

Periaatteet

Tuula Höök – Tampereen teknillinen yliopisto

Onnistunut muotin suunnittelu tapahtuu muotin valmistajan, valuyrityksen ja valettavan tuotteen suunnittelijan välisenä yhteistyönä. Yhteistyön käytännön toteutus ja muoto riippuu toimintaympäristöstä. Toisinaan muotin valmistaja, valukappaleen valmistaja ja tuotteen suunnittelija työskentelevät samassa yrityksessä, toisinaan he ovat sama henkilö, toisinaan kaikki kolme toimivat eri yrityksissä, toisinaan valukappaleen valmistaja ja muotin valmistaja ovat työssä samassa yrityksessä, mutta tuotesuunnittelu ostetaan ulkopuolelta jne. Erilaisia yhteistyökuvioita on useita.

Toimintaympäristövaihtoehdosta huolimatta työskentelyssä on yhteisiä piirteitä:

- **Tuotteen suunnittelija** toimittaa 3D-CAD -mallin muotoilemastaan kappaleesta. Tuote voi olla puhtaasti tekninen komponentti, jolle toimivuus, tekniset yksityiskohdat ja valmistuskustannukset ovat ensisijaisia. Tuote voi olla myös jokin kuluttajatuote, jolle ulkonäkö ja toimivuus ovat yhtä merkittäviä. Tuotteen suunnittelijan on välttämätöntä olla perillä kappaleen valmistusmenetelmän, muotin valmistuksessa käytettävien työstömenetelmien ja valitun valmistusmateriaalin asettamista teknisistä rajoituksista. Jo suunnitteluvaiheessa - ennen kuin lähtee pyytämään tarjouksia omasta mielestään valmiista valettavasta kappaleesta - kannattaa kysyä valuyrityksen ja heidän kautta muotin valmistajan mielipidettä. Valitulla valmistusmateriaalilla voi olla vaikutusta esimerkiksi kappaleen seinämäpaksuuteen. Valuyritys pystyy oman kokemuksensa perusteella käymään läpi valettavan kappaleen piirteitä ja opastamaan valuyrityksen muotoiluvaihtoehdon valinnassa. Muotin valmistajalla on tietoa piirteiden vaikutuksesta muotin koneistettavuuteen ja hintaan.
- **Valettavan kappaleen valmistaja** tarkistaa kappaleen yksityiskohdat. Kappaleessa täytyy olla oikean suuntaiset ja suuruiset päästöt, selkeä keerna- ja pesäpuoli, jakopinta järkevissä kohdassa näiden välillä ja pyöritykset valuteknisesti ja muotin koneistuksen kannalta oikeissa paikoissa oikean kokoisina. Kappaleen täytyisi olla myös muodoiltaan valettava. Siinä ei saisi olla suuria seinämäpaksuusvaihteluita eikä ulokkeita, joista ei voi johtaa ilmaa ulos.

Kun valutekniset yksityiskohdat on saatu kuntoon, valuyritys antaa luvan aloittaa muotin valmistus. Muotti tilataan valuyrityksen kautta ja muottitoimituksen hyväksyminen on yleensä valuyrityksen vastuulla. Muotti kuitenkin tulee olemaan asiakkaan omaisuutta. Kun muotti on tilattu, valuyritys valitsee sopivan koneen ja toimittaa sitä koskevat tiedot muotin valmistajalle. Tietoja ovat esimerkiksi koneen sulkuvoima, muottitilan koko, mahdollisten oheislaitteiden sijainnit ja muottipöytien koot. Tärkeimpiä muotin suunnittelijalle toimitettavia dokumentteja tässä vaiheessa on valukoneen pöytäkuva. .

Jotta kappaleen valmistaja osaa valita oikean kokoisin koneen, hänelle toimitetaan tieto muottipesän projisoidusta pinta-alasta ja kappaleen tilavuudesta. Projisioitu pinta-ala on valettavan kappaleen ja valujärjestelmän poikkileikkaus muotin jakotason kohdalla ja jakotason suuntaisena. 3D-CAD -ohjelmalla nämä pystyy selvittämään helposti.

- **Muotin valmistaja** suunnittelee muotin. Muotin valmistajalta löytyy työstömenetelmien asiantuntemusta. Kullekin valmistajalle mahdolliset työstömenetelmät asettavat omia rajoituksiaan valettavan kappaleen muotoiluun. Muotin valmistaja on myös tietoinen kustannuksista, joita erityyppiset muodot aiheuttavat muotin valmistukseen. Kappaleen

muotoilussa olisi esimerkiksi hyvä miettiä, minkä kokoisia uria ja pyöristyksiä mihinkin kohtaan vaaditaan ja mitkä ovat toleranssivaatimukset. Ovatko kaikki muodot välttämättömiä vai tultaisinko toimeen pienemmillä toleransseilla ja suuremmilla pyörityssäteillä. .

