TEKNIIKKA JA LIIKENNE

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotesuunnittelu

INSINÖÖRITYÖ

PAINEKAMMION TOIMINTAPERIAATTEEN JA OHUTLEVYMUOTIN VALMISTUSMENETELMÄN SUUNNITTELU

Työn tekijä: Antti Koskinen
Työn ohjaajat: Pekka Hautala
Erkki Rinne

Työ hyväksytty: ___. ___. 2011

Pekka Hautala
yliopettaja

ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin Silex Comp Oy:lle Helsinkiin. Haluan kiittää projektissa mukana olleita henkilöitä, erityisesti yrittäjä Erkki Rinnettä ja yliopettaja Pekka Hautalaa työn opastuksesta.

Helsingissä 26.4.2011

Antti Koskinen

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Antti Koskinen	
Työn nimi: Painekammion toimintaperiaatteen ja ohutlevymuotin valmistusmenetelmän suunnittelu	
Päivämäärä:	**Sivumäärä:** 32 s.
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	**Suuntautumisvaihtoehto:** Tuotesuunnittelu
Työn ohjaaja: Pekka Hautala **Työn ohjaaja:** Erkki Rinne	

Tämä insinöörityö tehtiin Silex Comp Oy:lle. Työn tarkoituksena oli suunnitella toimiva toimintaperiaate ohutlevymuottien valmistamiseen sekä painekammiot, joiden sisällä ohutlevymuotin puristaminen tapahtuu. Samaa periaatetta käytetään myös SMC-levyjen puristamisessa.

Työssä sovellettiin neljän päävaiheen mallia: tehtävän selvittely, luonnostelu, kehittely ja viimeistely. Tämä työ toteutettiin kuitenkin vain luonnosteluvaiheeseen ja työtä on tarkoitus jatkaa luonnoksien pohjalta.

Ensimmäiseksi laadittiin vaatimuslista, jonka pohjalta työtä alettiin toteuttaa. Tämän jälkeen etsittiin yleistietoa eri valumenetelmistä, joita voitaisiin hyödyntää tässä työssä. Sitten alettiin luonnostella erilaisia vaihtoehtoja mm. paineen nostamiselle, painekammioiden lämmittämiselle ja ilman poistamiselle kammioista. Kun oli saatu hyvä kokonaiskuva eri vaihtoehdoista, ruvettiin miettimään ohutlevymuotin valmistusmenetelmää. Työssä saatiin luonnosteltua kaksi erilaista versiota, joista toinen valittiin paremmaksi ja jota on tarkoitus kehittää pidemmälle.

Avainsanat: ahtopuristus, muotin valmistaminen, ohutlevymuotti

Metropolia

ABSTRACT

Name: Antti Koskinen

Title: Designing Pressure Chamber Working Principle and Manufacturing Method for Sheet Metal Mold

Date: 15 April, 2011 **Number of pages:** 32 p.

Department: Machine Engineering **Study Programme:** Product Engineering

Instructor: Pekka Hautala

Supervisor: Erkki Rinne

The main purpose of this final project was to design a proper manufacturing method for sheet metal molds and a design pressure chamber where sheet metal molds are compressed. The same principle is also used for compressing SMC sheets.

This work applies a model divided into four main phases which include resolving the task, sketching, development and finishing. This study was completed only up to the sketching phase and the idea is to carry on with the work on the basis of the sketches.

To identify what needed development, a requirement list was drawn first. Next different casting methods which could be used in this work were explored. After that, different sketches were drawn for increasing pressure, heating up the pressure chambers and removing air from the chambers. Once the different possibilities were mapped out the focus was on determining the method for manufacturing the sheet metal molds.

Based on the results of this work, two different sketch versions were created. The idea is to continue developing the one which was considered better.

