

Kestomuottivalun suunnittelun perusteet

Stefan Fredriksson – Swerea/SweCast

Tuula Höök – Tampereen teknillinen yliopisto

Sanna Nykänen – Tampereen teknillinen yliopisto

Teknisesti hyvälaatuinen valukappale

Teknisesti hyvälaatuinen valukappale on suunniteltu siten, että se on mahdollisimman helppo valaa. Hyvä valettavuus vähentää valuvikojen todennäköisyyttä. Hyvin valettavan kappaleen muotti voidaan valmistaa mahdollisimman yksinkertaiseksi ja valmiin kappaleen mitat ovat helposti todennettavissa. Jotta tähän päästäisiin, suunnittelijan tulisi huomioida seuraavat yksityiskohdat:

- Kappaleelle on valittu sopiva valuasento siten, että liikkuvien osien määrä muotissa minimoituu sekä siten, että muottipesä on mahdollisimman yksinkertainen valmistaa.
- Kappaleelle on valittu sopiva valuasento siten, että sen kaikki osat täyttyvät ja tiivistyvät.
 - Osassa kestopuuttimenetelmiä muottipesä sekä täytetään että tiivistetään paineistamalla valettavaa materiaalia sisäänvaluportin kautta. Yleisimmät näistä menetelmistä ovat ruiskuvalu ja painevalu. Sisäänvaluportin paikka valitaan tällöin sekä täyttymistä että tiivistämistä (eli syöttämistä) ajatellen. Valukoneella tuotetusta täyttö- ja tiivistysvoimasta johtuen painovoiman suunnalla ei ole suurta merkitystä. Kappaleen paksut osat tulee pyrkiä asettamaan sisäänvaluportteja kohti, jotta ne ovat helposti syötettävissä. Muut osat tulee asettaa siten, että valumateriaali pääsee virtaamaan mahdollisimman suoraviivaisesti muottipesän läpi. Ruiskuvalussa on lisäksi huomioitava, että muottipesän paine kasvaa tasaisesti valuporteilta eteenpäin. Polymeerimateriaalit ovat kokoonpuristuvia, jolloin paine kasvaa enemmän valuporttien läheisyydessä kuin muottipesän kauempana olevissa osissa. Metalliseokset eivät puristu kokoon. Niiden paine kasvaa suhteellisen tasaisena koko muottipesässä.
 - Metalliseosten kokillivalussa muottipesä täytetään ja tiivistetään painovoiman vaikutuksesta. Menetelmä kuuluu hiekka- ja tarkkuusvalun ohella nk. painovoimaisiin valumenetelmiin. Painovoiman suunnalla on valuasennon valinnassa suuri merkitys. Sisäänvaluportit asetetaan siten, että valumateriaali virtaa muottipesään mahdollisimman tasaisesti. Vaatimus johtaa useimmiten asettamaan sisäänvaluportit muottipesän sivulle tai alapuolelle, koska tasainen virtaus on helpoimmin toteutettavissa tarkoitukseen erikseen suunnitellussa kanavistossa kuin muottipesän muotojen avulla. Syötöt asetellaan muottipesän yläpuolelle siten, että muotti on avattavissa.
 - Metalliseosten matalapainevalussa syöttäminen voidaan toteuttaa sisäänvaluportin kautta, mutta ellei se riitä, myös syöttökupujen kautta. Matalapainevalun sisäänvaluportti on menetelmän rajoitteista johtuen aina muottipesän alapuolella.
 - Kappale on menetelmästä riippumatta suunniteltu helposti täytettäväksi. Siinä ei esimerkiksi saa olla muottiaineen sisään meneviä ulokkeita vailla ilmanpoistoa.
 - Valumateriaali ei saisi myöskään jakaantua useampaan toisiinsa törmäävään sularintamaan muottipesän sisällä. Ruiskuvalukappaleessa toisiinsa törmäävät sularintamat tuottavat muuta ainetta heikkomat yhtymäsaumat. Herkästi hapettuvilla metallisilla materiaaleilla sularintaman pinnassa on oksideita, jotka sekoittuvat törmäyshetkellä ja jäävät valmiiseen kappaleeseen näkyväksi muodostelmaksi. Herkästi hapettuvia metalliseoksia ovat alumiini- ja magnesiumipohjaiset seokset.

- Muovien virtausprofiili muottipesän täyttymisen aikana vaikuttaa kappaleen ominaisuuksiin vielä enemmän kuin metallien kohdalla. Muovit kutistuvat eri tavoin eri virtaus suunnissa. Jotkin muovilaadut ovat erittäin herkkiä virtausnopeuden vaihtelulle.
- Jakolinja on valittu edellisten perusteella. Jakopinta on suunniteltu siten, että paineistettuun muottiin saadaan riittävän laaja tasomainen liityntäpinta muottipuoliskojen välille.
- Kappaleen jakotasoon nähden kohtisuorat seinämät on varustettu sopivilla hellityksillä.
- Jakolinjalla olevat kappaleen nurkat ovat pyöristämättömiä. Erillisen kiinteän keernan ja muottipesän väliset nurkat ovat pyöristämättömiä.
- Kaikki loput nurkat on pyöristetty sopivalla pyöristyssäteellä. Ulkonurkkien pyöristys valitaan muotin koneistusmenetelmän, valumateriaalin vaatimusten ja valutekniikan asettamien vaatimusten perusteella. Sisänurkkien pyöristykseen vaikuttavat pelkästään valumateriaalin ja valutekniikan vaatimukset, koneistamisen vaatimuksia ei tarvitse huomioida. Valutekniikan vaatimuksista tärkein on nopeus, jolla sula täytetään muottiin. Mitä suurempi täyttönopeus on, sitä kovemmalle rasitukselle muotti joutuu ja sen enemmän huomiota on kiinnitettävä osien eroosioalttiuteen ja yleiseen kestävyYTEEN.
- Kappaleessa on valettavaan materiaaliin, valumenetelmään ja muotin pinnankarheuteen nähden sopiva seinämänpaksuus. Seinämänpaksuuden tulee mieluiten olla suurempi kuin tietyn valimon tai teknisen kirjallisuuden ilmoittama minimiseinämänpaksuus. Minimiseinämänpaksuus on nimensä mukaisesti seinämänpaksuus, jota alemmas ei enää päästä. Se ei ole mittasuositus.
- Kappaleessa ei ole paksuja seinämiä ohuiden seinämien ympäröimänä eikä jyrkkiä muutoksia seinämänpaksuudessa. Muovit ovat erittäin herkkiä muodostamaan imuja ja vääntyilemään, jos kappaleen seinämänpaksuus vaihtelee. Muovikappaleiden seinämänpaksuudet tulisi pyrkiä pitämään kullekin muovimateriaalille annetun ohjeistuksen puitteissa.
- Rivoitukset ja muut vastaavat seinämien risteyskohdat on erityisesti ruiskuvalukappaleissa suunniteltu siten, ettei kappaleen näkyville pinnoille tule imuvikoja. Muissakin menetelmissä ripojen liityntäkohdat on syytä suunnitella huolellisesti mitoitusohjeita noudattaen.
- Kappaleessa on koneistusvarat siellä, missä tarpeen.
- Kappale on suunniteltu 3D-CAD ohjelmistolla hyvää kestumuoittivalujen piirremallinnustapaa noudattaen.