Työstön kannalta on edullista, että kappaleessa olevat muodot mahdollistaisivat työstön tavallisilla terillä ja yhdellä kiinnityksellä. Nyrkkisääntö: Mitä pienidimensioisemmat muodot sitä suuremmat teräkustannukset jyrkässä. Pienet dimensiot hankaloittavat myös muottipesän pinnan viimeistelyä ja kipinätyöstöelektrodin valmistusta.

Muotin suunnittelu etenee vaiheittain:

- Aluksi analysoidaan päästöt ja pyöritykset asiakkaan toimittamasta CAD -mallista tai muulla tavoin valmistetusta lopputuotteen mallista. Jos mallissa on liian pieneltä vaikuttavia ulkopuolisia pyörityksiä, asiasta täytyy neuvotella asiakkaan kanssa.
- Muottikutistuman eli krympin arviointi. Kappale skaalataan kutistumavaroilla.
- Valitaan paikka jakotasolle sekä valitaan keerna- ja pesäpuoli. Jakotaso tulee kohtaan, jossa päästöjen suunta vaihtuu. Jos kappaleessa ei ole väliä, mihin pintaan kohdistetaan ulostyöntö, asetetaan mahdollisimman suuri osa kiinteistä keernoista muotin ulostyöntöpuolelle ja mahdollisimman suuri osa onteloista muotin kiinteälle puolelle. Asiakas haluaa kuitenkin usein sanoa, kumpi on näkyvä pinta. Näkyvä pinta tulee muotin kiinteälle puolelle ja ulostyöntö kohdistetaan näkymättömiin jäävään pintaan.
- Valitaan sisäänvalukohta. Asiakas on usein jo tehnyt tämän päätöksen, jos valettava kappale on muovinen ruiskuvalukappale. Ruiskutuskohtalla ja valitulla kanavistotyypillä on vaikutusta siihen, kuinka monta pesää muottiin voidaan laittaa. Painevalumuotin kanava-kohta valitaan analysoimalla kappaleen muotoja. On tärkeää saada metalli virtaamaan kappaleen läpi mahdollisimman suoraan. Kappaleessa ei pitäisi olla jakotason yläpuolella ulokkeita, joista ei voida johtaa ilmanpoistokanavaa ulos.
- Kappaleet asetellaan muottiin. Tehdään valinta yksi- tai useampipesäisen muotin välillä.
- Muottipaketin koon valinta.
- Valujärjestelmän suunnittelu.
- Ulostyöntimien asettelu muottipesän ja valujärjestelmän alalle, muotin mekaamiseen toimintaan kuuluvien osien mitoitus ja asettelu paikoilleen.
- Valukoneen asettamien vaatimusten arviointi ja huomioon ottaminen. Valukoneesta tarkastellaan valuyksikön rakennetta, muotin kiinnitysmenetelmiä, ulostyöntöyksikköä ja muottitilan kokoa.
- Onko muotti asennettavissa ja huollettavissa

Muottikutistumat

Ruiskuvalumuotti

Muottikutistuma riippuu hyvin monesta asiasta. Eri muovilaatujen kutistumat ovat erilaisia (Taulukko). Materiaalitoimittajat antavat kutistuman suuruudesta arvioita.

Taulukko 1. Muutamien muovilaatujen ohjeellisia muottikutistumia (Järvelä, Syrjälä, Vastela 2000: Ruiskuvalu)

Amorfiset muovit	kutistuma %	Osakiteiset muovit	kutistuma %
PS	0,4-0,7	PE	1,5-5,0
ABS	0,4-0,7	PP	1,0-2,0
PC	0,7-0,8	PA6	1,0-1,5
PMMA	0,3-0,6	POM	1,8-2,2

Lopullinen kutistuma on kuitenkin monen prosessiparametrin seurausta ja kutistumaa voi säätää vaikuttamalla näiden parametrien arvoon. Kutistumaan vaikuttavat muovilaadun lisäksi jälkipaine-taso, jälkipaineaika, muottilämpötila, massan lämpötila, kappaleen seinämävahvuus ja etäisyys ruiskutusportista (Järvelä, Syrjälä, Vastela 2000: Ruiskuvalu).

Mitä suurempi kutistumaprosentti sitä suurempi vaara on, että kappale kutistuu eli krympkaa keernan ympärille niin tiukasti kiinni, ettei ulostyöntö pysty enää irrottamaan sitä. Kappale voi krympata sekä liikkuvan että kiinteän keernan ympärille. Kova ja joustamaton muovilaatu krympkaa tiukimmin.

Kappale jatkaa kutistumista vielä jonkin aikaa muotista poistamisen jälkeen. Mitat tulisikin tarkastaa vasta muutaman tunnin tai vasta vuorokauden kuluttua siitä, kun kappale on poistettu koneesta.

