

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Tea Murtoniemi

KUMITUOTTEIDEN VALMISTUS JA LAADUNHALLINTA ERI TYÖSTÖMENETELMILLÄ

Työn ohjaaja  
Tampere 2010

DI Esa Väliaho

Tekijä: Tea Murtoniemi  
Koulutusohjelma: Kemiantekniikka  
Työn nimi: Kumuotteiden valmistus ja laadunhallinta eri työstömenetelmillä  
Työn laajuus: 56 sivua  
Päivämäärä: 14.2.2010  
Työn ohjaaja: DI Esa Väliaho

## TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli esitellä kumitekniikan laatujärjestelmiä ja kumin työstömenetelmiä. Työssä on esitelty myös yleisimmin käytettyjä kumisekoituksia.

Työssä on ensin esitelty ruiskupuristuksen laatujärjestelmiä ja standardeja, ja lopuksi käsitelty laadun testausta ja suunnittelua. Sertifioitu laatujärjestelmä takaa yrityksen menestymisen markkinoilla, ja vain tarkka suunnittelu ja laadunvalvonta takaa laadukkaan lopputuotteen.

Kumin työstömenetelmistä on esitelty ahto-, siirto- ja suulakepuristus sekä kalanterointi ja kastaminen, mutta työ keskittyy lähinnä ruiskupuristukseen. Ruiskupuristuksesta on esitelty esivalmistelu ja ruiskupuristuskone sekä valmiin kappaleen laadunvalvonta.

Author: Tea Murtoniemi  
Degree programme: Chemical engineering  
Title: Manufacturing and quality control of rubber products with different processing methods  
Number of page: 56 pages  
Date: 14.2.2010  
Thesis supervisor: DI Esa Väliäho

## ABSTRACT

The purpose of this work was to present the quality systems of rubber technology and different rubber processing methods. The most often used rubber mixtures are also explained in the text.

First there is a description about the quality systems and standards of rubber injection molding and finally the quality testing and planning are described also. A certified quality systems guarantees the company's success in the market and only an accurate planning and quality control ensure a first-class end product.

Compression molding, extrusion, calendering and dipping are explained in the text but the work is focused mainly in rubber injection molding of which the preparation, the machine and the quality control of the finished products are examined.

## ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun kemiantekniikan insinööriyönä.

Haluan kiittää työn ohjaajana toiminutta Esa Välihoa. Lisäksi haluan kiittää Korja-Kumi Oy:n tehtaanjohtajaa Jouni Pirkkalaniemeä. Erityiskiitokset haluan osoittaa perheelleni, joka jaksoi kannustaa minua koko tämän prosessin ajan.

Orivedellä helmikuussa 2010

Tea Murtoniemi

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
ALKUSANAT .....	4
SISÄLLYSLUETTELO.....	5
1 JOHDANTO .....	7
1.1 LAATU KÄSITTEENÄ.....	7
1.2 RUIKUPURISTUS JA LAATUJÄRJESTELMÄT .....	7
2 KUMITEKNIikka .....	8
2.1 KUMISEKOITUKSET .....	8
2.1.1 Muut kumin raaka-aineet .....	8
2.1.1.1 Vulkanointiin vaikuttavat aineet .....	8
2.1.1.2 Täyteaineet .....	9
2.1.1.3 Pehmittimet .....	10
2.1.1.4 Suoja-aineet.....	10
2.1.2 Yleisimpiä kumisekoituksia .....	11
2.2 KUMIN TYÖSTÖMENETELMÄT .....	15
2.2.1 Suulakepuristus .....	15
2.2.2 Kalanterointi .....	17
2.2.3 Kastaminen.....	20
2.3 MUOTTITEKNIikka.....	20
2.3.1 Ahtopuristus .....	20
2.3.1.1 Sekoitus .....	21
2.3.1.2 Aihoiden leikkaus .....	24
2.3.2 Siirtopuristus .....	25
2.4 RUIKUPURISTUS .....	26
2.4.1 Ruiskupuristusjakson vaiheet .....	27
2.4.1.1 Muotin sulku.....	27
2.4.1.2 Ruiskutus .....	28
2.4.1.3 Jälkipaine .....	28
2.4.1.4 Annostus ja plastisointi .....	29
2.4.1.5 Vulkanointi .....	29
2.4.1.6 Muotin avaus ja kappaleen poisto .....	30
2.4.2 Ruiskuvalukone .....	30
2.4.2.1 Sulkuyksikkö.....	30

2.4.3 Ruiskutusyksikkö .....	34
2.4.3.1 Sylinterit .....	35
2.4.3.2 Kierukkaruuvit .....	35
2.4.3.3 Sulkuventtiili .....	35
2.4.3.4 Ruiskuvalusylinterin suutin .....	36
2.4.3.5 Lämmitysvastukset .....	37
2.4.4 Käyttöyksikkö .....	37
2.4.5 Ohjausyksikkö .....	38
3 LAADUNVALVONTA .....	39
3.1 RUISKUPURISTUSTUOTTEEN LAATU .....	39
3.1.1 Kappaleen ja muotin suunnittelu .....	39
3.1.2 Raaka-aineen ja työstömenetelmän valinta .....	42
3.1.2.1 Elastomeerit ja lujitteet .....	42
3.1.2.2 Tuotteen koko .....	43
3.1.2.3 Tuotteen muoto .....	43
3.1.2.4 Valmistusmäärä .....	44
3.2. VALMIIN KUMIKAPPALEEN TESTAUS .....	44
3.2.1 Kovuus .....	44
3.2.2 Vetolujuus, venymä ja moduuli .....	46
3.2.3 Repimislujuus .....	47
3.2.4 Kimmoisuus .....	48
3.2.5 Jännöspuristuma .....	49
LÄHDELUETTELO .....	51
LIITTEET .....	53

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Laatu käsitteenä (6, s. 9; 7, s. 11)

Laatu-termiä käytetään kuvaamaan esineiden, ihmisten tai prosessien haluttavuutta. Välineiden ja toiminnan ominaisuudet ovat suhteellisen objektiivisia asioita. Ne voidaan määritellä ja luetella hyvinkin tarkkaan. Subjektiiviseksi laatu muuttuu vasta, kun erilaiset käyttäjät arvioivat sitä omien tarpeidensa ja kokemustensa pohjalta. Tuottajan intressi ja tärkein kilpailukeino on tehdä tuotteensa mahdollisimman haluttavaksi. Tuottaja pyrkii luomaan tuotteeseensa sellaiset ominaisuudet, että ne tuottaisivat käyttäjälle mahdollisimman paljon lisäarvoa. Käyttäjälle koitua lisäarvo on sitä, miten erilaiset ominaisuudet tuottavat hänelle arvoa ja mitä uhrauksia ne vaativat. Markkinataloudessa avoin kilpailu pitää huolen siitä, että tuotteiden laatu paranee jatkuvasti ja eriytyy vastaamaan erilaisten asiakasryhmien tarpeita.

Laadun olemusta voidaan ymmärtää tarkastelemalla sitä eri näkökulmista. Paul Lillrank esittää 4 laatuominaisuutta, joita ovat valmistus, suunnittelu, asiakas ja ympäristö. Voidaan ajatella, että laatuun kohdistuu erilaisia vaatimuksia eri tahoilta. Nämä vaatimukset ovat laatutyön tavoitteita ja laatua arvioidaan sen perusteella, miten näiden tahojen vaatimukset täyttyvät. Valmistuskeskeinen näkemys laadusta tarkoittaa hyödykkeiden virheettömyyttä, että ne on valmistettu annettujen spesifikaatioiden mukaisesti. Laadukasta on tuotanto, joka ei tuota lainkaan virheellisiä tuotteita. Suunnittelukeskeinen laatu (eli tuotekeskeinen laatu tai tuotelaatu) tarkoittaa niitä ominaisuuksia, joita tuotteeseen rakennetaan sen käyttötarkoitusta silmällä pitäen. Tämä on siis tuotteen suunnittelijan käsitys, suunnitelma asiakkaan arvostamista tuoteominaisuuksista. Asiakaskeskeinen laatu tarkoittaa sitä, kuinka hyvin tuote menestyy siinä tarkoituksessa, jossa asiakas sitä käyttää. Suunnittelukeskeinen laatu siis realisoituu luvattuun laatuun liittyvien odotusten ja todellisten kokemusten perusteella asiakkaan kokemaksi laaduksi. Ympäristökeskeinen laatu tarkoittaa vaatimuksia, joita muut yrityksen sidosryhmät kuin asiakas asettavat yritykselle ja sen tuotteille. Vaatimus tuotteen turvallisuudesta tai kierrätettävyydestä aiheuttaa tuottajalle suunnittelu- ja materiaalikustannuksia, päästöjen vähentäminen johtaa lisäkustannuksiin.

### 1.2 Ruiskupuristus ja laatujärjestelmät (6, s. 13; 7, s. 11)

Laadunhallintajärjestelmä on toimintajärjestelmä, jossa olevat ja organisaatioon liittyvät toiminnot vaikuttavat tuotteiden ja palveluiden laatuun. Se on järjestelmällinen tapa toteuttaa yrityksen määrittelyt, tavoitteet ja suuntaukset laadun suhteen. Käytännössä se tarkoittaa yksikössä olevaa organisaatorakenteen, prosessien, menettelyjen ja resurssien muodostamaa

kokonaisuutta ja sen tehokasta johtamista. Ruiskupuristuksessa käytetään standardiparia ISO 9001:2000 ja ISO 9004:2000. Standardia ISO 9001 käytetään ensimmäisen tason suorituksen saavuttamiseksi. Standardissa ISO 9004 esitettyjä käytäntöjä voidaan soveltaa siten, että laadunhallintajärjestelmän tehokkuus kasvaa ja siten saavutetaan liiketoiminnan tavoitteet. ISO 9001 edellyttää, että yritys suunnittelee ja hallitsee laadunhallintajärjestelmän jatkuvaa parantamista varten tarvittavia prosesseja. ISO 9004 antaa tietoa, jonka avulla on helppo mennä standardin ISO 9001 vaatimuksia pidemmälle parannettaessa toimintojen tehokkuutta.

Jotkin organisaatiot voivat laajentaa hallintajärjestelmiään ulottamalla standardiin ISO 9001 perustuvan rakenteen sisältämään standardin ISO 14001, Ympäristöjärjestelmät, esittämät vaatimukset. Näiden kahden järjestelmän rakenteelliset ja organisatoriset vaatimukset on laadittu yhteensopiviksi.

## 2 KUMITEKNIikka

### 2.1 Kumisekoitukset (10)

Kumisekoitukset ovat yhden tai useamman elastomeerin ja muiden ainesosien tasa-aineinen seos, joka on valmis prosessoitavaksi. Elastomeeri antaa luonteenomaisimmat kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet kumisekoitukselle. Se on ainesosa, johon kaikki muut kemikaalit dispergoidaan. Seuraavissa luvuissa esitellään kumisekoituksen lisäaineita ja niiden tehtäviä ja myös esitellään muutamia yleisimpiä kumisekoituksia.

#### 2.1.1 Muut kumin raaka-aineet (10)

Useat lisäaineet ovat kumisekoituksissa välttämättömiä. Niillä pyritään saamaan kumisekoitukseen haluttuja prosessointiominaisuuksia, vaikuttamaan lopputuotteen ominaisuuksiin ja hintaan. Lisäaineiden lukumäärä ja osuus sekoituksessa vaihtelee. Kumituote sisältää yleensä 8 – 15 erilaista kemikaalia ja elastomeerin osuus hyvälaatuisessa sekoituksessa on 50 – 60 % tuotteen painosta. Sekoituksen lisäaineet voidaan jaotella seuraavasti: vulkanointiin vaikuttavat aineet, täyteaineet, pehmittimet, suoja-aineet, prosessiapuaineet ja muut lisäaineet.

##### 2.1.1.1 Vulkanointiin vaikuttavat aineet

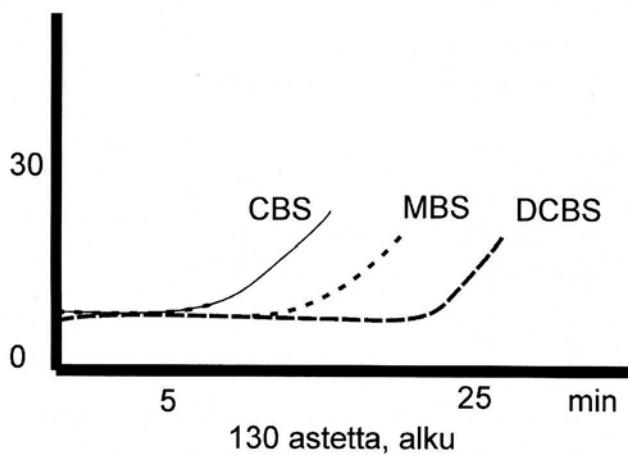
Vulkanointi tapahtuu nopeasti sen ansiosta, että useat tehokkaat aineet yhdessä osallistuvat vulkanointiin. Nämä aineet muodostavat sekoituksen vulkanointisysteemin, joka muodostuu



varsinaisesta vulkanointiaineesta, kiihdyttäjistä, kiihdyttäjien aktivaattoreista ja mahdollisesta hidastajasta. (10)

Yleisimmin varsinaisena vulkanointiaineena käytetään rikkiä, joka lämmön vaikuttaessa yhdistää polymeeriketjut kolmiulotteiseksi verkkomaiseksi rakenteeksi. Rikkiä käytetään sekoituksessa tavallisesti 1 – 3 phr (parts per hundred rubber eli sataa kumiosaa kohden). Rikkivulkanoidut kumituotteet ovat vanhetessaan väriä päästäviä, joten haluttaessa väriä päästämättömiä kappaleita on käytettävä jotain muuta vulkanointiainetta, jotka yleisesti ovat peroksiedeja. Peroksidit hajoavat lämmön vaikutuksesta vapaiksi radikaaleiksi, jotka sieppaavat polymeeriketjusta vetyä jättäen ketjuun reaktiivisen aukon. Näin syntyneet uudet polymeeriradikaalit reagoivat keskenään muodostaen vahvan hiili-hiilidoksen. (10; 8, s. 31)

Kiihdyttäjät aikaansaavat nopean vulkanoitumisen. Niiden täytyy antaa riittävästi prosessointivarmuutta, eli ne eivät saa toimia liian aikaisin. Lisäksi niillä täytyy olla hyvä varastointikestävyys sekä sellaisenaan että sekoituksessa. On tavallista, että kumisekoitus sisältää kaksi tai useammankin kiihdyttäjän samanaikaisesti. Kiihdyttäjien osuus kumisekoituksessa on yleisesti 1 – 5 phr. Kuviossa 1 on esitetty kiihdyttimien vaikutus vulkanointiin. (10; 8, s. 34)



Kuvio 1. Kiihdyttimien vaikutus vulkanointiin (2, s.90)

Aktivaattorit tehostavat kiihdyttäjien toimintaa vulkanoinnin yhteydessä. Aktivaattoreina käytetään yleisesti metallioksiedeja ja rasvahappoja, jotka yleisemmin ovat sinkkioksidi (2 – 10 phr) ja steariinihappo (1 – 4 phr). (10; 8, s. 36)

#### 2.1.1.2 Täyteaineet

Täyteaineiden merkitys vulkanointisysteemin ohella on erittäin suuri vulkanisaattien haluttujen ominaisuuksien toteuttamiseksi. Synteettisissä kumeissa täyteaineet ovat ehdottomia ja tarpeellisia. Täyteaineiden päätehtävät ovat kumisekoituksen lujittaminen, prosessoitavuuden parantaminen, lopputuotteen ominaisuuksien säätely ja hinnan alentaminen.

