

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka ja prosessitekniikka
Oskari Niemi

Opinnäytetyö

Muovikalvon valmistusmenetelmät

Työn ohjaaja
Työn tilaaja
Tampere

lehtori Esa Väliäho
Tampereen ammattikorkeakoulu
5/2010

Tekijä	Oskari Niemi
Työn nimi	Muovikalvon valmistusmenetelmät
Sivumäärä	38
Valmistumisaika	5/2010
Työn ohjaaja	lehtori Esa Väliäho
Työn tilaaja	TAMK

TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli perehtyä muovikalvoihin ja kalvojen valmistusmenetelmiin. Työssä käsiteltiin myös hieman muovien historiaa ja perusteita. Työ on kirjallisuustyö ja aihe rajattiin yhdessä lehtori Esa Väliähön kanssa. Työssä ei tehty lisätutkimuksia tai -selvityksiä, vaan tarkoitus oli perehtyä muovikalvon valmistukseen ja mahdollisesti päivittää vanhentunutta tietoa.

Aiheesta löytyi paljon tietoa kirjallisuudesta ja minulla on myös työkokemusta muovikalvoa valmistavasta yrityksestä. Kalvoa voidaan valmistaa kahdella eri menetelmällä ja näitä menetelmiä pyrittiin tässä työssä kuvaamaan mahdollisimman yksityiskohtaisesti. Menetelmät ovat nimeltään tasokalvo- ja puhalluskalvomenetelmä.

Puhalluskalvomenetelmä on menetelmistä yleisempi ja sillä ajetaan eniten polyeteenikalvoa. Puhalluskalvo puhalletaan kuplana kohti kattoa ja sieltä kalvo tulee telojen kautta alas rullaukseen. Tasokalvomenetelmällä ajetaan yleisimmin polyamidi- ja polystyreenikalvoja. Tässä menetelmässä muovikalvo kulkee vaakatasossa telojen kautta rullaukseen.

Writer	Oskari Niemi
Thesis	Plastic film manufacturing processes
Pages	38
Graduation time	5/2010
Thesis supervisor	lecturer Esa Väliäho
Co-operating company	TAMK

ABSTRACT

The purpose of this work was to familiarize to the plastic film manufacturing processes. The work also deals with the basics and the history of plastics. The work is literary work and the subject was limited to one with a lecturer Esa Väliäho. The work is not done further studies or surveys but the objective was to study the manufacture of plastic film and possibly update the old information.

I found a lot of information about books and I also have a work experience of the company which manufactures plastic film. Plastic film can be produced by two different methods and these methods are called the standard film extrusion and the blown film extrusion.

Polyethylene film is produced by blown film method and this method is more general than the standard film method. In the blown film method plastic film is blown towards the ceiling and then it comes to scrolling through the rollers. Polyamide and polystyrene films are produced by standard film method. In this method plastic film runs horizontally through the rollers to scrolling.

Keywords plastic film, film extrusion, blown film extrusion, extruder

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	8
2 Yleistä muoveista	9
3 Muovien perusteet	10
3.1 Muovien raaka-aineet.....	10
3.2 Muovien jaottelu.....	10
3.2.1 Jaottelu rakenteen ja muovattavuuden perusteella.....	11
3.2.2 Jaottelu käytön perusteella	12
3.3 Muovipolymeerien rakenteet, valmistus ja lisäaineet.....	13
3.3.1 Polymeerit ja niiden rakenteet.....	13
3.3.2 Muovipolymeerien valmistus.....	15
3.3.3 Muovipolymeerien lisäaineet.....	17
4 Muovin raaka-aineiden säilytys ja siirtotavat	20
5 Muovikalvon valmistus.....	22
5.1 Ekstruuderit	22
5.2 Kalvon valmistus	24
5.2.1 Puhalluskalvomenetelmä.....	25
5.2.2 Tasokalvomenetelmä.....	28
5.3 Koekstruusio	30
5.4 Ekstruusioöpäälystys.....	31
6 Muovikalvon jalostus	32
6.1 Laminointi	32
6.2 Painatus.....	33
6.3 Leikkaus.....	34
7. Muovikalvojen käyttömahdollisuuksia	35
8 Lähteet.....	37

Symbolit ja termit (Kurri 2002, 214–222)

Adheesio	Tarttuminen. Esimerkiksi liiman tarttuminen liimattavaan materiaaliin.
Amorfinen	Kiinteä, mutta kiteytymätön aine. Esimerkiksi PS ja PMMA.
Apuaine	Muovituotteiden valmistuksessa käytettäviä aineita. Esimerkiksi vaahdotusaineet ja iskunsitkeyden parantajat.
Ekstruuder	Suulakepuristin, jonka tehtävä on sulattaa, kuljettaa ja homogenisoida muoviraaka-aine. Muovin työstökone.
Ekstruusio	Menetelmä, jolla muoviraaka-aine plastisoidaan ja työstetään haluttuun muotoon.
Granulaatti	Muoviraaka-ainetta, jota käytetään muoviraaka-aineena.
Kertamuovi	Muovi, jota ei lämmön avulla voida muovata uudestaan. Kertamuoveja ovat bakeliitti (PF) ja polyuretaani (PUR).
Kestomuovi	Muovi, jota voidaan paineen ja lämmön avulla muovata toistuvasti uudelleen. Kestomuoveja ovat PE, PP ja PA.
Laminointi	Kahden tai useamman kalvon yhdistäminen esimerkiksi liiman avulla.
Muovi	Muovit ovat keinotekoisesti valmistettuja orgaanisia materiaaleja.
Polyadditio	Polymeroitumisreaktio, jossa molekyylit ketjuuntuvat siten, ettei reaktiossa synny muita aineita.

Polykondensaatio	Polymeroitumisreaktio, jossa syntyvästä polymeeristä lohkeaa pois jokin kolmas molekyyli, kuten vesi.
Polymeeri	Molekyyli, jossa on yksi tai useampi monomeeri. Sen rakenne voi olla suora, haaroittunut tai verkkomainen.
Ristisilloitus	Pitkien muovimolekyylien järjestyminen verkoksi.
Täyteaine	Raaka-aine, jonka tarkoituksena on parantaa muovin ominaisuuksia ja/tai alentaa sen valmistuskustannuksia.
Valtamuovi	Muovit, joita käytetään eniten muovituotteiden valmistuksessa. Valtamuovit ovat halpoja ja niitä valmistetaan suuria määriä. Valtamuoveja ovat PE, PVC, PS, PP ja PET.
Vetokokeet	Vetokokeilla määritellään muovimateriaalin vetolujuus, murtolujuus ja myötöraja. Testeillä saadaan tietoa lujuus-, sitkeys- ja jäykkyysominaisuuksista.

Muovien lyhenteitä (Seppälä 2001, 15–24)

ABS	Akrylinitriilibutadienistyreeni
ASA	Akrylinitriilistyreeniakrylaatti
PA	Polyamidi
PC	Polykarbonaatti
PE	Polyeteeni
PE-HD	Suuritiheysinen polyeteeni
PE-LD	Matalatiheysinen polyeteeni
PE-LLD	Lineaarinen matalatiheysinen polyeteeni
PET	Polyteenitereftalaatti
PMMA	Polymetyylimetakrylaatti
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
PTFE	Polytetraflurieteeni
PVC	Polyvinyyliklori
PUR	Polyuretaani
E/VAC	Eteeni/vinyyliasetaattikopolymeeri (EVA)
E/VAL	Eteeni/vinyylialkoholikopolymeeri (EVOH)
SAN	Styreeniakrylinitriili
LCP	Nestekidepolymeeri

1 Johdanto

Muovit ovat ihmisen keksimiä ja tekemiä raaka-aineita. Muovista on valmistettu valtava määrä erilaisia tuotteita. Ensimmäiset muovit olivat luonnonmuoveja, joita ovat esimerkiksi puusta saatava selluloosa ja sokerista saatava glukoosi. Nykyään on paljon erilaisia tapoja, joilla muoveja voidaan jaotella. Muovien fossiilisina raaka-aineina käytetään öljyä, hiiltä ja maakaasua, joista öljy on ylivoimaisesti käytetyin. Fossiilisille raaka-aineille etsitään kuitenkin jatkuvasti vaihtoehtoja, ja niinpä esille on tullut muovin valmistaminen rypsiöljystä tai sokerista.

Erilaiset muovituotteet ovat meille tuttuja arkipäiväisestä elämästä. Nykyään muovia käytetään sen erinomaisten ominaisuuksien ja keveyden takia yhä useammassa tuotteissa. Esimerkiksi on helppo huomata, miten paljon autoissa on nykyään muovista valmistettuja osia. Meille kaikille tuttuja käyttötavaroita ovat esimerkiksi muovipussit, elintarvikepakkaukset ja hygieniapakkaukset. Näitä tuotteita tehdään ekstruusio- eli suulakepuristusmenetelmällä, johon tutustutaan tässä työssä tarkemmin, koska kyseisellä menetelmällä valmistetaan muovikalvoa.

Yleensä muovikalvotuotteista halutaan kestäviä, kevyitä, joustavia ja ympäristöystävällisiä. Kolme ensimmäistä ominaisuutta on helppo saavuttaa, mutta ympäristöystävällisyys vaatii enemmän työtä. Muovikalvoista voidaan tehdä eri paksuisia ja erivärisiä, ja niihin saadaan haluttuja ominaisuuksia, esimerkiksi UV-kesto. Muovikalvoihin voidaan myös painattaa erilaisia painatuksia ja muovikalvoja voidaan liittää toisiinsa, monikerroskalvoiksi.

Ekstruusio menetelmää käytetään kalvon valmistuksessa. Ekstruusio on osa isompaa kokonaisuutta, jossa tuotteelle annetaan muoto ja mitat. Muovikalvon valmistuksessa ekstruusio menetelmä on oikeastaan ainoa järkevä vaihtoehto. Muovikalvoa voidaan valmistaa joko puhalluskalvo- tai tasokalvomenetelmällä.

Työn tavoitteena on käsitellä molempia kalvonvalmistusmenetelmiä tarkasti ja yksityiskohtaisesti. Työssä on myös tarkoitus kertoa hieman muovin historiasta perusteista ja käyttömahdollisuuksista.

2 Yleistä muoveista

Muovi ei ole kovin vanha keksintö, sillä ensimmäinen kirjallinen merkintä muovista tulee vasta vuodelta 1862, jolloin Aleksander Parkens esitteli selluloidin. Selluloidi on selluloosanitraatin ja kamferin yhdiste ja sitä käytettiin tuolloin esimerkiksi rasioiden ja kampojen raaka-aineena. Kahdeksan vuoden kuluttua Parkensin esityksestä, eli vuonna 1869, muovista tuli vasta merkittävämpi. Selluloidin jälkeen järjestyksessä seuraava muovi oli galaliitti, jota alettiin valmistaa kaseiinista vuonna 1897. Ensimmäisen synteettisen muovin, fenoliformaldehydihartsin (PF), kehitti ja patentoi Leo H. Baekeland. Uusi muovilaji, bakeliitti, sai nimen hänen mukaansa. (Kurri 2002, 11–12).

Yleisesti tunnettuja merkittäviä muoveja keksittiin 1930 vuoden jälkeen. Näitä ovat muun muassa polystyreeni (PS) vuonna 1930, polyesterit ja polyvinyylikloridi (PVC) 1936, polyeteeni (PE) 1939, epoksimuovit (EP) 1947, akrylinitriili-butadieeni-styreeni (ABS) 1948 ja sekä polypropeeni (PP) että polykarbonaatti (PC) 1957. (Kurri 2002, 12).

Öljynjalostuksen kehittyminen oli muoviteollisuuden kehityksen ja läpimurron takana. Muoveja alettiin valmistaa öljyistä tuotetuista kemikaaleista vuonna 1930. Muovit ovat siis pääosin petrokemian (öljynjalostus) sivutuotteita ja ne valmistetaan polttoaineiden tuotannosta ylijäävistä hiilivetyvirroista. Öljypohjaiset muovit aloittivat muovin todellisen rynnistyksen jokapäiväiseksi kulutustavaraksi ja esimerkiksi nailon oli hyvin merkittävä muovin kehityksessä. (Kurri 2002, 16).

