



# **Raaka-ainehukan pienentäminen kumiekstruusioprosessissa**

Jonas Grankvist

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2012  
Paperi-, tekstiili-, ja kemiantekniikka  
Kemiantekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperi-, tekstiili ja kemiantekniikan koulutusohjelma  
Kemiantekniikan suuntautuminen

GRANKVIST, JONAS:

Raaka-ainehukan pienentäminen kumiekstruusioprosessissa

Opinnäytetyö 36 sivua, josta liitteitä 0 sivua  
Huhtikuu 2012

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Finnprofilesilla Sastamalassa. Opinnäytetyön tavoitteena oli pienentää yrityksen raaka-ainehukkaa kumiprofiileita ajettaessa. Hukkaan on kiinnitetty huomiota, ja todettu sen olevan liian isoa nykytilanteessa.

Työssä on selvitetty kumin ekstruusiota. Menetelmä on melko yksinkertainen, mutta ekstruusion onnistumisessa täytyy ottaa huomioon monia eri tekijöitä.

Työssä on perehdytty raaka-ainekumin ominaisuuksiin, sillä ne ovat tärkeitä hukan kannalta. Kumisekoituksen tekemistä ja kumin koostumusta on käsitelty työssä erityisesti. Erikoiskumeja on kymmeniä erilaisia, joten tarkemmin selvitettiin vain yrityksessä pääasiassa käytettävät kumilaadut.

Suurimmat raaka-ainehukan aiheuttajat nykytilanteessa selvitettiin, jotta ongelmien syyt voidaan ottaa huomioon paremmin. Tutkittiin myös, mitkä tekijät saattavat aiheuttaa potentiaalista hukkaa profiilien ajossa.

Työssä tehtiin eri kumiseoksista kokeita käyttämällä reometriä Vammalan Ammattikoulussa. Tuloksena saatiin reometrikäyriä, joita voidaan verrata kumiseoksen tuotespesifikaatioihin. Kumin lämpötila ekstruuderiiin mentäessä vaikuttaa ajamiseen, jota työssä seurattiin. Myös yrityksen raaka-ainevaraston lämpötilaa seurattiin pitkällä aikajaksolla.

Työn tuloksena yritykselle tehtiin parannusehdotuksia hukan pienentämiseen.

Opinnäytetyö sisältää luottamuksellista tietoa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Paper, Textile and Chemical Engineering  
Option of Chemical Engineering

**GRANKVIST, JONAS:**

Reducing the raw material waste in rubber extrusion

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 0 pages  
April 2012

---

The final thesis was done in Sastamala for Finnprofiles Oy. The goal of the final thesis was to minimize the raw material waste of rubber extrusion in Finnprofiles. The company had noted that the amount of raw material waste has to decrease in the future.

The thesis begins with the principles of rubber extrusion. The extrusion method is pretty simple but there are a lot of potential problems.

One focus of the final thesis was the characteristics of rubber because they are important to know for minimizing raw material waste. The creation of a compounded rubber material and the composition of rubber have been specifically examined. There are tens of special rubbers so only the ones used by Finnprofiles were focused on more closely.

The biggest reasons that cause raw material waste were found out. Potential raw material waste problems were also examined.

Rheometer measurements were made for the exam in the vocational school of Sastamala. The results were rheometer curves that could be compared to the measured rubber material's specifications. Temperatures of rubber raw material were also measured right before extrusion because they affect the operation. Temperature of raw material storage was followed with longer period.

The results of the exam were used to suggest improvements for decreasing the amount of raw material waste.

The thesis includes confidential information.

---

key words: extrusion, rubber, waste, EPDM

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YRITYSESITTELY .....	7
2.1	Yrityksen esittely ja tunnusluvut .....	7
2.2	Kumituotanto Sastamalan tehtaassa.....	7
3	EKSTRUUSIO .....	8
3.1	Ekstruusion periaate ja ekstruusiomenetelmät.....	8
3.1.1	Periaate.....	8
3.1.2	Ekstruusiomenetelmät.....	9
3.2	Ekstruderin rakenne .....	9
3.2.1	Syöttösuppilo .....	9
3.2.2	Ruuvi.....	10
3.2.3	Vaippa .....	11
3.2.4	Vakuumivyöhyke .....	11
3.2.5	Sihtilevy .....	12
3.2.6	Suulake.....	12
4	KUMIN KOOSTUMUS JA YLEISET OMINAISUUDET .....	14
4.1	Kumin tyypilliset ominaisuudet.....	14
4.1.1	Vulkanoimattoman kumisekoituksen ominaisuudet .....	14
4.1.2	Vulkanoidun kumin ominaisuudet .....	15
4.2	Kumin koostumus .....	15
4.2.1	Kumiresepti .....	15
4.2.2	Elastomeeri.....	16
4.2.3	Täyteaineet .....	17
4.2.4	Pehmittimet .....	17
4.2.5	Suoja-aineet.....	18
4.2.6	Vulkanointisysteemi.....	18
4.3	Kumin sekoittaminen.....	19
4.4	Kumityypit .....	21
4.4.1	EPDM.....	21
4.4.2	Kloropreenikumi .....	22
4.4.3	Nitriilikumit .....	22
5	HUKKAA AIHEUTTAVAT POTENTIAALISET ONGELMAT .....	24
5.1	Kumin epätasalaatuisuus.....	24
5.2	Työntekijöiden motivointi .....	24
5.3	Kumin lämpöhistoria .....	24
5.4	Kumiresepti.....	25
5.5	Saippuointiliuoksen määrä ja laatu .....	25
5.6	Kumin lämpötila .....	25
5.7	Suulakkeessa olevat jarrut .....	25
5.8	Syötön tasaisuus.....	26
5.9	Nauhan epätasainen kypsyminen.....	26
5.10	Ajoarvot .....	27
5.11	Erot eri kumitoimittajien välillä samasta seoksesta .....	27
5.12	Välikovuuksien tekeminen eri kovuuksia sekoittamalla.....	27
5.13	Solukumireseptit .....	27
5.14	Esilämmityksen tasaisuus .....	28
6	SUURIMMAT HUKAN AIHEUTTAJAT NYKYTILANTEESSA.....	29
7	TEHDYT MITTAUKSET JA MITTAUSEHDOTUKSIA YRITYKSELLE .....	29

8 PARANNUSEHDOTUKSET ..... 29

## 1 JOHDANTO

Ilman raaka-ainehukkaa ei ole mahdollista tehdä kumiprofiileja. Syntyneeseen hukkaan voidaan kuitenkin vaikuttaa, kun kiinnitetään huomiota syihin, jotka hukkaa aiheuttavat. Syntynyt hukka on syytä saada minimoitua, sillä käytetyn raaka-aineen hinta vaikuttaa yrityksen kilpailukykyyn.

Työn kirjallisuusosassa on aluksi perehdytty ekstruusioon ja kumin ominaisuuksiin. Myös kumin valmistusmenetelmiä ja kumin koostumusta käsiteltiin. Erikoiskumeista perehdyttiin niihin, joita Finnprofilesilla käytetään pääasiassa raaka-aineena. Tämä jälkeen pohdittiin potentiaalisia hukkaa aiheuttavia ongelmia kumiprofiilien valmistuksessa. Samalla kartoitettiin yrityksen nykytilannetta ja todettiin syitä, mistä hukkaa syntyy. Työn lopuksi esitetään yritykselle parannusehdotuksia profiileiden valmistamiseen.

Työn kokeellisessa osassa on mitattu eri kumiseoksien ominaisuuksia reometrillä. Myös raaka-ainevaraston lämpötiloja on seurattu. Kumin lämpötilaa raaka-ainepaalin eri kohdista on seurattu, kun paali on tullut varastoon lähipäivinä.