Noki on tärkein lujittava eli aktiivinen täyteaine antaen kumituotteille tyypillisen mustan värin. Kuminoki valmistetaan kaasusta tai öljystä polttamalla niitä happivajaasti reaktorissa. Kuminoet on luokiteltu 37 tyyppiin riippuen niiden partikkelikoon, vaikutukseen vulkanoitumisnopeuteen, rakenteen ja pintaominaisuuksien mukaan. Taulukossa 1 on esitetty noen määrän vaikutus kumiseoksen ominaisuuksiin. (10; 8, s. 26)

	<b>Pinta-ala kasvaa (hienempi noki)</b>	<b>Struktuuri kasvaa</b>	<b>Noen määrä lisääntyy</b>
<b>Sekoitus aika</b>	kasvaa	lyhenee	kasvaa
<b>Viskositeetti</b>	nousee	nousee	nousee
<b>Vetolujuus</b>	kasvaa	vähenee	ensin kasvaa, sitten vähenee
<b>Kovuus</b>	kasvaa hieman	kasvaa	kasvaa
<b>Kulutuskesto</b>	paranee	paranee hieman	ensin paranee, sitten huononee

Taulukko 1. Noen määrän vaikutus kumisekoituksen ominaisuuksiin (2, s.73)

Kumisekoituksissa käytetään myös vaaleita täyteaineita haluttaessa vaaleita tai värillisiä tuotteita. Tärkeimpiä vaaleita, aktiivisia täyteaineita ovat hienojakoiset silikaatit ja piidioksidit. Osittain passiivisina ja tai passiivisina vaaleita täyteaineina käytetään kaoliineja, liitua ja talkkia, joista liitu on halvinta. (10; 8, s. 27)

#### 2.1.1.3 Pehmittimet

Pehmittimiä käytetään alentamaan raa'an sekoituksen viskositeettia, tarttuvuutta, alentamaan kumituotteen kovuutta, parantamaan vulkanisaatin pakkasenkestävyyttä ja alentamaan kumituotteen hintaa. Mineraaliöljypehmittimiä käytetään määrällisesti eniten, koska ne ovat edullisia ja sekoittuvat monien kumityyppien kanssa. Öljyt voidaan jakaa aromaattisiin, nafteenisiin ja parafiinisiin öljyihin. (10; 8, s. 30)

#### 2.1.1.4 Suoja-aineet

Suoja-aineita käytetään estämään valmiin kumituotteen kovettumista vanhetessaan. Antioksidantit estävät hapettumisesta aiheutuvia polymeeriketjujen katkeamista. Antiotsionantit reagoivat otsonin kanssa ja muodostavat kumin pinnalle suojakalvon. Antiotsionanttien

haittapuoli on se, että ne ovat värjääviä. Vahat suojaavat kumia otsonilta, ne tiukuvat kumin sisältä muodostaen pintaan suojaavan kalvon. (10; 8, s. 30)

### 2.1.2 Yleisimpiä kumisekoituksia

Tässä luvussa esitellään yleisimmin ruiskupuristuksessa käytettäviä kumisekoituksia ja niiden ominaisuuksia. Taulukko 2 esittää kumimateriaalien ominaisuuksia ja taulukko 3 maailman elastomeerien kulutuksen vuosilta 1992 – 1998. Korja-Kumi Oy:ssä yleisimmin käytetyt kumisekoitukset ovat luonnonkumi (NR), styreenibutadieenikumi (SBR), nitrilikumi (NBR) ja eteenipropeenidieenikumi (EPDM) ja nämä kumilaadut esitellään seuraavissa kappaleissa.

Kumimateriaali	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kovuus IRII	30-90	50-90	45-80	40-70	30-90	40-90	60-80	60-99	65-95	50-80	40-90	40-90	20-80	40-90	50-90
Vetomurtolujuus max MPa	30	20	15	14	20	17,5	12,5	40	16	8	20	18	20	16	16
Murtovenymä max %	800	400	600	750	700	400	200	600	350	350	500	500	600	600	600
Max. 6 viikon jatkuva käyttölämpötila °C	+70	+90	+120	+110	+100	+100	+150	+70	+250	+250	+125	+120	+70	+150	+175
Kylmänkestävyys °C	-60	-50	-55	-50	-40	-35/55	-20	-20	-40	-90	-50	-40	-50	-60	-35
Kulutuskestävyys	4	5	4	3	4	3	2-3	5	3	1-2	1-2	4	3	1-2	2-3
Kimmoisuus (lämmössä)	5	3	3	3	4	3	4	3	2	4-5	5	3	3	5	3
Kimmoisuus (kylmässä)	5	3	3	1	4	3	2	1	2	4-5	5	3	3	5	2
Jäänneöspuristuma	3-4	3-4	3	2	2-3	3	3	2-3	3	3-4	3	2	2-3	2-3	5
Kylmänkestävyys	4-5	4-5	5	3-4	2	2-3	2	2	2	5	4	4	3	5	3
Hapettumisenkestävyys	2-3	2-3	5	4	4-5	4	5	3	5	5	4-5	5	2-3	4	4
Säänkestävyys	1-2	1-2	5	4	4	1-2	5	5	5	5	5	5	1-2	4-5	5
Otsoninkestävyys	1-2	1-2	5	4	4	1-2	5	5	5	5	5	5	1-2	4-5	5
Palovastus	1	1	2-3	1	3	1	1	3	3	2	2	3	1	2-3	1-3
Vanheneminen lämmössä	3	3	5	4	4	4	5	3	5	5	4	5	3	4-5	5
Kaasutilvyys	2-3	2-3	2	5	4	5	2	4	5	1-2	5	3	2-3	2	2-3
Veden imeytyvyys	4	4	5	5	2	5	2	3	4	3	3	3-4	4	5	4
Öljyn- ja bensiniinkesto	1	1	1	1	3	4	3-5	5	5	3 <sup>1)</sup>	4-5	2-3	3	2-3	3
Tartunta metalliin	4-5	4-5	2-3	2	4-5	2	3	5	2-3	2	3	5	4-5	3	3
Hintaindeksi	1	0,85	1,5	1,7	2	1,5	4,7	3,7	27	8,4	3,7	2,5	2,5	3,7	4

**Materiaalit:** 1. Luonnonkumi, 2. SBR-kumi, 3. EPDM-kumi, 4. Butyylikumi, 5. Kloropreenikumi, 6. Nitrilikumi, 7. Akryylikumi, 8. Uretaanikumi, 9. Fluorikumi, 10. Silikonikumi, 11. Epikloorihydriinikumi, 12. Kloorisulfonieteenikumi (Hypalon), 13. Norborneenikumi (Norsorex), 14. Propeenioksidikumi (Parel), 15. Eteeniakryylikumi (Vamac)

**Arvostelu:** 1. Huono, 2. Melko hyvä, 3. Hyvä, 4. Erittäin hyvä, 5. Erinomainen

**Huom.** (1) Bensiniinkesto = 1.

Taulukko 2. Kumimateriaalien ominaisuuksia (10)

<b>Elastomeerien kulutus (1000 tonnia)</b>				
	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1998</b>
<b>Luonninkumi</b>	5,168	5,131	5,343	6,007
<b>SBR, kiinteä</b>	2,869	2,598	2,685	3,084
<b>SBR, lateksi</b>	368	335	353	438
<b>Karboksiloitu lateksi</b>	1,311	1,393	1,445	1,691
<b>Butadieenikumi</b>	1,486	1,396	1,456	1,696
<b>EP-elastomeerit</b>	604	595	613	711
<b>Kloropreenikumi</b>	253	237	252	393
<b>NBR, kiinteä</b>	311	273	252	393
<b>NBR, lateksi</b>	58	57	58	67
<b>Muu synteettinen kumi</b>	1,744	1,49	1,569	1,918
<b>Synteettinen kumi yht.</b>	9,66	9,027	9,397	11,153
<b>Kaikki kumit yhteensä</b>	14,828	14,158	14,74	17,46

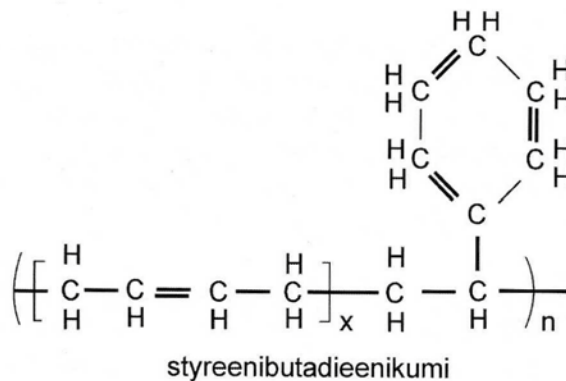
Taulukko 3. Elastomeerien kulutus (10)

Luonnonkumia saadaan kumipuusta. Kumimaito kuivataan kiinteäksi raakakumiksi eli kautsuksi. Luonnonkumi sisältää muutaman prosentin ei-kumimaisia aineksia, kuten hartseja, valkuaisaineita ja sokereita. Luonnonkumista on kehitetty erikoislaatuja tyydyttämään kumiesineiden valmistajien erikoistarpeita. Renkaiden valmistukseen käytetään Oil-Extended Natural Rubberia (OENR), joka sisältää 20 – 30 % aromaattisia öljyjä. Superior Procession Rubber (SP-kumi) sisältää 20 – 50 % vulkanoitua kautsua ja käytetään prosessiapuaineena valmistettaessa suulakepuristettuja tuotteita ja kalanteroituja levyjä. Luonnonkumin hyviä ominaisuuksia ovat muun muassa helppo työstettävyys, hyvä veto- ja repimislujuus, hyvä kulutuskestävyys, hyvä kimmoisuus. Heikkouksia luonnonkumilla puolestaan on huono sään- ja otsoninkestävyys, huono korkeiden lämpötilojen sieto ja voimakas turpoaminen mineraaliöljyissä. Taulukossa 4 on esitelty luonnonkumin käyttöalue. (10; 8, s. 7)

Tuote	Osuus kokonais-NR:n käytöstä (%)
Renkaat ja sisäkumit	70-72
Tekninen kumi Letkut, kulj.hihnat, rullat, päällysteet, tiivisteet, kiilahihnat	9-10
Lateksituotteet	7-8
Jalkineet	4-5
Konetekniikka dynaam. sovellukset, vaimentimet	3-4
Liima	1-2
Muut	2-3

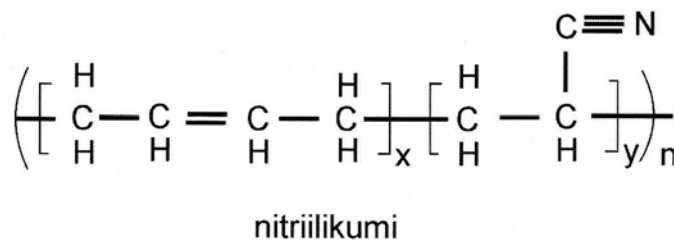
Taulukko 4. Luonnonkumin (NR) käyttökohteet (10)

Styreenibutadieenikumi valmistetaan polymeroimalla styreeniä ja butadieeniä emulsiossa. Styreenipitoisuus SBR:ssä on yleensä 23,5 % SBR ohitti kulutuksessa luonnonkumin jo 30 vuotta sitten. Erilaisia SBR-elastomeerimuunnelmia on erittäin paljon ja ne ovat tarkoin standardisoituja. SBR on halvin kumityyppi ja sen ominaisuudet ovat luonnonkumin kaltaiset. Näihin kahteen seikkaan perustuu myös SBR:n suosio. SBR:a käytetään korvamaan kokonaan luonnonkumia tai siihen sekoitettuna. SBR kestää vanhenemista ja kulumista luonnonkumia paremmin, mutta ei sovellu värillisten, pehmeiden tuotteiden valmistukseen, koska se vaatii vahvistavien täyteaineiden käyttöä. Koviin (80 – 90 shA) mustiin SBR soveltuu luonnonkumia paremmin. SBR:n käyttökohteet ovat samat kuin luonnonkumilla. Kuviossa 2 on esitetty SBR:n kemiallinen rakenne. (10; 8, s. 10)



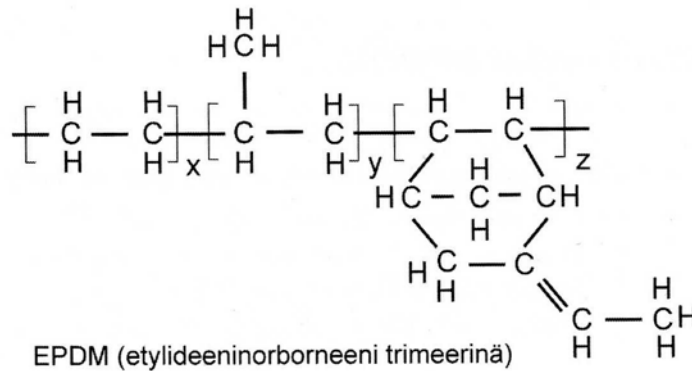
Kuvio 2. SBR:n kemiallinen rakenne (2, s.53)

Nitriilikumi (NBR) kuuluu öljynkestäviin kumeihin ja on yksi vanhimmista synteettisistä kumeista. Nitriilikumi koostuu akrylinitriilistä ja butadieenistä. Öljynkestävyys vaihtelee siten, että se paranee akrylinitriilipitoisuuden kasvaessa 18 – 48 %:iin, mutta samalla kylmänkestävyys ja kimmoisuus heikkenevät. Nitriilikumin hyviä ominaisuuksia ovat alhainen jäännöspuristuma, hyvä nestemäisten polttoaineiden, öljyjen ja liuottimien kesto ja parempi lämmönkestävyys kuin luonnonkumilla ja SBR:llä. Nitriilikumin huonoja puolia ovat heikko hapen-, otsonin- ja säänkestävyys. Öljynkestävyyden vuoksi NBR:n tyypilliset käyttökohteet ovat öljynkestävät letkut, tiivisteet, kalvot, palkeet ja telapäälysteet. Kuviossa 3 on esitetty NBR:n kemiallinen rakenne. (10; 8, s. 13)



Kuvio 3. NBR:n kemiallinen rakenne (2, s 61)

Eteenipropeenidieenikumi (EPDM) kuuluu otsonin- ja säänkestäviin kumeihin. EPDM:llä on myös hyvä lämmönkesto. Koska EPDM sisältää pienen määrän (2 – 10 %) dieeniä, se vulkanoituu myös rikillä. Tavallinen eteenipropeenikumi (EPM) vulkanoituu pelkästään peroksidilla. Rikkivulkanoinnin vuoksi EPDM:ää käytetään paljon laajemmin kuin EPM:ää. Koska EPDM:n hiilivetyketjusta puuttuvat kaksoissidokset, kestävät sen vulkanisaatit erittäin hyvin otsonia ja säätä. Lisäksi EPDM kestää kuumaa vettä ja höyryä. Sen käyttökelpoinen lämpötila-alue ulottuu -50...+150 asteeseen. EPDM turpoo voimakkaasti polttonesteissä ja mineraaliöljyissä, mutta se sietää ketoneja, estereitä, heikkoja happoja ja emäksiä. EPDM on tunkeutunut yhä enemmän luonnonkumin ja SBR:n alueille ja se on syrjäyttänyt näiden käyttöä. EPDM- kumista valmistetaan vesi- ja höyryletkuja, muotonauhoja, kaapelieristeitä ja vaippakumeja. Kuviossa 4 on esitetty EPDM:n kemiallinen rakenne. (10; 8, s. 16)



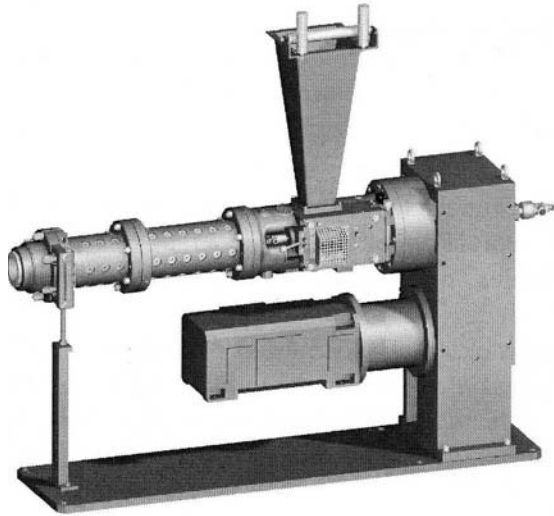
Kuvio 4. EPDM:n kemiallinen rakenne (2, s. 59)

## 2.2. Kumin työstömenetelmät (2, s. 129 – 180)

Kumituotteiden valmistamiseen tarvittavat työstömenetelmät voidaan jakaa viiteen pääprosessiin: Muottityöskentely, suulakepuristus, kalanterointi, valaminen ja kastaminen. Tässä luvussa keskitytään jälkimmäisiin menetelmiin ja muottityöskentely esitellään seuraavassa luvussa tarkemmin.