Ensimmäinen suomalainen muovitehdas oli Sarvis Osakeyhtiö ja se aloitti toimintansa Tampereella vuonna 1921. Sarviksen valmistama muovi oli galaliittia. Galaliitin raaka-aineena käytettiin maitoa, ja parhaimpina aikoina sitä kului Sarviksella 30000 - 40000 litraa päivässä. Nykyisin Suomessa toimii noin 630 muovialan yritystä. (Kurri 2002, 12).

Muovien kokonaiskulutus maailmassa kasvaa vuosittain. Pelkästään Länsi-Euroopassa käytettiin muovia 47 miljoonaa tonnia vuonna 2004. Suomessa muoveja käytetään nykyään noin 600 000 tonnia vuodessa, mikä tekee noin 85 kg muovia/asukas/vuosi. Valtamuovien osuus on määrästä suuri, noin 80 % kokonaiskäytöstä. Valtamuoveihin

luetaan polyeteeni, polypropeeni, polystyreeni ja polyvinylikloridi. (Muoviteollisuus ry).

3 Muovien perusteet

3.1 Muovien raaka-aineet

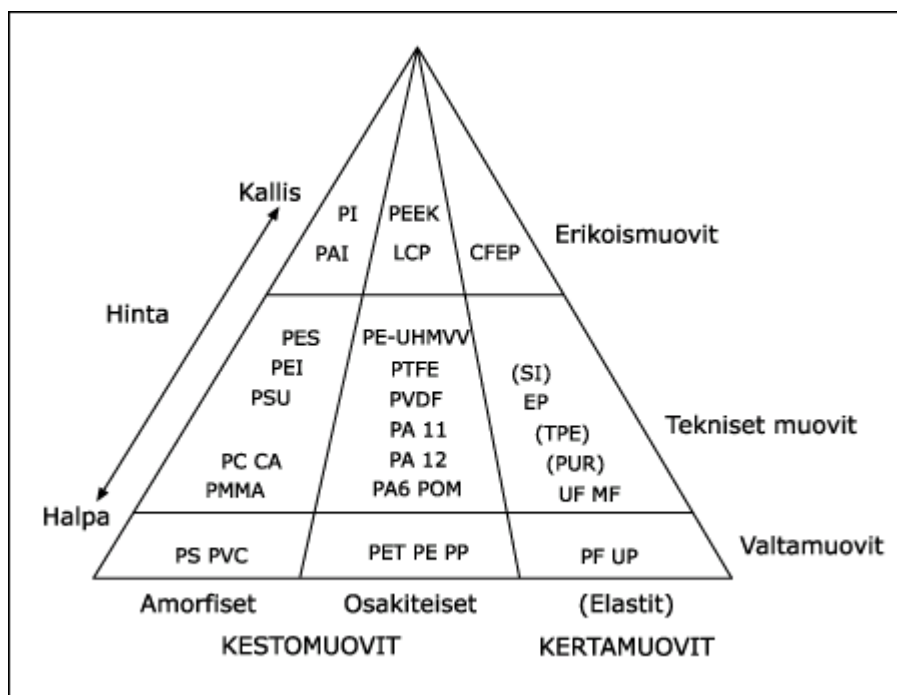
Suurin osa muovien raaka-aineista on peräisin raakaöljystä. Raakaöljylle tehdään tarvittavat toimenpiteet: Siitä pilkotaan tarvittavat aineet tai sitä pilkotaan pienimolekyylisiksi yhdisteiksi. Näitä yhdisteitä ovat esimerkiksi eteeni, buteeni ja propeeni. Näistä yhdisteistä voidaan edelleen valmistaa polymerointireaktiolla sellaisia polymeerejä, kuin polyeteenia tai polypropeenia. Kivihiilestä saadaan samankaltaisia polymeroituvia aineita kuin raakaöljystä. (Seppälä 2001, 103).

Muovien valmistus ei kuluta maapallon öljyvaroja mahdollisimman paljon, kulutus on noin 4 - 5 % öljyn kokonaiskäytöstä. Öljylle ja muille fossiilisille raaka-aineille on kuitenkin alettu etsiä muita vaihtoehtoja. Tällaisen kehityksen tuloksena ovat syntyneet biohajoavat muovit. Näitä muoveja voidaan valmistaa esimerkiksi maidosta (kaseiini), sokerista (glukoosi) ja rypsiöljystä. (Kurri 2002, 16).

Öljyn hinta ei vaikuta samalla tavalla muovien raaka-aineiden hintoihin kuin polttoaineen hintaan. Muovien raaka-aineiden hintaan vaikuttavat pääosin valmistusprosessit ja tuotantomäärät. Toiset raaka-aineet voivat olla toisia edullisempia, vaikka niiden valmistuksessa olisi käytetty miltei sama määrä öljyä.

3.2 Muovien jaottelu

Muovit voidaan lajitella monella eri tavalla. Yksi yleinen tapa on jakaa muovit käytön mukaan valtamuoveihin, teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin. Toinen jako perustuu muovien rakenteeseen muovattavuuden perusteella eli kestumuovit ja kertamuovit. Kuviossa 1 muovit on jaoteltu pyramidin sisälle näiden tapojen mukaan, tosin siinä on hinta vielä yhtenä tekijänä. (Kurri 2002, 17)



Kuvio 1 Muovien jako valtamuoveihin, teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin (Taideteollinen Korkeakoulu)

3.2.1 Jaottelu rakenteen ja muovattavuuden perusteella

Muovit voidaan jakaa muovausominaisuuksien mukaan kesto- ja kertamuoveihin. Kestomuovit ovat muoveja, jotka sisältävät lineaarisia (suoria) tai haaroittuneita polymeeriketjuja. Kestomuovien molekyyliketjuja poikittain yhdistävät voimat ovat heikkoja, niin sanottuja sekundäärisidoksia. Kun kestopuoveja lämmitetään, ketjut tulevat liikkuviksi ja muovi pehmenee. Jos kuumentamista jatketaan, kestopuovit sulavat, koska nämä sekundäärisidokset katkeavat. Kestomuoveja voidaan sulattaa ja muovata toistuvasti lämmön avulla. Kestomuoveiksi luokitellaan esimerkiksi polyamidit, polyeteenit ja polypropeenit. Kestomuovit voidaan jakaa vielä amorfisiin ja osittain kiteisiin muoveihin, koska kiteisyys vaikuttaa merkittävästi moniin ominaisuuksiin. Näitä ominaisuuksia ovat mm. sulamis- ja pehmenemisalueet, läpinäkyvyys ja kirkkaus, liuottimien kesto ja kulumiskesto. (Seppälä 2001, 10; Hanhi 2004, 8).

Kertamuovit valmistetaan nestemäisestä hartsista. Sen annetaan reagoida kovetinkemikaalien kanssa, ja useimmiten käytetään vielä lämpöä kovettumisen eli

verkkoutumisen tehostamiseksi. Kun polymeeri verkkoutuu, sen molekyyliketjut liittyvät toisiinsa poikittaisilla, lujilla kemiallisilla sidoksilla (ristisilloittuminen). Verkkorakenteen ansiosta kertamuoveilla on hyvä lämmönkesto ja kestävyys. Kertamuoveille onkin annettava niiden lopullinen muoto ennen niiden täydellistä polymeroitumista, koska niitä ei voida muokata enää uudestaan. Jos kertamuovia kuumennetaan uudestaan, se ei sula, vaan se tuhoutuu. Tunnetuimpia kertamuoveja ovat tyydyttymättömät polyesterit, epoksihartsit ja fenoli-formaldehydimuovit. (Kurri 2002, 22; Seppälä 2001, 10).

3.2.2 Jaottelu käytön perusteella

Toinen hieman uudempi jaottelutapa perustuu muovien kulutukseen. Tämän saman jaon rinnalla on nähtävissä myös muovien jako hinnan ja ominaisuuksien suhteen. Tämä ryhmittelytapa on yleisesti raaka-ainevalmistajien suosima. Toisaalta tätä jaottelutapaa voidaan pitää hivenen epätäsmällisenä, sillä yhden muovin paikka voi olla useammassa ryhmässä eri tilanteen mukaan. Esimerkkinä voidaan tarkastella polyeteenia (PE), joka on kuvion 1 mukaan sekä valtamuovi, kestopuovi, osakiteinen muovi että synteettinen muovi. (Kurri 2002, 17).

Valtamuovit ovat muoveja, joilla on erittäin laaja käyttöalue, ja niiden kulutus on suurta verrattuna muihin muoveihin. Pääasiallisesti valtamuoveihin kuuluvat polyolefiinit eli polyeteenit (PE-LD, PE-HD, PE-MD ja PE-LLD) ja polypropeeni (PP) ja näiden lisäksi styreenimuovit (PS ja PS-E) ja polyvinyylidikloridi (PVC). Valtamuovien lujuus ja lämmönkesto eivät ole kovin hyviä, mutta vastaavasti ne ovat muita halvempia. Koko muovikulutuksesta valtamuovien osuus on maailmanlaajuisesti noin 80 % eli erittäin suuri. Valtamuoveja käytetään hyvin useisiin eri tarkoituksiin. Niitä käytetään mm. leluissa, pakkauskalvoissa, putkissa, kaapeleissa, tiivisteissä, säiliöissä ja taloustarvikkeissa. Tämä luettelo on vain pieni osa siitä, mihin valtamuoveja käytetään. (Hanhi 2004, 8; Höök 2010).

Teknisten muovien lujuus ja lämmönkesto ovat parempia valtamuoveihin verrattuna, ja tämän johdosta myös hinta on korkeampi. Niitä käytetään vaativammassa paikoissa ja

olosuhteissa kuin valtamuoveja. Teknisiä muoveja käytetään usein myös lujitettuina tai seostettuina. Koska teknisillä muoveilla on sellaisia ominaisuuksia kuin lujuus, kemiallinen kestävyys, pieni kitka ja läpinäkyvyys, niitä voidaan hyödyntää koneenrakennuksessa rakennusmateriaaleina. Teknisiin muoveihin kuuluvat muun muassa PA, PMMA, PTFE (teflon), PC, ABS, ASA ja SAN. Muun muassa seuraavia tuotteita voidaan valmistaa teknisistä muoveista: auton puskurit, Lego-palikat, matkalaukut ja veneet. (Hanhi 2004, 8; Seppälä 2001, 11).

Erikoismuovien ominaisuudet ovat vielä paremmat kuin teknisillä muoveilla tai sitten niillä on jokin erikoisominaisuus. Erikoismuovit ovat erityisen kalliita (15 €/kg - 100 €/kg), mutta hintaan vaikuttaa myös se, että näitä valmistetaan yleensä hyvin pieniä määriä. Erikoismuovit soveltuvat kuitenkin joihinkin kohteisiin tai tarkoituksiin niin mainiosti, että pienenkin määrän valmistaminen on järkevää. Esimerkiksi pitkäaikainen lämmönkesto voi olla jopa yli 200 °C. Erikoismuoveihin kuuluu muun muassa PSU, PES, PEEK ja PPS. Erikoismuoveja käytetään mm. lääketeollisuudessa, elektroniikkateollisuudessa ja lentokoneiden sisäverhoilussa. (Hanhi 2004, 8; Seppälä 2001, 11).

Muovi	PE	PS	PET	PA (nylon)	PC	PTFE	PEEK
Hinta (€/kg)	1,30	1,48	1,37	2,43	3,02	11,57	57,03

Kuvio 2 Eräiden muovilaatujen kilohintoja (Järvinen 2000)

3.3 Muovipolymeerien rakenteet, valmistus ja lisäaineet

3.3.1 Polymeerit ja niiden rakenteet

Polymeeri on siis luonnossa esiintyvä tai vaihtoehtoisesti keinotekoisesti eli synteettisesti valmistettu suurimolekyylinen yhdiste. Kun monomeerit (pienehköt molekyylit) liittyvät toisiinsa lujilla sidoksilla kemiallisten polymerointireaktioiden kautta, syntyy polymeeri. (Kurri 2002, 35).

