

## Ruiskuvalu

Sanna Nykänen – Tampereen teknillinen yliopisto, 2009

Tuula Höök – Tekstin muokkaus: Valimoinstituutti 2015

### Materiaalit

---

Ruiskuvalumenetelmä on tarkoitettu ensisijaisesti polymeerimateriaalien prosessointiin. Sen avulla voi valmistaa monimutkaisen muotoisia, ohutseinäisiä valukappaleita, jotka ovat parhaimmillaan täysin käyttövalmiita suoraan muotista otettuna. Ruiskuvalumenetelmä valitaan tuotantomenetelmäksi erityisesti siinä tapauksessa, että halutaan valmistaa muotovalukappale, joka ei sovellu ekstruusiomenetelmään, rotaatiovaluun, puhallusmuovaukseen tai esimerkiksi lämpömuovaukseen.

Ruiskuvalu sopii erinomaisesti suurille tuotantomäärille. Kuumakanavamuottitekniikalla voi valmistaa jopa useita kymmeniä pienikokoisia kappaleita yhdellä valukierroilla.

Ruiskuvalumenetelmä sopii sekä termoplastien että termosettien prosessointiin. Ruiskuvalettavia termosetteja löytyy esimerkiksi silikoni-, epoksi-, polyesteri-, fenoli- ja ftalaattipohjaisten polymeerien joukosta. Ruiskuvalettavia termoplasteja on hyvin suuri määrä, esimerkkeinä osakiteiset valtamuovilaadut polyeteeni (PE), polypropeeni (PP) ja polyvinyylikloridi (PVC) sekä amorfinen valtamuovilaatu polystyreeni (PS); osakiteiset tekniset muovilaadut polyeteenitereftalaatti (PET-C), polyamidi (PA), polyasetaali (POM) ja polybuteenitereftalaatti (PBT) sekä amorfiset tekniset muovilaadut akryylinitriilibutadieenistyreeni (ABS), styreeniakryylinitriili (SAN), polymetyyli-metakrylaatti (PMMA) ja polykarbonaatti (PC). Osa luetelluista materiaaleista, esimerkiksi ABS, PS, PC, PP ja PVC voidaan ruiskuvalaa myös solustettuna.

Tarjolla on myös ruiskuvalettavia termoplastisia elastomeereja (TPE) sekä nestekidemuoveja. Nestekidemuovien rakenne on osin amorfinen ja osin kiteinen. Niiden kiteisyys säilyy myös sulatilassa eli tilassa, jossa aineen tulisi periaatteessa olla nestemäistä.

Kaikki edellä lueteltuihin termoplasti- tai termosettiryhmiin kuuluvat polymeerimateriaalit eivät ole ruiskuvalettavia. Materiaaleista on tarjolla laatuja, jotka on tarkoitettu prosessoitavaksi jollain muulla kuin ruiskuvalumenetelmällä. Vaihtoehtoisia menetelmiä voivat olla esimerkiksi puhallusmuovaus tai ekstruusio.

Termoplastisille polymeereille on ominaista, että ne muuttuvat nestemäisiksi, kun lämpötilaa nostetaan ja kiinteiksi, kun lämpötilaa lasketaan. Termoplastinen ruiskuvalettava materiaali syötetään ruiskuvalukoneelle kiinteässä muodossa. Kone saattaa materiaalin virtaavaan tilaan lämmön ja leikkausvoiman avulla. Materiaali täytetään muottiin, joka jäähdyttää sen takaisin kiinteään muotoon. Prosessi voidaan toistaa rajallisesti, mikä tarkoittaa, että termoplastisia polymeereja voi kierrättää.

Termosetti on huoneenlämpötilassa viskoosia nestettä tai pehmeää kiinteää materiaalia, joka kovetetaan lämmön avulla. Prosessoitaessa termosetin lämpötila pidetään tasaisena tai nostetaan maltillisesti siten, että se juoksee halutulla tavalla muottiin. Muotin tehtävänä on kuumentaa materiaali lämpötilaan, joka aikaansaa kovettumisreaktion. Reaktiota kutsutaan ristosilloittumiseksi.

Ruiskuvalettavalta materiaalilta vaaditaan, että se on muovattavissa paineen avulla ja että siihen on mahdollista tuottaa riittävät virtausominaisuudet. Vaatimukset täyttäviä materiaaleja löytyy muualtakin kuin puhtaiden polymeerien joukosta. Edellä lueteltujen seostamattomien termoplastien ja

termosettien lisäksi ruiskuvalumenetelmää käytetään jossain määrin myös erilaisten polymeeri-seosten ja komposiittien työstössä. Tavanomaisimmat ruiskuvalettavat, sellaisenaan käytettävät polymeerikomposiitit sisältävät hiili- tai puukuituja. Keraamia- tai metallia sisältäviä komposiitteja valetaan myös, mutta ne jatkojalostetaan useimmiten sintraamalla siten, että lopputuote ei sisällä enää lainkaan polymeeripohjaista ainesosaa. Menetelmää kutsutaan metallien tapauksessa metallien ruiskuvaluksi (metal injection molding, MIM) ja keraamien tapauksessa keraamien ruiskuvaluksi (ceramic injection molding, CIM).

