisella kerroksella. Käännöksissä (esim. putkien päissä) tapahtuva materiaalihäviö pitää pystyä minimoimaan. Näiden lisäksi pitää myös miettiä muottien käsittelyä prosessin aikana. Lujitteen kostutus tapahtuu altaassa, joka sisältää puristeteloja. Kostutus on yksi suurimmista kelausnopeutta rajoittavista tekijöistä. Kelauksella valmistettaville kappaleille ei ole

olemassa teknistä ylärajaa. Vaakasuorassa olevalla koneella valmistetaan jopa 6 – 7 m halkaisijaltaan olevia putkia. [9]

Yleisempänä hartsina käytetään kelauksessa erilaisia polyestereitä. Kelauksessa hart-silta vaaditaan alhaista viskositeettiä, jotta kosteutus tapahtuisi nopeasti. Toinen tärkeä ominaisuus on pitkä työskentelyaika, jonka takia tuotetta pitää pystyä lämmittämään, jotta tuote ei kuivu eli kovetu liian nopeasti. Tuotteen kovetuttua, sitä ei voida enää muotoilla. Lämmitys toteutetaan joko lämpölamputta tai erillisessä kovetusuunissa. Kelattu tuote omaa yleensä hyvän lujuusarvon, koska lujitteet ovat suunnattuja sekä jatkuvia. Kelauksen avulla saadaan aikaan suuri lujitesisältö ja lujitteen suuntaus saa-daan kohdistettua halutusti. Kelauksella valmistettujen tuotteiden lujitus on halpaa ja metodin tuottavuus korkea. Tämän ansioista tuotteet ovat ominaisuuksiltaan ja hinnal-taan kilpailukykyisiä. Eniten kelauksella valmistetaan putkia ja säiliöitä. [9]

Punonta on lujitteen käsittelytapa, jossa kuitukimput pujotellaan toistensa ali ja yli. Pu-nonnan ja kelatun rakenteen erot näkyvät kuvassa 2.6. Näin saadaan aikaiseksi kaksi- ja kolmiulotteisia lujiterakenteita, jotka ovat yhtenäisiä. Punomalla on valmistettu esim. I-palkkeja, jäykistettyjä paneeleita, auton runkoja ja nokkakartioita. Punontakone itses-sään on vanha keksintö. Sen tärkein osa on lankarullien pyöritysjärjestelmä ja siihen lankojen ohjaimet. Punontaan voidaan käyttää joko kuivia lujitteita tai prepregeja. Kui-vien lujitteiden kostutus tehdään usein punontakoneen ulkopuolella, koska sisällä se olisi hankalaa. Punonnan edut esiintyvät erityisesti iskumaisissa kuormissa. Tällöin lomittain kulkevat lujitteet rajoittavat iskuvaurion etenemistä hyvin. [9]



Kelattu

Punottu

Kuva 2.6 Kelattu ja punottu rakenne [9]

Toinen kuitukelauksen muunnos on käärintä, joka on kehitetty pyörähdyssymmetristen ohutkuoristen kappaleiden valmistukseen. Käärinnässä käytetään puolivalmiita materi-aaleja joko prepregina tai esikostutettuna. Materiaali leikataan valmiiksi valmistettavan kappaleen pituisiksi aihioiksi. Nämä kääritään mekaanisesti muotin päälle, jonka jäl-keen kappale kovetetaan. Prepregit tarvitsevat painetta kovettumista varten, joka saa-daan aikaan esim. kutistuskalvolla tai painesäkillä. Yleisesti käärimällä valmistetaan

urheiluvälineitä tai niiden varsia, jotka ovat ohutseinäisiä. Menetelmän hyviä puolia on nopeus ja automatisoitavuus. Prepregien käärintä on erikoismenetelmä, jolla valmistetaan ohutseinäisiä putkia. Valmistetut tuotteet omaavat korkean lujuusarvon ja ovat mittatarkkoja. Haittapuolena on, ettei menetelmällä voida valmistaa kovin suurta halkaisijaa ja paksuja seinämiä omaavia tuotteita. [9]

2.2.2 Painevalumenetelmät

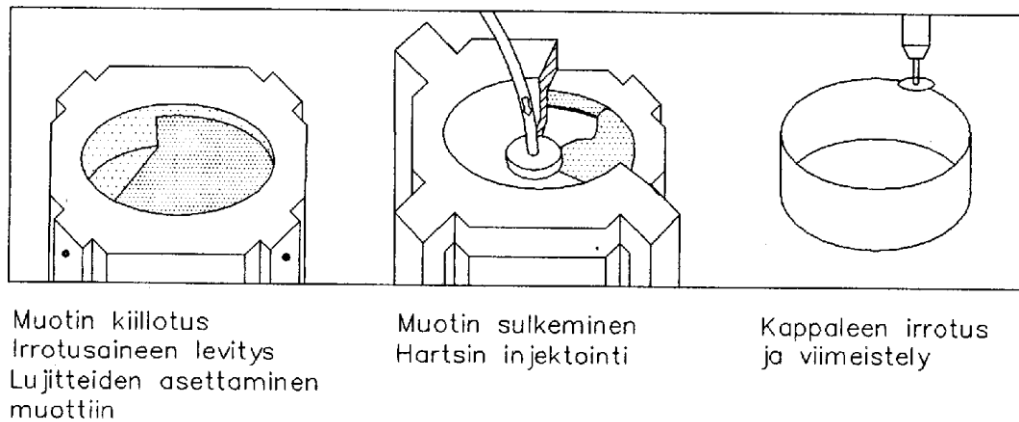
Laminoinnin tapaan myös painevalumenetelmiä on useita: hartsi-injektio ja sen muunnokset, ruiskuvalu, reaktiovalu sekä keskipakovalu. [9]

Hartsi-injektio

Hartsi-injektio tunnetaan myös RTM-menetelmänä (engl. Resin Transfer Molding). Siinä lujite tai lujiteaiho asetetaan muottiin, joka suljetaan. Tämän jälkeen muottiin injektoidaan hartsi ja kappaleen annetaan kovettua. Muotista poistamisen jälkeen kappale viimeistellään (kuva 2.7). Menetelmässä käytetään kudosa- ja mattolujitteita. Yleensä käytetään katkokuitu- ja jatkuvakuitumattoja vuorotellen. Pelkällä katkokuitumatolla ei saada tasaista lujitejakautumaa, koska hartsin injektointiin käytetyn paineen ansiosta se pyrkii siirtymään. Lopputuloksen kannalta on siis oleellista, että lujitetta on oikea määrä ja se on asetettu oikein. Lujitteet kiinnitetään yleensä toisiinsa, joko mekaanisesti tai esim. liimanauhojen avulla. Hartseilta vaadittavat ominaisuudet riippuvat halutusta lopputuloksesta. Injektion nopeuden parantamiseksi viskositeetin tulisi olla mahdollisimman pieni. Menetelmä sallii täyteaineiden suurenkin käytön. Sitä voi olla jopa 50 % hartsin määrästä. Täyteaineita käytetään, kun halutaan kustannussäästöjä tai erikoisominaisuuksia, esimerkiksi palonkestävyyttä. [9]

RTM:ssä lujitteet asetellaan kerroksittain ja leikataan oikean kokoisiksi paloiksi. Tämä työvaihe on hidas ja tästä syystä sen nopeuttamiseksi on keksitty pari erilaista tapaa. Ensimmäinen vaihtoehto on ostaa valmiita jatkuvakuitumattoja. Nämä voidaan lämmön avulla muotoilla apumuotin päällä lähelle tuotteen haluttua muotoa. Tämä ominaisuus saadaan aikaan kestonuovipohjaisella sideaineella. Toinen nopeuttamismenetelmä on suihkuttaa sideainetta ja lyhyitä katkokuituja muotin päälle. Muotti on ensin muotoiltu halutun malliseksi ja rei'itetty. Suihkutuksen aikana muottiin johdetaan alipainetta, jonka avulla kuidut ja sideaine pysyvät paikallaan kunnes ovat kovettuneet. Ensimmäinen menetelmä on parempi laakeampien tuotteiden valmistuksessa, kun taas monimutkai-

semmat ja syvemmät kannattaa tehdä toisella. Ruiskuttamalla voidaan kappaleen lujuitepuuksia vaihdella kerroksittain. [9]



Kuva 2.7 Hartsin-injektio-menetelmän periaate [9]

RTM on suljetun muotin menetelmä, joka tarkoittaa sitä että valmistettavan tuotteen molemmat pinnat ovat sileitä. Muutaman kymmenen tai sadan kappaleen sarjasta saadaan jo yleensä taloudellisesti kannattava. Itse muotit ovat kalliimpia kuin käsinlaminoinnissa käytettävät. Tämä johtuu siitä, että muotin on kestävä injektioainetta. RTM muotti tarvitsee myös kaksi puoliskoja ja kiinnitysmekanismiin. [9]

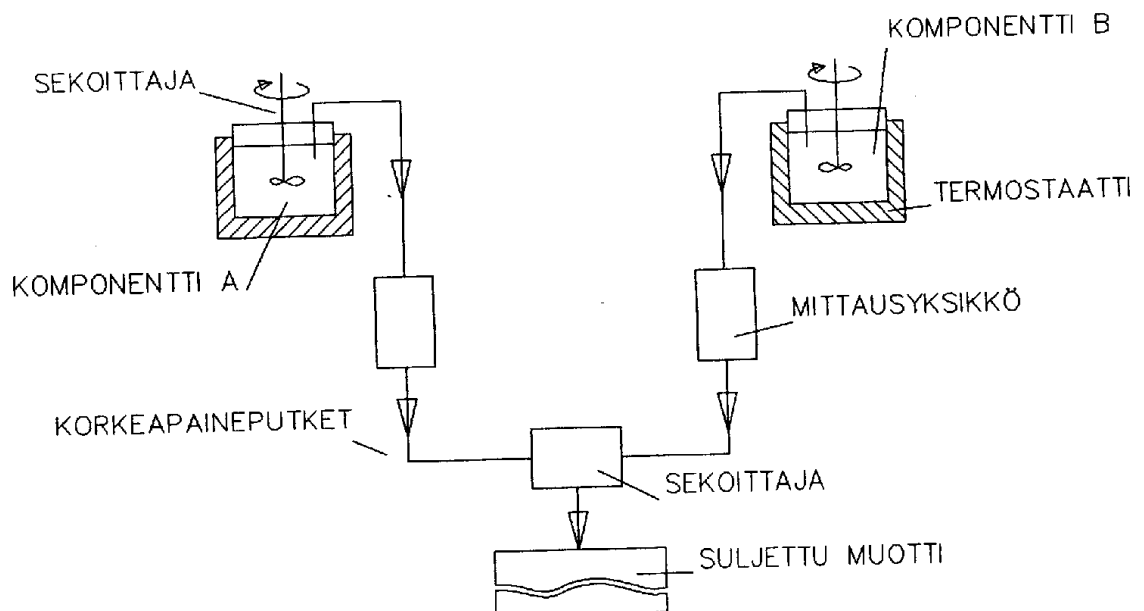
Alipaine-RTM on RTM-menetelmän ensimmäinen muunnos. Sitä voidaan käyttää, mikäli valmistettavan tuotteen toinen pinta saa olla epätasainen. Käytettäessä alipaine-RTM:ää toisen muottipinnan tilalle laitetaan alipainesäkki. Hartsia lisätään tämän jälkeen joko käyttäen alipainetta tai ali- ja ylipaineen yhdistelmää. Mikäli käytetään yhdistettä, täytyy ylipaineen olla pienempi kuin alipaineen, jotta menetelmä toimisi. Alipaine-RTM:n etuna ovat etenkin suuria kappaleita tehdessä normaalia RTM:ää pienemmät muottikustannukset. Työskentely on myös nopeampaa kuin käsinlaminointi, eikä työntekijä altistu liuotinhöyryille. Alipaine-RTM:stä on olemassa myös muunnos. Siinä hartsia kaadetaan muotin pohjalla olevan lujitteen päälle. Tämän jälkeen käytetään joustavaa kalvoa ja alipainetta laminaatin kostuttamiseen. [9]

RTM-menetelmän toinen muunnos on suurnopeus-RTM. RTM on tavallisesti hidas menetelmä, joten sitä on kehitetty sopivammaksi isommille sarjoille. Nopeampaa tuotantoa tavoiteltaessa tuotteen muotissa viettämä aika pitää saada mahdollisimman pieneksi. Toinen vaihtoehto olisi lisätä muottien lukumäärää, joka lisäisi tarvittavan tuotantotilan kokoa. Tuotantonopeutta voidaan kasvattaa käyttämällä lujiteainehioita, lämmittämällä hartsia, lämmittämällä muottia, käyttämällä useampaa injektio pistettä tai lisää-

mällä injektiopainetta ja käyttämällä samanaikaisesti alipainetta. Muotin ja hartsin lämmityksellä saadaan hartsin viskositeettiä laskettua ja tämän ansiosta sen virtausvastus pienenee. Korotetun lämpötilan ansiosta myös laminaatin kovettuminen on nopeampaa. Menetelmää koetetaan kokoajan parantaa etsimällä parempia hartsityyppejä ja kovetustapoja. [9]

Reaktiovalu

Reaktiovalusta käytetään lyhennettä RIM (engl. Reaction Injection Molding). RIM-menetelmä kehitettiin polyuretaanisolumuovin valmistusta varten. Menetelmä toimii siten, että kaksi pääkomponenttia sekoitetaan ja injektoidaan suljettuun muottiin. Menetelmän periaate on esiteltynä kuvassa 2.8. Kun käytetään lyhyttä kuitulujitusta, käytetään yleisesti lyhennettä RRIM, Reinforced Reaction Injection Molding. Yleensä muotit suljetaan muottipuristimella, joka myös pitää muotin kiinni prosessin aikana. Sen avulla voidaan myös kääntää muottia, jotta sopiva injektointiasento löytyy. Tavallisesti lähtöraaka-aineena käytetään isosyanaattia ja polyolia. Ne sekoitetaan ja kierrätetään putkistossa, jotta ne eivät saostuisi. Ennen injektointia ne johdetaan korkeapaineputkissa sekoittajaan. Itse injektio tapahtuu muutamassa sekunnissa, valmistettavan kappaleen koosta riippuen. Menetelmä käyttää muihin suljetun muotin menetelmiin verrattuna alhaista painetta. Pienen paineen ansiosta voidaan käyttää halvempia muotteja ja puristimia. [9]



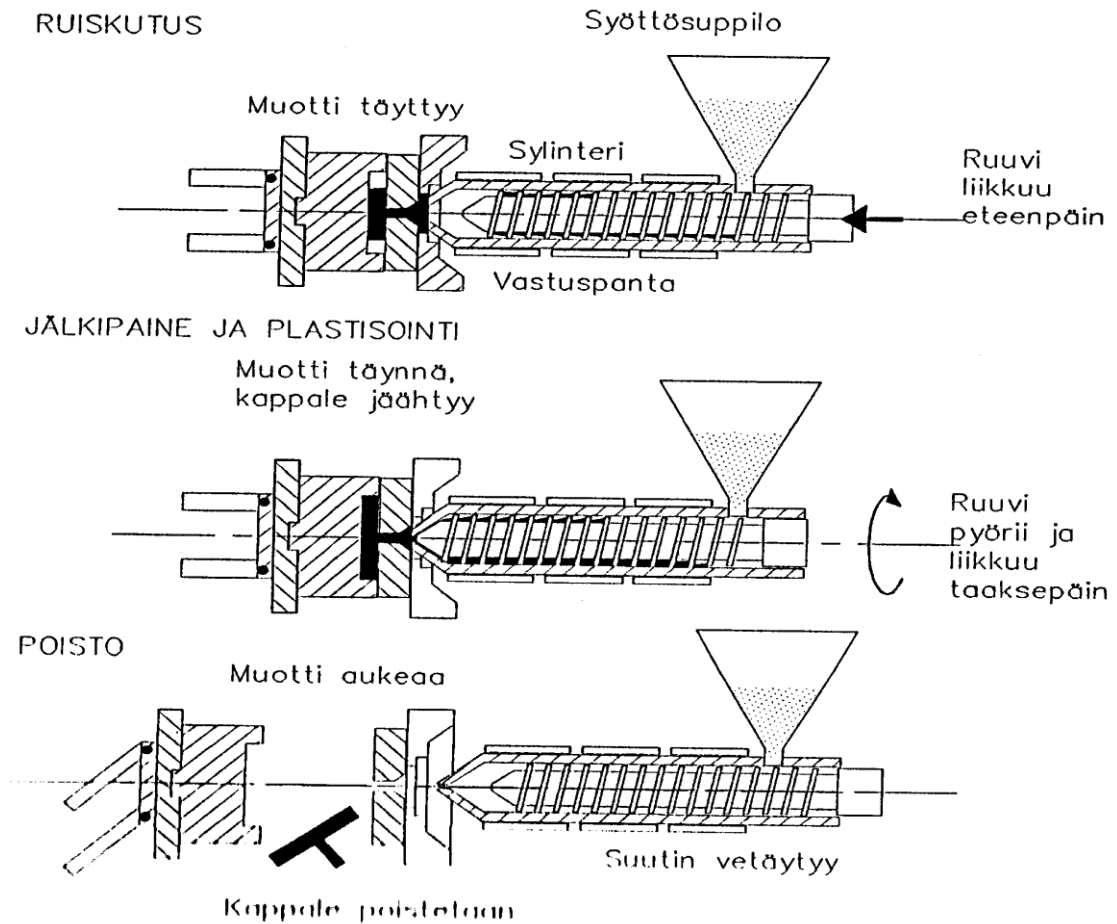
Kuva 2.8 Reaktiovalu-menetelmän periaate [18]

RIM-menetelmällä valmistetut tuotteet eroavat selvästi muista muoveista. Niillä on vain murto-osa mattolaminaatin jäykkyydestä, mutta niiden murtovenymät ovat moninkertaiset. Vaihtamalla perusraaka-ainetta ja käyttämällä eri täyteaineita, voidaan muokata lopputuotteen ominaisuuksia. Menetelmällä valmistetut kappaleet ovat harvoin kantavia rakenteita, johtuen alhaisista kimmokertoimistaan ja lujuusarvoistaan. Ne sopivat kuitenkin hyvin sellaiseen käyttöön, jossa tarvitaan suurta joustavuutta ja iskulujuutta, kuten esimerkiksi auton puskurin osat. [9]

RRIM-menetelmällä tuotettujen tuotteiden lujuusarvot jäävät pieniksi ja tästä syystä on kehitetty SRIM. Structural Reaction Injection Molding eli lujiteaihoita käyttävä RIM käyttää nimensä mukaan valmiita lujite-aihoita. Menetelmä on samantyylinen hartsinjektion kanssa. SRIM:ssä käytetään yleensä polyuretaanihartsia, jonka ruiskutustahtuma on paljon nopeampi kuin perinteinen RTM. Koska hartsia syötetään suurella vauhdilla, tarvitaan lujitteita, jotka eivät liiku hartsin mukana. Lujitteena käytetään harvoja kudoksia, jatkuvakuituisia mattoja tai näistä tehtyä paremmin muotonsa säilyttävää aihiota. Toinen nopean hartsinjektion ongelma on ilmanpoisto. Ongelmaan on monta ratkaisua, esimerkiksi muottiin voidaan muodostaa alipaine tai käyttämällä puoliläpäisevää vaahtoa muotin reunoilla. Vaahto päästää ilman läpi, mutta kun hartsintama täyttää vaahton, se tiivistyy. Myös muotin reunojen väliin puristettu jatkuvakuitumatto ajaa osittain samaa asiaa. [9]

2.2.2.1 Ruiskuvalu

Yksi tärkeimpiä kestopuovikappaleiden valmistusmenetelmistä on ruiskuvalu. Menetelmässä materiaali syötetään syöttösuppilon, joka johtaa sen ruuville. Ruiskuvalukoneen ruuvi siirtää materiaalia eteenpäin, tämän siirtymisen aikana kestopuovit plastisoitetaan ja kertamuovi lämmitetään hallitusti. Kun ainetta on ruuvien etupäässä tarpeeksi paljon valmistettavaa kappaletta varten, ruuvi työntää sulan tai pehmeän massan muottiin (kuva 2.9). Materiaalin takaisinvalumisen estämiseksi ruuvi on varustettu sulkurenkaalla. Ruuvien edessä sijaitsevassa sylinterissä on sulkusuutin, jonka avulla massan virtausta säädelään. Käytettävän materiaalin ja valmistettavan kappaleen ulkomuodon perusteella päätetään, kuinka suurta painetta valmistuksessa tarvitaan. Kestomuoveilla valmistettaessa muotti pitää jäähdyttää, kun taas kertamuoveilla se on lämmitettävä. Muotit valmistetaan korkealaatuisesta työkaluteräksestä, koska niiden täytyy kestää korkeitakin paineita ja useita käyttökertoja ruiskuvalun suurten tuotantosarjojen vuoksi. [9]



Kuva 2.9 Ruiskuvalun perustyövaiheet [9]

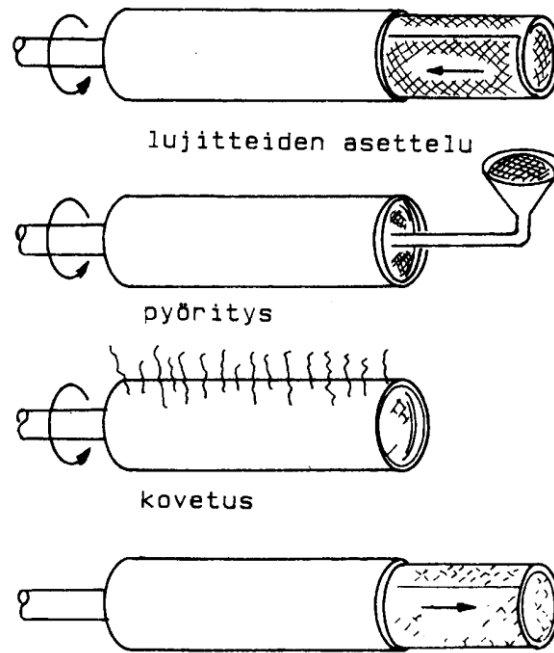
Ruiskuvalussa käytettävät muotit ovat kalliita. Yksi hintaan vaikuttavista tekijöistä on muottien rakenteen monimutkaisuus. Ruiskutuskanavisto, jonne sula massa työnnetään ruuvilta, sisältyy muottiin ja se on aina suunniteltava valmistettavan kappaleen tarpeiden mukaan. Tämä kanavajärjestelmä sisältää syöttökanavan, jakokanaviston ja portin. Näiden lisäksi muotissa on myös kiinnitysmekanismi, ohjausjärjestelmän sekä kappaleen ulostyöntäjän. Kestomuovikappaleiden valmistukseen tarkoitetuissa muotteissa saattaa ruiskutuskanavisto olla lämmitetty. Tämä siksi, ettei muovimassa ehtisi jäähtyä ja takertua kanavan seinämiin. Ruiskuvalukoneen koko määräytyy kolmen tekijän mukaan. Ne ovat puristusvoima, annoksen suuruus sekä maksimaalinen toteutettavissa olevan muottikoko. Muottien sulkuyksiköt ovat joko hydraulisia tai polviniveliin perustuvia ja niiden pääpuristussuunta voi olla joko pysty tai vaakatasossa. Ruiskuvalukoneiden muut erot ovat niiden laadussa, rungon jäykkyydessä sekä ohjausjärjestelmissä. [9]

Kun valmistetaan kappaleita lujitetusta kerta- tai kestopuovista tarvitaan yleensä erilainen ruuvi. Näiden tarkoituksena on pitää lujitteiden pilkkominen minimissään siirron ja puristuksen aikana. Yhtenä ratkaisuna ongelmaan on käyttää kaksoisruuveja, tällöin massa liikkuu ruuvien välissä olevassa tilassa. Tämä väli on mitoitettu niin, että lujitteesta mahdollisimman vähän osuu ruuveihin. Toinen menetelmä on käyttää kaksivaiheista muottia. Ensimmäinen vaihe on ruiskuttaa materiaali alhaisella paineella laajoissa valukanavissa. Toisessa vaiheessa tapahtuu loppupuristus. Tällä tavoin pyritään siihen, että muottiin saapuvat lujitteet olisivat mahdollisimman pitkiä ja ehiä. Kuten arvata saattaa, molemmat menetelmät aiheuttavat kasvua muottien hinnassa. [9]