Seuraavissa kappaleissa yksityiskohtia käydään läpi otsikoituna seuraavasti: 1) valuasennon valitseminen ja kappaleen jakaminen muottipuoliskoihin; 2) hellitykset eli päästöt; 3) kutistumat; 4) kappaleen valettavuuden arviointi; 5) seinämänpaksuus ja seinämien muoto. Hyvän piirremallinnuksen tapa käsitellään erikseen omana lukunaan.

Valuasento ja kappaleen jakaminen muottipuoliskoihin

Metalliseen muottiin valettavassa kappaleessa täytyy olla nurkkakohta, jakolinja, jota pitkin kappale jaetaan muottipuoliskoihin ja jonka kohdalle tulevat muotin jakopinnat. Jakopinnat ovat pintoja, jotka jakavat muotin kahteen (tai useampaan) osaan. Jakolinjan paikka valitaan kappaleen muotojen, valuasennon ja tavoiteltavien mittatoleranssien perusteella.

Mittatarkkuus jakopinnan ylitse on huonompi kuin samassa muottipuoliskossa muotoiltavien kappaleen osien välillä. Liikkuvat keernat sekä joissain menetelmissä käytettävät hiekkakeernat ja liukenevat keernat heikentävät myös mittatarkkuutta.

Kappaleen pinnat, jotka osuvat jakolinjan kohdalle tai valujärjestelmään kuuluvien porttien kohdalle, ovat muita pintoja huonommat ja ne täytyy useissa menetelmissä viimeistellä jälkeensä.

Muovikappaleet pyritään valmistamaan siten, ettei mitään viimeistelytoimenpiteitä tarvita. Ruiskuvalussa, RIM -menetelmässä ja monissa muissa muovien valamiseen käytettävissä menetelmissä pyrkimys usein toteutuukin, mutta esimerkiksi ahtopuristusmenetelmässä kappale tiivistetään pakottamalla muottipesässä oleva ylimääräinen valumateriaali jakopinnan kautta purseena ulos.

Painevaluihin muodostuu suurista prosessointipaineista johtuen helposti jakopintapursetta, vaikka muotti olisi jakopinnoiltaan hyvin huolellisestikin viimeistely. Painevalut, ahtopuristetut tuotteet ja toisinaan ruiskuvalutkin viimeistellään leikkurilla. Leikkaaminen on yksinkertainen, nopea ja myös helposti automatisoitava viimeistelytoimenpide, koska porttikohdat ovat suhteellisen ohuita, materiaalit hyvin leikkaantuvia ja leikkurit työkaluineen jo pitkään käytössä ollutta, vakiintunutta tekniikkaa. Leikkaustyökalu aiheuttaa kuitenkin jonkin verran lisäkustannusta.

Kokilli- ja matalapainevaluissa on suhteellisen massiiviset sisäänvaluportit ja syöttöihin johtavat kaulat, jotka täytyy viimeistellä hiomalla. Jakopintapursetta ei näissä menetelmissä muodostu kovin paljon, koska muottipesässä on vain vähäinen paine. Jakolinjan viimeistelyyn riittää kevyt hionta. Kokilli- ja matalapainevalukappaleet on hyvä suunnitella siten, että mahdollisimman suuri osa sisäänvaluporteista ja syöttöjen kauloista tulee koneistettaville pinnoille. Lopputulos on tällä tavoin mahdollisimman siisti.

Valuasento on erityisen tärkeä niissä valumenetelmissä, joissa jähmettymiskutistumaa korvaava metalli virtaa muottipesään syöttökuvuista. Valuasennolla tarkoitetaan kappaleen asentoa muotissa suhteessa painovoiman suuntaan, muotin jakopintoihin, sisäänvaluporttiin ja mahdollisiin syöttöihin. Syöttökuvuilla syöttämistä kutsutaan myös painovoimaiseksi syöttämiseksi.

Syöttökupuja käytetään kaikissa kertamuottimenetelmissä ja kestopuottimenetelmistä kokilli- ja matalapainevalussa. Valukappale tulisi näissä menetelmissä pyrkiä asettamaan painovoiman suuntaan nähden siten, että paksuimmat kohdat ovat ylimpänä syöttökupujen alla eikä paksuja kohtia jää ohuiden kohtien ympäröimäksi. Kertamuottimenetelmissä on paljon enemmän vapautta sijoitella syöttökuvut valamisen kannalta parhaisiin kohtiin kuin kestopuottimenetelmissä. Kestomuottimenetelmissä kupujen on sijaittava jakopinnan kohdalla siten, että muotti on avattavissa. Kertamuottimenetelmissä kupuja voi sijoittaa myös muottiaineen sisälle.

Painevalussa ja muovien ruiskuvalussa ei käytetä syöttökupuja. Painevalujen tapauksessa korvausmetalli virtaa valuportin kautta painevalukoneen valuiskun kolmannen eli tiivistysvaiheen aikana. Ruiskuvalujen kutistuma kompensoidaan vastaavalla tavalla, mutta valukierron vaiheen nimenä on jälkipaine. Muottipesässä olevaa raaka-ainetta paineistetaan jälkipaine- tai tiivistysvaiheessa, kunnes se on riittävän jähmettynyt. Jotta paineistaminen onnistuisi, täytyy kappale suunnitella siten, että paksuihin muotoihin on esteetön virtaus portilta. Muoviraaka-aine on kokoonpuristuvaa. Muovia voi puristaa muottiin ylitilavuuteen siten, että kun kappale poistetaan muotista, sen tilavuus kasvaa. Ruiskuvalumuotin muottipesässä on porttien edessä suurempi paine kuin muualla. Kokoonpuristumisilmiö saa kappaleen väännyilemään, jos portteja ei ole sijoitettu viisaasti tai jos kappaleessa on hankalalla tavalla eri paksuisia seinämiä.

