

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

Tutkintotyö

Jari-Pekka Vuori

**KUMIN SEKOITTAMINEN, EKSTRUUSIO JA EKSTRUUSIOTUOTTEIDEN
VULKANOINTI**

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2006

Lehtori Esa Väliaho
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Kemiantekniikka

Vuori, Jari-Pekka

Kumin sekoittaminen, ekstruusio ja ekstruusiotuotteiden vulkanointi

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Lehtori Esa Väliäho

Työn teettäjä

Tampereen ammattikorkeakoulu

Joulukuu 2006

Hakusanat

kumi, sekoittaminen, ekstruusio, suulakepuristus, vulkanointi

TIIVISTELMÄ

Kumituotteiden valmistusprosessissa on kolme päävaihetta: kumisekoituksen valmistaminen, tuotteen muotoilu ja sen vulkanointi.

Kumituotetta valmistettaessa valitaan aluksi sopivat raaka-aineet ja valmistetaan niistä kumisekoitus. Sekoitus voidaan valmistaa erätoimisesti tai jatkuvatoimisesti. Erätoimisia sekoituslaitteistoja ovat sekoitusvalssi ja sisäsekoitin. Sekoitusvalsseja käytetään nykyisin pääasiassa pienten sekoituserien ja hankalasti prosessoitavien sekoituslaatuojen valmistamiseen. Sisäsekoittimet ovat syrjäyttäneet valssit nopeiden sekoitusaikojen, suuren kapasiteetin ja tasaisen laadun vuoksi. Jatkuvatoimisten sekoituslaitteistojen yleistymistä hidastavat polymeerien huono saatavuus sopivassa muodossa sekä laitteistojen huono soveltuvuus useiden erilaisten kumilaatuojen valmistukseen hitaiden laadunvaihtojen vuoksi.

Ekstruusio eli suulakepuristus on jatkuvien kumiprofiilien valmistukseen soveltuva kumintyöstömenetelmä. Ekstruuderissa lämmennyt ja pehmennyt kumi puristetaan suulakkeen läpi halutun muotoisen profiilin aikaansaamiseksi. Ekstruusiotulokseen vaikuttavat mm. suulakkeen ja ruuvien geometria sekä ekstruuderin lämpötila.

Kumituotteet saavat lopulliset ominaisuutensa vulkanoinnissa, jossa polymeeriketjut silloitetaan kolmiulotteiseksi verkkorakenteeksi. Monet ekstruusiotuotteet voidaan vulkanoida jatkuvatoimisesti heti ekstruuderin jälkeen.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical Engineering Department

Chemical Engineering

Vuori, Jari-Pekka

Rubber mixing, extrusion and vulcanization of extruded products

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Esa Väliäho

Commissioning Party

Tampere Polytechnic

December 2006

Keywords

rubber, mixing, extrusion, vulcanization

ABSTRACT

There are three main stages in manufacturing of rubber products: mixing of rubber, shaping of product and vulcanization.

First the suitable ingredients are chosen and a rubber compound is prepared.

Preparation can be done batch to batch or continuously. Two roll mills and internal mixers are batch mixing equipment. Two roll mills are nowadays mainly used for preparation of small batches and compounds that are difficult to process. Internal mixers have replaced two roll mills in compound preparation due to short mixing times, large capacity and uniform mixing quality. Continuous mixing equipment have not become common due to poor availability of powdered or granulated polymers.

Extrusion is a suitable method for producing continuous profiles. Compound softens and warms up while being driven through extruder and the die gives the shape to the extrudate.

Rubber articles get their final properties in vulcanization. Long chains of polymers are crosslinked to form three-dimensional structures. In many cases, extrudates can be continuously vulcanized immediately after leaving the extrusion die.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	6
2 KUMISEKOITUKSEN VALMISTUS	6
2.1 Sekoittamisen periaate	6
2.2 Sekoitusvalssi	7
2.2.1 Prosessimuuttujat	10
2.2.2 Prosessihäiriöt	12
2.3 Sisäsekoitin	13
2.3.1 Roottorirakenteet	15
2.3.2 Mastisointi	17
2.3.3 Sekoituksen valmistaminen sisäsekoittimessa	17
2.3.4 Prosessin säätäminen	19
2.3.5 Kumisekoituksen käsittely sekoittamisen jälkeen	21
2.4 Jatkuvatoiminen sekoittaminen	22
3 EKSTRUUSIO.....	23
3.1 Periaate	23
3.2 Ekstruusiomenetelmiä	24
3.2.1 Kuumasyöttökstruuderit	24
3.2.2 Kylmäsyöttökstruuderit	24
3.3 Kylmäsyöttökstruuderin rakenne.....	25
3.3.1 Syöttörulla.....	25
3.3.2 Lämpötilan säätö.....	27
3.3.3 Sylinteri eli vaippa	27
3.3.4 Ruuvi	28
3.3.5 Ekstruusiopää.....	29
3.4 Ekstruusiolinjan apulaitteet	30
3.4.1 Syöttökuljetin.....	30
3.4.2 Vetokuljettimet	31
3.4.3 Ekstruusiolinjan säätäminen	32
3.4.4 Profiilin jäähditys	32

4	EKSTRUUSIOTUOTTEIDEN VULKANOINTI.....	32
4.1	Vulkanointi.....	32
4.2	Jatkuvatoimisia vulkanointimenetelmiä.....	33
4.2.1	Suolahaudevulkanointi	33
4.2.2	Leijukerrosvulkanointi	34
4.2.3	Mikroaaltovulkanointi	35
4.2.4	Radioaktiivinen vulkanointi	35
	LÄHTEET	36

1 JOHDANTO

Kumituotteita valmistettaessa on tärkeää valita oikea materiaali, jotta tuotteessa on kaikki ne ominaisuudet, jotka siltä vaaditaan. Tuotteen ominaisuuksiin vaikuttaa tärkeimpänä polymeeri tai polymeeriseos, josta tuote on valmistettu. Lähes kaikilla polymeereilla on niille ominaiset vahvuutensa, jotka puoltavat niiden valintaa eri käyttötarkoituksiin. Puutteita joissakin muissa ominaisuuksissa voidaan korjata täyte- ja lisäaineilla. Sopivassa suhteessa polymeereja sekä täyte- ja lisäaineita sekoittamalla valmistetaan tuotteelle ominaisuuksiltaan ja kustannuksiltaan sopiva kumisekoitus.

Kumituotteen valmistusmenetelmän määrää ensisijaisesti tuotteen fyysinen olemus. Jatkuville profiileille sopivin valmistusmenetelmä on ekstruusio. Kumituotteet saavat lopulliset ominaisuutensa vulkanoinnissa, jossa polymeeriketjut silloitetaan toisiinsa. Vulkanointi voidaan suorittaa ekstruusiotuotteille ekstruusiolinjan perässä jatkuvatoimisesti.

2 KUMISEKOITUKSEN VALMISTUS

2.1 Sekoittamisen periaate /14, s. 5/

Kahden tai useamman kiinteässä olomuodossa olevan aineen sekoittaminen voidaan jakaa distributiiviseen sekoittamiseen ja dispersiiviseen sekoittamiseen. Kumin sekoittamisella on myös kolmas tarkoitus, joka on erittäin pitkien polymeeriketjujen pilkkominen lyhyemmiksi ja helpommin muokattaviksi. Tätä kutsutaan myös mastisoinniksi. Kumin sekoittamisen neljäs tarkoitus on saada muut raaka-aineet sitoutumaan kumimatriisiin.

Distributiivisella sekoittamisella tarkoitetaan eri komponenttien tasaista jakauttamista kun nämä ovat alkutilanteessa täysin erillään. Esimerkkinä tästä voidaan mainita kumin ja täyteaineen (esim. noki) peräkkäinen syöttö sekoituskoneeseen.

Dispersiivinen sekoittaminen tarkoittaa kiinteiden aineiden agglomeraattien (pienemmistä hiukkasista koostuvien kasaumien) hajoittamista pienemmiksi osiksi. Edellisen esimerkin mukaisessa tilanteessa noki pyritään saamaan pieniksi osiksi sillä sen vaikutus aktiivisena täyteaineena on sitä suurempi mitä suurempi sen ja polymeerin välinen pinta-ala on. Noen dispersion perusteella voidaankin mitata sekoituksen laatua. Kumin ja noen sekoittuvuutta mitataan uuttamalla sekoitusnäyte. Se osa kumi-noki -seoksesta, joka ei uuttamalla liukene, on ns. *bound rubber*. Tällöin noki on sitoutunut kumimolekyyleihin mekaanis-kemiallisin sidoksin.

Ensimmäiset laitteet, joita käytettiin kumisekoitusten valmistukseen olivat sekoitusvalsseja. Sisäsekoittimet ovat kuitenkin syrjäyttäneet valssit joitakin erikoissovelluksia, kuten vaikeasti työstettäviä ja värillisiä sekoituksia, lukuun ottamatta./4, s. 355/ Valssit ja sisäsekoittimet ovat erätoimisia. Nykyisin käytetään jonkin verran myös jatkuvatoimisia sekoituslaitteistoja.

2.2 Sekoitusvalssi /5/

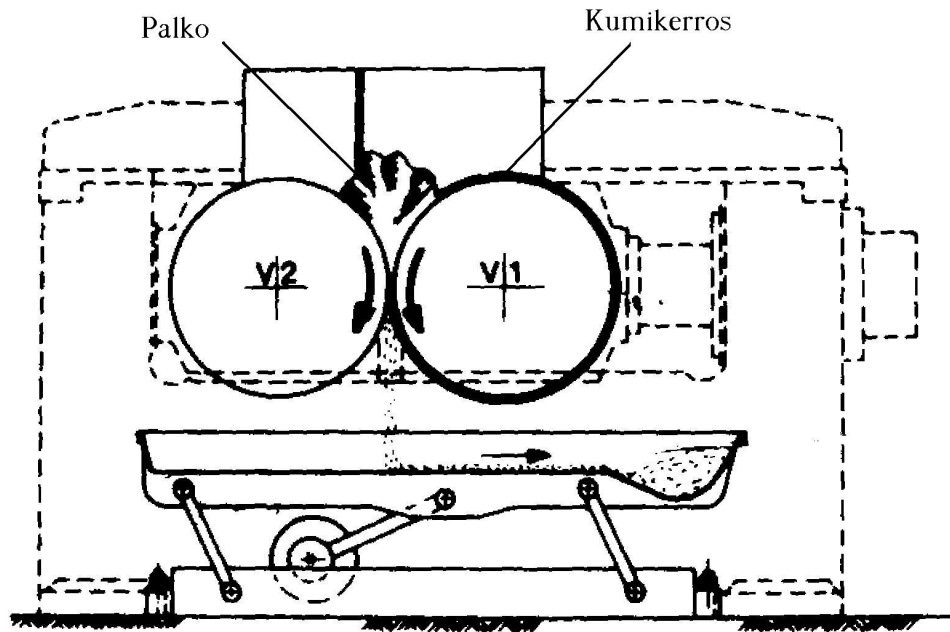
Sekoitusvalssi (kuva 1) koostuu kahdesta vierekkäin horisontaalisesti asennetusta vastakkaisiin suuntiin pyörivästä telasta. Näiden välistä telarakoa voidaan säätää liikuttamalla toista telaa. Telat pyörivät hieman eri nopeuksilla sekoittumisen aiheuttavan kitkavaikutuksen aikaansaamiseksi. Telat ovat sisältä onttoja jäähdytyksen ja lämmityksen mahdollistamiseksi. Lämmitystarvetta on ainoastaan tuotantoa aloitettaessa sillä kumia sekoitettaessa muodostuu kitkalämpöä ja tuotannon aikana teloja on jäähdytettävä jatkuvasti.