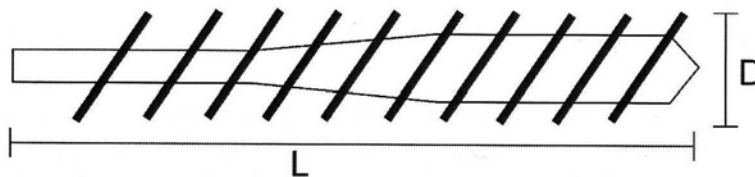
### 2.2.1 Suulakepuristus

Suulakepuristuksen eli ekstruusion tarkoitus on muuntaa raaka-aine halutun poikkileikkauksen muotoiseksi jatkuvaksi tuotteeksi. Tämä tehdään pakottamalla materiaali erityisen suulakkeen läpi valvotuissa olosuhteissa. Suulakepuristimen perusrakenne on yksinkertainen (kuvio 5). Laitteen ytimen muodostaa vaipan sisällä pyörivä ruuvi, joka kuljettaa materiaalin syöttöaukolta suuttimelle ja puristaa sen siitä läpi. Vaipassa on lämmönsäätölaitteisto ja ekstruuderin perässä moottori. (2, s.139)



Kuvio 5. Ekstruuder (2, s. 140)

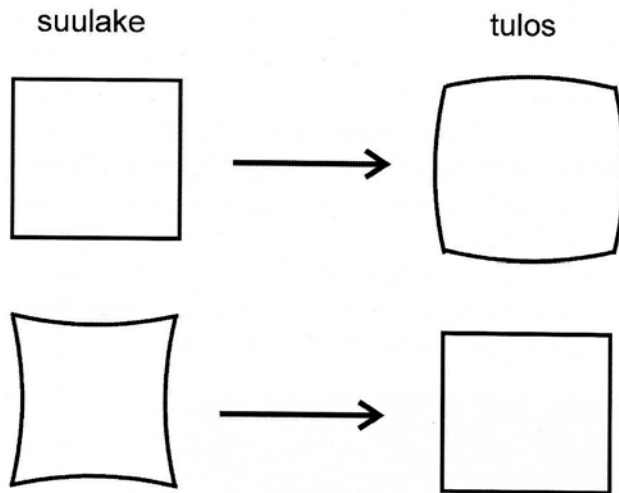
Suulakepuristimen koko ilmaistaan  $L/D$ -mittana tai  $D$ -mittana, jossa  $L$  on ruuvin pituus ja  $D$  ruuvin halkaisija (kuvio 6). Suurin osa kumin työstöön tarkoitetuista suulakepuristimista on kylmäsyöttökoneita, joihin syötetään materiaali ilman esilämmitystä. Kylmäsyöttökoneiden tyyppillinen mitta on  $16 - 18 D$ , joka on huomattavasti suurempi kuin kuumasyöttökoneiden  $10 D$ , kuumasyöttökoneita ei enää nykyään juurikaan käytetä teollisuudessa. (2, s. 141)



Kuvio 6. Kierukkaruuvi (2, s. 141)

Ruuvin ja sylinterin tehtävänä on kuljettaa materiaalia syöttöaukolta työkalulle muokaten ja lämmittäen massaa sopivaksi suuttimen läpi työstämiseen. Kun suulakepuristimesta tuleva kumimassa vapautuu suulakkeesta, se turpoaa voimakkaasti. Tämä johtuu polymeerisen materiaalin viskoelastisuudesta. Virtauksen aikana materiaaliin syntyy jännityksiä, jotka aiheuttavat massan muodonmuutoksen suulakkeessa. Massa palautuu, kun jännitys poistuu. Turpoamaa voidaan säädellä sulakkeen muotoilulla  $L/D$ -suhteen. Suulake on suunniteltava niin, että turpoaminen otetaan huomioon, jos halutaan neliönmuotoinen lopputulos, suulake itsessään täytyy olla tähtimäinen, kuten kuviossa 7 on esitetty. (2, s. 142)





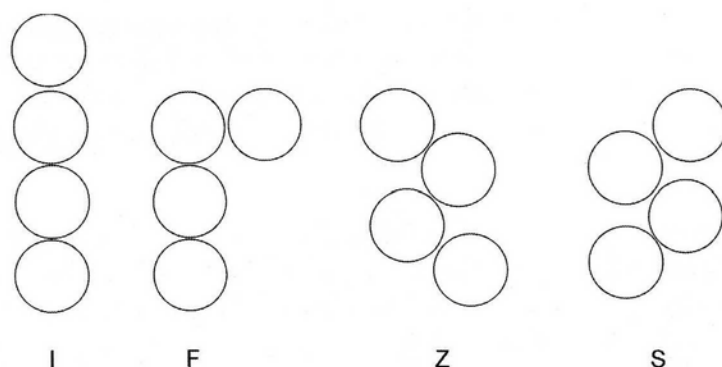
Kuvio 7. Suulakkeen muodon vaikutus kappaleen muotoon (2, s. 150)

Suulakepuristimia on erilaisia. Yleisimmät niistä ovat vakuumiekstruuderit, pin-ekstruuderit, sekoittava ekstruuderit ja kaksoisruuvi-ekstruuderit. Vakuumiekstruuderissa on kolme lyhyttä ruuvia peräkkäin. Ensimmäisestä ruuvista vapauduttuaan massa joutuu syöttövyöhykkeeseen, jossa kanavatilavuus on suuri. Tällöin savumaiset kaasut vapautuvat ja ne imetään vakuumpumpulla pois. Sen jälkeen massa puristetaan lopulliselle ulostyöntövyöhykkeelle ja ulos suulakkeesta. Näin vähennetään lopputuotteen huokoisuutta. Pin-ekstruuderissa koneeseen laitetaan puikkoja, jotka ylettyvät aina vaipasta ruuvin runkoon asti. Puikot vähentävät massan ruuvinsuuntaista pyörimistä ja liikuttavat sitä paremmin eteenpäin. Kaksoisruuvipuristimessa pyörii kaksi ruuvia rinnakkain. Kaksoisruuvikoneita käytetään käsiteltäessä hyvin huonosti virtaavia tai helposti hajoavia materiaaleja. (2, s. 152)

### 2.2.2 Kalanterointi

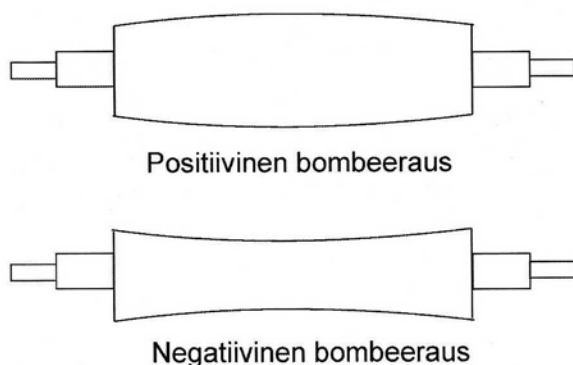
Kalanteri on laitteisto, jossa on useita teloja samassa kehyksessä. Pyörivää telastoa käytetään, kun kumista tehdään ohuehkoa levyä tai kalvoa. Toinen tärkeä kalanterin käyttökohde on tekstiilin päällystäminen kumilla. Kalanteroinnilla saadaan tehtyä myös erilaisia aihioita jatkojalostus prosesseihin. Kalantereita on erilaisia ja ne erotetaan toisistaan telojen lukumäärän ja sijainnin mukaan. Yksinkertaisin kalanteri on kaksitelainen perinteinen sekoitusvalssi. Kaksitelaisen kalanterin käyttö rajoittuu lähinnä karkean kumilevyn tekoon, sillä hyvän pinnan aikaansaamiseksi tarvitaan enemmän työtä kuin, kaksitelakalanterissa voidaan

tehdä. Yleisimmät kalanterit ovatkin kolmi- tai nelitelaisia. Telojen lukumäärän lisääminen parantaa pintojen sileyttä. Viimeisen kidan toinen tela voi olla kuvioitu, jos levyyn halutaan esimerkiksi kengän pohjakuvio. Telojen keskinäisen sijoittelun mukaan erotetaan I-, F-, S- ja Z-tyyppiset kalanterit kuten kuviossa 8. on esitetty. (2, s. 160)



Kuvio 8. Kalanterityypit (2, s. 161)

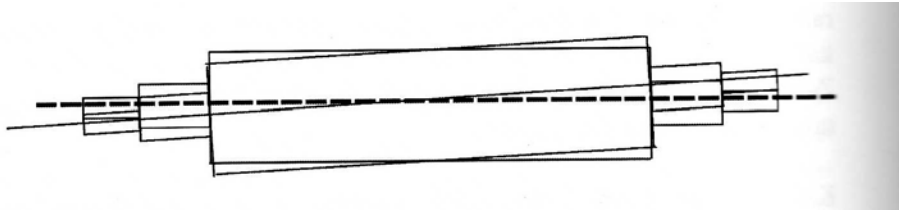
Kalanterin telat ovat kokillivalettua rautaa. Ne ovat sisältä onttoja ja usein muodoltaan bombeerattuja eli muotoiltuja estämään taipumaan. Normaali bombeeraus kolmitelaisessa kalanterissa on sellainen, että ylätela on positiivinen, keskitela suora ja alatela negatiivinen. Bombeerauksen periaate on esitetty kuviossa 9.



Kuvio 9. Bombeerauksen periaate (2, s. 161)

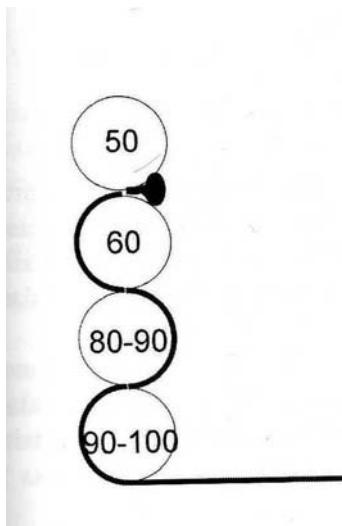
Kun kumia syötetään kahden ylimmän telan väliseen rakkoon, se taivuttaa ylätelaa ylöspäin ja keskitelaa alaspäin. Kun bombeeraukset ovat oikein, ovat kalanterin molemmat raot taipumista huolimatta suorat. Jos bombeeraus on kiinteä, kalanterilla voidaan ajaa optimaalisesti vai yhtä tuotetta, sillä jäykät seokset taivuttavat teloja eri tavalla kuin pehmeät. Erilaisten kumisekoitusten tasainen kalanterointi voidaan kuitenkin toteuttaa kääntämällä teloja toisiinsa

nähdén pituussuunnassa (kuvio 10). Tämä vaikuttaa samalla tavalla kuin positiivinen bombeeraus. Toinen nykyaikainen ratkaisu on telojen taivuttaminen hydraulisesti tarvittava määrä, joka käytännössä on vain millimetrin sadasosia. (2, s. 162)



Kuvio 10. Kalanterin telat (2, s. 162)

Telojen sisälle voidaan johtaa höyryä ja vettä toisiinsa sekoitettuna, jotta saadaan sopiva lämpötila. Koska telat ovat suhteellisen massiivisia, on kalanterin lämpötilan muuttaminen hidasta. Yksi aste minuutissa on tyypillinen nopeus. Kalanteroinnissa on pyrittävä mahdollisimman alhaisiin työstölämpötiloihin. Pelkän kumin kalanteroinnissa lämpötila nousee telasta toiseen 10 – 20 asteen hyppäyksin. Esimerkiksi nelitelakalanterin lämpötilat teloilla syötöstä lukien ovat n. 50, 60, 80 – 90 ja 90 – 100 astetta (kuvio 11). Liian alhaiset lämpötilat aiheuttavat kuitenkin niin kutsuttua kylmävikaa, joka näkyy levyn pinnassa materiaalin virtauskuviaina.



Kuvio 11. Kalanterin telojen lämpötilat (2, s. 165)

Kalanteroinnin tarkkuusvaatimus riippuu siitä, mitä tarkoitusta varten kalanterointi tehdään. Jos levy itsessään on lopputuote, sen on oltava sileä ja tasapaksu. Jos taas levystä leikataan aihioita muottipaistoon, voi tarkkuus ja tasaisuus olla heikompiäkin. (2, s. 165)

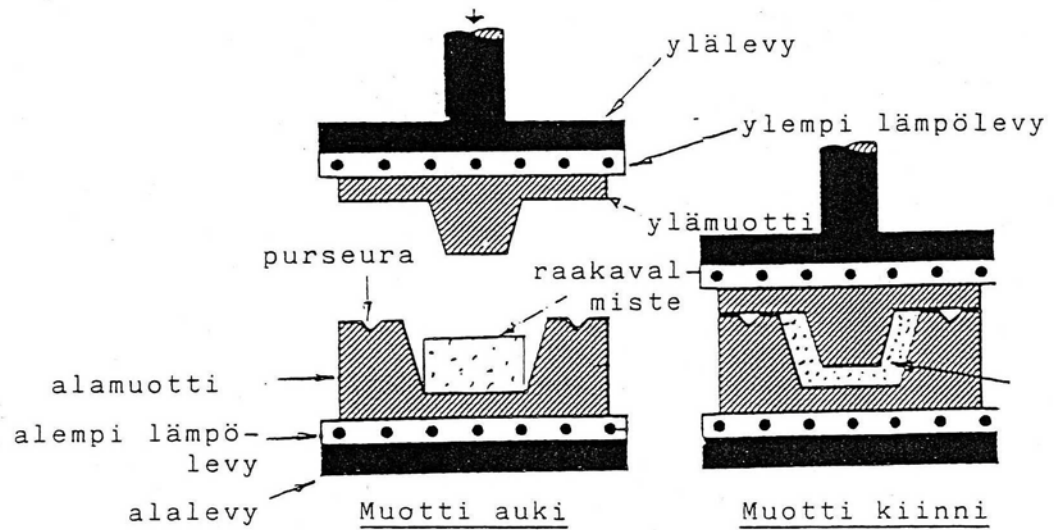
### 2.2.3 Kastaminen

Ohuet kumituotteet, kuten ilmapallot, kumihansikkaat, kondomit sekä tutit valmistetaan kastamalla sopiva sisäpuolinen muotti kumilateksiin. Prosessissa muotti kastetaan ensin koaguloitiliuokseen ja sen jälkeen varsinaiseen lateksiin. Kun muotti nostetaan liuoksesta, sen pinnalle on saostunut ohut kalvo kumia. Lateksi voidaan tehdä myös lämpöherkäksi, jolloin lämpimän muotin pinnalle vulkanoituu kumia ilman koaguloitainaitakin. Kalvon paksuutta säädellään kastokertojen lukumäärällä tai lämpöherkän lateksin kohdalla kastoajan pituudella. Lopuksi tuote vulkanoidaan autoklaavissa. Lateksiliuokseen on lisätty ne kemikaalit, joita tarvitaan tuotteen vulkanoitumiseen ja suojaamiseen. Lopuksi tuote riisutaan muotilta ja tarvittaessa viimeistellään. (2, s.174)

## 2.3 Muottitekniikka

### 2.3.1 Ahtopuristus (2, s. 129)

Ahto eli tasopuristus on yksinkertaisinta muottituotteiden valmistusta. Kuviossa 12 esitetään ahtopuristuksen periaate. Muottiin ruiskutetaan tarttumisenestoainetta, jotta kumi ei tartu muottiin ja tahraa sitä. Muottiin asetetaan tarvittava määrä raakaa kumimateriaalia ja muotti suljetaan. Optimaalisin täyttöaste on noin 105 – 110 %. Muu ylitäyttö on liikaa. Muotissa on purseurat, joihin kaasua ja ylimäärä kumia virtaavat. Muotti on yksinkertaisimmillaan kaksiosainen: siinä on ylä- ja alaosa. Suljettu muotti laitetaan puristimeen, jossa on lämmitettävät ylä- ja alalevyt. Puristimessa on myös tarvittava hydraulikka, jolla muotti saadaan suljettua paineeseen. Puristimen ylä- ja alalevyt ovat joko sähkö- tai höyrylämmitteisiä. Levyjen tasainen lämpiäminen on syytä tarkistaa usein, sillä jos levyt eivät lämpiä tasaisesti, myöskään kappaleet eivät vulkanoidu tasaisesti. Kappaleiden vulkanointiaika riippuu kappaleen koosta ja muodosta. Pienet kappaleet vulkanoituvat muutamassa minuutissa, mutta suuret kappaleet vaativat jopa tunteja. Kun kappale on täysin vulkanoitunut, puristin ja muotti avataan ja kappale poistetaan muotista. Kappaleen poistotapa valitaan kappaleen muodon ja koon mukaan. Poisto tapahtuu työntämällä, vetämällä tai paineilmalla, kuitenkin kappaletta rikkomatta tai muottia naarmuttamatta.