Polymeeripohjaiset materiaalit ovat sulatilassa ainakin jonkin verran kokoonpuristuvia, ei-newtoniaania pseudoplastisia nesteitä. Jos leikkausnopeus ja leikkausvoima pidetään maltillisina, polymeerimateriaalit käyttäytyvät likimain newtoniaanisten nesteiden tavoin. Leikkausnopeudelle ja -voimalle on löydettävissä materiaali-kohtainen raja-arvo, jonka jälkeen sulan viskositeetti putoaa voimakkaasti ja valuprosessi muuttuu huonosti hallittavaksi. Osa materiaaleista voi olla hyvinkin herkkiä leikkausnopeudessa tapahtuville muutoksille. Ei-newtoniaanisille nesteille tyypillisesti leikkausnopeuden ja -voiman vaikutus on suurempi kuin lämpötilan vaikutus.

Ominaisuudet vaikuttavat ruiskuvalutapahtumaan seuraavin tavoin:

- Polymeerimateriaalin viskositeetti (käänteisarvo on virtaavuus) riippuu monimutkaisella tavalla materiaalin rakenteesta, lämpötilasta ja materiaaliin kohdistetusta leikkausnopeudesta. Viskositeetti vaikuttaa muotin täyttymiseen ja valmiiden kappaleiden laatuun.
- Kappaleen muotoilulliset seikat, ennen muuta seinämänvahvuus, seinämien pinta-alat ja virtausmatkat kappaleen sisällä, asettavat rajat muottipesien täyttöajoille. Koska polymeerimateriaaliin kohdistettu leikkausnopeus vaikuttaa mahdollisuuksiin pitää valuprosessi hallittuna ja kappale hyvälaatuisena, täyttöajat ja muottipesän sisäinen virtausprofiili on huomioitava jo valujärjestelmän suunnittelussa.
- Kokoonpuristuvuudesta johtuen ruiskuvalumuottiin on mahdollista täyttää paineistamalla enemmän raaka-ainetta kuin sinne tilavuuden puolesta mahtuisi. Näin menetellen valmiista kappaleesta tulee mitoiltaan muottipesää suurempi. Ominaisuuden haittapuolena on paineen epätasaisesta jakautumisesta johtuva vääntyily. Etuna mahdollisuus asettaa toisiinsa sovitettavien osien mittatarkkuus prosessiparametreja säätämällä.

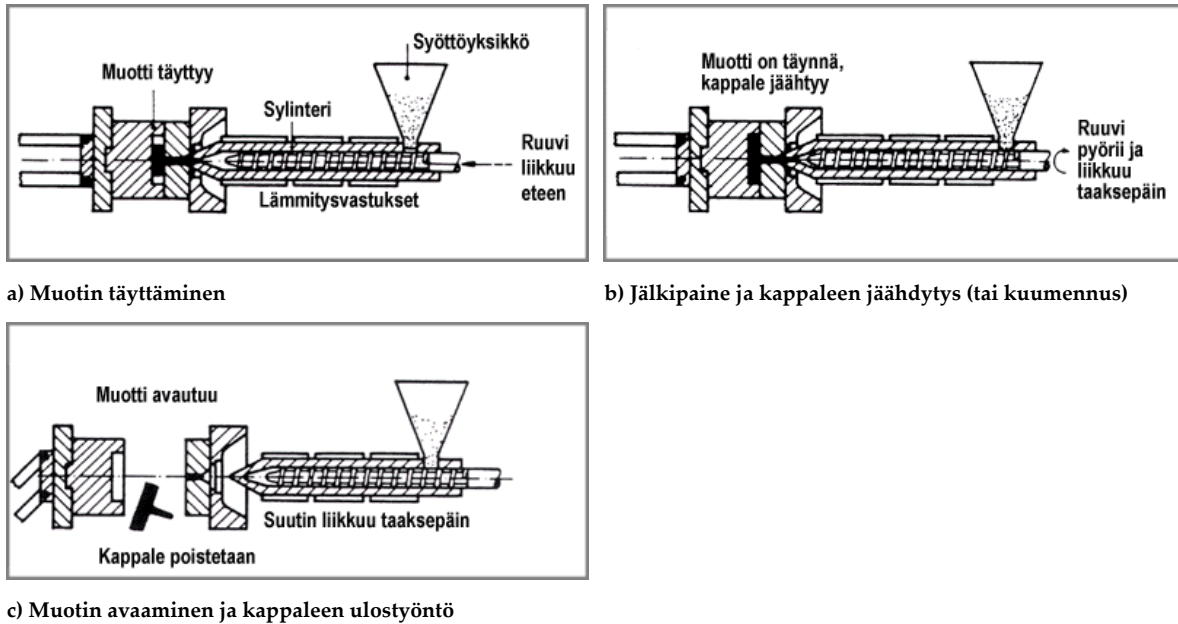
## **Valuprosessi**

---

Ruiskuvalulaitteistoon kuuluu ruiskuvalukone, ruiskuvalumuotti ja (usein koneesta erillään oleva) muotin temperointiin käytettävä laitteisto. Termoplastien tapauksessa temperoinnin tavoitteena on jäähdyttää polymeerisula siten, että se muuttuu sulasta kiinteään olomuotoon. Termosettien tapauksessa sula lämmitetään ristisilloittumisen käynnistämiseksi.