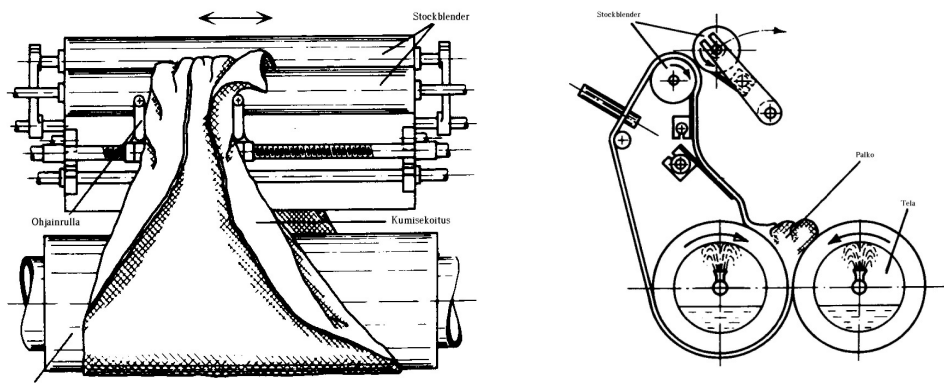
Kuva 1. Stockblenderillä varustettu sekoitusvalssi. /25/

Telojen pyörimisnopeudet ovat tavallisesti välillä 10 - 20 rpm, joka vastaa kehänopeutta n. 0,5 m/s. Valssia operoidaan yhdeltä puolelta, jolloin operaattoria lähempänä olevaa telaa sanotaan etutelaksi ja kauempaa vastaavasti takatelaksi. Teloista taaempi on nopeammin pyörivä ja nopeusero etutelaan verrattuna on usein välillä 10 - 30 %. Telojen nopeuksien suhdetta kutsutaan hiertosuhteeksi.

Sekoitusvalssiin tuotu kumi asettuu etutelan ympärille tasaiseksi kerrokseksi (kuva 2). Materiaali, joka ei kerrokseen mahdu muodostaa palon telojen väliin. Täyte- ja muut raaka-aineet annostellaan telojen väliin sopivassa järjestyksessä jotta ne jakautuvat kumipolymeeriin tasaisesti. Tämän tehostamiseksi valssin hoitaja leikkaa suikaleita kumikerroksen molemmilta reunoilta ja kääntää ne keskelle. Suurilla valsseilla kääntämisen hoitaa mekaaninen laite, ns. stockblender (kuva 3), joka kierrättää osan valssissa pyörivästä kumista valssin yläpuolella olevan telan kautta ja palauttaa sen takaisin automaattisesti vaihtuvaan paikkaan. Sekoitusajat vaihtelevat 20 minuutista jopa tuntiin.



Kuva 2. Sekoitusvalssin periaatekuva. /11, s. 40/



Kuva 3. Stockblenderin toimintaperiaate. /11, s. 41/

Kumimateriaalin virtauksessa telaraan läpi suurin virtausnopeus on telojen pintoja lähellä kumin lähestyessä telarakoa. Jos telat pyörisivät samalla nopeudella, tämä aiheuttaisi takaisinvirtauksen keskelle virtausta, jossa virtausnopeus on pienempi. Koska telat kuitenkin pyöriävät eri nopeuksilla, virtaus suuntautuu hitaampaa telaa kohti ja telojen välissä oleva palko alkaa pyöriä. Tämä osaltaan tehostaa sekoittumista. Suurimmat leikkausvoimat materiaalissa esiintyvät telaraan ahtaimmassa kohdassa. Leikkausvoimat kasvavat hiertosuhteen kasvaessa ja telarakoa pienennettäessä.

Valssien merkitys sekoittamisessa on vähentynyt sisäsekoittimien yleistyessä. Nykyisin niitä käytetäänkin lähinnä sekoitusten lämmittämiseen kalanterointia varten ja myös jonkin verran luonnonkumin mastisointiin. Synä käytön vähenemiseen ovat pitkät sekoitusajat ja pienet sekoituseräkoot /4, s. 361/. Valssisekoituksen huonoja puolia ovat myös sekoitustuloksen riippuvuus valssinhoitajasta, laitteistojen suuri lattiatilan tarve, tilojen likaantuminen ja eräkohtaiset laatuvaihtelut /7, s.4/.

2.2.1 Prosessimuuttujat

Valssissa sekoittamisen lopputulokseen voidaan vaikuttaa usein tavoin. Jotkin muuttujista ovat laitteistokohtaisia, mutta osaa voidaan säätää ja näin vaikuttaa sekoitustulokseen.

Valssin koko määrää sekoituserän suuruuden. Koko ilmaistaan telan läpimitan ja pituuden tulona. Pienimmät laboratoriovalssit ovat kooltaan 15 cm * 30 cm ja suurimmat tuotantovalssit 75 cm * 250 cm. Eräkoot ovat vastaavasti välillä 1 kg - 150 kg ja moottorien tehot välillä 4 kW - 300 kW.

Telojen kehänopeus (kierros-luku) on tavallisesti vakio, mutta erikoisvalsseissa nopeutta voidaan säätää. Suurempaa nopeutta käyttämällä saadaan sekoitustapahtuma nopeammaksi, mutta samalla suurenevat myös kitkan aiheuttama lämmöntuotto ja moottorien tehontarve. Myös valssinhoitajan onnettomuusriski kasvaa valssin pyörintänopeuden myötä. Käyttökelpoinen nopeusalue valssille onkin näistä syistä melko kapea, 0,1 m/s - 0,5 m/s.

Myös **hiertosuhde** on tavallisesti laitteistosta riippuva vakio. Laboratoriolaitteilla voidaan kuitenkin usein tätäkin parametria säätää joko portaattomasti tai portaittain. Hiertosuhdetta kasvattamalla saadaan sekoittumisen aikaansaavia leikkausvoimia suuremmiksi ja sekoitustapahtuma tehostuu.

Telojen **lämmitys/jäähdytys** on muuttuja, johon voidaan vaikuttaa lähes kaikilla sekoitusvalsseilla. Normaalityötannon aikana käytetään tavallisesti koko ajan täyttä jäähdytystä. Lämmitystä käytetään tuotantoa aloittaessa, kun laitteet ovat kylmiä.

Telaraon suuruutta voidaan säätää joko käsin tai moottorilla toimivien ruuvien avulla lähes kaikilla valsseilla. Tämä säätömahdollisuus on etu sisäsekoittimiin nähden sillä niissä telarako on kiinteä. Kuten hiertosuhteen kasvattaminen, myös telaraon pienentäminen suurentaa leikkausvoimia ja tehostaa sekoitustapahtumaa. Samalla kuitenkin telaraon läpi virtaa vähemmän kumia ja sekoituksen lämmönkehitys ja moottorien tehontarve kasvavat. Erittäin pientä telarakoa voidaan käyttää pienten kokkareiden hienontamiseen ja siten parantaa valmiin sekoituksen homogeenisuutta. Liian suuria kappaleita etenkin sekoittamisen alussa hienonnettaessa on kuitenkin riski ylikuormittaa valssin laakerointia.

Sekoituserän suuruutta voidaan myös muuttaa, mutta valssi toimii kuitenkin parhaiten melko rajatulla eräkoon vaihteluvälillä. Telojen väliin pitää muodostua palko, mutta se ei saa kuitenkaan kasvaa liian suureksi.

Raaka-aineiden syöttöjärjestystä voidaan muuttaa kaikilla valsseilla, mutta monien raaka-aineiden ominaisuudet asettavat kuitenkin reunaehdot järjestykselle. Perusperiaate on, että kumimateriaali syötetään ensin, jotta saadaan aikaan tasainen kerros telan ympärille ja palko telojen väliin. Myös vulkanointiaineiden syöttöajankohta on lähes vakio, ne on lisättävä sekoittamisen lopulla ennen aikaisen vulkanoitumisen estämiseksi. Muut raaka-aineet lisätään näiden välissä ja annostelunopeus on pidettävä riittävän alhaisena kumikerroksen murtumisen ja telasta irtoamisen estämiseksi. Valssilta tippuva materiaali on nostettava takaisin valssiin ja tätä varten telojen alapuolella on kaukalo.

Pehmitinaineet (öljyt) sekoittuvat paremmin, jos ne on ennen lisäystä sekoitettu täyte- ja muihin jauhemaisiin aineisiin puuromaiseksi massaksi. Vaikeasti dispergoituvat aineet, kuten hienojakoinen noki, on sekoitettava ennen pehmitinaineita, jotta leikkausvoimat ovat riittävät hyvän dispersion saavuttamiseksi.

Sekoituksen kääntäminen helpottaa raaka-aineiden tasaista jakautumista sekoituksessa. Valssinhoitaja vetää terävällä työkalulla sekoituksesta suikaleita ja kääntää ne muun materiaalin päälle. Sekoitusreseptissä voi olla jopa tarkkaan määritelty miten ja kuinka moneen kertaan kääntäminen täytyy suorittaa sekoituserää kohti. Valssinhoitajan ammattitaito vaikuttaa myös tältä osin sekoitustulokseen.

Kokenut valssinhoitaja näkee usein kumisekoituksen ulkonäöstä (sileys, kiilto, värin tasaisuus ym.), milloin sekoitus on valmis. Kumireseptissä mainitaan vaadittava **sekoitusaika**, joka on määritetty kokeellisesti.

2.2.2 Prosessihäiriöt

Useita erilaisia prosessihäiriöitä voi esiintyä sekoitettaessa kumia valssilla.