Ruiskuvalu ei sovellu suurien kappaleiden valmistukseen ja sarjakoko kannattaa pitää suurena korkeiden muottikustannusten vuoksi. Kuitulujuituksella haetaan kappaleille suuria kimmoke- ja lujuusarvoja, alhaista lämpölaajenemista tai suurta lämmönkestokykyä. Lujitteiden vaikutus pienenee ruiskuvalukoneen ruuvissa, sillä se katkoo lujitteita muokatessaan materiaalia. Tätä ongelmaa koetetaan ratkoa kehittämällä uusia materiaaleja ruiskuvalua varten. Lujitteet pyrkivät suuntautumaan virtauksen mukaan, joka johtaa siihen, että ruiskuvalulla valmistetut tuotteet saattavat olla hyvinkin epäisotrooppisia. Lujitetuissa muoveissa myös kylmäsaumat ovat ongelmallisempia kuin lujittamattomissa. [9]

Keskipakovalu

Keskipakovalussa hyödynnetään keskipakovoimaa, josta menetelmä on myös saanut nimensä. Menetelmässä käytetään pyörähdyssymmetristä muottia, jonka sisälle asetetaan lujitteet. Muotti laitetaan pyörimään ja siihen kaadetaan tai ruiskutetaan hartsi tasaiseksi kerrokseksi. Muotin pyöriessä keskipakovoima vaikuttaa muotin sisällä. Voiman avulla lujite kostuu ja ilma poistuu laminaatista (kuva 2.10). Menetelmällä voidaan valmistaa pyörähdyssymmetrisiä osia, esimerkiksi putkia ja vaippoja. Koska kappaleet valmistetaan keskipakovoiman avulla, niiden seinämät tulevat aina olemaan lähes tasavahvat. Jos halutaan toisen seinämän olevan toista seinää vahvempi, tämä menetelmä ei ole oikea valinta. Lujitteina käytetään yleensä katkokuitumattoa tai kudosta. Kuitukelauksella valmistetuissa tuotteissa hyvin toimiva roving ei sovi keskipakovaluun. Kelattuihin putkiin verrattuna keskivalulla valmistettujen putkien ulkopinta on sileä. Keskipakovalun avulla voidaan edullisesti kasvattaa seinämävahvuutta käyttämällä suurempia määriä täyteaineita. Tällä saadaan myös kasvatettua seinämän paikallista jäykkyyttä. [9]

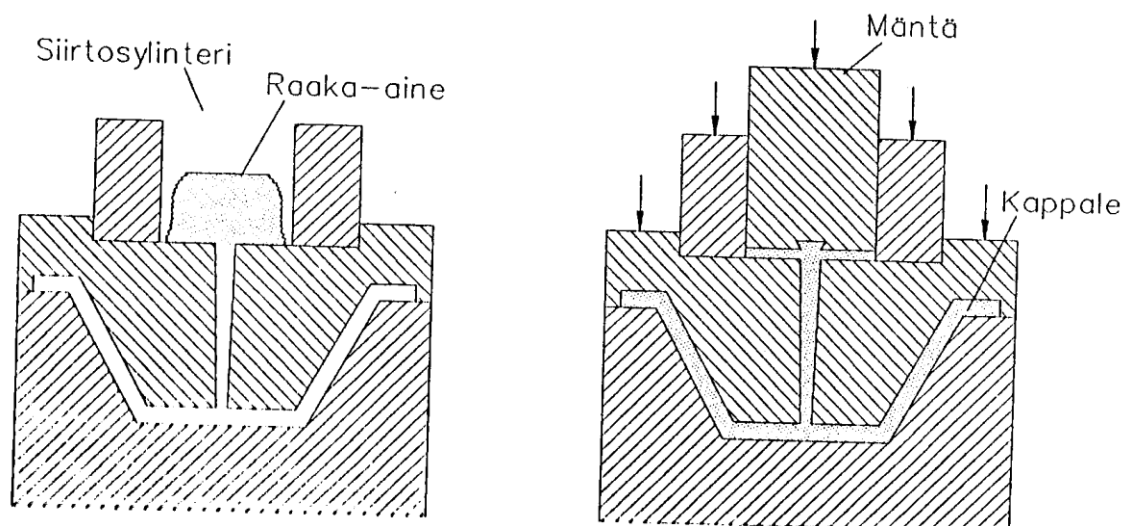


Kuva 2.10 Keskipakovalun eri työvaiheet [9]

2.2.3 Puristusmenetelmät

Siirtopuristus

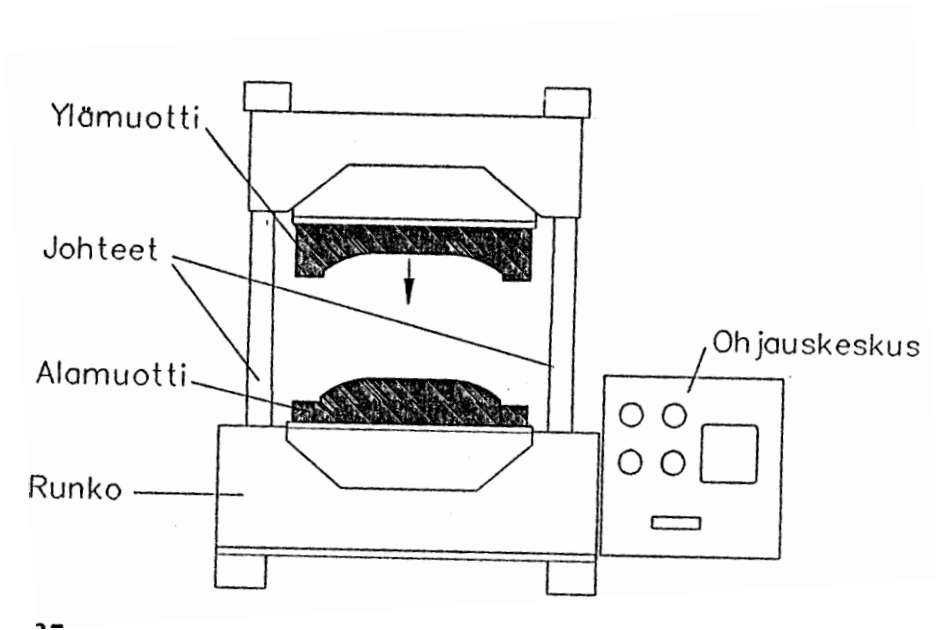
Siirtopuristuksessa käytettävä raaka-aine laitetaan erilliseen siirtosylinteriin. Aineen lämmittämisen jälkeen se puristetaan männän avulla muottiin. Siirtopuristusta voidaan käyttää monimutkaisempien kappaleiden valmistamiseen kuin ahtopuristusta. Menetelmän periaate näkyy esitettynä kuvassa 2.11. Raaka-aineena voidaan käyttää samoja materiaaleja kuin ruiskuvalussa. Muottiaika on siirtopuristuksessa isompi kuin ruiskuvalussa ja myös raaka-ainehukka on suurempi. Toisaalta itse laite- ja muottikustannukset ovat alhaisemmat. [9]



Kuva 2.11 Siirtopuristuksen periaate [9]

Ahtopuristus

Ahtopuristuksessa käytetään suljettuja muotteja ja puristinta (kuva 2.12). Puristusmenetelmät vaihtelevat käytettävän raaka-aineen mukaan, mutta valmistustapahtuma on kuitenkin kaikille samantyyppinen. Aukinaiseen muottiin lisätään käytettävä raaka-aine jonka jälkeen muotti suljetaan. Itse puristuksessa käytetään materiaalikohtaisia puristuspaineita ja -nopeuksia sekä lämpötiloja. Puristimissa on kaksi puristinlevyä joihin muottipuoliskot ovat kiinnitetty. Puristinlevyt voivat olla lämmitettäviä, mikäli raaka-aine sitä vaatii. Yleisesti puristusvoima tuotetaan hydraulisesti joko yhdellä tai useammalla hydraulisylinterillä. Muotit ovat suurimmillaan suurin piirtein kahden neliömetrin kokoisia. Puristimien tekniset ominaisuudet eroavat toisistaan aika paljon. Suurin mahdollinen kappalekoko sekä materiaalivaihtoehdot määräytyvät kolmesta asiasta. Nämä ovat puristusvoima, puristuslevyjen vapaa pinta-ala sekä avautumismatka. Myös puristuslevyjen maksimilämpötila ja jäähdytyksen teho vaihtelevat. [9]

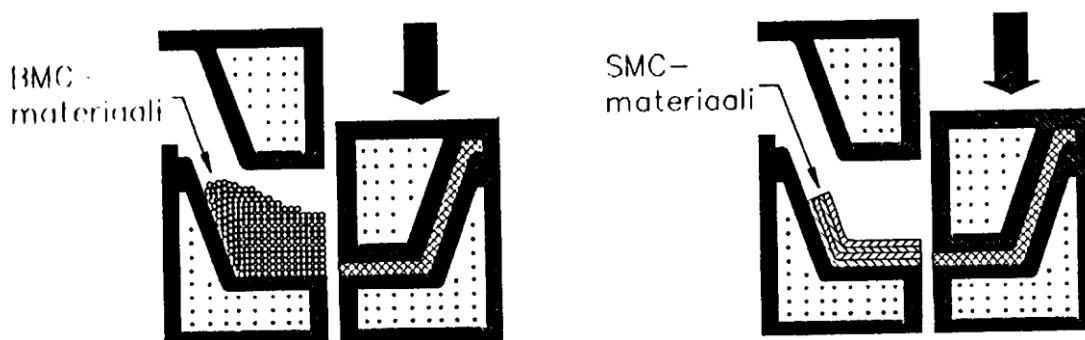


Kuva 2.12 Ahtopuristin [9]

Puristinta käyttävät puristusmenetelmät jaetaan yleensä kylmä- ja kuumapuristukseen. Menetelmät ovat lähes identtiset, ainoana erona on miten massan kovettuminen saadaan aikaan, lämmöllä vai ilman. Menetelmässä laitetaan lujite tai lujiteaiho muottiin ja sen päälle kaadetaan hartsiseos. Lopuksi muotti suljetaan ja kappaleen annetaan kovettua. Muoteille ei menetelmässä aseteta suuria vaatimuksia, koska puristusaine on alhainen. Menetelmä sopii parhaiten parin tuhannen kappaleen sarjojen valmistukseen ja yksinkertaisille muodoille. Hartsissa käytetään erittäin pieniä määriä täyteaineita. Lujuusominaisuuksiltaan menetelmällä valmistetut kappaleet ovat siis samalla tasolla mattolujitteisten käsinlaminoitujen laminaattien kanssa. [9]

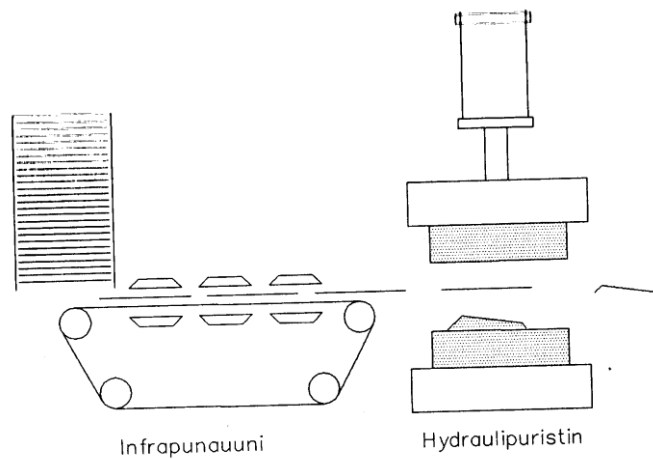
Kuumapuristuksesta löytyy monta muunnosta, jotka kuitenkin tosiasiansa ovat eri puolivalmisteiden kuumapuristamista. Taikinamaista massaa käytettäessä kyseessä on BMC (engl. Bulk Molding Compound) ja puolivalmisteen ollessa parin millimetrin taipuisa levy, josta käytetään nimitystä SMC (engl. Sheet Molding Compound) (kuva 2.13). Näissä menetelmissä raaka-aine annostellaan muottiin ja kovetetaan korotetussa lämpötilassa. Itse puristusprosessi on vaativampi kuin kuuma- tai kylmäpuristuksessa. Materiaalin asettelu on tärkeää etenkin SMC:lle. Materiaali asetetaan yleisesti muottiin pyramidimaiseen kasaan niin, että noin 70 % muotin pinta-alasta täyttyy. Raaka-ainetta pitää olla oikea määrä ja myös muotin pintalämpötilaa pitää tarkkailla kokoajan. Kumpikaan menetelmä ei ole taloudellisesti kannattava pienissä sarjoissa. SMC vaatii suurisarjatuotantoa, mutta BMC:lle riittää noin tuhannen kappaleen sarjat. BMC:tä voi myös

siirtopuristaa ja ruiskuvalaa. Sekä BMC:ssä että SMC:ssä on paljon erilaisia täyte- ja lisäaineita fysikaalisten ominaisuuksien muokkaamista varten. Molemmista löytyy vaihtoehtoja toimittajien varastoista, mutta suurvalmistajat tekevät itse puolivalmisteensa. Tyypillisiä tuotteita, joita valmistetaan BMC:stä, ovat sähköteollisuuden rasiat ja kotelot. SMC:stä valmistetaan levymäisiä osia, kuten korin osia autoteollisuudelle. [9]



Kuva 2.13 BMC:n ja SMC:n puristuksen periaate [9]

Kestomuovien lujitukseen käytetään jatkuvalujitteisia mattoja tai katkokuituja. Näistä käytetään mm. nimitystä GMT (Glasmatten-verstärkte Thermoplaste) tai RTC (Reinforced Thermoplastic composite). Määrältään ja laadultaan vaihteleva materiaali on levy-muodossa. GMT:ssä käytetään yleensä jatkuvakuitumattolujitusta, kun taas RTC-levy tehdään katkokuitulujituksella. GMT-tuotteen valmistusprosessi on osittain erilainen kuin normaalissa kuumapuristuksessa (kuva 2.14). Lujitettu kestomuovilevy lämmitetään muovin sulamislämpötilan yli ja siirretään tämän jälkeen nopeasti kylmään muottiin. Muotissa levy muovataan korkealla paineella ja vauhdilla. Kappaleen ollessa tarpeeksi kova, se irrotetaan sitten muotista. Koska puristuspaine on korkea ja jaksoaika on pieni, puristimien hinnat ovat suuria. Myös muotit ovat kalliita, suurimpana syynä se, että ne valmistetaan metallista. [9]

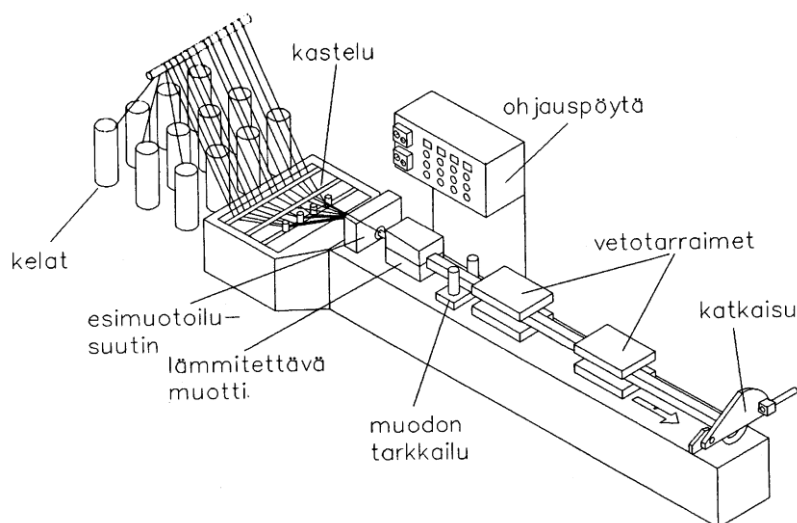


Kuva 2.14 GMT-levyn puristuksen periaate [9]

2.2.4 Suolakemenetelmät

Pultruusio

Pultruusiolla eli suolakevedolla valmistetaan putkia ja profiileita. Menetelmä on jatkuva-toiminen ja pitkälle automatisoitavissa. Tuotantonopeus vaihtelee yleensä 0.5...2m/min. Menetelmässä kostutetut lujitteet vedetään lämmitetyn suolakkeen läpi. Tämä toimii muottina ja sen sisällä hartsi kovettuu samalla kun kappale saa muotonsa (kuva 2.15). Muotista tullessaan kappaleen voidaan tarvittaessa jäähdyttää. Kovettumisen pitää olla niin pitkällä, ettei kappale hajoa vetolaitteiston voimasta. Tämän jälkeen kappale voidaan pätkiä sopivan pituisiksi paloiksi. Valmistettavat profiilit voivat olla kooltaan kaikkea millimetrin halkaisijaltaan olevan umpitangon ja metrin levyisen ontelo-profiilin välillä. [9]



Kuva 2.15 Suulakevetolaitteisto [9]

Lujitteet voidaan kostuttaa avoaltaissa tai hartsi voidaan injektoida muottiin. Lujitteiden jännitteiden pitäisi olla mahdollisimman tasaisesti jakautuneena. Usein lujite esimuotoiluun lähelle lopullisen kappaleen mittoja jo ennen muottia. Raaka-aine voidaan myös tarvittaessa lämmittää ennen muottiin siirtymistä, jolla saadaan aikaisiksi tasaisempi ja nopeampi kovettuminen. Varsinkin paksumpia kappaleita esilämmitetään mikroaalloilla, jotta olisi helpompaa hallita halkeamia, joita kovettumiskutistuminen saa aikaan. Muottia lämmittämällä kuumenee vain kappaleen pinta, kun taas mikroaalloilla lämpö vaikuttaa koko poikkipintaan samaan aikaan. Koko poikkipinnan lämmetessä myös kovettuminen on tasaisempaa. [9]

Muotit valmistetaan yleensä kovapintaisesta työkaluteräksestä tai ne voidaan myös pinnoittaa esim. kromaamalla. Onttoja kappaleita valmistettaessa tarvitaan sisätuurna, joka valmistetaan samoista aineista kuin itse muotti. Muottien pituus vaihtelee tavallisesti välillä 0,5...1,2 m ja koostuu yleensä kahdesta tai useammasta osasta. Kappaleen vetoon käytetään kahta eri metodia, joko telaketjuperiaatteella tai vuorottelevilla tarraimilla toimivaa vetolaitetta. Tarraimissa käytetään valmistettavan profiilin muotoon sopivia tarraintyynyjä, esim. kumista. Näillä saadaan aikaan suurempi vetovoima ja varmempi tartunta kuin telaketjuilla. Kappale katkaistaan yleensä laikalla, joka on synkronoitu linjan nopeuteen. [9]

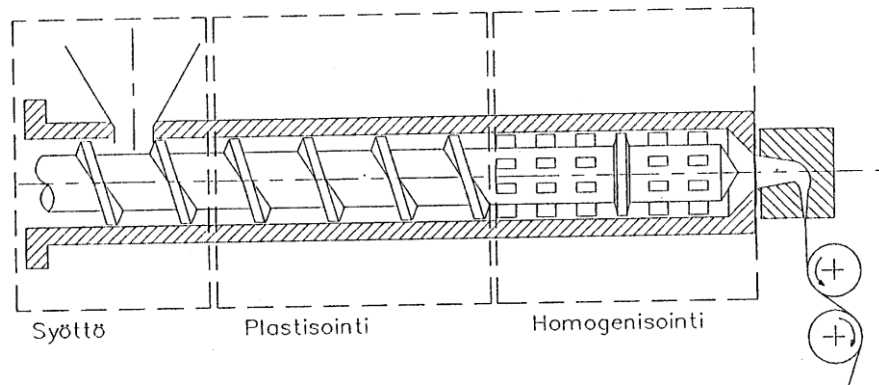
Yleisin käytetty lujite on lasikuituroving. Muita vaihtoehtoja ovat katkokuitumatto, kudotut lujitteet ja pintahuopa. Suulakevedossa käytetään myös ns. spunrovingia, se lujittaa laminaattia poikkisuunnassa. Tästä on hyötyä erityisesti profiilien nurkissa ja muissa

vastaavissa kohdissa, joihin poikittaislujitus on vaikea saada aikaiseksi muuten. Ominaista suulakevedossa on lujitteiden pitkittäinen suuntaus sekä korkea lujitepitoisuus. Puhdasta rovingia käytetään umpiprofiileissa ja tangoissa, kun taas onttoihin ja leveämpiin profiileihin lisätään mattoa sekä kudosta. Suulakevedolla valmistetaan yleensä vakiopoikkipintaisia profiileja, esim. urheiluvälineiden mailojen varsia. Suulakeveto on tietyn tyyppisten tuotteiden valmistamiseen kehitetty erikoismenetelmä. Suulakevetolinjan investointikustannukset ovat suuret, joten se vaatii korkeaa käyttöastetta ollakseen kannattava. [9]

Pultruusiosta on kehitetty muunnoksia, jotta sillä voitaisiin valmistaa kaarevia tai poikkipinnaltaan vaihtelevia profiileja. Tämän aikaansaamiseksi tarvitaan kaksiosainen muotti, jonka toinen puoli on kiinteä, kun taas toinen on liikkuva. Toinen muunnos on ”teippi-pultruusio”, jonka on kehittänyt Exel Oy. Siinä ulkomuottina toimii kuovikalvo ja sisämuottina ontelomaisilla kappaleilla stationäärinen tuurna. Kappaleen kovetus tapahtuu tuurnan päällä ja se myös jälkikovetetaan itse linjalla sijaitsevassa uunissa. [9]

Ekstruusio

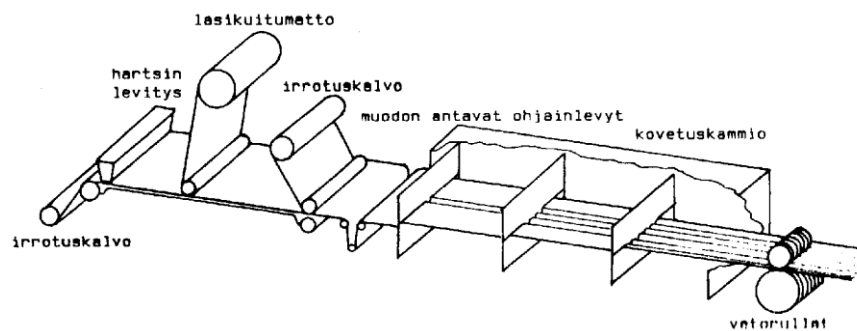
Ekstruusio, eli suulakepursotus, on lujittamattomien kestopuovien perusvalmistusmenetelmä, kuten ruiskuvalu (kuva 2.16). Sitä voidaan käyttää sekä lujittamattomien että lujitettujen materiaalien kanssa. Suulakepursotuksessa plastisoidaan raaka-aine jatkuvana prosessina ja muotoillaan suulakkeella halutun muotoiseksi kappaleeksi. Syötösuppiloon syötetään raaka-aine ja sieltä se siirtyy ruuville. Ruuvi siirtää, tiivistää, plastisoi ja homogenisoi materiaalin. Ruuvin ulkomuoto vaihtelee käytettävän raaka-aineen mukaan, on myös mahdollista käyttää kahta ruuvia. Suulakepursotuksella valmistetaan putkia, profiileja kalvoja ja letkuja. Raaka-aineena on lujitettu lyhytkuituinen kestopuovigranulaatti, jolla on heikommat mekaaniset ominaisuudet kuin suulakeveto-tuotteilla. [9]



Kuva 2.16 Suulakepursotusruuvin eri osien toiminnot [9]

2.2.5 Valssaus

Valssauksessa hartsi ja lujite syötetään kalvojen väliin. Tämä viedään ohjainlevyjen läpi, jotka muotoilevat tarvittaessa kappaletta. Kun haluttu muoto on saatu aikaiseksi, kappale kovetetaan lämmöllä (kuva 2.17). Valssauslaitteet vaativat suuria investointeja, joten tuotantomäärien pitää olla suuria, jotta menetelmä olisi kannattava. Menetelmällä valmistetaan rakennusteollisuuden paneeleja, kerroslevyjä, suoria laminaatteja sekä muita vastaavia standardoituja tuotteita. Lujitteena käytetään katkokuituja, suunnattuja lujitteita tai kudoksia. Rakennusteollisuuden sovelluksissa käytetään yleisesti katkokuituja. [9]