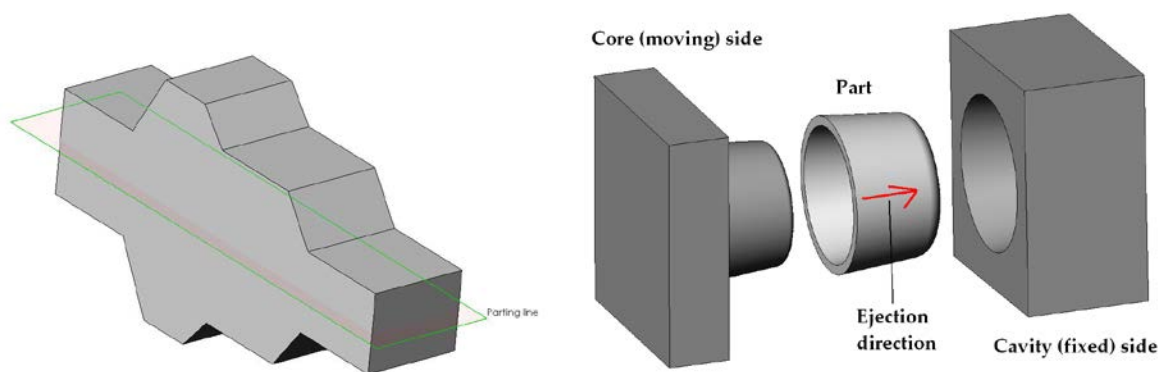
Ruisku- ja painevalumenetelmissä valettavan materiaalin tulisi edetä jatkuvalla ja tasaisella virtauksella muottipesän läpi valuporteilta muottipesän äärimmäisiin osiin. Jos osa muottipesästä täyttyy takaisinvirtauksella, kappaleeseen voi muodostua erilaisia valuvikoja, esimerkiksi loukkuun jäänyttä ilmaa ja sulkeumia. Virtausnopeuden vaihtelu aiheuttaa muottipesän kulumista, hapettumista ja muovien tapauksessa palamista.

Hankalaksi osoittautuvia muotoja voivat olla ne, joissa sulavirta erkanee kahteen tai useampaan haaraan kiertääkseen esteen. Kun sulavirrat kohtaavat esteen takana, ne ovat jo jonkin verran jäähtyneitä ja pinnoiltaan hapettuneita eivätkä enää sulaudu täydellisesti toisiinsa. On mahdollista, että esteen takana olevat alueet täyttyvät vasta takaisinvirtauksen mekanismilla - tai eivät täyty ollenkaan, mikäli osa kappaleesta on ennättänyt jo jähmettyä.

Kappaleessa olevia onteloita ja syvennyksiä muotoavia muottipintoja kutsutaan keernapinnoiksi ja ulkopuolisia muotoja muotoavia pintoja pesäpinnoiksi. Kaksiosaisen muotin toista puoliskoa kutsutaan useimmiten kiinteäksi muottipuoliskoksi eli pesäpuoliskoksi ja toista liikkuvaksi muottipuoliskoksi eli keernapuoliskoksi tai ulostyöntöpuoliskoksi. Jos valumenetelmässä käytetään ulostyöntöä, muotin ulostyöntöpuoliskoon tulisi asettaa suurin osa kappaleen keernapinnoista ja kiinteään puoliskoon suurin osa kappaleen pesäpinnoista. Muussa tapauksessa keernapintoja asetetaan siihen muottipuoliskoon, jossa kappaleen tulisi luotettavasti sijaita muotin avautumisen jälkeen. Keernapinnat kiinnittävät kappaleen muottipesään siten, että se on tarjolla ulostyönnettäväksi tai muulla tavoin poistettavaksi.

Ulostyöntö tapahtuu kappaleen keernapinnoista. Keernapinnat muotoillaan siten, että niihin voidaan asettaa tasaisille ja mieluiten jakotason suuntaisille pinnoille riittävän kokoiset ulostyöntimet. Ulostyöntöön tarvittava voima on sitä suurempi mitä voimakkaammin valettava kappale kutistuu keernapinnoille eli mitä korkeampia muotoja ja pienemmät hellitykset niissä on.

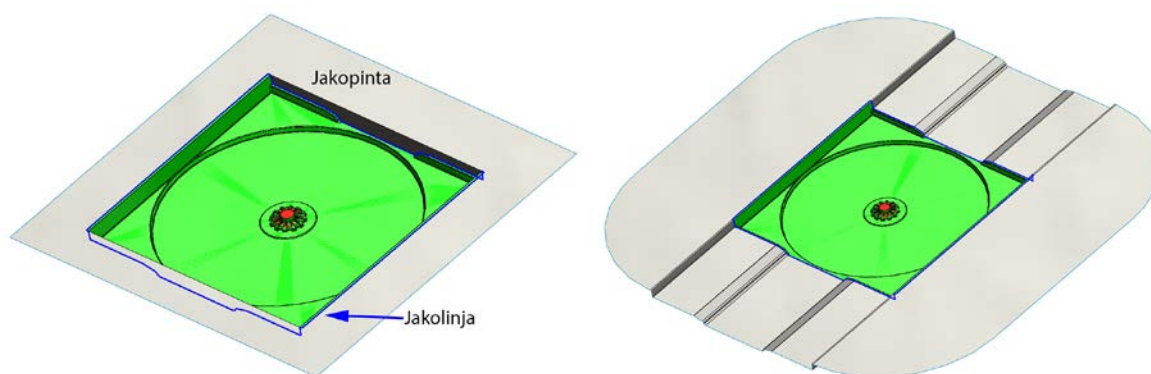
Ulostyöntöä ei saa suunnitella toteutettavaksi keskeltä laajoja tasomaisia pintoja. Polymeerimateriaalit ovat ulostyönnon tapahtuessa vielä suhteellisen pehmeitä, jolloin on mahdollista, että ulostyöntimet painavat kappaleen kuopille, mikäli ulostyöntöön käytettävä seinämä on ohut ja laaja. Ellei ulostyöntimiä ole tällöin mahdollista sijoittaa pystyseinämiä lähisyyteen tai kappaleessa valmiiksi oleviin paksuihin kohtiin, niitä varten tulee suunnitella vahvikkeet esimerkiksi rivoituksen muodossa. Metallikappaleilla ongelma on mahdollinen, mutta harvinainen, koska metallit ovat polymeerimateriaaleihin verrattuna huomattavasti jäykempiä.



Kuva 1. Vasemmalla: Kappaleen jakolinja ja jakopinta. Levymäisessä, sylinterimäisessä tms. blokin muotoisessa kappaleessa ei ole selvää keerna- ja pesäpuolta. Oikealla: Kotelomainen tai kuppimainen kappale jakaantuu selvään keerna- ja pesäpuoleen, joilla on merkitystä valuasennon ja hellityssuuntien kannalta.