Raaka-aineiden epätasainen jakautuminen voi johtua liian lyhyestä sekoitusajasta. Syynä voi olla myös huonosti hoidettu sekoituksen kääntäminen tai se, että valssilta tippuneet raaka-aineet on nostettu takaisin valssiin liian myöhään sekoittuakseen kunnolla.

Huono dispersio voi johtua liian pienistä leikkausvoimista eli esim. liian suuresta telaraosta tai pehmittimien liian aikaisesta annostelusta. Tietty liian nopeasti syötetyt jauhemaiset raaka-aineet voivat muodostaa suuria paakkuja, mutta ne voidaan rikkoa ajamalla sekoitus pienitelarakoisen valssin läpi.

Sekoituskerroksen huono koossa pysyminen voi johtua liian nopeasti lisätystä täyteaineesta. Tällöin sekoituksesta tulee murumaista ja se tippuu telasta pois.

Jos **sekoitus tarttuu telaan**, niin syynä voivat olla suoraan telan kanssa kosketuksiin päässeet tarttuvat aineet. Tällaisia aineita ovat esim. jotkin hartsit.

Telan alapuolella roikkuva ”pussi” muodostuu yleensä silloin, kun telojen lämpötila on liian matala ja telarako liian suuri. Tämä ongelma on helppo korjata sekoituksen aikana nostamalla lämpötilaa ja pienentämällä telarakoa.

Ilmarakojen muodostuminen voidaan tavallisesti ehkäistä muuttelemalla telaraon suuruutta.

Pehmitinaineiden hidasta sitoutumista kumimatriisiin voidaan nopeuttaa sekoittamalla pehmittimet täyteaineeseen puuron kaltaiseksi massaksi ennen kumisekoitukseen lisäämistä.

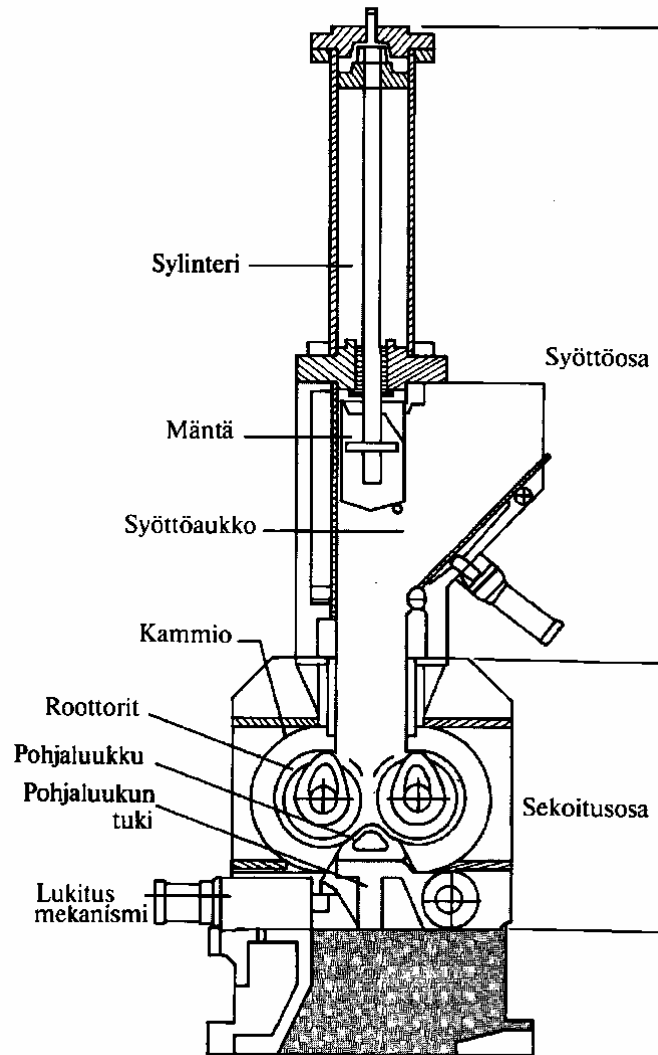
Sekoituksen kuumentuessa liikaa voidaan telojen jäähtytystä lisätä. Sekoittaminen voidaan myös keskeyttää hetkeksi ja odottaa sekoituksen jäähtymistä.

Kumin tarttuessa takatelaan voidaan etutelan lämpötilaa nostaa kumin tarttumista edistämään. Etutela voidaan myös käsitellä jollakin tarttuvalla aineella kuten hartsilla. Takatela voidaan puolestaan käsitellä esim. saippualla tarttumisen estämiseksi.

Sekoituksen jatkokäyttöä haittaavaa liiallista jäykkyyttä ja elastisuutta voidaan vähentää jatkamalla sekoitusta valssissa.

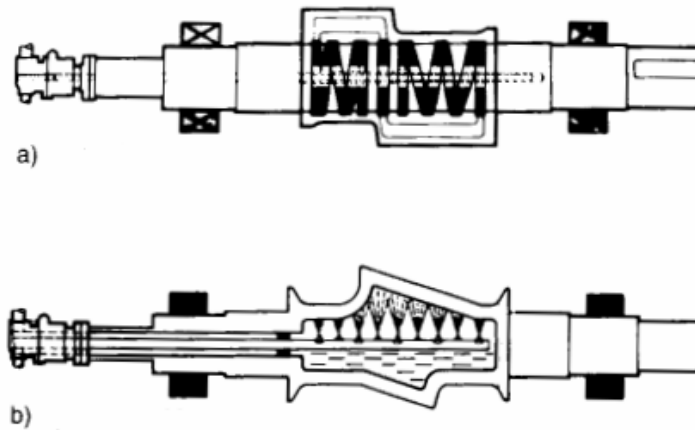
2.3 Sisäsekoitin /4, s. 360/

Sekoituskoneen (kuva 4) ydin on kammio, jossa horisontaalisesti asennetut roottorit pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Roottoreita pyörittävät sähkömoottorit. Kiinteiden raaka-aineiden syöttö tapahtuu teräslevystä rakennettua syöttökuilua pitkin. Pehmitinöljyt syötetään kammion seinämissä olevien suuttimien kautta. Sekoitettavaa massaa painaa hydraulinen tai pneumaattinen painomäntä 2-12 barin paineella. Mäntä on yleensä 2-4 mm pienempi kuin syöttökuilu. Sekoituskoneen tyhjennys tapahtuu avaamalla hydraulisesti kääntyvä pohjaluukku, jolloin sekoitus tippuu tyhjennysruuville tai -kuljettimelle.



Kuva 4. Sekoituskone. /2/

Kaikki sekoituksen kanssa kosketuksiin joutuvat osat, etenkin sekoituskammio ja roottorit, ovat jäähdettäviä sekoittamisen suuren lämmönkehityksen vuoksi. Kammio on varustettu ulkoisiin osiin poratuilla jäähdetykskanavilla. Roottoreissa käytetään joko kierto- tai ruiskujäähdtytystä (kuva 5) riippuen roottoreiden rakenteesta: yksiosaisilla roottoreilla ruiskujäähdtytystä ja kaksiosaisilla kiertojäähdtytystä. Lämpötilaa seurataan anturein. /11, s. 16/



Kuva 5. Rootoreiden jäähdytysmenetelmät. /6, s. 25/

a) Kiertojäähdytys b) Ruiskujäähdytys

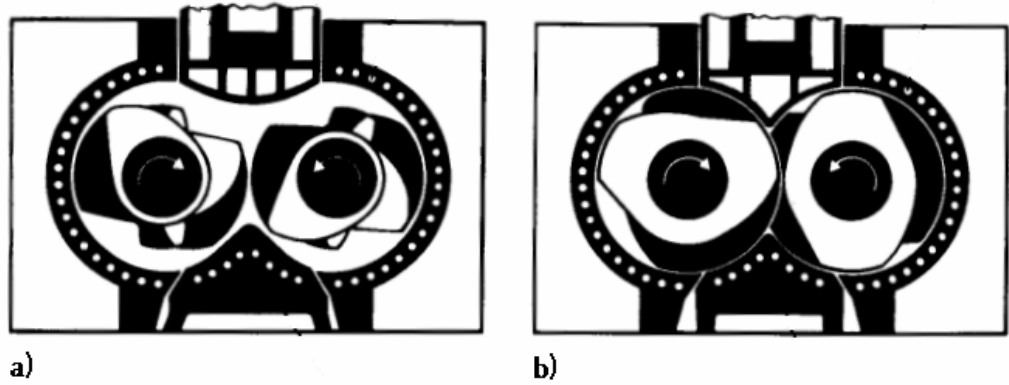
Sekoitettaessa kumisekoitus hankaa voimakkaasti sekoituskoneen osia, joiden kanssa se joutuu kosketuksiin. Tämän vuoksi sekä kammio että roottorit ovat pinnoitettu hankausta kestäviksi. Myös syöttökuilussa käytetään tästä syystä vaihdettavia hankauslevyjä kammion suulla /7, s. 6/.

Sisäsekoittimien koko ilmaistaan kammion tilavuuden avulla. Koot vaihtelevat laboratoriosekoittimien 1 litrasta tuotantokoneiden 650 litraan.

Rengasteollisuudessa tyypillinen koko on 260 l kun taas teknisten kumituotteiden puolella käytetään usein hieman pienempiä sekoittimia. Moottoritehot vaihtelevat välillä 20 - 2500 kW. Suuret sisäsekoittimet ovat varsin massiivisia laitteita ja saattavat painaa yli 100 tn.

2.3.1 Roottorirakenteet

Sisäsekoittimissa voidaan käyttää kahta erilaista roottorirakennetta, sivuavaa ja puretuvaa rakennetta (kuva 6). Roottorien L/D (pituuden suhde läpimittaan) on tavallisesti välillä 1,4 ... 1,7. /4, s. 363/



Kuva 6. Roottorirakenteet. a) Sivuava ja b) pureutuva roottorirakenne. /6, s. 23/

Perinteinen roottorirakenne on ns. Banbury-sekoittimessa oleva sivuava rakenne. Roottorien läpimitta on kaksi säteittäistä rakoväliä kammion läpimittaa pienempi ja ne on sijoitettu kammion läpimitan etäisyydelle toisistaan. Näin ne eivät osu toisiinsa vaan niiden väliin jää tilaa kahden rakovälin verran. Roottoreiden nopeusero on tavallisesti 10 - 15 %. /14, s.8/

Sivuavan roottorirakenteen dispersiivinen sekoitus tapahtuu pääasiassa roottorin ja kammion seinämien välissä. Distributiivista sekoittumista tapahtuu puolestaan roottorien työntäessä sekoitusta toisiaan kohti kammion keskellä. Tätä sekoitusvaikutusta voidaan verrata valsseilla tehtävään sekoituksen kääntämiseen. /5/

Pureutuvassa roottorirakenteessa roottorit pyörivät keskenään samalla nopeudella, muuten ne törmäisivät toisiinsa, mutta kierrosnopeutta voidaan säätää. Verrattuna sivuavaan rakenteeseen, pureutuvassa rakenteessa sekoittumista saa aikaan myös kumin vierivä liike roottoreiden välissä.