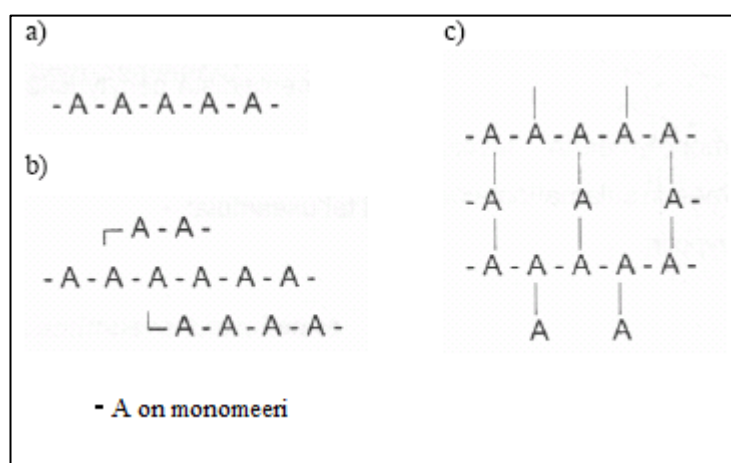
Polymeerit voidaan jakaa ryhmiin alkuperän, rakenteen, ominaisuuksien, käyttötarkoituksen, kiteisyyden ja monomeerien liittymistavan perusteella. Ne voidaan jakaa alkuperän perusteella luonnonpolymeereihin, puolisynteettisiin polymeereihin ja

synteettisiin polymeereihin. Luonnonpolymeerejä ovat esimerkiksi tärkkelys, selluloosa ja proteiinit. Puolisyneteettisiä polymeerejä valmistetaan luonnonpolymeereistä kemiallisella käsittelyllä. Näitä ovat muun muassa selluloosanitraatti, selluloosa-asetaatti ja kaseiinimuovi. Synteettisten polymeerien lähtöaineena käytetään kemian teollisuuden tuottamia monomeerejä, jotka polymerointiprosessissa liitetään toisiinsa makromolekyyleiksi. Synteettisiä polymeerejä ovat esimerkiksi polyeteeni, polystyreeni ja polyvinyylikloridi. (Hanhi 2004, 1)

Rakenteen perusteella polymeerit voidaan jakaa homopolymeereiksi ja kopolymeereiksi. Jos polymeeri on rakennettu ainoastaan yhdestä polymeeristä, sitä sanotaan homopolymeeriksi. Jos monomeerejä on kaksi tai useampia, puhutaan kopolymeeristä tai sekapolymeeristä. (Hanhi 2004, 1)

Homopolymeerit

Homopolymeeri voi olla lineaarinen, haaroittunut tai verkkorakenteinen. Lineaarinen homopolymeeri sisältää vain yhdenlaisia monomeerejä ja rakenne on ketjumainen (kuvio 3, a). Haaroittuneessa rakenteessa polymeerin runko-osaan on liittynyt haaroja, jotka voivat olla lyhyitä, 1 - 2 rakenneyksikköä sisältäviä tai pidempiä eli kymmeniä tai jopa satoja rakenneyksikköä sisältäviä (kuvio 3, b). Silloittuneessa homopolymeerissä monomeeriyksiköt ovat liittyneet toisiinsa kolmiulotteiseksi verkoksi (kuvio 3, c). (Seppälä 2001, 7).

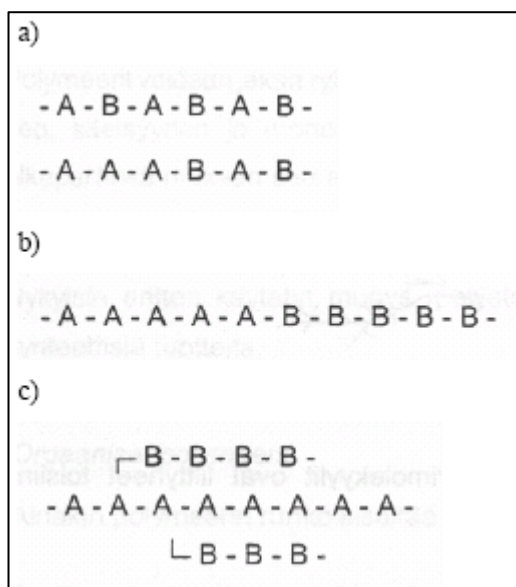


Kuvio 3 Homopolymeerien rakenteet (Seppälä 2001, 7)

Kopolymeerit

Kun monomeerejä on kaksi tai useampia, puhutaan kopolymeereistä.

Kopolymeereilläkin on eri rakenteita. Linearisessa kopolymeerissä monomeerit voivat olla vuoroittain tai epäsäännöllisesti polymeeriketjussa. Haaroittuneissa kopolymeereissä sekä perusrunko että haarat voivat sisältää erilaisia monomeerejä. Segmenttipolymeerissä esiintyy eri monomeerien muodostamia pitkiä, vain yhtä monomeeriä sisältäviä, segmenttejä. Oksastuskopolymeerissä polymeerin runko on yhtä monomeerilajia ja haarat toista monomeerilajia. Silloittuneessa kopolymeerissä on kolmiulotteisia verkkoja. Silloittuminen tekee polymeerin sulamattomaksi ja liukenemattomaksi. Esimerkiksi kertamuovit ovat silloittuneita. (Seppälä 2001, 8)



Kuvio 4 Eräitä kopolymeerin rakenteita: a) lineaarinen kopolymeeri b) segmenttipolymeeri c) oksastuskopolymeeri (Seppälä 2001, 8)

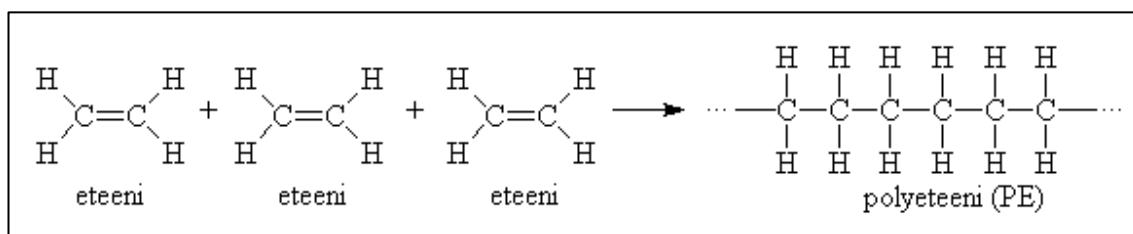
3.3.2 Muovipolymeerien valmistus

Kuten jo edellä mainittiin, polymeeri muodostuu monomeereistä. Monomeerit liitetään yhteen polymerointireaktion avulla. Tällöin syntyy pitkiä, suorita tai haaroittuneita ketjuja. Ketjujen pituutta on mahdollista säädellä muuttamalla valmistusprosessin olosuhteita, eli painetta, lämpötilaa, kiertonopeutta ja katalyyttiä. Polymeerireaktioiden

edellytyksenä on, monomeerit sisältävät joko kaksois- tai kolmoissidoksia. (Kurri 2002, 25).

Polyadditio eli ketjupolymeraatio

Polyadditiolla tarkoitetaan samanlaisten tai erilaisten molekyylien välistä liittymisreaktiota. Reaktiossa kaksoissidoksia sisältävät monomeerit liittyvät yhteen pitkiksi ketjuiksi. Polyaddition liittymisvaiheessa ei synny sivutuotteita, kuten polykondensaatiossa, mutta liittyminen tapahtuu aina heteroatomien välityksellä. Additiopolymerointi koostuu kolmesta eri vaiheesta, jotka ovat initiaatio, eteneminen ja terminaatio. Initiaatiovaiheessa polymeeri voidaan aktivoida vapailta radikaaleilla tai ionisysteemillä. Etenemisvaiheessa eli ketjun kasvamisvaiheessa syntynyt radikaali reagoi monomeerin kanssa, minkä seurauksena syntyy uusi radikaali. Näin ketju kasvaa. Viimeisessä vaiheessa, terminaatiossa, ketju päättyy jollakin tavalla. Tapoja on monia. Yksi tapa on esimerkiksi se, että kaksi radikaaliketjua liittyy yhteen. Polyadditiomenetelmällä valmistettavia tuotteita ovat muun muassa polyeteeni, polypropeeni, polystyreeni ja polyvinyylikloridi. (Hanhi 2004, 5–6 ; Kulju 1972, 15).



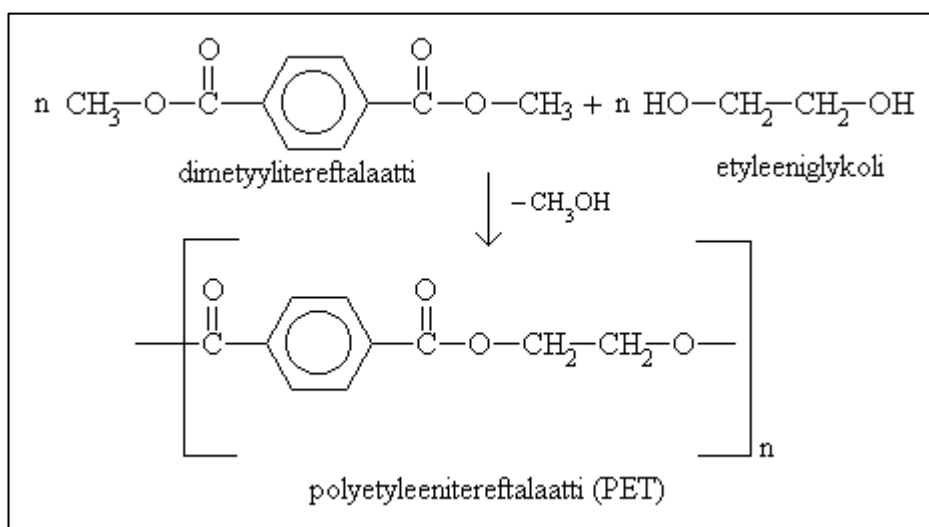
Kuvio 5 Esimerkki ketjupolymeraatiosta, polyeteenin valmistus (Polymeerit)

Polykondensaatio eli askelpolymeraatio

Polykondensaatiossa reaktiiviset ryhmät, joita tarvitaan kaksi tai useampia, reagoivat keskenään. Tällöin irtoaa vettä, kloorivetyä, alkoholia tai jotain muuta pienimolekyylistä ainetta, ja samalla muodostuu pitkiä polymeeriketjuja. Reaktiota ei tapahdu hiiliatomien avulla, vaan osasten liittyminen tapahtuu jonkin heteroatomien, yleensä hapen tai typen, välityksellä. (Hanhi 2004, 6; Kulju 1972, 14).

Tavanomaisia askelpolymeraatiolla valmistettuja polymeerejä ovat polyesterit. Joitakin luonnosta löytyviä polymeerejä, kuten selluloosaa, tärkkelystä ja villaa, voidaan myös pitää kondensaatiopolymeereinä. Muita tällä menetelmällä valmistettuja polymeerejä ovat polyamidit, polyimidit, polykarbonaatit ja kertamuovihartsit (polyuretaanit ja melamiinipolymeerit). (Hanhi 2004, 7).

Jos monomeereillä on rengasrakenne, niitä voidaan polymeroida renkaanavautumispolymeroinnilla. Tämä polymerointitapa voidaan lukea kondensaatiopolymerointiin kuuluvaksi. Renkaanavautumispolymeroinnilla voidaan valmistaa esimerkiksi syklisiä estereitä (polylaktidit), polylaktoneita, polyamidi 6:sta ja polyeettereitä. (Hanhi 2004, 7).