Ruiskuvalukoneen valujakso voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin:

- Muotin sulkeminen
- Prosessoitavan materiaalin täyttäminen muottiin eli ruiskutus (Kuva 1a)
- Jälkipaine ja muotissa olevan materiaalin jäähdytys tai kuumennus (Kuva 1b)
- Muotin avaaminen ja valmiin tuotteen ulostyöntö (Kuva 1c)

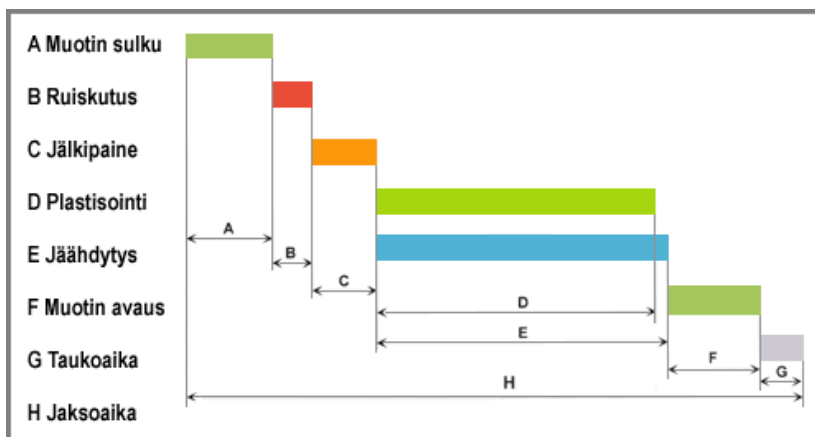


Kuva 1. Ruiskuvaluprosessin vaiheet

Näiden rinnalla kulkee toinen prosessi, jonka tarkoituksena on valmistaa uusi raaka-aineos täytettäväksi muottiin seuraavan valujakson aikana. Annoksen valmistamiseen kuuluu:

- Raaka-aineen syöttö ruuville
- Raaka-aineen plastisointi

Ruiskuvalukoneen valujakson vaiheet on esitetty väripylvään seuraavassa kuvassa (Kuva 2). Pylvään pituus kuvaa kunkin vaiheen suhteellista kestoa. Ruiskuvalukoneen jaksoaika (H) on aika, joka alkaa muotin sulkemisesta (A) ja kestää muotin avaamista ja kappaleen poistamista (F) seuraavan tauon (G) loppuun. Jaksoaika on siis yhden muotillisen valmistukseen kuluva aika. Se riippuu kappaleen muodoista ja valettavan materiaalin ominaisuuksista. Kappaleen jäädyttämiseen kuluva aika (E) vaikuttaa eniten kokonaisjaksoajan pituuteen. Termosettien tapauksessa kappaleen jäädyttäminen korvautuu ristosilloitustapahtumalla.



Kuva 2. Ruiskuvalun vaiheet ja ruiskuvalukoneen jaksoajan jakautuminen. (Lähde: Järvelä et al., Ruiskuvalu, Plastdata Oy, 2000)

### **Raaka-aineen syöttö ruuville**

Raaka-aineen syöttö tapahtuu yksinkertaisimmillaan painovoimaan perustuvana virtauksena syöttösuppilosta ruuviin. Hyvin usein raaka-aineen syöttölaitteen yhteydessä on raaka-aineen kuivauslaitteisto. Jos raaka-aine ei virtaa hyvin, käytetään apuna pakkosyöttölaitteita.

### **Muotin sulkeminen**

Muotin sulkemisliike on alussa nopea ja hidastuu sulkemisen loppuvaiheessa muotin jakopintojen ollessa lähellä toisiaan. Ruiskuvalukoneet luokitellaan sulkuvoiman perusteella. Sulkuvoimalla tarkoitetaan voimaa, jolla ruiskuvalukone kykenee puristamaan muottipuoliskoja toisiaan vasten valuprosessin aikana.

### **Muotin täyttäminen**

Ruiskuvaluprosessin tärkein vaihe on muotin täyttäminen. Perusvaatimuksena on, että massan jäähmettymisen pitäisi tapahtua mahdollisimman tasaisesti ja tästä syystä muotin tulee täytyä nopeasti, käytännössä niin nopeasti kuin mahdollista. Ruiskuvalukappaleen ovat ohutseinäisiä, josta seuraa, että sulan lämpötilassa tapahtuu nopeita muutoksia muotin seinämäkosketuksen vaikutuksesta.