Pureutuvalla roottoriratkaisulla pyritään ensisijaisesti mahdollisimman korkeaan sekoituslaatuun. Sekoituslämmöt pysyvät alhaisina mutta dispersio ja komponenttien jakautuminen ovat hyvät. Näistä syistä pureutuvaa rakennetta käytetään etenkin teknisillä kumeilla. Sivuavan rakenteen vahvuuksia ovat nopeat täyttö- ja tyhjennysajat, minkä vuoksi esim. rengasteollisuus käyttää pääosin sivuavaa rakennetta. /14, s.8/

2.3.2 Mastisointi

Mastisoinnin tarkoituksena on pehmentää erittäin pitkistä polymeeriketjuista koostuvaa luonnonkumia. Pehmeneminen johtuu polymeeriketjujen katkomisesta lyhyemmiksi, jolloin molekyylipaino pienenee. Mastisoinnin edellytyksenä on, että läsnä on happea, joka sitoutuu katkenneiden molekyyliketjujen reaktiivisiin päihin estäen ketjujen toisiinsa uudelleenliittymisen. Synteettisille kumeille ei erillistä mastisointivaihetta yleensä tarvitse suorittaa, sillä niiden molekyylipaino voidaan säätää haluttuun arvoon polymerointivaiheessa. /8, s.3/

Mastisointi suoritetaan sisäsekoittimessa. Prosessin alussa kumi on kylmää ja sekoittimen molekyyliketjuihin kohdistamat leikkausvoimat ovat suuria. Sekoittaminen kuitenkin kehittää lämpöä ja sekoitus lämpenee, jolloin leikkausvoimat alkavat pienentyä. Tällöin mastisointivaikutus hidastuu. Mastisointia nopeuttamaan on kehitetty ns. peptisaattoreita, jotka nopeuttavat mastisointia hapettamalla molekyyliketjuja. Kuten kemiallisilla reaktioilla on tapana, peptisaattorienkin vaikutus kasvaa lämpötilan noustessa. /9, s.91/ Peptisaattorien annostus on tavallisesti välillä 0,1 - 0,2 phr (sataa kumiosaa kohden). /11, s.56/

Mastisoinnin edistymistä seurataan valvomalla prosessiin käytetyn sähkötyön, ajan tai kumin lämpötilan kehittymistä. Kun kumisekoitus on saavuttanut tietyn esim. lämpötilan sitä vastaa tietty Wallace-plastisiteetti tai Mooney-viskositeetti ja kumi pudotetaan sekoituskammioista. /8, s. 8/

2.3.3 Sekoituksen valmistaminen sisäsekoittimessa

Painomännällä varustetun sekoittimen täyttö suoritetaan kuilun kautta männän ollessa yläasennossaan. Paloiteltu kumi syötetään vaa'alla varustetulta kuljettimelta. Mäntä lasketaan alas ja aloitetaan ns. plastisointi- tai mastisointivaihe. Kumikomponentti saatetaan plastiseen tilaan, jolloin se on vastaanottavaisempi muille komponenteille. /4, s. 365/

Varsinainen sekoitus alkaa lisäämällä kiinteät täyteaineet. Kun täyteaine on sitoutunut kumimatriisiin, jakautettu tasaisesti ja dispersio on hyvä, lisätään pehmittimet. Liian aikainen pehmittinaineiden syöttö aiheuttaa täyteainedispersio huonontumisen. Sekoitin tyhjenetään kokonaisen sekoituskierron jälkeen kun on saavutettu sekoitukselle tyypillinen pudotuslämpötila. Aikaa tähän on kulunut noin viisi minuuttia. Näin valmistetaan ns. perussekoitus eli masterbatch ja kyseistä sekoitustapaa kutsutaan ns. perinteiseksi sekoitustavaksi. /14, s.9/

Joitakin erikoispolymeereja, kuten EPDM:a, sekoitettaessa tai kun halutaan käyttää erittäin suuria täyteainemääriä, käytetään ns. upside-down -sekoitusmenetelmää. Kaikki muut raaka-aineet polymeeria lukuun ottamatta syötetään syklin alussa kammioon. Lyhyen sekoitusajan jälkeen lisätään polymeeri ja sekoitus suoritetaan loppuun asti. /11, s. 22/

Toinen erikoissekoitusmenetelmä on ns. myöhäinen öljynsyöttö eli *late oil addition*. Tässä sekoitustavassa kaikki muut raaka-aineet paitsi pehmitinöljy syötetään syklin alussa. Raaka-aineita sekoitetaan pari minuuttia ja öljyn lisäys aloitetaan. Öljy lisätään niin hitaasti, että sekoitusvaikutus ei lakkaa kokonaan missään vaiheessa. Myöhäistä öljynsyöttöä käytetään usein kovien kumisekoitusten valmistamiseen esimerkiksi lattiamateriaaleja varten. /3, s. 35/

Ns. sandwich-sekoituksessa yhtä polymeeria sekoitetaan öljyn ja täyteaineiden kanssa. Tämän jälkeen kammioon lisätään toista polymeeria ja sekoitetaan toinen polymeeri kammiossa olevaan sekoitukseen. Tämä tehdään siksi, että ensin lisätty polymeeri sekoittuu paremmin toiseen, myöhemmin lisättävään polymeeriin kun siihen on jo sekoittunut muita aineita. Sandwich-sekoitustapaa käytetään etenkin kun sekoitetaan erittäin pehmeitä ja erittäin kovia samasta kumista koostuvia laatuja keskenään, esimerkkinä voidaan mainita kovan ja pehmeän EPDM:n sekoitus. Yleisesti sandwich-sekoitusta voidaan sanoa käytettävän kun kahta polymeerilaatua ei saada muuten sekoittumaan toisiinsa. /3, s.40/

Vulkanointikemikaalit lisätään tavallisesti erillisessä sekoitusvaiheessa. Tämä ns. rikitysvaihe on kestoltaan noin puolet perussekoitusvaiheen kestosta. Sekoitusjaksoa, jossa kaikki kemikaalit lisätään yhdessä syklissä kutsutaan

yksivaihesekoitukseksi eli one-pass-mixiksi. Tällöin vulkanointikemikaalit lisätään viimeisen sekoitusaskeleen aikana. /14, s. 9/

2.3.4 Prosessin säätäminen

Sekoitusprosessia voidaan säätää useiden muuttujien avulla. Perinteistä sekoitusmenetelmää käytettäessä voidaan **esipehmitysaikaa** muuttaa kullekin sekoituslaadulle sopivaksi.

Sekoitusaika ennen pehmittimien syöttöä vaikuttaa hyvän dispersion saavuttamiseen. Dispersion aikaansaavat leikkausvoimat pienenevät heti öljyn lisäyksen jälkeen ja dispersion paraneminen hidastuu. Liian aikaisin lisätty pehmitin voi aiheuttaa sekoituksen dispersion jäämisen liian alhaiselle tasolle. Hyvin nopeasti lisätty suuri öljymäärä voi aiheuttaa jopa sekoitusvaikutuksen tilapäisen estymisen massan liukuessa roottoreiden välissä.

Oikeansuuruinen eräkkö eli kammion **täyttöaste** määritetään kokeellisesti mittaamalla tiettyjä suureita, kuten viskositeettia, vetolujuutta ja dispersiota. Yleisesti pehmeille sekoituksille käytetään suuria täyttöasteita ja koville optimaalinen täyttöaste on matalampi. Täyttöaste vaihtelee yleensä välillä 65 % - 90 %. /7, s. 14/

Painomännän paineella on myös oma vaikutuksensa sekoitustulokseen. Männän tehtävänä on painaa raaka-aineet sekoituskammioon ja estää niiden nousu syöttökuiluun sekoittamisen aikana. Suurempaa painetta käytetään sekoitusyösklin alussa painamaan raaka-aineet kammioon mutta männän saavutettua alarajansa painetta lasketaan. Liiallinen paine voi haitata roottorien liikettä ja huonontaa sekoitustulosta. Automaattisella männän paineen säädöllä voidaan tasata moottorien tehohuippuja: kun kuormitus uhkaa kasvaa liian suureksi, painetta lasketaan ja kuormitus pienenee.

Männän aseman anturia voidaan käyttää oikean eräkoon määrittämiseen. Jos sekoituserä on liian suuri, männän asema muuttuu voimakkaasti koko

sekoitus syklin ajan ja jos se on liian pieni, mäntä painuu alarajalleen heti syklin alussa ja pysyy siellä syklin ajan. Oikealla täyttöasteella painomäntä saavuttaa alarajansa ennen sekoitusajan ensimmäisen kolmanneksen täyttymistä. Tämän jälkeen mäntä tekee vain pientä liikettä. /7, s. 14/

Oikea **roottorien pyörimisnopeus** kullekin sekoitusreseptille määritetään kokeellisesti. Vaikka nopeutta voidaan nykyisillä sisäsekoittimilla muuttaa portaattomasti, sitä ei yleensä tehdä sekoituksen aikana nopeuden muutoksesta vaihteistoon kohdistuvan suuren rasituksen vuoksi. Suurempi pyörimisnopeus parantaa sekoituskoneen kapasiteettia, mutta aiheuttaa voimakkaan sekoituksen lämmön nousun ja tehontarpeen kasvun. Pieniä roottorinopeuksia käytetään kun sekoitus on herkkä vulkanoitumaan tai sekoittamista halutaan pitkittää huonon sekoitustuloksen vuoksi. Esimerkiksi huonoon dispersioon voi olla syynä roottorien siipien kuluminen, mikä aiheuttaa leikkausvoimien pienentymisen siiven ja kammion seinämän välissä. /7, s.16/

Sekoituksen **pudotuslämpötila** eli lämpötila, joka sekoituksella suurimmillaan saa olla sekoitus syklin lopussa vaihtelee sekoituslaaduittain. Perussekoituksille lämpötila on yleensä välillä 140 °C - 170 °C mutta rikityksille käytetään vulkanoitumisriskin vuoksi alempia, 85 °C - 120 °C välillä olevia lämpötiloja. /14, s. 14/

Aiemmin sisäsekoittimissa käytettiin jäädytettyä vettä kuljettamaan sekoittamisessa muodostuva lämpö pois. Seinämiin porattujen jäähdytyskanavien myötä lämmönsiirto sekoittimissa on parantunut ja nykyään käytetäänkin **lämpötilasäädelyä kiertovettä** lämpötilan säätöön. Liian kylmä vesi aiheuttaa veden tiivistymistä sekoituskammion seinämiin etenkin koneen täytön ja tyhjennyksen aikana. Tästä johtuen kitka pienenee ja sekoitustulos huonontuu ja sekoitusaika pitenee. /3, s. 22/

2.3.5 Kumisekoituksen käsittely sekoittamisen jälkeen /4, s. 366/

Sekoittamisen jälkeen kumi homogenisoidaan, jäähdytetään ja levytetään.