## **2 YRITYSESITTELY**

### **2.1 Yrityksen esittely ja tunnusluvut**

FP Finnprofiles Oy on yli 30 vuotta kumiteollisuudessa toiminut perheyritys. Yritys tuottaa ekstruusiomenetelmällä kumiprofiileita, joita on yli 2000 erilaista. Lopputuotteet sopivat useisiin erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten ajoneuvo- ja rakennusteollisuuteen, joten yrityksen asiakaskunta on monipuolinen. Profiilien pääraaka-aineina käytetään EPDM-kumia eli eteenipropeenidieenikumia, silikonikumia sekä TPE:tä eli termoplastista elastomeeriä. Yrityksellä on kaksi tehdasta, jotka sijaitsevat Sastamalassa ja Iissä. FP Finnprofiles Oy:n pääkonttori sijaitsee Sastamalassa. Yrityksen liikevaihto on noin 8 miljoonaa euroa, ja henkilöstöä on 52. EPDM tuotanto vuosittain on noin 1000 tonnia, silikonituotanto noin 300 tonnia ja TPE- tuotanto noin 150 tonnia. (Finnprofiles Oy.)

### **2.2 Kumituotanto Sastamalan tehtaassa**

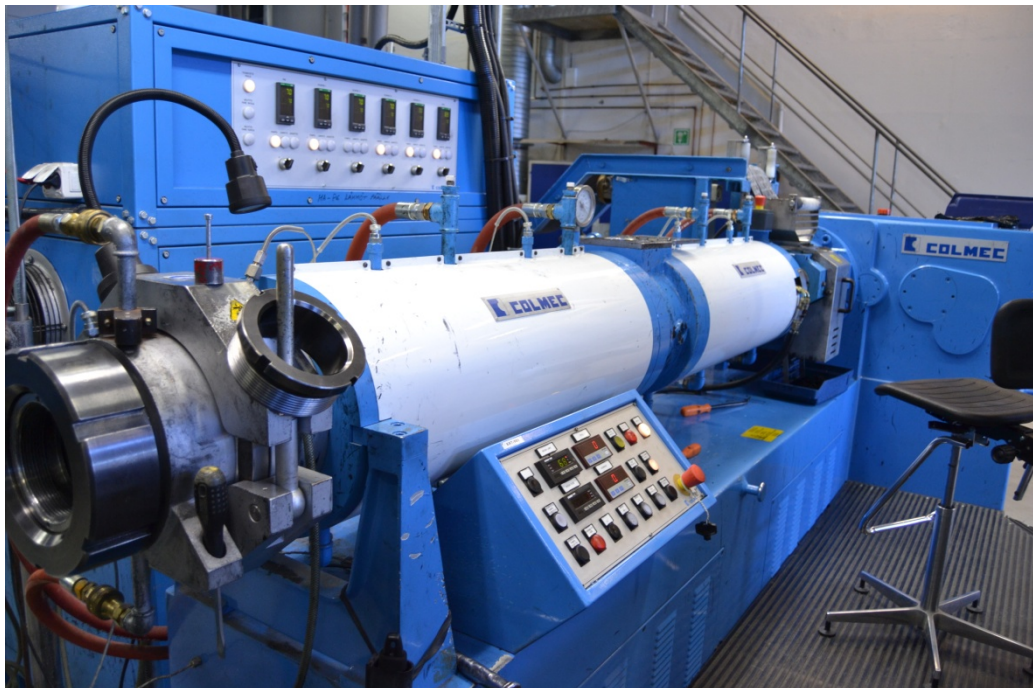
Kumiprofiileita tuotetaan tehtaassa ekstruusio- eli suulakepuristusmenetelmällä. Raaka-aineena toimii pääasiassa EPDM eli eteenipropeenidieenikumi. Ekstruusiossa kumi syötetään ekstruuderin syöttösuppilon kautta. Ekstruuderin sisällä oleva ruuvi lämmittää ja sekoittaa raaka-ainekumin. Kumi ei saa lämmetä liian paljon, jotta se ei alkaisi vulkanoitumaan. Ekstruuderin ulostulopäässä oleva suulake antaa profiilille halutun muodon. Ekstruuderilta nauhamainen kumiprofiili jatkaa vetokuljettimelle. Vetokuljetin sisältää esilämmitysosan, kuumennusosan ja jäähdytysosan. Esilämmitysosaan kuuluu mikroaaltotunneli, jonka säteet esilämmittävät profiilin. Kuumennusosan lämpötunneissa kumi vulkanoituu. Kumin vulkanoituessa sen ominaisuuden paranevat merkittävästi. Vulkanoinnin jälkeen profiili jäähdytetään jäähdytysaltaassa vesisuihkulla. Lopuksi nauhamainen profiili pätkitään halutun mittaiseksi ja pakataan pakkausohjeen mukaisesti. Valmistetun tuotteen laatua tarkkaillaan jatkuvasti koko prosessin ajan. (Finnprofiles Oy.)

### 3 EKSTRUUSIO

#### 3.1 Ekstruusion periaate ja ekstruusiomenetelmät

##### 3.1.1 Periaate

Ekstruusio eli suulakepuristus on menetelmä, jonka avulla voidaan vulkanoitumattomasta kumista valmistaa päättymättömiä profiileita ja aihioita. Pääperiaate on, että ekstruderin ruuvin muokattua kumimassasta tasaisen, se puristetaan suulakkeen läpi. Suulakkeen avulla kumimassasta saadaan muokattua halutun muotoinen, päättymätön aihio. Ekstruuderin koostuu käyttökoneistosta, syöttösuppilosta, ruuvista, vaipasta, vakuuminvyöhykkeestä sekä lämpötilansäätökanavista. Kumiraaka-aineen ekstrusoinnin jälkeen nauhamaisen muodon saanut kumi vulkanoidaan. Prosessin kulkua valvotaan erilaisilla mittareilla, kuten ruuvin kierrosnopeudella ja vaipan lämpötilalla. Ekstruuderin ulkoasu on esitetty kuvassa 1. (Laurila 2007, 139)



KUVA 1. Ekstruuderin (Jonas Grankvist, 2012)