Painevalumuotti

Metalliseokset kutistuvat jäähtyessään. Kutistumista tapahtuu kiinteässä tilassa, kiteytymisen aikana ja sulassa tilassa. Muottikutistumaan vaikuttaa eniten kiinteässä tilassa tapahtuva, jäähtymisen aiheuttama kutistuma. Kiteytymisen aikana tapahtuva kutistuma eli jähmettymiskutistuma kompensoidaan painevalussa painamalla muottipesään lisää sulaa tiivistysvaiheen aikana. Epätäydellinen tiivistyminen näkyy kappaleessa lähinnä kutistumaonteloina ja painumina, ei mittamuutoksina. Sulassa tilassa tapahtuvalla kutistumisella ei ole merkitystä.

Valukappale kutistuu muotissa lämpöpiteneiskertoimen verran. Kappale jatkaa jäähtymistä ja kutistumista vielä muotista poistamisen jälkeenkin.

Myös painevalukappale krympkaa keernan ympärille. Jos koneeseen tulee vika ja ulostyöntö ei toimi ajallaan, kappale takertuu voimakkaammin kiinni ja voi käydä jopa niin, ettei sitä saa irrotettua enää ulostyöntimien avulla.

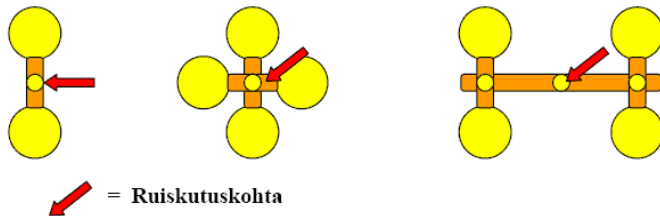
Kun kappale kutistuu muotista poistamisen jälkeen, se kutistuu vapaasti. Muotissa kutistumista estävät keernat ja muut muottipesän muodot ja kappaleeseen jää sisäisiä jännitystiljoja.

Alumiiniseoksen kutistumaprosentin arvo on 0,5 - 0,8 % (Painevalumuotin suunnittelu -seminaari, TKK VAL 3/98) ja sinkkiseoksen 0,4 - 0,6 % (Umicore, <http://www.zincdiecasting.umicore.com>).

Kappaleiden asettelu muottiin

Ruiskuvalukappaleet

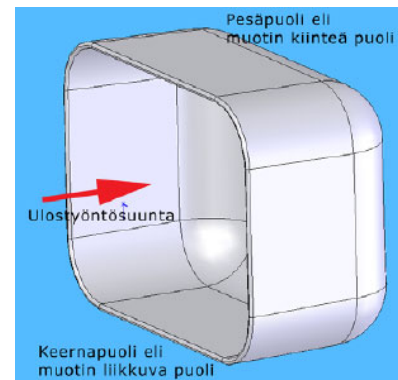
Ruiskuvalukappaleet asetetaan aina siten, että suuttimelta tulee aine keskelle muottilaattaa ja kappaleet sijaitsevat tasaisesti ruiskutuskohdan ympärillä (Kuva)



Ulostyöntölaatat kiinnitetään valukoneeseen keskeltä laattaa, suoraan koneen ruuvia ja suutinta vastaan. Kappaleet pitää asettaa mahdollisuuksien mukaan siten, että ulostyöntimiä on tasaisesti ulostyöntön kiinnityksen ympärillä. Jos tämä ei toteudu, ulostyöntö pitää ohjata.

Kuva 1. Kappaleiden asettelu ruiskutuskohdan ympärille

Sekä ruisku- että painevalussa kappale asetetaan siten, että kuppimaisempi puoli eli keernapuoli on ulostyöntimiin päin (Kuva oikealla). Jos asiakas nimeää jomman kumman puolen näkyväksi puoleksi se tulee kiinteään muottipuoliskoon ja näkymättömiin jäävä puoli ulostyöntöpuoliskoon.



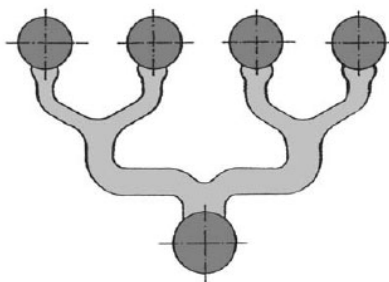
Kuva 2. Valukappaleen ulostyöntösuunta

Jos asiakas haluaa, että kappaleen valuportti sijaitsee kappaleen keskellä (esimerkiksi pohjassa), voidaan valmistaa yksi- tai useampipesäinen muotti. Useampipesäinen muotti täytyy valmistaa siinä tapauksessa kuumakanavistolla. Jos valuportti halutaan kappaleen reunaan ja valittu kanavatyyppe on kylmäkanavisto, täytyy muottiin laittaa useampi kuin yksi pesä, koska muottia ei silloin saada muulla tavoin tasapainotettua ruuvien ja ulostyöntön kiinnityksen suhteen. Kuumakanavistolla voidaan täyttää yksipesäisenkin muotti muottipesän reunasta.