Sekoituksen saattamiseen levymäiseen muotoon voidaan käyttää joko valssia tai ekstruuderia.

Levytyshalssi voi olla joko sisäsekoittimen alapuolella tai sen kanssa samassa tasossa. Alapuolella ollessaan kumi tippuu sekoituskoneelta suoraan valssille kun taas samaan tasoon asennettuun valssiin sekoitus tulee kuljetinta pitkin. Valssin teloja jäähdytetään voimakkaasti. Homogeenisuuden parantamiseksi valssi on usein varustettu stockblenderillä. Sekoituksen jäähtyttyä se leikataan pois telojen ympäriltä.

Nykyisin sekoitus saatetaan levymäiseen muotoon useimmin käyttämällä ekstruuderia. Samalla saadaan vielä parannettua sekoitustulosta. Sekoitus tippuu sekoituskoneelta ekstruuderille ja hydraulinen kiila painaa kumin ruuviin. Kumi ajetaan suukappaleen läpi joko suoraan levymäiseksi tai o-muotoon, jolloin se on myös halkaistava. Ekstruuderin yhteydessä voidaan käyttää myös ns. roller head -suulaketta, joka on muunnos valssista. Sekoitus tulee ekstruuderista telarakoon koko raon leveydeltä ja ulos telojen levyisenä mattona.

Kun sekoitus on saatettu jatkuvaan muotoon, nauhaan merkitään pyörivää rullaa käyttäen sekoituslaatu ja valmistuspäivämäärä. Sekoitus kulkee kuljetinta pitkin altaaseen, joka sisältää kumin tarttuvuutta vähentävää liuosta. Tästä sekoitus jatkaa ns. vartaille eli kuljettimelle, jossa on tankoja, joilla kumimatto roikkuu. Sekoitus jäähdytetään sivuilta ja päältä puhaltavilla puhaltimilla. Sekoitusnauha voidaan leikata pituussuunnassa kapeammiksi suikaleiksi, jos se on jatkokäytön kannalta tarpeellista. Vartailta sekoitus siirtyy pinkkauslaitteelle, joka laskostaa sekoitusnauhan teräslavalle useimmiten 500 - 1200 kg:n eriksi. Edellämäinitut toiminnot sisältävää laitteistoa kutsutaan batch off -laitteistoksi tai purkuriksi (kuva 7).



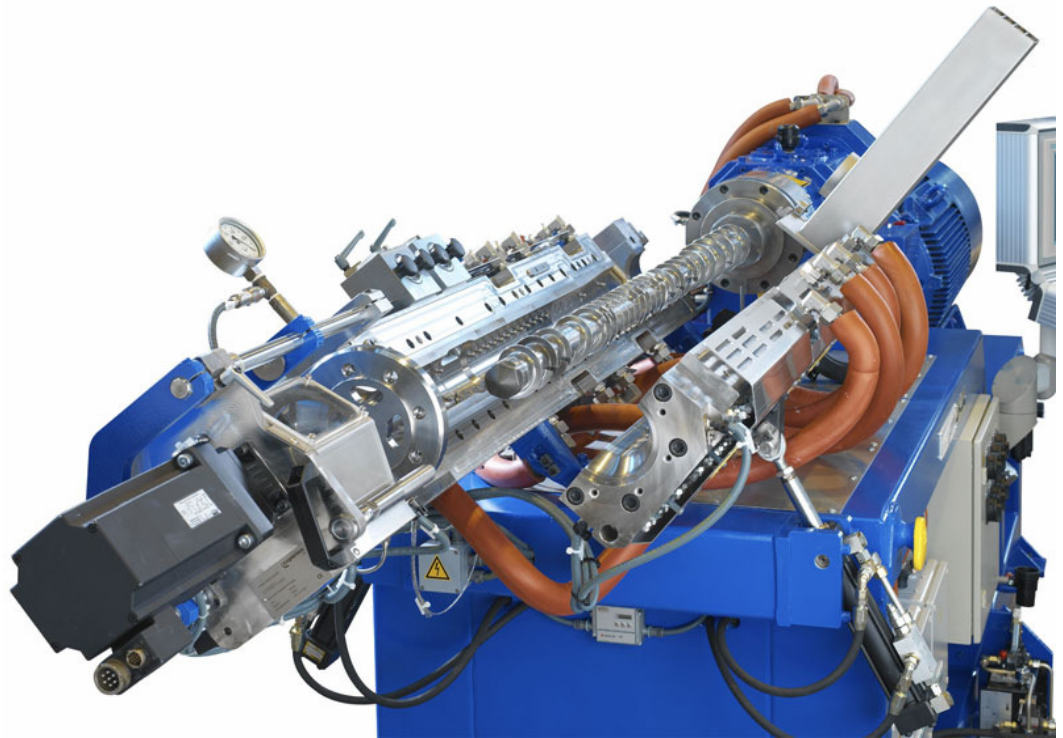
Kuva 7. Sekoituserän purkuri /29/

Jos sekoituksen jatkokäyttö vaatii automaattista annostusta tai sekoitus halutaan siirtää pneumaattisesti, sekoitus voidaan pelletoida. Tämä tapahtuu ajamalla sekoitus ekstruuderilla reikälevyn lävitse noin sormen paksuisiksi puikoiksi ja leikkaamalla puikot lyhyiksi pätkiksi pyörivää terää käyttäen.

2.4 Jatkovatoiminen sekoittaminen /16, s. 12/

Jatkovatoiminen sekoittaminen ei ole yleistynyt kumiteollisuudessa johtuen esimerkiksi siitä, että niiden tehokas hyödyntäminen edellyttäisi raaka-aineiden olevan jauhemaisia, nestemäisiä tai granulaatteja. Tällaisten raaka-aineiden hinta ja saatavuus ovat huonoja. Toisaalta kumisekoituksen sisältämien raaka-ainekomponenttien punnitustarkkuus ja raaka-aineiden suuri lukumäärä (10 - 20 kpl) aiheuttavat lisäongelmia. Edelleen kumilaadun vaihtaminen niissä on hankalaa, joten jatkovatoimisuus sopii lähinnä massatuotteiden pitkiin valmistussarjoihin.

Jatkovatoimiset sekoituskoneet ovat yleensä ekstruuderin muunnoksia. Esimerkiksi Buss Kneaderissä (kuva 8) pyörivä ruuvi liikkuu myös aksiaalisesti edestakaisin aikaansaaden sekoitusvaikutuksen.



Kuva 8. Buss Kneader -tyyppinen jatkuvatoiminen sekoituskone. /30/

3 EKSTRUUSIO

3.1 Periaate

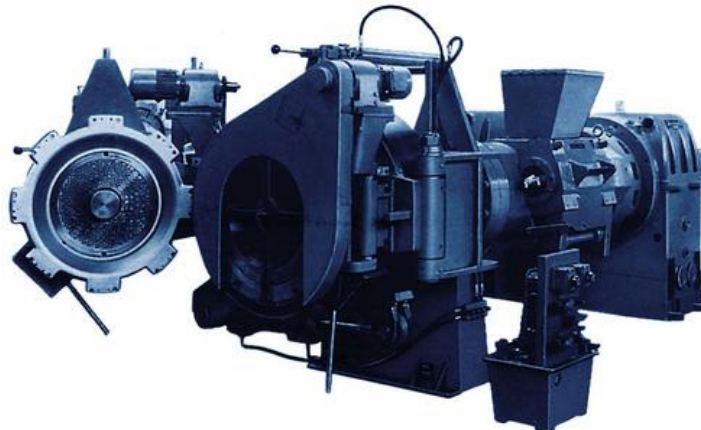
Ekstruusio eli suulakepuristus on erittäin laajalti profiilien valmistamiseen käytetty menetelmä. Ekstruusion pääperiaate on puristaa massaa suulakkeen aukon läpi halutun muotoisen jatkuvan tuotteen aikaansaamiseksi. Ekstruusioon käytettävän laitteiston eli ekstruuderin perusosat ovat sylinteri ja sen sisällä pyörivä sähkömoottorikäyttöinen ruuvi. Ruuvi eli kierukka lämmittää ja pehmentää massaa kuljettaessaan sitä eteenpäin sylinterissä ja puristaa massan lopulta suulakkeen läpi. Valmis profiili jäädytetään ja kelataan keloille tai leikataan sopivan mittaisiksi paloiksi jatkotoimenpiteistä riippuen. /12, s. 242/

3.2 Ekstruusiomenetelmiä

3.2.1 Kuumasyöttökstruuderit

Varhaisimmat ekstruuderit toimivat kuumasyöttöperiaatteella, ts. ekstruuderiin syötettävä massa lämmitetään valssissa ennen syöttöä ekstruuderiin. Valsseja voi olla useita peräkkäin. Koska massaa ei tarvitse lämmittää ekstruuderissa on kierukka verrattain lyhyt, $L/D = 3...6$. /15, s. 345/

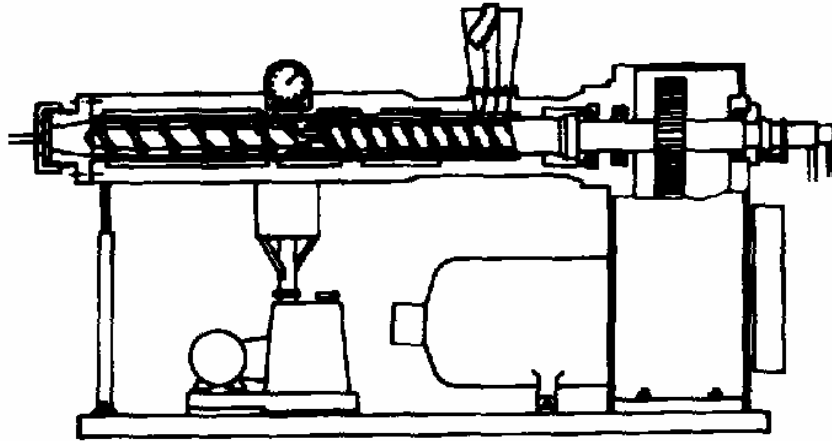
Kuumasyöttökstruusiossa (kuva 9) massa lämmitetään erissä ja tämä aiheuttaa vaihtelua tuotteen ominaisuuksissa. Ekstruuderin koneenhoitajan lisäksi menetelmä vaatii toisen henkilön hoitamaan valsseja. Nykyisin kuumasyöttökstruudereita käytetäänkin pääasiassa kumisekoituskoneiden yhteydessä muovaamaan sekoituskoneesta tuleva massa jatkokäyttöä varten sopivaan muotoon.