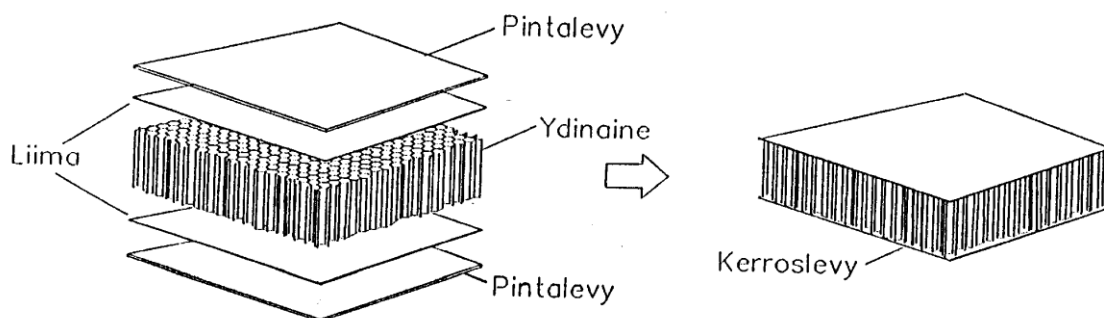


Kuva 2.17 Valssauksen periaate [9]

2.2.6 Kerroslevyjen valmistus

Käytännön rakenteet asettavat käytettävälle materiaalille monia vaatimuksia, kuten paikallinen jäykkyys, käsittelylujuus sekä käyttökohteen mukaan vaihtelevat erityisvaatimukset. Tällöin käytetään yleensä kerroslevyrakennetta, sillä pelkän laminaatin vahvuuden kasvattaminen ei näissä tilanteissa ole järkevää. Kerroslevyjen valmistukseen

voidaan käyttää joko valmista ydinainetta tai se voidaan tehdä yhtenä osana valmistusta. Kerroslevyn rakenne on esiteltynä kuvassa 2.18. [9]



Kuva 2.18 Kerroslevyrakenne [9]

Suosituimmat ydinaineet ovat solumuoveja, joiden raaka-aineena käytetään esim. uretaani-, fenoli-, ja PVC-muoveja. Ydinainetta valittaessa kannattaa pitää mielessä mihin tuotteeseen valmis levy on tulossa. Näin saadaan kerroslevylle tarvittavat lujuus, tulen- ja/tai lämmönkesto ominaisuudet sekä hintaa voidaan säädellä. Kun ollaan valmistamassa erittäin kevyttä, mutta hyvät lujuusarvot omaavaa kerroslevyä, käytetään erilaisia hunajakennoydinaineita. Näiden perusmateriaalina saattaa olla esim. hartseilla impregnoitua huovat tai alumiini. Kerroslevyä valmistettaessa on tärkeää, että liimausauma pintakerrosten ja ydinaineen välillä on hyvä. Tämä saadaan aikaan oikealla liimamäärällä ja sopivalla puristusaineella, jonka lisäksi ydinaineen pitää olla tasalaatuista. Ydinaineen liimaaminen voidaan toteuttaa suoraan laminointihartsilla tai se voidaan tehdä erikseen liimalla. Liimaus voidaan tehdä märkänä tai liimakalvoja käyttäen. [9]

Yhtenäisen liimasauman aikaansaamiseksi ydinaineen liimaamiseen tarvitaan jonkinlaista puristusainetta. Paine voidaan saada aikaan käyttämällä painoja, mutta tasaisempaa jälkeä saa aikaan alipainesäkillä. Suurien kerroslevyjen sarjavalmistuksessa käytetään monikerrospuristimia, joihin mahtuu useampi kerroslevy kerralla. Kaarevia kerroslevyjä valmistettaessa tarvitaan joko ydinaineen esikäsitteilyä tai korkeaa painetta. Usein on myös tarpeellista käyttää korotettua lämpötilaa. Myös RTM-menetelmä soveltuu kerroslevyjen valmistamiseen. [9]

Yleensä kerroslevyn ydin koostuu useasta palasta, joilla voi olla eri vahvuuksia ja tiheyksiä. Riippuen tuotteen kriittisyydestä käytetään suorita tai viistettyjä jatkosaumoja. Jatkosaumat pitää kuitenkin liimata toisiinsa sopivalla liimalla tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää hartsi/mikropalloseosta. Välillä ydinaine joudutaan suojaamaan kokonaan

laminointihartsilta. Tämä on tarpeellista esim. käytettäessä polyesterihartsia polystyreenivaahdon kanssa. Ydinaine voidaan taivuttaa loivalle pinnalle yleensä helposti esim. alipainesäkin avulla. Tosin jyrkkä taivutus vaatii ydinaineen esitaivutuksen, joka tehdään korotetussa lämpötilassa. Vaihtoehtona on käyttää uritettua ydinainetta, paloista tehtyä balsaa tai taipuisia hunajakennolaatuja. Laajoja pintoja valmistettaessa voidaan estää ilmataskujen syntyminen rei'ittämällä ydinaine. Helpoin tapa valmistaa kerroslevy on liimaamalla ydinaine laminointihartsilla laminoinnin yhteydessä. Mikäli lujitemuovipinnat kuitenkin halutaan kovettaa ennen ydinaineen liimaamista, pitää pinta karhentaa mekaanisesti. Toinen tapa pinnan karhentamiseen, on käyttää laminoinnissa irrotettavaa karhennuskangasta. [9]

Valmiin ydinaineen käyttäminen on suhteellisen kallista ja aikaa vievää, etenkin sarjavalmistuksessa. Tämän takia markkinoilla on erilaisia soluuntuvia materiaaleja. Näitä voidaan ruiskuttaa tai kaataa suoraan muottionkaloön, johon ne paisuessaan muodostavat ydinaineen ja samalla myös täyttävät. Pintana voi olla joko valmiiksi kovettunutta muovia tai prepregia, joka tiivistyy laminaatiksi paisuntapaineen ansiosta. Polyuretaani on suosituin valmistuksen yhteydessä soluuntuva ydinaine. Erikoiskohteissa käytetään soluuntuvia epokseja. Eräs valmistusmenetelmä on kääriä vähän alimittainen soluuntuva epoksista valmistettu ydinaineaihiio lujitteeseen, joka laitetaan suljettavaan muottiin. Muottia lämmitettäessä ydinaine soluuntuu ja laajenee, samalla se myös kostuttaa lujitteet hartsilla. Näin saadaan kovettumisen jälkeen valmis kerroslevytuote. [9]

2.2.7 Liimaus

Luonnollinen menetelmä muovien ja muidenkin osien yhdistämiseen, on liimaus. Sillä saadaan aikaan tasainen jännitysjaakuma koko sauman alueelle. Lisäksi liimauksella saadaan tasaiset pinnat, ja sen aiheuttama lisäys tuotteen lopulliseen painoon on pieni. Prosessi voidaan tehdä nopeasti ja se voidaan automatisoida. Myös erilaisten pintojen yhteen liittäminen on helppoa liimaamalla. Liimaamalla kappaleita yhteen, ei myöskään synny galvaanista korroosiota. Toisaalta, jos vertaa liimaliitosta mekaaniseen liitokseen, se tarvitsee yleensä laajemmat liitettävät pinnat. Tämä siksi, että liimojen lujuudet ovat pienempiä kuin perusaineiden. Toinen rajoittavat tekijä on liimojen lämpötilan ja kemikaalien kesto. Pitävä liimasauma edellyttää, että käytössä on oikean tyyppinen liima. Muita vaatimuksia ovat pintojen oikeanlainen esikäsitely, sekä oikeat olosuhteet liiman kuivumiselle. [9]

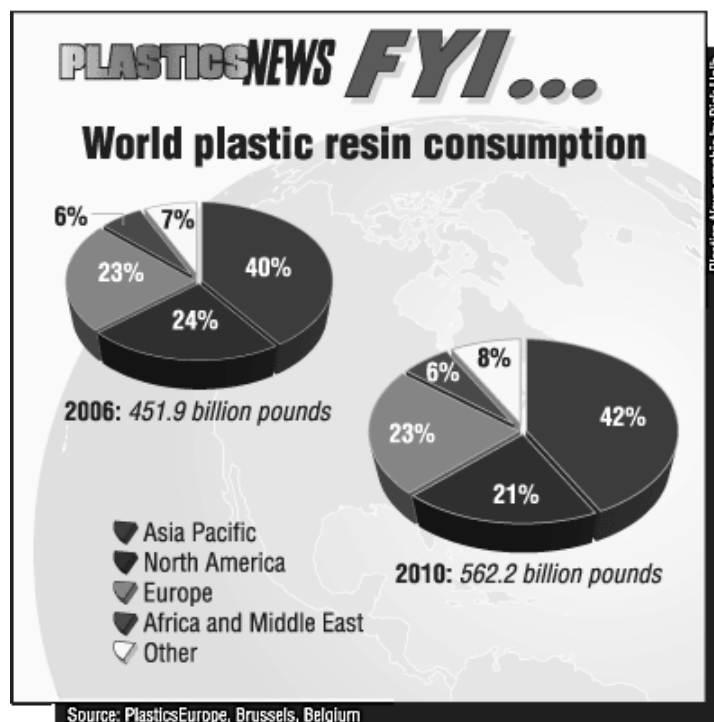
2.3 Tuotantomäärät maailmalla

Muovien tuotantomäärät ovat lähes kokoajan olleet kasvusuuntaisia. Pariin otteeseen viimeisen 60 vuoden aikana muovi hartsien tuotanto on pienentynyt hetkellisesti. Muovien tuotantomäärät ovat kuitenkin pitkällä aikavälillä tarkasteltaessa kokoajan kasvaneet. Mikäli jatkamme muovien kulutusta samaan tapaan kuin tähänkin asti, tuotantomäärät todennäköisesti kasvavat vielä tulevaisuudessa. Kasvua edesauttaa myös uusien käyttökohteiden ja muovilaatujen keksiminen, jota tapahtuu kokoajan.



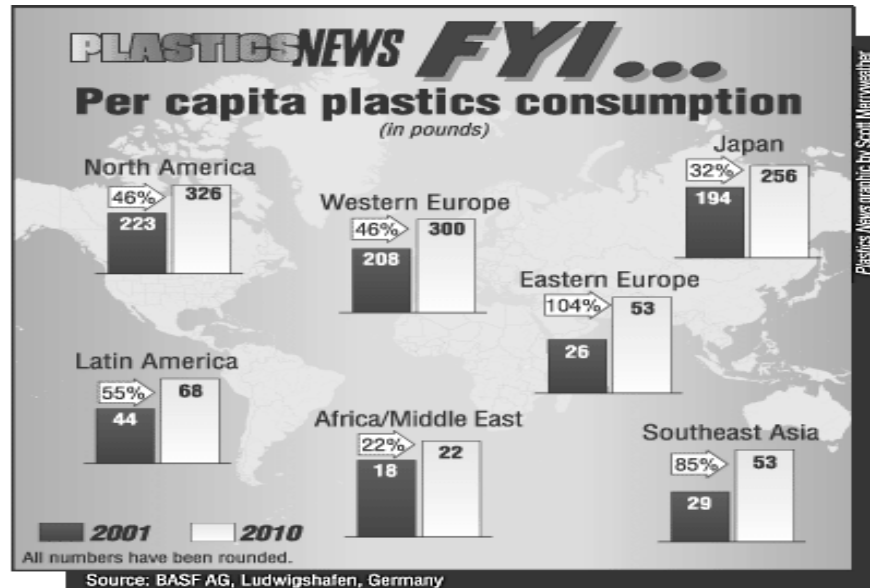
Kuva 2.19 Muovihartsien tuotantomäärä aikavälillä 1950 – 2008 [10]

Kuten kuvasta 2.19 voidaan huomata, muovihartsin tuotantomäärät ovat kasvaneet yli 150 kertaisesti viimeisen 60 vuoden aikana. Kuvan luvut ovat paunoissa, joka vastaa noin 454 g. Vuonna 1950 muovihartsia valmistettiin suunnilleen 1,5 miljoonaa tonnia, kun taas 2008 määrä oli noin 245 miljoonaa tonnia. Kuvaa katsottaessa huomaa ensimmäisen notkahduksen 1970-luvulla, jonka syyt ovat mainittuna luvun 2.1.2 loppupuolella. Tarkasteltaessa tuotantomääriä 2006 - 2008 huomaa selvästi vuonna 2007 alkaneen finanssikriisin vaikutukset. Valitettavasti uudempaa tilastoa ei löytynyt, ennusteiden mukaan määrät kuitenkin kasvavat tulevaisuudessakin.



Kuva 2.20 Muovihartsin kulutus vuonna 2006 sekä ennuste vuodelle 2010 [11]

Kulutuksen jakautumisen näkee kuvasta 2.20. Kun vertaa kulutus määrää vuonna 2006 tuotantomäärään, voi huomata, että tuotanto on vähän suurempi. Valitettavasti lähteestä ei selviä onko molemmissa laskettu samat muovilajikkeet mukaan. Kun katsoo kulutuksen jakautumista maanosiin huomaa, että Aasiassa on suurin kulutus. Tämä ei sinällään kovinkaan ihmeitytä, kun asiaa hetken miettii. Monet yritykset teettävät tuotteensa Aasiassa, vaikka ne myytäisiinkin muualla. Kuvasta näkee myös, että Afrikan ja Lähi-idän osuus on pieni, eikä se ennusteen mukaan näyttäisi kasvavan. Prosentuaalisesti siis 86 % maailman muovista kulutetaan Aasiassa, Euroopassa sekä Pohjois-Amerikassa.



Kuva 2.21 Muovin kulutus asukasta kohden vuonna 2001, sekä ennuste vuodelle 2010 [12]

Kuvassa 2.21 näkyvää asukaskohtaista kulutusta tarkasteltaessa, muovien kulutus on selvästi suurinta Länsi-Euroopassa, Pohjois-Amerikassa sekä Japanissa. Kulutusta verrattaessa muihin alueisiin, huomataan valtavat erot. Vuonna 2001 keskiverto Pohjoisamerikkalaisen kulutus vastaa 12,4 vastaavaa Afrikkalaisen tai Lähi-idässä asuvan ihmisen kulutusta. Kun summataan yhteen Latalaisen Amerikan, Afrikan, Lähi-idän, Itä-Euroopan ja Kaakkois-Aasian asukaskohtainen keskivertokulutus, saadaan luku, joka on vain vähän yli puolet Pohjois-Amerikan määrästä. Ennusteen mukaan suurimmat kasvut tulee tapahtumaan Itä-Euroopassa sekä Kaakkois-Aasiassa. Toisaalta kaikkein pienintä kasvua odotetaan Afrikassa ja Lähi-idässä.

2.4 Muovit Suomessa

Muovituotteita valmistavia yrityksiä on suomessa noin 600. Näiden lisäksi maassamme on noin 40 muoveja, muovien lisä- ja apuaineita sekä muoviteollisuuden laitteita toimittavaa yritystä. Vuonna 2005 yrityksiä oli vajaat 700. Yritysten määrä 1990 oli lähes sama kuin nykyään, silloin niitä oli noin 650. Yhteistä on myös yritysten koko, suurin osa on ollut, ja on vieläkin, joko pieniä tai keskisuuria. Suomen muoviteollisuus on siis yritysten määrässä suurin piirtein samassa tilanteessa kuin vuonna 1990. Työllistävä vaikutus on hieman parempi nyt. Muoviala työllistää noin 14 000 henkeä, joka on 1 000 enemmän kuin 1990, toisaalta 2005 henkilöstöä oli 16 500. Alan liikevaihto on tällä hetkellä noin 3 miljardia euroa, joka on samaa luokkaa kuin vuonna 2005. Liikevaihto

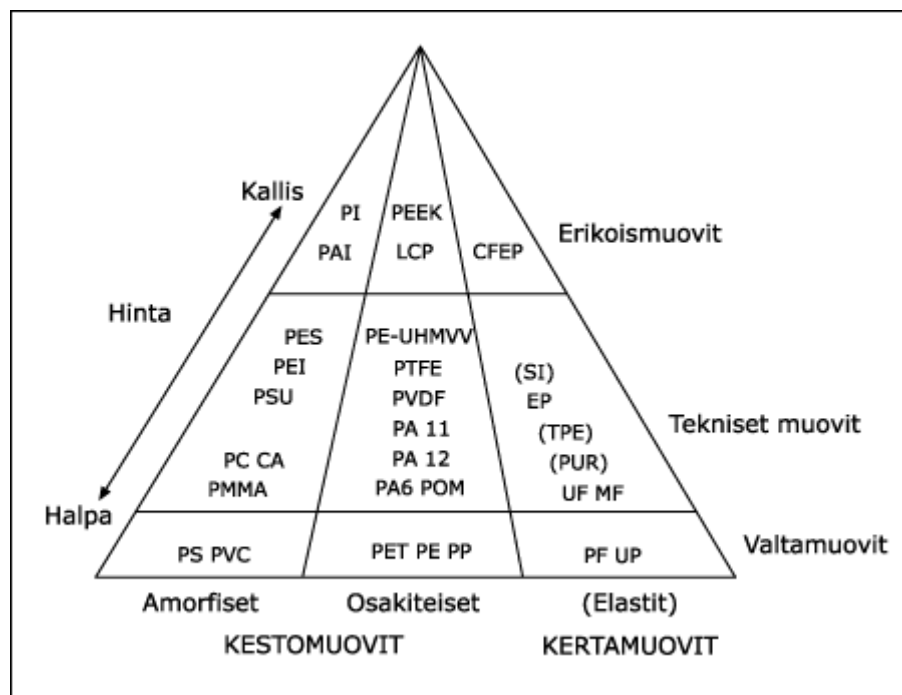
on kuitenkin selvästi noussut, kun vertaa vuoteen 1989, silloin summa oli 5 miljardia markkaa. Muuntamalla tämän euroiksi saadaan summaksi noin 841 miljoonaa euroa¹. [1, 13, 14]

Suomessa tuotettiin vuonna 2005 noin 608 000 tonnia muovia, puolestaan teollisuus käytti vain 500 000 tonnia. [13] Teollisuus jalostaa suurin piirtein puolet käyttämästään muovista elintarvikepakkauksiin ja muovikalvoiksi. Rakentamisen muovituotteisiin menee noin neljännes, esimerkkinä näistä voidaan käyttää muoviputkia. Elektroniikan ja koneteollisuuden komponentteihin menee noin 10 %. Jäljelle jäävät 15 % käytetään muihin tuotteisiin, joista esimerkkeinä voidaan mainita sairaalatarvikkeet, autojen osat ja kotitaloustarvikkeet. [13, 14]

¹ Laskettu käyttäen 31.12.1998 päätettyä euron kurssia. 1 euro = 5,94573 markkaa, 1 markka = 0,168187 euroa.

3 Luokitukset

Muoveja on monia erilaisia ja niissä on suuriakin eroja. Muovit luokitellaan usealla eri tavoilla. Luokittelun perusteena voidaan käyttää kemiallista rakennetta, jolloin luokiksi saadaan kertamuovit, kestumuovit ja elastomeerit. Muovit voidaan jakaa käyttömäärien sekä tarkoituksen mukaan valtamuoveihin, erikoismuoveihin ja teknisiin muoveihin. Joka on esitettyä kuvassa 3.1. Toisessa luokittelutavassa muovit jaetaan kemiallisen alkuperän mukaan, jolloin saadaan orgaanisia tai epäorgaanisia muoveja. Tämä luku käsittelee muovien luokituksia sekä antaa lisätietoa kyseisistä lajeista. Suuri osa tämän luvun tiedosta tulee vuonna 1991 julkaistusta kirjasta. Vaikka periaatteet ovat samat, osa menetelmistä ja raaka-aineista on korvattu tai niitä on saatettu muokata viimeisen 20:n vuoden aikana. [2]



Kuva 3.1 Muovien jakautuminen eri luokituksiin [2]

Polymeroinnissa käytettäviä lähtö- tai raaka-aineita kutsutaan monomeereiksi. Kun monomeerien sekaan lisätään toista monomeeriä, kutsutaan sitä usein komonomeeriksi. Mikäli polymeeri on muodostettu käyttäen vain yhden tyypin monomeerejä, kutsutaan sitä homopolymeeriksi. Kahden keskenään reagoivan monomeerin tuottamaa polymeeriä kutsutaan sekapolymeeriksi eli kopolymeeriksi. Kun monomeerejä on kolme, kyseessä on terpolymeeri. Mikäli monomeerit eivät reagoi keskenään, syntyy kah-

den polymeerin seos. Näitä valmistetaan yleensä kompaudoimalla eli sekoittamalla kyseisiä polymeerejä mekaanisesti keskenään. [9]

3.1 Kestomuovit

Kestomuoveja voidaan muovata lämmön avulla uudestaan ilman, että muovin rakenne muuttuu. Tästä tulee nimitys termoplast, jota käytetään paljon englanninkielisissä maissa. Toinen käytetty nimitys on polymeeri. Kestomuoveja voidaan myös liittää yhteen käyttämällä lämpöä, esim. hitsaamalla tai kuumasaamaamalla. Kestomuoveja valmistetaan kahdella eri kemiallisella reaktiolla, polykondensaatiolla ja polyadditiolla. Polykondensaatioissa raaka-aineiden molekyylit liittyvät toisiinsa. Reaktio tuottaa myös kolmannen molekyylin, joka irtoaa polymeeristä. Nämä ovat usein yksinkertaisia molekyylejä, esim. vesi. Polykondensaatiolla valmistetaan yleensä kertamuovihartseja sekä kestomuoveista mm. polyesteriä sekä polyamideja. Polyadditioreaktiossa molekyylit liittyvät toisiinsa, mutta sivutuotetta ei synny. Tällä tavalla valmistetaan esim. polyeteeniä, polypropeenia, polyvinyylidikloridia ja polystyreeniä. [9]

Kestomuovien polymeerien kemiallisesta reaktiosta sekä muoville halutuista tuoteominaisuuksista riippuen valmistusmenetelmät vaihtelevat. Suurin osa muodostuu polyadditioreaktiossa, usein massapolymeroimalla kaasuna tai nestemäisenä olevaa monomeeriä. Tavallisesti reaktion aikaansaamiseksi tarvitaan initiaattori eli polymeroitumisreaktion aloittava kemiallinen yhdiste. Initiaattori ainoastaan aloittaa reaktion, se ei vaikuta reaktion nopeuteen. Polymeroitumisnopeus on usein alhainen, ja sen nostamiseksi käytetään katalyyttiä. [9]

Polykondensaatio on kestomuovien toinen tärkeä valmistusmenetelmä. Monomeerien reagoidessa lohkeaa pois jokin muu molekyyli, yleensä vesi. Pois lohkeavaa yhdistettä, poistetaan koko ajan reaktioseoksesta, jotta kemiallinen reaktio etenisi nopeammin. Tämä tehdään esim. tislamalla lämmön tai vakuumin avulla. [9]

Suspensio- ja emulsiomenetelmä ovat muita merkittäviä valmistusmenetelmiä. Suspensioimenetelmässä polymerointi tapahtuu monomeerien ja siihen liukenemattoman toisen liuoksen muodostamassa suspensiossa. Liuoksena käytetään usein jotakin orgaanista yhdistettä tai polymeerin vesiliuosta. Valintaa tehtäessä on tärkeää, että suspensio on stabiili ja ettei reaktio häiriinny suspension vaikutuksesta. Tällä tavoin valmistetaan mm. suurin osa polyvinyylidikloridista ja polytetrafluorieteenistä. Emulsiomenetelmä eroaa vain vähän suspensioimenetelmästä. Emulsiomenetelmässä monomeeris-

tä muodostetaan emulsio emulgaattorin avulla. Emulgaattorit ovat yleensä pintaaktiivisia aineita. Tällä menetelmällä valmistetaan lähinnä emulsiopolymeroitua polyvinyylikloridia, polyvinyylideenikloridia sekä monia fluorimuoveja. [9]

3.1.1 Polyeteenit

Polyeteeni valmistetaan eteenistä polymeroimalla, ja se on maailman käytetyin muovi. Polymeroinnin olosuhteista riippuen syntyy erityyppisiä polyeteenejä. Valmistusprosessin paineen kasvaessa polyeteenin tiheys pienenee. Yleisimmät tyypit ovat PE-LD (matalan tiheyden eli low density PE), PE-LLD (lineaarinen PE-LD, linear low density), PE-MD (keskitiheyden eli medium density PE) ja PE-HD (korkean tiheyden eli high density PE). Näiden lisäksi on olemassa erikoislaatuihin laskettavat korkean molekyylipainon PE-HMW (high molecular weight), erittäin korkean molekyylipainon PE-UHMW (ultra high molecular weight) sekä ristosilloitettua polyeteeniä eli PE-X (cross-linked). [9]