**Kuva 1.** Ahtopuristuksen periaatepiirros

#### Kuvio 12. Tasopuristuksen toimintaperiaate (10)

Ahtopuristuksen etuja ovat yksinkertaiset laitteet ja muotit. Tasopuristamalla voidaan valmistaa kappaleita myös huonosti virtaavista materiaaleista suhteellisen helposti. Myös erilaisten komponenttien liittäminen toisiinsa on mahdollista, muotissa voidaan esimerkiksi laminoida lujitekerros kumin sisään. Ahtopuristus on kuitenkin pääasiassa käsityötä ja vaatii paljon esivalmisteluja, kuten sekoitusta ja aihoiden leikkaamista. Nämä nostavat ahtopuristuksen kustannuksia ja yleensä ahtamalla valmistettavien tuotteiden sarjat ovatkin pienehköjä.

##### 2.3.1.1 Sekoitus (2, s. 116)

Ahtopuristuksen esivalmisteluihin kuuluu kumin sekoitus. Sekoituksen tehtävänä on saada kumi tasa-aineiseksi eli homogeeniseksi. Yleensä sekoitus tapahtuu sekoitusvalssilla tai kammiosekoittajalla. Sekoitusvalssin etuna on valmis kumilaatta, joka voidaan tehdä halutun paksuiseksi ja se saadaan suoraan valssin telalta. Kammiosekoittaja on edullisempi käytössä, kun sekoitustarve on suuri.

Sekoitusvalssissa on vierekkäin kaksi telaa, jota pyörittävät vastakkain suuntiin. Telojen välissä olevaa etäisyyttä voidaan säätää. Telat ovat lämmitettäviä, se tapahtuu yleensä veden ja höyryn sekoituksella, joka kiertää valssin vaippaan poratuissa kanavissa. Valssiteloja pyörittää

suurikokoinen moottori. Tyypillisen tuotantovalssin telapituus on 1,5 m ja telojen halkaisija 0,5 m. Sekoitusvalssien pinnat ovat sileitä.

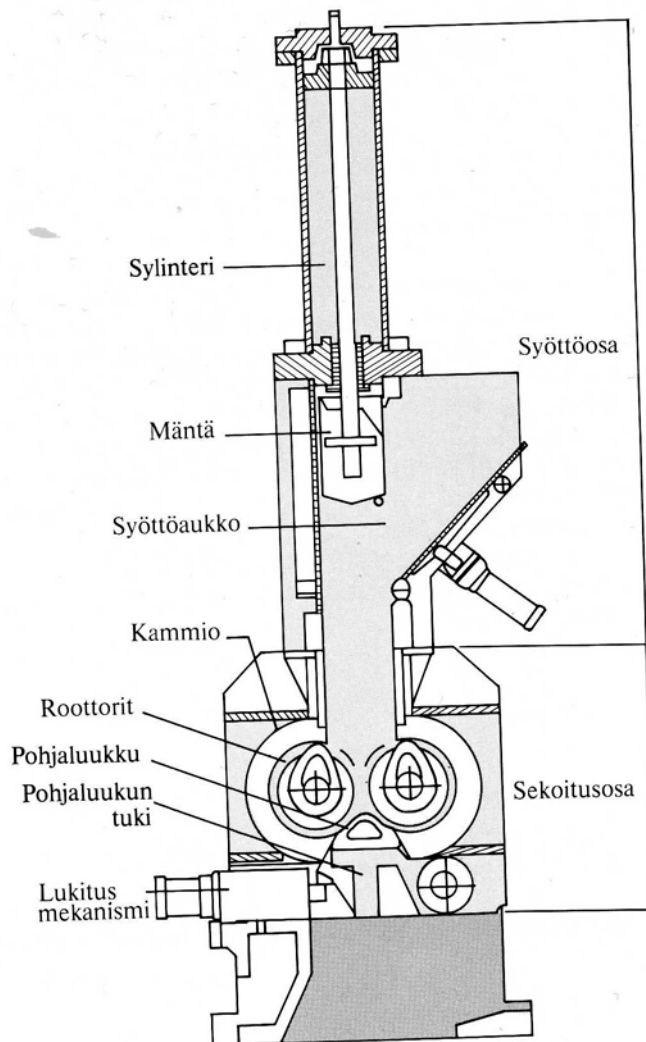
Kun valssilla sekoitetaan kumia, säädetään telojen välinen rako hyvin pieneksi. Telojen pyöriessä aletaan syöttää kumia, joka jää pyörimään levyksi etutelalle. Alussa kumilevyn tulemistä telojen välistä voi joutua auttamaan käsin. Kun etutelalla pyörii tasainen kumilevy, telojen välimatkaa muutetaan niin, että syöttöraossa on selkeä palko (kuvio 13). Palko eli vulsti on valssauksen pääasiallinen tarkoitus, sillä siinä tapahtuu elastomeerien pilkkoutuminen eli mastisoituminen. Jos rako on liian pieni, kumi kerääntyy raon ylle epätasaiseksi kasaksi. Jos taas rako on liian suuri, elastomeerit kulkeutuvat siitä läpi ja sekoittumista ei tapahdu. Jotta elastomeeri sekoittuisi tasaisesti, telalla oleva levy leikataan puukolla toisesta reunasta melkein poikki ja taitetaan uudestaan telalle. Tätä toistetaan kummastakin reunasta noin 4 – 5 kertaa. Kun kumilevy on halutun paksuinen ja tarpeeksi pehmentynyt ja elastomeerit sekoittuneet, kumilevy leikataan puukolla telan mukaisesti poikki ja vedetään telalta pois odottamaan jatkotoimenpiteitä.



Kuvio 13. Sekoitus valssi (11)

Kammiosekoitinta (kuvio 14) käytetään yleensä silloin, kun sekoituksen määrä on suuri. Kone on tehokas ja pitkälle automatisoitu. Koneessa on syöttöluukku, josta elastomeeri syötetään. Syöttöluukusta kumi putoaa kammioon, jossa on muotoillut roottorit. Syöttöluukun sulkee ja tiivistää männän avulla sulkeutuva kansi. Kammion alaosassa on pudotusluukku, joka avataan, kun sekoitus on valmis. Syöttöluukku, kammio ja pohjaluukku ovat lämpötilakontroloituja, jolloin niitä pystytään jäähdyttämään. Sekoituksen valmistuminen todetaan joko lämpötilan tai ajan funktiona. Roottoreita pyörittää sähkömoottori, jonka teho on 1000 – 200 kW.

Sekoituskammion suositeltava täyttöaste on 70 %. Tällöin sekoittuminen tapahtuu kunnolla. Männän paineen lisääminen lyhentää sekoitusaikaa mutta nostaa lämpötilaa. Sekoitettavan massan lämpötila ei saisi nousta yli 150 asteen, muuten se voi vulkanoitua. Sekoitustapahtuman aikana seurataan aikaa, energiankulutusta ja lämpötilan kehitystä. Lämpötilasta ja energian kulutuksesta päätellään, milloin sekoitus on valmis. Kammiosekoittajalla sekoitus tapahtuu huomattavasti nopeammin kuin sekoitusvalssilla.



Kuvio 14. Erätoiminen sekoituskone (5, s. 39)

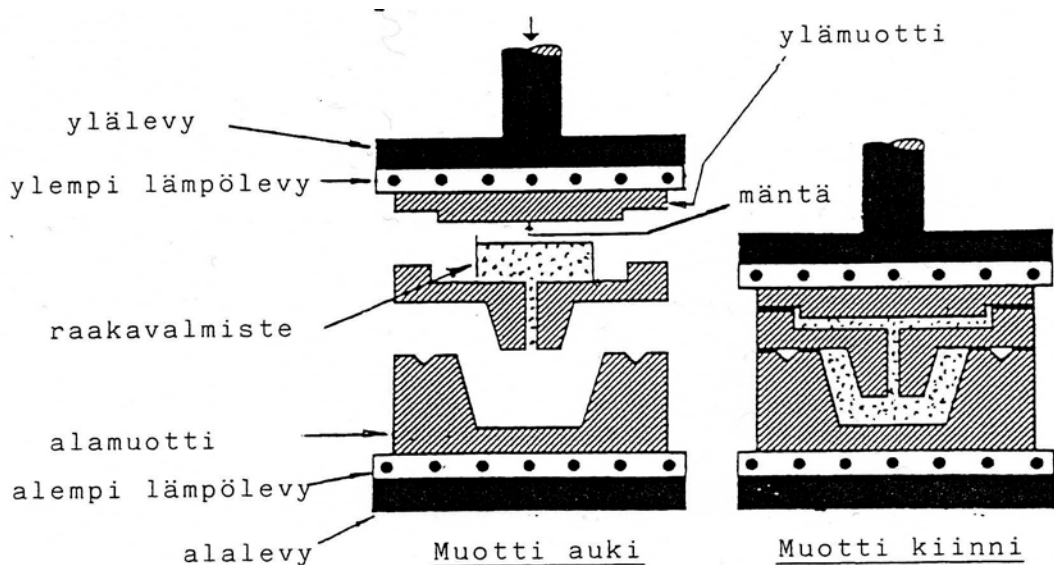
### 2.3.1.2 Aihoiden leikkaus (11)

Sekoitetusta kumilevystä leikataan sopivia aihioita muottiin. Muotin mallista riippuen se tapahtuu stanssilla, kuumakolvilla tai puukolla. Stanssilla saadaan helposti määrämittäisiä aihioita. Kuumakolvilla saadaan leikattua isoja aihioita käsimitalla ja puukolla saadaan leikattuja pieniä osia pehmeästä kumilaatasta. Aihiota asetetaan muottiin käsin.



## 2.3.2 Siirtopuristus (2, s. 132)

Siirtopuristus eli mäntäpuristus on hieman pidemmälle viety menetelmä kuin ahtopuristus. Systeemissä on kammio, johon raaka-aine laitetaan. Kammiosta johtaa kanavat varsinaisiin muottipesiin, joihin materiaali virtaa muottipaketin sulkeutuessa puristimessa paineeseen. Siirtopuristuksessa muotin täytyy olla vähintään kolmiosainen: pohjakappale, välikappale ja kansiosa. Pohjakappaleessa on muottipesät. Välikappaleen alapinnassa voi olla muottipesiin liittyvää muotoilua ja yläosassa tilaa kumisekoitukselle. Väliosan läpi on porattu ruiskutuskanavat muottipesiin. Kansiosassa on mäntämuotoilu, jolla väliosan täyttötillassa oleva sekoitus puristetaan kanavien kautta muotteihin (kuvio 15). Tämä prosessi edellyttää kumisekoitukselta kohtalaisen hyviä virtausominaisuuksia paineen alaisena. Tätä varten täyttömateriaalia esilämmitetään. Esilämmityksen etuna on vulkanointiajan lyheneminen. Siirtopuristus täyttää muottipesät tasaisesti ja hukkakumin määrä on pieni, tosi kaasunpoistosta on muistettava huolehtia hyvin.



Kuva 2.

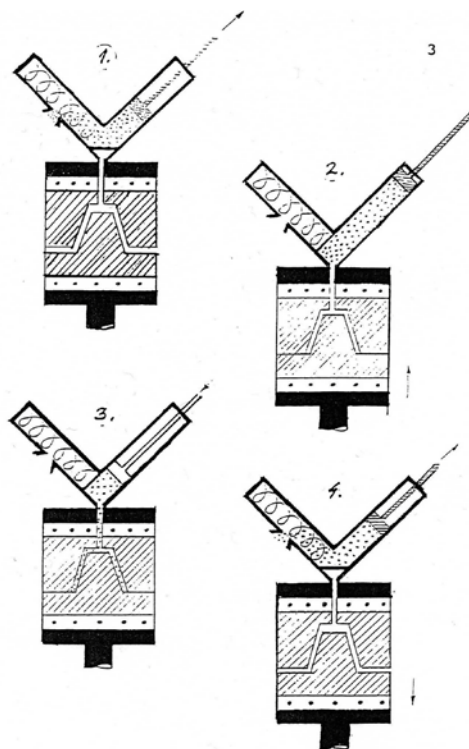
## Siirtopuristuksen periaatepiirros

Kuvio 15. Siirtopuristuksen toimintaperiaate (10)

Siirtopuristuksen etuna on, että ahiomuotoilua tarvitaan paljon vähemmän kuin ahtopuristuksessa. Myös kumi-metallituotteiden sidos on parempi, koska kumi puristuu tuoreena liimapintaa vasten. Siirtopuristuksen huonona puolena ovat ahtopuristusta monimutkaisemmat ja kalliimmat muottirakenteet. Siirtopuristamalla tehtyihin tuotteisiin ei voi lisätä lujitteita, mikä taas on tasopuristuksen etu. Nopeudeltaan prosessi on samaa luokkaa kuin tasopuristus, joten kovin suurien sarjojen tekeminen ei ole kannattavaa.

## 2.4 Ruiskupuristus (1, s. 47 – 112; 2, s. 133 – 136)

Ruiskupuristus on muottituotannon kehittynein muoto. Ruiskupuristuksen toimintaperiaate on esitetty kuviossa 16. Tässä luvussa esitetään ruiskupuristusprosessi ja ruiskupuristuskoneen tärkeimmät osat. Ruiskupuristuksen hyviä puolia ovat seuraavat: aihioita ei tarvitse käsitellä, monimutkaisten muottien täyttäminen on helppoa, vulkanointiajat ovat lyhyet ja prosessi voidaan helposti automatisoida. Huonoina puolina mainittakoon laitteiston ja muottien kalleus ja hukkakumin suuri määrä. Ruiskuvaluprosessilla ja erityisesti sen hallinnalla on merkittävä vaikutus ruiskuvalukappaleen laatuun: pinnanlaatuun, muotoon ja raaka-aineen ominaisuuksiin. Muotti, johon kappale valetaan, on erittäin tärkeä koska muottisuunnittelussa tapahtuneita virheitä ei voida enää prosessissa korjata. Toisaalta taas hyvällä muotilla tehty kappale voidaan pilata väärin tehdyllä prosessilla. Muotin ja kumituotteen suunnittelusta kerrotaan enemmän luvussa 4.2.1.