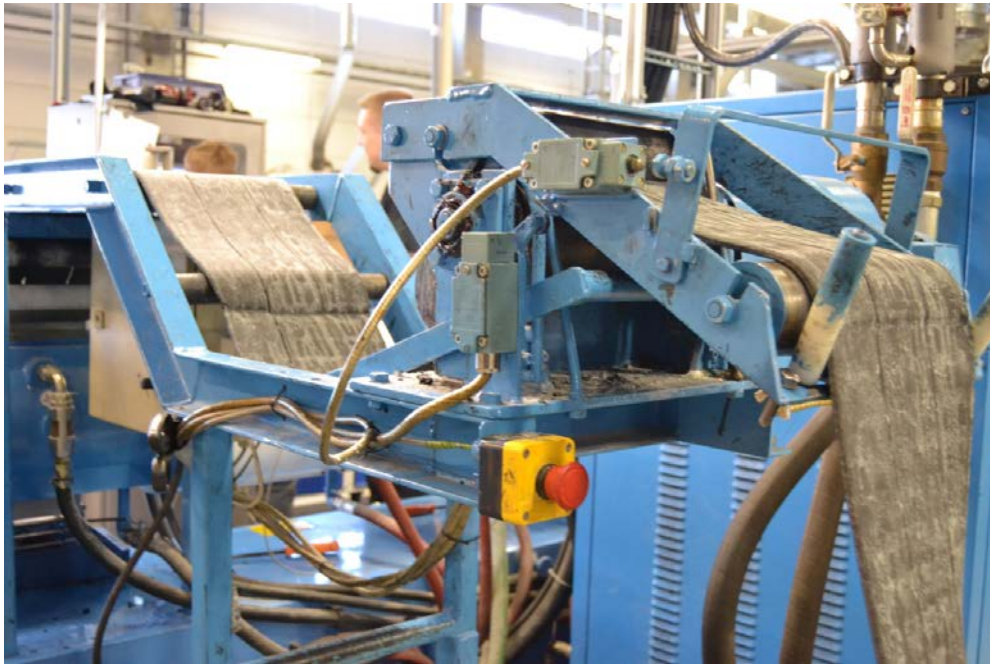
### **3.1.2 Ekstruusiomenetelmät**

Nykyään teollisuudessa käytetään yleisesti kylmäsyöttöekstruudereita. Siinä raaka-aineena toimiva kumisekoitus syötetään ekstruuderiin, joka lämmittää kumin tarvittavaan lämpötilaan. On myös olemassa kuumasyöttöekstruudereita, jonka raaka-aineen lämmitys tapahtuu erillisellä lämmitysvalssilla. Siinä ekstruuderia tarvitaan vain raaka-aineen paineen kasvattamiseen ennen suulakeosaa. Tästä johtuen kylmäsyöttökoneessa on huomattavasti suurempi L/D-suhde eli ekstruuderin ruuvin pituus suhteessa halkaisijaan. Kylmäsyöttöekstruudereissa L/D-suhde vaihtelee välillä 12-18 ja kuumasyöttöekstruudereissa 3-4. (Väliaho 2011, 34)

## **3.2 Ekstruuderin rakenne**

### **3.2.1 Syöttösuppilo**

Raaka-aine syötetään syöttösuppilon kautta nauhana ekstruuderin vaippaan. Syötössä ruuvi imee raaka-ainekumin lavalta vaipalle, tai syöttämisen apuna käytetään vetorullastoa. Jos käytetään termoplastista elastomeeriä, raaka-aine on usein rae- eli granulaattimuodossa. Tällöin kumigranulaatit kaadetaan syöttösuppilon. Syötössä on tärkeintä, että raaka-ainetta tulee vaipalle riittävästi ja tasaisesti. Jos syöttö ei ole tasaista, puristusaine vaihtelee ja kumista tulee huokoista ja sen mitat saattavat vaihdella. Kumisekoituksen syöttäminen vetorullaston avulla ekstruuderiin on esitetty kuvassa 2. (Väliaho 2011, 28)



KUVA 2. Syöttöön menevä vetorullasto (Jonas Grankvist, 2012)

### 3.2.2 Ruuvi

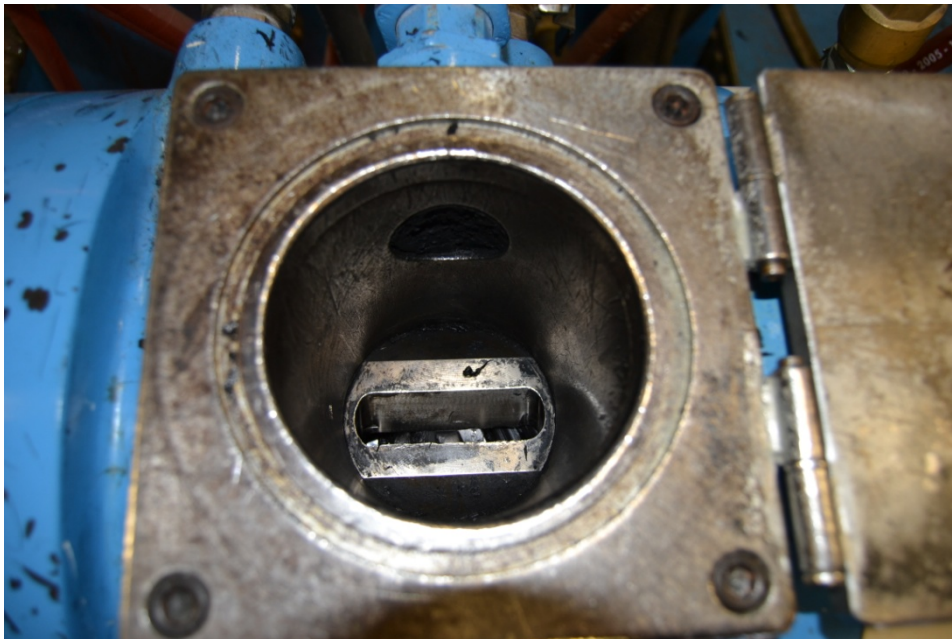
Ruuvien pyörivän liikkeen ansiosta kumimateriaali työntyy koneen vaipan, sihtilevyn ja suulakkeen läpi. Ruuvi sisältää kolme perusosaa: syöttövyöhyke, kuljetus- eli puristusvyöhyke ja ulostyöntö- eli homogointivyöhyke. Ruuvissa olevat kierteet ja ruuvien rungon paksuus saattavat vaihdella ruuvien eri osissa. Syöttövyöhykkeellä ruuvi on yleensä harvakierteinen sekä mahdollisesti korkeaharjainen ruuvien rungosta mitattuna. Syöttövyöhykkeen tehtävä on yksinkertaisesti ottaa materiaali vastaan syöttöaukosta sekä kuljettaa se seuraavalle vyöhykkeelle. Kuljetus- ja puristusvyöhykkeessä ruuvikanavan tilavuus pienenee. Se saadaan aikaan paksummalla rungolla, jolloin ruuvien harjojen tilavuus on pienempi. Kanavan tilavuuden pienenemistä voidaan mitata puristussuhteella, eli tilavuuden pienenemisenä kanavan alusta kanavan loppuun. Normaalisti puristussuhde on 1:1,1-1,4. Ulostyöntö- eli homogointivyöhykkeen tarkoituksena on saada aikaan jatkuva ja tasainen paine suulakkeen taakse. Jos paine ei ole tasaista, se näkyy välittömästi lopputuotteessa epätasaisuutena. (Laurila 2007, 141-142)

### 3.2.3 Vaippa

Sylinterin muotoinen vaippa on sovitettava tarkkaan ruuvin kanssa. Vaipan sisäpinta vaikuttaa ratkaisevasti kumin käyttäytymiseen ekstruuderissa. Ruuvin harjaosien ja vaipan väliin tulee jäädä vain muutamia millimetrin kymmenesosia. Vaippa sisältää yleensä kolme tai neljä vyöhykettä, joiden lämpötiloja voidaan muuttaa erikseen. Tällä tavalla voidaan säätää ekstruuderin lämmitystä ja jäähtytystä. (Väliaho 2011, 30)

### 3.2.4 Vakuumivyöhyke

Vakuumivyöhykkeen tarkoituksena on poistaa kumisekoituksen sisältämiä kaasuja ja kosteutta, jotka saattaisivat aiheuttaa ilmakuplia ja huokoisuutta valmiissa tuotteessa. Tämä perustuu ekstruuderin sisältämiin puristusvyöhykkeisiin. Ruuvin syöttövyöhykkeeltä tuleva raaka-aine siirtyy puristusvyöhykkeelle, joka puristaa kumin ohueksi kalvoksi. Ruuvissa on syvä uurrettu kohta, joka aiheuttaa paineen voimakkaan pienenemisen raaka-aineessa. Tähän sisältyy myös ulkopuolinen imu, joka poistaa kosteutta ja kaasuja materiaalista. Vakuumivyöhyke on esitetty kuvassa 3. (Väliaho 2011, 30)



KUVA 3. Vakuumivyöhyke.(Jonas Grankvist, 2012)