Keywords: compression moulding, manufacturing of mold, sheet metal mold

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO 1

1.1 Projektin lähtökohdat 1

1.2 Projektin vaiheistus 2

1.2.1 Tehtävän selvittely 2

1.2.2 Luonnostelu 2

1.2.3 Kehittely 3

1.2.4 Viimeistely 3

1.3 Tavoitteet 4

2 TEHTÄVÄN SELVITTELY 5

2.1 Tehtävänasettelu ja selvittäminen 5

2.2 Vaatimuslista 6

3 LUONNOSTELU 7

3.1 Taustatiedon etsiminen 7

3.2 Muotinvalmistusmenetelmät 7

3.2.1 Kuorimuottimenetelmä 7

3.2.2 Replicast-menetelmä 8

3.2.3 Painevalu 9

3.2.4 Puristusvalu 9

3.3 Paineen tuottaminen 10

3.3.1 Käsikäyttöinen ruuvimäntä 10

3.3.2 Käsikäyttöinen pumppu 10

3.3.3 Säädettävällä paineenalennusventtiilillä varustettu tehostin 10

3.3.4 Hydraulimoottorilla säädettävä paine 11

3.4 Lämmön tuottaminen 12

3.4.1 Lämmön siirtäminen nesteen avulla 12

3.4.2 Vastuslämmitys painekammiossa 13

3.4.3 Induktiolämmitys 14

3.4.4 Lämmityksestä aiheutuvan paineennousun eliminointi 14

3.5 Tiivistys 15

3.6 Ilman poistaminen säiliöstä 16

3.6.1 Ilmanpoistoventtiili 16

3.6.2 Kammion ylitäyttäminen 17

3.7 Painekammion rakenne 18

3.8 Valmistusmenetelmän valinta 18

3.9 Ohutlevymuotin valmistusmenetelmän suunnittelu 19

3.9.1 Versio 1: Paineistus yläpuolelta 19

3.9.2 Versio 2: Paineistus alapuolelta 23
3.10 Ohutlevymuotin valmistusmenetelmän valinta 29
3.11 SMC-levyjen puristusprosessin kulku 29
4 PÄÄTELMÄT JA JATKOTOIMENPITEET 30
5 YHTEENVETO 31
VIITTEET 32

1 JOHDANTO

Insinöörityön tarkoituksena on suunnitella ohutlevymuotin valmistusprosessi sekä painekammio ahtopuristimeen. Ohutlevymuotin valmistusprosessiin sisältyy ohutlevyn muokkaaminen mallin mukaiseksi. Painekammion suunnitteluun kuuluu paineen- ja lämmöntuottaminen, riittävän vahvan rakenteen suunnitteleminen sekä paineliitäntien sekä tiivistämisen suunnittelu.

Ohutlevymuotin valmistusprosessin tulee olla helposti toteutettavissa sekä edullinen. Painekammion täytyy kestää suurta painetta sekä olla tarpeeksi tiivis, jotta paineistusneste ei pääse vuotamaan ulos. Painekammiossa on tarkoitus valmistaa komposiittiosia puristamalla komposiittilevyjä ja ohutlevymuottia toisiaan vastaan hydraulisesti korkealla paineella ja siten muotoilla komposiittilevyt oikeaan muotoon. Valmiiden osien pitää olla helposti irrotettavissa muoteista.

Tämä insinöörityö on osa moottoripyörän säilytyskotelon valmistuksen konseptointia. Painekammio, joka sisältää ohutlevymuotin, ohjataan hydraulisen puristimen sisään, missä kammionpaineistus ja komposiittilevyn muotoilu tapahtuu.

1.1 Projektin lähtökohdat

Aihe tälle työlle tuli moottoripyörän säilytykseen ja suojaamiseen tarkoitetusta sovelluksesta, jonka on suunnitellut Juha Karppinen [1]. Tätä sovellusta kutsutaan nimellä Ride-in ja se on valmistettu lujitemuovista. Moottoripyörän säilytyskotelon valmistusta varten tarvitaan uudenlaista puristinta, joka mahdollistaa erillisten osien asentamisen komposiittilevyjen sisään jo muovaamisprosessin aikana. Erkki Rinteellä on patentti hydrauliselle painekammiolle, jonka pohjalta tätä insinöörityötä alettiin kehittää.

Insinööriopiskelija Teemu Laukkanen sai Erkki Rinteen ja Pekka Hautalan ehdotuksesta insinöörityön aiheeksi moottoripyörän säilytyskotelon konseptoinnin, jonka eräs osa on painekammio. Tämän insinöörityön tavoitteena on suunnitella ohutlevymuotin valmistusprosessi ja Sheet Moulding Compound

komposiittilevyjen muovauslaatikko, joka on yhteensopiva Teemu Laukkasen valmiin konseptin kanssa [2.]

Työssä on myös hyödynnetty insinööriopiskelija Eero Aaltosen insinöörityötä muottirungon kehittämisestä [3].

Tämä insinöörityö on rajattu käsittämään ohutlevymuotin valmistusprosessi, SMC-komposiittilevyjen muovaamiseen tarvittava painekammio ja sen rakenne sekä paineliitännät. Painekammion puoliskojen yhteen puristaminen sekä ohutlevymuottien mallien valmistaminen eivät kuulu tähän työhön.