Kuvio 6 Esimerkki polykondensaatiosta, virvoitusjuomapullot valmistetaan PET:stä (Polymeerit)

3.3.3 Muovipolymeerien lisäaineet

Muovit, joita muoviteollisuudessa tuotetaan, sisältävät lähes varmasti erilaisia lisäaineita. Muovi on siis polymeeri + lisäaine(et). Lisäaineiden perimmäisenä tarkoituksena on parantaa muovien ominaisuuksia. Niitä voi olla muoveissa 1 - 80 %. Lisäaineita voidaan jakaa kolmeen ryhmään: täyteaineet, lujiteaineet ja apuaineet. Lisäaineet on mahdollista sekoittaa itse, tai ne voidaan tilata valmiiksi muoviin sekoitettuna raaka-ainevalmistajalta. (Kurri 2002, 27).

Täyteaineet

Muovit sisältävät täyteaineita tavallisesti vähintään 10 tilavuusprosenttia (til-%). Niiden osuus vaihtelee muovin mukaisesti 0 - 60 til-%. Täyteaineita ovat karbonaatit (Ca, Mg), talkki, kaoliini, silika ja puu. Aineita käytetään nimensä mukaisesti muovin täytteenä (korvikkeena). Niiden käyttöä on lisännyt esimerkiksi muoviraaka-aineiden kallistuminen, ympäristön ja yhteiskunnan asettamat vaatimukset ja valmistustekniikan kehittyminen. Täyteaineilla on usein myös parantavia vaikutuksia muovien mekaanisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. (Kurri 2002, 28).

Kustannusten pienentäminen ja tilavuuden kasvattaminen ovat pääsyyt täyteaineiden käytölle. Lisäksi täyteaine pienentää hävikkiä ja usein myös nopeuttaa valmistusprosessia. Yleisimmät ominaisuudet, joihin täyteaineella voidaan vaikuttaa, ovat jäykkyys, paino ja viskositeetti. Myös kemiallisia, sähköisiä ja palonesto-ominaisuuksia voidaan muuttaa täyteaineella. Näitä ominaisuuksia voidaan joko parantaa tai heikentää valitsemalla oikea määrä oikeaa täyteainetta. Yleinen haittatekijä on, että täyteaine sitoo muoviin ilmaa ja näin heikentää sen mekaanista lujuutta. Muun muassa tämän takia on ehdottoman tärkeää tarkastella täyteaineiden kokonaisvaikutusta ennen muovituotteen käyttöönottoa. (Kurri 2002, 28–29).

Lujiteaineet

Lujiteaineita voi muovissa olla 0 - 70 %. Jos muovi sisältää huomattavan paljon lujiteaineita, puhutaan muovikomposiiteista. Lujiteaine on usein kuidun muodossa. Eri lujiteaineita ovat esimerkiksi lasikuitu ja hiilikuitu. Hiilikuidut ovat parempia ominaisuuksiltaan (kevyempiä, jäykempiä) kuin lasikuidut, mutta ovat myös vastaavasti kalliimpia. (Taideteollinen Korkeakoulu)

Apuaineet

Tässä esitetään listaus tunnetuista apuaineista sekä lyhyt kuvaus niiden ominaisuuksista. Apuaineita käytetään paljon kalvonvalmistuksessa, joten niiden tunteminen on eduksi.

Antioksidantit, UV- ja lämpöstabilaattorit. Antioksidatteja ja lämpöstabilaattoreita käytetään muovin hajoamisen estämiseksi. UV-suoja-aineita tarvitaan eliminoimaan auringon valon haurastuttava ja hajottava vaikutus muoviin.

Antistaatit. Muovipolymeerit ovat jo itsessään eristeitä, mutta muoveihin lisätyt antistaatit purkavat muovien pinnassa syntyviä varauksia. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi metallipulvereita.

Vaahdotusaineet. Nimensä mukaisesti vaahdotusaineet edesauttavat vaahdon syntymistä prosessoinnin aikana. Yleisimpänä käytetään atsodikarbonamidia.

Iskunsitkeyden parantajien avulla lisätään muovien sitkeyttä. Yleensä amorfiset muovit, esim. styreenimuovit, ovat melko hauraita, joten niiden sitkeyttä nostetaan tämän apuaineen avulla.

Ristisilloitusaineet. Ristisilloitusaineiden avulla voidaan lisätä muovin lämmönkestoa ja jäykistää sekä lujittaa sitä. Voidaan tehdä esimerkiksi polyeteenille (PE-HD). Silaania ja peroksiedeja käytetään yleensä lisäaineina.

Tartunta-aineet parantavat muovikalvojen tarttuvuutta toisiinsa. Polyisobuteeni on hyvin yleinen tartunta-aine.

Palonestoaineet estävät tai hidastavat muovin palamista kuluttamalla happea tai muodostamalla vettä. Ne sisältävät yleensä typpeä, halogeeneja tai fosforia.

Antibakterisidejä ja antifungisidejä käytetään estämään bakteerien kasvua muovien pinnassa.

Antiblokkiaaineet ovat epäorgaanisia yhdisteitä (esim. silika), ja nämä karhentavat muovikalvon pintaa.

Nukleointiaineet lisäävät osakiteisen muovin kiteisyyttä. Tämän lisäksi nukleointiaineet lyhentävät jäähtymisaikaa, mutta saattavat vastaavasti haurastuttaa muovia. Muun muassa talkki ja alumiinistearaatti ovat nukleointiaineita.

KytKentäaineita käytetään parantamaan kuitujen ja lujitteiden sitoutumista itse matriisimuoviin. Aineina toimivat mm. titanaatit ja silaanit.

Sopeuttajat (kompatibilisaattorit). Sopeuttajat auttavat eri muovien sekoittumisessa. Esimerkiksi polyeteeni ja polypropeeni eivät sellaisinaan sekoitu hyvin keskenään, mutta sopeuttajien avulla se onnistuu paremmin.

Vaahdonestoaineet toimivat päinvastoin kuin vaahdotusaineet: estävät muoviraaka-aineen vaahtoamisen prosessin aikana. Muun muassa silikonit, asetyleeni- ja fluoriyhdisteet ovat yleisiä.

Voiteluaineet. Voiteluaineilla on moninainen merkitys. Näiden käyttö helpottaa muovituotteen prosessointia, estää muovin tarttumisen metallipintoihin ja alentaa kitkaa sekä viskositeettia.

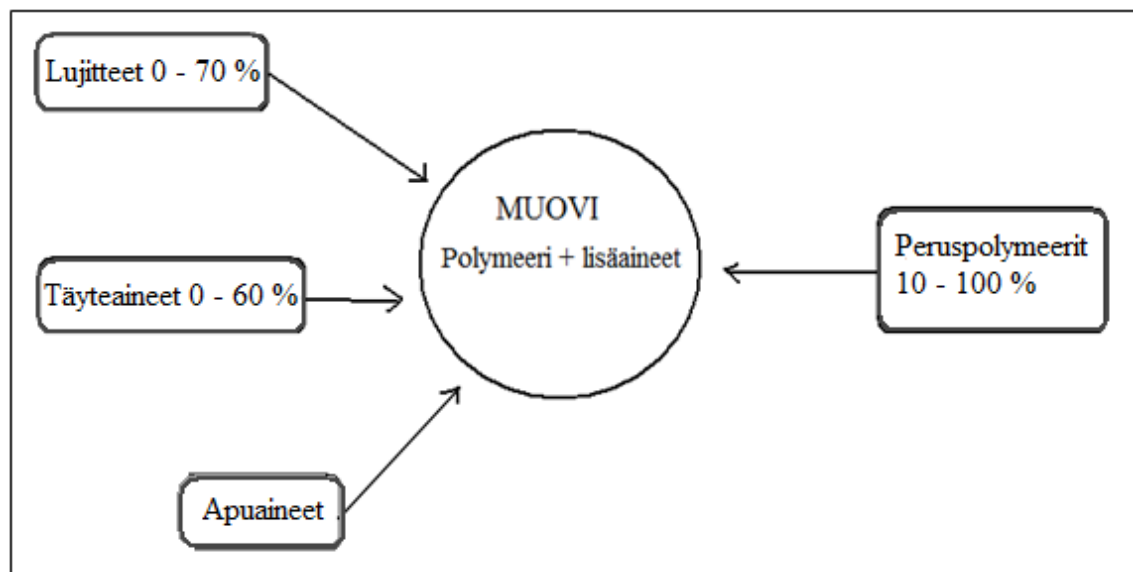
Pehmittimet lisäävät kovan ja hauraan muovin sitkeyttä, muotoiltavuutta ja taipuisuutta. Näitä lisätään yleensä suuria määriä muihin apuaineisiin verrattuna.

Slipit vähentävät muovituotteen kitkaa, käytetään etenkin kalvojen valmistuksessa.

Miinuspuolena on liiman ja painoväriin huono tarttuvuus.

Kosteutusaineiden tehtävänä on pienentää muovin pintajännitystä ja kostuttaa epäorgaaninen täyteaine. Toiset kosteutusaineet lisäävät tuotteen viskositeettia, toiset taas vähentävät. (Kurri 2002, 29–31).

Muovien värjäys onnistuu siten, että lisätään pieni määrä väriainetta muun raaka-aineen sekaan. Yleensä pitoisuudet ovat 0,05 - 2 painoprosentin luokkaa. Väriaineiden kokonaisvaikutusta on syytä tutkia etukäteen, sillä niillä on yleensä melko merkittävä vaikutus muovien ominaisuuksiin. (Kurri 2002, 31).



Kuvio 7 Muovin koostumus (Kurri 2002, 28)

4 Muovin raaka-aineiden säilytys ja siirtotavat

Raaka-aineiden tulisi olla UV-säteilyltä (aurinko) ja kosteudelta suojattuna.

Varastointilämpötilan täytyy olla nollan yläpuolella, koska liika kylmyys voi aiheuttaa

veden tiivistymistä materiaalisäkkiin. Tämä on erityisen tärkeää hygroskooppisilla (vettä imevillä) muoveilla. Esimerkiksi polyamidit ja polykarbonaatti ovat hygroskooppisia. Yleensä muoviraaka-aineita ei tarvitse käsitellä ennen käyttöä. Jos raaka-aine on kuitenkin erityisen kosteusherkkä, niin se on kuivattava ennen prosessiin syöttämistä. (Kurri 2002, 31).

Muoviraaka-aineita voidaan toimittaa nesteinä (hartsit), jauheina ja rakeina eli granulaatteina. Raaka-aineita on mahdollista toimittaa tankeissa, oktabiineissä (noin 1000 kg), suursäkeissä (noin 1000 kg), säkeissä (yleensä 25 kg) ja erilaisissa tynnyreissä tai pienissä säkeissä. (Kurri 2002, 32).

Jos raaka-ainetta kuluu paljon, sen säilömiseen käytetään oktabiinejä eli suuria, kahdeksankulmaisia astioita ja usean tuhannen kilon vetoisia siiloja tai tankkeja, jotka täytetään suoraan kuorma-autosta. Yleensä kalvonvalmistuksessa (ekstruusiossa) jotain raaka-aineita kuluu niin paljon, että ne säilötään kyseisillä tavoilla. Jos raaka-aineen tarve on vähäisempää, säkkitavarat soveltuvat tarkoitukseen hyvin. Säkeistä tavara yleensä annostellaan manuaalisesti eli käsin raaka-aineen syöttöön. (Kurri 2002, 32).

Eri lisäaineiden, eli täyte-, apu- ja väriaineiden, annostelu tapahtuu vaailla. Täyteaineet annostellaan yleensä automaattisesti, koska niitä kuluu 5 - 10 % tai jopa enemmänkin. Väriaineet ja apuaineet ovat yleensä säkkitavarana tai muutaman kymmenen litran astioissa, koska niitä ei kulu niin suurta määrää. Esimerkiksi hyvin pieni määrä väriainetta riittää värjäämään ajettavan kalvon ekstruuderilla. (Kurri 2002, 32).

Materiaalien siirto siiloissa perustuu yleensä gravitaatioon eli maan vetovoimaan. Siilon seinämiä täytyy ravistella tai kopistella aina välillä, jotta vältetään raaka-aineen holvautumiselta siilon seinämiin. Yleensä raaka-aineiden siirtämisessä käytetään ilmaa väliaineena. Raaka-aine imetään alipaineella putkistoa pitkin muovikoneelle. Jokaisen muovikoneen yhteydessä on alipainepumppu, joka määritetyin ajoin imee raaka-ainetta siilosta muovikoneen syöttösuppiloon eli hopperiin. (Kurri 2002, 32).