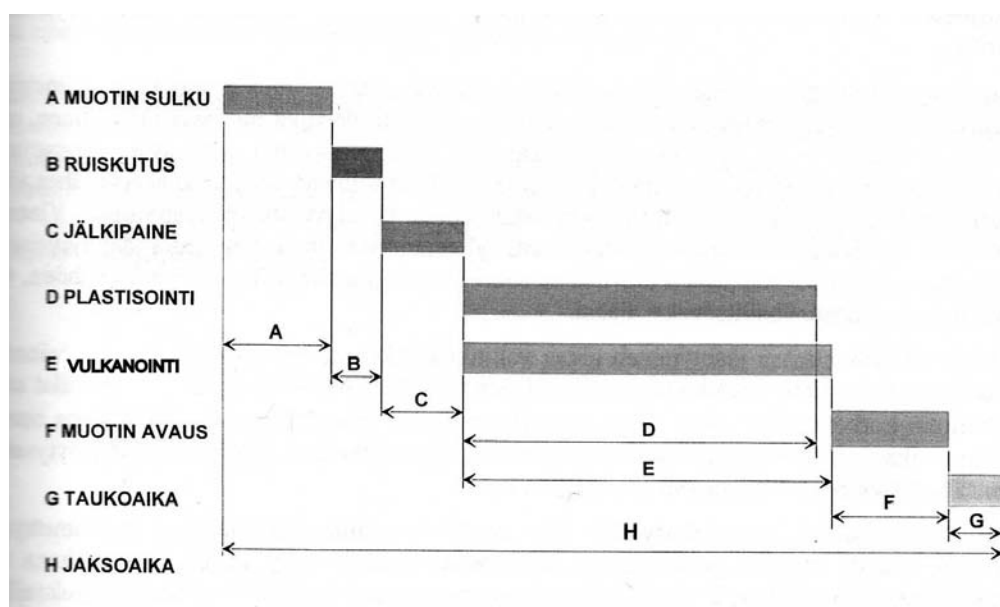
1. Materiaali siirretään ruuvin avulla injektiosylinteriin.  
Mäntä liikkuu perusasentoon.  
Muotti auki.  
Injektiosuutin on suljettu.
2. Mäntä perusasennossa.  
Injektiosylinteri on täynnä kumia.  
Ruuvi on suljettu.

- Suutin on auki.  
Muotti on kiinni.
3. Mäntä työntää materiaalin muottiin.  
Vulkanointi tapahtuu.
  4. Sama tapahtuma, kuin kuviossa 1.

Kuvio 16. Ruiskupuristuksen toimintaperiaate (10)

## 2.4.1 Ruiskupuristusjakson vaiheet (1, s. 47 – 50)

Ruiskupuristusjakso voidaan jakaa useisiin osiin, jotka tapahtuvat paitsi peräkkäin myös limittäin. Karkeasti ruiskuvalujakso voidaan jakaa kolmeen osaan: muotin, sulkeminen, muotin täyttäminen ja muotin avaamiseen sekä samalla kappaleen poistamiseen muotista. Paremmän käsityksen ruiskupuristusjaksosta saa, kun jakaa sen seuraaviin osiin: muotin sulku, ruiskutus, jälkipaine, plastisointi, vulkanointi, muotin avaus, tauko-aika, jaksoaika (kuvio 17) Seuraavissa luvuissa syvennyttään näihin vaiheisiin.



Kuvio 17. Ruiskupuristusjakson jakautuminen erivaiheisiin (1, s. 47)

## 2.4.1.1 Muotin sulku

Muotin sulkemislake on alussa nopea, mutta hidastuu lopussa, kun muotin jakopinnot ovat hyvin lähellä toisiaan. Jos muotti suljetaan liian suurella nopeudella, voi muotti rikkoutua. Muotin

sulkemisen loppuvaiheessa on myös hyvä käyttää varmistuspainetta, ettei muotti vahingoittuisi, jos muotin välissä on edellisestä kappaleesta jääneitä osia tai muuta roskaa.

#### 2.4.1.2 Ruiskutus

Ruiskutus kytkeytyy jälkipaineelle. Ruiskutettavan materiaalin ja valmistettavan kappaleen muodon mukaan tämä kestää sekunnin kymmenesosista aina useimpiin sekunteihin. Ruiskutusvaiheella täytetään yleensä 95 % muotin tilavuudesta. Yleensä käytetään kierukkaruuvien nopeussäätöistä ohjausta, jolloin ruuvien liike pakottaa massan virtaamaan määrättyllä nopeudella, joka voidaan jakaa useampaan portaaseen koneesta riippuen. Virtausprofiili on säädettävä raaka-aineelle ja muotin täyttymiselle sopivaksi.

Ruiskutuksen tulee olla niin nopea, kuin se käytännössä on mahdollista. Yleensä ruiskutus aloitetaan suurella nopeudella, mutta ruiskutuskanavien täytyessä nopeutta hidastetaan, jotta muottipesät täyttyvät tasaisesti. Ruiskutusnopeutta on hyvä laskea loppuvaiheessa myös siksi, että vältyttäisiin hallitsemattomalta paineiskulta vaihdettaessa ruiskutusaineelta jälkipaineelle.

Ruiskutusnopeus on optimaalinen, kun se aiheuttaa mahdollisimman pienen ruiskutusaineen tarpeen. Massasulan lämmön tulisi olla vakio koko ruiskutusvaiheen ajan, muutoin se näkyy kappaleen pinnanlaadussa. Suuri paine aiheuttaa lämmön nousua massassa johtuen massan sisäisestä kitkasta, joka kasvaa ruiskutusaineen kasvaessa. Ruiskutusaine ei ole vakio. Ruiskutusaine kasvaa muotin täytyessä. Ruiskutusaineen tulee olla riittävän suuri, jotta muotti täyttyy, mutta ei sen suurempi. Ruiskutuksen säätöä ei tulisi tehdä paineen avulla.

#### 2.4.1.3 Jälkipaine

Jälkipainetta käytetään pääasiallisesti muoviteollisuudessa, mutta sitä käytetään myös kuminruiskupuristuksessa tietyillä konetyypeillä, esimerkiksi Maplanilla. Tämän vaiheen aikana ruuvien liike on hidas. tarkoituksena on täyttää se pieni osa (5 %) muottipesän tilavuudesta, joka ruiskutusvaiheessa jäi täyttämättä. Toinen vaiheen tärkeä tehtävä on kompensoida kumin vulkanoitumisesta johtuvaa tilavuuden muutosta eli muottikutistumaa, joka kumilla on n. 2 %. Jälkipaine vaikuttaa suuresti mittatarkkuuteen, kappaleen sisäisiin jännityksiin sekä kappaleen painoon. Jos jälkipaine jää liian lyhyeksi tai se jää puuttumaan kokonaan, on seurauksen pinnan epätasaisuutta, kuplia ja kieroutumista.

Jälkipaine säädetään painesäätönä, joka koneesta riippuen on jaettu 5 – 10 portaaseen. Jälkipaineen taso asetetaan raaka-aineelle ja kappaleelle sopivaksi, jolloin minimoidaan kappaleen kutistuman ja kieroutumisen aiheuttamat muutokset. Jälkipaineen profiili on usein

aleneva. Tällä pyritään siihen, että kappaleen jäännösjännitykset olisivat mahdollisimman pienet.

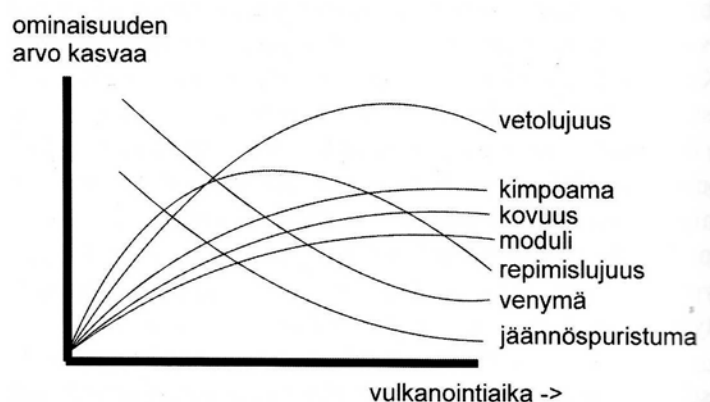
Paineen vaihdon ruiskutuspaineealta jälkipaineelle tulisi tapahtua sellaisessa kohdassa, ettei muottiin kohdistuisi suurta painepiikkiä tai mittavaa paineen alenemaa. Painepeikki syntyy, kun vaihdetaan ruiskutuspaineealta jälkipaineelle liian myöhäisessä vaiheessa. Tämä aiheuttaa kappaleelle jännityssäröjen vaaraa, purseita ja kappaleen irrottamisongelmia. Paineen alenema muotissa johtuu taas siitä, että ruiskutuspainee on vaihdettu jälkipaineelle liian aikaisin. Tämä puolestaan aiheuttaa kappaleelle jännityssäröjen vaaraa, imuja kappaleen pinnassa, onteloita ja pintavikoja.

#### 2.4.1.4 Annostus ja plastisointi

Tässä jaksossa ruiskuvalukone plastisoi eli muuntaa materiaalin juoksevaksi sitä lämmittämällä uuden annoksen sylinteriin. Optimaalinen plastisointi kestää lähes yhtä kauan kuin vulkanointiaika ja päättyy vasta vähän ennen sen loppumista. Kumi ei myöskään saa seistä sylinterissä liian pitkään tai se vulkanoituu ja muuttuu sen tähden mahdottomaksi ruiskuttaa. Yleensä plastisointi on mahdollista tehdä huomattavasti lyhyemmässä ajassa, kuin vulkanointi kestää. Jos valmistettavan kappaleen tilavuus on suuri koneen plastisointikapasiteettiin nähden, voi plastisointiaika muodostua hallitsevaksi ajaksi.

#### 2.4.1.5 Vulkanointi

Vulkanoinnissa kumiseos muutetaan plastisesta ja muokattavasta massasta elastiseksi materiaaliksi muodostamalla siihen kolmiulotteinen verkko, jossa elastomeeriketjut kemiallisesti sidotaan toisiinsa. Tuotteen ominaisuudet eivät riipu pelkästään käytettävästä raaka-aineesta, vaan myös vulkanoinnissa syntyvän verkkorakenteen laadusta. Verkkoutumistiheydellä tarkoitetaan poikkisidosten lukumäärää tiettyä yksikköä kohden. Vulkanointi vaikuttaa kumin fysikaalisiin ominaisuuksiin (kuvio 18). Vulkanoidun kumin kovuus ja moduuli kasvavat verkkoutumistiheyden kasvaessa. Repimislujuus, väsymisenkesto, sitkeys ja vetolujuus kasvavat aluksi tiheyden lisääntymisen myötä, mutta saavutettuaan maksimiavonsa ne alkavat laskea, vaikka verkkoutumistiheys vielä kasvaisikin. Vulkanointiaika riippuu tuotteen koosta. Pienten kappaleiden vulkanointiaika voi olla vain sekunteja, mutta joidenkin kappaleiden useita kymmeniä minutteja. Tästä syystä vulkanointiaika yleensä hallitsee ruiskuvalukappaleiden jaksoaikaa. Vulkanointiaika riippuu myös lämpötilasta. Vulkanoinnin lämpötilavakio on 2. Kun lämpötilaa lasketaan 10 asteella, tarvittava aika kaksinkertaistuu ja kun lämpötilaa nostetaan 10 asteella, aika puolittuu.



Kuvio 18. Vulkanoinnin vaikutus kumin fysikaalisiin ominaisuuksiin (2, s. 84)

#### 2.4.1.6 Muotin avaus ja kappaleen poisto

Kun vulkanointiaika on kulunut umpeen, muotti aukeaa ja kappale poistetaan muotista joko automaattisesti esim. harjoilla tai manuaalisesti käsin.

#### 2.4.2 Ruiskuvalukone (1, s. 92 – 112)

Ruiskuvalukoneen tehtävänä on avata ja sulkea muotti, kehittää riittävä sulkuvoima, joka pitää muotin puolikkaat yhdessä, ruiskuttaa plastisoitu materiaali muottiin ja plastisoida uusi annos seuraavaa muotin täyttämistä varten. Ruiskuvalukoneet jaotellaan yleensä sulkuvoiman, ruiskutuspaineen tai ruuvikoon mukaan (Taulukko 4). Yleisesti ruiskuvalu kone jaetaan neljään toiminnalliseen kokonaisuuteen: sulkuyksikkö, ruiskutusyksikkö, käyttöyksikkö ja ohjausyksikkö. Näihin tutustutaan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

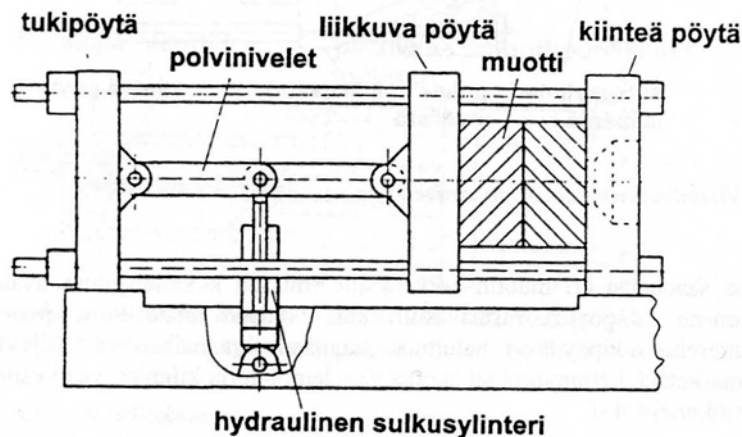
Sulkuvoima	200 – 100 000 kN
Ruiskutuspain	120 – 250 MPa
Ruuvien halkaisija	18 – 120 mm

Taulukko 4. Ruiskuvalukoneiden jaottelu (1, s. 93)

#### 2.4.2.1 Sulkuyksikkö

Sukuyksiköitä on sekä johteellisia sekä johteettomia. Johteellisessa sulkuyksikössä muotti on saatava asennettua johteiden väliin, mikä saattaa olla ongelmallista. Johteettomissa malleissa tätä ongelmaa ei ole. Johteettomien sulkuyksiköiden suosio on kasvanut, mutta kuitenkin valtaosa sulkuyksiköistä on johteellisia muun muassa siitä syystä, että tukevan rungon tekeminen ilman johteita nostaa jopa 30 % sulkuyksikön painoa. Sulkuyksikkö on yleensä koneen kookkain osa. Sulkuyksiköitä on sekä mekaanisia (kuvio 19) että hydraulisia (kuvio 23).

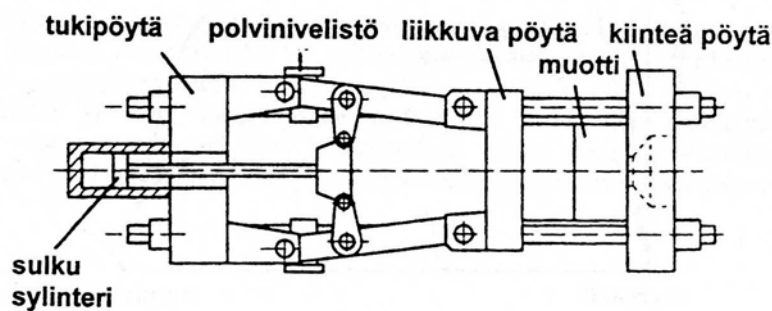
Mekaanisissa sulkuyksiköissä sulkemis- ja avaamisliikkeet saadaan aikaiseksi erilaisilla niveltankosysteemeillä. Pienissä koneissa (sulkuvoima alle 500 kN) käytetään yleensä kahden niveltangon tai niveltankoparin mekanismia, jota käyttää niveleen yhdistetty hydraulisylinteri. Tämän systeemin hyviä puolia ovat yksinkertaisuus ja halpa hinta, mutta huonona puolena on sen huono mekaaninen stabiilisuus. Tällä systeemillä ei voida tehdä suuria muotin avaamisliikkeitä ja muotin avaamisnopeus on suurin vasta liikkeen loppupuolella.