1.2 Projektin vaiheistus

Koska suunnittelu on tärkeää pitää johdonmukaisena, on tässä työssä käytetty metodisen konstruoinnin työnkulkua [4]. Työtä lähdettiin kehittelemään tuote-ehdotuksesta ja se kehitetään vain toimivalle periaatteelliselle tasolle asti. Karkeasti työnkulku voidaan jakaa neljään päävaiheeseen, jotka ovat tehtävän selvittely, luonnostelu, kehittely ja viimeistely. (Kuva 1.)

1.2.1 Tehtävän selvittely

Ensimmäisessä vaiheessa annettu tehtävä selvitetään ja täsmennetään. Tuoteidean reunaehtojen ymmärtäminen jo alkuvaiheessa on tarpeellista, jotta voidaan päästä optimaaliseen ratkaisuun. Kun reunaehdot on määritelty, tehdään näiden tietojen perusteella vaatimuslista. Vaatimuslistaan merkitään tehtävän ehdottomat vaatimukset sekä toiveet, joiden toteutuksesta voidaan tarpeen tullen tinkiä.

1.2.2 Luonnostelu

Luonnostelun alkuvaiheissa tulee tehtävää tarkastella fysikaalisesti ja määritellä vaatimuslistan perusteella fysikaaliset reunaehdot. Tällä tarkoitetaan sitä, että selvitetään mitä fysikaalisia ilmiöitä prosessiin kuuluu, esimerkiksi sähköenergian muuttamista mekaaniseksi tai energian johtamista välittämällä tai suurentamalla voimaa. [4, s. 94.]

Tämän jälkeen on tarkoitus selvittää tuotteen rakenne ja toiminnot. Kun toivottu rakenne on selvillä, aletaan etsiä tietoa jo olemassa olevista menetelmistä, joita voidaan hyödyntää tehtävässä.

Tietoa voidaan etsiä kirjallisuudesta, internetistä, luonnosta ja markkinoilla olevista tuotteista. Luonnosteluvaiheessa ei saa olla kriittinen millekään idealle. [4, s. 99.]

Kun hyödynnettäviä menetelmiä on löytynyt, niistä voidaan etsiä erilaisia yhdistelmiä ja tehdä niistä matriisi sekä karkeita luonnoksia käsin piirtämällä.