Jakopinnat voivat olla tasomaisia tai muotoiltuja. On aina edullisempaa pyrkiä suunnittelemaan kappale siten, että muotin jakopinnasta tulee tasomainen. Tasomainen pinta on halvempi valmistaa ja se myös pysyy kiinni varmemmin. Muotoillulla jakopinnalla voidaan toisinaan välttää liikkuvia keernoja. Tällöin muotin kokonaiskustannukset saadaan pienemmiksi, vaikka muotoiltu jakotaso olisikin työstökustannuksiltaan kalliimpi ratkaisu.

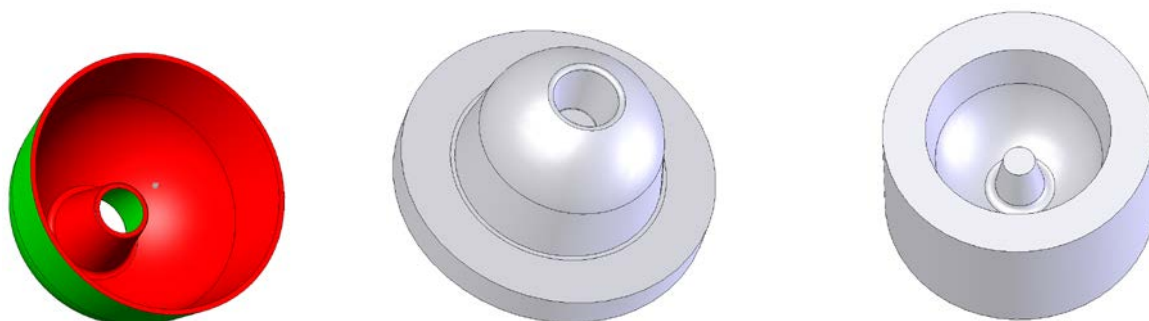
Vaikka kappaleen jakolinja ei asettuisikaan yhdelle tasolle, muottiin voidaan siitä huolimatta valmistaa tasomainen jakopinta. Seuraavan kuvan esimerkki (Kuva 2) selvittää tilannetta. Muotti, jonka jakopinta on tasomainen, on useimmiten valmistuskustannuksiltaan edullisempi kuin muotti, jossa on porrastettu jakopinta.



Kuva 2. Vasemmalla: Tasomaiseksi muotoiltu jakopinta. Oikealla: Suoraan jakolinjan muodon mukaan tehty jakopinta. jakolinja on merkitty sinisellä molempiin kuviin.

Työstökustannusten kannalta on edullista suunnitella kappale siten, että kaikki syvät muodot voidaan valmistaa samassa muottipuoliskossa. Toisaalta kiinteiden keernojen sijainti voidaan valita useilla eri tavoilla. Valinta vaikuttaa pesien valmistuskustannukseen (Kuva 3 - Kuva 5)

Keernojen sijainnit määrittävät osaltaan myös jakolinjan paikkaa. Liikkuvat keernat on välttämätöntä asetella mahdollisimman paljon jakopintojen suuntaisiksi lukuun ottamatta pienikokoisia vastapäästöllisiä muotoja, jotka voidaan toteuttaa jollain muotin standardiosina myytävillä mekanismeilla.

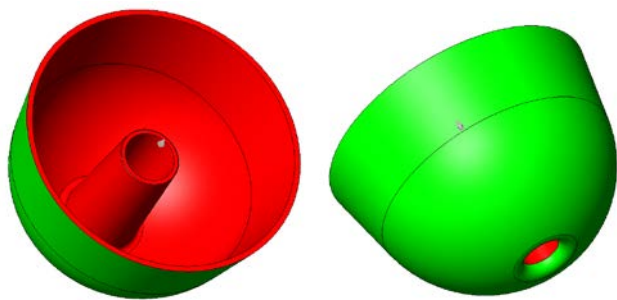


Hellitysten analysoinnin tulos CAD -ohjelmassa

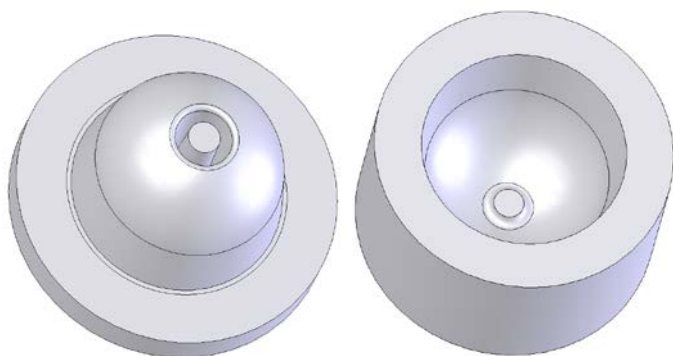
Muotin keernapuolisko

Muotin pesäpuolisko

Kuva 3. Esimerkki jakolinjan valinnan vaikutuksesta muottipesän muotoihin. Kupin muotoinen kappale, jonka pohjassa on torni ja keernalla valmistettu reikä. Keerna on kiinteässä muottipuoliskossa. Hellityssuunnat näkyvät kuvassa väreinä. Jakolinja seuraa kupin suuaukkoa ja keernan ylälaitaa nurkassa, jossa tapahtuu värimuutos vihreästä punaiseksi. Muotin liikkuva puoli muovaa kappaleen sisäpinnat; kiinteä puoli ulkopinnat ja keernapinnat. Tällä tavoin koostetulle kappaleelle on melko yksinkertaista tehdä muotti. Ratkaisu on kustannuksiltaan pienempi kuin seuraavaksi esitettävä vaihtoehto. Etuna on myös, että tornin seinämänpaksuus pysyy vakiona.



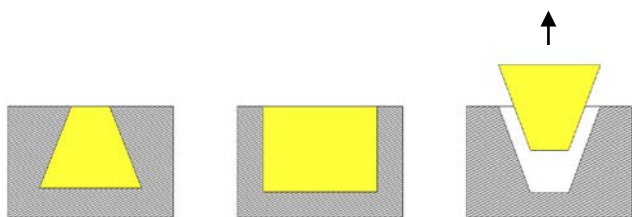
Kuva 4. Torni on ulkomitoiltaan samanlainen kuin edellisessä esimerkissä, mutta keerna, jolla muotoillaan keskellä oleva reikä, on nyt liikkuvassa muottipuoliskossa. Tornin seinämänpaksuus kasvaa hellitysten vuoksi voimakkaasti kupin pohjaa kohden.



Kuva 5. Vasemmalla: Muotin keernapuoli. Miltei kaikki keernapinnat ovat tässä muottipuoliskossa. Myös kiinteä keerna, joka muotoaa tornin keskellä olevan reiän. Keerna täytyy tehdä erillisenä kappaleena. Ratkaisu on melko kallis, koska keernan lisäksi tulee lisää työtä lankasahaamalla valmistettavasta kiinnitysreistä. Oikealla: Muotin pesäpuoli. Muoto on yksinkertainen ja helppo koneistaa.