### 3.2.5 Sihtilevy

Sihtilevyn tarkoituksena on poistaa materiaalista mahdolliset epäpuhtaudet ja vulkanoituneet kokkareet. Se aiheuttaa tulevalle kumisekoitukselle vastapaineen, jolloin epäpuhtaudet jäävät läpitulevasta kumisekoituksesta pois. Sihtilevy sisältää usein tiheän sihti-verkon. (Laurila 2007, 140)

### 3.2.6 Suulake

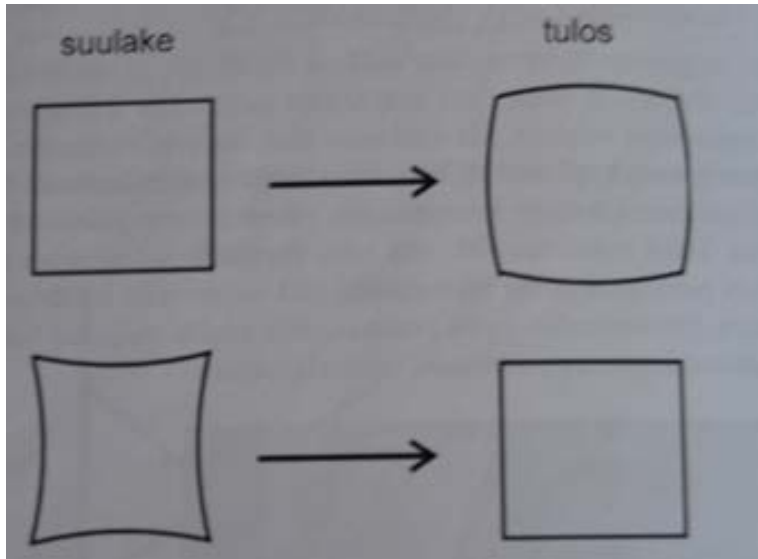
Suulake antaa valmistetulle profiilille sen lopullisen muodon. Suulake sisältää rungon, mahdolliset jarrut ja profiilityökalun. Profiilityökalu sisältää aukon, jonka muotoinen kappaleesta halutaan. Esimerkki suulakkeesta ja profiilityökalun muodosta on kuvassa 4.



KUVA 4. Suulake (Jonas Grankvist, 2012)

Profiilityökalua valmistettaessa on otettava huomioon materiaalin suulakkeen jälkeinen voimakas turpoaminen, joka johtuu polymeerisen materiaalin viskoelastisuudesta. Esimerkkinä tästä on esimerkiksi neliön muotoisen kappaleen valmistaminen. Kuvassa 5 on esitetty, minkä muotoinen suulakkeen pitäisi olla, kun voimakas turpoaminen otetaan

huomioon. Profiilin turpoaminen on pienempää, jos kumisekoitus sisältää runsaasti täyteaineita. (Laurila 2007, 149)



KUVA 5. Suulakkeen muodon vaikutus profiilin lopulliseen muotoon (Laurila 2007, 150)

Suulake sisältää lisäksi jarrun, jolla estetään kumin liian voimakas virtaaminen suulakkeen suurista aukoista. Tämä johtuu siitä, että suuremmissa aukoissa virtausvastus on pienimmillään. Jarru saadaan aikaan joko haittalevyillä virtaukselle suureen aukkoon, tai tekemällä suureen aukkoon virtausmatkan pidemmäksi. (Laurila 2007, 148-152)

## 4 KUMIN KOOSTUMUS JA YLEISET OMINAISUUDET

### 4.1 Kumin tyypilliset ominaisuudet

Kumin tärkein ominaisuus on sen elastisuus eli joustavuus. Sen elastisuus on ainutlaatuista, sillä kumia voidaan venyttää jopa 1000%. Kumin elastisuus on kuitenkin lämpötilasidonnaista. Kumiesinettä jäähdytettäessä sen elastisuus vähenee. Tämä johtuu kumin molekyyli-rakenteesta, epäsymmetrisyydestä sekä sidoksien vapaasta kiertymisestä. Kumin molekyyli-kietjut saattavat olla jopa kymmeniä tuhansia yksiköitä pitkiä. Molekyyli-kietjut ovat paikoitellen toisiinsa sidottuja, mutta molekyylin osat pääsevät liikkumaan toisiinsa nähden sidoskohtien välillä. Molekyylin epäsymmetrisyys lisää kumimaisia ominaisuuksia, sillä molekyyli-kietjut eivät pakkaudu lähekkäin tai lukkiudu toisiinsa. Sidosten vapaa kiertyminen johtuu kumissa olevista hiiliketjuista, joka sallii ketjun vääntyilyn. (Laurila 2007, 23-25)

Viskoosisuus on kumille luontainen ominaisuus. Tällä tarkoitetaan kumin kykyä vastustaa liikettä sitä voimakkaammin, mitä suurempi liikkeen nopeus on. Kumin viskoosisuudesta johtuu, että pitkään venytettynä ollut kumi ei palaudu tarkalleen alkuperäiseen mittaansa. Tätä kumin muodonmuutoksen aiheuttamaa ilmiötä kutsutaan jäännösvenymäksi. (Laurila 2007, 28-30)

Kumi on lähes kokoonpuristumatonta. Jos kumia yritetään puristaa kokoon esimerkiksi kahden levyn välissä, se pullistuu sivuille. Kokoonpuristumista ei tapahdu, jos pullistuminen sivuille estetään. (Laurila 2007, 31)

#### 4.1.1 Vulkanoimattoman kumisekoituksen ominaisuudet

Tärkeintä vulkanoimattomassa kumisekoituksessa on, että se on helposti työstettävää. Tällöin tulee ottaa huomioon kumisekoituksen viskositeetti, raakatarttuvuus sekä vulkanoitumisherkkyys. Jos kumisekoitus on liian jäykkää, sekoitus ei virtaa työstettäessä hyvin ja sitä on vaikea muotoilla. Liian alhainen viskositeetti taas aiheuttaa ongelmia työstetyn muodon pysyvyyden kanssa. Viskositeettia kuvataan Mooney-arvolla tietyssä

lämpötilassa. Raakatarttuvuus tarkoittaa kumisekoituksen kykyä tarttua itseensä. Huono tartunta aiheuttaa sen, että tuotteen kokoonpano on vaikeaa, sillä osat eivät pysy kasassa. Liian suuri raaka-ainetarttuvuus ei sinänsä ole paha asia, mutta kumisekoituksen käsittelijän tulee olla huolellinen, että kumin osat eivät tartu toisiinsa virheellisissä asennoissa. Vulkanoitumisherkkyys tarkoittaa aikaa, jonka kumia voi käsitellä tietyssä lämpötilassa. Jos aika ylitetään, kumin käsittely on vaikeaa kumisekoituksen osittaisen vulkanoitumisen takia. Jos kumisekoitus on erityisen vulkanoitumisherkkä, on sitä vaikea työstää. (Laurila 2007, 32-33)

#### **4.1.2 Vulkanoidun kumin ominaisuudet**

Kun kumi on saanut lopullisen muotonsa, se vulkanoidaan kumin ominaisuuksien parantamiseksi. Vulkanoitu kumi on joustavaa, kimmoisaa ja muotonsa säilyttävää. Vulkanoidun kumin ominaisuuksia voidaan testata erilaisilla testausmenetelmillä. Tärkeimmät testattavat ominaisuudet ovat vulkanoidun kumin kovuus, lujuusominaisuudet ja repimislujuus. Myös kumin kulutuskestävyyttä ja vanhenevuutta pyritään seuraamaan. Näiden ominaisuuksien kautta määritellään, mitä kumia käytetään missäkin tilanteessa. (Väliäho 2011, 41-42)