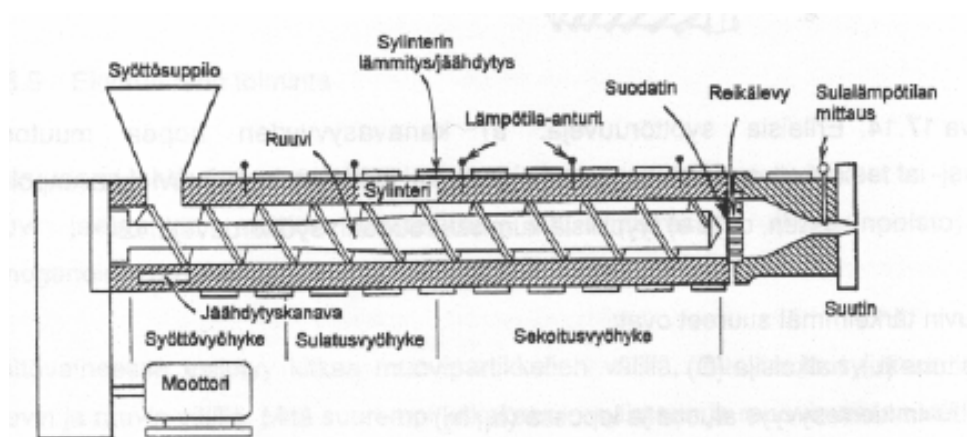
Gravimetrinen tai volumetrinen (tilavuuteen perustuva) syöttö takaa tasaisen ja oikean suuruisen syötön ruuville. Materiaalin syötöllä on myös erittäin suuri vaikutus tuotteen laatuun. Ruuville täytyy saada täsmälleen oikean suuruinen paine, jotta tuotteesta tulisi

mahdollisimman tasalaatuinen. Jos materiaalin syöttö ei toimi kunnolla, materiaalia voi tulla liikaa tai liian vähän, mistä seuraa, että riittävää painetta ei synny. (Kurri 2002, 33).

5 Muovikalvon valmistus

5.1 Ekstruuderit

Kun puhutaan ekstruusiosta, tarkoitetaan sitä, että muoviraaka-aine sulatetaan, sekoitetaan väri- ja lisäaineiden kanssa keskenään ja puristetaan suulakkeen läpi. Ekstruusio on osa suurempaa kokonaisuutta muovituotteen valmistuksessa. Yleisimpiä tuotteita, joita tällä menetelmällä on mahdollista valmistaa, ovat kalvot, levyt, putket, tangot, köydet. Ekstruusiota apuna käyttäen voidaan myös päällystää kaapeleita, kankaita, paperia ja kartonkia. Suutinosan valinnalla päätetään, mitä tuotetta halutaan valmistaa. Ekstruuderin pääosia ovat syöttösuppilo, suutin, moottori sekä sylinteri ja sen sisällä pyörivä kierukkaruuvi. (Kurri 2002, 98).



Kuvio 8 Ekstruuderit ja sen pääosat (Seppälä 2001, 243)

Ekstruuderit muodostuu sylinteristä ja sen sisällä olevasta ja pyörivästä muotoillusta ruuvista. Ruuvi on ekstruuderin tärkein osa. Sen tehtävänä on siirtää muoviraaka-aine syöttösuppilosta suuttimelle ja sulattaa raaka-aine matkalla joko pelkän kitkan tai kitkan ja sähkövastusten avulla. Sylinterin loppupäässä näkyvässä sekoitusvyöhykkeessä (kuvio 8) sula muovimassa homogenisoidaan eli tasa-aineistetaan. (Kurri 2002, 99).

Muovimassan sulaminen ruuvissa ei tapahdu yhtäkkiä, vaan vähitellen. Ensin sulaminen tapahtuu sylinterin ja muovin välisen kitkan aiheuttamana. Tämän jälkeen sulanut massa pyrkii painumaan ruuvin harjaa vasten, koska sillä on suurempi tiheys kuin granulaateilla. Sylinterin ja ruuvin välyksestä välyksestä syntyy takaisinvirtaus, mikä auttaa sulamista, koska lämpö siirtyy hyvin sulasta massasta granulaatteihin. (Kurri 2002, 99).

Ruuvilla on erilaisia tehtäviä, niin kuin edellä jo mainittiinkin, mutta ruuvin geometrialla on myös oma vaikutuksensa. Sen avulla voidaan säädellä muun muassa paineenkorotusta, materiaalin kiinnittävyyttä sylinterin seiniin, viskoosivoimien aiheuttamia termisiä ongelmia ja kaasun poistoa. Ruuvin L/D-suhteen (pituuden suhde halkaisijaan) avulla voidaan arvioida ekstruuderin suorituskykyä. (Kurri 2002, 99–100).

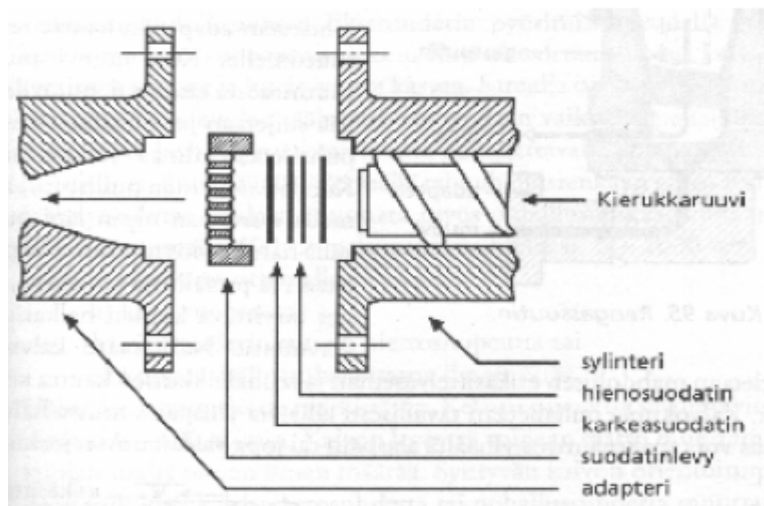


Kuvio 9 Erilaisia muotoja ruuville, (Kurri 2002, 100)

Ekstruuderit voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin toimintaperiaatteen perusteella. Nämä kolme eri tyyppiä ovat adiaapaattiset ekstruuderit, kartioekstruuderit ja pitkäruuviekstruuderit. Adiaapaattisissa ekstruudereissa kitkalla on suuri merkitys, ja sulatus tapahtuukin kokonaan kitkalämmöllä. Tämä on mahdollista, koska näissä ekstruudereissa on suuri kierrosluku, 100 - 1000 r/min (kierrosta/minuutissa). Yleensä adiaapaattisissa ekstruudereissa on melko lyhyt ruuvi, L/D suhde on noin 10 - 15:1. Kartioekstruuderissa seinämien välissä pyörivät kartiovaipparuuvit, joiden molemmille pinnoille massa syötetään granulaatteina. Tätä menetelmää kehitetään monikerrosekstruusioon, ja sen avulla on saatu sekä tilan- että energiantarve pienemmäksi. Pitkäruuviekstruuderit ovat näistä tyypeistä yleisimpiä. Näissä lämpöä syntyy kitkan avulla noin 70 % koko lämmitystarpeesta, eli nämä tarvitsevat massan sulattamiseen ulkopuolista lämmitystä. Kierrosluku on 20 - 250 r/min ja L/D-suhde

vaihtelee 20:1 - 35:1. Sylinterihalkaisijat ovat luokkaa 25 – 250 mm ja kapasiteetti on 5 - 1000 kg/h. (Kurri 2002, 100).

Sula muovimassa kulkee ennen suuttimelle pääsyä sihtipakan läpi. Sihtipakka koostuu suodatinlevystä, karkeasuodattimesta ja hienosuodattimesta (kuvio 10). Sihtipakan tehtävänä on seuloa massan seasta pois kaikki epäpuhtaudet, kuten roskat, muuttaa liikkuvan massan kiertävä liike koneen suuntaiseksi ja lisätä massan paine sopivaksi ennen suutinta. Sihtipakan verkot voidaan vaihtaa joko manuaalisesti pysäyttämällä ekstruuderin tai automaattisesti painemittarin ohjaamana. Joissakin tapauksissa voidaan myös käyttää jatkuvatoimisia suodattimia. (Kurri 2002, 100–101).



Kuvio 10 Sihtipakka ja sen eri osat (Kurri 2002, 101)

5.2 Kalvon valmistus

Yleisin materiaali, jota kalvokoneilla ajetaan, on PE-LD. Esimerkiksi pusseihin, säkkeihin ja kääreisiin käytetään juuri näitä polyeteenikalvoja. PE-LD-kalvoja käytetään usein myös laminaatteina muiden muovien tai paperin kanssa. Raaka-ainevalmistaja ilmoittaa PE:stä tiheyden ja sulaindeksin. Ne ovat kaksi arvoa, joilla on suuri merkitys kalvon valmistuksen kannalta. (Kurri 2002, 101).

Ensimmäinen arvo, eli tiheys, vaikuttaa mm. kalvon sitkeyteen ja se on LD-polyeteenillä luokkaa 0,91 - 0,93 g/cm³. Toinen arvo, sulaindeksi (sulaviskositeetti, sulan juoksevuus), määrää sen, kuinka korkeiksi sylinterin lämmöt säädetään.

Sulaindeksi (SI) on yleensä 0,1 - 10 g/10 min kalvoraaka-aineissa. Yleisesti pätevänä sääntönä voidaan pitää, että mitä suurempi SI-arvo on, sitä vähemmän lämpöä sylinteri tarvitsee. (Kurri 2002, 101).

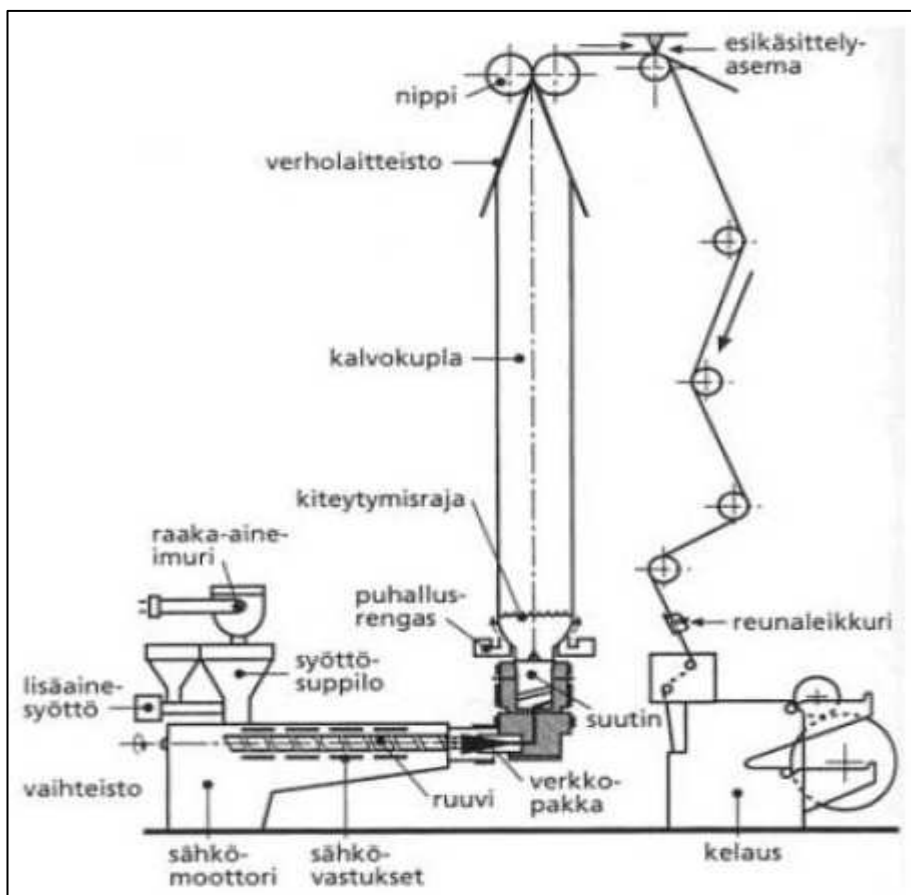
Muovikalvoa voidaan valmistaa kahdella eri tavalla: tasokalvona tai puhalluskalvona. Näillä menetelmillä voidaan valmistaa myös monikerroskalvoja. Silloin käytetään koekstruusiolaitteistoa, mikä tarkoittaa, että kahden tai useamman ekstruuderin tuotto syötetään samalle suuttimelle. Kalvonvalmistus on hyvin usein ensimmäinen osa suurempaa prosessia, johon voi kuulua esimerkiksi laminointia ja painatusta. Tämän takia kalvonvalmistus vaatii tarkkaavaisuutta ja erityistä huolellisuutta, sillä alkupäässä sattunut virhe saattaa paisua moninkertaiseksi myöhemmin ja vaikeuttaa jatkoprosesseja. (Kurri 2002, 101).