Hellitykset eli päästöt

Jotta jähmettynyt kappale ei tarttuisi muottipesään, siihen täytyy suunnitella hellitykset kaikkiin irrotussuuntaisiin pintoihin eli jakotasoon nähden kohtisuoriin pintoihin ja liikkuvan keernan liikesuuntaisiin pintoihin. Hellityksellä tarkoitetaan valukappaleen seinämän kallistamista tiettyyn valumateriaalista ja -menetelmästä sekä muotin pinnankarheudesta riippuvaan kulmaan.



Ei toimiva

Mahdollinen

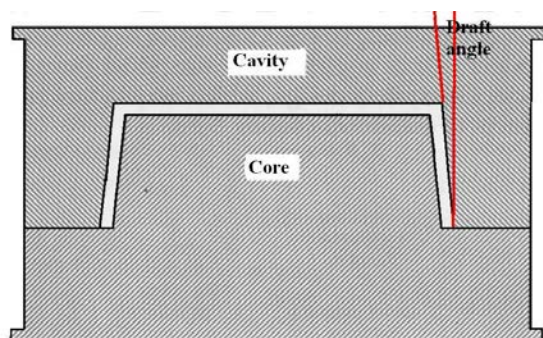
Paras ratkaisu

Kuva 6. Hellitykset eli päästöt.

Hellitykset tulee ottaa huomioon jo mahdollisimman varhaisessa vaiheessa kappaleen suunnittelu-prosessia. Näin kappale saadaan suunniteltua mahdollisimman helposti ja siten, että päädytään hyvään lopputulokseen.

Periaatteessa hellitys voitaisiin laskea erisuuruiseksi keernapinnoille, pesäpinnoille ja kappaleessa oleviin reikiin. Usein valitaan kuitenkin sama kulma sekä keerna- että pesäpuolelle, jotta seinämän-paksuus säilyy tasaisena. Valumateriaaleille on tyypillistä kutistua ja puristua keernan ympärille ja keernojen väliin. Tämän vuoksi kappaleen irrottamiseen tarvittavat voimat voivat olla hyvinkin suuret. Suurimmat ulostyöntövoimat ovat alkuperäiseen irrotusvastukseen tarvittavat voimat, joihin vaikuttaa mm. materiaalin kutistuma ja moduuli, kitkakerroin, pinnan karheus, kosketuspinnan suuruus sekä käytetty hellityskulma.

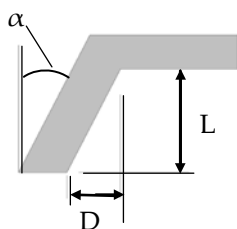
Mitä suurempi hellitys on, sitä helpommin kappale irtoaa muotista, mutta suuri kulma vaikuttaa kappaleen muotoon huomattavan paljon. Suuri hellitys voi paksuntaa tarpeettomasti joitain muotoja, esimerkiksi ruuvitorneja tai ripoja ja aiheuttaa uusia ongelmia imuvikojen, täyttymisvikojen ja metallien tapauksessa jännityskeskittymien muodossa. Ruiskuvalukappaleiden ruuvitorneja ja rivoituksia suunnitellaan usein minimihellityksillä ja jopa ilman hellityksiä, jotta vältetään tuottamasta imuvikoja kappaleen näkyville pinnoille. Rivoituksia myös kevennetään.



Kuva 7. Hellitykset kotelomaisessa kappaleessa. Hellitys alkaa jakolinjasta. Pesäpinnoilla voisi periaatteessa olla pienempi hellitys kuin keernapinnoilla, mutta käytännössä kulma valitaan keernapinnan mukaan, jotta seinämänpaksuus pysyy vakiona. Hellitys helpottaa kappaleen ulostyöntöä muotista.

Painevalun hellitys

Painevalun hellitys lasketaan seuraavan kuvan (Kuva 8) mukaisesti. D on hellitys millimetreinä, α hellitys asteina, L hellitettävän seinämän korkeus ja C materiaalikohtainen vakio. Vakio on erisuuruinen keernapinnoille, pesäpinnoille ja reikiin. Vakiot on taulukoitu seuraavaan taulukkoon, Taulukko 1.



$$D = \frac{\sqrt{L}}{C}; \quad \alpha = \frac{D}{0,01746 \cdot L} = \frac{1}{0,01746 \cdot C \cdot \sqrt{L}}$$

Kuva 8. Painevalujen hellityksen määrittämiseen käytettävä kaava.

Taulukko 1. Vakio C, jolla lasketaan hellityksen suuruus

Seos	Vakio, C		
	Sisäseinämä (keerna)	Ulkoseinämä (pesä)	Reikä
Mg	7,00	14,00	3,33
Al	6,00	12,00	4,68
Zn	9,90	19,80	6,75
Cu	4,90	9,90	3,33

Kappaleen sisäseinämän eli keernapinnan hellitys on kaksinkertainen ulkoseinämän hellitykseen verrattuna. Jos kappaleen seinämä on hyvin matala tai korkea, kaavat eivät enää aina päde, mutta ne antavat kuitenkin suuntaa hellityksen valintaa varten.

Kokillivalun ja matalapainevalun hellitykset

Ulkopinnoille 1°, laajoille keernapinnoille 2°. Ohuisiin ja korkeisiin metallikeernoihin 3 - 5°.

Muovikappaleiden hellitykset

Taulukko 2. Hellityskulmien suuruksia eri muoveille.

Muovi	Hellityskulma (°)
Polykarbonaatti (PC)	1 – 2
Polystyreeni (PS)	> 0,5
Polysulfoni (PSU)	1 - 2
Polyeetterisulfoni (PES)	1 – 2
Nestekidemuovit (LCP)	> 0,5
Polybuteenitereftalaatti (PBT)	1 – 1,5
Polyeteenitereftalaatti (PET)	1 – 1,5
Akryylinitriilibutadienistyreeni (ABS)	> 0,5
Polymetyylimetakrylaatti (PMMA)	> 1 – 2
Polyeteeni (PE)	> 0,7 – 0,8
Polypropeeni (PP)	> 0,7