Painevalukappaleet

Painevalukappaleet asetellaan siten, että valukammion ja muotin liitoskohta (suutin tai tabletti) on muottipesien alapuolella ja kappaleet tasaisin välimatkoin muotin yläosassa (Kuva alla).

Valuportin kohta valitaan kappaleen muotojen perusteella.



Kuva 3. Painevalumuotin pesien sijoittelu

Muottipaketin koon valinta

Painevalumuotti

Painevalussa muottipesän ja inserttikappaleen ympärille tulisi jättää materiaalia seuraavasti (Taulukko 2 ja kuva 4):

Taulukko 2. Insertin koko suhteessa painevalukoneen sulkuvoimaan

Koneen koko	A, mm
5-160 kN	40-60
200-400 kN	60-80
500-630 kN	80-100
800-2000 kN	100-150

Mitta A riippuu käytetystä valupaineesta ja koneen sulkuvoimasta. Mitta jätetään kaikkialle muottipesän (valukappale ja valukkeet) ympärille.

Mitta B = A x 1,2.

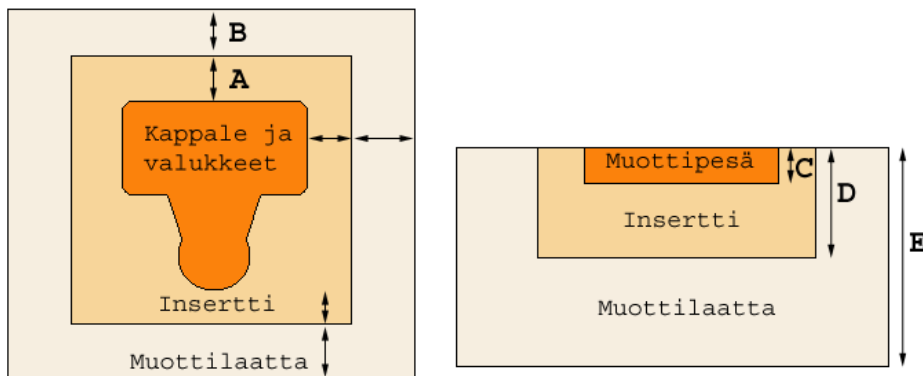
Mitta C on muottipesän korkeus, joka riippuu kappaleen mitoista ja jakotason paikasta.

Mitta D on inserttikappaleen korkeus. D on suunnilleen C x 3 noin 60 mm mittaan saakka.

Mitta E on muottilaatan korkeus. E = D x 2.

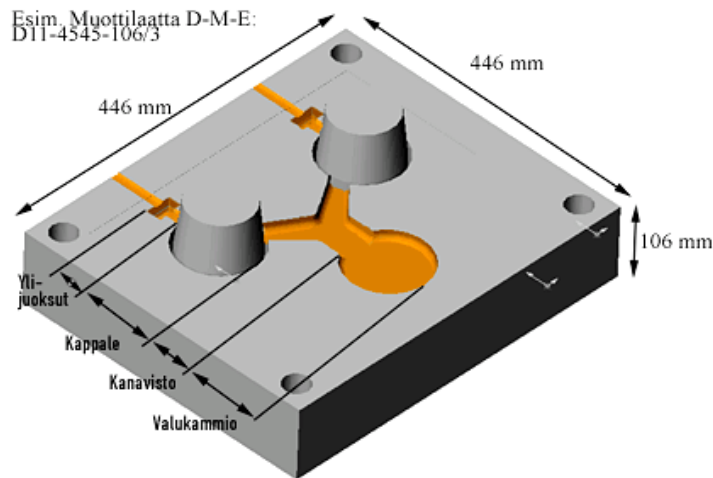
Muottilaatan taakse, ulostyöntölaatikon sisään laitetaan tukipylväät. Pylväät kulkevat ulostyöntölaattojen läpi.

Lisäksi on varmistauduttava, etteivät ulostyöntimet tai temperointikanavisto heikennä rakennetta liiaksi.



Kuva 4. Edellä käytetyt kirjainsymbolit A, B, C, D ja E.

Esimerkkilaskelma: Kylmäkammiopainevalumuotin muottilaatta



Kuva 5. Esimerkkilaskelmassa käytetty muottikonstruktio.

Kappale on kuppi, jonka suun halkaisija on 40 mm ja korkeus (suun ja pohjan välinen etäisyys) 35 mm.

Kappale valetaan kaksipesäisessä muotissa kylmäkammiokoneella, jonka männän (ja valukammion) halkaisija on 60 mm. Kappale ja valukkeet vievät tilaa seuraavasti:

- Valukammio: 60 mm
- Kanavisto arviolta: 60 mm
- Kappale: 40 mm
- Ylijuoksut: 30 mm
- **Yhteensä: 190 mm**

Koneen kooksi arvioidaan 250 kN, jolloin reunamitaksi A valitaan 60 mm. Reunamitta $B = 1,2 \times A = 72$ mm.