PE-LD:n ja PE-LLD:n ero on siinä, että ensimmäinen on homopolymeeri, kun taas toinen on kopolymeeri. Valmistus tapahtuu korkeapaineprosessilla autoklaavissa tai putki-reaktorissa, jossa katalyyttinä toimii happi tai peroksidi. Toinen menetelmä on käyttää matalaa painetta joko kaasufaasissa leijukerrosreaktorissa tai liuosmenetelmää. Näissä tapauksissa katalyytti on usein kromiyhdiste piidioksidikantajalla. Valmistusmenetelmän spesifikaatioista riippuen saadaan valmistettua erilaisia PE-LD tai PE-LLD tuotteita. Lopputuotteen erottelua hankaloittaa se, että lopputuote saattaa olla myös PE-VLD:tä eli erittäin matalan tiheyden PE:tä (very low density). Yleensä PE-LLD/PE-VLD:tä valmistettaessa, eteenimonomeerin joukkoon lisätään buteenia tai okteenia komonomeeriksi. Valmistustavasta sekä katalyytistä riippuen eri laatuojen rakenne vaihtelee, niitä saatetaan myös sekoittaa keskenään. Muista polyeteeneistä PE-LD ja PE-LLD eroavat siten, että niiden tiheys on pienin, kuten myös kiteisyys, sulamislämpötila, lujuus, kimmoisuus ja korkein käyttölämpö. Niiden hyvät puolet esiintyvät parhaiten kalvosovelluksissa, varsinkin pakkausteollisuudessa. Suurin käyttökohde matalan tiheyden polyeteenille ovat pakkausteollisuuden erilaiset kalvot. Muita käyttökohteita ovat muottituotteet, ekstruusiopäällysteet, kaapelit sekä putket. Tosin muovin käyttö pakkaamisessa on vähenemässä, kun erikois- ja monikerroskalvot valtaavat elintarvike- ja hygieniatuotteiden pakkaukset. [9]

PE-HD eli korkean tiheyden polyeteeni valmistetaan matalapainemenetelmällä, joko saostus-, liuos tai leijukerrosmenetelmällä. Katalyyttinä käytetään organometalliyhdisteitä tai kantajalla olevia kromi- molybdeeniyhdisteitä. PE-HD:llä on korkea kiteisyysas-

te, jonka johdosta se omaa suurimman tiheyden polyeteeneistä. Tämä lisäksi myös sen lujuus, sulamislämpötila, kimmokerroin ja korkein käyttölämpötila ovat korkeammat kuin PE-LD:n ja PE-LLD:n. Korkean tiheyden polyeteenin sopiikin ominaisuuksiltaan elastisempia PE-laatuja paremmin isompaa jäykkyyttä tai lujuutta vaativissa sovellutuksissa. Tyypillisiä käyttökohteita PE-HD:lle ovat vesi- ja viemäriputket sekä kemianteollisuuden putket. Myös monet säiliöt sekä kuumaa vettä kestävä taloustarvikkeet ja kuidut valmistetaan korkean tiheyden polyeteenistä. [9]

Keskitiheyden polyeteeniä eli PE-MD:tä valmistetaan joko polymeroimalla korkeapaine- tai matalapaine-prosessilla tai sekoittamalla PE-LD:tä ja PE-HD:tä keskenään. Sekoitus voidaan suorittaa esim. ruiskuvalukoneen tai suulakepursottimen syöttöruuvissa. Ominaisuudet ovat LD:n ja HD:n välimaastossa, kuten voi nimestäkin päätellä. Uusien matalapaine-prosessien avulla pystytään myös valmistamaan korkean molekyylipainon polyeteenejä eli PE-HMW sekä PE-UHMW. Näillä on saman luokan lujuusominaisuudet tai hieman alhaisemmat kuin PE-HD:illä. Molekyylien koosta riippuvat kulumisominaisuudet ja iskulujuudet ovat paremmat kuin millään muulla muovilla. PE-UHMW on erinomainen laakerimateriaali sen kitka- ja itsevoiteluominaisuuksien takia. Sen hionta-kestävyys on 40 % parempi kuin ruostumattomalla teräksellä. Iskunkestävyys on puolestaan 3,5-kertainen verrattuna PE-HD:hen. Polyeteeniä pystytään myös ristosilloittamaan, jolloin lopputuloksena saadaan PE-X. Ristosilloituksella parannetaan polyeteenin iskulujuutta, lämmönkestävyyttä ja kemiallista kestävyttä. PE-X:llä on korkeampi lämmönkesto kuin muilla PE-laaduilla. Sen yleisimmät käyttökohteet ovat kaapelien vaipat ja kuumavesiputket. [9]

3.1.2 Polypropeeni

PP eli polypropeeni valmistetaan suspensiopolymeroimalla propeenitriä erittäin aktiivisen ja stereospesifisen ziegler-natta-katalyytin läsnä ollessa inertissä hiilivedyissä. Sitä voidaan myös valmistaa liuospolymeroimalla tai kaasufaasipolymeroinnilla. Propeeni polymeroituu helposti aktiivisen katalyytin vaikutuksesta. Metyyliryhmä voi sijaita eri puolilla polymeeriketjua polypropeenin avaruusrakenteesta johtuen. Kun metyyliryhmät sijaitsevat samalla puolella polymeeriketjua, PP on isotaktinen. Tällöin tuote on kiteinen ja kemiallisesti kestävä. Polymeeriä kutsutaan ataktiseksi, kun metyyliryhmät ovat sattumanvaraisesti polymeeriketjun ala- ja yläpuolella. Tällöin muovi ei ole kiteistä ja se kestää huonosti kemikaaleja ja lämpöä. Mikäli metyyliryhmät ovat polymeeriketjun ylä- ja alapuolella vuorotellen, PP on syndiotaktinen. Kaupalliset laadut ovat kaikki yli 90 %

isotaktisia. Käyttämällä eri katalyyttejä ja valmistusmenetelmiä saadaan useita eri polypropeenilaatua. Ne eroavat toisistaan moolimassan, moolimassajakauman, isotaktisuuden, lisäaineiden ja lisättyjen komonomeerien osalta. Polypropeenaa käytetään luji-tettuna tai täytettynä yleisesti autoteollisuudessa, sähkölaitteiden koteloina sekä puu-tarhakalusteissa. [9]

3.1.3 Muut polyolefiinit

Polyeteeni ja -propeeni kuuluvat polyolefiinien ryhmään. Muita ryhmään kuuluvia polymeerejä ovat polybuteeni, polyisobuteeni ja polymetyylipenteeni, joita valmistetaan vastaavasti 1-buteenista, isobuteenista ja 4-metyylipenteeni-1:stä. Kaupallisesti verrattaessa niiden merkitys on pieni verrattuna polypropeeneihin sekä polyeteeneihin. [9]

Polybuteenia (PB) saadaan liuospolymeroimalla 1-buteenia Ziegler-Natta-katalyytillä. PB:n isotaktinen avaruus rakenne omaa PP:n tapaan paremmat fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet kuin sen ataktinen muoto. Polybuteeni kiteytyy erittäin hitaasti, lopullisen kidemuodon ja kiteytymisen saavuttaminen kestää noin viikon. Erikoisen kiteytymiskäyttäytymisen lisäksi, PB:llä ei esiinny jännityssäröilyä ja sen viruminen on pienempää kuin PP:n kopolymeereillä tai PE-X:llä. Tavallisia käyttökohteita polybuteenille on lämminvesiputket, -säiliöt, kemianteollisuuden laitteet ja kalvot. [9]

PIB:tä eli polyisobuteenia valmistetaan polymeroimalla isobuteenia voimakkaasti kationisen katalyytin avulla. Se eroaa muista polyolefiineista elastisen luonteensa takia ja muistuttaa ominaisuuksiltaan elastomeerejä ja kumeja. Polyisobuteeni kestää hyvin happea, otsonia ja vettä, ja sen kaasujen läpäisevyys on pieni. Erikoiskäyttötarkoituksia varten valmistetaan levyjä ja kalvoja talkilla täytetystä PIB:stä. Mikäli polymerointivaiheessa lisätään butadieenia tai isopreenia, saadaan kaasutiivistä sekä säänkestävää butyylikumia. [9]

Polymeroimalla 4-metyylipenteeni-1:tä Ziegler-Natta-katalyytillä inertissä hiilivetyliottimessa, saadaan Polymetyylipenteeniä (PMP). Sen ominaisuudet poikkeavat muista polyolefiineista sekä muista muoveista. Sillä on pienin tiheys kakista muoveista. Tämän lisäksi PMP:llä on erinomaiset sähköiset ja optiset ominaisuudet. Sen lyhytaikainen lämmönkestävyys on 200 °C ja pitkäaikainen 125 °C. Haittapuolena on PMP helppo hapettuvuus ja UV-valon kestämyttömyys. [9]

Ionomeerit poikkeavat muista polymeereistä siinä, että niissä esiintyy ionisidoksia. Niitä valmistetaan kopolymeroimalla eteeniä karboksyyliiryhmän sisältävään tyydyttämättö-

män hapon kanssa. Happona käytetään yleensä akryyli- tai metakryylihappoa. Ionisidos syntyy, kun kopolymeriä käsitellään metallia luovuttavalla yhdisteellä, kuten natriummetoksidilla, magnesiumasetaatilla tai sinkkioksidilla. Metallionit ristosilloittavat polymeeriketjuja palautuvasti eli reversiibelisti. Kun polymeeriä lämmitetään, ionisidos heikkenee ja se pehmenee samalla tavalla kuin muutkin kestopuovut. Ionomeerit ovat sitkeitä ja kirkkaita ja niitä käytetään mm. paperin pinnoittamiseen, urheiluvälineissä sekä autoteollisuudessa. Niillä on erinomainen sitkeys ja kylmänkestävyys. Sitkeys pakkasessa on parempi kuin polyamideilla ja asetaalimuoveilla. [9]

3.1.4 Kloorimuovut

Kaasumaista vinyylidikloridimonomeeriä (VCM) polymeroimalla saadaan PVC:tä eli polyvinyylidikloridia. VCM polymeroituu vapaa radikaali-initiaattorin vaikutuksesta. VCM on monomeerinä karsinogeeninen, mutta PVC ei ole. PVC:n valmistamiseen on kolme eri menetelmää: suspensio-, massa ja emulsiopolymerointi. Suspensiomenetelmässä polymerointi tapahtuu suspension muodostavassa polyvinyylialkoholin vesiliuoksessa, johon on liuotettu benstoyyliperoksidia initiaattoriksi. Suurin osa PVC:n valmistuksesta tapahtuu suspensiopolymeroinnilla. Suspensio-PVC (PVC-S) omaa PVC-laaduista parhaan veden sekä kemikaalien kestävyden ja se on väriltään kirkasta. Emulsiomenetelmää käytettäessä polymerointi tapahtuu vesiemulsiossa ja emulgaattorina on yleensä natriumlauryylisulfaatti ja kaliumpersulfaatti toimii initiaattorina. EmulsiopVC (PVC-E) sisältää emulgaattoria ja on omaa siksi heikomman kemiallisen kestävyden kuin PVC-S. PVC-E on väritykseltään sameaa. Massapolymerointi tapahtuu ilman lisäaineita ja VCM polymeroidaan vapaaradikaalikatalyytin avulla. Polymeroitunut PVC erottuu VCM:stä valkeana jauheena. PVC-M:stä eli massa-PVC:stä voidaan tehdä lasinkirkkaita sekä lujia PVC -tuotteita. Menetelmä on kuitenkin vähiten käytetty PVC:n valmistusmenetelmä. [9]

PVC on kovaa mutta pakkasessa haurasta ilman lisäaineita. Tämän lisäksi PVC alkaa hajota kloorivedyksi, lämpötilan ollessa yli 100 °C. PVC:hen lisätäänkin stabilisaattoreita estämään hajoamista ja suojaamaan hapen sekä UV - valon haittavaikutuksilta. PVC ei kestä aromaattisia ja kloorattuja hiilivetyjä eikä myöskään estereitä. Se kestää kuitenkin esimerkiksi happoja, hapettavia aineita, suolaliuoksia ja alifaattisia hiilivetyjä. PVC:n hyviin puoliin voidaan myös laskea se, ettei se ylläpidä palamista. Tämä johtuu sen suuresta klooripitoisuudesta. PVC-muovi sisältää usein täyte- tai pehmitteaineita. Täyteaineena käytetään yleensä kaoliinia tai liitua. Pehmitteistä yleisimmät ovat diok-

tyyliftalaatti ja trikresyylifosfaatti, näillä PVC:stä saadaan joustavaa ja kumimaista muovia. Polyvinyylidikloridiin lisätään usein myös muita muoveja, esimerkiksi kumimaisilla lisäaineilla saadaan sitkeitä tuotteita. Esimerkkejä tällaisista lisäaineista ovat butadieeni- ja nitrilikumit, ABS-muovi ja akryylimuovit. Etenkin autoteollisuuden paneeleissa käytetään plastisoituja PVC/ABS-seoksia. PVC:tä seostetaan myös ABS:n ja iskunkestävän polystyreenin kanssa palonkestävyyden parantamiseksi. [9]

Polymeroimalla vinyyliaasettaattia PVC:n joukkoon, voidaan sen sitkeyttä ja elastisuutta parantaa. Tästä syntyvästä kopolymeeristä tehdään täyteaineella täytettynä mm. lattialaattoja. PVC:tä voidaan myös kloorata kloorin avulla. Klooratussa polyvinyylidikloridissa (PVC-C) klooripitoisuus on noin 10 % enemmän kuin tavallisessa PVC:ssä. Sitä voidaan myös käyttää korkeammassa lämpötilassa ja siksi siitä valmistettuja putkia käytetäänkin usein kuumavesiputkina. [9]

PVDC eli polyvinyylidienikloridia valmistetaan vinyylidienikloridista emulsiopolymeroimalla. PVDC:n homopolymeerin pehmenemislämpötila on lähellä polymeerin hajoamislämpötilaa, tästä syystä sen joukkoon lisätään yleensä toista polymeeriä. Tarkoituksena on tällä tavoin alentaa pehmenemislämpötilaa ja helpottaa sulatyöstöä. Yleisin käytetty komonomeeri on vinyylidikloridi. PVDC ei, PVC:n tapaan, ylläpidä palamista. Se omaa myös erinomaisen kemiallisen kestävyuden sekä kulutuskestävyydet. Tämän lisäksi kaasujen läpäisevyys on erittäin pieni. Suuren klooripitoisuuden ja kiteisyyden ansiosta PVDC:llä on korkea tiheys. Siitä valmistetaan ruiskuvaluttuja kappaleita sekä kalvoja ja kuituja. Kutistepakkauksissa hyödynnetään PVDC:n ominaisuutta kutistua, kun sitä lämmitetään yli 100 °C:n. Siitä voidaan myös valmistaa maali- ja pinnoitusteollisuudelle vesiohenteista dispersiota. Arkojen elintarvikkeiden pakkaamiseen sopii hyvin PVDC -pinnoitettu kalvo tai paperi. [9]

3.1.5 Styreenimuovit

Polystyreeniä (PS) valmistetaan styreenistä yleensä emulsiotai suspensiopolymeroimalla sitä panosreaktorissa. Suspensio muodostuu vedestä ja styreenimonomeeristä. Kun aineet ovat reagoineet valmiiksi, seos jäädytetään ja siitä pestään suolahapolla pois suspension muodostavat aineet. Kun vesi on erotettu, tuote suulakepursoitetaan ja jäädytetään PS-rakeiksi. Mikäli reaktoriin lisätään pentaania, valmistuksen loppuvaiheessa saadaan PS-E:tä eli solupolystyreeniä. Ponnekaasuna toimivan pentaanin ansiosta PS-E saa vaahtomaisen ja solumaisen rakenteensa. Polystyreeniä ja muita muovilaatuja sekä kemikaaleja yhdistämällä valmistetaan myös erikoisvaatimuksia täyt-

täviä muoveja. Ominaisuuksia, joita esimerkiksi muokataan, ovat painatusominaisuudet, vesihöyrynläpäisevyyteen ja kemialliseen kestävyys. Näitä muoveja käytetään elintarviketeollisuuden pakkaustarpeisiin. [9]

Tavallisimmat styreenin kopolymeerit ovat akrylinitriilibutadieeni-styreeni (ABS), styreeni-akrylinitriili (SAN) sekä akrylinitriili-styreeni-akryyliesteri (ASA). Näistä ABS on selvästi eniten käytetty. SAN-kopolymeerit saadaan aikaan kun styreeni ja akrylinitriili polymeroituvat samaan aikaan. Lisäämällä SAN-muoviin butadieeni-elastomeeriä, saadaan ABS-muovia. ABS-muovit ovat amorfisia ja täten mittatarkkoja, jäykkiä ja lämmönkestäviä. Niiden sulatyöstö on helppoa ja ne kestävät monia kemikaaleja. Niillä on lisäksi hyvät pintaominaisuudet kuten kiilto, värinkestävyys, metalloitavuus jne. ABS-muovit ovatkin suosittuja auto-, sähkö- ja elektroniikkateollisuudessa, joissa niitä käytetään esimerkiksi laitekotelossa, näppäimistöissä ja autojen osissa, kuten koje-laudoissa. ABS-muovia käytetään myös saniteettisovelluksissa ja rakennusteknisissä tuotteissa. Esimerkiksi suurin osa metalloidusta muoviosista, kuten suihkujen kahvat, säätönupit ja hanat, ovat metalloitua ABS-muovia. Muovin jäykkyyttä ja lämmönkestävyyttä voidaan lisätä huomattavasti käyttämällä lasikuitulujitetta. [9]

3.1.6 Polyamidit

Polyamidit (PA) ovat synteettisiä polymeerejä, jotka sisältävät amidiryhmän toistuvana rakenneyksikkönä polymeeriketjussaan. Niistä saatetaan myös käyttää nimitystä nainlon, tämä on yleistä varsinkin USA:ssa. Raaka-aineina polyamidien valmistuksessa käytetään laktaameja, ω -aminohappoja tai diamiineja ja kaksiarvoisia happoja. Polyamidit merkitään käyttämällä monomeerien hiiliatomien lukumäärää, ensin mainitaan diamiinin lukumäärä ja sitten hapon hiilet. Polyamideja valmistetaan joko polykondensaatioreaktiossa tai polyadditioreaktiossa. Esimerkiksi PA 6 ja PA 66 valmistetaan eri reaktioissa, vaikka ne ovatkin merkinnältään samantyyllisiä. Taulukossa 1 on esiteltynä yleisimmät polyamidit sekä niiden raaka-aineet. [9]

Taulukko 1. Tavallisimpien polyamidien merkintä sekä raaka-aine [9]

PA	Raaka-aine
6	kaprolaktaami
66	heksametyleenidiamiini ja adibiinihappo
69	heksametyleenidiamiini ja atselaiinihappo
612	heksametyleenidiamiini ja dedekaanidikarboksylihappo
11	aminoundekaanihappo
12	lauriinilaktaami
46	tetrametyleenidiamiini ja adibiinihappo

Eniten käytetty polyamidi on PA 66, joka tunnetaan myös nimityksellä nylon 66. Se kehitettiin jo vuonna 1936 Du Pontin laboratoriossa. PA 66:n valmistus on kaksivaiheinen, ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan ns. nailonsuola. Tämä tapahtuu liuottamalla raaka-aineina toimivat heksametyleenidiamiini ja adibiinihappo kiehuvaan veteen tai metanoliin. Nailonsuola konsentroidaan tämän jälkeen haihduksessa, josta se syötetään polymerointiautoklaaviin. Polymeerin hapettumisen estämiseksi kaikki polyamidit polymeroidaan inertissä kaasussa, yleensä työssä. Myös PA 69 ja PA 612 valmistetaan lähes samalla menetelmällä. PA 6:n valmistus tapahtuu kaprolaktaamista hydrolyttisellä massapolymeroinnilla, joko panos- tai jatkuvatoimisella prosessilla. Hydrolyttinä toimii vesihöyry, katalyyttinä happo ja fosfiitti promoottorina. PA 11 sekä PA 12 valmistetaan vastaavalla menetelmällä, pienin eroin prosessin loppupuolella. Polyamideja tunnetaan yhteensä noin 60. [9]

Polyamideja käytetään laajasti kaikilla teollisuuden alueilla. Suurin PA:n käyttäjä on auto- ja kuljetusteollisuus. Lujitteettomille laaduille tyypillisiä käyttökohteita ovat sähköliittimet, kaapeleiden vaipat sekä tuulilasinyyhkijöiden ja nopeusmittareiden vaihteistot. Lasikuitulujitettuna polyamideja löytyy mm. moottorin tuulettajissa, jarru- ja kytkinesteiden säiliöissä ja venttiilikotelon kansissa. Peilien koteloista löytyy usein mineraalilujitettua PA:ta. Sähkö- ja elektroniikkateollisuudessa polyamideja käytetään sellaisenaan tai lisäämällä palonestoaineita. Komponenttien värikoodausta helpottaa polyamidien helppo pigmentoituvuus. Yleisiä sovellutuksia ovat pistokkeet, liittimet, kelarungot sekä antennien liittimet. Kotitalouslaitteissa PA:ta löytyy sähkökomponenttien

lisäksi myös mekaanisista osista. Polyamidien itsevoitelevuus on koneenrakennuksessa paljolti hyödynnetty ominaisuus. Käyttökohteina ovat vaihteistot, laakerit ja vastaavat. Myös monet muut liikkuvat osat pumpuissa, venttiileissä, mittareissa ja kopiokoneissa ovat usein valmistettuja polyamidista. Pakkausteollisuus käyttää myös paljon polyamidikalvoja yksinään sekä osana monikerroskalvoja. Polyamidia käytetään myös harjoissa, siimana, ompelulankana tai muuna lankana esimerkiksi suodattimissa. [9]

Polyamidi-imidejä (PAI) valmistetaan kondensaatiopolymeroimalla. Ne ovat erikoismuoveja, jotka omaavat erittäin hyvät korkealämpötilaominaisuudet. Raaka-aineina käytetään trimelliittistä anhydridiä ja aromaattista diamiinia. Aromaattisten ryhmiltä ja imidisidoksilta polymeeri saa lämmönkestävyyttä, kun taas amidiryhmät lisäävät joustavuutta ja venymää. PAI:n muita ominaisuuksia ovat hyvä mittapysyvyys, kemiallinen kestävyys ja suuri lujuus myös kuumissa olosuhteissa. Lujittamalla muoveja lasi- tai hiilikuiduilla väsymisominaisuudet ovat erinomaiset ja 200 °C:ssa PAI on yksi lujimpia kestopuoveja. Kemiallinen kestävyys on hyvä, mutta voimakkaasti alkaalinen ympäristö ja jotkin hapettavat hapot ovat haitallisia polyamidi-imideille. Käyttökohteita löytyy auto-, ilmailu- ja elektroniikkateollisuudesta. Tyypillisiä sovellutuksia ovat aluslevyt, tiivisteet, vaihteistojen osat, kuulalaakerit ja sähkö- ja elektroniikkaliittimet. Sinkki- ja alumiinivaluja, pronssi- ja messinkilaakereita sekä teräsvaihteistoja on yleensä korvattu PAI tuotteilla. Polyamidi-imidejä seostaminen on myös yleistä, tällöin käytetään tyypillisesti titaanidioksidia, grafiittia sekä lasi- ja hiilikuitua. [9]

3.1.7 Akryylimuovit

Akryylimuoveja eli akryylihomo- tai akrylikopolymeerejä saadaan polymeroimalla akryylihapon estereitä tai metakrylaatteja, joko sellaisenaan tai seoksina. Metyylimetakrylaattista (MMA) valmistetaan kirkkaita ja kovia akryylilevyjä. Kopolymeroimalla MMA:n sekaan vähän toista metakrylaattia tai akryyliesteriä, saadaan ruisku- ja suulakepuristuslaatuja. Akryylimonomeerit polymeroituvat vapaaradikaalimekanismilla, jonka initiaattorina käytetään yleensä peroksiedeja, astoyhdisteitä tai säteilyenergiaa. [9]