5.2.1 Puhalluskalvomenetelmä

Puhalluskalvon valmistuksessa sulanut muovimassa johdetaan ekstruuderista adapterin kautta rengassuuttimelle. Sulan massan annetaan pursuta suutinraosta niin kauan, kunnes sitä tulee tasaisesti. Tämän jälkeen muoviletkun pää suljetaan, yleensä ylhäältä pudotetulla vetoliinalla, ja suuttimen keskeltä puhalletaan paineilmaa letkun sisälle. Letkua aletaan hitaasti kiskoa ylöspäin vetoliinalla, joka on ylhäällä pujotettu nipin läpi. Kun letkun pää saadaan vedettyä nipistä läpi, nippi suljetaan ja puhallusta jatketaan, kunnes haluttu kalvokuplan halkaisija saavutetaan. Kalvo pujotetaan manuaalisesti monien telojen läpi aina alas kelauskoneelle saakka. Ennen kelauspistettä ovat esikäsitteilyasema ja reunanauhaleikkurit, joilla kalvo leikataan haluttuun leveyteen. Koska puhalluskalvossa on kaksi kalvoa päällekkäin, se voidaan vielä kelauspisteessä jakaa kahdelle eri rullaimelle. Kalvo puhalletaan yleisimmin alhaalta ylöspäin, mutta se voidaan puhalltaa myös ylhäältä alaspäin tai peräti vaakatasossa (harvinaista). (Kurri 2002, 102).

Kalvon ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa sekä raaka-ainevalinnoilla että prosessin säätämällä. Prosessi on monipuolinen, joten vaikutusmahdollisuuksia on erilaisia. Sulan muovimassa homogeenisuuteen eli tasaisuuteen voidaan vaikuttaa ekstruuderin pyörimisnopeudella. Jos ulos tulevan massan virtausnopeus kasvaa, jähmettymisraja

nousee ja kiteisyysaste kasvaa, mutta samalla optiset ominaisuudet huononevat. Kalvokuplan jäähtyminen on tärkeää tuotantotehon ja laadun kannalta. Jäähtymiseen voidaan vaikuttaa nostokorkeudella ja suuttimesta puhallettavalla ilmalla. Ilmamäärän tuloon voidaan vaikuttaa kahdella eri tavalla: säätämällä ilmantuloa tai puhallusrenkaan aukkoa. Yksi jäähdytysilman suuntaamiskeino on vielä se, että muutetaan puhallusrenkaassa olevan ilmahuulen puhalluskulmaa. (Kurri 2002, 103).



Kuvio 11 Puhalluskalvokoneen laitteistoa (Kurri 2002, 102)

Puhalluskoneilla ajettavien kalvojen paksuudet vaihtelevat 5 - 1000 μm (10^{-6} m). Kalvon paksuuteen voidaan vaikuttaa pääasiassa kolmella eri tavalla: säätämällä kelausnopeutta, ekstruderin ruuvien kierrosnopeutta tai kuplan sisälle puhallettavan ilman määrää. Kelausnopeutta voidaan pitää näistä muuttujista merkittävämpänä. Sitä voidaan säätää portaattomasti 0 - 100 m/min. Kalvon leveyteen voidaan vaikuttaa säätämällä ilman määrää kalvokuplan sisällä. (Kurri 2002, 103).

Puhalluskalvomenetelmällä ajettavista kalvoista PE on yleisin, mutta myös PP-, PVC- ja PS-kalvoja ajetaan. Kalvon kelausnopeuksista tavallisimpia ovat nopeudet 30 - 90 m/min. Joissakin tapauksissa voidaan kalvoa ajaa todella kovaa, jopa 200 m/min. Perussääntö on, että mitä ohuempi kalvo, sitä nopeampaa voidaan ajaa ja päinvastoin. Ruuvien kuljettaman massan lämpötila puhalluskalvokoneessa on noin 160 - 180 °C. Muovikalvon orientoitumiseen, eli pituus- tai leveysuuntaiseen venymiseen, on mahdollista vaikuttaa muuttamalla kalvon puhallussuhdetta tai vetosuhdetta. Puhallussuhde (blow up ratio, BUR) on kalvokuplan halkaisijan suhde suuttimen halkaisijaan. Sillä voidaan vaikuttaa kalvon poikittaissuuntaiseen orientoitumiseen. Puhallussuhteet vaihtelevat 1 - 6. Vetosuhteella (draw down ratio, DDR) taas tarkoitetaan vetonopeuden ja sulan muovimassan etenemisnopeuden välistä suhdetta. Tätä suhdetta muuttelemalla voidaan vaikuttaa ajettavan kalvon pituussuuntaiseen orientoitumiseen. Yksi tärkeä prosessiparametri puhalluskalvon valmistuksessa on jäähtymisraja (frost line high, FLH). Tällä rajalla sula muovi alkaa kiteytyä, ja raja on kuplan siinä kohdassa, jossa sen halkaisija ei enää muutu. (Kurri 2002, 103; Polymer Modeling Page; Seppälä 2001, 252).

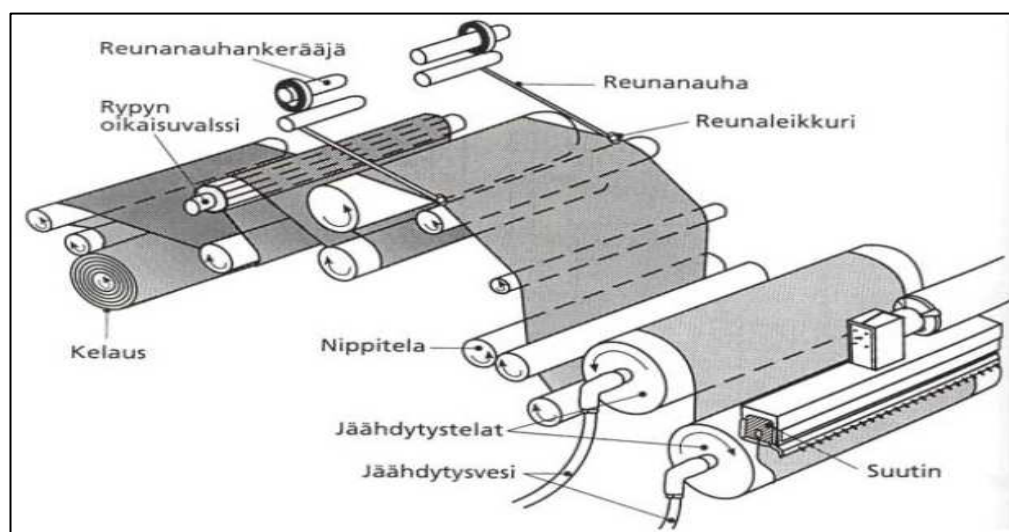
Kalvoa voidaan muokkailla eri keinoin prosessin varrella esimerkiksi väljentämällä suutinrakoa sopivasti. Näin saadaan muovipusseja varten kalvo sankojen osalta paksummaksi. Toinen esimerkki on kalvokuplan muotoilu. Ennen nippiä sijaitsee vekkilautoja, jotka ovat teräväkärkisen kolmion muotoisia. Niiden avulla kalvoon voidaan painaa tarvittavan levyinen vekki. Vekistä tulee rypytön ja hyvä, jos laudat ovat sopivassa kulmassa. Väärä kulma saattaa aiheuttaa rypyjä ja muita laatuhaittoja. (Kurri 2002, 103–104).

Kuten aiemmin mainittiin, kalvo kulkee esikäsitelyaseman läpi ennen rullalle kelausta. Varsinkin kalvot, jotka menevät edelleen painettavaksi, on syytä esikäsitellä. Siihen kuuluu koronointi, joka tarkoittaa kalvon käsittelyä korkeajännitteisellä ja korkeataajuisella sähkövirralla. Tämä johtaa kalvon pinnan hapettumiseen, mikä edesauttaa painoväriin tarttumista. Puhalluskalvoa valmistettaessa on tärkeää, että kalvo olisi tasapaksuista. Jos kalvo pääsee rullautumaan epätasapaksuna, se aiheuttaa kalvon venymistä ja rullan huonon profiilin. Mahdollisten paksuuserojen ehkäisemiseksi käytetään oskilloivaa nippiä, joka pyörii 360° välillä suuntaa vaihtaen. (Kurri 2002, 104).

Puhalluskalvon valmistusprosessi on lähes kokonaan automatisoitu. Nykyään prosessia valvoo prosessitietokone, jolle syötetään tärkeimmät asetusarvot. Toimivan automatisoinnin avulla saadaan minimoitua mahdolliset laatuviat ja muut haittatekijät. Sen ansiosta myös tuottavuus on parempaa ja prosessin hallitseminen helpompaa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että prosessi ei vaatisi työntekijöiden valvontaa ja tiettyjen ei-automatisoitujen tehtävien tekemistä ja tarkkailua. Työntekijällä on edelleen suuri vastuu lopputuloksesta. (Kurri 2002, 105).

5.2.2 Tasokalvomenetelmä

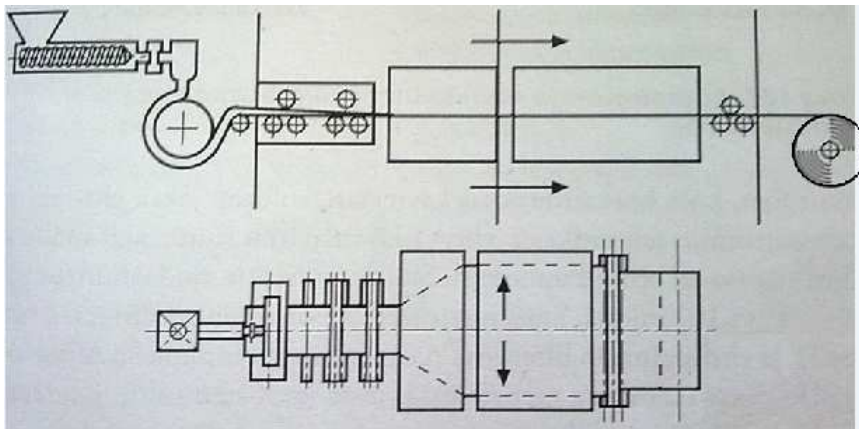
Tasokalvon valmistus on hieman eri tavalla toimiva prosessi kuin puhalluskalvon valmistus. Tässä menetelmässä sulatettu raaka-aine kulkee tasosuuttimelle ja valuu kapeasta suutinraosta jäähdytystelan pinnalle. Tarkoituksena on, että kalvo pystyttäisiin johtamaan nopeasti jäähdytystelan pinnalle. Tällä pyritään ehkäisemään kalvon kurouma (kutistuma) eli NECK-IN-ilmiötä. Kurouma aiheuttaa sen, että kalvon reunat jäävät muuta osaa paksummiksi. Tämän takia tasokalvokoneessa on myös reunanauhaleikkurit, joilla muuta osaa paksummat reunat saadaan leikattua. Leikattua reunanauhaa voidaan kierrättää. Sitä käytetään joko puhalluskalvokoneella tai tasokalvokoneella uudestaan raaka-aineena. Kuviossa 12 näkyy tasokalvokoneen pääosat. (Kurri 2002, 106–107).