Yllä olevassa kuvassa on inserttilaatta, vaikka se näkyikin heikosti. Inserttilaatan kooksi tulee pystysuunnassa $A + \text{kappale ja valukkeet} + A = 60 \text{ mm} + 190 \text{ mm} + 60 \text{ mm} = 310$ mm.

Insertin ja muottilaatan reunan väliin jätetään mitta B, jolloin muottilaatan tulee olla $72 \text{ mm} + 310 \text{ mm} + 72 \text{ mm} = 454$ mm.

Tingitään hiukan vaatimuksista ja otetaan pienempi, mutta riittävän lähellä oleva muottilaatta D-M-E 4545, jonka sivun mitta on 446 mm.

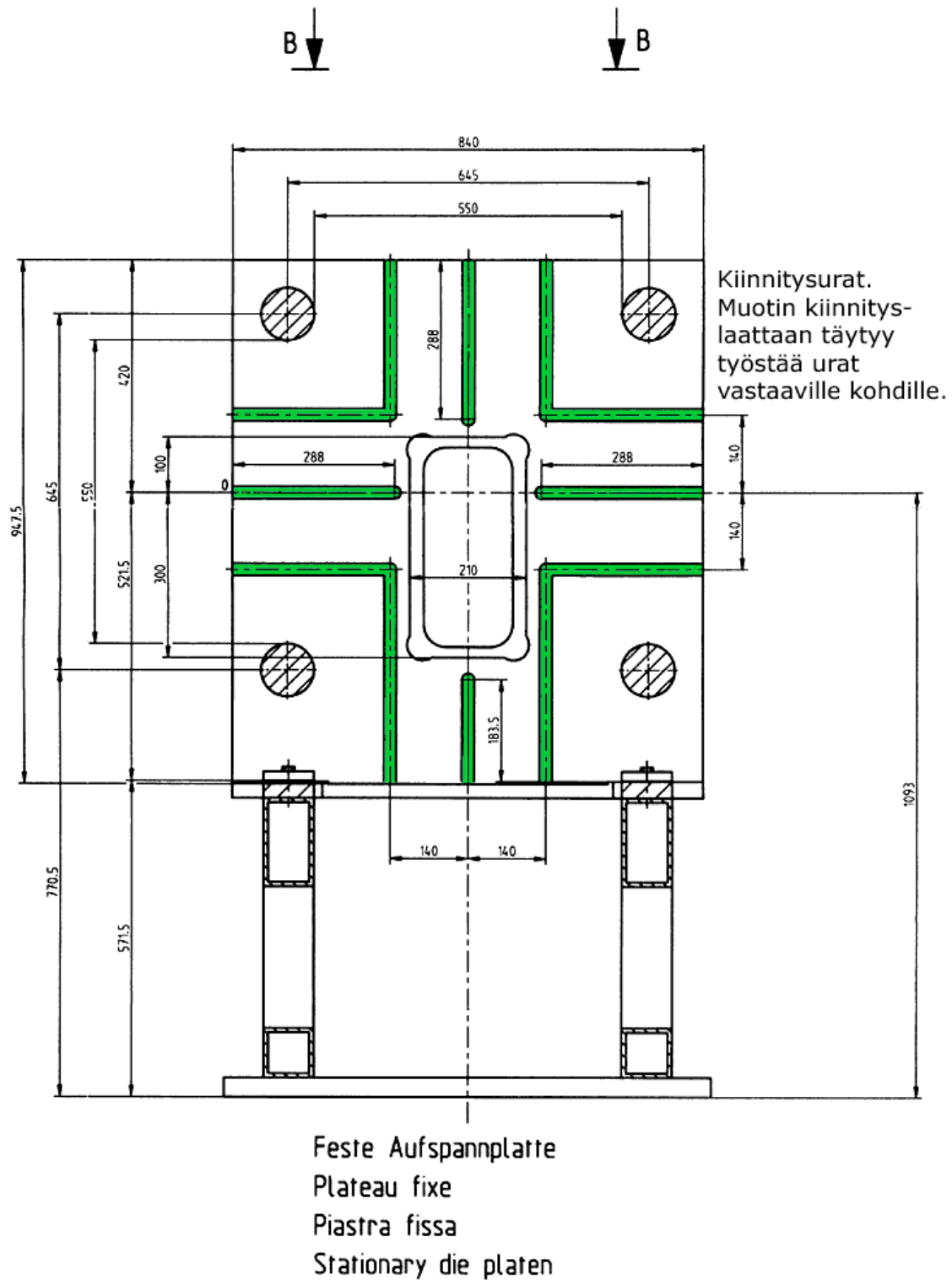
Muottilaatan paksuussuunnassa muottipesän korkeus C on kiinteällä puolella yhtä suuri kuin kappaleen korkeus = 35 mm. Inserttilaatan paksuus $D = 3 \times C = 105$ mm. Mitta on suurempi kuin 60 mm (katso painevalumuotin mitoitusohjeet), joten valitaan insertin paksuudeksi 60 mm ja muottilaatan paksuudeksi $2 \times D = 120$ mm. Lähinnä tätä mitta on 116 tai 126 mm laatta.