Kuva 9. Kuumasyöttökstruuderit, $D = 350\text{mm}$. /23/

3.2.2 Kylmäsyöttökstruuderit /10, s. 5/

Nykyisin yleisin ekstruuderityyppi on kylmäsyöttökstruuderit (kuva 10). Nimensä mukaisesti käytettävä raaka-aine syötetään ilman esilämmitystä.



Kuva 10. Kylmäsyöttökstruuderin. /11, s. 120/

Kylmäsyöttökoneiden käyttöä kuumasyöttökoneisiin nähden puoltavat pienemmät työ- ja energiakustannukset, sillä erillinen lämmitysvalssi vaatii työvoimaa ja massa on edullisempaa lämmittää vasta ekstruuderissa. Myös investointikustannus ja tilantarve ovat pienempiä kun valssia ei tarvita. Lämpötilan kontrollointi on myös helpompaa kylmäsyöttökstruuderilla ja tästä syystä raaka-aineen laatuvariaatiot vaikuttavat vähemmän prosessoitavuuteen ja tuotteet ovat tasalaatuisempia.

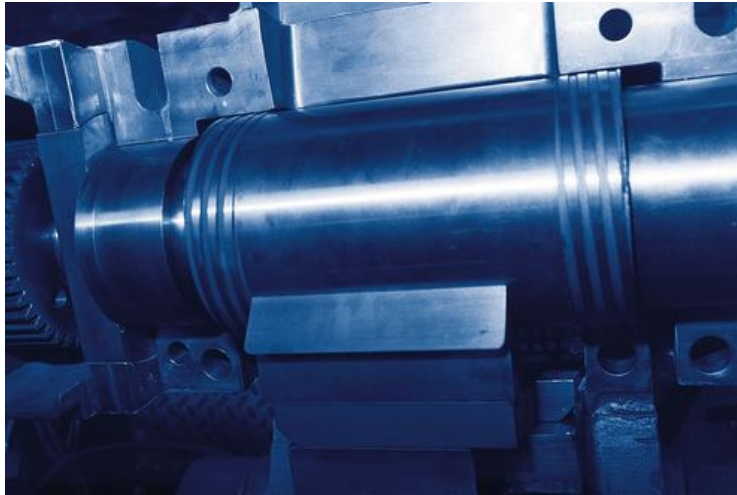
3.3 Kylmäsyöttökstruuderin rakenne

Kylmä- ja kuumasyöttökstruuderit ovat samankaltaisia perusrakenteiltaan, mutta kylmäsyöttökstruudereissa on useita niille ominaisia piirteitä.

3.3.1 Syöttörulla

Kylmäsyöttökstruuderin tuoton pitämiseksi tasaisena on ruuvi pidettävä täynnä kumia. Tämän vuoksi koneissa käytetään ruuvien suhteen vastakkaiseen suuntaan pyörivää syöttörullaa (kuva 11).

Syöttörulla on metallista valmistettu sylinterin muotoinen kappale. Sen halkaisija on 1-2 kertaa ruuvien halkaisija ja tehollinen pituus 1-1,5 kertaa ruuvien halkaisija. Veto on järjestetty suoraan ruuvilta hammaspyörillä ja rullan kehänopeus on hieman suurempi kuin ruuvilla. /10, s. 6/



Kuva 11. Syöttörulla. /22/

Vedon kiinteä välitys saattaa tuottaa ongelmia kun syöttönauha on liian paksua ja syöttö alkaa tukkeutua. Joissakin tapauksissa ongelmaa on lievennetty järjestämällä syöttörullan veto kytkimellä, joka tietyn vääntömomentin ylittyessä alkaa luistaa. Näin syöttörulla ei väkisin pakota ennestään täyteen syöttöaukkoon lisää kumia.

Syöttörulla voi olla varustettu lämmityksellä ja/tai jäähdytyksellä tai ei kummallakaan. Lämpötilansäätö voidaan hoitaa syöttörullan sisällä kiertävän veden avulla. Kumi lämpenee kulkeutuessaan syöttöaukosta ja lämmittää samalla syöttörullaa. Kuumentuessaan syöttörulla alkaa luistaa kumia vasten eikä kone enää saa vedettyä kumia sisäänsä. Tämän vuoksi ainakin jäähdytys on hyödyllinen syöttörullassa. Liiallinen jäähdytys voi aiheuttaa veden tiivistymistä syöttörullan pintaan. Tämä on estettävä joko lämmityksellä tai kylmän veden kierron säädöllä termostaatin avulla. /10, s.6/

Syöttörullassa käytetään rullaa vastaan laahaavaa terää eli kaavaria estämään kumin tarttuminen syöttörullaan. Kaavari osaltaan auttaa syöttötapahtumaa pitämällä kumin syöttöaukossa. Samasta syystä rullassa on vastakierre, joka ohjaa kumin oikeaan suuntaan koneen sisään pois päin vaihdelaatikosta. Myös ruuvin harjojen erikoismuotoilulla syöttöaukon kohdalla saadaan tehostettua syöttöä.

3.3.2 Lämpötilan säätö

Ekstruusioprosessiin vaikuttavista asioista tärkeimpiä on lämpötila. Kumimassa on oltava riittävän lämmintä ja pehmennyttä, jotta se ottaa oikean muodon suulakkeen läpi kulkeutuessaan. Toisaalta massa ei saa lämmetä liikaa, jottei vulkanoituminen ala ennenaikaisesti. Useimmiten materiaalin lämpötila vaihtelee välillä 80 - 125 °C.

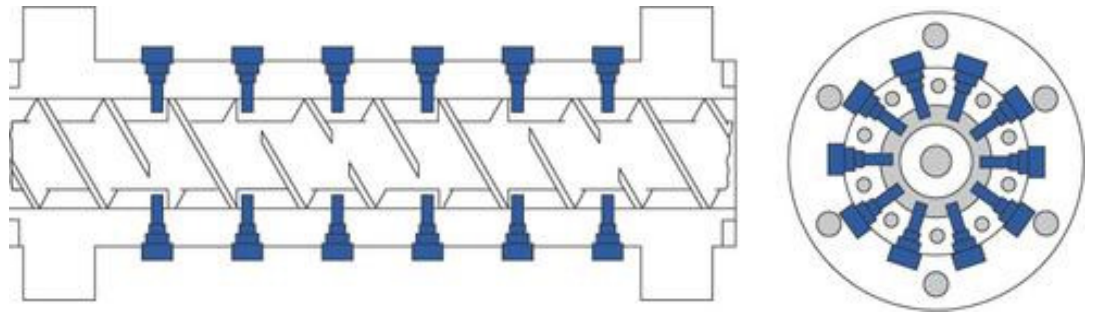
Lämpötilan säätämistä varten ekstrudereissa on pumpuilla varustettu paineistettu suljettu vesikierto. Pumppeusteho on oltava riittävän suuri riittävän lämmitys- ja jäähdystehon aikaansaamiseksi /10, s. 8/. Lämmitystä varten on sähkövastukset. Kiertävän veden jäähdystystä varten on lämmönvaihdin, jossa kiertää kylmä vesi. Kiertävään veteen lisätään usein korroosiota estäviä aineita.

3.3.3 Sylinteri eli vaippa

Ekstruuderin vaippaa voidaan yksinkertaistettuna sanoa ruuvia ympäröiväksi metalliputkeksi. Se on pituussuunnassa jaettu vyöhykkeisiin, joiden lämpötiloja voidaan säätää toisistaan riippumatta. Lämmönsäädön mahdollistaa veden kiertäminen vaipan sisällä. Tämä on useimmiten toteutettu vaippaan pituussuunnassa porattujen lämmitys/jäähdytyskanavien avulla.

Oikea lämpötila vaipassa on tärkeä kumin ekstruuderissa etenemisen kannalta. Liian alhainen lämpötila tiivistää vaipan sisäpintaan vettä, mikä alentaa kitkaa. Tämä aiheuttaa kumin jäämisen pyörimään paikallaan ja sen etenevä liike pysähtyy. Toisaalta myös liian kuuma vaippa luistaa kumia vasten ja lisäksi aiheuttaa kumin vulkanoitumista. /10, s. 8/

Nykyisin valtaosassa etenkin suuria ekstrudereita käytetään ns. pin barrel - tekniikkaa (kuva 12), jossa vaippaan on kiinnitetty kierteillä tappeja sekoittamaan kumivirtausta. Tällöin kumimassa lämpenee tasaisemmin ja siten tuotteen laatu on parempi sekä ulostulokapasiteetti kasvaa. Syynä kasvaneeseen kapasiteettiin on se, että ruuvissa voidaan käyttää suurempaa kierteen syvyyttä ja nousua. /11, s. 124/



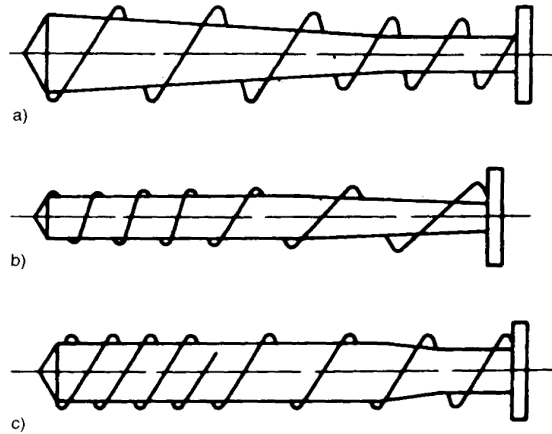
Kuva 12. Pin barrel -rakenteen periaate. Pienemmät harmaat ympyrät oikeanpuoleisessa kuvassa kuvaavat lämmitys/jäähdytyskanavia. /18/

3.3.4 Ruuvi /4, s. 387/

Ruuvien tehtävä ekstruuderissa on kuljettaa kumi läpi koneen sekä pehmittää ja lämmittää sitä riittävästi sekä kehittää riittävä paine jotta kumi läpäisee suulakkeen ja ottaa halutun muodon. Ekstruuderin maksimikapasiteetin määrittää ruuvien läpimitta D . Yleisimmin ruuvien läpimitta on välillä 60...300 mm. Toinen merkittävä ruuvien ominaisuus on ruuvien pituus, joka ilmoitetaan ruuvien pituuden suhteena läpimittaan. L/D on kylmäsyöttökoneilla usein välillä 10...24.