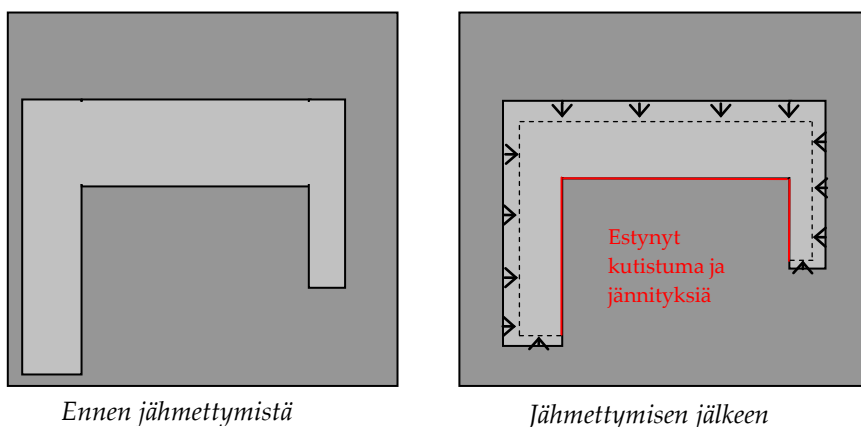
Jos muovikappale valmistetaan käyttäen kuvioitua pintaa, tarvitsee se lisää hellitystä kappaleen ulostyönön helpottamiseksi. Muottipesät, joissa on satunnainen kuviointi, tarvitsevat 1 – 1,5 ° hellitystä/sivu jokaista 0,025 mm kuvioinnin syvyyttä kohden. Säännölliset muodot, kuten puun syitä jäljittelevä muoto, joka kulkee kohtisuoraan kappaleen ulostyöntösuuntaa vasten, tarvitsevat vielä suuremman hellityksen. Pintakuvioinnit tehdään yleensä muottipesän puolelle, kappaleen ulkopintaan. Kuvioituilla keernoilla voidaan tehdä sisäisiä kuviointeja, mutta niiden ulostyöntö on erittäin vaikeaa, sillä muovimateriaali kutistuu tiukasti keernan ympärille. Tässä tapauksessa vieläkin suurempien hellitysten käyttäminen on välttämätöntä.

Kutistumat

Painevalut, kokilli- ja matalapainevalut

Kutistumat aiheutuvat kappaleen jäähmettymisen ja jäähtymisen aikana tapahtuvista tilavuuden muutoksista. Materiaalit kutistuvat sulassa olomuodossa, jäähmettyessään ja jäähtyessään kiinteässä olomuodossa. Jäähmettymisen (kiteytymisen) aikana tapahtuva kutistuma eli jäähmettymiskutistuma (kiteytymiskutistuma) muodostaa syöttämisen epäonnistuessa valukappaleeseen erilaisia kutistumavikoja. Kutistumavikoja ovat esimerkiksi imupainumat ja imuhuokoisuus. Jäähmettymiskutistuma ja jäähtymisen aiheuttama kutistuminen tuottavat kappaleeseen sisäisiä jännityksiä niissä kohdissa kappaletta, joissa muotti rajoittaa vapaata kutistumista. Kun kappale on poistettu muotista, se kutistuu lähes vapaasti materiaalin lämpöpiteneiskertoimen mukaisesti. Kutistumisilmiöihin vaikuttaa joukko erilaisia parametreja, esimerkiksi:

- Käytetty valumateriaali
- Materiaalin lämpötila valun aikana
- Painevalussa valukoneen kolmannen vaiheen paine
- Muotin kiinnipitoaika
- Muotin lämpötila
- Kappaleen muoto



Kuva 9. Kutistuma eri puolilla muottipesää.

Yllä olevassa kuvassa on muottipesässä jäähmettyvä valukappale. Kappale ei pääse kutistumaan täysin vapaasti, koska pesän keskellä oleva keerna rajoittaa kutistumista. Keernan ympärille jäähmettyvään osaan kappaletta muodostuu jännityksiä.

Muotin suunnittelija huomioi kappaleen kutistuman skaalaamalla muottipesiä tietyn kutistumaker-toimen eli krympin verran. Kutistuman suuruus riippuu valumenetelmästä ja valettavasta materiaalista. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 3) on esitetty kutistumien suuruudet eri valume-talleille. Kestomuottivalujen kutistumat ovat tyypillisesti 0,4 – 0,8 % luokkaa.

Taulukko 3. Eri metallien ja metalliseosten kutistumia

Materiaali	α [$^{\circ}\text{C}$]	Kokonaiskutistuma [%] ¹	Normaalikutistuma [%] ²
Magnesium	$26 \cdot 10^{-6}$	4,1	0,7 ³ (2,0 ⁴)
Alumiini	$21 \cdot 10^{-6}$	7,1	0,5 ³ (1,3 ⁴)
Teräs	$10 - 12 \cdot 10^{-6}$	-	1,6 ³ (2,6 ⁴)
Rauta	$10 - 12 \cdot 10^{-6}$	3,2	0,5 - 1,0 ⁴
Kupari	$18 \cdot 10^{-6}$	5,3	1,6 ⁴
Sinkki	$27 \cdot 10^{-6}$	4,1	0,9 ³ (2,6 ⁴)

¹ Puhdas metalli

² Valumallin tai muotin kutistuma

³ Painevalu

⁴ Hiekkavalu

Ruiskuvalut

Muoviset ruiskuvalukappaleet eivät käyttäydy kutistumisen suhteen samalla tavoin kuin metallikappaleet. Muovi puristuu jonkin verran kokoon, kun sitä paineistetaan muottipesän sisällä. Ruiskuvalukappaleen koko voi muottipesästä poistamisen jälkeen jopa hieman kasvaa. Ruiskuvalumuotin muottipesän sisälle ei muodostu kaikkialle samansuuruisia painetta. Paine on suurin valuportin edessä. Muualla pesässä se riippuu muottipesän dimensioista ja etäisyydestä portteihin. Ruiskuvalukappale voi muodostaa sisäisiä jännityksiä ja vääntyä samalla tavoin kuin metallikappale, mutta vääntyilyyn vaikuttaa kutistumisen estymisen lisäksi paine-ero muottipesän eri osien välillä.

Eri muovilajeilla on erisuuruiset kutistumat; joillain muovilajeilla kutistuminen voi olla hyvinkin suurta kun taas toisilla ei esiinny kutistumista juuri ollenkaan.

Ruiskuvalettavan kappaleen kokonaistoleranssien määrittäminen perustuu pitkälti kutistumien suuruuden hyvään ennakkointiin. Ruiskuvalukappaleiden suunnitteleminen tiukkoihin toleransseihin voi olla hyvinkin vaikeaa johtuen muovien melko suurista ja vaikeasti ennustettavista kutistumista. Joissain tapauksissa, kun esim. valmistetaan ruiskuvalettavia kappaleita, joiden on sovittava keskenään yhteen kokoonpanossa, toleranssien on kuitenkin oltava hyvinkin tiukat. Tällaiset kappaleet on ruiskuvalettava tarkkoihin mittavaatimuksiin perustuen.