Liikkuvalle muottipuoliskolle tulee yleensä keerna. Keerna paksuntaa muottipesän takana olevia mittoja. Insertti on korkeudeltaan sama kuin kiinteällä puolella eli 60 mm, mutta muottilaatta on nyt insertin paksuus - kappaleen korkeus + 60 mm eli 85 mm. Valitaan muottilaatan paksuudeksi 86 mm.

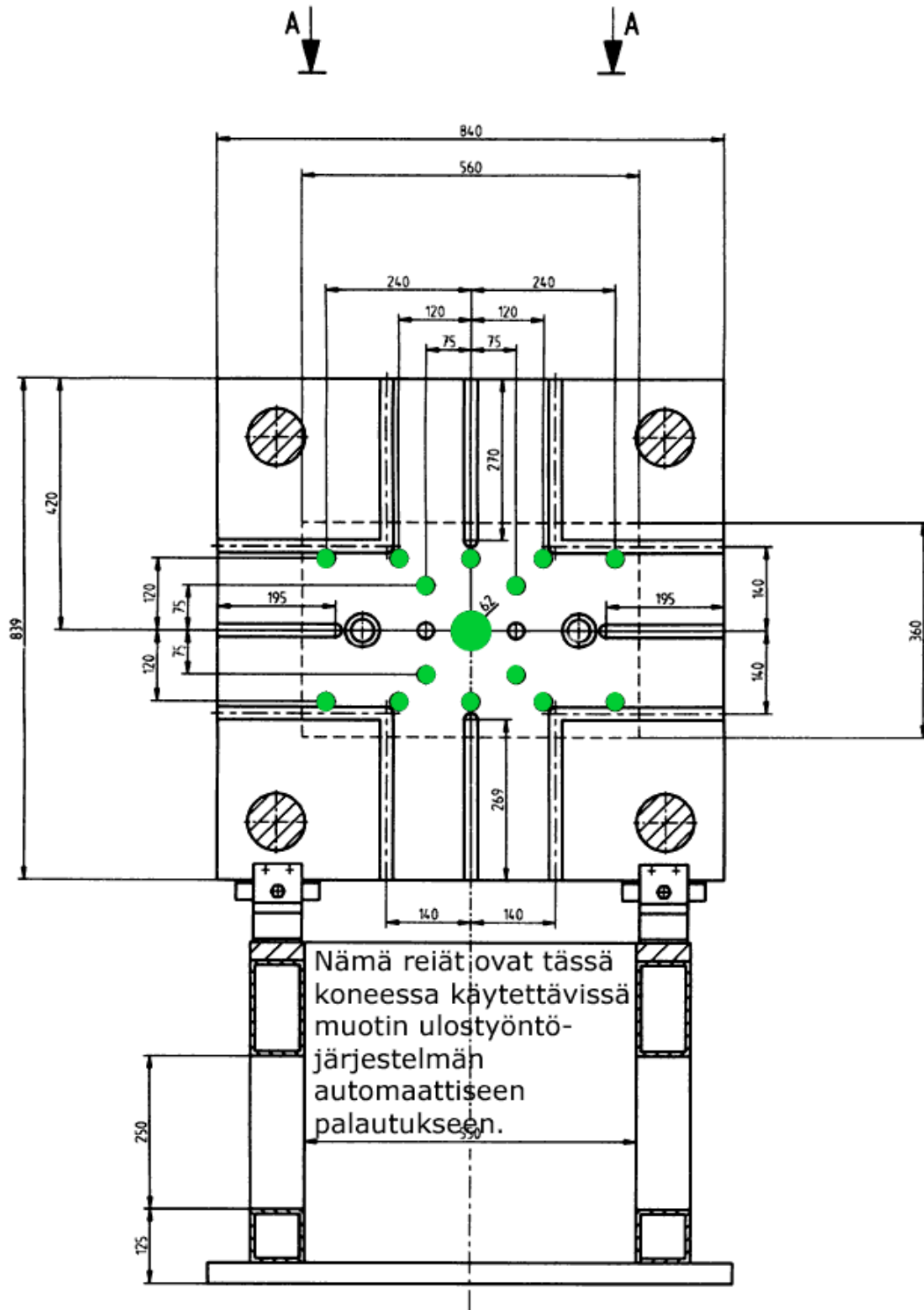
Tarkistuslista: Onko muotti asennettavissa ja huollettavissa?