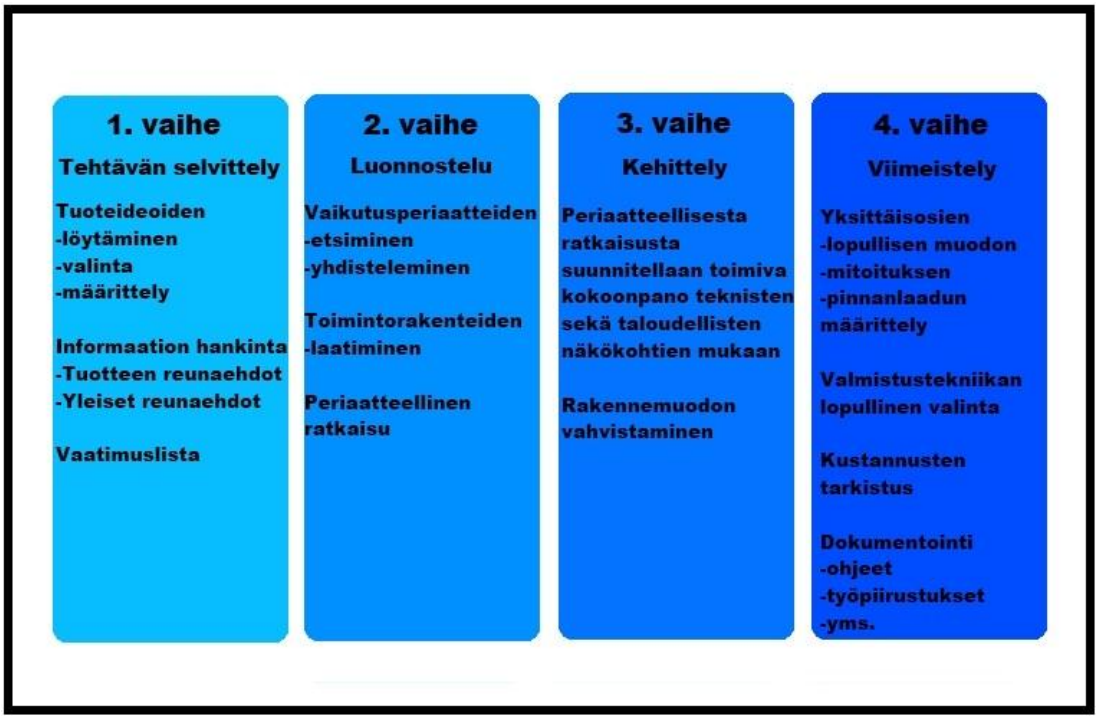
1.2.3 Kehittely

Kehittelyvaiheen alussa täytyy päättää, mitä periaatteellista rakennetta aletaan kehittää eteenpäin. Tässä vaiheessa periaatteellista ratkaisua aletaan miettiä teknisten ja taloudellisten näkökohtien mukaan yksikäsitteiseksi ja täydelliseksi. [4, s. 176.]

Vaihe sisältää myös periaatteellisen ratkaisun yksityiskohtia, kuten materiaalien ja valmistusmenetelmien valintaa, päämittojen vahvistamista ja yhteensopivuuksien miettimistä. Tuotteen rakenteen muotoilu aloitetaan myös tässä vaiheessa. Tuotteen tulee kehittelyvaiheen lopussa olla toimiva kokonaisuus.

1.2.4 Viimeistely

Viimeisessä vaiheessa kokoonpanorakenne täydennetään lopullisilla määräyksillä, jotka koskevat yksittäisosien muotoa, mitoitusta, pinnanlaatua ja materiaalia. Tuotteesta tehdään dokumentaatiot, jotka sisältävät työpiirustukset sekä osaluettelon, ja lopulliset kustannukset lasketaan. Lopuksi tuotteelle laaditaan valmistus- ja käyttöohjeistus. [4, s. 458.]



Kuva 1. Metodisen konstruoinnin vaiheistus

1.3 Tavoitteet

Tämän insinöörityön tavoitteena on kehittää toimiva ratkaisu ohutlevymuotin valmistamiseen sekä komposiittilevyjen muotoon puristamiseen. Tarkoituksena on suunnitella puristusprosessin toimintaperiaate eikä tarkkoihin mittoihin, lujuuslaskuihin tai valmistusmenetelmään keskitytä tässä työssä. Tämä tarkoittaa sitä, että tavoitteena on suunnitella puristusprosessi luonnostelu-vaiheeseen asti, jotta sitä voidaan jatkaa suoraan kehittelyvaiheeseen. Puristusprosessin tulisi olla turvallinen.

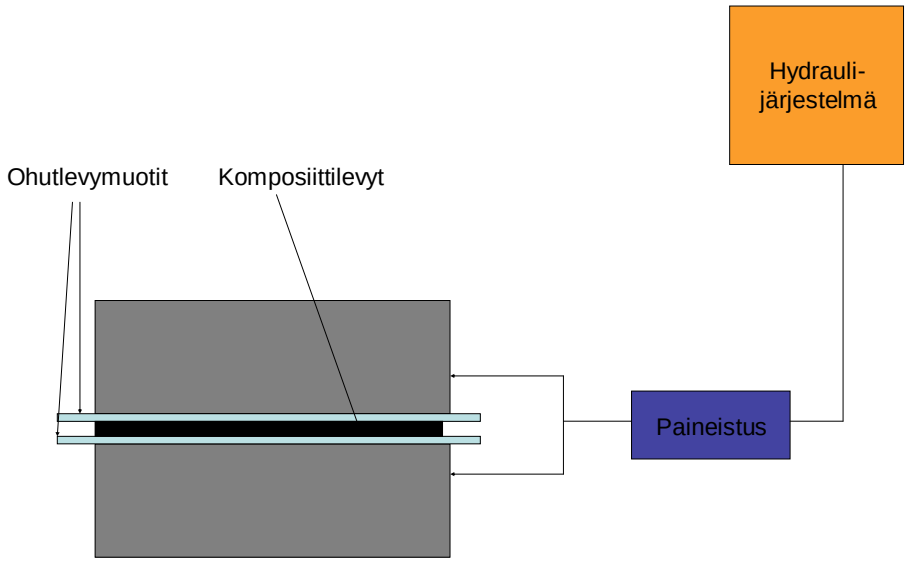
2 TEHTÄVÄN SELVITTELY

2.1 Tehtävänasettelu ja selvittäminen

Tehtävän jakaminen eri osa-alueisiin on oleellista, jotta tiedon hankinta sekä käsittely pysyvät järjestelmällisenä.