Ruiskuvaluprosessi on jaettavissa eri vaiheisiin. Puristus- ja pitojaksot vaikuttavat valettavan kappaleen muottikutistumaan. Puristuspaine määrittää muottipesään ruiskutettavan massan määrän. Pitopaine kohdistuu ruuviin ja se pitää sulan muottionkalossa kappaleen jäähtyessä ja lisäksi työntää lisää sulaa massaa onkaloon kappaleen kutistuessa. Loppujen lopuksi portti jäähtyy ja kiinteytyy ja kappaleen kutistuminen muotissa jatkuu ilman uuden massan muottiin työntämistä. Jos edellä mainittuja paineita ei käytetä, voi muovikappaleen tilavuuden kutistuma olla jopa 25 %.

Muovikappaleet, joissa on sekä paksuja että ohuita seinämien kohtia, voivat sisäisten jännitysten vaikutuksesta kutistua alueilla, joilla kappaleen seinämänpaksuus muuttuu. Sisäiset jännitykset johtuvat mm. eri paksuisten seinämien eriaikaisesta jäähtymisestä. Osan paksuudella onkin suuri vaikutus osittain kiteisten muovien kutistumakäyttäytymisessä.

Ruiskuvalukappaleiden epätasainen kutistuminen aiheuttaa vaikeuksia saavuttaa halutut mitat sekä aiheuttaa sisäisiä jännityksiä ja kappaleen kieroutumista. Ilmiöön vaikuttavat muun muassa:

- muovikappaleen epätasainen jäähtyminen muotissa
- muovikappaleen lämpölaajenemisen erilainen suuruus eri suunnissa
- sularintaman etenemissuunnassa muovimassan orientaatio
- muovikappaleen etäisyys syöttöportista ja kappaleen geometria
- seinämänpaksuusvaihtelut muovikappaleessa

Osittain kiteisillä polymeereillä kutistuminen on suurempaa kuin amorfisilla polymeereillä. Osittain kiteisten polymeerien muottikutistuma vaihtelee välillä 1 – 4 %. Niillä esiintyy myös erisuuruisia jälkkikutistumia. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 4) on esitetty joidenkin muovityyppien muottikutistuman arvoja.

Taulukko 4. Muottikutistumia eri muoveille.

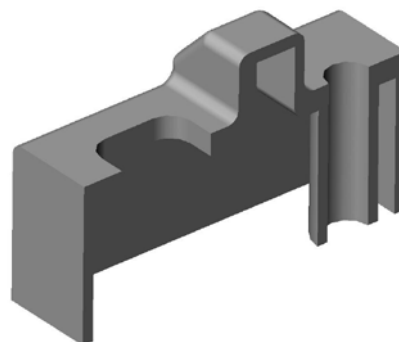
Muovi	Muottikutistuma (%)
Polystyreeni (PS)	0,4 – 0,7
Polysulfoni (PSU)	0,3 – 0,8
Polyeetterisulfoni (PES)	0,3 – 0,8
Nestekidemuovit (LCP)	0 – 0,2
Polyasetaaali (POM)	1,5 – 3,0
Polymetyylimetakrylaatti (PMMA)	0,3 – 0,7
Polyeteeni (PE)	1,5 – 3,5
Polypropeeni (PP)	1 – 2
Styreeni- eteenibuteeni – styreeni (SEBS)	0,5 – 3,5

Kappaleen valettavuus yleisesti

Kappaleen valamisen kustannukset riippuvat paljon kappaleen geometriasta. Mitä hankalammat muodot, sen suuremmat ovat valukustannukset. Tästä syystä on tärkeää suunnitella muodoista niin yksinkertaisia ja helposti valmistettavia kuin mahdollista. Vaikeiden muotojen tunnistaminen ei kuitenkaan ole helppoa. Useimmat muodot pystytään valamaan vaikeuksista, vaikka jotkut muodot saattavatkin aiheuttaa yllättäviä hankaluuksia.

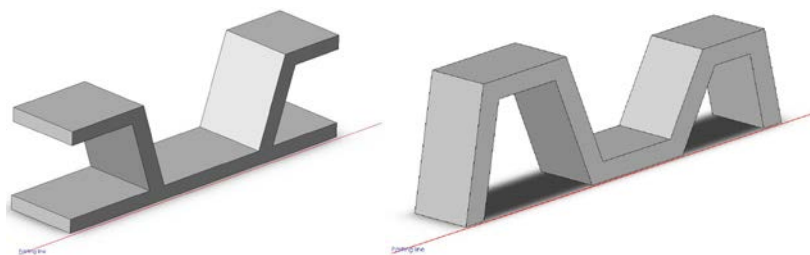
Ongelmallisia kohtia voivat olla:

- syvät ja kapeat reiät
- korkeat ja kapeat muodot
- ulokkeet, joista ei ole ilmanpoistoa



Kuva 10. Kappale, jossa on syviä muotoja keskellä. Ei erityisen hyvin valettava.

Liikkuvilla keernoilla valetut osat eivät ole yhtä mittatarkkoja kuin muut kappaleen osat. Liikkuvat keernat lisäävät myös muotin valmistuskustannuksia. Kappale tulisi mieluiten suunnitella siten, että se on valettavissa ilman liikkuvia keernoja.

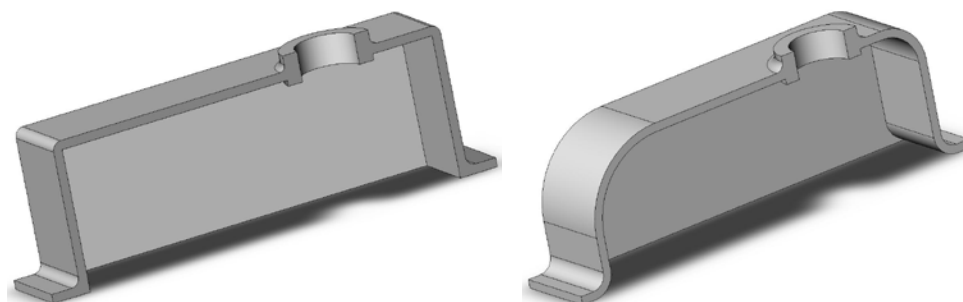


Kuva 11. Vasemmalla: Konstruktio vaatii liikkuvia keernoja. Oikealla: Kappale toteuttaa saman toiminnallisuuden, mutta se voidaan valaa ilman liikkuvia keernoja.

Seinämänpaksuus ja seinämien muoto

Painevalut, kokillivalut ja matalapainevalut

Kappaleen seinämissä ei saa olla teräviä tai tarpeettomia kulmia. Terävät kulmat hankaloittavat sulan virtaamista.