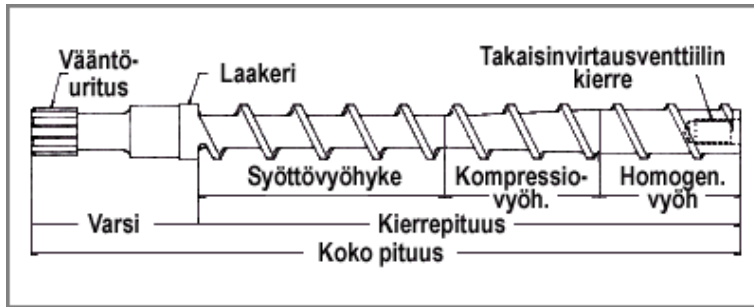
Ruiskuvalukone kuljettaa kappaleen valuprosessin rinnalla raaka-aineen valmisteluprosessia. Ruiskutusyksikössä on jo odottamassa valmis raaka-aineannos, kun muottia suljetaan. Ruiskutusyksikkö voidaan raaka-aineesta ja siinä olevan suuttimen tyypistä riippuen pitää jatkuvasti muotissa kiinni tai ajaa taaksepäin muotin täyttövaiheen päätyttyä. Muotin täyttäminen eli ruiskutus voidaan aloittaa heti, kun muotti on täysin suljettu ja ruiskutusyksikön suutin on tiiviisti muotin suutinta vasten. Ruiskutuksen kesto vaihtelee kymmenesosasekunneista muutamaan sekuntiin muovilajista, kappaleen paksuudesta ja muodosta riippuen. Ruiskutusvaiheella täytetään muottipesän tilavuudesta n. 95 %.

Ruiskutusvaihetta seuraa jälkipainevaihe, jonka tarkoituksena on täyttää ruiskutusvaiheessa täyttymättä jäänyt osa muottipesän tilavuudesta sekä kompensoida materiaalin kutistumaa. Jälkipaineella on huomattava vaikutus kappaleen mittatarkkuuteen, sisäisiin jännityksiin sekä kappaleen painoon. Polymeerimateriaalit ovat kokoonpuristuvia, josta seuraa, että muottiin on mahdollista paineistaa raaka-ainetta siten, että valmiin kappaleen tilavuus kasvaa joko välittömästi muotista poistamisen jälkeen tai vähitellen ajan myötä. Jos muotin sisällä on jälkipainevaiheessa tasainen paine, kappaleesta on mahdollista saada hyvin mitanpitävä. Jos paine on epätasainen, kappale vääntyyylee tai siinä on hallitsematonta mittavaihtelua.

### **Raaka-aineen plastisointi**

Ruiskuvalukone aloittaa uuden raaka-aineannoksen valmistelun jälkipainevaiheen päätyttyä. Vaihetta kutsutaan plastisoinniksi. Plastisointi tapahtuu nykyisissä koneissa ulkoisen lämmön ja ruuvien avulla. Seuraavassa kuvassa (Kuva 3) on esitetty kaaviokuva normaalista ruiskuvalukoneen ruuvista eri vyöhykkeineen. Eri materiaaleille on tarjolla erilaisia ja eri tavoin mitoitettuja ruuveja. Termosettien valussa käytetään toisinaan mäntää ruuvien sijaan.

Usein muovimateriaalista irtoaa sen plastisoinnin aikana höyryjä ja kaasuja, jotka voivat aiheuttaa valukappaleeseen huokoisuutta tai heikentää sen pinnanlaatua. Kappaleen pinnasta on helposti havaittavissa, jos muottiin on jäänyt ilmaa tai vesihöyryä. Ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty ns. kaasunpoistoruuveja.



Kuva 3. Ruiskuvalukoneen ruuvin vyöhykkeet. Ruuvi jaetaan kolmeen vyöhykkeeseen: syöttö-, kompressio- (paineistus) ja homogenointivyöhyke. Syöttövyöhykkeen tehtävänä on raaka-aineen kuljettaminen ja tiivistäminen; kompressiovyöhykkeen tehtävänä sen sulattaminen. Sulamiseen tarvittava energia syntyy pääasiassa raaka-ainepartikkelien esim. granulaattien hankautuessa toisiinsa ja sylinterien seinämiä vasten. Hankauksessa partikkeleihin kohdistuu leikkaavia voimia. Samalla vapautuu energiaa. Homogenointivyöhykkeellä sulatettu massa sekoitetaan mahdollisimman tasalaatuiseksi.

### Termoplastien jäähtyys

Termoplastisen muovimassan jäähtyminen alkaa välittömästi sen kohdattua kylmän muottipinnan, mutta varsinaisen jäähtytysajan katsotaan alkavan jälkipainevaiheen päätyttyä. Jäähtytysajasta muodostuu termoplastista valmistetun ruiskuvalukappaleen jaksonaika hallitseva tekijä, sillä ruiskutuslämpötilat ovat suhteellisen korkeita (150 - 450 °C) ja massan lämpötilan on laskettava n. 60 - 200 °C:een ennen kuin kappale voidaan poistaa muotista.