Polymeroimalla metakryylihapon metyyliestereitä eli metyylimetakrylaattia saadaan polymetyylimetakrylaattia (PMMA). Yleensä polymerointi tehdään massapolymeroimalla kahden metallilevyn välissä käyttäen peroksidia tai atsoyhdistettä initiaattorina. Nopean reaktion aikana vapautuva lämpö on johdettava pois, jotteivät monomeerit kiehu. Monomeerien kiehuminen halutaan estää, jotta lopputulos on optisesti tasalaatuinen. PMMA:n iskunkestävyyden parantamiseksi siihen seostetaan pehmitteitä, näistä taval-

lisimpia ovat dibutyyliftalaatti (DBP), trikresyylifosfaatti ja risiiniöljy sekä polymeeriset akryylimodifioijat. Vaikka lisäys antaa iskunkestävyyttä, se vähentää polymeerien lämmönkestävyyttä hieman. PMMA levyjä valmistetaan kahden lasi- tai metallilevyn välissä. Tarvittaessa niitä voidaan myös valmistaa jatkuvana valuna kahden liukuvan teräsnauhan välissä. Jatkuvalla liuospolymeroinnilla tai polymeroimalla monomeeri suoraan ekstruuderilla, valmistetaan ruiskuvalu- ja suulakepursotuslaatuja. Akryyliin vesidispersioita valmistetaan myös suuria määriä emulsiopolymeroimalla maali-, liima-, pinnostusteollisuutta varten. PMMA:n ominaisuuksia pystytään muokkaamaan laajasti, ja esimerkiksi iskumodifioituilla laaduilla on selkeästi perusmuovia parempi sitkeys. Akryylimodifioidut muunnokset ovat tarkoitettu niin ulko- kuin sisäkäyttöön, kun taas styreenibutadieenilla (S/B) muokatut sopivat vain sisäkäyttöön. Polymetyyliakrylaatilla on erinomaiset optiset ominaisuudet, joita hyödynnetään yleisesti sen sovellutuksissa. Esimerkkejä käyttökohteista ovat liikennevalot ja -merkit, vilkkuvalot, optiset mittalaitteet sekä laivojen, lentokoneiden ja bussien paneelit ja mittarit. Myös saniteettitilat, uima-altaat, urheiluhallien läpinäkyvät seinät ja kulkuvälineiden ikkunat voivat olla PMMA:ta. [9]

3.1.8 Asetaalimuovit

Asetaalimuovit ovat kemiallisesti täsmällisemmin polyoksimetyleenejä (POM) ja niitä valmistetaan formaldehydiä polymeroimalla. Niitä valmistetaan sekä homo- että kopolymeereinä. Rakenteeltaan POM:it ovat kiteisiä ja niillä on hyvin terävä sulamispiste. Homopolyoksimetyleenin polymeeriketju koostuu oksimetyleenirungosta, jolla on orgaanisten happojen esteriryhmät pääteryhminä. Kopolymeerien ketju koostuu vastavasti satunnaisessa järjestyksessä olevista oksialkyleeniryhmistä. Pääteryhmät ovat tärkeitä molemmassa tapauksissa, sillä ilman niitä POM hajoaisi lämmönvaikutuksesta takaisin monomeeriksi. Homopolyoksimetyleenin lujuus, jäykkyys, iskunkestävyys ja kemiallinen kestävyys ovat hyvät. Muovit kestävät vesiliuoksia PH-alueella 4 – 10 sekä yleisimpiä hiilivetyliuottimia, aldehydejä, ketoneja, alkoholeja ja polttoaineita. Kopolymeereissä on satunnaisesti eteenioksidi- tai n-buteenioksidiryhmä polymeeriketjussa. Nämä komonomeerit vähentävät polymeerin järjestyneisyyttä ja pienentävät samalla sen kiteisyyttä. Tästä johtuen POM kopolymeerien sitkeys, sulamispiste, jäykkyys ja lujuus ovat huonompia kuin homo-POM:illa Toisaalta kopolymeereillä on parempi vedenkestävyys ja yhtä hyvä kemiallinen kestävyys. [9]

Asetaalimuoveilla on pieni kitkakerroin metallien, keraamien ja muovien kanssa ja tämän lisäksi se on itsestään voiteleva. POM-muoveilla on myös erittäin hyvät virumisominaisuudet. Tavallisia käyttökohteita ovatkin kuljettimet, laakerit, ketjut, venttiilien osat, vaihteistot ja liittimet. Seostamalla asetaalimuoveihin erikoislisäaineita voidaan parantaa säänkestävyyttä ja UV-valon kestävyttä. Liukuominaisuuksien parantamista varten seokseen lisätään polytetrafluorieteeniä, kun taas isku- ja loivisitkeyttä lisätään elastomeereillä. Lämmönkestävyyttä ja jäykkyyttä lisäämään sekä muottikutistuman pienentämiseksi lisätään lasikuituja ja täyteaineita. [9]

3.1.9 Polykarbonaatit

Polykarbonaatit (PC) ovat hiilihapon polyestereitä. Kaikki yleiset polykarbonaatit perustuvat bisfenoli-A:han ja niiden valmistuksessa käytetään joko hiilihappoa ja diesteriä tai fosgeenia ja bisfenoli-A:ta, liuottimena toimii pyridiini. Polymeerin lämmönkestävyyden parantamiseksi käytetään komonomeerejä, yleensä ftalaatteja. Kolmifunktionaalisilla monomeereillä lisätään polymeerin sitkeyttä sulana. PC:tä käytetään sekä sellaisenaan ja seostettuna muiden muovien kanssa. Polykarbonaateilla on poikkeuksellisen suuri lovi-iskulujuus joka pysyy vakiona -50 °C:seen asti. Niillä on myös pieni muottikutistuma, joka on vakio ja myös vedenabsorptio sekä viruminen ovat pieniä. Värjättävyys, steriloitavuus, palamattomuus sekä sähköiset ominaisuudet ovat polykarbonaateilla erittäin hyvät. PC ei kestä UV-valoa ilman erikoisstabilointia, se myös naarmuuntuu, pehmeytensä takia. Polykarbonaatti ei kestä asetonia tai emäksiä ja se liukenee joihinkin kloorattuihin hiilivetyihin. Käyttökohteita ovat esimerkiksi sähkö- ja elektroniikkalaitteiden sekä konttorikoneiden kotelot, kotitalouskoneet, autojen valot ja lääketieteelliset sovellutukset. [9]

3.1.10 Polyesterit

Polyetylenitereftalaatin (PET), joka tunnetaan myös polyeteenitereftalaattina, valmistuksessa vaihtoesteroidaan dimetyylitereftalaattia ja eteeniglykolia hyödyntäen lyijyk-sidikatalyyttiä. Esterointi tapahtuu alkuvaiheessa pelkästään lämmityksessä, mutta loppuvaiheessa seos siirretään tyhjiöön. Yleensä PET-muovia käytetään kuituina, kalvoina ja ruiskuvalettavana puristemassana. Valmistettaessa kalvoja käytetään kaksiaksiaalista venytystä, jolloin saadaan luja ja sähköneristysominaisuuksiltaan hyvä ja kirkas kalvo. Suuri osa nykyään käytetyistä virvoitusjuomapulloista on valmistettu PET:stä, koska sen kaasutiiviys on riittävä. Lähes kaikki ruiskuvalettavat PET:it ovat

mineraalitäytettyjä tai lasikuitulujitettuja. Yleisissä sovellutuksissa hyödynnetään PET:n jäykkyyttä, mittatarkkuutta ja hyviä sähköisiä ominaisuuksia. Tyypillisenä teknisenä muovina, polyeteenitereftalaattia käytetään monissa sovellutuksissa auto-, sähkö- ja elektroniikkateollisuudessa sekä muissa teollisuussovellutuksissa. Esimerkkeinä voidaan mainita autojen peilit, virranjakajan pyörijät, liittimet ja releet. [9]

Polybuteenitereftalaatti (PBT) valmistetaan vaihtoesteroimalla dimetyylitereftalaattia ja 1,4-buteenidiolia katalyyttisellä polykondensaatiolla. Kyseessä on sitkeä, osittain kiteinen kevyt konstruktiomuovi. Sillä on hyvät kemialliset ja lämmönkestävyydet, erinomaiset sähköiset ominaisuudet ja pieni kosteuden absorptio. PET:n tapaan myös PBT on yleensä mineraalitäytettyä tai lasikuitulujitettua. PBT:tä käytetään myös monissa muoviseoksissa esimerkiksi PET:n, PC:n tai PPE:n kanssa. Useimmissa sovellutuksissa hyödynnetään polybuteenitereftalaatin erinomaisia sähköisiä ominaisuuksia, suurta dielektrisyysvakiota, pientä häviökerrointa ja hyvää läpilyöntikestävyyttä. Vaikka PBT onkin yleisesti ottaen kemiallisesti suhteellisen kestävä, sillä on heikkous alkaaleja, hapettavia happoja, aromaatteja sekä ketoneja kohtaan. [9]

3.1.11 Polyfenyleenimuovit

Polyfenyleenieetterimuovi (PPE) tunnetaan myös polyfenyleenioksidiksi (PPO) kemiallisen rakenteensa vuoksi. Homopolyfenyleenieetteriä sekä sen kopolymeeriä valmistetaan vastaavista di- ja tri-metyylifenoleista käyttäen happea vapaana radikaalina. Kyseessä on tekninen muovi, jonka ominaisuuksiin kuuluu amorfisuus, jäykkyys, sitkeys sekä mittatarkkuus. Polyfenyleenieetteriä voidaan sekoittaa iskunkestävän polystyreenin (PS-HI) kanssa, jolloin saadaan muokattua muovin ominaisuuksia. Lisäämällä PS-HI:tä saadaan alennettua viskositeettiä, helpotettua sulatyöstöä ja puolitettua lasiutumislämpötilaa puhtaaseen PPE:hen verrattuna. Lisäämällä lasikuituja tai mineraalisia täyteaineita saadaan kasvatettua jäykkyyttä ja pienennettyä muottikutistumaa. Polystyreenillä modifioituja polyfenyleenieetterimuoveja käytetään monissa eri sovellutuksissa, ja suurimmat alat ovat autoteollisuus sekä sähkö- ja elektroniikkateollisuus. Tavallisia käyttökohteita ovat autojen ohjauspyörän kotelot, tuulilasinyyhkimet, instrumenttipaneelit, monet elektroniikan liittimet sekä kelojen rungot ja vastaavat. Muokattua PPE:tä käytetään myös elektroniikan piirilevyissä ja häiriösuojauksessa, sillä sitä on helppo metalloida. [9]

Polyfenyleenisulfidia (PPS) valmistetaan reagoimalla p-diklooribentseeniä rikkiyhdisteen kuten esim. natriumsulfidin kanssa. Se on tekninen kestopuovi, joka kestää erit-

täin hyvin lämpöä sekä kemikaaleja. Vaarallisia ovat hapettimet kuten hypokloriitti ja peretikkahappo, jotka hapettavat polymeerin rikin. PPS:llä on hyvät sähköiset ja eristeominaisuudet ja se omaa korkean käyttölämpötilan. Se kestää huonosti säätä ja UV-valoa, sillä muovi absorboi UV-valoa voimakkaasti. UV:n vaikutukset pystytään poistamaan lisäämällä pienen määrän nopea täyteaineeseen. Useimmiten PPS:stä valmistetaan ruiskuvalulla kaikkea suurista rakenteellista osista pieniin monimutkaisiin elektronikan komponentteihin. Käyttökohteina sähkö- ja elektroniikkateollisuudessa ovat kannat, liittimet, releet, kelarungot sekä kondensaattorien ja integroitujen piirien kapselit. Mekaanisessa ja kemiallisessa teollisuudessa taas PPS:ää käytetään yleensä pumppujen rungoissa ja muissa osissa, venttiileissä, lämpösuojana ja kattiloiden antureissa. Autoteollisuuden puolella käyttökohteina ovat katalysaattorit ja niihin liittyvissä antureissa, polttoaine-, sytytys- ja jarrujärjestelmissä sekä lamppujen kannoissa. Suurin osa PPS-muovi -tuotteista tehdään lasikuitulujitetusta tai täyteaineella täytetystä laadusta. Lujittamatona PPS:ää käytetään kalvojen ja kuitujen valmistuksessa. [9]

3.1.12 Fluorimuovit

Fluoria sisältävien monomeerien polymeerejä ja kopolymeerejä kutsutaan fluorimuoveiksi. Ensimmäinen kehitetty fluorimuovi oli polytetrafluorieteeni, tämän jälkeen niiden määrä on kasvanut ja yleisimmät ovat perfluorieteeni-propeeni kopolymeeri, perfluorialkoksialkaani, (tunnetaan myös nimellä tetrafluorieteeni-heksafluoripropeeni), eteenitetrafluorieteeni polyklooritrifluorieteeni, eteeniklooritrifluorieteeni ja polyvinyylifluoridi sekä polyvinyylideenifluoridi. [9]

Polytetrafluorieteeni tunnetaan paremmin sen kehittäneen yhtiön tavaramerkin mukaan ”Teflonina”. Sen valmistus tapahtuu polymeroimalla tetrafluorieteeniä vedessä käyttäen peroksidi-initiaattoria. Polymeeri saostuu hienojakoisena valkeana pulverina, joka pestään, kuivataan ja puristetaan sekä sintrataan lopulliseen muotoonsa samalla tavoin kuin keraamit. PTFE sintrataan pulverista, sillä sitä ei voida työstää sulana. Sillä on suuren fluoripitoisuutensa ansiosta erittäin hyvä kemiallinen kestävyys. Vesi ei kostuta sitä lainkaan eikä se liukene mihinkään liuottimeen. Ainoat aineet, joita ei kannata yhdistää PTFE:hen, ovat sulat alkaalimetallit, klooritrifluoridi ja fluori. Vaikka se sammuikin itsestään, kun se poistetaan liekistä, PTFE synnyttää palaessaan myrkyllistä fluoriyhdistettä. PTFE tunnetaan parhaiten pienestä kitkakertoimestaan. Sillä on kuitenkin muiden fluorimuovien tapaan erinomaiset sähköiset ominaisuudet, läpilyöntikes-

tävyys on suuri, dielektrisyysvakio on erittäin pieni, kuten myös häviökerroin. Häviöker-
toimet ovat vakioita suurella lämpötila- ja taajuusalueella. Vaikka Teflon on suurimmalle
osalle tuttu paistinpannuista, sitä käytetään kuitenkin yleisesti kemianteollisuudessa,
öljynjalostuksessa ja elintarviketeollisuudessa. Sähköisten eristysominaisuuksiensa ja
dielektristen ominaisuuksiensa ansiosta, se on löytänyt sovellutuksia sähkö- ja suurtaa-
juussovellutuksista ja pienen kitkakertoimensa ansiosta konerakennuksessa ja kulje-
tusvälineissä. PTFE:n muodonmuutoksia, kulumista ja virumisominaisuuksia vähenne-
tään täyteaineilla, yleisimmin lasikuidut, hiilikuidut, grafiitti- ja pronssijauheet sekä poly-
deenisulfidi. [9]

Perfluorieteeni-propeeni on kopolymeeri, joka muodostuu tetrafluorieteenistä (TFE) ja
heksafluoripropeenista (HFP). Lisäämällä HFP:tä PTFE:hen laskee polymeerin sula-
mispiste, jolloin sulan polymeerin viskositeetti pienenee. FEP:tä voidaan työstää sula-
na. Mekaanisilta ominaisuuksiltaan muovit muistuttavat toisiaan, mutta johtuen sulan
FEP:n matalammasta kiteisyydestä, sillä on erilaiset ominaisuudet ja kemiallinen käyt-
täytyminen. FEP:n valmistus tapahtuu useimmiten emulsiopolymeroimalla vedessä tai
jossain liuottimessa. Sen sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet ovat lähellä PTFE:n.
FEP:llä on hieman huonompi kemiallinen kestävyys, vaikka kaasujen läpäisevyys on
hyvin pieni. Myös kulumiskestävyys on heikompi kuin PTFE:llä. FEP:n suurimmat käyttö-
kohteet ovat kaapelien ja sähköjohtojen eristeet, kemianteollisuuden putket, liittimet ja
lämmönvaihtimet. Sitä käytetään myös kuljettimien ja telojen pinnoitteena. FEP:tä
seostetaan PTFE:llä ja lujitetaan hiili ja lasikuiduilla. FEP läpäisee erittäin hyvin valoa ja
soveltuu siksi hyvin aurinkopaneeleihin. [9]

Perfluorialkoksialkaania (PFA,) joka on tetrafluorieteenin ja perfluorivinyylieetterin ko-
polymeeriä, valmistetaan monomeerejä polymeroimalla vedessä tai vedettömässä väli-
aineessa. Sillä on yhtä hyvä lämmönkestävyys, kemiallinen kestävyys, kulutuskestä-
vyys ja yhtä pieni kitkakerroin kuin PTFE:llä. PFA on sulatyöstettävä ja sitä täytetään
kiilteellä, lujitetaan lasi- ja hiilikuiduilla sekä seostetaan PTFE:llä. Yleisimmät käyttökoh-
teet PFA:lle ovat kemianteollisuuden laitteissa, sähköteollisuuden kaapeleissa, ja joh-
timien eristeissä. Muovista suulakepursoitetaan profiileja ja putkia sekä ruiskuväletään
osia. [9]

Eteeni-tetrafluorieteeni (E/TFE) on monomeerien kopolymeeri, jossa aineiden keskei-
nen suhde on yleensä 1:1. Muovi on kemiallisesti kestävä, mutta ei kuitenkaan kestä
joitakin kloorattuja liuottimia. E/TFE on iskun, kulumisen, sään ja säteilyn kestävä. Se
omaa myös hyvät ja tasaiset sähköiset ominaisuudet. Muovia lujitetaan hiili- ja lasi-

kuiduilla, täytetään grafiitilla ja molybdeenisulfidilla tai seostetaan PTFE:llä. Käyttökohteista tärkeimmät ovat kaapeleiden ja johtojen eristeet. [9]

Polyklooritrifluorieteeni (CTFE) on PTFE:tä muistuttava muovi, erona joka neljäs fluori on korvattu kloorilla. Se on sulatyöstettävä muovi, joka kestää useimpia kemikaaleja, mutta turpoaa hieman klooratuissa liuottimissa. Sähköiset ominaisuudet ovat hyvät, tosin häviökerroin ja dielektrisyysvakio ovat suuremmat kuin PTFE:llä. CTFE on erittäin kaasutiivis ja kalvona täysin läpinäkyvää. [9]

Eteeni-kloorifluorieteeni (E/CTFE) on eteenin ja klooritrifluorieteenin kopolymeeri, joka on PTFE:tä lujempi ja kestää paremmin kulumista sekä virumista. Se on helpon työstettävä kaikista fluorimuoveista. Kemiallinen kestävyys on erinomainen, vaikei E/CTFE kestäkään kuumia amiineja ja se turpoaa hieman polaarissa liuottimissa. Kuten monia muitakin fluorimuoveja myös E/CTFE:tä seostetaan PTFE:llä sekä lujitetaan lasikuiduilla. Muovia käytetään kaapeleiden päällysmateriaalina ja eristeenä sekä korroosionkestävinä pinnoitteina kemianteollisuuden laitteissa. [9]

Polyvinyylifluoridi (PVF) polymeroituu vinyylifluoridista, joka on samantyylinen kuin vinyylikloridi. Se omaa hyvän kemiallisen kestävyuden lisäksi hyvän säänkestävyyden. Näiden ansiosta sitä käytetään kalvona metallien pinnoittamisessa. Siitä valmistetaan myös kappaletuotteita ja kuituja. [9]

Polyvinyylideenifluoridia (PVDF) emulsio- tai suspensiopolymeroidaan vinyylideenifluoridista. Se on yksi jäykimmistä ja kulumiskestävimmistä fluorimuoveista ja se kestää kemikaaleja sekä halogeenikaasuja. PVDF:stä pystytään valmistamaan hyvin korroosiota kestäviä maaleja sillä tietyt pinnoituslaadut dispergoituvat tavallisiin liuottimiin, esimerkiksi asetoniin ja etyyliasetaattiin. Polyvinyylideenifluoridia pystytään ruiskuvalamaan PVC:n tapaan. Sitä seostetaan PTFE:llä, lujitetaan hiilikuidulla tai täytetään kiilteellä. Käyttökohteina muoville toimii kemianteollisuuden laitteet, pinnoitteet ja sitä käytetään myös rakennusmateriaalina. Muita käyttökohteita ovat kaapeleiden eristeet. [9]

3.1.13 Erikoiskestomuovit

Polyarylaatteja (PAR) valmistetaan aromaattisista dikarboksyylihapoista sekä kaksiarvoisista fenoleista, jotka ovat aromaattisia polyestereitä. Aromaattiset PAR:t ovat hyvin lämpökestäviä ja sitkeitä kestomuoveja. Niillä on hyvät virumisominaisuudet, UV-valonkestävyys sekä sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet. PAR:n pintaan muodostuu

UV-valon vaikutuksesta muovin stabiloiva o-hydroksibetsufenonirakenne, joka myös antaa muoville erittäin hyvän säänkestävyyden. Kemiallisesta kestävyydeltään PAR muistuttaa esimerkiksi PC:tä. PAR:llä on myös hyvä tulenkestävyys, eikä se palaessaan synnytä suuria määriä myrkyllistä kaasua. Amorfisia polyarylaatteja käytetään palomiesten kypärissä, sähköteollisuuden keloissa ja kytkimissä sekä autoteollisuuden lamppujen koteloissa ja heijastimissa. [9]

Polyaryyleetteriketoneit (PAEK) ovat joukko osittain kiteisiä ja erittäin lämmönkestäviä kestumuoveja, jotka kuuluvat ketonipolymeerien alaryhmään. PAEK -muoveja on erilaisia, esimerkkeinä voidaan mainita PEK, PEEK, PEKEKK, PEEKK, PEEKEK ja PEKK. Eri versioiden sulamis- ja lasipisteet riippuvat polymeerin eetteri/ketonisuhteesta, mitä pienempi suhde sen parempi lämmönkestävyys. PAEK:ia valmistetaan kahdella tavalla pois. Ensimmäinen tapa on nukleofiilinen aromaattinen substituuatio, jossa bisfenoli ja reaktiivinen fluoriaromaatti polykondensoituvat PAEK:ksi. Toinen tapa on aromaattinen kaksiarvoisen happokloridin ja reaktiivisen benstoaromaatin elektrofiilinen substituuatio. PAEK:in sovellutuksissa hyödynnetään sen erittäin hyvää lujuutta, kemiallista kestävyttä, palo-ominaisuuksia ja suurta lujuus/paino-suhdetta varsinkin hiilikuitulujitettuna. Sovellutuksia löytyy lentokone- ja avaruusteollisuudesta, kemianteollisuuden pumpuista, liukurenkaista ja laakereista. [9]

Polybenstimidasolia (PBI) valmistetaan polykondensoimalla sulassa tilassa olevia aromaattista bis-orto-diamiinia ja aromaattista dikarboksylaattia. PBI on kemiallisesti kestävä ja lämmönkestävää. Vaikka se onkin kestumuovi, se käyttäytyy kuin kertamuovi. PBI:llä ei ole sulamispistettä, sillä polymeeri ristosilloittuu, kun lämpötila nousee yli sen lasipisteen. Sitä ei pystytä sulatyöstämään, vaan PBI:tä työstetään samantyyllisesti kuin PTFE:tä: sintraamalla ja puristamalla pulverimetallurgiaa muistuttavin menetelmin. Valmistettavat tuotteet ovatkin tankoja, putkia, levyjä ja muita loppukappaleita. Käyttökohteita löytyy petrokemian, kemianteollisuuden, energiatuotannon, lento- ja avaruusteollisuuden sekä mekaanisen teollisuuden sovellutuksista. Polybensimidiasolin etuina on erittäin hyvä kemiallinen kestävyys sekä hyvät mekaaniset ominaisuudet ja lämmönkestävyys. Sillä korvataankin usein huonosti toimivaa metallia tai muovia. [9]