Huono

Parempi

Kuva 12. Esimerkki, kuinka kappaleesta tehdään helpommin täyttyvä. Oikealla olevassa kappaleessa on samat tekniset ja toiminnalliset ominaisuudet kuin vasemmanpuoleisessa kappaleessa, mutta muoto on pyöreämpi ja siten helpommin valettava.

Kappaleesta saadaan yleensä paremmin täyttyvä, kun sen seinämänpaksuutta kasvatetaan. Täyttymistä voidaan parantaa myös rivoittamalla torneja, joista ei ole luontevaa ilmanpoistoa.

Ohuiden seinämien suunnittelemiseen on olemassa metalliseoskohtaisia ohjeistuksia. Ohjeistukset tähtäävät kylmävikojen välttämiseen. Seuraavaan taulukkoon on koottu ohjeistoja eri seosten minimiseinämänpaksuudesta.

Taulukko 5. Minimiseinämänpaksuus eri metalliseoksilla

Materiaali	Suositeltava minimiseinämänpaksuus (mm)	
	Painevalu	Kokillivalu ¹
Alumiini	0,5-1,0	2-4
Magnesium	0,5-1,0	2-4
Sinkki	0,3-0,5	-
Teräs	-	5-8
Harmaa ja pallorauta	-	3-5

¹ Alumiinille arvot pätevät myös painevaluun



Kuva 13. Tasainen seinämänpaksuus

Ajan kuluessa valuissa on päästy yhä pienempiin seinämänpaksuuksiin, esimerkiksi erikoismenetelmillä, kuten tyhjövalu ja tixocasting. Tixocasting-menetelmällä valetaan ohutseinämäisiä magnesiumkappaleita. Tyhjövalu on yleisesti käytössä ja sitä käyttäen voidaan valaa ohutseinämäisiä ja hankalasti täytettäviä kappaleita useista metalliseoksista.

Seuraavassa kaavassa on esitetty suhde minimiseinämänpaksuuden sekä seinämän ja valuportin välisen etäisyyden välillä. Kaava pätee painevaluille magnesiumseoksille.

$$t_{\min} = 0,8 + (0,004 \text{ to } 0,005) \cdot S$$

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \text{Minimiseinämänpaksuus} \\ S &= \text{Etäisyys valuportilta} \end{aligned}$$

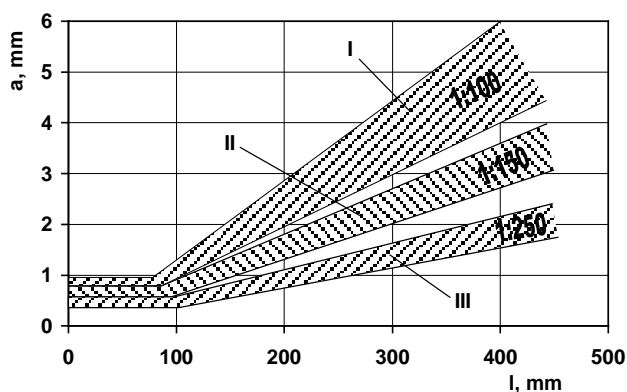
Painevalukappaleiden minimiseinämänpaksuus ja seinämän pinta-ala riippuvat toisistaan oheisen taulukon (Taulukko 6) mukaisesti.

Taulukko 6. Painevalukappaleiden minimiseinämänpaksuus seinämän pinta-alan funktiona

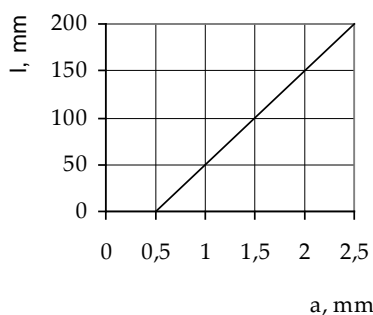
Seinämän pinta-ala (cm ²)	Minimiseinämänpaksuus (mm)			
	Mg	Al	Zn	Cu
<25	0,8	0,8	0,6	1,5
25 - 100	1,3	1,3	1,0	2,0
100 - 500	1,8	1,8	1,5	2,5
>500	2,5	2,5	2,0	3,0

Ruiskuvalut

Ruiskuvalukappaleen minimiseinämänpaksuuden määrittäminen tapahtuu pääsääntöisesti käytetyn muovin virtaavuuden ja lujuuden mukaan. Muovivalmistajilta saa tietoa seinämänpaksuuden (a) ja sulan virtausmatkan pituuden (l) suhteesta (kuvat 1. ja 2.).



Kuva 14. Seinämänpaksuus muovin virtaavuuden mukaan; I – matalan virtaavuuden muovit (PC, PVC), II – keskivirtaavuuden muovit (ABS, PMMA), III – korkean virtaavuuden muovit (PE, PE-HD, PE-LD).



Kuva 15. Minimiseinämänpaksuuden (a) riippuvuus virtausmatkasta muotissa (l).

Ruiskuvaluttujen kappaleiden seinämänpaksuus on yleensä 0,8 – 3 mm, isommilla kappaleilla jopa 6 mm. Modernit koneet mahdollistavat kappaleiden, joilla on ohuempi seinämänpaksuus (0,3 – 0,8 mm), valmistamisen. Tällöin materiaalilla on oltava tasaiset ominaisuudet.

Kappaleen pohjan paksuus ja paikalliset paksunnokset eivät saa olla yli kaksinkertaisia verrattuna kappaleen seinämänpaksuuteen. Yhtenäinen seinämänpaksuus voidaan saavuttaa poistamalla

paksumpia kohtia tai jakamalla niitä järkevästi. Tämä on erityisen tärkeää korvattaessa metallikappaleita muovisilla.

Jotkin muovimateriaalit kutistuvat melko erilaisilla suhteessa niiden sulavirran suuntaan. Jotta poikittaiselta kutistumalta vältyttäisiin, on suositeltavaa esim. levymäisten kappaleiden ruiskuvalussa kasvattaa reunan suuntaista paksuutta n. 25 %. Muita keinoja estää kappaleen muodon vääristyminen on seinien muotoileminen ulospäin kuperina tai seinämien paksuntaminen noin 25 % keskikohtaa kohti.

Insertit

Valukappaleisiin voidaan useissa menetelmissä valaa kiinni joitakin yksityiskohtia. Kiinni valettujen kappaleiden ympäristöön muodostuu usein korkeita jännityshuippuja, koska insertillä ja valettavalla materiaalilla on erilaiset lämpöpiteneiskertoimet. Esimerkkejä inserteistä ovat magneetit, kierreholkit ja vuoraukset. Inserttien valmistaminen on haasteellista, mutta joissain tilanteissa perusteltua ja hyvä keino tuottaa kappaleeseen esimerkiksi luja kierre tai laakeripinta.