### Termosettien ristosilloitus

Termosetti ristosilloitetaan kuumentamalla sitä muotissa niin kauan, että reaktio ennättää tapahtua. Ristosilloittumisreaktio voi olla lämpöä tuottava ja joissain tapauksissa hankala hallita. Ristosilloittumisen olisi hyvä alkaa mahdollisimman samanaikaisesti eri puolilla muottipesää.

### Muotin avaus ja ulostyöntö

Kun kappale on jäähtynyt ja/tai jähmettynyt riittävästi muotissa, voidaan muotti avata ja kappale työntää muotista ulos. Jos taukoaikaa ei tarvita, voidaan seuraava ruiskuvalujakso aloittaa tämän jälkeen. Usein tauko aika on tarpeellinen, jos esim. kappale ei irtoa muotista yhdellä ulostyöntökerralla. Kun tauko aika on päättynyt, alkaa uusi ruiskuvalujakso muotin sulkemisella.

## Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukoneen (Kuva 4) pääasialliset tehtävät ovat muotin avaus ja sulkeminen, muottipuolikaiden riittävän sulkuvoiman muodostaminen, plastisoidun massan ruiskutus muottiin sekä uuden massa-annoksen plastisointi seuraavaa muotin täyttämistä varten.

Ruiskuvalumuotti valmistetaan lähes aina pelkästään yhtä tuotetta tai tuoteperhettä varten. Konetta voidaan kuitenkin käyttää yhdessä erilaisten muottien kanssa, kunhan muotin koko ja valettavan kappaleen tilavuus valitaan koneelle sopivaksi. Muovisula ruiskutetaan yleensä suurella nopeudella muottipesään. Vaadittavan nopeuden saavuttamiseksi ja muotin täyttymisen varmistamiseksi tarvitaan voimakas ruiskutusaine. Ruiskutusaine aiheuttaa muotin sisällä olevaan polymeerimassaan

paineen, joka pyrkii aukaisemaan muottia. Tälle voimalle tarvitaan vastavoima eli muotin sulkuvoima.

Ruiskuvalukoneet luokitellaan yleensä sulkuvoiman, ruiskutuspaineen ja ruuvikoon mukaan. Tavanomaisille koneille alueet ovat yleisesti seuraavat:

- Sulkuvoima 200 - 100000 kN
- Ruiskutuspainne 120 - 250 MPa
- Ruuvin halkaisija 18 - 120 mm

Ruiskuvalukone voidaan jakaa kolmeen toiminnalliseen yksikköön: 1.) Sulkuyksikkö, 2.) Ruiskutusyksikkö sekä 3.) Käyttö- ja ohjausyksikkö.