Polyeetteri-imidit (PEI) ovat amorfisia erikoiskestumuoveja, joita valmistetaan nitrosyryjäytys-reaktiolla bisfenoli-A:sta, metyleenidianiliinista ja nitroftaalihappoanhydridistä. Ne ovat mittatarkkoja ja kemiallisesti kestäviä. PEI-muovit ovat myös lujia ja jäykkiä huoneenlämmössä sekä korotetussa lämpötilassa. Sähköiset ominaisuudet ovat hyvät ja PEI eroaa muista erikoiskestumuoveista siinä, että sen sulatyöstö on helppoa ja se

voidaan toteuttaa tavallisin keinoin. PEI:n kemiallinen rakenne antaa niille sisäisen palosuojan ja vähäisen savunmuodostumisen palotilanteessa. Muovit ovat väriltään keltaisia. Sovellutuksissa hyödynnetään polyeetteri-imidien hyvää lämmönkestävyyttä, mittatarkkuutta, vesihöyrytiiviyttä palo-ominaisuuksia ja steriloitavuutta. Näitä sovellutuksia löytyy pääasiassa auto-, sähkö ja elektroniikkateollisuudesta, pakkauksista, lentokoneista sekä lääketieteestä. Lujitteena käytetään tavallisesti lasi- tai hiilikuituja. PTFE:llä parannetaan kitkaominaisuuksia. [9]

Aromaattisia kestopolyimidejä (TPI) valmistetaan polykondensoimalla aromaattisia dianhydridejä aromaattisten diamiinien tai di-isosyanaattien kanssa. TPI:t ovat täysin imidoituja lineaarisia polymeerejä. Myynnissä niitä on pulverina tai liuoksina polaarissa liuottimissa. Kemiallinen reaktio tapahtuu ennen prosessointivaihetta. TPI-muoveilla on erinomainen lämmönkestävyys, sitkeys ja sähköiset ominaisuudet. Myös liekin- ja säteilynkestävyys on erittäin hyvä, kuten myös mekaaniset ominaisuudet. [9]

Polysulfonit (PSU) ovat myös aromaattisia polymeerejä. Ryhmään kuuluu kaksi muovia, joista ensimmäistä kutsutaan polysulfoniksi ja toista polyeetterisulfoniksi (PES). PSU:n valmistus tapahtuu bisfenoli-A:n natriumsuolasta ja 4,4'-diklooridifenyylisulfonista nukleofiilisellä substituutiolla, dimetyylisulfoksidia käytetään liuottimena. PES:n valmistus eroaa PSU:n valmistuksesta siinä, että nukleofiilisen tilalla on elektrofiilinen substituo ja käyttäen sulfonyylikloridia sekä ferrikloridi katalyyttiä. Molemmat muovit ovat sitkeitä ja lujia korkealämpötilamuoveja. PES:llä on hieman korkeampi jatkuva käyttölämpötila, jota pystytään nostamaan hiilikuitulujitteen avulla. PES kestää myös höyrysterilointia hieman PSU:ta paremmin. Muoveja hyödynnetään sovellutuksissa, joissa niiden hyvistä lujuusominaisuuksista ja korroosionkestävyydestä korotetussa lämpötilassa on hyötyä. Näitä löytyy esimerkiksi steriloitavista ja uudelleen käytettävistä lääketieteellisistä instrumenteista, mikroaaltoastioista, kuumien liuoksien käsittelylaitteista sekä sähkö- ja elektroniikka laitteista. [9]

Nestekidepolymeerit (LCP) eli itselujittuvat kestopolymerit ovat sulatyöstettäviä erikois-kestopolymerimuoveja. Pitkänomaiset nestekidemolekyylit toimivat tavallaan polymeerin sisäisinä lujitekuituina. Valmistus tapahtuu sulapolykondensoimalla raaka-aineita suojakaasussa ja tyhjiössä. Raaka-aineina toimii joko parahydroksibentsoehappo ja hydroksinaftoehappo tai p-hydroksibentsoehappo yhdessä tereftaalihapon, bisfenolin ja isoftaalihapon kanssa. Muoveja on helppo ruiskuvalaa ja niillä on hyvä korkeiden lämpötilojen ja kemikaalien kestävyys. Niillä on erittäin hyvä lujuus, jäykkyys ja sitkeys, eivätkä ne pala. LCP:llä on myös pieni, mutta suunnasta riippuvainen lämpölaajenemiskerroin.

Käyttökohteita ovat mm mikroaaltouunien vuoat (esim. Tupperware-tuotteet) sekä sähkö- ja elektroniikkateollisuuden kohteet, kuten liittimet, kannat, releet, höyryfaasi- sekä infrapunajuotettavat painetut piirit. [9]

3.2 Kertamuovit

Kertamuovit ovat kertamuovattavia, eivätkä täten enää ensimmäisen kovettumisensa jälkeen ole muovailtavissa lämmön avulla. Ne ovat vaihtoehtoinen materiaali esimerkiksi keraameille, metalleille tai kestonuoveille. Kertamuovit kestävät metalleja paremmin korroosiota, ne painavat vähemmän ja niiden työstäminen onnistuu alhaisemmissa lämpötiloissa ja pienemmällä paineella. Niiden eristyskyky on myös parempi sekä sähkön että lämmön kannalta. Kertamuovit ovat myös keraameita kevyempiä, sitkeämpiä ja niitä on helpompi työstää. Keraamit kestävät paremmin kemikaaleja ja lämpöä. Ne ovat myös kovempia. [9]

Yleisin kertamuovi on fenolihartsit, jonka yleisimmät käyttökohteet ovat rakennus-, eristys- ja levyteollisuudessa. Toiseksi eniten käytetään aminohartseja, joiden jälkeen tulee polyesteri- sekä epoksihartsit. Suurinta osaa kestonuoveista joko lujitetaan lujiteaineilla tai täytetään täyteaineilla. Ilman näitä lisäyksiä, muovihartsit ei olisi tarpeeksi kestävä rakenteelliseen tai tekniseen käyttöön. Lujitteiden lisäyksellä haetaan lujuutta ja jäykkyyttä, kun taas täyteaineet lisäävät lähinnä jäykkyyttä ja alentavat kuluja. Kertamuovituotteiden painosta 30 – 70 % koostuu yleensä lujitteista. [9]

Kerta- ja kestonuovit ovat monessa sovelluksessa täysin kilpailukykyisiä vaihtoehtoja. Kertamuoveilla on kestonuoveja parempi korroosiokestävyys, paremmat virumis- ja korkealämpötilaominaisuudet sekä pienempi muottikutistuma. Suurien rakenteiden valmistaminen, kuten putkien, säiliöiden ja veneenrunkojen valmistus, on myös helpompaa kestonuoveista. Tekniset kestonuovit ovat joissakin tapauksissa edullisimpia. Koska niillä voidaan saavuttaa erittäin lyhyt kappaleen jakso- ja valmistusaika. Kestonuovien valmistuksen tehokkuus tulee esiin varsinkin pienten kappaleiden sarjatuotannossa. Verrattaessa kestonuoveja kestonuoveihin, niiden huonoin ominaisuus lieenee luonteeltaan hauras murtumismekanismi ja heikko iskunkestävyys. Vaikka kertamuoveja voikin muokata laajalti ryhmän sisällä, niiden toinen suuri ongelma on, ettei niitä saa takaisin alkuperäiseen hartsimaiseen muotoon enää kovettumisen jälkeen.

Tämä on tuotannossa haitaksi, mikäli valu menee pieleen jostain syystä, kappaletta ei välttämättä pystytä enää hyödyntämään. [9]

3.2.1 Polyesterihartsit

Polyesterihartseja, tai oikeammin tyydyttämättömiä polyestereitä, valmistetaan kondensoimalla kaksiarvoista happoa (anhydridiä) ja kaksiarvoista alkoholia (glykolia). Reaktiossa syntyvää polymeeriä kutsutaan lineaariseksi polyesteriksi. Osan raaka-aineista sisältäessä hiili-hiilikaksoissidoksia, saadaan tyydyttämättömiä polyestereitä. Yleisin polyesterihartseissa käytetty tyydyttämätön happo, on maleiinihappoanhydridi. Välillä käytetään myös fumaarihappoa, joka on maleiinihapon isomeeri. Näiden lisäksi valmistuksessa tyydytettyjä happoja, joista ortoftaalihappoanhydridi on yleisin. Siitä syntyvästä hartsista käytetään lyhyesti nimeä ortopolyesteri. Mikäli käytetään isoftaalihappoa, saadaan isopolyesteriä eli isoftaalihappopolyesteriä. Yleisin polyesterihartsien valmistuksessa käytetty glykoli on propeeniglykoli. Käyttämällä dieteeniglykolia tai dipropeeniglykolia voidaan parantaa hartsin joustavuutta. Säänkestävyyttä hartseihin saadaan yleensä käyttämällä neopentyyliglykolia. [9]

Ftaalihappo- ja maleiinihappoanhydridin seokseen perustuvat ortopolyesterit esteroidaan propeeniglykolilla. Valmistuksessa, eli keitossa syntyvä, polyesterialkydi liuotetaan styreeniin, joka toimii kovettumisreaktiossa reaktiivisena monomeerinä. Styreeni myös pienentää hartsin viskositeettiä laminointityöskentelyn vaatimalle tasolle. Valmistus eroaa isoftaalihappo -pohjaisten polyestereiden valmistuksesta vain siinä, että ftaalihappoanhydridin sijaan käytetään isoftaalihappoa. Erikoistarkoituksiin valmistetaan muita polyestereitä, jotka eroavat kemiallisen koostumuksensa sekä lähtöaineiden osalta. Propoksyloidusta tai etoksyloidusta bisfenoli-A:sta ja polyesteriden valmistukseen käytetyistä hapoista (esim. fumaarihappo) valmistetaan bisfenoli-A -pohjaista hartsia. Nämä ovat kovempia, jäykempiä ja ne kestävät paremmin lämpöä kuin polyesterihartsit. Kun halutaan valmistaa huonosti syttyviä tai palamattomia polyestereitä, käytetään lähtöaineena kloorattuja kaksiarvoisia happoja kuten HET-happoanhydridiä, tetrakloori- tai tetrabromiftalaattia. HET-happoanhydridi on maleiinihappoanhydridin ja heksakloorisyklopentadieenin adduktio. HET-happopohjaiset polyesterit ovat erittäin kemikaalien- ja lämmönkestäviä sekä itsestään sammuvia. Niiden palo-ominaisuuksia voidaan myös parantaa palonestoaineilla. Tähän tarkoitukseen käytetään esimerkiksi antimonioksidia ja fosforihapon estereitä. [9]

Tyydyttämättömät polyesterihartsit valmistetaan sulattamalla polymeroinnin raaka-aineet reaktorissa. Kemiallisen reaktion seurauksena muodostuvaa vettä poistetaan reaktorista koko ajan. Reaktorissa käytetään suojakaasuna jotain inerttiä kaasua, kuten typpeä tai hiilidioksidia. Tämä kaasu puhalletaan reaktioseoksen läpi, joka nopeuttaa myös vedenpoistumista. Valmistuksen loppupuolella jäljellä oleva vesi poistetaan alipaineen avulla. Tämän jälkeen sula polyesteri jäädytetään ja sekoitetaan lisäaineiden ja styreenin kanssa, joka toimii reaktiivisena liuottimena. Näillä hartsin ominaisuuksista muokataan tuotannon vaatimusten mukaiset. Lisäaineet voidaan jakaa niiden toiminnan mukaan viiteen ryhmään; kiihdyttimet, inhibiittorit, haihtumisen estoaineet, tiksotrooppiset aineet ja UV-stabilisaattorit. [9]

Kiihdyttimiä on kahta eri tyyppiä, Ko-yhdisteet sekä amiinit. Polyesterihartsit eivät tavallisesti kovetu peroksiidikovetteen vaikutuksesta ilman kiihdytettä. Kiihdyttimenä toimivat metalliyhdisteet kuten koboltit tai orgaaniset amiinit. Yleisimpiä ovat kobolttioktoaatti ja -naftenaatti, jotka ovat liuotettu pehmitteeseen, esimerkiksi dioktylyliftalaattiin tai styreeniin. Yleisimmät orgaaniset amiinit ovat N,N-dimetyylianiiliini (DMA) ja N,N-dietyylianiiliini (DEA) sekä dimetyyli-p-toluidiini (DMpT). DMA:han verrattuna DEA antaa pitkän hyytymisajan sekä nopean kovettumisen, DMpT taas on erittäin nopea kiihdyte. [9]

Inhibiittorit muodostavat inaktiiveja molekyyliä reagoimalla radikaalien kanssa. Tällä pyritään pidentämään työskentelyaikaa ja estämään hartsin ennen aikainen kovettuminen. Kun inhibiittori loppuu, alkaa polymeroituminen ja hartsin kovettuminen. Polyesterihartsien varastointiaika on useampia kuukausia, joskus jopa vuosia, inhibiittorin ansiosta. [9]

Usein polyesterihartseihin lisätään myös haihtumisen estoaineita. Näiden avulla pystytään vähentämään styreenimonomeerien haihtumista laminoinnin yhteydessä. Toisaalta haihtumisen estoaineet estävät kappaleen pinnassa kovettumista. Hartsin pinta ei kovetu, eli se jää tahmeaksi, mikäli haihtumisen estoainetta ei käytetä. Tavallisimmat haihtumisenestoaineet ovat vahat ja vahamaiset yhdisteet. [9]

Polyesterihartsit tarvitsevat tiksotrooppisia ominaisuuksia, muuten ne valuvat helposti, varsinkin pystysuorilla pinnoilla. Erikoismenetelmällä valmistettu piidioksidi on yleisin tiksotropiaa lisäävä yhdiste. Piidioksidi vähentää hartsin viskositeettiä, jonka ansiosta valuminen vähenee. Tämä perustuu vetysiltojen muodostumiseen piidioksidin hydrok-

syyliiryhmien ja polyesterimolekyylien välille. Kovettunut hartsi on hieman sameaa tikso-
trooppisten lisäaineiden ansiosta. [9]

Tyydyttämättömät polyesterit kovettuvat vapaiden radikaalien avulla, joita muodoste-
taan käyttämällä orgaanisia peroksiedeja. Itse kovettuminen on kolmivaiheinen, ensin
hartsi hyytyy, sitten se kovettuu ja lopuksi tapahtuu jälkikovettuminen. Hartsin työstä-
misaika määräytyy sen hyytymisajan mukaan. Hyytymisvaiheen alettua hartsia ei enää
voi työstää tai käyttää. Hyytymisvaiheen aloittava kemiallinen reaktio on eksoterminen
ja näin ollen itse itseään nopeuttava. Haittapuolena on se, että aine voi lämmittää itse-
ään liikaa ja hartsi saattaa tummua eli ”palaa”. Laminaatin kovettuminen alkaa kuiten-
kin vasta, kun inhibiittorin vaikutus lakkaa. Kun inhibiittori loppuu, pääsee hyytyminen
alkamaan, jonka seurauksena alkaa lämmönkehitys ja hartsin nopea kovettuminen
muoviksi. Täydellinen kovettuminen tapahtuu vasta jälkikovetuksessa. Kovettumisas-
tetta voidaan seurata jäännösstyreenipitoisuuden tai Barcol-kovuuden avulla. [9]

Kovetteina polyesterihartseissa käytetään orgaanisia peroksiedeja. Niiden ominaisuudet
ja soveltuvuus eri työstömenetelmiin määräytyvät hajoamisnopeuden, puoliintumisajan,
kriittisen lämpötilan ja aktiivihapen määrän avulla. Kriittisellä lämpötilalla tarkoitetaan
lämpötilaa, jossa peroksidi alkaa hajota muodostaen radikaaleja. Puoliintumisajalla
tarkoitetaan sitä aikaa, jossa puolet peroksidista on hajonnut tietyssä lämpötilassa.
Peroksidit voidaan jakaa kahdella tavalla, joko puhtaisiin ja sekaperoksideihin tai kemi-
allisesti kuuteen eri ryhmään. Bentsoyyliperoksidi ja kumeenihydroperoksidi ovat esi-
merkkejä puhtaista peroksiedeista, kun taas sekaperoksiedeja ovat esim. metyylietyylike-
toniperoksidit. Kemiallisesti jaettaessa ryhmät ovat ketoniperoksidit, diasyyliperoksidit,
hydroperoksidit, dialkyyliperoksidit, peroksidesterit sekä perketaalit. Peroksiedeja myy-
dään yleensä ftalaattipehmitteeseen liuotettuna sillä suurin osa niistä on puhtaina her-
kästi räjähtäviä. [9]

Ketoniperoksidit ovat eniten käytettyjä kovetteita huoneenlämpötilassa yhdessä kobolt-
tikiihdytteiden kanssa. Tavallisimmat ketoniperoksidi-kovetteet ovat metyylietyyliketoni-
peroksidi (MEKP) ja sykloheksanoniperoksidi (CHP). Näiden lisäksi käytetään asetyyli-
asetoniperoksidia (AAP), metyyli-isobutyylketoniperoksidia sekä kaikkien edellä mainit-
tujen seoksia. CHP kovettuu huoneenlämpötilassa, mutta saattaa vaatia jälkikovetuks-
sen oikein alhaisilla lämpötiloilla. MEKP:ta kellastaa laminaattia CHP:ta helpommin.
AAP:n annostelussa on oltava tarkka, sillä pienikin virhe saattaa pilata erän, toisaalta
se on nopea kovete. [9]

Diasyyliperoksidoista tavallisin on dibentsoyyliperoksidi, joka tunnetaan myös lyhyemmin nimellä bentsoyyliperoksidi (BPO). Muita diasyyliperoksidoja ovat diasetyyliperoksidi ja dikapryyliperoksidi. BPO:ta myydään joko ftalaattipastana tai vedellä kostutettuna ja sen yleisin käyttökohde on lämpökovetuksessa SMC:n, BMC:n ja levyjen valmistuksessa.[9]

Hydroperoksidi-kovotetteista yleisimpiä ovat tertbutyylihydroperoksidi (tBHP) ja kumeenihydroperoksidi (KHP). Molempien kanssa käytetään joko koboltti- tai vanaadiinikiihdytettä. Kun yhdistää KHP:n ja BPO:n, lopputuloksena saadaan asteittain alhaisissa lämpötiloissa kovettuvaa hartsia. Kovettumisreaktion aloittaa BPO ja, kun eksotermisen reaktion tuottama lämpötila on sopivan korkea, hoitaa KHP kovettumisen loppuun. [9]

Dikumyyliperoksidi (DKP), di-tert-butyyliperoksidi ja tert-butyylikumyyliperoksidi ovat tärkeimmät dialkyyleistä ja dialkyyliperoksidoista. Niitä käytetään etenkin BMC:n kovettimena lämpökovetuksessa. Näitä ei kuitenkaan pysty kiihdyttämään, vaan ne vaativat lämpöä kovettuakseen. [9]

Peroksidiestereistä yleisin käytetty kovete on tert-butyyliperbentsoaatti (tBPB). Sitä käytetään sellaisenaan BMC:ssä sekä kuumapuristuksessa. Muita peroksidiesteritä ovat tert-butyyliperoktoaatti, tert-butyyliperoksidietyyliasettaatti sekä tert-butyyliperoksipivalaatti. [9]

Pereksaalit ovat lämpökovetuksessa käytettäviä erikoiskovetteita. Niitä käytetään erityisesti pigmentoiduissa tuotteissa, koska niiden ominaisuudet eivät muutu pigmentoitujen metallien vaikutuksesta. Pereksaalien kanssa ei voi käyttää kiihdytteitä. Yleisin pereksaali on 2,2-bis(tert-butyyliperoksi)butaani, jota käytetään sekä SMC:n että BMC:n kovettamiseen. [9]

Kaupallisella puolella polyestereitä käytetään myös ns. pintahartsina. Pintahartseja ovat gelcoat-hartsi, joka laitetaan muotille ensimmäisenä sekä valmiin kappaleen pinnalle lopuksi tuleva topcoat-hartsi. Pintahartseja ei yleensä käytetä teollisuudessa, ainoana poikkeuksena on veneteollisuus, jossa gelcoat- ja topcoat-hartseja käytetään paljon. Gelcoat-kerros on hyvin kiiltävä ja yleensä pigmentoitu. Sen tarkoitus on antaa tuotteelle ulkonäköä ja suojata laminaattia kemiallisesti. Joissakin tapauksissa käytetään pigmentoimatonta gelcoatia. Tällä tavoin voidaan tarkastaa valmis laminaatti ennen maalausta. Gelcoat-hartseja valmistetaan erikseen pensseli- ja ruiskulevittämiin. Topcoat-hartsia käytetään usein ja sitä levitetään valmiin kappaleen muotin vas-

taiselle pinnalle. Sen tarkoituksena on antaa laminaatille hartsirikas, siisti ja vettähylkivä pinta. Topcoat sisältää hartsin lisäksi parafiinia sekä usein myös väripigmenttejä. Koska topcoat sisältää parafiinia, sen päälle ei saa suoraan laminoida. Jotta laminoidun kerroksen ja topcoatien saa tarttumaan toisiinsa, on pintakerros hiottava huolella pois. Sekä topcoat että gelcoat valitaan käyttötarkoituksen mukaan. [9]

3.2.2 Vinyyliesterihartsit

Vinyyliesterihartsit ovat epoksien tyydyttämättömiä estereitä. Metakryylihapon ja bisfenoli-A:n reaktiotuotteet ovat yleisimpiä vinyyliestereitä. Ne ovat yleensä liuotettuna styreeniin. Vinyyliestereiden toisen ryhmän muodostavat epoksien novolakoihin perustuvat vinyyliesterit. Nämä ovat hieman kestävämpiä sekä kemiallisesti että lämmönsuhteen verrattuna bisfenoli-A:n vinyyliestereihin. Vinyyliesterihartseja on myös kehitetty erikoistarkoituksiin, tosin nämä eroavat edellä mainituista kemiallisesti. Esimerkkejä näistä ovat alifaattiset polyoliepoksit, joustavammat kaksiarvoiset karboksyylihappojen epoksit ja maleiinihappoanhydridillä modifioidut vinyyliesterihartsit. [9]

Vinyyliesterit muistuttavat monilta ominaisuuksiltaan epokseja ja niiden työstön helppous polyesterihartseja. Tästä ne saavat kiittää kemiallista luonnettaan. Vinyyliesteripolymeerien liuottimena, sekä reaktiivisena monomeerinä, käytetään usein styreeniä. Sen avulla hartsin viskositeetti saadaan sopivaksi laminointiin. Hartseja on markkinoilla eri moolimassaisina sekä vaihtelevina styreenipitoisuuksina. Polymeerien moolimassan kasvaessa ristosilloittuneisuus vähenee koska bisfenoli-A -pohjaisten polymeerien kaksoissidoksellinen ristosilloittuva metakrylaattiryhmä sijaitsee polymeeriketjun päässä. Pienemmän moolimassan omaavat polymeerit ristosilloittuvat pitemmälle, josta johtuen ne ovat kemiallisesti kestävämpiä. Niillä on myös parempi lämmönkestävyys, mutta ne ovat myös hauraampia kuin suuren moolimassan omaavat polymeerit. [9]

Vinyyliesterihartsien kovettaminen tapahtuu samalla tavalla kuin tavallisten polyesterihartsit. Mikäli kovettaminen suoritetaan huoneen lämmössä, käytetään kiihdyttimenä yleensä kobolttinaftenaattia ja dimetyylianiiliinia. Kovetteena toimii metyylietyyliketoniproksidia. Bentsoyyliperoksidi- ja t-butyyliperbentsoatti -kovetteita käytetään usein korkealämpötilakovetuksessa. Peroksidin aktivoitessa styreenin kaksoissidoksen ja vinyyliesteripolymeerin metakrylaattiryhmän kaksoissidoksen, alkaa vinyyliesterin kovettuminen. [9]

Vinyyliestereitä käytetään eniten prosessiteollisuuden korroosionkestävissä laitteissa, joita käytetään selluloosa-, paperi-, ja kemianteollisuudessa sekä jäteveden käsittelyssä. Tyypillisiä prosessilaitteita ovat putket, säiliöt, pesurit, savupiiput, reaktorit sähkölaitteet, pumput ja pinnoitteet. Näissä on voitu vinyyliesterillä korvata esimerkiksi lasia, terästä, betonia tai tiiltä. Vinyyliesterit sopivat moneen käyttöön juuri siitä syystä, että ne ovat sitkeitä ja lämmönkestäviä. Ne kestävät myös monia kemikaaleja, aina voimakkaista emäksistä voimakkaisiin happoihin. Vinyyliestereillä on myös hyvät tartunta- ja kostumisominaisuudet kaikkiin lujitteisiin ja ne kovettuvat tavanomaisilla kovettimilla. [9]