Kuvio 12 Tasokalvokone (Kurri 2002, 106).

Tasokalvomenetelmässä kalvon paksuuteen voidaan vaikuttaa säätämällä suutinrakoa. Säätäminen voi tapahtua mekaanisesti tai lämpöruuvien avulla. Tasokalvokoneella hyvälaatuisen kalvon saaminen on yleensä hieman hankalampaa kuin puhalluskalvokoneella.

Tasokalvoa voidaan myös haluttaessa orientoida. Tämä voi tapahtua tasokalvoilla pituussuunnassa, leveysuunnassa tai molemmissa suunnissa. Orientointia molempiin suuntiin kutsutaan biakksiaaliseksi orientoinniksi. Kalvon lämpötilan tulee olla alle sulamislämpötilan, kun se orientoidaan. Orientointi parantaa kalvon lujuutta siinä suunnassa, mihin sitä venytetään. Biakksiaalisesti orientoitu kalvo on kirkkaampaa kuin vain yhteen suuntaan orientoitu muovikalvo. Esimerkiksi polyesteri- ja polypropeenikalvoja orientoidaan. Leveydeltään ajettavat kalvot ovat 1,5 - 2-metrisiä, harvinaisissa tapauksissa jopa 3-metrisiä. Yleisimmissä tapauksissa ajonopeudet vaihtelevat välillä 100 - 200 m/min. Erikoisimmissä tapauksissa voi tuotantonopeus poikkeuksellisesti olla jopa 300 m/min. Tasosuuttimessa tuotantolämpötilat nousevat 265 °C:seen. (Kurri 2002, 107; Tammela 1990, 364–365)



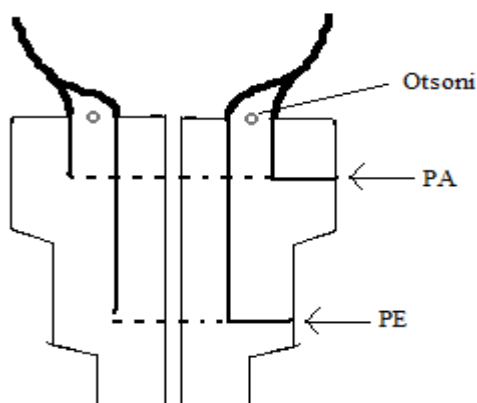
Kuvio 13 Kalvon orientointi radan suuntaisesti (ylh.) ja leveysuuntaisesti (alh.) (Kurri 2002, 107).

Tasokalvomenetelmää käytetään pääosin PA-, PS-, PVC- ja PP-kalvojen tuottamiseen. Polyeteeni, joka on puhalluskalvona yleinen, on tasokalvona varsin harvinainen. Tosin koekstrudoinnissa polyeteeni on käytetty materiaali, esimerkiksi seuraavissa eri yhdistelmissä: PA-PE, PP-PE ja PE-EVA. (Kurri 2002, 107).

5.3 Koekstruusio

Koekstruusio on menetelmä, jossa kahden tai useamman ekstruuderin tuotto syötetään samalle suuttimelle. Tätä menetelmää voidaan hyödyntää sekä puhalluskalvo- että tasokalvolaitteistoissa. Mitä enemmän ekstruudereja on samassa laitteistossa, sitä monimutkaisempaa muovikalvoa voidaan valmistaa. (Kurri 2002, 107).

Koekstruusiossa käytetään kahdenlaisia suittimia, yksi- tai monikanavasuittimia. Suittimien valintaan vaikuttaa se, onko sulien muovivirtojen tarkoitus yhdistyä suittimen sisällä, suutinraossa vai sen ulkopuolella. Yksi ratkaisu voi olla, että suutinvaihtoehtoja yhdistellään. Esimerkiksi niin sanottu Alkor-menetelmässä eri muoveja on mahdollista yhdistää toisiinsa. Alkor-menetelmässä muovien tarttuvuutta toisiinsa parantaa kerrostenväliin johdettava kaasu, esimerkiksi otsoni (kuvio 14). (Kurri 2002, 108).



Kuvio 14 Alkor-menetelmän perusidea kuvitettuna (Kurri 2002, 108).

Koekstruusiota käytetään pääasiassa monikerroskalvojen tuottamiseen, mutta se parantaa myös tuottavuutta. Monikerroskalvoilla on parempia ominaisuuksia kuin yksinkertaisilla kalvoilla. Monikerroskalvoihin saadaan myös sellaisia ominaisuuksia, joita ei tavalliseen kalvoon ole mahdollista saada. Koekstruusion onnistuminen vaatii sen, että muovien sulavirtausominaisuudet ovat lähellä toisiaan.

Sulavirtausominaisuuksia ovat esimerkiksi tiheys ja sulaindeksi. (Kurri 2002, 108).

5.4 Ekstruusiopäällystys

Ekstruusiopäällystys tarkoittaa nimensä mukaisesti sitä, että jotain tuotetta päällystetään ekstruusiotekniikkaa apuna käyttäen. Päällystettävä tuote on usein paperia tai kartonkia. Muovilla päällystäminen mahdollistaa sen, että näitä kyseisiä tuotteita voidaan käyttää nestepakkauksina ja kosteissa tiloissa. Koska ekstruusiopäällystyksessä kaksi eri materiaalia yhdistää, voidaan näitä kutsua yhdistelmä-materiaaleiksi.

Yhdistelmä-materiaaleilla on yksittäisiä komponentteja monipuolisemmat ominaisuudet. Seuraavasta kuvioista (kuvio 15) voidaan todeta, mitä eri ominaisuuksia komponentit antavat. (Kurri 2002, 109).

paperi / kartonki		PE-LD
<ul style="list-style-type: none"> • jäykkyys • lujuus • liimattavuus • painettavuus • taloudellisuus • saatavuus • käsiteltävyys 		<ul style="list-style-type: none"> • vesihöyrytiiviys • vedenkesto • kuumasaumattavuus • hyvä tarttuminen • hyvä pinta • painettavuus • elintarvikekelpoisuus

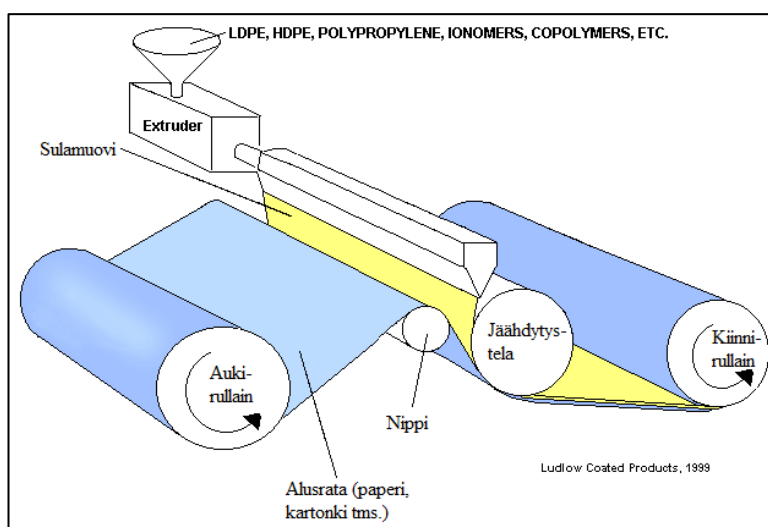
Kuvio 15 Komponenttien ominaisuuksia (Kurri 2002, 109).

Ekstruusiopäällystyslinja voi olla hyvinkin yksinkertainen. Päällystyslinjaan kuuluvat aukirullain, vetoryhmä, esikorona, päällystysasema, reunaleikkurit, kostutusasema, jalkikorona ja kiinnirullain. Jos valmistetaan monipuolisempia päällystystuotteita, ekstruusiolinjassa voi olla useita päällystysasemia, muita päällystysyksiköitä ja aukirullaimet laminoitaville radoille. (Kurri 2002, 110).

Vetoryhmä on ryhmä vetäviä teloja, joiden avulla säädetään rata-kiireyttä.

Esikoronoinnissa alusradan pinta hapetetaan niin sanotulla liekkikoronalla, jotta pinnana tarttuvuus paranisi. Liekkikorona polttaa myös kuitujen, jotka ovat mahdollisesti pystyssä, päät, jottei päällysteeseen muodostu reikiä. Päällystysasemassa on samankaltainen tasosuutin kuin tasokalvokoneessa, mutta käytettävät lämpötilat ovat korkeammat, noin 300 °C. Jälkikoronaa käytetään vain silloin, jos päällystettyyn tuotteeseen aiotaan painattaa jotain. Kostutusaseman tehtävä on saada päällystetty tuote oikeenomaan ennen rullausta. Tämä tapahtuu lisäämällä paperiin kosteutta. (Kurri 2002, 110–111).

Päällystetyn lopputuotteen laatuun vaikuttaa eniten adheesio. Adheesiolla tarkoitetaan muovin ja alusradan (esim. paperi tai kartonki) välistä tarttuvuutta. Näiden kahden komponentin välinen tarttuvuus on sitä parempi, mitä hapettuneempana ja lämpimämpänä muovi tulee nippiin. Adheesioita vaikuttavia tekijöitä on useampia; koneolosuhteet, muovien ominaisuudet, pohjarainan ominaisuudet ja adheesioita parannustoimenpiteet. Kuviossa 16 näkyy periaatekuva päällystysasemasta. (Kurri 2002, 110–111).



Kuvio 16 Ekstruusiopäällystys (Polymeerien työstö ja karakterisointi)

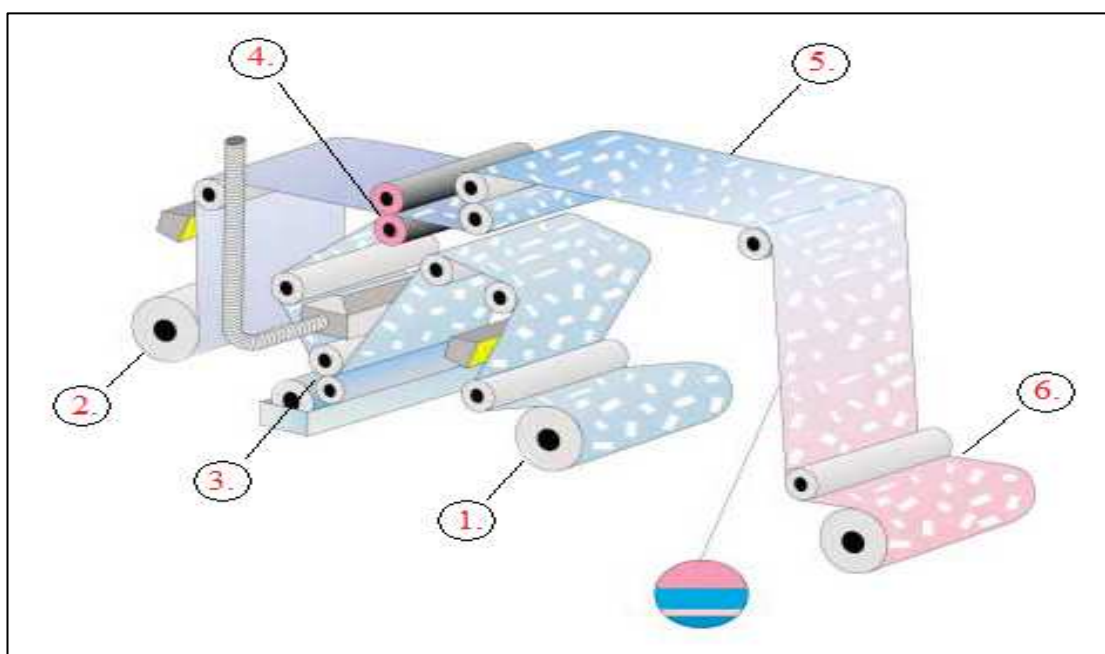
6 Muovikalvon jalostus

Kun muovikalvo on ajettu rullalle, sitä voidaan vielä käsitellä laminoimalla, painamalla ja leikkaamalla. Se, mitä toimenpiteitä muovikalvolle jatkossa tehdään, riippuu tilaavan asiakkaan toiveista. Näillä osastoilla, niin kuin kalvonvalmistuksessakin, työskennellään yleensä kolmessa vuorossa. Seuraavissa luvuissa on tarkoitus käsitellä lyhyesti yllä mainittuja jatkotoimenpiteitä.