### **4.2 Kumin koostumus**

#### **4.2.1 Kumiresepti**

Raaka-aineeksi käytettävä kumi on seos, joka koostuu monesta eri aineesta. Seoksen aineet valitaan siten, että valmiille raaka-aineella saadaan halutut ominaisuudet. Yleisesti tärkeimpinä tekijöinä sekoituksen onnistumisen kannalta voidaan pitää sekoituksen hintaa, työstettävyyttä sekä ominaisuuksia. Kumisekoituksen pääkomponentit ovat elastomeeri, täyteaineet, pehmittimet, suoja-aineet sekä vulkanointisysteemi. Käytetyistä pääkomponenteista saadaan kumiresepti. Siitä näkee suhteen, jota kyseistä komponenttia laitetaan reseptiin. Kumireseptin teossa käytetään yksikköä phr eli sataa kumiosaa



kohti. Elastomeerin kokonaismääräksi merkataan siis aina 100, ja muut aineet merkitään sen perusteella. Kuvassa 6 on esitetty valmis kumisekoituspaali. (Väliaho 2011, 6-7)



KUVA 6. Valmis kumisekoitus (Jonas Grankvist, 2012)

#### 4.2.2 Elastomeeri

Elastomeerin tarkoituksena on määrittää kumisekoitukselle perusominaisuudet, sekä sitoa muut aineet sekoitukseen. Elastomeerin valinta määrää sekoituksen kovuusalueen, lujuusalueen, elastisuuden, lämmönkeston sekä kemiallisen keston. Kumireseptissä voidaan käyttää useita eri elastomeerejä sekoituksen ominaisuuksien parantamiseksi. Esimerkiksi luonnonkumia voidaan parantaa lisäämällä siihen synteettisiä elastomeerejä. Elastomeerejä on olemassa kymmeniä erilaisia, jos viskositeetti- ja molekyylipainojakaumaversiot lasketaan mukaan. Elastomeerit voidaan jakaa esimerkiksi yleiskäyttöön tarkoitettuihin elastomeereihin, sekä erikois elastomeereihin. (Laurila 2007, 40-41)



### 4.2.3 Täyteaineet

Täyteaineiden tehtävä kumireseptissä on muokata kumin fysikaalisia ominaisuuksia, säätää kovuutta ja tehdä kumisekoituksesta edullisempaa. Täyteaineiden väripigmentit määräävät myös kumisekoituksen värin. Täyteaineet voidaan jakaa aktiivisiin täyteaineisiin ja passiivisiin täyteaineisiin. Aktiivisten täyteaineiden tarkoitus on parantaa kumisekoituksen tärkeimpiä lujuus- ja kestävyysominaisuuksia, kuten vetolujuutta, repimislajuutta, kulutuskestävyyttä ja kimmo-ominaisuuksia. Passiivisilla täyteaineilla pyritään halventamaan kumisekoitusta. Eniten käytetty täyteaine on hiilimusta eli noki. Nokea sopivasti käytettäessä seoksen viskositeetti nousee, vetolujuus kasvaa, kovuus kasvaa sekä kulutuskesto paranee. Kumissa käytettävistä vaaleista täyteaineista merkittävin on piioksidi. Sitä käytetään lujitettaessa vaaleita kumisekoituksia, kun nokea ei ole mahdollista käyttää. Jos kumiseokselle halutaan erityisominaisuuksia, on tuotteeseen lisättävä sopivaa täyteainetta. Sekoituksen palokestäväksi saattamiseen käytetään alumiinihydroksidia, magnesiumhydroksidia tai magnesiumkarbonaattia. Jos seokselle halutaan painoa lisää, käytetään bariumsulfaattia. Kosteuden sitomiseen kumisekoituksesta voidaan käyttää kalsiumoksidia. Muut yleisesti käytetyt vaaleat täyteaineet, kuten kaoliini, talkki, neuburg-silikaatti ja liitu, toimivat melko passiivisinä aineina seoksen ominaisuuksien kannalta. Seokseen voidaan käyttää myös orgaanisia täyteaineita. Niitä ovat rikillä käsitellyt kasvi- tai eläinöljytuotteet, selluloosakuidut sekä pulverikumi. Orgaanisilla lisäaineilla on merkitystä etenkin, jos valmistettu kumisekoitus halutaan ajaa ekstruuderin läpi. Orgaanisilla täyteaineilla voidaan pienentää turpoamaa, parantaa profiilin pinnan laatua sekä parantaa muodon pysyvyyttä vulkanoinnin aikana. (Laurila 2007, 72 -78)

### 4.2.4 Pehmittimet

Kumisekoituksen kovuutta säädellään pehmittimien avulla. Samalla kumisekoituksen työstettävyyttä parannetaan. Mineraaliöljy on käytetyistä pehmittimistä suosituin. Sitä on sekä parafiinista, nafteenista että aromaattista. Mineraaliöljy luokitellaan sen perusteella, mikä edellä mainittujen suhde on mineraaliöljyssä. Erilaiset sekoitussuhteet vaikuttavat mineraaliöljyn sekoittumiseen erilaisiin elastomeereihin, joten sekoitussuhteella on merkitystä. Öljy ei sovi käytettäväksi esimerkiksi nitrilikumin kanssa, joten peh-

mittimenä voidaan käyttää myös synteettisiä pehmittimiä. Synteettisiä pehmittimiä käytettäessä on oltava tarkkana, että käytetty pehmitin sopii käytettäväksi seokseen. Esimerkiksi DOP eli dioktyyliftalaatti on hyvin yhteensopiva nitrilikumin ja kloropreenin kanssa. Muita synteettisiä pehmittimiä ovat DBP, eli dibutyyliftalaatti, stearaatit, oleaatit, trimellitaaatit, glykoliesterit sekä eetteripehmittimet. (Laurila 2007, 79-80)

#### **4.2.5 Suoja-aineet**

Suoja-aineiden tarkoitus kumisekoituksessa on parantaa sen hapen, otsonin ja vanhene-  
misen kestävyyttä. Suoja-aineet luokitellaan niiden suojausominaisuuksien perusteella  
antioksidantteihin, antiotsonantteihin sekä suojausvahaan. Antioksidanttien tarkoitus on  
estää tai hidastaa hapen vaikutusta. Antioksidanteista yleisimmin käytetyt ovat erilaiset  
amiinijohdannaiset, imidatsolit sekä hydrokinoliini. Aineiden teho perustuu suoja-  
ainemolekyylissä olevaan aktiiviseen vetyatomiin, joka pysäyttää hapen aiheuttaman  
ketjureaktion kumisekoituksessa. Antiotsonantit perustuvat siihen, että elastomeerin  
sijaan ne reagoivat otsonin kanssa. Reaktioiden lopputuotteet estävät mahdolliset jatko-  
reaktiot. Suojausvahaa käytetään mekaanisena suojana kumiseokselle. Vaha ei liukene  
kumiin, joten se kulkeutuu kumin pinnalle muodostaen sille suojakalvon. Suojakalvo  
estää hapen ja otsonin vaikutusta kumissa. Suojausvahoina käytetään parafiinipohjaisia  
tai mikrokiteisiä yhdisteitä. (Laurila 2007, 80-83)