Jotta kumi kulkisi eteenpäin on kumin ja vaipan välisen kitkan oltava kumin ja ruuvien välistä kitkaa suurempi. Kumia liikuttavan voiman aksiaalinen komponentti on sitä suurempi mitä pienempi on kierteen nousu. Tämän vuoksi edullisinta olisi käyttää mahdollisimman pientä nousua ja suurta kierrosnopeutta. Käytännössä kuitenkin kitkan aiheuttama lämpötilan kasvu ja tämän aiheuttama kumin vulkanoituminen asettaa rajat kierrosnopeudelle.

Paineen nousu kumissa aiheuttaa myös lämpötilan nousun. Tämän vuoksi on edullista jos paineen nousu saadaan aikaan vasta lähellä ruuvien loppupäätä. Liian aikaisin tapahtuva paineen nousu voi myös aiheuttaa kumin takaisinvirtausta syöttöaukolle. Paineen nousu oikeassa kohtaa ruuvia saadaan aikaan pienentämällä ruuvien kierteen tilavuutta. Tämä voidaan toteuttaa pienentämällä kierteen nousua, suurentamalla ruuvien ytimen läpimittaa tai käyttämällä kahta kierrettä ruuvien loppupäässä (kuva 13).

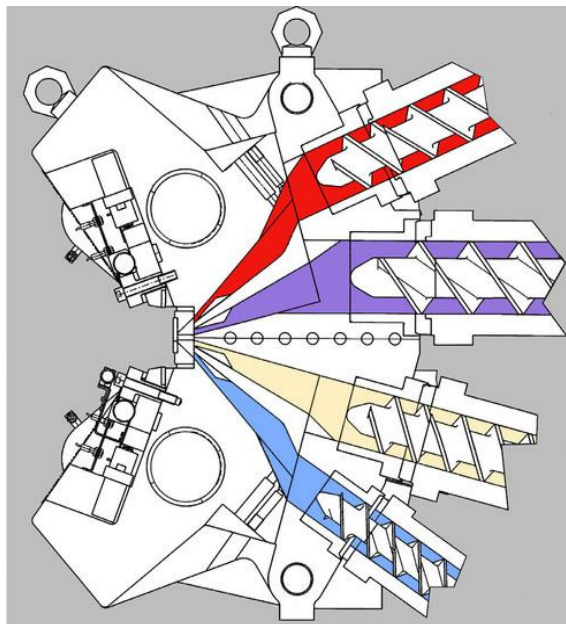


Kuva 13. Erilaisia syöttöruuveja. /Schnetger, s. 120/

- a) Ruuvin ytimen halkaisija suurenee
- b) Kierteen nousu pienenee
- c) Kaksoiskierre ruuvin loppupäässä

3.3.5 Ekstruusiopää

Sekoitus on ruuvin päässä sylinterin muodossa. Ekstruusiopään kanavien avulla kumi ohjataan lähelle tavoitellun profiilin mittoja (kuva 14). Kanavistojen geometria vaikuttaa ulostulevan kumin turpoamiseen ja kutistumiseen. Mitä pidemmät ja laakeammat kanavistot ovat, sitä relaxoituneempaa kumi on. /10, s. 15/



Kuva 14. Quadroplex-ekstruusiopään kanavistot /21/

Päärakenteet vaihtelevat hyvin yksinkertaisista yhden ekstruuderin päistä jopa viiden ekstruuderin quintuplex-rakenteisiin saakka. Ekstruusiopäässä ovat kiinni myös esimuotolija ja suurauta, jotka määräävät profiilin lopulliset muodot (kuva 15).



Kuva 15. Triplex-ekstruusiopää avattuna. Oikealla kasetit esimuotoilijalle ja suuraudalle. /27/

3.4 Ekstruusiolinjan apulaitteet

3.4.1 Syöttökuljetin

Kumisekoitusnauhan syöttöön ekstruuderiin käytetään syöttökuljetinta. Kuljetin muodostuu hihnakuljettimesta ja taittuvasta lipasta eli luupista, joka säätelee kuljettimen pyörimistä. Syöttökuljettimeen on usein liitetty hälyttimellä varustettu metallinilmaisin. Jos kuljetin nousee jyrkästi ylöspäin on painokuljetin tai painorullasto tarpeellinen sekoitusnauhan alun kuljettamiseksi syöttösuppilolle.

Luupin kireyttä voidaan säätää paineilmasylinterien ilmanpainetta muuttamalla. Riittävä kireys on tärkeää syötön tukkeutumisen estämiseksi mutta liian suuri kireys voi aiheuttaa sekoitusnauhan katkeamisen etenkin sekoitusnauhan jatkoksesta pehmeitä kumiseoksia käytettäessä.

Luuppi kiristyy eli taittuu suurempaan kulmaan itse kuljettimeen nähden kun kone syö nauhaa nopeammin kuin kuljetin pyörii. Kuljettimen nopeus on verrannollinen luupin kulmaan, joten kuljetin pyörii nopeasti niin kauan kunnes nauha löystyy ja luuppi pääsee nousemaan takaisin pienempään kulmaan.



Kuva 16. Ekstruuderin syöttökuljetin /24/

3.4.2 Vetokuljettimet

Ekstruuderista ulos tullessaan profiili tulee vetokuljettimelle. Usein vetokuljetin on toteutettu rullastona, jossa on muutamia eri nopeuksilla pyöriviä vyöhykkeitä. Koska kumiprofiili kutistuu voimakkaasti pituussuunnassa, ovat nopeimmin pyörivät rullat lähimpänä ekstruuderia.

3.4.3 Ekstruusiolinjan säätäminen

Profiilin pitämiseksi mittatoleranssien sisäpuolella voidaan säätää joko vetokuljettimien pyörimisnopeutta tai ekstruuderien kierrosnopeutta. Sekä tuoton maksimoinnin että tasaisen laadun vuoksi säätö tehdään yleensä kuljettimien nopeutta säätämällä.

Säätö voi perustua joko profiilin leveyteen tai metripainoon. Leveys mitataan optisesti esim. vetokuljettimen yläpuolella olevan kameran avulla. Painomittaus tehdään vetokuljettimen jälkeen vaa'an avulla. Koska vaa'an on pakko sijaita vasta useita metrejä suulakkeen jälkeen on metripainoon perustuvassa säädössä leveysmittausta enemmän viivettä.

3.4.4 Profiilin jäähdytys

Profiilin jäähdytys tapahtuu usein veden avulla. Ohuille profiileille voi riittää kulkeminen vesialtaan läpi, mutta massiivisemmat profiilit (esim. renkaan keskipinta) kuljetetaan jopa sadan metrin pituisen jäähdytystunnelin lävitse. Tunnelissa profiili kulkee pinnoista muodostuvaa kuljetinta pitkin ja sitä huuhtelevat kylmävesisuihkut sekä ylä- että alapuolelta. Profiili kuivataan voimakkaan puhaltimen avulla ennen sen tuloa kelaukseen keloille tai leikattavaksi leikkurille.

4 EKSTRUUSIOTUOTTEIDEN VULKANOINTI

4.1 Vulkanointi

Kumituotteet on vulkanoitava niille tyypillisten ominaisuuksien aikaansaamiseksi. Vulkanoinnissa pitkät molekyyliketjut silloitetaan toisiinsa kolmiulotteiseksi verkoksi. Tällöin aiemmin plastinen kumi muuttuu elastiseksi ja lähes liukenemattomaksi liuottimiin, sekä sen kestävyys vanhenemista, valoa ja lämpöä vastaan paranee.

Vulkanointi vähentää kumissa tapahtuvaa siihen kohdistuneen voiman aiheuttamaa muodonmuutosta. Muodonmuutoksen vastuskyky on verrannollinen kumin verkkoutumisasteeseen. Vulkanointiaineista yleisin on rikki, joka reagoi polymeeriketjujen tyydyttymättömien sidosten kanssa. Myös esim. metallioksidgeja, peroksidgeja (hiili-hiili -sidokset) tai fenoliyhdisteitä voidaan käyttö vulkanointikemikaaleina. /1, s. 322/

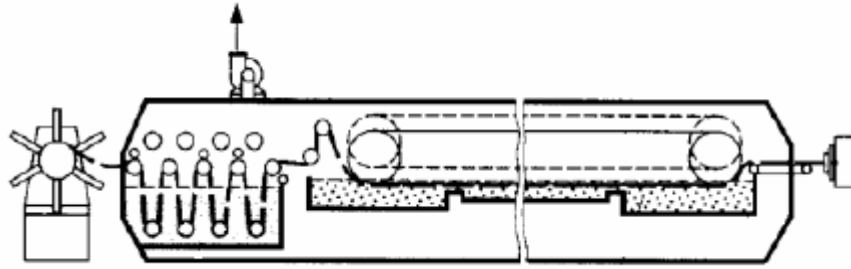
Vulkanoituminen nopeutuu korkeamman lämpötilan myötä. Vulkanointilämpötilan nosto 10 °C keskimarin puolittaa vulkanointiajan. Koska kumit johtavat huonosti lmpt, on vulkanoituminen sitä hitaampaa mitä paksumpi on vulkanoitava tuote. Materiaalille ominaista suurinta lämpötilaa ei kuitenkaan saa ylitt ettei materiaali ala hajota. Vulkanoinnissa käytetyt lämpötilat vaihtelevat huoneenlämmöstä 250 °C saakka. Vulkanointiaika voi olla lyhimmilln muutamia sekunteja, mutta massiivisia kappaleita vulkanoitaessa useita vuorokausia. /13, s. 32/

4.2 Jatkuvat toimisia vulkanointimenetelmi

Jatkuvatoimisessa vulkanoinnissa vulkanointi on järjestetty ekstruuderin jälkeen samalla linjalla toimivaksi.

4.2.1 Suolahaudevulkanointi /11, s. 138/

Suolahaudevulkanoinnissa (kuva 17) ekstruusiotuote johdetaan heti suulakkeen jälkeen sulaa suolaseosta sisältävän altaaseen. Suolaseos on eutektinen eli mahdollisimman matalan sulamispisteen omaava. Usein kytetn seosta, jossa on 53 % kaliumnitraattia, 40 % natriumnitriitt ja 7 % natriumnitraattia mutta myös kalium- ja litiumnitraattiseoksia kytetn. Vulkanointi tapahtuu vastaavasti myös muissa LCM-menetelmissä (Liquid Curing Methods), mutta tällöin lmpt siirtävänä aineena kytetn esim. glyseriiniä tai glykolia.