*Yksinkertainen polvinivelkoneisto.*

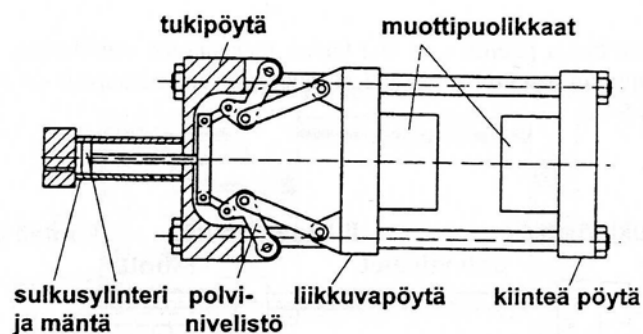
Kuvio 19. Mekaaninen sulkuyksikkö (1, s. 95)

Keskisuurissa ja suurissa koneissa (sulkuvoima yli 500 kN) käytetään kaksoispolviniveliä (kuviot 20 – 21). Niitä käyttää useimmiten koneiston keskiviivan mukaan asennettu hydraulinen sylinteri. Yleisesti käytetään nelinivelistä kaksoispolvinivelmekanismia tai viisinivelistä. Viisinivelisen etu neliniveliseen on se, että samanpituisella mekanismilla saadaan suurempi avautuma muotille ja tästä johtuen ruiskuvalukoneen kokonaispituutta voidaan lyhentää.



*Nelinivelinen kaksoispolvinivelkoneisto.*

Kuvio 20. Nelinivelinen kaksoispolvinivelkoneisto (1, s. 95)

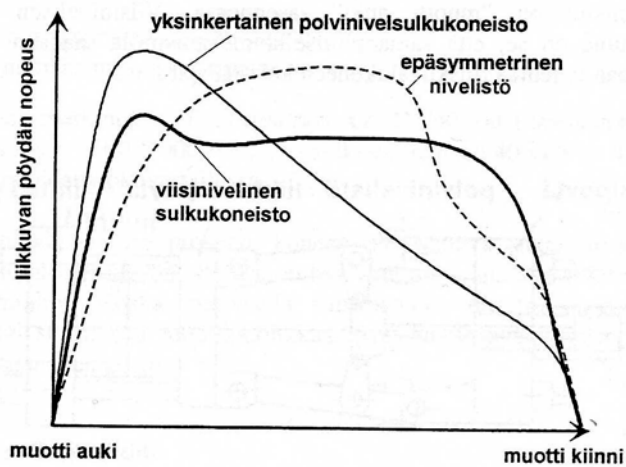


*Viisinivelinen kaksoispolvinivelkoneisto.*

Kuvio 21. Viisinivelinen kaksoispolvinivelkoneisto (1, s. 96)

Sulkuyksikön tärkeitä ominaisuuksia ovat voima ja nopeus. Polvinivelkoneiden sulkunopeus ei kuitenkaan ole vakio mekanismin toimintatavasta johtuen. Kuviossa 22 on esitetty erilaisten polvinivelkoneiden sulku- ja avautumiskäyriä.

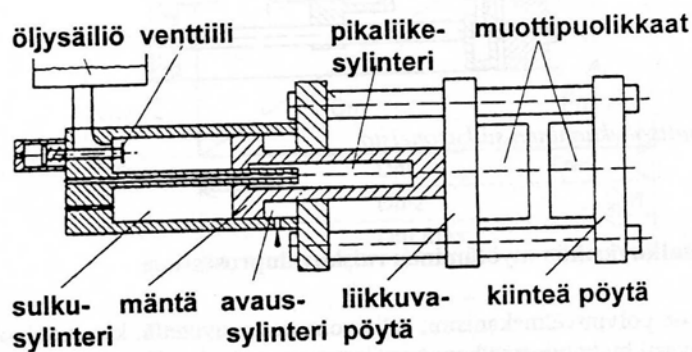




*Erilaisten polvinivelkoneiden sulku- ja avautumiskäyriä.*

Kuvio 22. Erilaisten polvinivelkoneiden sulku- ja avautumiskäyriä (1. s. 96)

Hydraulisissa sulkukoneissa on suuri sulkusylinteri, joka synnyttää sulkuvoiman. Yleensä tämän pääsylinterin lisäksi sulkukoneissa on myös pienempi sylinteri ns. kuljetussylinteri, joka toteuttaa tarvittavat avaus- ja sulkuliikkeet. Kuviossa 23 on esitelty hydraulinen sulkukone.

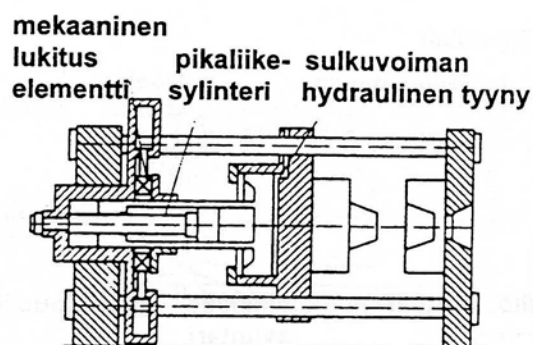


*Hydraulinen sulkukoneisto.*

Kuvio 23. Hydraulinen sulkukoneisto (1, s. 97)

Mekaanisten ja hydraulisten sulkukoneiden lisäksi löytyy myös hydraulis-mekaaninen sulkukone (kuviokuva 24). Yksikön toiminta perustuu siihen, ettei siinä tarvitse pumpata suuria määriä hydraulioöljyä. Muotin sulkeminen saadaan aikaan yhdellä tai useammalla pikaliikesynterillä. Tämän jälkeen muotti lukitaan mekaanisesti ja sitten muodostetaan

hydraulinen paine, joka synnyttää tarvittavan sulkuvoiman. Samalla kun vältetään hydrauliöljyn suurelta pumppaamiselta, hydraulinen paine saadaan kehitettyä paljon nopeammin kuin pelkällä hydraulisella sulkuyksiköllä. Taulukossa 5 on vertailtu erilaisia sulkumekanismeja.



*Hydraulis-mekaaninen sulkukoneisto.*

Kuvio 24. Hydraulis-mekaaninen sulkukoneisto (1, s. 98)

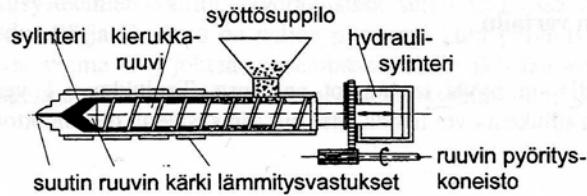
	Mekaaniset	Hydrauliset	Hydraulis-mekaaniset
Energian tarve	+	-	+
Turvallisuus	+	+	+
Muottipöytien tukevuus	-	+	+
Sulkuvoima	+	+/-	+
Liikkeiden toistettavuus	+	-	+
Sulkuvoiman toistettavuus	-	+	+
Muotin asetuksien nopeus	-	+	-
Sulku aika	+	+	+
Avaamisvoima	+	-	-
Jäykkyys	+	-	-

Taulukko 5. Sulkumekanismien ominaisuuksia (1, s. 100)

#### 2.4.3 Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikkö on puristin, joka voi olla vaaka- tai pystyasennossa. Kuviossa 25 on esitetty ruiskutusyksikön kaaviokuva. Ruiskutusyksikön päätehtävät ovat lämmitellä ja plastisoida suppilon kautta koneen sylinteriin syötetty raaka-aine ja ruiskuttaa se muottipesään. Ruiskutuksen jälkeen ruiskutusyksikön täytyy kehittää jälkipaine, joka vaikuttaa kappaleeseen vulkanoinnin aikana siten että se noudattaa muotin muotoja mahdollisimman tarkkaan. Ruiskutusyksikön tärkeimmät osat kumin käsittelyn kannalta ovat syöttösuppilo, sylinteri,

kierukkaruuvi, suutin ja lämmitysvastukset. Näitä ruiskutusyksikön osia käsitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa.



*Ruiskutusyksikön kaaviokuva.*

Kuvio 25. Ruiskutusyksikön kaaviokuva (1, s. 100)

#### 2.4.3.1 Sylinterit

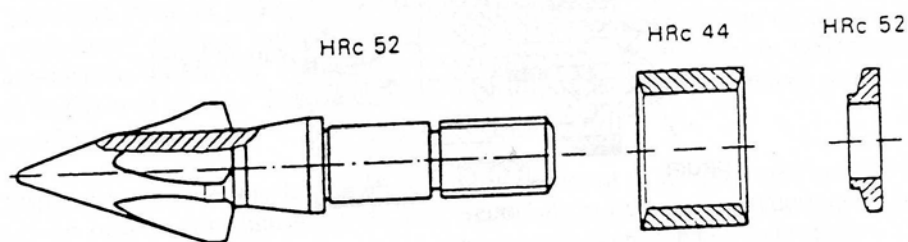
Ruiskutussylinteri on paksuseinäinen putki, jonka sisäpinta on karkaistua kierukkaruuvien pintaa karkeammaksi, jolloin varmistetaan raaka-aineen kulku sylinterissä plastisoinnin aikana.

#### 2.4.3.2 Kierukkaruuvit

Kumi plastisoituu matkalla sylinterin takaosasta suuttimeen. Plastisoituminen saadaan aikaan kohottamalla riittävästi massalämpötilaa. Lämpötilan kohoaminen saadaan aikaan sylinterivastuksen ohella sisäisellä kitkalla, joka muodostuu kierukkaruuvien pyörimisliikkeestä. Kierukkaruuvien toimintaperiaate on esitetty kuviossa 5.

#### 2.4.3.3 Sulkuventtiili

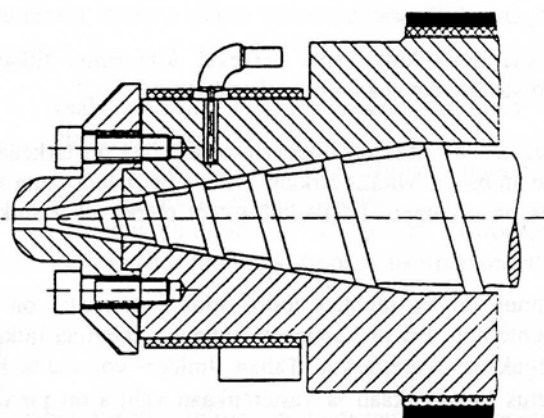
Useimmat ruiskuvalukoneiden kierukkaruuvit on varustettu sulkuventtiilillä, joka estää massan virtaamisen takaisin ruiskutuksen aikana. Hyvän sulkuventtiilin tehokkuusprosentti on 95 – 97 % eli 3 – 5 % massasta virtaa ruiskutuksen aikana sulkuventtiiliin taakse. Sulkuventtiili on esitetty kuviossa 26.



Kuvio 26. Sulkuventtiili (1, s. 105)

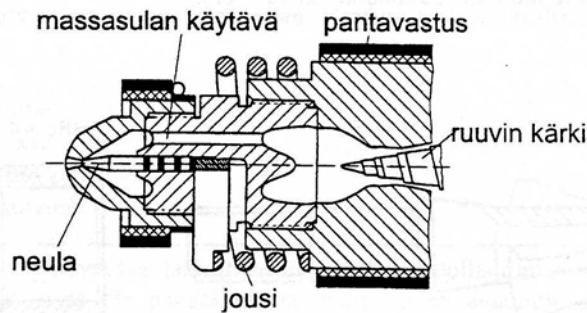
#### 2.4.3.4 Ruiskuvalusylinterin suutin

Sylinterin päässä on suutin, jonka halkaisija on merkittävästi sylinterin halkaisijaa pienempi. Suuttimet ovat joko avoimia tai sulkusuuttimia. Erilaisia suuttimia on esitelty kuvioissa 27 – 28. Avosuuttimia käytetään yleensä yksinkertaisten muottien kanssa. Niiden huonoja puolia on plastisoidun massan valuminen. Jousikuormitetun suuttimen sulkutoiminta tapahtuu suuttimen ympärillä olevan jousen avulla. Sen huonoja puolia on jousien kuoleentuminen eli jännityksen häviäminen. Hydraulisissa suuttimissa tätä ongelmaa ei ole, mutta ne ovat hinnaltaan huomattavasti arvokkaampia.



*Avoin suutin.*

Kuvio 27. Ruiskuvalusylinterin avoin suutin (1, s. 106)



*Jousikuormitettu neulasulkusuutin.*

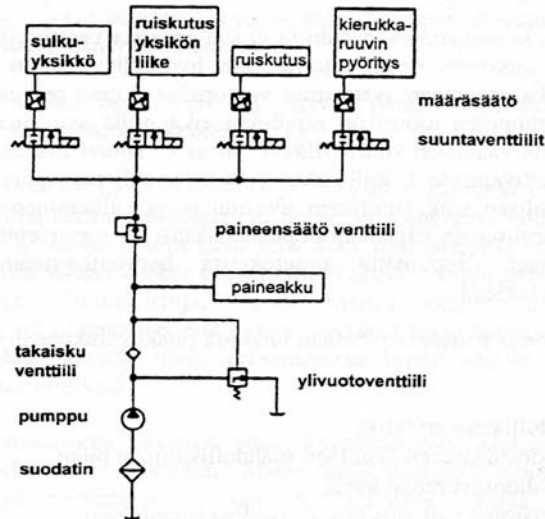
Kuvio 28. Ruiskuvalusylinterin sulkusuutin (1, s. 106)

#### 2.4.3.5 Lämmitysvastukset

Lämmitysvastuksia on kahta tyyppiä, sähkö- ja nestelämmitys. Sähkövastusten merkittävin etu on niiden alhainen hinta. Myös niiden elementtien vaihtaminen on vaivatonta. Sähkövastusten avulla tehtävä tarkka lämpötilansäätö on ollut vaikeaa, mutta siihenkin on löydetty ratkaisuja tietokoneohjattujen tyristorilämmityssysteemien avulla. Nestelämmitystä käytetään suhteellisen harvoin sen huomattavasti korkeamman hinnan takia. Nestelämmityksen merkittävin etu on se, että massaa voidaan myös tarvittaessa lämmittää sen avulla.

#### 2.4.4 Käyttöyksikkö

Suoraviivaiset liikkeet kuten sulkukoneistonliikkeet ja ruiskutus voidaan tuottaa melko taloudellisesti hydraulilla. Hydrauliikan suurin etu on energian siirto putkissa ja letkuissa suoraan sinne missä sitä tarvitaan. Tällöin kaapeleita, hammastankoja ja vipuja ei tarvita lainkaan. Hydraulilla saadaan aikaan korkea energiatiheys ja silloin ei tarvita suuria tilavuusvirtoja. Pyörivillä liikkeillä on hyvätoistotarkkuus, koska hydraulikaöljy puristuu kasaan vain vähän. Hydraulista painetta voidaan käyttää myös ylikuormitussuojana. Hydrauliikan huono puoli on se, että se tarvitsee oman käyttöyksikön eli sähkömoottorin ja öljypumput, joilla hydraulikka tuotetaan. Varjopuoli on myös se, että käytettävän öljyn tulee olla puhdasta. Lika, ilma ja vesi ja vanheneminen vaikuttavat koneen säädettävyyteen. Kuviossa 29 on esitetty hydraulisen koneen toimintakaavio.



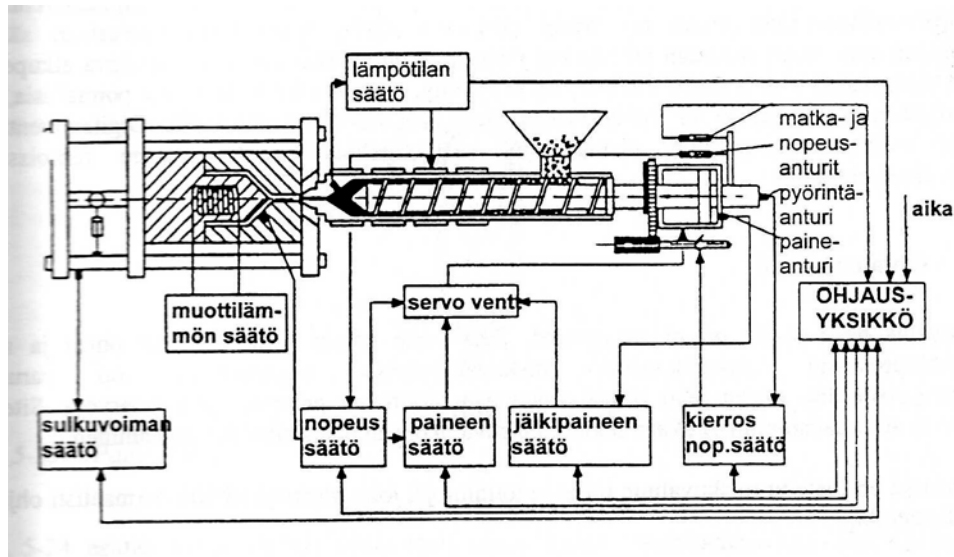
*Kaaviokuva hydraulisysteemistä.*

1. Hydraulipumppu tuottaa öljyvirtauksen, joka johdetaan takaiskuventtiiliin kautta paineakkuun.
2. Akun täytyessä kaasu akussa puristuu kokoon.
3. Kun akku on täytetty, pumppu pumppaa öljyä ylivuotoventtiiliin kautta takaisin säiliöön.
4. Määräsäätöventtiileillä säädetään kuinka paljon kuhunkin laitteeseen öljyn tilavuusvirtaa käytetään.