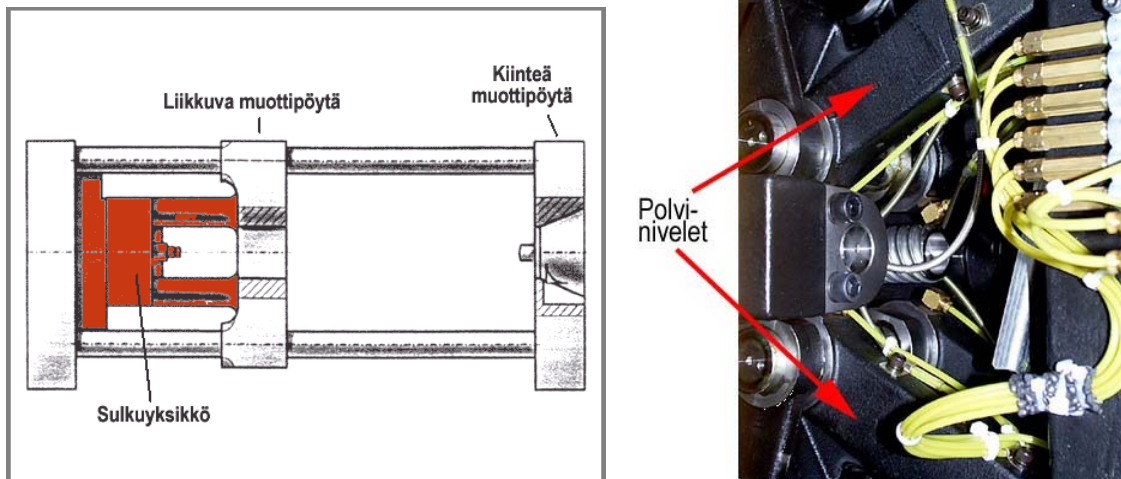


Kuva 4. Ruiskuvalukone

### **1. Sulkuyksikkö**

Sulkuyksikkö (Kuva 5) on yleensä ruiskuvalukoneen kookkain osa. Sulkuyksikkö avaa muotin kappaleen ulostyöntöä varten ja sulkee sen ennen seuraavan massan ruiskutusta. Sulkuyksikkö koostuu kolmesta levystä, joista etulevy on kiinteästi kiinni ruiskuvalukoneen rungossa. Muotin etupuolisko eli kiinteä puolisko kiinnitetään tähän levyyn. Takimmainen levy toimii sulkuyksikön toisena ankkurilevynä. Etu- ja takalevy ovat normaalisti kiinni toisissaan neljän yhdensuuntaisen johteen avulla. Levyjen välissä on kolmas levy, johon kiinnitetään takamuotti eli muotin liikkuva puolisko. Kolmas levy pystyy liikkumaan vapaasti etu- ja takalevyn välisten johteiden välissä. Takalevyyn kiinnitetään ulostyöntösylinteri, joka ohjaa muotin liikkuvassa puoliskossa olevaa ulostyöntömekanismia.

Sulkuvoima on keskeisin ruiskuvalukoneen kokoa ja suorituskykyä kuvaava tekijä. Sulkuvoimat vaihtelevat muutamasta tonnista aina 10 000 tonniin asti. Useimmissa ruiskuvalukoneissa on polvi-nivelistö, joka tukee liikkuvaa muottipöytää ruiskutusprosessin aikana ja tuottaa sulkuvoiman yhdessä sulkusylinterin kanssa.



Kuva 5. Vasemmalla: Sulkuyksikön rungon kaaviokuva. Oikealla: Polvinivelistöä.

## 2. Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikön päätehtävät ovat:

- Lämmittää ja plastisoida muoviraaka-aineet, jotka on syötetty supillon kautta koneen sylinteriin
- Siirtää plastisoitu muoviraaka-aine muottipesään
- Muodostaa jälkipaine

Lisäksi:

- Siirtää tarvittaessa ruiskutusyksikkö muottia vasten ja vastaavasti irrottaa sen ruiskutusjaksion jälkeen
- Muodostaa voima, jolla ruiskutusyksikön suutin pidetään tiiviisti muotin suutinta vasten

Ruiskutusyksikön tärkeimmät osat ovat syöttösuppilo, sylinteri, ruuvi, sulkurengas, suutin sekä lämmitysvastukset (Kuva 6). Ruuvi liikkuu plastisointivaiheessa taaksepäin keräten eteensä yhteen ruiskutuskertaan tarvittavan materiaalmäärän. Itse ruiskutusvaiheessa ruuvi liikkuu eteenpäin työntäen plastisoitua massaa muottiin. Ruuvissa oleva sulkurengas estää massan virtauksen taaksepäin. Ruiskutustilavuus on eräs ruiskuvalukoneen kokoa kuvaava suure.

Ruiskutusliike saadaan aikaan hydraulisynterillä, joka työntää ruuvia eteenpäin antaen massalle ruiskutuspaaineen, joka on maksimissaan alueella 1500...2000 bar.

Ruiskutus sylinterin kärjessä on suutin, jonka kautta massa ruiskutetaan muottiin. Suutin voi olla varustettu sulkumekanismilla, joka estää polymeerimassaa virtaamasta pois sylinteristä plastisointivaiheen aikana. Sulkusuutin voi olla joko ulkoisesti ohjattu tai paineohjattu.

Massan takaisinvirtaus sylinterissä estetään sulkurenkaan avulla, joka toimii eräänlaisena takaiskuventtiilinä.



Kuva 6. Vasemmalla: Kaaviokuva ruiskutusyksiköstä. Oikealla: Ruiskutusyksikkö.

### 3. Käyttö- ja ohjausyksikkö

Pääosa ruiskuvalukoneista on tällä hetkellä tietokoneohjattuja. Ohjaus tapahtuu ns. ohjausyksikön avulla. Ohjausyksiköllä säädetään ja ohjataan normaalisti seuraavia toimintoja:

- Sylinterilämpötilat, sulan, kuumakanavan ja muotin lämpötila
- Kierukkaruuvien pyörimisnopeus, ruiskutusnopeus
- Jälkipaine
- Pöydän liikkeet, keernatoiminnot

Käyttöyksikkö on ruiskuvalukoneen käyttöliittymä, jonka kautta koneen käyttäjä voi tehdä koneelle kaikki tarvittavat asetukset ja käynnistyskomennot.

## Muotti

Muotti on ruiskuvalukoneen vaihdettava osa, jonka avulla ruiskuvalettavalle kappaleelle annetaan haluttu muoto. Ruiskuvalumuotti on paineastia, joka on mitoitettava kestämaan sulan materiaalin paine valutapahtuman aikana. Käytännössä paine saattaa nousta korkeimmillaan aina 2 000 bar saakka.