#### **4.2.6 Vulkanointisysteemi**

Kumia vulkanoitaessa muokattavasta kumimassasta tehdään joustavaa ja muotonsa säi-  
lyttävää kumia. Kumin kovuus, lujuusominaisuudet, kuluminen ja repimislujuus para-  
nevat. Ylivoimaisesti suosituin vulkanointiaine on rikki. Rikin vulkanoituessa tapahtuu  
rikkirenkaan aukeaminen. Elastomeeriketjujen väliin syntyy rikkisiltoja, jotka ovat erit-  
tään pysyviä. Rikkisiltojen määrä riippuu rikin määrästä, laadusta sekä elastomeerista.  
Vulkanointisysteemiin kuuluu myös kiihdyttäjiä sekä aktivaattoreita vulkanoitusmisre-  
aktion nopeuttamiseksi. Kiihdyttäjinä voidaan käyttää esimerkiksi amiini-  
aldehydijohdannaisia, guanidiinijohdannaisia, bentsotiatsoleita tai tiuramsulfideja.  
Kiihdyttäjien aktivaattoreina käytetään metallioksidgeja, kuten sinkkioksidia sekä stea-

riinihappoa. Rikin, kiihdyttäjien ja aktivaattoreiden käytöllä pyritään siihen, että vulkanoitumisen käynnistymiseen menisi melko pitkään, mutta vulkanoitusmisprosessi olisi erittäin nopea. (Laurila 2007, 84-93)

### 4.3 Kumin sekoittaminen

Kumireseptissä olevia raaka-aineita sekoitettaessa tapahtuu monta erilaista prosessia. Tarkoituksena on saada kumisekoituksesta työstettäväksi kelpavaa. Ensimmäisenä kiinnitetään huomiota kumisekoituksen viskositeettiin. Viskositeetti saadaan halutuksi muokkaamalla eli mastisoimalla kumisekoitusta. Tällöin elastomeerin pitkät polymeeriketjut pilkkoutuvat mekaanisesti lyhyemmiksi, jolloin viskositeetti laskee. Mastisointi on tärkeintä luonnonkumille, sillä synteettisiä kumeja voidaan valmistaa tietyllä viskositeetilla jo alun alkaen. Kumisekoitusta tehdessä on kiinnitettävä siihen huomiota, että lopputuote on täysin tasalaatuista. Jos kumisekoituksesta ei saada tasalaatuista, siihen ei saada haluttuja fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Kun kumireseptissä olevat raaka-aineet sekoittuvat, tapahtuu kolme samanaikaista prosessia: yhdistävä sekoittaminen, hajottava sekoittaminen sekä jakava sekoittaminen. Yhdistävässä sekoittamisessa alun perin erilliset raaka-aineet sekoittuvat toisiinsa. Elastomeerin pinta-ala lisääntyy, sillä kumireseptissä olevat täyteainekokkareet sulautuvat siihen. Hajottavassa sekoittamisessa tapahtuu sekoituksessa olevien komponenttien hiukkaskoon pieneneminen. Se aiheuttaa viskositeetin laskemisen. Jakavan sekoittamisen tarkoitus on saada hiukkaset tasaisesti kumisekoitukseen kuitenkin hajottamatta niitä. Jakava sekoittaminen saadaan aikaan muokkaamalla kumisekoitusta venyttämällä. (Laurila 2007, 107-109)

Kumin sekoittamiseen käytetään joko valssia, sisäsekoittajaa tai jatkuvatoimista sekoittajaa. Kumia sekoitettaessa täytyy kiinnittää huomiota siihen, että kumisekoituksen esivulkanoitumista ei tapahdu merkittävästi, koska sekoittamisen aikana kumimassaan tuodaan energiaa, joka muuttuu lämmöksi.

Sekoitusvalssi koostuu kahdesta telasta, jotka pyörivät toisiaan vasten. Sekoittumisen tehostamiseksi teloilla on yleensä eri pyörimisnopeus. Sekoitus aloitetaan laittamalla elastomeeri telojen väliin ja pehmittämällä ja tartuttamalla se toisen telan pintaan. Vähitellen lisätään muut komponentit niin, että vulkanoitusaineet lisätään viimeisenä. Se-

koitusta tehostetaan välillä puukolla irrottamalla osa muokattavasta kumista telasta ja päästämällä se uudestaan valssiin. Valssin puhdistaminen on helppoa, joten se sopii parhaiten vaaleisiin kumisekoituksiin. Sekoitus valssilla kestää puolesta tunnista tuntiin. (Laurila 2007, 110-111)

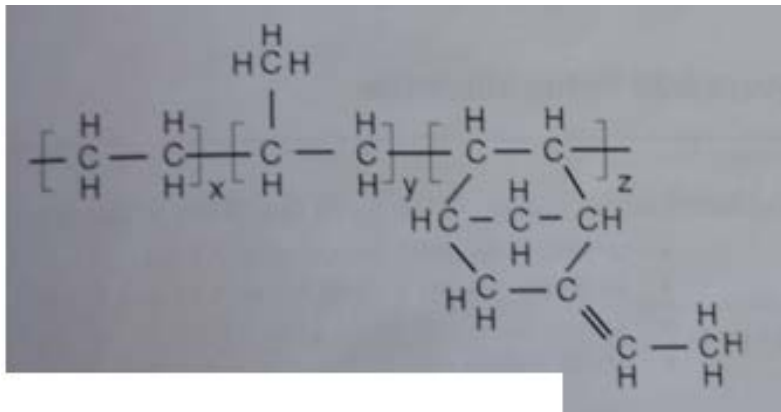
Sisäsekoitin on sekoituslaitteista suosituin, sillä se on monipuolinen ja nopea. Sekoitus-aika sisäsekoittimella on noin 3-10 minuuttia. Sisäsekoitin koostuu moottorista, syöttöluukusta, kammioista, roottoreista, jäähdytyskanavista ja pohjaluukusta. Roottorin määrää sen, miten ja missä sekoittuminen tapahtuu. Intermikserissä sekoitus perustuu kahden roottorin väliseen keskinäiseen liikkeeseen toisiaan vastaan. Tällöin sekoittuminen tapahtuu roottorien välissä. Sekoitus voi tapahtua myös kammion seinän ja roottorin siiven välisessä raossa, jos käytetään tangentialista sekoituskonetta. Tällöin roottoreissa on roottorin pituussuuntainen kierteinen harja, joka pakottaa kumin virtaamaan kammiossa edestakaisin. Vulkanoitumisen välttämiseksi sekoitus voidaan tehdä kahdessa eri vaiheessa. Aluksi tehdään esisekoitus ilman vulkanointisysteemiä. Tämän jälkeen esisekoitus laitetaan uudestaan sisäsekoittimiseen, jolloin lisätään myös vulkanointisysteemi. Sekoituskoneesta pudotessa kumimassa on jälkikäsiteltävä, sillä massa on epämääräisessä muodossa. Jälkikäsitely voidaan suorittaa valssilla tai ekstruuderilla, jolloin sekoitus saadaan nauhamaiseen muotoon. (Laurila 2007, 111-115)

Jatkuvatoimiset sekoituslaitteet perustuvat siihen, että sekoitusta tehdään jatkuvana virtana. Raaka-aineita lisätään ja lopputuotetta otetaan pois jatkuvasti. Jatkuvatoimisten sekoituslaitteiden ongelmana on, että raaka-aineiden tulisi olla joko jauheita, nestemäisiä tai pellettejä. Jatkuvatoiminen sekoituslaitteisto on myös monimutkainen ja kallis. Sen etuina on sekoittumisen energiakulutuksen ja lämpöhistorian tasaisempi kulku. Sekoittaminen voidaan toteuttaa erilaisilla ratkaisuilla, kuten kaksoisruuviekstruuderilla. Tällöin raaka-aineet tulevat omista syöttösuppiloistaan ekstruuderiin, ja ruuvit hoitavat sekoittumisen. Elastomeeri syötetään koneeseen ensimmäisenä ja vulkanointiaineet viimeisenä. Lopullinen massan homogointi hoidetaan ajamalla sekoitus tavallisen yksisruuviekstruuderin läpi. (Laurila 2007, 115-116)

## 4.4 Kumityypit

### 4.4.1 EPDM

EPDM eli eteenipropeenidieenikumi on erikoiskäyttöön tarkoitettu kumi, jota saadaan polymeroimalla keskenään eteeniä ja propeneia ja lisäämällä sekoitukseen dieeniä. Sen perusrakenne on esitetty kuvassa 7.