- Muotin pitää olla helposti käsiteltävä; sitä kuljetetaan trukilla ja siirretään nosturilla
- Muotti on mahdollista kiinnittää siihen valukoneeseen, johon se on suunniteltu; muottipöydät ovat erilaisia
- Kiinnitysruuvit, kiinnitysraudat tai pikakiinnittimet voidaan kiinnittää esteettä; mikään muotin osa ei ole estämässä asentajan työtä
- Painevalukoneen valukammion koko ja paikka on selvillä; ruiskuvalukoneen ruiskutusyksikkö sopii muottiin
- Muotti mahtuu aisojen välistä, kun sitä asennetaan paikoilleen
- Kaikki muotin osat mahtuvat aisojen väliin (liikkuvat keernat mahtuvat aukeamaan, muottiin kuuluvat anturit ym. laitteet voidaan asentaa esteettä paikoilleen ja niitä voidaan käyttää, yms.)
- Muotissa on siderauta ja nostosilmukat
- Muotin alapuolella ei ole mitään osia; muotti täytyy pystyä laskemaan huoltopöydälle ja varastohyllylle; jos alapuolelle on pakko laittaa joitakin osia, muottiin pitää asentaa jalat
- Ulostyöntölaatat pitää pystyä kytkemään valukoneen ulostyöntösyntereihin; valukoneiden muottipöydät ja ulostyöntömekanismit ovat erilaisia
- Temperointikanaviston kytkennöistä ja temperointiaineen virtausreiteistä dokumentti
- Mikäli mahdollista, ei muotin ulkopuolisia temperointiletkuja; temperointiaineen kierto porattujen kanavien läpi
- Antureiden, rajakytkinten ym. sähköasennukset on tehty valimon ohjeiden mukaan
- Kokoonpano- ja purkuohjeet muottihuoltoa varten; erityisesti, jos muotissa on epätavallisia rakenteita
- Ulostyöntö on rakennettu tarpeeksi tukevalla levyillä
- Kaikkien osien valinnassa (myös esim. anturit ja tiivisteet) on huomioitu kappaleen raaka-aineen ominaisuudet; raaka-aine voi olla syövyttävää, kuluttavaa tai kuumaa

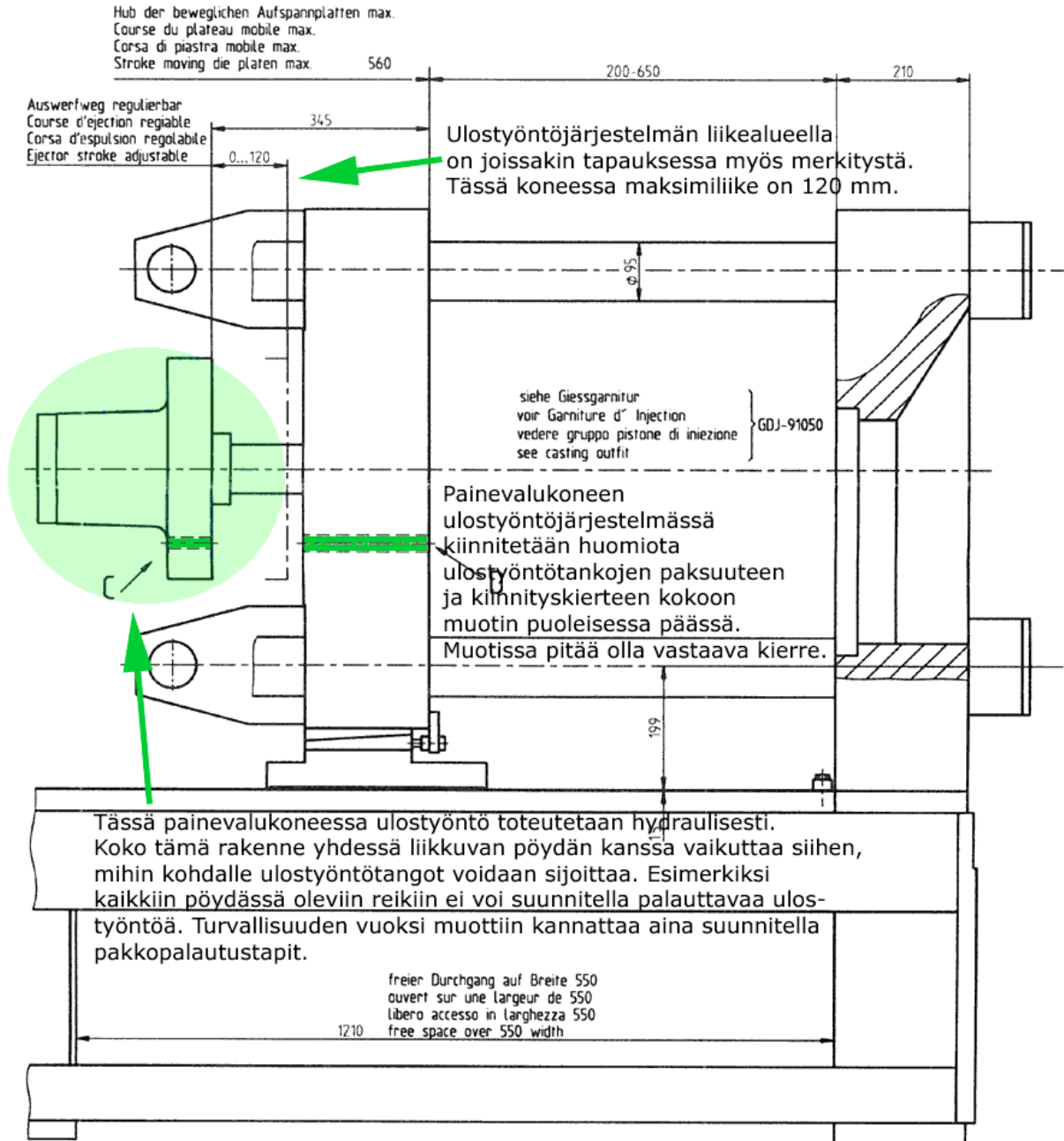
Esimerkkikuvia painevalukoneen rakenteesta