Kuvio 29. Kaaviokuva hydraulisysteemistä (1, s. 110)

#### 2.4.5 Ohjausyksikkö

Ruiskuvalukoneen aivot ovat ohjausyksikkö. Se ohjaa nykyään melkein kokonaan automaattisesti ruiskuvaluprosessia. Ohjausyksiköt ovat varustettu mikroprosessoreilla, jotka laskevat tarvittavia ajoarvoja. Ohjausyksiköllä ohjataan ja säädetään sylinterilämpötilat, plastisoitavan massa lämpötilat, kuumakanavan lämpötilat, muotin lämpötilat, kierukkaruuvien pyörimisnopeus, ruiskutusnopeus ja jälkipainetta. Ajoarvot voidaan tallettaa tiedostomuotoon koneelle, josta ne löytyvät taas seuraavalla käyttökerralla. Ohjausyksiköstä saa tiedot prosessista myös graafisessa muodossa, esimerkiksi painekäyrät. Kuviossa 30 on esitetty ruiskuvaluprosessissa säädettävät ja ohjattavat parametrit.



Kuvio 30. Ruiskuvaluprosessissa säädettävät ja ohjattavat parametrit (1, s. 112)

### 3 LAADUNVALVONTA

#### 3.1 Ruiskupuristustuotteen laatu (3, IX s. 1)

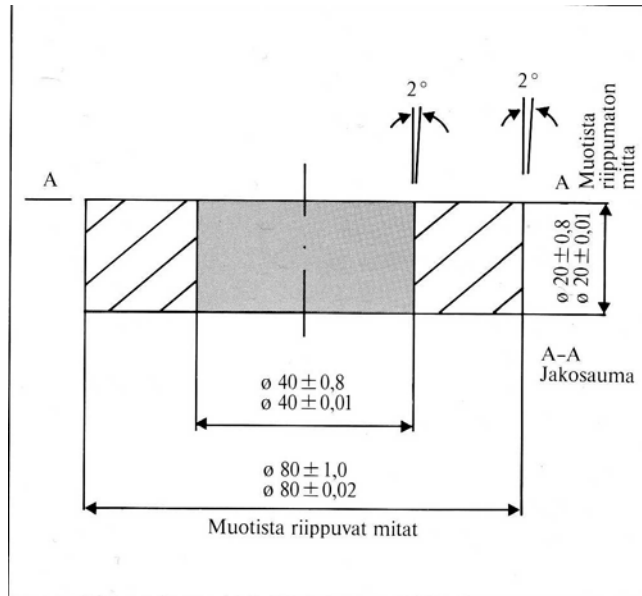
Ruiskupuristustuotteet laatu on tuotekohtainen ja riippuu tuotteen käyttötarkoituksesta. Käyttökohteesta riippuen tärkein laatuksiteeri voi olla pinnanlaatu tai mittapysyvyys. Luvussa 4.1.3. on esitelty erilaisia kumikappaleen testausmenetelmiä tarkemmin. Pinnanlaatuun ja purseen määrään vaikuttavia seikkoja käsitellään seuraavassa luvussa.

##### 3.1.1 Kappaleen ja muotin suunnittelu (3, IX s. 1 – 5; 9)

Ruiskupuristusmuotin suunnittelu on hankalaa sillä muottia tehtäessä ei ole käytössä kyseisen metallin toleranssit vaan kumin, josta tuote valmistetaan. Koska kumi on elastinen materiaali, se vaatii selvästi suuremmat toleranssialueet kuin metalli.

Kumikappaleen mitat riippuvat sekoituksesta, muottityökalusta ja valmistusolosuhteista. Kumi kutistuu vulkanointiprosessissa 1 – 4 % materiaalista riippuen. Kutistumaan vaikuttavat mm. lämpötila ja vulkanoimis aika. Monimutkaisissa kappaleissa kutistuma voi vaihdella eri suunnissa. Muotti suunnittelussa otetaan aina huomioon kutistuma, jota ei kuitenkaan voida tarkasti määrittää. Kuviossa 31 on havainnollistettu toleranssien eroa. Taulukossa 6 on esitetty SFS-normien mukaisesti kumin ja metallin toleranssit. SFS-3558-standardi määrittelee muotissa valmistettävien kumituotteiden toleranssit. Mittatoleranssit jaetaan kahteen ryhmään F ja C.

Ryhmä F sisältää muotista riippuvien mittojen toleranssit ja ryhmä C muotista riippumattomien mittojen toleranssit. Normaali kumituotteissa käytetty toleranssiluokka on M3.



Kuvio 31. Kumin ja metallin mittatoleranssien erot (5, s. 58)

Perusmitta	Toleranssit						
	Luokka M1		Luokka M2		Luokka M3		Luokka M4
	Ryhmä F	Ryhmä C	Ryhmä F	Ryhmä C	Ryhmä F	Ryhmä C	Ryhmä F ja C
a							
a < 6,3	±0,10	±0,10	±0,15	±0,20	±0,25	±0,40	±0,50
6,3 < a < 10	±0,10	±0,15	±0,20	±0,20	±0,30	±0,50	±0,70
10 < a < 16	±0,15	±0,20	±0,20	±0,25	±0,40	±0,60	±0,80
16 < a < 25	±0,20	±0,20	±0,25	±0,35	±0,50	±0,80	±1,00
25 < a < 40	±0,20	±0,25	±0,35	±0,40	±0,60	±1,00	±1,30
40 < a < 63	±0,25	±0,35	±0,40	±0,50	±0,80	±1,30	±1,60
63 < a < 100	±0,35	±0,40	±0,50	±0,70	±1,00	±1,60	±2,00
100 < a < 160	±0,40	±0,50	±0,70	±0,80	±1,30	±2,00	±2,50
a < 160	±0,30 %	<sup>1</sup>	±0,50 %	<sup>1</sup>	±0,80 %	<sup>1</sup>	±1,50 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Muotista riippumattomat mitat sovitaan ostajan ja valmistajan kesken

Taulukko 6. SFS-standardin mukaiset kumin ja metallin toleranssit (5, s. 59)

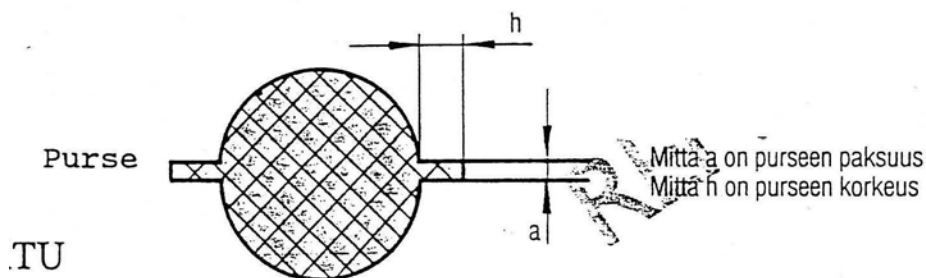


Muottituotteita valmistettaessa työkalun jakosauman väliin jää aina kumia eli purseeta (kuviot 32 ja 33) joka estää muotin osien puristumista yhteen ja sen vuoksi vaikuttaa tuotteen mittoihin. Purseen poiston tarkkuus ilmoitetaan luokilla, jotka ovat esitelty taulukossa 7.

Luokka	Purseen korkeus mm	Huomautus
0	0	Purseeton <sup>1</sup>
1	0.1	Erittäin tarkka purseen poisto
2	0.5	Tarkka purseen poisto
3	1	Normaali purseen poisto
4	2	Karkea purseen poisto
5	Ei rajoitusta	

<sup>1</sup>Luokka 0 voidaan määrätä vain tiettyä pintaa koskevaksi. Muotin jakosaumaa ei tehdä tämän pinnan kohdalle

Taulukko 7. Purseluokat (10)



Kuvio 32. Purse (10)



Kuvio 33. Purseellinen ja purseeton kappale (11)

### 3.1.2 Raaka-aineen ja työstömenetelmän valinta (2, s. 177; 5, s. 56; 4, s. 109)

Tuotteen toimivuus käyttötilanteessa määräytyy materiaalien ominaisuuksien perusteella. Prosessoinnin tehtävänä on tuottaa halutunlainen tuote mahdollisimman tarkasti ja edullisesti. Usein työstömenetelmät asettavat kuitenkin rajoituksia, jotka on otettava huomioon jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Tärkeimmät työstömenetelmän valintaa vaikuttavat seikat ovat elastomeeri ja mahdolliset lujitteet, tuotteen koko ja muoto, valmistusmäärä ja edellisessä luvussa esitellyt toleranssit.

#### 3.1.2.1 Elastomeerit ja lujitteet

Tekninen kumiteollisuus käyttää tuotannossaan useita satoja erilaisia elastomeerilaatuja, jotka ominaisuuksiensa lisäksi poikkeavat prosessoitavuudeltaan toisistaan. Pääryhmien lisäksi ryhmien sisällä laadut erotellaan työstötavan mukaan. Siten prosessointi on huomioitava jo tuotteen suunnitteluvaiheessa materiaalia valittaessa. Myös elastomeerien yhteydessä käytettävät lujitteet rajoittavat työstömenetelmän valintaa. Muottituotteissa lujitteiden käyttö rajoittuu tasopuristukseen. Poikkeuksena ovat metallivahvikkeet, jotka soveltuvat myös siirto- ja ruiskupuristukseen. Sen sijaan suulakepuristuksessa ja kalanteroinnissa tekstiilivahvikkeiden käyttö on yleistä esimerkiksi vahvikkeelliset letkut ja kuljetus hihnat.

### 3.1.2.2 Tuotteen koko

Tuotteen mitat määrittävät yleensä varsin selvästi ne perustyöstömenetelmät, joilla valmistus on mahdollista. Siten esimerkiksi suulakepuristustuotteet ja kalanteroimalla valmistetut tuotteet erottuvat muottituotteista. Muottituotteista suurimmat valmistetaan muottipuristuksella, jolloin äärimitat voivat olla jopa neljä metriä seinämäpaksuuden vaihdellessa välillä 1 – 10 millimetriä. Menetelmä on kuitenkin hyvin joustava ja mahdollistaa myös pienten tuotteiden valmistamisen. Siirto- ja ruiskupuristamalla valmistettavien kappaleiden äärimitat ovat yleensä alle 1000 millimetriä ja seinämän paksuudet välillä 0,5 – 50 millimetriä. Oman erikoisryhmänsä muodostavat säiliö- ja telapinnoitteet, jotka valmistetaan kerrostamalla raakasekoitus runko-osan pinnalle. Tällöin tuotteen kokoa rajoittaa lähinnä vulkanoinnissa käytettävän autoklaavin koko.

### 3.1.2.3 Tuotteen muoto

Muottituotannossa perusvaatimuksena on, että tuote on työstön jälkeen poistettavissa muotista vaurioitumattomana ja että valmistusmenetelmästä johtuvat mitta- ja muotovaihtelut eivät vaikuta tuotteen toimivuuteen. Suunnitteluvaiheessa huomioitavia tekijöitä ovat jakosauman paikka, päästöt, pyöristykset ja seinämävahvuuden muutoskohdat.

Jakosauma on kaikissa muotissa valmistavissa tuotteissa. Sen paikka on valittava tuotteen muodon ja käyttötarkoituksen mukaan. Kappaleen tiivistävät pinnat ovat sellaisia alueita, joilla vähäisetkin dimensiovirheet vaikuttavat olennaisesti tuotteet toimivuuteen. Tämän vuoksi jakosaumaa ei saisi sijoittaa tiivistäville pinnoille. Jakosauman paikka on myös pyrittävä valitsemaan siten, että tuotteen kannalta tärkeät mitat ovat muotista riippuvaisia. Siten jakosaumaan muodostuva purseen vaikutus mittatarkkuuteen voidaan eliminoida.

Työstömenetelmistä tasopuristus sopii lähinnä muodoltaan yksinkertaisille tuotteille. Menetelmällä voidaan myös valmistaa tekstiililujitettuja tuotteita, esimerkiksi erilaisia pumpunkalvoja. Kun tuotteen muoto monimutkaistuu ja erityisesti jos valmistuksessa tarvitaan ulosvedettäviä keernoja, soveltuvat siirto- ja ruiskupuristus helpommin automatisoitavaan muotoon.

### 3.1.2.4 Valmistusmäärä

Tuotteen valmistuserän suuruus vaikuttaa valmistustavan valintaan lähinnä pienten muottituotteiden kohdalla. Rajoittavina tekijöinä ovat tällöin työkalukustannusten osuus kokonaiskustannuksista ja toisaalta työstökustannukset.

### 3.2 Valmiin kumikappaleen testaus (10; 3, VI s. 1 – 15)

Kumiteollisuudessa käytetään hyvin paljon erilaisia testausmenetelmiä. Koemenetelminä olisi pyrittävä käyttämään standardisoituja testejä. Standardit on kehitetty sellaisiksi, että satunnaistekijöiden vaikutus mitattaviin suureisiin on mahdollisimman vähäinen. Yleisiä standardeja käyttämällä saadaan näin ollen mahdollisimman hyvin toistettavia ja vertailukelpoisia tuloksia. Tuotteiden testauksessa olisi pyrittävä löytämään testejä, jotka jäljittelisivät mahdollisimman tarkkaan käytössä olevia olosuhteita. Sen vuoksi tuotteita testataan tekemällä simuloivia kokeita esimerkiksi renkaille ja teloille tai asettamalla koetuotteita suoraan käytännön olosuhteisiin. Tällaiset testit ovat luonnollisesti kalliita ja aikaa vieviä, mutta aina niitä ei voida välttää. Seuraavissa luvuissa esitellään lyhyesti vulkanoidun kumikappaleen perustestauksia.

#### 3.2.1 Kovuus

Kovuus on luultavasti kumin eniten käytetty ominaisuus. Sitä käytetään sekä laaduntarkastuksessa, luokittelussa että tuotteiden testauksessa. Sen suosio perustuu mittaussuopeuteen ja kovuuden mittaaminen voidaan tehdä hyvin monimuotoisista koekappaleista. Nykyään on käytössä pääasiassa kolme mittarityyppiä kumin kovuuden mittaamiseen: IRHD-mittarit (International Rubber Hardness Degree) (kuviot 34), Shore-mittarit, jotka jakautuvat kolmeen luokkaan: ShA normaalille kumialueelle (20 – 100), ShD koville kumeille ja ShOO solu- ja sienikumeille. Shore-mittarit ovat ulkomuodoltaan samanlaisia ja kuviossa 35 on esitelty ShA-mittari. Kolmas mittarityyppi on Pusey & Jones-mittarit (P&J) (kuviot 36), jota käytetään eniten telakovuuksissa. Kumin kovuus määräytyy syvyydestä, kun tietyn muotoinen neulakärki painetaan kumin pintaa vasten määrättyllä voimalla. Kumin kovuuden mittaamiselle on olemassa seuraavanlaisia standardeja:

IRHD; SFS 3561, ISO 48

Shore; ASTM D 2240, DIN 53503

P&J; ASTM D 531

Kumin kovuudesta ei voida päätellä sellaisia ominaisuuksia kuin vetolujuutta tai venymää. Kovuusmittauksella saatava tulos on herkkä monelle tekijälle mm. koekappaleen paksuudelle. Kun puhutaan kovuudesta, on muistettava, että se on likimääräinen mitta, jolle harvoin voidaan antaa tarkempia toleransseja kuin  $\pm 5$  kovuusyksikköä.