Ruiskuvalumuotit pyritään nykyisin tekemään mahdollisimman pitkälle standardiosista ja moduulirakenteisena. Standardiosista ja modulaarisuudesta on esimerkiksi seuraavia hyötyjä:

- Muotti on nopea valmistaa
- Osat ovat vaihtokelpoisia
- Muotin laatu on tasaisempi ja parempi kuin, jos kaikki osat olisivat yksittäiskappaleita
- Vanhoja muotteja voidaan käyttää uudelleen

Yksinkertaisimmillaan muotti koostuu kahdesta osasta, jotka on kiinnitetty ruiskuvalukoneen muottipöytiin. Kaksi peruselementtiä, kiinteä muottipuolisko ja liikkuva muottipuolisko, voidaan löytää jokaisesta ruiskuvalumuotista.



Muotin perustehtävät ovat

- Toimia polymeerisulan juoksukanavana
- Antaa ruiskuvalukappaleelle haluttu muoto
- Jähmettää massasula kiinteään muotoon
- Poistaa valmis kappale muottipesästä

## Ruiskuvalun prosessiparametrit

---

Ruiskuvalun prosessiparametrit jakaantuvat laitteiston osien ja toimintojen välille seuraavasti:

- **Lämpötilat:** Sylinteri ja muotti
- **Nopeudet:** Ruuvin pyörimisnopeus (annostelunopeus), ruuvin ruiskutusnopeus ja jälkipainenopeus (muotin liikenopeus ja ulostyöntönopeus)
- **Paineet:** Vastapaine, ruiskutusaine, jälkipaine
- **Ajat:** Jälkipaineaika, jäähdytys- tai reaktioaika, (maksimi ruiskutusaika ja annostelu-aika)

### Lämpötilat

**Sylinterin lämpötila.** Sylinterin lämpötila on riippuvainen materiaalista (raaka-ainetoimittajien ohjelämpötilat!) sekä jonkin verran annoskoosta ja kappaleen seinämänvahvuudesta. Heikosti virtaavat materiaalit tarvitsevat korkeamman lämpötilan.

**Muotin lämpötila.** Muotin lämpötilalla on vaikutus

- Sykلياikaan:
  - esimerkiksi termoplastien tapauksessa muotin lämpötilan nostaminen yhdellä asteella pidentää sykliä 2 %.
- Tuotteen ominaisuuksiin:
  - kiteisyysasteeseen ja kiteiden kokoon
  - jäännösjännityksiin -> vääntyilyyn
  - pintavirheisiin
  - kutistumaan

Asettamalla muotin lämpötila siten, että sulan jähmettyminen tapahtuu kohtuullisen hitaasti, saavutetaan usein paremmat tuoteominaisuudet kuin siinä tapauksessa, että jähmettymisreaktiot tapahtuvat nopeasti. Samalla kuitenkin yhteen valukiertoon kuluva aika pidentyy.

### Nopeudet

**Annostelunopeus.** Nostamalla ruuvin pyörimisnopeutta eli annostelunopeutta pystytään lyhentämään annostelu-aikaa. Liian suuri annostelunopeus saattaa johtaa sulamattomiin granulaatteihin ja massan hajoamiseen. Osittain kiteisten muovien annostelun pitäisi tapahtua hitaammin kuin amorfisten muovien.

**Ruiskutusnopeus.** Ruiskutusnopeus säätelee ruiskutusvaihetta. Tarkoituksena on saavuttaa pienin mahdollinen ruiskutusaine, jolla muotti saadaan täyttymään. Ruiskutusnopeudella on vaikutus kappaleen pinnanlaatuun ja sisäisiin jännityksiin. Muovi on ruiskutettava niin nopeasti, ettei sen jähmettyminen ehdi alkaa ennen kuin muotti on kokonaan täynnä.

## **Paineet**

**Vastapaine.** Vastapaine vastustaa ruuvien liikettä taaksepäin plastisoinnin aikana. Vastapaine auttaa massan homogenoimista ja sulattamista lisäämällä massan sisäistä kitkaa. Sisäisen kitkan vaikutus on suurimmillaan ruuvien etuosan homogenoituvuushyökkäyksellä. Liian matala vastapaine saattaa johtaa epähomogeeniseen sulaan, jossa voi jopa olla osittain sulamattomia granulaatteja. Liian suuri vastapaine puolestaan voi johtaa massan termiseen hajoamiseen. Amorfisten muovien vastapaineen kesto ruiskuvalussa on yleensä huomattavasti pienempi kuin osittain kiteisten muovien.

**Ruiskutusaine.** Ruiskutuksen aikainen paine ei ole vakio. Asetusarvo saavutetaan usein vasta muotin täyttymisvaiheen lopussa. Ruiskutusainetta on oltava riittävästi, jotta massa saadaan virtaamaan riittävästi muotin täyttymiseen. Paineita ei kuitenkaan saisi olla tätä enempää. Ohutseinämäiset tuotteet, jotka vaativat pitkä virtausmatkan, vaativat myös korkean ruiskutusaineen.