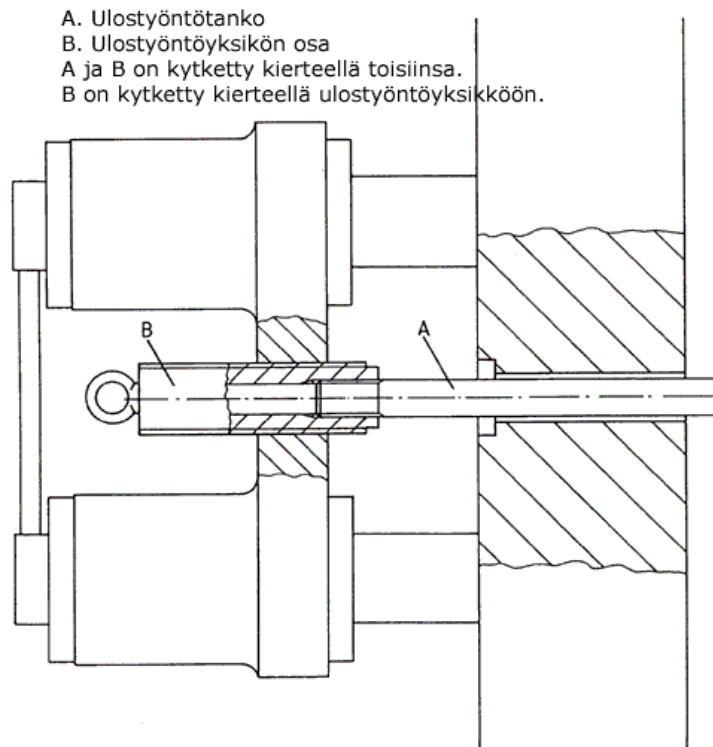
Kuva 6. Painevalukoneen muottipöydän kiinnitysurat



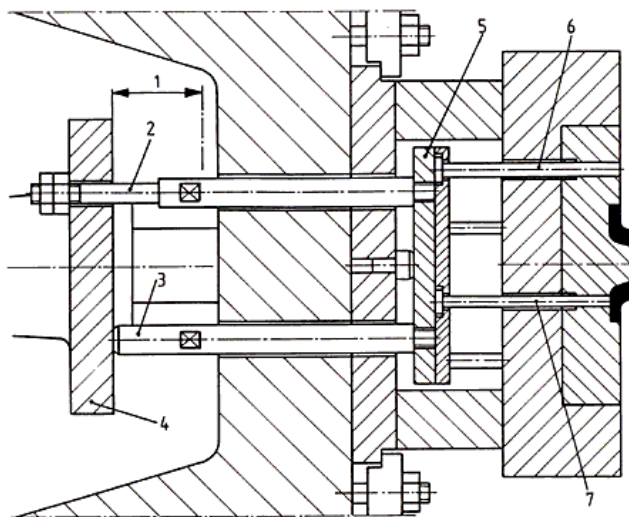
Kuva 8. Painevalukoneen liikkuvassa muottipöydässä olevat ulostyöntötankojen reiät.



Kuva 9. Painevalukoneen ulostyöntöjärjestelmä



Kuva 10. Ulostyönnön kiinnitys muotin keskelle.



1. Ulostyöntömatka
2. Palauttava ulostyöntötanko
3. Puskeva ulostyöntötanko
4. Hydraulinen ulostyöntöyksikkö
5. Ulostyöntölaatat muotissa
6. Pakkopalautustanko
7. Ulostyönnin

Kuva 11. Ulostyöntö neljällä tangolla. Puskevan ja palauttavan mrkanismin rakenne.