3.2.3 Epoksihartsit

Epoksihartsilla tarkoitetaan hartseja, jotka sisältävät vähintään kaksi glysidyyliryhmää, tuttavallisemmin epoksiryhmää. Hartsin kovettumisreaktiossa epoksiryhmä reagoi kovetteen kanssa. Lopputuloksena syntyvä epoksimuovi ei ole enää kemiallisessa mielessä epoksi. Lähes kaikista bisfenoli ja monifunktionaalisista fenoleista, glykoleista sekä polyoleista voidaan epoksoida epoksihartsseja, eli eri vaihtoehtoja on monia. Huoneenlämpötilassa epoksit ovat viskooseja nesteitä. [9]

Yleisin käytössä oleva epoksihartsi on bisfenoli-A:n diglysidyylieetteri eli DGEBA. Se valmistetaan bisfenoli-A:sta ja epikloorihydriinistä. Bisfenoli-A:n valmistukseen käytetään fenolia ja asetonia. Kemialliselta koostumukseltaan, epoksiekvivalenttipainoltaan sekä viskositeettinsa puolesta eriäviä bisfenoli-A tyyppisiä hartseja valmistetaan monta eri laatua. DGEBA saattaa varastoitaessa kiteytyä. Kasvattamalla hartsin epoksiekvivalenttia tämä kovettumistaipumus saadaan pieneneväksi. Epoksihartsien toisen tärkeän ryhmän muodostavat epoksoidut fenoli-novolakat (EPN). Yleisimmät EPN-hartsit ovat fenoliformaldehydi- tai o-kresoliformaldehydinovolakkojen polyglysidieettereitä. Muita maininnan arvoisia epoksihartsseja ovat triglysidyylip-aminofenoli (TGAP) ja N,N,N',N'-tetraglysidyylimetyleenidianiliini. [9]

Epoksihartsien kovettamiseen käytetään reaktiivista kovetetta. Hartsi reagoi kemiallisesti stökiometrisessä suhteessa kovetteen kanssa. Kovete voi olla primäärinen, sekundäärinen tai tertiäärinen amiini tai anhydridi. Niiden avulla voidaan säätää valmiin muovin ominaisuuksia. Kovetetta ei kuitenkaan saa olla liikaa, sillä ylijäämä kovete jää reagoimattomana kovettuneeseen epoksiin, huonontaan sen ominaisuuksia. Epoksisysteemiin voidaan myös lisätä reaktiivisia liuottimia, joilla systeemin viskositeettia saadaan pienennettyä. Ne myös parantavat hartsin kostutusominaisuuksia ja helpotta-

vat lujitteiden kyllästämistä hartsilla. Tyypillisesti liuottimena käytetään alkoholien, fenolien tai kresolien diglysidyyliettereitä. Koska epoksimuovien kemia on niin monipuolista, voidaan kovettettujen epoksien ominaisuuksia säädellä erittäin laajasti vaatimusten mukaan. [9]

Epoksien käyttökohteet voidaan jakaa neljään ryhmään: yleiskäyttö, sähköteollisuuden käyttö, avaruus- ja lentokonekäyttö sekä käyttö liimoina. Yleiskäyttö kattaa urheiluvälineet sekä vapaa-ajan välineet. Nämä epoksit kovetetaan yleensä aromaattisilla tai alifaattisilla amiineilla tai anhydrideillä. Lujitteena käytetään yleensä lasikuitua. Tuoteesimerkkejä ovat putket, autojen osat ja urheiluvälineet. Sähköteollisuudessa suurin käyttökohde ovat elektroniikan piirilevyt ja komponenttien kotelot, esim. integroidut piirit. Näissä joudutaan usein käyttämään huonosti syttyviä halogenoituja erikoisepokseja ja erikoisamiinikovetteita sekä kiihdyttimiä. Lentokone- ja avaruusteollisuus käyttää myös paljon epokseja. Tyypillisin raaka-aine on tällöin esipolymeroidun epoksihartsin ja tavallisimmin hiilikuidun muodostama prepreg. Lujite voi olla levymäistä, kangasmaista tai nauhaa. [9]

3.2.4 Fenolihartsit

Fenolihartseja valmistetaan kondensoimalla fenolia formaldehydin kanssa. Muunnoksia saadaan käyttämällä lähtöaineena substituoituja fenoleja tai aldehydejä, ei kuitenkaan formaldehydejä. Näillä saadaan muutettua hartsin reaktiivisuutta ja kovettun muovin jäykkyyttä. Hartsin ominaisuuksia voidaan myös muokata muuttamalla fenolin ja urean suhdetta, keitto-olosuhteita sekä katalyyttiä. Fenolihartsien valmistuksessa, eli keittämisessä, voidaan käyttää sekä emäs- että happokatalyyttiä. Alhaisen moolimassan resolihartseja saadaan aikaan, jos käytössä on emäs. Tällöin formaldehydiä on reaktioseoksessa yli tarpeen eikä tuote ristosilloitu kokonaan. Nämä hartsit ristosilloittuvat, eli kovettuvat kuumentamalla, ja niitä kutsutaan myös yksivaihehartseiksi. Käytettäessä happokatalyyttiä kaikki formaldehydi reagoi ja prosessi on myös nopea. Tällöin reaktioseoksessa on ylimääräistä fenolia. Näin syntyy vedetön novolakka-hartsi, joka on hauras ja kuumentaessa sulaa kovettumatta. Novolakan kovettamiseen tarvitaan kovete. Kylmäkovetuksessa käytetään formaldehydiä ja kuumakovetuksessa heksametyleenitetramiinia. [9]

Lujittamatonta fenolihartsia käytetään Suomessa vedenkestävänä liimana vanerin liimaukseen ja pinnoitukseen. Hartsista saadaan kovettuessaan luja puuliima, kun siihen lisätään kovete. Kuitulevy-, lasivilla-, valimo- ja paperiteollisuus käyttävät näitä fenoli-

hartseja. Fenolihartseja käytetään myös usein sideaineena hiomapapereissa. Resorcinolihartseja käytetään lähinnä liimapuupalkkien valmistuksessa. Fenolihartseja lujitetaan ja täytetään täyteaineilla teknisessä käytössä. Tyypillisimmät täyteaineet ovat selluloosa, puujauho ja mineraalit. Fenolipuristemassoja saatetaan lujittaa myös lasikuiduilla. Massoja on markkinoilla niin hiutaleina, rakeina kuin jauheenakin. [9]

Teknisessä käytössä fenolihartseja löytyy sähköteollisuuden rasioista, kytkimistä, pistokkeista ja pistotulpista. Kestomuoveja on kuitenkin alettu suosimaan mm. siksi, että fenolit ovat väriltään mustia tai ruskeita. Fenolipuristemuoveista voidaan valmistaa tuotteita ahto- tai siirtopuristuksella sekä ruiskuvalulla. Laminointikäyttöön on kehitetty erikoislaatuja fenolihartseja, joissa fenolit on korvattu polyesterihartseilla. Näitä erikoislaatuja käyttävät etenkin auto- ja lentokoneteollisuus. Polyestereihin verrattuna, fenolit muodostavat vähemmän savua, joka on niiden eduksi palotilanteissa. [9]

3.2.5 Aminohartsit

Aminohartseja valmistetaan antamalla formaldehydin reagoida aminoryhmän (NH_2) kanssa. Urea-formaldehydi (UF) sekä melamiini-formaldehydihartsit ovat tavallisimmat aminohartsit. Molempien suurimpia käyttäjiä ovat lastulevy- ja muu levyteollisuus. Melamiinihartsit kestävät kosteutta ureahartseja paremmin, jotka eivät ole täysin vedenkestäviä. Molempia hartseja valmistetaan panosreaktorissa kondensoimalla raaka-aineita happokatalyytin läsnä ollessa. Yleensä ureaformaldehydi-hartsit ovat selluloosalla täytettyjä, kun taas melamiini-formaldehydihartseja täytetään selluloosalla, mineraaleilla ja lasikuiduilla. Hartsit toimitetaan joko jauheena tai granulaatteina. Niistä valmistetaan kertamuovipuristeita kuumapuristus-, ahtopuristus- tai ruiskuvalumassoista. Melamiinipuristemassoja käytetään enimmäkseen astioissa, tuhka- ja kotelossa, koteloissa ja sähköasennuseristeissä. Ureapuristemassoja sen sijaan käytetään sähkötekniikassa sovelluksissa kytkimissä ja vastaavissa. [9]

3.2.6 Polyuretaanihartsit

Kovettumisensa jälkeen uretaaniryhmän ($-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$) sisältäviä hartseja kutsutaan polyuretaaneiksi. Polyuretaaneja tuottavia kemiallisia reaktioita on useita, mutta niistä tärkeimmät ovat isosyanaattien reaktiot alkoholien, amiinien ja veden kanssa. Tavallisin polyuretaaneja muodostava reaktio tapahtuu isosyanaatin ja alkoholin välillä. Isosyanaatin on oltava vähintään kaksifunktionaalinen ja alkoholin moniarvoinen eli ns. polyoli, kun valmistetaan polyuretaanimuoveja. Kaksiarvoisten alkoholien avulla ketjuja

pidennetään, kun taas moniarvoiset toimivat ristosilloittajina. Amiinien reagoidessa isosyanaatin kanssa muodostuu polyurea-uretaaneja. Reaktion tapahtuessa veden kanssa lopputulos on vastaava, ainoana erona on hiilidioksidin muodostuminen sivutuotteena. Hiilidioksidi paisuttaa muovia. Myös polyuretaaneilla on monipuolinen kemia, joka tarjoaa paljon eri mahdollisuuksia niiden valmistukselle. [9]

Isosyanaatteja on useita, joista polyuretaanin valmistuksen kannalta tärkeimpiä, ovat aromaattiset isosyanaatit. Verrattuna vastaaviin alifaattisiin isosyanaatteihin, aromaattiset ovat reaktiivisempia sekä halvempia. Isosyanaattien kanssa työskenteleminen vaatii huolellisuutta sekä itse työssä että työturvallisuusasioissa, myrkyllisyytensä takia. Yleisimpiä isosyanaatteja ovat difenyyylimetaani-4,4'-di-isosyanaatti ja toluenidi-isosyanaatti. Naftaleeni-1,5-di-isosyanaattia käytetään jonkun verran erikoisvalupolyuretaanien valmistamiseen. Niitä käytetään erityisesti prosessiteollisuuden syklooneissa kulumiskestävyytensä takia. [9]

Korkeamman moolimassan kaksi- tai useampiarvoisia polyoleja käytetään joustavana osana polyuretaanien polymeeriketjuissa. Näiden polyolien on oltava alifaattisia, jotta ne olisivat tarpeeksi joustavia. Kemiallisesti polyolit perustuvat joko propeenioksidiin tai adibiinihappoon, eli ovat joko polyeetteripolyoleja tai polyesteripolyoleja. Toinen tärkeä polyoli -ryhmä on polyolit, jotka päättyvät aminoryhmään. [9]

Vaikka edellä onkin mainittu polyuretaanin tärkeimmät ainesosat, lisätään niihin myös muita lisäaineita. Esimerkkejä näistä ovat katalyytit, stabilisaattorit, paisunta-aineet, palonestoaineet, ja irrotusaineet. Polyuretaanimuovien ominaisuuksiin pystytään vaikuttamaan raaka-aineiden valinnoilla sekä niiden suhteilla. Tämä lisäksi myös veden tai paisunta-aineen määrä vaikuttaa lopputulokseen. Muovien soluisuutta ja tilavuuspainoa voidaan myös säätää hyvin laajasti. [9]

Tekniset polyuretaanit jaetaan usein valmistusmenetelmän perusteella integraalimuoveihin, puolikiinteisiin puriste- ja valumuoveihin sekä kiinteisiin integraalimuoveihin ja tavallisiin kiinteisiin solumuoveihin. Integraalimuoveilla on kova pinta ja solupolyuretaaninen ydin. Niitä valmistetaan RIM-menetelmällä eri tiheyksin ja jäykkyyksin. Käyttökohteita löytyy etenkin autoteollisuudesta joko lujittamattomina tai lasikuitulujitteisina. Tavallisia käyttökohteita ovat puskurit, spoilerit sekä sisätiloissa mm. ovien kädensijat, vaihdetangot ja pääntuet. Puolikiinteillä puristemuoveilla on hyvä mekaaninen vaimennus ja energian absorptio, koska ne ovat yleensä avosoluisia, ja niillä esiintyy elastista hystereesiä. Näitä käytetään yleensä toisten muovien ydinaineena, esimerkiksi PVC:n.

Puolikiinteät solumuovit ovat hyvin jäykkiä, sillä ne ovat kiinteitä tai mikrosoluisia. Tavallisesti niitä käytetään autojen ulkopuolisiin osiin ja prosessitekniikan laitteissa. Kiinteät integraalimuovit ovat hyvin jäykkiä, vaikka ovatkin kevyitä ja eroavat täten joustavista integraalimuoveista. Niitä käytetään monissa tuotteissa, esimerkiksi elektroniikkalaitteiden koteloissa, tuoleissa, pöydissä ym. huonekaluissa. Kiinteitä solupolyuretaaneja käytetään useimmiten lämmöneristeenä. Niitä käytetään myös ydinaineena parantamassa jäykkyyttä ja äänen- sekä lämmöneristystä. [9]

3.2.7 Allyylihartsit

Diallylyliftalaattihartseja valmistetaan käyttämällä allyylialkoholia yhdessä orgaanisen hapon tai happoanhydridin kanssa. Diallylyliftalaattia, allyylihartsien monomeriä, valmistetaan ftaalihappoanhydridistä ja allyylialkoholista. Diallylyliftalaatti polymeroidaan hartseiksi, joka kovettuu ja ristisilloittuu vapaaradikaali-initiaattorin ja lämmön vaikutuksesta. Lopputuloksena saadaan joko yleisempää ortodiallylyliftalaattia (DAP) tai vähemmän käytettyä diallyyli-isoftalaattia (DAIP), riippuen käytössä olevasta ftaalihappoanhydridistä. DAP sekä DAIP ovat yleisesti käytössä olevia lyhenteitä, mutta niiden ISO-standardin mukaiset nimitykset ovat PDAP sekä PDAIP. Lujitteena käytetään lasikuitua ja täyteaineena esimerkiksi talkkia tai alumiinihydroksidia. [9]

Allyylimuoveilla on hyvät sähköiset ominaisuudet, joilla tarkoitetaan tilavastusta, läpilyöntikestoa ja valokaaren kestävyttä. DAP:eilla on myös pieni viruma. Mekaaniset ominaisuudet ovat vastaavat kuin muillakin kertamuoveilla eli suhteellisen huono loviiskulujuus, suuri puristuslujuus ja vetomoduuli. DAIP-muoveilla on DAP-muoveja parempi lämmönkestävyys. Yleisin valmistusmenetelmä allyylimuovituotteille on ruiskuvälu. Tuotteet ovat lähes yksinomaan sähkö- ja elektroniikkateollisuuden käyttöön tarkoitettuja. Esimerkkeinä voidaan mainita erilaiset liittimet, kannat, yliheittimet ja pistokkeet. [9]

3.2.8 Bismaleimidit

Bismaleimidihartseista (BMI) tavallisimpia ovat metyleenidianiliiniin (MDA BMI) ja maleiinianhydridiin pohjautuvat hartsit. BMI:t eroavat muista kertamuoveista siinä, että ne kovettuvat pelkän lämmön avulla, ilman erillistä kovetetta. Ne ovat myös erittäin lämmönkestäviä. Bismaleimidejä valmistetaan yleisimmin metyleenidianiliinista ja maleiinianhydridistä. Valmistustapoja on kaksi, joko happo vaiheen kautta tai suoraan bismaleimidiksi. Tällöin raaka-aineet reagoivat keskenään kiehuvaan etikkahapossa tai di-

metyyliformamidissa. Puhdas MDA BMI-muovi on haurasta, joten voidaan parantaa lisäämällä esim. ketjunvaihdon avulla tolueenidiamiinia. Toinen vaihtoehto on lisätä reaktiivista lisäainetta, joista tyypillisiä esimerkkejä ovat diamiinit, olefiinit ja disyanaattiesterit. Homopolymeroidut BMI-muovit ovat kuitenkin sellaisenaan käyttökelpoisia elektroniikan piirilevylaminaatteihin. Homopolymeroidut BMI:t kovettuvat ilman lisäaineita lämmön avulla. [9]

Bismaleimidejä on markkinoilla sellaisenaan tai hiili-/lasikuidulla lujitettuna. Lujitetut tuotteet ovat prepregeja, eli hartsilla esi-impregnoituja. BMI:t omaavat erittäin hyvät mekaaniset ominaisuudet, etenkin hiilikuitulujuitettuna. BMI-hartsien hinta on korkea, koska niitä valmistetaan vähän ja niiden kemia on hankalaa. [9]

3.2.9 Polyimidit

Polyimidit (PI) koostuu yleensä pyromelliittisen di-anhydridi ja 4,4'-oxydianiliini monomeereistä. PI luokitellaan kertamuoviksi, mutta sillä on myös kestopuovin ominaisuuksia. Polyamideilla on hyvä lämmönkesto, kemiallinen kestävyys ja sen mekaaniset ominaisuudet ovat myös hyvät. Etenkin hiili- tai lasikuitu lujitteisena sen taivutuksenkesto on erinomainen. Viruma on myös erittäin pieni. Polyimidit kestävät hyvin tulta eikä niihin siksi sekoiteta muita palamattomuutta edistäviä aineita. Alkaalit ja epäorgaaniset hapot ovat PI:en heikkous, ne tuhoavat muovin. Käyttökohteita polyimideille löytyy elektroniikkateollisuuden komponenteista, taipuisista kaapeleista ja eristekalvoista sekä lääketieteen putkista. Puolijohdeteollisuus hyödyntää polyimidejä mekaanisen jännitteen poistoon ja korkealämpötila kovetteena. Polyimidejä käytetään myös eristeenä, tästä hyvänä esimerkkinä DuPontin Kapton. [15]

3.3 Biohajoavat muovit

Biohajoavaa muovia voidaan valmistaa esim. perunan tai maissin tärkkelyksestä, selluloosasta tai soijasta. Määritelmä biohajoavalle muoville on muuttunut sen keksimisen jälkeen. Ennen biohajoavalla muovilla tarkoitettiin muovia, joka hajoaa pienempiin osiin ja läpikäy kemiallisen muutoksen elävien organismien vaikutuksen alaisena. Lyhyesti sanottuna, hajoaa luonnossa. Ongelmana tässä määritelmässä on, että se ei mitenkään erottele missä ajassa tämän hajoamisen pitäisi tapahtua. Määritelmä ei myöskään ota kantaa millaisessa ympäristössä hajoamisen kuuluu tapahtua. Nykyään bio-

hajoavaksi muoviksi määritellään muovi, joka hajoaa luonnollisesti esiintyvien mikro-organismien (bakteerit, sienet, levät) vaikutuksesta. Määriteltynä on myös hajoamisen määrä sekä hajoamisaika, nämä vaihtelevat niin että hajoamisaste on 60 – 90 % aikavälillä 60 – 180 päivää. [16, 17]

Kompostoitava muovi on yksi biohajoavien muovien alaluokista. Se kattaa muovit, jotka hajoavat biologisesti kompostoinnin aikana. Hajoamisprosessin lopputuotteina on hiilidioksidi, vesi, epäorgaanisia aineita sekä biomassaa. Kompostoitavien muovien kuuluu maatua muita kompostoitavia materiaaleja vastaavalla nopeudella, tarkoittaen 2 - 3 kuukautta kompostissa. Niistä ei saa jäädä mitään silmämääräisesti eroteltavia osia, eikä ympäristölle myrkyllisiä yhdisteitä. Toinen alaluokka on biohajoavat muovit. Näidenkin hajoamisen aiheuttavat luonnolliset mikro-organismit, mutta erona kompostoitaviin maatumisaika on 2 - 3 vuotta kaatopaikalla. Kolmantena ryhmänä ovat hajoavat muovit, jotka ovat öljypohjaisia. Näiden hajoamiseksi lasketaan ainesosien kemiallisen muodon muuttuminen. Nämä vaativat kahteen muuhun verrattuna erikoisympäristön hajoamisprosessin aloittamiseksi, esimerkkeinä voidaan mainita UV-valo, lämpö tai kosteus. Lopputuotteet eivät kelpaa ravinnoksi mikro-organismeille, eivätkä ne ole biohajoavia tai kompostoitavia. [16, 17]

Biohajoavat muovit eivät ole uusi keksintö ja, vaikka niiden käyttö olisi järkevämpää kuin ei-hajoavien, niiden massatuotanto on pientä osittain johtuen suurista kustannuksista. Käyttökohteita kuitenkin on äärettömästi. Niistä voidaan valmistaa maatuvia kukkaruukkuja, jolloin kukkia voisi istuttaa suoraan ruukuissa, eikä näin syntyisi jätettä. Sama koskee ruokatarvikkeiden pakkauksia. Nykyään suuria määriä ruokaa heitetään muovipakkauksissa roskikseen, josta ne menevät kaatopaikalle tai poltettavaksi. Mikäli pakkaukset olisivat myös maatuvia, kaiken voisi viedä suoraan kompostoitavaksi. Biohajoavat muovit antavat mahdollisuuksia että, mutta asettaa myös haasteita. Suurimmat haasteet ovat biohajoavien materiaalien suuri hinta tuotannossa, kun mietitään miten voidaan taata täydellinen maatumisen ja miten kierrätys hoidetaan. Viimeisimpänä tulevat tulevaisuuden lait: millaisia säädöksiä tulevaisuudessa tehdään koskien biohajoavia muoveja. [16, 17]

4 Kierrätys

Muovia on helppo hankkia. Lähes kaikki kaupasta ostettavista tuotteista, on pakattu muoviin, joko muoviseen pakkaukseen tai pussiin. Moni myös pakkaa ostoksena muoviseen kassiin kassalla. Samaa näkee myös teollisuudenpuolella, tavaran tullessa sisään, moni tuote on pakattuna muovipussiin suojaamaan sitä vaurioilta kuljetuksen ajaksi. Tämän jälkeen pakkaus avataan, jotta sisältö saadaan käyttöön. Kun tehtaalta lähtee tavaraa, se on taas pakattuna usein muoviin. Kyseessä ei kuitenkaan todennäköisesti ole sama muovi, jossa tavaraa on tullut sisään, vaan aiempi muovi on todennäköisesti heitetty pois. Suuri osa käyttämistämme laitteista on muovipäällysteisiä: hammasharjoista matkapuhelimiin ja televisioihin. Muovia käytetään valtavia määriä. Mielestäni sen kierrättämisestä on kuitenkin aika vähän puhetta.