6.1 Laminointi

Laminointi tarkoittaa sitä, että muovikalvoja yhdistetään toisiinsa liimaamalla. Laminoimisen perusideana on, että muovikalvot puristetaan yhteen telojen välissä.

Kuviossa 17 näkyy laminointiprosessin pääkohdat. Siihen kuuluvat laminoitavat muovikalvorullat (1 ja 2). Rulla 1 on kuvan esimerkissä painettua kalvoa. Rulla 2 on kirkasta kalvoa ja hyvin usein käytetään PE-kalvoa. Painettu kalvo kulkee liimausyksikön (3) kautta ja painetun kalvon painamaton puoli saa liimapeitteen. Kalvot kohtaavat laminointitelojen (4) välissä ja tästä eteenpäin kulkee laminoitu tuote. Laminoitu tuote kuivuu ja kovettuu (5) matkalla rullauspisteelle. Laminoitu rulla (6) kypsytetään niin sanotussa saunassa eli lämpöhuoneessa noin vuorokauden ajan ennen jatkotoimenpiteitä. (Packaging News 2005).



Kuvio 17 Laminointilaitteisto (Packaging News 2005)

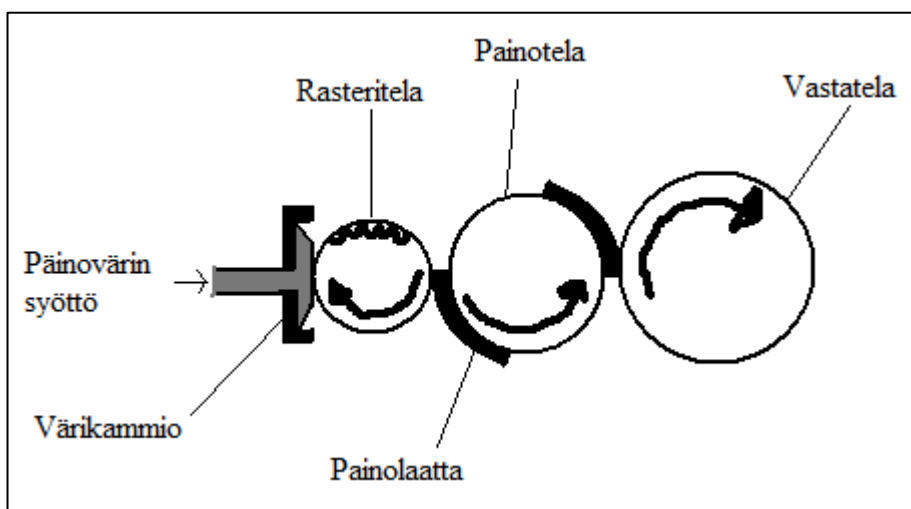
6.2 Painatus

Yleisin muovikalvojen painatusmenetelmä on flekso-, eli kohopainatus. Perusasioita, joita fleksopainatuksessa käytetään, ovat painolevyt, juoksevat painovärit ja alhainen nippipuristus. Itse menetelmänä fleksopaino on aika vanha, lähes 100-vuotias. Muovikalvojen tärkeimmäksi painatusmenetelmäksi se nousi noin 60 vuotta takaperin, kun polyeteeni tuli käyttöön pakkausalalla.

Fleksopainokoneet jaetaan rakenteellisten eroavaisuuksien mukaan kolmeen ryhmään: Stack-koneet, keskussylinterikoneet ja In-line koneet. Stack-koneissa jokaisella väriyksiköllä on oma vastatelansa. Keskussylinterikoneille ominaista on se, että kaikki

väriyksiköt sijaitsevat saman vastasynterinin ympärillä. In-line-koneessa on peräkkäisiä pylväsrakenteita, joissa kussakin on yksi väri- ja yksi kuivausyksikkö. (Kurri 2002, 166–167).

Painetussa kuviossa on yleensä useampaa kuin yhtä väriä. Jokainen väri tarvitsee oman painoyksikön. Painoyksikköön kuuluu erilaisia teloja, joita myöten painoväri siirtyy painopinnalle. Painokoneen väriyksikön toimintaidea on aika yksinkertainen (kuvio 18).



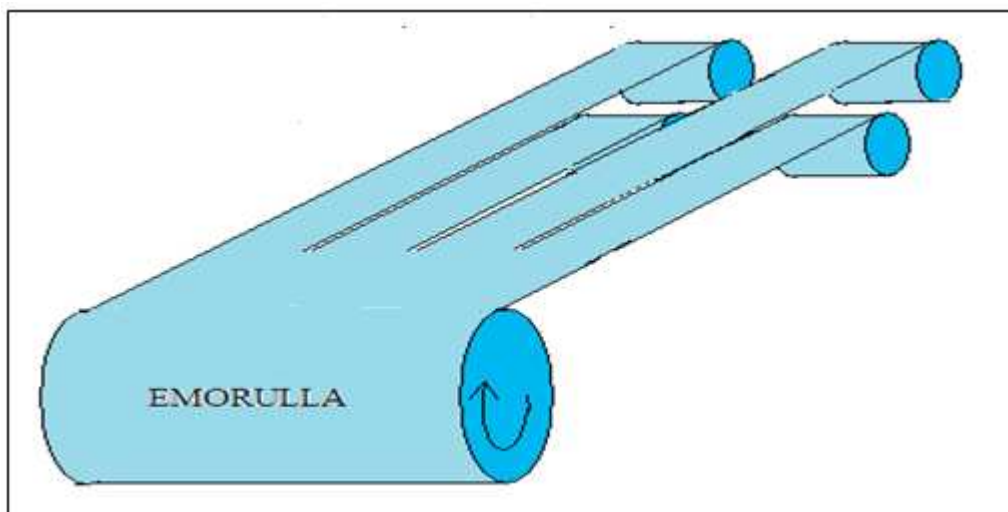
Kuvio 18 Esimerkki painokoneen väriyksiköstä (Kurri 2002, 167)

Fleksopainatuksessa jokainen väri siirretään painettavaan pintaan kumisen painolaatan välityksellä. Jokaisen väriyksikön jälkeen on välikuivain, jossa painoväristä haihdutetaan liuotin pois. Vasta pääkuivaimessa väri kuivuu lopullisesti. Yleensä haihtuva liuotin käytetään hyödyksi johtamalla se kanavia pitkin jälkipolttimeen ja sitä kautta energiaksi. (Pirkanmaan ympäristökeskus)

6.3 Leikkaus

Leikkureilla muovikalvorullat leikataan asiakkaan tilauksen perusteella pienemmiksi rulliksi. Leikkureita voi olla erikokoisia. Pienemmillä leikkureilla leikataan yleensä asiakkaalta takaisin tulleita (väärä leveys tms.) rullia pienemmiksi tai niitä ajetaan uuden hylsyn päälle, jos vanha on murtunut. Pienemmillä leikkureilla voidaan myös yrittää ajaa löysäksi jääneitä tai menneitä rullia tiukemmiksi paketeiksi. Pientä leikkuria voidaan pitää niin sanotusti korjausleikkurina.

Isommilla leikkureilla hoidetaan varsinaiset asiakasrullien leikkaukset. Leikkauksessa emorulla kiinnitetään koneeseen ja leikataan pienemmiksi rulliksi. Pienempiä rullia voidaan leikata asiakkaan tilauksesta riippuen noin 1-5 kappaletta per vaihto. Leikatut rullat painavat muutamasta kilosta muutamaan kymmeneen kiloon. Leikatut rullat nostetaan liukuhihnalle, jota pitkin ne kulkevat pakkausrobotin kautta pakkaamoon. Jos rullat ovat halkaisijaltaan niin suuria (poikkeustapaukset), että ne eivät mahdu liukuhihnalle, ne pakataan käsin ja nostetaan kuljetuslavalle. Koska rullat ovat yleensä leikkureilla viimeisen kerran kosketuksissa työntekijöiden kanssa ennen asiakkaalle lähtöä, laadunvalvonta on erittäin tärkeää. Leikkureilla on myös kerran viikossa siivousvuoro, jolloin leikkuri huolletaan kevyesti.



Kuvio 19 Leikkurin toiminnan perusidea

7. Muovikalvojen käyttömahdollisuuksia

Muovikalvoja voidaan käyttää monessa eri teollisuudessa. Kalvoja käytetään esimerkiksi elintarvike- ja hygienieollisuudessa, kaupan alalla ja turva- ja systeemipakkauksissa. Muovikalvoja käytetään myös pienemmissä määrin hyväksi lukuisissa eri teollisuuden aloissa. Muovikalvoa voidaan esimerkiksi laminoida metallien tai lasien pintaan.

Elintarviketeollisuudessa kalvoja käytetään leipomo- ja tuoretuotteissa, pakaste- ja kuivat tuotteissa, nesteissä ja etiketeissä. Elintarvikepakkauksissa on erittäin tärkeää, että

8 Lähteet

Hanhi, Raija 2004. Muovit - luentomoniste. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.

Höök, Tuula 2010. Polymeerimateriaalit. [www-sivu]. [viitattu 10.2.2010] Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_injmoulding_materials_FI.pdf

Järvinen, Pasi 2000. Suomalaisen muovin käsikirja. Porvoo: Muovifakta.

Kulju, Alvar 1972. Muovien ominaisuudet ja käyttö. Porvoo: WSOY.

Kurri, Veijo, Malén, Timo, Sandell, Risto & Virtanen, Matti 2002. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy.

Luettelomedia. [www-sivu]. [viitattu 25.4.2010] Saatavissa:
<http://www.luettelomedia.com/suominen-joustopakkaukset-oy-tampere-228325/>

Muoviteollisuus ry. [www-sivu]. [viitattu 15.1.2010] Saatavissa:
<http://www.luemuovia.net/fin/muovit/>

Packaging News 2005. [pdf]. [viitattu 21.4.2010] Saatavissa:
http://www.wipak.com/wipak_news/magazines/en_GB/packagingnews/

Pirkanmaan ympäristökeskus. [www-sivu]. [viitattu 21.4.2010] Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=55498>

Polymer Modeling Page. [www-sivu]. [viitattu 5.4.2010] Saatavissa:
<http://www.eng.uc.edu/~gbeaucag/RyanBreese/Meltprocessing/blownfilm.htm>

Polymeerit. [www-sivu]. [viitattu 4.2.2010] Saatavissa:

<http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/kemia2/polymeeri.html>

Polymeerien työstö ja karakterisointi. [www-sivu]. [viitattu 19.3.2010] Saatavissa:

https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/ke-100.4110/materiaali/KE-100_4110_paperin_paallystys_polymeerilla.pdf

Seppälä, Jukka 2001. Polymeeriteknologian perusteet. Helsinki: Otatieto Oy.

Suominen Yhtymä. [www-sivu]. [viitattu 24.4.2010] Saatavissa:

<http://www.suominen.fi/joustopakkaukset>

Tammela, Viljo 1990. Polymeeritiede ja muoviteknologia. Osa 3. Helsinki: Hakapaino Oy.

Taideteollinen Korkeakoulu. [www-sivu]. [viitattu 24.2.2010] Saatavissa:

<http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/index.html>

YLE. [www-sivu]. [viitattu 25.4.2010] Saatavissa:

http://yle.fi/alueet/tampere/2010/02/suominen_yhtyma_sinnittelee_plussan_puolella_1437520.html