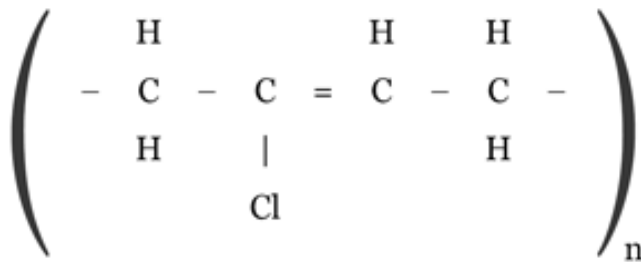


KUVA 7. EPDM:n perusrakenne (Laurila 2007, 59)

Sekoituksen rakenne on kaksoissidokseton, mutta dieeniä lisäämällä seokseen tulee niitä hieman. Erilaiset EPDM-tyypit eroavat toisistaan dieenipitoisuuden ja eteenin ja propenein suhteen perusteella toisistaan. Seoksessa on noin 4-5 % dieeniä. Dieenipitoisuus määrää sen, kuinka nopeasti sekoitus vulkanoituu. EPDM:n etuina ovat hyvä sään- ja otsoninkestävyys, hyvä kemikaalien kestävyys sekä hyvä lämmönkestävyys. EPDM-elastomeeri toimii myös hyvänä eristeenä. Lisäksi EPDM:n kanssa voidaan käyttää suuria määriä täyteaineita, jolloin lopullisesta seoksesta saadaan suhteellisen edullista. Täyteaineiden avulla voidaan säädellä lopullisia ominaisuuksia, kuten kovuutta, sähkönjohdavuutta tai palonkestävyyttä. EPDM:n käyttökohteisiin lukeutuvat yleisesti tiivisteet, letkut, muotonauhat sekä kaapelin päällysteet. (Tammela 1989, 306-308)

#### 4.4.2 Kloropreenikumi

Kloropreenikumi eli CR-kumi on yksi vanhimmista synteettisistä kumeista. Sitä saadaan valmistettua polymeroimalla 2-klooributadieenia emulsiossa. Kloropreenikumin perusrakenne on esitetty kuvassa 8.

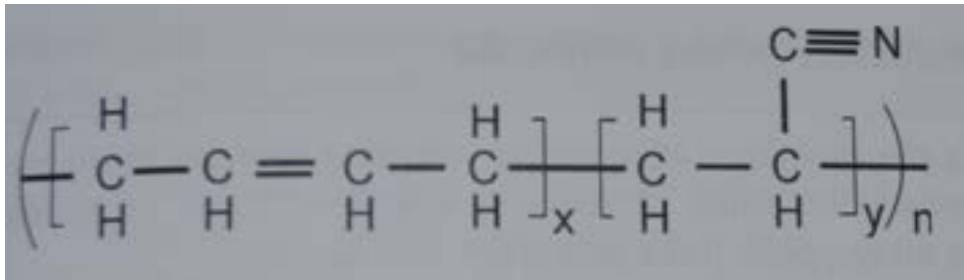


KUVA 8. Kloropreenikumin perusrakenne (Mantaine 2012, muokattu)

Kloropreenikumi kestää yleisesti säätä hyvin, mutta säänkesto on rajallinen alhaisissa lämpötiloissa. Sen ominaisuuksiin kuuluu myös hyvä otsonin ja palon kestävyys. Lisäksi se kestää kasvi- ja eläinöljyjä. Kloropreenikumia voidaan helposti liimata metalleihin ja se on mekaanisesti luja, joten sitä käytetään paljon tiivisteissä, tärinävaimentimissa, kiilahihnoissa sekä letkuissa. Jos halutulle kumiseoksille tarvitaan myös muita ominaisuuksia, kloropreenikumia voi sekoittaa esimerkiksi luonnonkumin tai polybutadieenin kanssa. Luonnonkumi seoksessa lisää elastisuutta ja lujuutta pelkkään kloropreenikumiin nähden, mutta heikentää säänkestoä. Tällöin kumiä sekoitussuhteessa on oltava tarkkana. (Tammela 1989, 318-321)

#### 4.4.3 Nitriilikumit

Nitriilikumi eli NBR-kumi on butadieenin ja akrylinitriilin kopolymeeri. Nitriilikumin perusrakenne on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Nitriilikumin perusrakenne (Laurila 2007, 61)

Nitriilikumi voidaan jaotella seoksen akrylinitriilimäärän perusteella taulukon 1 mukaan.

TAULUKKO 1. Akrylinitriilin eli ACN:n määrä prosentteina seoksessa (Laurila 2007, 62)

ACN-määrä	Luokittelu
yli 45%	hyvin korkea
38-44%	korkea
30-37%	keskikorkea
23-29,9%	keskimatala
alle 25%	matala

Nitriilikumia käytetään, kun kumisekoituksesta halutaan öljyn, rasvan ja poltonesteiden kestävyttä. Seos kestää sitä paremmin öljyä ja poltonesteitä, mitä suurempi sen akrylinitriilipitoisuus on. Tällöin seoksen kylmäkestävyys alenee. Tavallisesti nitriilikumi ei kestä otsonia eikä happea kovin hyvin, mutta näitä ominaisuuksia voidaan parantaa hydraamalla seosta. Hydrauksessa nitriilikumiseoksessa olevat kaksoissidokset muodostavat vedyn kanssa polymeerejä, jotka koostuvat akrylinitriili-, eteeni- ja 1-buteenirakenneyksiköistä. Jos lähes kaikki kaksoissidokset poistuvat seoksesta, säänkestävyys paranee oleellisesti. Nitriilikumin käyttökohteisiin kuuluu tiivisteet, letkut, telojen päällysteet, säiliöt sekä suojavaatteet. (Kothandraman 2008, 56-58)

## **5 HUKKAA AIHEUTTAVAT POTENTIAALISET ONGELMAT**

### **5.1 Kumin epätasalaatuisuus**

Ekstruuderin ruuvilla ei enää pystytä juurikaan vaikuttamaan juuri täyteaineiden dispersioon. Kumiseos ei käyttäydy ekstruuderissa halutulla tavalla, jos se ei ole tasalaatuista. Lisäksi kumiseoksen joukossa voi olla jo valmiiksi vulkanoituneita kokkareita. Tästä seuraa pahimmillaan se, että suulakkeesta ulos tuleva nauha ei ole kauttaaltaan tasainen. Myös kuplat ja rosoiset pinnat ovat mahdollisia. Myöhemmin voi tulla ongelmia, kun ekstruuderista tullut nauha vulkanoidaan. Esimerkiksi sekoituksessa epätasaisesti olevat kiihdyttimet voivat aiheuttaa sen, että nauha jää osittain raaka-aksi.

### **5.2 Työntekijöiden motivointi**

Työntekijät ovat tärkein resurssi yritykselle. Työntekijät tulisi jatkuvasti saada pidettyä tyytyväisinä ja motivoituneina. Motivaatio-ongelma päivittäiseen työhön on potentiaalinen hukkaa aiheuttava tekijä, koska työntekijät valmistavat tuotteet ja tekevät laadunvalvontaa. Motivoitunut työntekijä huomaa nopeasti esimerkiksi irronneen rissan, katkenneen nauhan ekstruuderin syötössä tai profiilin, joka ei ole oikean mittainen.