Pieni osa kotitalouksien muovista päätyy kierrätykseen, lähinnä vain panttipullot. Panttipulloja palautellaan lähinnä siksi, että niistä saadaan rahaa takaisin. Kierrättäminen on hankala toteuttaa normaalien kotitalouksien tasolla. Muovit on jaettu seitsemään luokkaan niiden tunnistettavuuden ja kierrätyksen helpottamiseksi. Muovit pitäisi erotella luokkien mukaan, jotta osa voitaisiin sulattaa ja käyttää uudestaan. Kaikki muoviesineet pitäisi kuitenkin ensin lajitella, ettei joukossa olisi mitään mikä pilaisi muovimassan. Sulatetusta massasta voitaisiin tuottaa uusia tuotteita. Osa pitäisi kuitenkin hävittää, kaikkia ei voida polttaa, joten osa päätyisi siltikin kaatopaikalle. Teoria kuulostaa hyvältä, mutta entä käytäntö? Mihin mahtuisi seitsemän uutta roskalaatikkoo? Miltä alueelta muovit pitäisi kerätä samaan paikkaan? Entä kuka hoitaisi astioiden tyhjenykset ja suurimpana kysymyksenä kuka maksaisi tämän kaiken? Näihin kysymyksiin tarvitaan vastaus ennen kuin muovin suurimittaista kierrätystä voidaan ruveta toteuttamaan. [1,18]

Teollisuuden puolella kierrätys on kotitalouksia helpompaa. Tavaraa tulee isoja määriä samalla tavalla pakattuna eli muovilaatuja on isoja eriä. Näitä on helppo kerätä järkevästi kierrätykseen tai hävitykseen. Tehtailla on myös helppo valvoa toimintaa samoista syistä. Tätä tehdäänkin osittain, etenkin yritykset, jotka tuottavat itse muovituotteita, sulattavat vialliset tuotteet takaisin sulaksi materiaaliksi, jota voi käyttää uudestaan. Tämä on yritykselle helppoa, koska se voi varmuudella sanoa, mitä lisäaineita seassa on. Vähittäiskauppa ja pakkausteollisuus käyttää jossain määrin muovisia laatikoita, koreja ja pakkausmateriaaleja uudestaan. [1,18]

Muovilaatu	Lyhenne	Yleiset ominaisuudet	Esimerkkejä käyttökohteista
Polyeteeni-tereftalaatti	 PET	Kirkas, kova, kemikaaleja kestävä	Virvoitusjuoma- ym. pullot, tekstiilit
Polyeteeni high-density	 PE-HD	Samea tai värillinen joustava, vahamainen pinta	Mehupullot, ämpärit virvoitusjuomakorit
Polyvinyylilokloridi	 PVC	Erittäin monimuotoinen ja piirteinen, ei saa polttaa	Putket, letkut ja rakennusmateriaalit
Polyeteeni low-density	 PE-LD	Pehmeä, joustava, vahamainen pinta	Muovikassit, pussit, kalvot
Polypropeeni	 PP	Jäykkä, sitkeä	Narut, rasiat, tekniset osat
Polystyreeni	 PS	Lasinkirkas tai värjätty, hauras	Rasiat, purkit, styrox
Muut	 O	Kaikkien ylläolevien yhdistelmät ja muut materiaalit	

Kuva 4.1 Muovin kierrätysmerkit, niiden yleiset ominaisuudet sekä esimerkkejä [19]

Kuvassa 4.1 näkyy muovien 7 kierrätysluokkaa, joista 6 on muovilajikkeita ja seitsemäs on tarkoitettu muille laaduille. Kaikki oman kierrätysluokan omaavat muovit ovat kesto-
muoveja. Nämä ovat myös yleisimmät käytössä olevat muovit. Muita muoveja on niin
pieniä määriä, ettei kierrätys ole kannattavaa tai niitä ei voi kierrättää (kertamuovit).
Luokkia 2, 4 ja 5 pystyy periaatteessa polttamaan kotona, vaikka sitä ei suositella. Ko-
tona poltettaessa kannattaa pitää muovimäärät pieninä verrattuna muuhun poltetta-
vaan materiaaliin. Lämmitessään muovi muuttuu nestemäiseksi, joka saattaa vaurioit-
taa tulipesää valuessaan alaspäin. Koska kotioiloissa tulet eivät ole yhtä kuumia kuin
polttolaitoksissa, palaminen ei välttämättä ole yhtä täydellistä. Muovi vaatii myös
enemmän happea kuin esimerkiksi pelkän puun polttaminen, sen suuremman lämpö-

arvon vuoksi. Poltettaessa suuria määriä muovia kerralla saattaa lämpötila tulipesässä kasvaa normaalia suuremmaksi, joka voi vaurioittaa tulipesää. Luokat 1 ja 6 soveltuvat polttolaitoksessa poltettavaksi. Molemmat palavat kyllä, mutta nokea muodostuu suuria määriä kotipoltossa. Luokka 3, eli PVC-muovit ovat hävittämisen kannalta hankalimmat, koska ne eivät sovellu poltettavaksi missään suuren klooripitoisuutensa ansiosta. PVC:tä kuumennettaessa muodostuu vetykloridia, jonka vesiliuos on suolahappoa. Puun kanssa poltettaessa saattaa myös syntyä muita myrkkyjä. Viimeinen luokka onkin kierrätyksen kannalta hankalin. Luokka sisältää kaikki muut muovit, eikä niitä ole täten helppo erotella. Osan voi polttaa kotona, toiset polttolaitoksissa ja loput eivät sovellu poltettavaksi. [1,18, 21]

Biohajoavien muovien kierrätys ja hävitys taas luo erilaisia ongelmia. Ne poistaisivat poltosta syntyvien myrkkyjen määrää ja pienentävät kaatopaikkojen jätevuoria. Niiden ympäristövaikutuksista ei kuitenkaan ole tutkimustuloksia. Toinen ongelma on vakiintuneet kierrätysmenetelmät ja tekniikat. Suuriin kaupunkeihin pitäisi tuoda kompostijätteelle omat lavat. Tosin tämä jätteenmäärä tulisi olemaan isompi kuin nyt, kun suuria määriä muovia alettaisiin heittää sinne. Hyvänä puolena on että maatuessaan biohajoavat muovit rikastuttavat maaperää ja samalla myös nopeuttavat ympärillään olevan aineksen maatumista. [16, 17]

5 Soveltuvuus elektroniikan tarpeisiin

Elektroniikka-alalla on aina käyttöä uusille ja toimiville ratkaisuille niin tuoteideoilla kuin materiaaleille. Kehityksen myötä elektroniikkaa hyödyntävien sovellutusten määrä on kasvanut, samalla myös itse komponenttien viemä tila on pienentynyt huomattavasti. Esimerkkinä tästä voidaan ottaa vaikka matkapuhelimet, jotka ovat parin vuosikymmenen sisällä pienentyneet salkunkokoisista taskuun mahtuviksi. Tietokoneet ovat alkuaikoinaan täyttäneet kokonaisia huoneita, kun nykyään pienimmät ovat vain vähän pienempiä kuin suurimmat matkapuhelimet. Myös elektroniikka tuotteet ovat halventuneet. Muovilla ei välttämättä saada suoranaisesti pienennettyä tulevia laitteita, mutta ainakin painoa saadaan pudotettua käyttämällä muovia metallin sijaan. Tuotteiden hinnat saattavat myös pienentyä muovin hyödyntämisen kasvaessa.

Ennen eri käyttökohteiden tutkimista on kuitenkin hyvä myös käydä läpi rajoitteita. Euroopan unionilla on kaksi direktiiviä, jotka vaikuttavat suuresti elektroniikassa käytettäviin materiaaleihin: 2002/95/EC (RoHS) ja 2002/96/EC (WEEE) (kuva 5.1). RoHS eli Restriction of Hazardous Substances rajoittaa muutaman haitallisen aineen määrää sähkö- ja elektroniikkateollisuuden tuotteissa. Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE), koskee sähköisten ja elektronisten laitteiden huoltoa, uudelleenkäyttöä sekä kierrätystä. Nämä kaksi direktiiviä täydentävät toisiaan hyvin: toinen säännöstelee haitallisten aineiden käyttöä ja toinen ottaa huomioon tuotteen elinkaaren tehtaalta lähdön jälkeen. Molemmat direktiivit astuivat voimaan 2006, RoHS heinäkuussa ja WEEE elokuussa. Direktiivit koskevat kaikkia EU:n alueella myynnissä olevia laitteita ja velvoittavat niiden valmistajia sekä alihankkijoita. [22]

RoHS rajoittaa 6 aineen käyttöä 8 tuotekategoriassa. Aineet, joiden käyttöä on rajoitettu, ovat lyijy (Pb), elohopea (Hg), kadmium (Cd), kuusiarvoinen kromi, PBB (polybromattu bifenyylili) ja PBDE (polybromattu difenyylieetteri). Näistä lyijyä käytettiin ennen paljon elektroniikassa juotostinan osana. PBB sekä PBDE ovat lisäaineita, joita on käytetty palamattomissa tuotteissa, myös muoviin seostettuna. RoHS:än mukaan lyijyn, kuusiarvoisen kromin sekä PBDE:n pitoisuuksien pitää olla alle 1 000 ppm, PBB:tä saa olla 1 000 ppm ja elohopean sekä kadmiumin pitoisuuksien täytyy olla alle 100 ppm. Laiteluokat, joita rajoitukset koskevat, ovat suuret kotitalouskoneet, pienet kotitalouskoneet, tietojenkäsittely- ja kommunikaatiolaitteet, kuluttajaelektroniikka, valaistus, sähkötyökalut, lelut ja urheiluvälineet sekä myyntiautomaatit. Rajoitukset eivät toistaiseksi koske lääketieteellisiä laitteita, ohjaus- ja tarkkailulaitteita, suuria kiinteitä tehdas-

koneita, osaa lamputa ja paristoista, maanpuolustus tai sotilaallisiin tarkoituksiin olevia laitteita eikä sähköisten laitteiden varaosia, jotka ovat olleet markkinoilla ennen heinäkuuta 2006. RoHS direktiiviä ollaan uudistamassa. RoHS 2:n muutokset ovat pieniä eikä ehdotuksessa ole uusia aineita, mutta sekä lääketieteelliset laitteet että ohjaus- ja tarkkailulaitteet ovat ehdotettujen uudistusten listalla. RoHS 2 tulisi suunnitelmien mukaan voimaan aikaisintaan 2012. [22]



Kuva 5.1 Esimerkit RoHS sekä WEEE merkinnöistä

Elektroniikan piirilevyissä hyödynnetään myös paljon muovimateriaaleja. Yleisesti käytetty FR4 on lasikuituvahvisteinen epoksilaminaatti, jonka nimessä oleva FR on lyhenne sanoista flame retardant. Tämä tarkoittaa sitä, että FR4 piirilevyt ovat itsestään sammuvia. Se on tukevaa ja vahvaa, mistä syystä monikerrospiirilevyt tehdäänkin FR4:stä. Toinen piirilevyluokka on CEM (Composite epoxy material), joka on lasikuidulla jäykistettyä, paperivahvisteista epoksia. Sen tukevuus ei ole samaa luokkaa FR4:n kanssa, eikä sitä voida läpikuparoida. Piirilevyjen paksuus vaihtelee lämpötilan ja kosteuden mukaan, jotka vaikuttavat käytettävyyteen. CEM:ää heikompaa on FR3, joka myös on paperivahvisteista epoksia, mutta siinä ei ole lasikuitujäykistystä. Sitä on helppo työstää ja se on edellisiä halvempaa, mutta haittana on, ettei sitä voi läpikuparoida eikä se ole yhtä tukevaa. Fenolipaperi eli FR2 on hauras eikä läpikuparointi onnistu mutta näiden vastapainona on halpuus. Selvästi kallein muovia hyödyntävä piirikorttimateriaali on teflon. Se on pehmeää ja taipuisaa ja sitä käytetään yleensä erittäin korkeilla taajuuksilla (GHz). [23]

Myös liittimissä ja kaapeleissa hyödynnetään muovia. Nopea tapa tarkastaa, mitä muoveja näissä käytetään, on käydä läpi jonkun valmistajan luetteloita, esimerkiksi

Phoenix Contactin. PA sekä PC ovat paljon käytössä. Muovilla yleensä suojataan ja eristetään metalliosat, jotka johtavat virtaa eteenpäin. Tällä tavoin saadaan hyödynnettyä metallin hyvät johtamisominaisuudet ja muovin eristekykyä. Näin saadaan helposti estettyä oikosulkujen syntymistä. Miinuspuolena muovin käyttämisessä liittimissä on, etteivät ne välttämättä kestä juottamisen vaativia suuria lämpötiloja. Komponentteja juotettaessa voi tällöin tulla sulamisongelmia. [24]

Elektroniikan tuottaminen on kallista. Tähän on ratkaisuna perinteistä paperipainotekniikkaa vastaava painettava elektroniikka. Yksi painettavan elektroniikan eduista on mahdollisuus käyttää joustavia materiaaleja, joiden avulla uusia innovatiivisia asennuskohteita ja tapoja voidaan keksiä. Materiaalikustannuksissa voidaan saada säästöjä uusien kotelointi ja muotoilumahdollisuuksien avulla. Painotekniikat ovat samoja kuin normaalissa paperipainotekniikassa, erona on ainoastaan painopohja, joka voi paperin sijaan olla esimerkiksi muovia, keramiikkaa tai piitä. Joustavia materiaaleja käyttämällä voidaan elektroniikka sulauttaa yhä useampien tuotteiden osaksi. Saman prosessin aikana voidaan myös valmistaa sekä mekaaniset että optiset osat. Käyttämällä joko johtavia tai eristäviä musteita voidaan valmistaa nopeasti ja helposti erilaisia komponentteja painopinnalle. Ongelmana johtavan musteen käytössä on polymeerin sidosaineen rakenteen heikkeneminen, kun taas johtavat partikkelit kasvavat. Kannattaa myös muistaa, että polymeerien sähkönjohtokyky ei ole samalla tasolla kuin metallien. Esimerkkejä käytettävistä polymeereistä ovat vinyyli, epoksi ja akryyli. Painetun elektroniikan tuotantotehokkuuden ja mekaanisesti joustavien tuotteiden valmistuksen mahdollistavat joustavat substraatit. Näihin käytetään useimmiten taipuisia polymeerejä. Kuten muissakin muovituotteissa, kannattaa muistaa muovin rajallinen lämmönkestävyys. Tällä hetkellä suositaan paperia painoalustana sen alhaisemman hinnan takia. Komponentit voidaan liittää eri tavoilla painettuun elektroniikkaan, joista yksi on johtavat liimat. Nämä perustuvat polymeeriseoksiin ja niiden tehtävänä on muodostaa mekaaninen liitos sekä sähköinen silta kahden eri pinnan välille. Nykytekniikalla pyritään usein valmistamaan vain tuotteen passiiviset osat, joihin voidaan lisätä aktiivikomponentit. Nykyään voidaan valmistaa antureita, antennejä, RFID-piirejä, orgaanisia diodeja ja aurinkokennoja. Uskon että tekniikoiden kehittyessä valmistettävien tuotteiden määrä kasvaa. Luulen myös että painettavaa elektroniikkaa käytetään vielä kauan. [25]

Suuri askel painetun- ja muovielektroniikan saralla, on tehty 2010, kun tuotekehitysyritys IMEC:n tutkijat valmistivat painomenetelmällä ensimmäisen täysin muovista koos-

tuvan tietokoneprosessorin. Prosessorin kellotaajuus oli vain 6 Hz, mikä on noin 8 miljoonaa kertaa hitaampi kuin nopeimmat perinteiset prosessorit. Se sisälsi 4 000 transistoria, silikonista valmistetut prosessorit ylittivät 5 000 transistorin määrän vuonna 1974. Uusimmissa prosessoreissa on yli 2 miljardia transistoria. [25] Vaikka prosessori on teholtaan vaatimaton verrattaessa piistä valmistettuihin, on kyseessä kuitenkin suuri edistysaskel elektroniikan alalla. Tutkijoiden mukaan tehoa voidaan kasvattaa lähitulevaisuudessa. Koska kyseessä on painamalla valmistettu tuote, ovat sen kustannukset paljon pienemmät kuin normaalien prosessorien. Taipuisuus on myös erona perinteisiin prosessoreihin. Muovista valmistettua prosessoria voidaan taivuttaa toisin kuin perinteistä. Todennäköisesti nykyisten tietokoneiden käyttämien piipohjaisten prosessorien katoaminen ei ole tapahtumassa lähitulevaisuudessa, mutta se on askeleen lähempänä. Valmistamalla tulevaisuudessa kokonaisia elektroniikkalaitteita pelkästä kestumuovista voidaan elektroniikkajätteen määrää pienentää huomattavasti. [27]

Vaikka monet uusista muovitekniikoista ovat vielä kehitysvaiheessa, on tuotekehittäjillä niissä pohja uudenlaisten tuotteiden kehitykseen. Edellä on mainittuna täysin muovista tehty tietokoneen prosessori, mutta samaa ideaa voidaan hyödyntää lähes kaikkiin elektroniisiin laitteisiin. Kierrätyksen kannalta olisi hyvä, jos kaikissa tuotteissa käytettäisiin kestumuoveja, joita voitaisiin sulattaa ja muovata uudestaan. Toinen vaihtoehto, joka olisi hyvä varsinkin lyhyen käyttöiän omaavissa sovellutuksissa, on biohajoavat muovit. Vaikuttaa siltä että kännyköitä käytetään nykyään pari vuotta, jonka jälkeen ne vaihdetaan uudempaan malliin ja vanhoista puhelimista syntyy suuria määriä jätettä. Onneksi matkapuhelinvalmistajat ovat ottaneet huomioon tämän ja tarjoavat kierrätysmahdollisuuksia puhelimilleen. Tulevaisuudessa voitaisiin kaikki matkapuhelimet tehdä kokonaan muoviosista, jotka sitten voitaisiin palauttaa kierrätyspisteeseen. Kierrätyspisteissä eri muovista valmistetut osat saataisiin muovattua uudestaan seuraavan sukupolven puhelintarpeita varten. Nämä voitaisiin pakata kompostoitavaan tai biohajoavaan muoviin, jolloin tuotepakkauksen voisi laittaa kompostiin tai kaatopaikalle maatuun.

Sisäistämällä kaiken edellä olevan tiedon voi elektroniikka-alalla toimiva helpommin ymmärtää muovin hyödyntämistä tuotteissaan. On helpompi verrata erilaisten muovista valmistettujen osien vahvuuksia ja heikkouksia, kun ei tarvitse ensin lukea valtavaa teosvuorta. Saadessaan enemmän tietoa eri valmistusmenetelmistä on helpompi kysellä muoviosien valmistajilta, miten heidän tuotteensa tehdään. Tämän lisäksi on helpompi seurata RoHS- ja WEEE-direktiivien asettamia vaatimuksia.

6 Yhteenveto

Tässä työssä on käyty läpi erilaiset muoviluokitukset ja selvitetty mitä ne sisältävät. Tämän lisäksi on lyhyesti tarkasteltu muovien kehitystä 1850-luvulta nykypäivään. Tässä yhteydessä tarkasteltiin myös valmistusmääriin niin maailmalla kuin Suomessa. Muovituotteiden valmistusmenetelmiä käytiin läpi, paremman tiedon saamiseksi siitä, millaisia etuja ja rajoituksia niissä on. Koska kaikki valmistetut tavarat joskus täytyy myös romuttamaan, on työssä käsitelty muovien kierrätystä. Lopuksi on pohdittu, miten kaikkea tätä tietoa voidaan hyödyntää.

Muovien kehitys on ollut suurta niiden keksimisen jälkeen, käyttökohteiden määrä on kasvanut rajusti. Nykyisen kaltainen kulutuskulttuuri ei todennäköisesti olisi mahdollinen ilman muovia, jota käytetään valtavasti niin elektroniikkateollisuudessa kuin muillakin aloilla. Käyttökohteiden määrä ei myöskään tunnu pienenevän. Koko ajan keksitään uusia tapoja hyödyntää muovia. Onneksi muovien kierrätysominaisuudet ja hävitystavat kehittyvät samalla. Koko ajan tehdään myös tutkimusta muovissa käytettyjen lisäainesten haittavaikutuksista, jotta myrkyllisiä ja ympäristöhaitallisia aineita saadaan pois markkinoilta. Hyvä esimerkki tästä on RoHS. Myös WEEE avulla saadaan pienennettyä muovin tuottamia jätevuoria. Muovi on toimiva materiaali, jota ilman nykyinen yhteiskuntamme ei pärjää, sen huomaa käyttömääristä. Sen hävityksessä on vielä paljon kehitettävää. Kyseessä on helposti valmistettava ja halpa materiaali.

Työstä saamaa tietoa pystytään soveltamaan kotona, koulussa ja työelämässä. Sen avulla pystytään tekemään parempia päätöksiä muoviasioissa, hankinnasta hävitykseen.

Työtä voidaan käyttää pohjana tarkemmille tutkimuksille usealla osa-alueella. Voidaan tarkastella jotakin tiettyä valmistusmenetelmää tai muovia. Voidaan myös tehdä tarkempi kartoitus muoveissa käytetyistä apu- ja lisäaineista. Muovien hävityksestä tai kierrätyksestä ja sen ongelmista tai hyödyistä on myös mahdollista tehdä tarkempi tutkielma.

LÄHTEET

- [1] Samira, T., Suomen luonnonsuojeluliitto ry, Muovinen huominen, Vantaa: Kajoprint Oy, 1991, 42s.
- [2] Teppo Vienamo, Muoviteknologian virtuaaliopetusmateriaali [www-dokumentti] saatavilla: <http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/index.html> (luettu 18.4.2011)
- [3] Lehtonen, P. & Lehtonen, P., Teknisten alojen kemia, Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy, 2008 1.painos, 287s.
- [4] Antila, A-M.; Karppinen, M.; Leksellä, M.; Mölsä, H.; Pohjakallio, M., Tekniikan Kemia, Helsinki: Edita Prima Oy, 2008, 366s.
- [5] Mindfully.org, Plastics History, [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.mindfully.org/Plastic/Plastics-History.htm> (luettu: 15.4.2011)
- [6] Cannon-Sandretto Plastics Museum, History of plastic, [www-dokumentti], saatavilla: <http://museo.cannon.com/museonew/UKmuseo/storia/storia2UK.asp> (luettu: 15.4.2010)
- [7] British Plastics Federation, Plastipedia [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.bpf.co.uk/Plastipedia/Default.aspx> (luettu 15.4.2011)
- [8] SPI: The Plastics Industry Trade Association, Inc., History of plastics [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=670&navItemNumber=1117> (luettu 15.4.2011)
- [9] Airasmaa, I.; Kokko, J.; Komppa, V. & Saarela, O., Muovikomposiitit, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1991, 576s.
- [10] Scott Merryweather, Plasticnews.com, Kuva, [www-dokumentti], Saatavilla: <http://www.plasticsnews.com/fyi-charts/materials.html?id=17004> (luettu 17.4.2011)
- [11] Scott Merryweather, Plasticnews.com, Kuva, [www-dokumentti], Saatavilla: <http://www.plasticsnews.com/fyi-charts/materials.html?id=1199483786> (luettu 18.4.2011)
- [12] Scott Merryweather, Plasticnews.com, Kuva, [www-dokumentti], Saatavilla: <http://www.plasticsnews.com/fyi-charts/index.html?id=1065015902> (luettu 18.4.2011)
- [13] Muoviteollisuus ry, Kotisivut, [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.muoviteollisuus.fi/> (luettu 18.4.2010)
- [14] Kari Teppola, Muoviteollisuus ry, Muovien käyttökohteet suomessa, [PDF-dokumentti], Saatavilla: http://www.palmenia.helsinki.fi/replastfinest/ws1/kari_teppola.pdf (luettu 18.4.2011)
- [15] Wikipedia, Polyimide, [www-dokumentti] Saatavilla: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polyimide> (luettu 9.10.2011)
- [16] Raman Gujral, Science Tech Entrepreneur: Biodegradable plastics, [PDF-dokumentti], saatavilla: http://www.techno-preneur.net/information-desk/sciencetech-magazine/2006/aug06/Biodegradeable_plastics.pdf (luettu 02.08.2011)
- [17] David Salt, Making packing greener – biodegradable plastics, [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.science.org.au/nova/061/061key.htm> (luettu 02.08.2011)
- [18] Järvinen, P., Muovin suomalainen käsikirja, Porvoo: WS Bookwell Oy, 2000, 173s.

- [19] Kymenlaakson Jäte oy, kuva, [www-dokumentti], saatavilla: <http://jatehuolto.jalusta.com/fi/jatehuolto/lajitteluohjeet/lisatietoamuoveista/muovienmerkinnat> (luettu 28.07.2011)
- [20] Wikipedia, [www-dokumentti], saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Muovit> (luettu 28.7.2011)
- [21] RoHSGuide.com, [www-dokumentti], saatavilla: <http://www.rohsguide.com/> (luettu 16.8.2011)
- [22] Yngvar Wikström, Juotos- ja pintaliitostekniikan kurssi materiaali: 5. Piirilevy, [www-dokumentti], saatavilla: <http://elektroniikka.turkuamk.fi/workshop/index.asp> (luettu 17.8.2011)
- [23] Phoenix contact, [www-dokumentti], saatavilla <http://www.phoenixcontact.com/catalog> (luettu 17.8.2011)
- [24] Tuomo Tingander, Painettava elektroniikka tuotantotekniikkana, [PDF-dokumentti], Opinnäytetyö Metropolia Ammattikorkeakoulu 2010, saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201005199800> (luettu 9.8.2011)
- [25] Wikipedia, Transistor count, [www-dokumentti], saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count (luettu 11.8.2011)
- [26] Prosessori tehtiin muovista, Mikrobitti 5/2011 s.14

Lähteinä sanastolle on käytetty Oxford English Dictionary:iä, netMOT-palvelua, Tekniikan Kemia-kirjaa, Teknisten alojen Kemia-kirjaa sekä Muovikomposiitit-kirjaa.