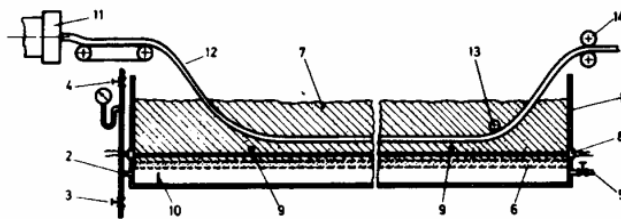


Kuva 17. Suolahaudevulkanointilaitteisto. /11, s. 138/

Suolaseos lämmitetään joko kaasupolttimella lämmitetyn ilman avulla tai sähköisesti. Maksimilämpötilat suolasulalle vaihtelevat kumilaaduttain 200 - 250 °C välillä. Suolan kumia suuremman tiheyden vuoksi on käytettävä pyörivää teräshihnaa tai rullia pitämään vulkanoitava profiili suolapinnan alla. Etenkin paksuilla profiileilla on vulkanointisysteemin oltava nopea, jotta kumi ei kuumene liikaa. Vulkanoinnin jälkeen profiili on pestävä ja samalla se myös jäähtyy vesialtaan läpi kulkeutuessaan. Profiili kuivataan puhaltimilla ja kelataan rullalle tai leikataan sopivan mittaisiksi kappaleiksi.

4.2.2 Leijukerrosvulkanointi /11, s. 137/

Leijukerrosvulkanoinnissa (kuva 18) lämmönsiirtoon käytetään pieniä lasikuulia ($d = 0,1 - 0,25 \text{ mm}$), jotka saatetaan leijutilaan virtaavan ilman tai höyry-ilma-seoksen avulla. Lämmönsiirto saadaan tehostettua jopa 50-kertaiseksi pelkkään kuumaan ilmaan verrattuna. Menetelmä on samankaltainen suolahaudevulkanoinnin kanssa mutta sopii paremmin profiileille, jotka ovat herkkiä muodonmuutoksille.



Kuva 18. Leijukerrosvulkanointi. /11, s. 138/

4.2.3 Mikroaaltovulkanointi /17/

Kumisekoituksen on oltava polaarinen, jotta se voidaan vulkanoida mikroaaltojen avulla. Magnetronilla aikaansaatava 2450 MHz:n magneettikenttä saa polaariset molekyylit värähtelemään kentän tahdissa. Tästä syntyvä kitka kuumentaa kumin nopeasti yli 200 °C lämpötilaan. Kuumennuksen jälkeen profiili pidetään korkeassa lämpötilassa kuumatunnelin avulla.

Mikroaaltovulkanoinnin hyvä puoli on, että myös paksut profiilit saadaan vulkanoitua suhteellisen nopeasti sisältäpäin tapahtuvan lämpenemisen johdosta. Huonona puolena menetelmässä on mikroaaltosäteilyn haitallisuus ihmisille ja tästä johtuvat mittavat suojatoimet.

4.2.4 Radioaktiivinen vulkanointi /17/

Radioaktiivinen vulkanointi perustuu säteilyn avulla aikaansaatavien reaktiivisten radikaalien kiivaaseen verkottumiseen. Menetelmän etuna on, että vulkanoitavaa materiaalia ei tarvitse kuumentaa eikä siinä tarvitse käyttää vulkanointikemikaaleja. Haittapuolena ovat massiiviset suojalaitteet, jotka tekevät laitteistosta kalliin hankkia ja hankalan käyttää.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 Coran, Aubert Y. 2005. Vulcanization. Teoksessa: Mark, James E. & Erman, Burak & Eirich, Frederick R. (toim.). The Science and Technology of Rubber. 3. painos. New York: Elsevier. ISBN 0-12-464786-3
- 2 Elastomeerien mahdollisuuksia. Nokia tekninen kumi.
- 3 Grossman, Richard F. Mixing cycles and procedures. Teoksessa: Grossman, Richard F. (toim.). The Mixing of Rubber. Lontoo: Chapman & Hall. ISBN 0-412-80490-5
- 4 Hofmann, Werner 1989. Rubber technology handbook. München: Hanser. ISBN 3-446-14895-7
- 5 Högre kurs i gummi- & plastteknologi 3G : Gummi: Processer 1989. Stockholm: Sveriges gummitekniska förening. ISBN 91-86430-52-1
- 6 Limper, Andreas & Barth, Peter & Grajewski, Franz 1989. Technologie der Kautschukverarbeitung. München: Hanser. ISBN 3-446-15634-8
- 7 Melotto, Michael A. 1997. Mixing machinery for rubber. Teoksessa: Grossman, Richard F. (toim.). The Mixing of Rubber. Lontoo: Chapman & Hall. ISBN 0-412-80490-5
- 8 Nyblom, Janne 1996. Sekoitustekniikka. Teoksessa: Järvelä, Pentti & Silén, Jukka (toim.). Kumiteknologian peruskurssi Nokialla. Osa II, kumien valmistus.
- 9 Ohm, Robert F. 1997. Additives that effect mixing. Teoksessa: Grossman, Richard F. (toim.). The Mixing of Rubber. Lontoo: Chapman & Hall. ISBN 0-412-80490-5
- 10 Saarenpää, Jarmo 1996. Kumin ekstruusion perusteita. Teoksessa: Järvelä, Pentti & Silén, Jukka (toim.). Kumiteknologian peruskurssi Nokialla. Osa II, kumien valmistus.
- 11 Schnetger, Jochen 1998. Kautschukverarbeitung. Würzburg: Vogel. ISBN 3-8023-1577-4
- 12 Seppälä, Jukka 1998. Polymeeriteknologian perusteet. 2. painos. Helsinki: Otatieto Oy. ISBN:951-672-250-4
- 13 Stephen, Howard L. 1987. The Compounding and Vulcanization of Rubber. Teoksessa: Morton, Maurice (toim.). Rubber Technology. 3. painos. New York: Van Nostrand Reinhold Company. ISBN 0-442-26422-4
- 14 Tirronen, Kari 1996. Kumisekoitusohjelman optimointi. Teoksessa: Järvelä, Pentti & Silén, Jukka (toim.). Kumiteknologian peruskurssi Nokialla. Osa II, kumien valmistus.

- 15 Tammela, Viljo. 1989. Polymeeritiede ja muoviteknologia Osa III. Helsinki: Otatieta. ISBN 951-672-070-6

Painamattomat lähteet

- 16 Väliaho, Esa. 2003. Kumikoneet ja prosessit. Kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kemiantelekniiikan osasto.
- 17 Laurila, Timo. 1999. Kumiteknologian kurssi 18.-19.3.1999 Eden Nokia. Kurssimateriaali. Suomen kumitekninen yhdistys.

Sähköiset lähteet

- 18 Berstorff. [www-sivu]. [viitattu 8.11.2006] Saatavissa:
http://www.berstorff.de/servlet/com.othiemann.wtk.servlets.BinaryLoader/wtk_form_id/WWW_MODULE_IMAGE/wtk_action/loadbinary/wtk_ttl/1w/wtk_variant/small_image/wtk_section/small/wtk_doc_id/29345/rnd/0.4732043120730383
- 19 Berstorff. [www-sivu]. [viitattu 8.11.2006] Saatavissa:
http://www.berstorff.de/servlet/com.othiemann.wtk.servlets.BinaryLoader/wtk_form_id/WWW_MODULE_IMAGE/wtk_action/loadbinary/wtk_ttl/1w/wtk_variant/media_image/wtk_section/media/wtk_doc_id/72329/rnd/0.9087932274880965
- 20 Berstorff. [www-sivu]. [viitattu 8.11.2006] Saatavissa:
http://www.berstorff.de/servlet/com.othiemann.wtk.servlets.BinaryLoader/wtk_form_id/WWW_MODULE_IMAGE/wtk_section/middle/wtk_action/loadbinary/wtk_variant/middle_image/wtk_doc_id/29345/rnd/0.4732043120730383
- 21 Berstorff. [www-sivu]. [viitattu 8.11.2006] Saatavissa:
http://www.berstorff.de/servlet/com.othiemann.wtk.servlets.BinaryLoader/wtk_form_id/WWW_MODULE_IMAGE/wtk_section/middle/wtk_action/loadbinary/wtk_variant/middle_image/wtk_doc_id/72329/rnd/0.9087932274880965
- 22 Berstorff. [www-sivu]. [viitattu 8.11.2006] Saatavissa:
http://www.berstorff.de/servlet/com.othiemann.wtk.servlets.BinaryLoader/wtk_form_id/WWW_MODULE_IMAGE/wtk_section/middle/wtk_action/loadbinary/wtk_variant/middle_image/wtk_doc_id/29478/rnd/0.26801995609108386
- 23 Berstorff. [www-sivu]. [viitattu 8.11.2006] Saatavissa:
http://www.berstorff.de/servlet/com.othiemann.wtk.servlets.BinaryLoader/wtk_form_id/WWW_MODULE_IMAGE/wtk_section/middle/wtk_action/

oadbinary/wtk_variant/middle_image/wtk_doc_id/29428/rnd/0.38113888055816364

- 24 European Tyre School. [CD-ROM]. Tampere University of Technology. Tampere. 2001. ISBN: 952-15-0648-2
- 25 Fachhochschule Frankfurt am Main. [www-sivu]. [viitattu 17.10.2006] Saatavissa: <http://chemie.fb2.fh-frankfurt.de/KAT/Images/Walzwerk2.jpg>
- 26 Fachhochschule Frankfurt am Main. [www-sivu]. [viitattu 17.10.2006] Saatavissa: <http://chemie.fb2.fh-frankfurt.de/KAT/Images/buss.jpg>
- 27 Harburg-Freudenberger Maschinenbau GmbH. [www-sivu]. [viitattu 20.11.2006] Saatavissa: <http://www.harburg-freudenberger.com/images/cm/produkte/extrusionskopf.jpg>
- 28 Troester Machinery, Ltd. [www-sivu]. [viitattu 5.12.2006] Saatavissa: <http://www.troester-usa.com/TIRE/lines.6.jpg>
- 29 VMI Group Holland Bv. [www-sivu]. [viitattu 1.11.2006] Saatavissa: <http://www.vmi.nl/uploads/images/43.jpg>
- 30 BUSS. [www-sivu]. [viitattu 1.12.2006] Saatavissa: [http://www.busscorp.com/images/database//\\$default/medien/all/20060273bild2_gross.jpg](http://www.busscorp.com/images/database//$default/medien/all/20060273bild2_gross.jpg)