### **5.3 Kumin lämpöhistoria**

Raaka-ainekumin kokemat lämpötilanvaihtelut sekoituksen ja ekstruusiotyön välisenä aikana vaikuttavat kumin käyttäytymiseen etenkin matalissa lämpötiloissa. Suurimmat vaikutukset tulevat kumin jäykkyyteen ja hystereesiin. Tämän takia kumin lämpöhistoria olisi hyvä olla tiedossa jo tehtaalta lähtiessään.



#### **5.4 Kumiresepti**

Kumiresepti määrää sen, minkälaiset ominaisuudet valmiilla profiililla on. Lisäksi se vaikuttaa nauhan vulkanointiin. Jos scorch-aika ei ole riittävän pitkä, on nauhan vulkanoiminen tasaisesti vaikeaa.

#### **5.5 Saippuointiliuoksen määrä ja laatu**

Raaka-ainekumiin käytettävän saippuointiliuoksen määrän vaihtelu vaikuttaa kumiseokseen, koska saippuointiliuos toimii myös pehmentimenä. Saippuointiliuoksena käytettävä sinkkistearaatti laimennetaan veteen. Sinkkistearaattia lisätään säkeittäin vesiliuokseen, joten sen pitoisuus ei pysy vakiona. Tällöin kumi ei ole ominaisuuksiltaan tasaista, koska saippuointiliuosta on eri määrä raaka-ainekumin eri kohdissa.

#### **5.6 Kumin lämpötila**

Kumisekoitusta syötettäessä ekstruuderiin, sen lämpötila tulisi olla mahdollisimman tasainen. Tämä aiheuttaa ongelmia erityisesti talvella, kun kumipaalit saattavat tulla jopa -25 °C:ssa rekka-auton lavalta varastoon. Lämpö tasaantuu kumipaalin pinnalta huomattavasti nopeammin kuin sen sisältä. Kumipaalin eri osissa on isoja lämpötilaeroja. Kumisekoituksesta ei tule kauttaaltaan yhtä juoksevaa ekstruuderin ruuvien pyöriessä. Suulakkeen läpi tuleva nauha voi muuttua tällöin muodoltaan ja kooltaan.

#### **5.7 Suulakkeessa olevat jarrut**

Suulakkeen jarrujen tarkoitus on varmistaa se, että virtaus on tasaista koko suulakkeen läpi. Ilman jarrua kumisekoitus virtaisi suulakkeen läpi liiaksi isoista aukoista, eikä profiilista saataisi halutunlaista. Ongelmia voi aiheuttaa kuitenkin jarrun muoto. Jos jarru on muodoltaan suorakaiteen muotoinen, pieni osa kumisekoituksesta saattaa jäädä siihen jumiin. Tästä seuraa vulkanoituneita kokkareita, jotka aiheuttavat epätasaisuutta

nauhassa. Kuvassa 10 on esitetty suorakaidemainen jarru, joka voi aiheuttaa ongelmia kumisekoituksen virtauksessa.



KUVA 10. Suulake, jonka jarru on suorakaidemainen (Jonas Grankvist, 2012)

## 5.8 Syötön tasaisuus

Kumisekoituksen epätasainen syöttö aiheuttaa ongelmia ruuvissa ja suulakkeessa. Syöttö ei pysy tasaisena nauhan esimerkiksi katketessa. Jos kumisekoituksen aiheuttama puristusaine ekstruuderissa ei pysy tasaisena, syntyy lopputuotteeseen ongelmia muodon kanssa sekä huokoisuutta.

## 5.9 Nauhan epätasainen kypsyminen

Nauhan kypsymiseen vaikuttavat vulkanointisysteemin kiihdyttäjät ja aktivaattorit. Kumin vulkanoitumisominaisuuksia voidaan seurata vulkanointikäyrän avulla. Mikroaaltovulkanointi perustuu kumisekoituksessa olevaan polaariseen molekyyliin, jonka värähtelystä johtuva sisäinen kitka kuumentaa kumin yli 200 °C:hen. Kumiraaka-aineen

vulkanoitumista ei saada tasaiseksi, jos vulkanointisysteemissä on ongelmia. Ongelmia saattaa aiheuttaa myös profiilissa mahdollisesti olevat eripaksuiset kohdat. (Laurila 2007, 171)

### **5.10 Ajoarvot**

Ajoarvot ekstruuderiin pyritään katsomaan edellisestä samanlaisesta ajosta. Ajoarvot eivät kuitenkaan välttämättä ole oikeat. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että raaka-ainetoimittaja on muuttanut kumireseptiä. Ks. 5.11

### **5.11 Erot eri kumitoimittajien välillä samasta seoksesta**

Eri valmistajien sekoitukset samasta kumityypistä ja samasta kovuudesta poikkeavat toisistaan. Eri resepteillä tehdyt kumisekoitukset käyttäytyvät erilalla ekstruuderissa.

### **5.12 Välikovuuksien tekeminen eri kovuuksia sekoittamalla**

Jos haluttu kovuus on kahden kovuusluokan välissä, täytyy ekstruuderiin syöttää kahta erilaista kovuutta. Nämä eivät välttämättä täysin ehdi sekoittua ekstruuderissa, jolloin profiilista ei saada tasalaatuista. Myös kumin virtaus voi vaihdella, josta seuraa profiilin koon vaihtelua.

### **5.13 Solukumireseptit**

Solukumia on erityisen vaikea hallita, koska se on herkkä lämpötilan muutoksille. Jo 10 °C:n heitot raaka-ainekumin lämpötiloissa vaikuttavat oleellisesti solustumisnopeuteen. Tästä johtuen kumipaalin lämpötilan pitäisi olla erityisen tasainen.

#### **5.14 Esilämmityksen tasaisuus**

Esilämmitys tapahtuu mikroaalloilla, jotka eivät välttämättä lämmitä nauhaa tasaisesti koko leveydeltä. Tämä johtuu siitä, että säteet tulevat mikroaaltotunnelin ylä- ja alapuolelta.

**6 SUURIMMAT HUKAN AIHEUTTAJAT NYKYTILANTEESSA**

**VAIN TILAAJAN KAPPALEESSA**

**7 TEHDYT MITTAUKSET JA MITTAUSEHDOTUKSIA YRITYKSELLE**

**VAIN TILAAJAN KAPPALEESSA**

**8 PARANNUSEHDOTUKSET**

**VAIN TILAAJAN KAPPALEESSA**

## LÄHTEET

[Finnprofiles Oy] [www-sivu] [Viitattu 20.2.2012] Saatavissa:

<http://www.finnprofiles.com/yritysinfo.html>

Laurila, T. 2007. Kumitekniikka, lyhyt johdatus kumitekniikan perusteisiin. Edita Prima. Helsinki.

Kothandaraman, B. 2008. Rubber Materials. Ane Books India. New Delhi, India.

Tammela, V. 1989. Polymeeritiede ja muovitekniologia. Osa III. Hakapaino OY. Helsinki.

Seppälä, J. 2005. Polymeeritekniologian perusteet, 6. painos. Otatieto, Hakapaino Oy. Helsinki.

Väliaho, E. 2010. Kumiraaka-aineet ja vahvikemateriaalit. Kurssimateriaali. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan osasto.

Väliaho, E. 2011. Kumikoneet ja prosessit. Kurssimateriaali. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan osasto.

Hanhi, R. 2010. Elastomeerien testaus ja koemenetelmät. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan osasto.

[Mantaine corporation] [www-sivu] [Viitattu 20.4.2012] Saatavissa:

<http://www.mantaine.com/capabilities/material-expertise/neoprene-rubber/>

[Direct Industry] [www-sivu] [Viitattu 23.4.2012] Saatavissa:

[http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/shore-hardness-tester-465995.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/shore-hardness-tester-465995.jpg)

## LIITTEET