Kuvio 34. IRHD-mittari (12)



Kuvio 35. Shore A mittari (12)



Kuva 4.

Kuvio 36. Pusey &amp; Jones-mittari (P&amp;J) (3, VI s. 4)

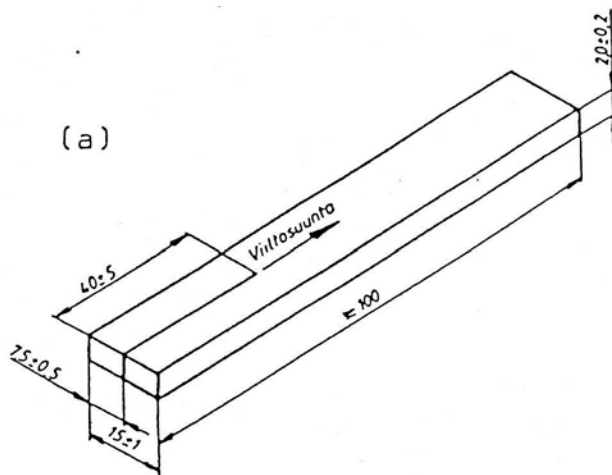
### 3.2.2 Vetolujuus, venymä ja moduuli

Jännitysvenymätestit, joissa koekappaleita venytetään vakionopeudella katkeamispisteeseen saakka, ovat kovuuden jälkeen tavallisimpia testauksia. Vetokokeilla saadaan mitattua vetomurtolujuus, murtovenymä ja moduulit eri venymissä. Yleensä käytetään sauvamaista koekappaletta. Koska kumikappaleita harvoin suunnitellaan tai käytetään niin, että niitä rasitettaisiin lähellekään murtorajaa, ei vetolujuudella tai venymällä ole suoraan käytännön arvoa suunnittelijalle. Niistä saadaan kuitenkin yleisesti tietoa kumin laatutasosta. Koska vetomurto-ominaisuudet ovat herkkiä täyteaine- ja pehmitinpitoisuuksille sekä sekoittumisen ja

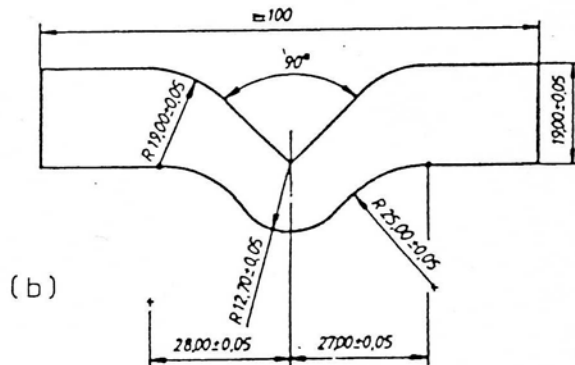
vulkanoinnin tehokkuudelle, ne ovat hyödyllisiä laaduntarkkailussa ja kehitystyössä. Vetolujuuskokeita tehdään myös selvittäessä erilaisia vanhentumisominaisuuksia muun muassa lämpövanhennusta ja öljynkestävyyttä. Käytössä olevia standardeja vetolujuudelle, venymälle ja moduuleille ovat SFS 3562, ISO 37, DIN 51221 ja ASTM D 412.

### 3.2.3 Repimislujuus

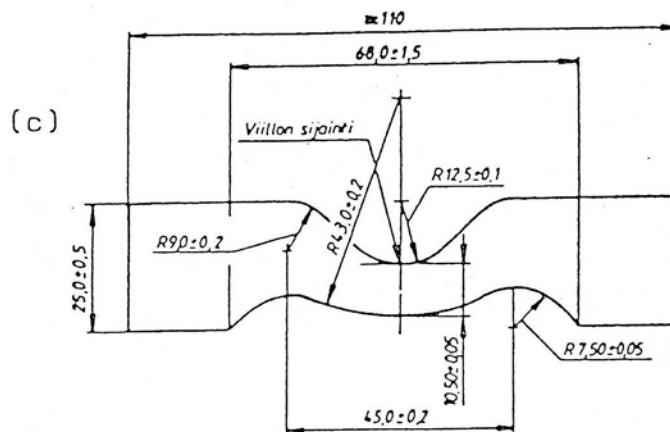
Repimislujuus määritetään vetovoimana, jonka vaikutuksesta määräpaksuinen koekappale repeytyy, kun sitä venytetään vetokoneessa vakionopeudella. Repimiskoe on aiheellinen verrattaessa suhteellisen heikkoja kumilaatuja, joilla on taipuvaisuus suoraviivaiseen repeämiseen. Korkealaatuinen kumi sitä vastoin venyy niin paljon, että repimiskoe kuvaa lähes samoja ominaisuuksia kuin vetolujuuskoe. Käytössä olevia standardeja repimislujuuden testaamiseksi ovat SFS 3563, ISO 34 ja DIN 53315. Näissä standardeissa on esitetty kolme erilaista koekappaletta: housunmuotoinen (kuvio 37), kulmakoekappale (kuvio 38) ja puolikuun muotoinen (kuvio 39).



Kuvio 37. Housunmuotoinen repimislujuuden koekappale (10)



Kuvio 38. Repimislujuuden kulmakoeappale (10)



Kuvio 39. Puolikuunmuotoinen repimislujuuden koekappale (10)

### 3.2.4 Kimmoisuus

Kimmoisuus on ominaisuus, joka erottaa kumit muoveista. Kimmoisuusmittauskokeita on kahta tyyppiä. Toisessa metallikappale pudotetaan vaakasuorassa asennossa olevalle kumilevylle ja mitataan kimpoamakorkeus. Toisessa testityypissä (kuvio 40) näyte on pystysuorassa asennossa ja heiluri putoaa sitä kohti. Heilurin kimpoama mitataan pystysuorassa suunnassa. Kimmoisuustesteihin on olemassa seuraavia standardeja: ISO R 1767, SIS 162215, ASTM D 1054 ja D 2632 sekä DIN 53512.



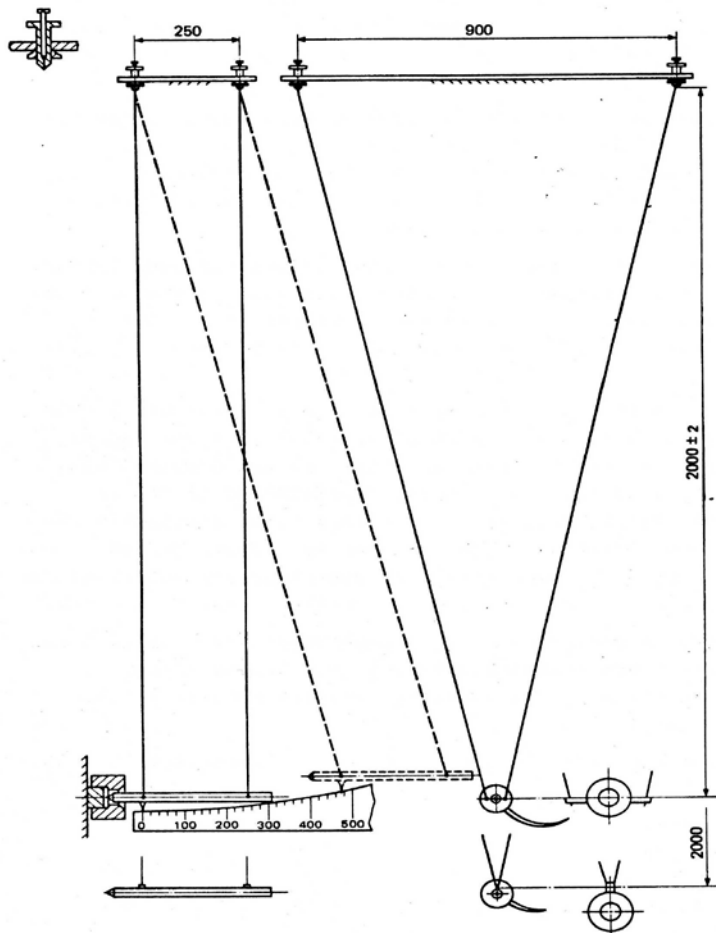


FIG. 1 – Principle of Lüpke pendulum

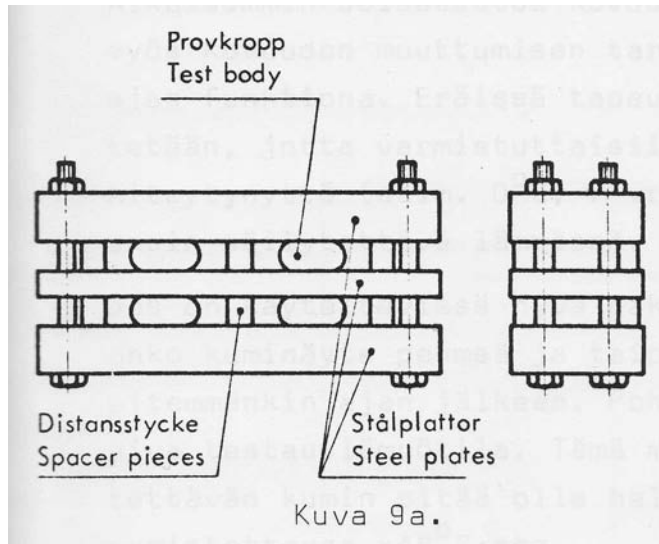
Kuva 8.

Kuvio 40. Kimmoisuuden testausmenetelmä (3, VI s. 11)

### 3.2.5 Jännöspuristuma

Jännöspuristuma on tärkeä ominaisuus varsinkin tiivistekumeilla. Kun kumikappale on ollut puristuneena, se ei puristuksesta vapauduttuaan jousa takaisin alkuperäiseen mittaansa.

Puuttuva mitta on jäännöspuristuma, joka lasketaan prosentteina puristumaa kokonaismäärästä. Koetuksessa puristuma on tavallisesti 25 % koekappaleen paksuudesta (kuvio 41). Koestuslämpötila on tavallisesti 70 °C tai 100 °C ja aika 22 – 24 tuntia. Standardien mukainen koekappale on 13 mm korkea lieriö, jonka halkaisija on 29 mm. Jäännöspuristuman testaukseen on olemassa seuraavia standardeja ISO 815, SIS 162204 ja ASTM D 395.



Kuvio 41. Jäännöspuristuman testausmenetelmä (3, VI s. 15)

## LÄHDELUETTELO

## Painetut lähteet

1. Järvelä, Syrjälä, Vastela, Ruiskuvalu. Plastdata Oy. Tampere 2000. 358 s.
2. Laurila, Kumitekniikka, lyhyt johdatus kumitekniikan perusteisiin. Opetushallitus 2007. 207 s.
3. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, Kumi konstruktioaeruaalina ja korroosionestoaineena. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus 1973.
4. Suomen Metalliteollisuuden Keskusliitto, Raaka-aine käsikirja, Muovit, kumit. Satapaino. Tampere 1984. 162 s.
5. Nokia Tekninen kumi, Elastomeerien mahdollisuuksia. 101 s.
6. Sipiläinen Jutta, Ruiskupuristusyrityksen laatujärjestelmän esikartoitus, insinööryö, TAMK, 2003
7. Jousimies Jutta, Laadunvalvonnan tilan arviointi ja laatujärjestelmän pohjustus pienpanimossa, insinööryö, TAMK, 1997

## Painamattomat lähteet

8. Hanhi Rajja, Kumiraaka-aineet ja vahvikemateriaalit. Luentomateriaali 2007. Tampereen ammattikorkeakoulu 1997
9. Guidelines for design tools. Korjakumi Oy 2008
10. Kumialan peruskurssi 1995, Luentomateriaali. Korjakumi Oy 2008
11. Pirkkalaniemi Jouni, Korjakumi Oy:n työnjohtaja. Haastattelut 09/2008 – 02/2010

12. [http://www.ndt-tukku.com/product\\_details.php?p=38](http://www.ndt-tukku.com/product_details.php?p=38)

## LIITTEET

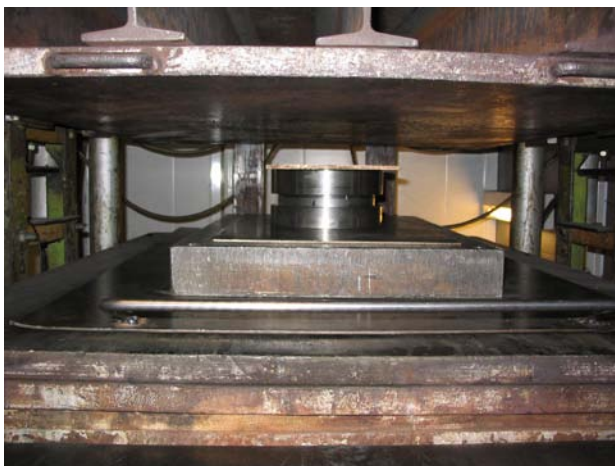
Työohje: Muotin vaihto (Maplan 800 kN)

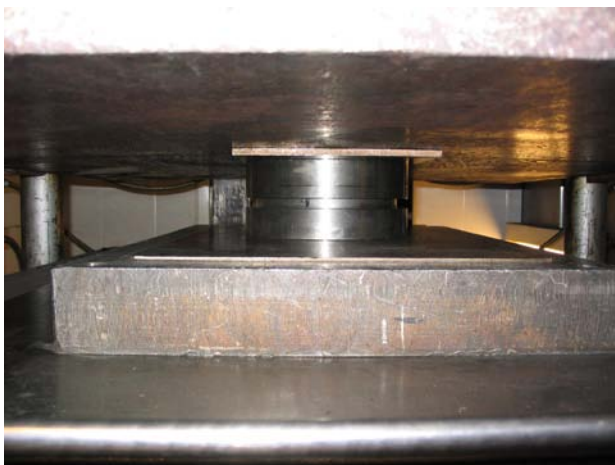
- Ajetaan muotti paineeseen 500 kN
- Laitetaan asetuskäyttö päälle
- Avataan ylänostajien kiinnikkeet
- Avataan muotti
- Poistetaan ylälevy
- Avataan mahdollisen välilevyn kiinnikkeet
- Poistetaan välilevy
- Avataan alalevyn kiinnikkeet
- Poistetaan alalevy
- Puhdistetaan plaanien pinnat paineilmalla
- Puhdistetaan uuden muotin pinnat paineilmalla
- Kasataan muotti alaplaanin päälle
- Asetetaan yläplaanin ruiskutusreikään alumiinitikku ja kohdistetaan muotti sen avulla plaanien keskelle
- Ajetaan muotti paineeseen 500 kN voimalla
- Asetetaan ylä- ja alanostajien arvot kohdilleen
- Kiinnitetään ylälevy ylänostajiin, välilevy alanostajiin ja alalevy alaplaaniin
- Tarkastetaan ajoarvot

### Kumimetalliliimaus

- Kappaleet pestään trikloorietyleenillä
- Hiekkapuhallus mahdollisimman nopeasti pesun jälkeen
- Hiekkapuhalluksen jälkeen toinen pesu trikloorietyleenillä
- Puhalletaan kappaleet kuivaksi paineilmalla
- Levitetään harmaa liima eli primer, joka pitää liiman kiinni metallissa
- Annetaan kuivua 15 minuuttia
- Levitetään musta liima eli xylol
- Annetaan kuivua 30 minuuttia
- KAPPALEITA EI MISSÄÄN VAIHEESSA KÄSITELLÄ PALJAIN KÄSIN VAAN KÄYTETÄÄN KOKO AJAN SUOJAKÄSINEITÄ

Liite 3. Tasopuristus





Kuviot 42 – 46 Tasopuristuksen toimintaperiaate (11)