**Jälkipaine. Paineenvaihto ruiskutusaineelta jälkipaineelle.** Jälkipaineella pyritään kompensoimaan massan termisen kutistuminen sen jähmettyessä. Paineen vaihtaminen oikeassa kohdassa ruiskutusaineelta jälkipaineelle on tärkeää, sillä vääräaikainen vaihto voi johtaa esim. mittatarkkuusongelmiin kappaleessa, jännityssäröilyyn sekä sisäisiin jännityksiin (jäännösjännitykset).

Paineenvaihtokohta määräytyy joko

- ruuvien matkasta
- tai ruiskutusajasta
- tai hydraulipaineesta
- tai muottipaineesta

Myöhästynyt paineenvaihto aiheuttaa painepiikin ja saattaa vahingoittaa muottia sekä aiheuttaa pursetta. Liian aikainen vaihto voi puolestaan aiheuttaa vajavaisesti täyttyneen kappaleen sekä erittäin hidas lopputäyttö voi johtaa kosmeettisiin ongelmiin tai heikkoihin yhtymäsaumoihin.

Jälkipainevaiheessa ruuvi liikkuu hitaasti ja puristaa massaa muottiin. Se on tyypillisesti 40 - 80 % ruiskutusaineesta. Liian korkea jälkipainetaso johtaa sisäisiin jännityksiin kappaleessa ja vastaavasti liian matala jälkipainetaso johtaa liian vajaan täyttöön.

## **Ajat**

**Jäähdytys- tai reaktioaika.** Termoplastin jäähdytysjakso alkaa heti massasulan virratessa muottiin. Sitä jatketaan kunnes kappale on mitoiltaan tarkka sekä riittävän jäykkä., jottei sen deformatumista tapahdu poistettaessa sitä muotista. Jäähdytys jatkuu siis vielä jälkipaineen jälkeenkin.

Poistettaessa ruiskuvalukappale muotista, joutuu se muotista poikkeavaan ympäristöön. Lämpötilaolosuhteet saattavat muuttua sekä jälkipaineen aiheuttamat sisäiset jännitykset pystyvät purkautumaan kappaleen muodon vääristymänä, koska muotin tukea ei enää ole. Lyhyt jäähdytysaika vaikuttaa usein merkittäväällä tavalla kappaleen jännitysten laukeamiseen ulostyön jälkeen. Pitkä jäähdytysaika puolestaan yleensä pienentää kappaleessa syntyvää kutistumaa.

Reaktioaika on vastaavasti aika, jonka kuluessa termosetin ristisilloittuminen tapahtuu. Ajan on oltava riittävän pitkä, jotta reaktio ennättää alkaa ja toteutua siinä määrin kuin halutaan.

**Jälkipaineaika.** Jos jälkipaine ei ehdi vaikuttaa riittävää aikaa, syntyy kappaleen pintaan epätasaisuuksia, kuplia ja kieroutumista. Jälkipaineaika on riippuvainen portin koosta sekä kappaleen seinämävahvuudesta.

## **Erikoisprosessit**

---

Ruiskuvaluprosessia voidaan modifioida vastaamaan erilaisia tuotteen muotoiluun ja valmistustekniikkaan liittyviä tarpeita. Siihen on kehitetty seuraavia erikoistekniikoita:

- **Kaasuavusteinen ruiskuvalu**
- **Monikomponenttiruiskuvalu**
- **Muotissa pinnoittaminen:** Muotissa pinnoittamisen tavoitteena on saada ruiskuvalettava kappale kerralla valmiiksi. Näin pystytään välttämään kappaleen pintakäsittely ja pinnoittaminen jälkeensä. Suursarjatuotannossa muotissa pinnoittaminen on huomattavasti jälkeensä tapahtuvaa pinnoittamista edullisempi vaihtoehto. Erilaisia muotissa pinnoittamisen tekniikoita ovat:
  - **Muotissa etiketöinti:** Muottionkaloon asetetaan etiketti, joka on mahdollista kiinnittää muotin pintaan kiinni alipaineen avulla ja ruiskuvalun aikana se tarttuu kiinni sulaan muovimassaan. Näin tehdään pääasiassa etikettejä muovikappaleen tasomaisiin pintoihin. Prosessi on melko hidas, sillä etiketin laitto muottionkaloon tapahtuu muotin ollessa auki.
  - **Pinnoittaminen insertin avulla:** Ruiskuvalettavaan kappaleeseen haluttu pinnoite laitetaan valmiina inserttinä muottionkaloon.
  - **Siirtokalvopinnoitus:** Siirtokalvopinnoituksessa valmiiksi tehty kalvo lämmitetään ennen ruiskuvalua ja muovataan muotin muotoihin, jonka jälkeen muottionkalo täytetään muovilla.
- **Taustaruiskuvalu:** Taustaruiskuvalu on menetelmä, jossa jokin valmis tuote, esimerkiksi piirilevy tai metallinen kappale, asetetaan muottiin ja ruiskuvaletaan päälle.
- **Inserttivalu:** Menetelmä, jossa muovituotteeseen voidaan valun yhteydessä liittää pienikokoisia osia, esimerkiksi metallisia kierrekomponentteja tai sähköisiä liitoskomponentteja.