Jotta ohutlevymuottien valmistusprosessista voitaisiin suunnitella järkevä, taustatiedon hankkiminen eri menetelmistä on tarpeellista. Lähtökohtaisesti ohutlevymuotin valmistamisessa on ajateltu hyödyntää jo valmiina olevia tekniikoita ja mahdollisesti yhdistää niitä toisiinsa.

Painekammion suunnittelu voidaan jakaa neljään osa-alueeseen, joissa on erilaisia mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja. Nämä ovat paine, lämpö, tiivistys ja rakenne. Kaikkia näitä aihealueita käsitellään yksityiskohtaisemmin myöhemmin. Painekammion patentti-idean tarkka tunteminen on tarpeellista, jotta sitä voitaisiin kehittää eteenpäin. Kuvassa 2 näkyy painekammion periaatteellinen rakenne. Lämmöntuottamista ei ole huomioitu.



Kuva 2. Periaatteellinen rakenne

2.2 Vaatimuslista

Painekammiolle tehdyn vaatimuslistan (taulukko 1) perusteella paineen- sekä lämmöntuottaminen ovat tärkeitä vaatimuksia. Painetta ja lämpöä täytyy myös pystyä säätämään. Jotta komposiittilevyt saataisiin muokattua muotoonsa, täytyy levyjä lämmittää. Myös riittävän suuren paineen tuottaminen on tärkeää, jotta levyt puristuvat muottiin. Suuri paine vaatii myös sen, että painekammion runko on tarpeeksi vahva.

Muottien nopea ja helppo vaihtaminen on myös tärkeä vaatimus sekä se, että ilma pääsee pakenemaan komposiittilevyjen välistä. Muutoin ilma voi aiheuttaa valmistusvirheitä ja kustannustehokkuus kärsii. Ilmalle täytyy myös järjestää pakotie painekammiosta, kun neste tuodaan sinne. Koska koko puristusprosessin halutaan olevan nopea, painekammion täyttäminen nesteellä sekä sen tyhjennys täytyy hoitaa nopeasti.

Taulukko 1. Vaatimuslista

	Vaatimuslista: Ohutlevymuottien valmistamiseen sekä SMC-ohutlevyjen muokkaamiseen tarkoitettu painekammio
T/V	Vaatimukset (vaatimus = V toivomus=T)
V	Paine painekammion sisällä kun levyjä puristetaan muotoon: 20 MPa
V	Paineen säätäminen tarvittaessa
V	Lämpötila puristettaessa SMC-ohutlevyjä: +200 °C
V	Lämpötilan säätäminen tarvittaessa
V	Paineliitäntien kestävyys 20 Mpa:n paineessa
V	Tiivistyksen pitävyys ettei nestettä pääse vuotamaan
V	Tiivisteen kestävyys 20 MPa:n paineessa
V	Ohutlevymuottien helppo vaihdettavuus
V	Ilmanpoistokanavat
T	Painekammion täyttäminen ja tyhjentäminen nopeasti
T	Ohutlevymuottien valmistus samalla kalustolla kuin SMC-levyjen valmistaminen
V	Muotin koko (mm): 4000x2000x300

3 LUONNOSTELU

Ensimmäiseksi täytyy määritellä tämän projektin fysikaaliset reunaehdot ja tarpeet. Ideana on muovata ohutlevyjä suuren paineen avulla ja näin saadaan kohdistettua voima tasaisesti koko alueelle. Paine tuottaa suuren voiman, koska painekammion koko on suuri, mikä täytyy ottaa huomioon rakennetta suunniteltaessa. Kammioiden täytön aikana paine ei kuitenkaan saa olla kovin suuri, joten painetta täytyy vahvistaa varsinaisen puristuksen hetkellä. Tämä voidaan tehdä hydrostaattisella tehonsiirrolla, kuten on esitetty Eero Aaltosen insinöörityössä. [3, s. 16.] Koska nouseva lämpö nostaa painetta vakiotilavuudessa, tämä täytyy huomioida suunnittelussa.

Luonnosteluvaiheessa työprosessia aletaan hahmotella käsivaraisesti karkeassa mittakaavassa, eikä pieniin yksityiskohtiin keskitytä vielä tässä vaiheessa. Tarkoituksena on löytää sopiva menetelmä, jota kehitetään pidemmälle.

3.1 Taustatiedon etsiminen

Ennen kuin luonnoksia aletaan piirtää, on hyödyllistä tietää mitä sellaisia menetelmiä markkinoilta löytyy, joita voisi hyödyntää tässä projektissa.

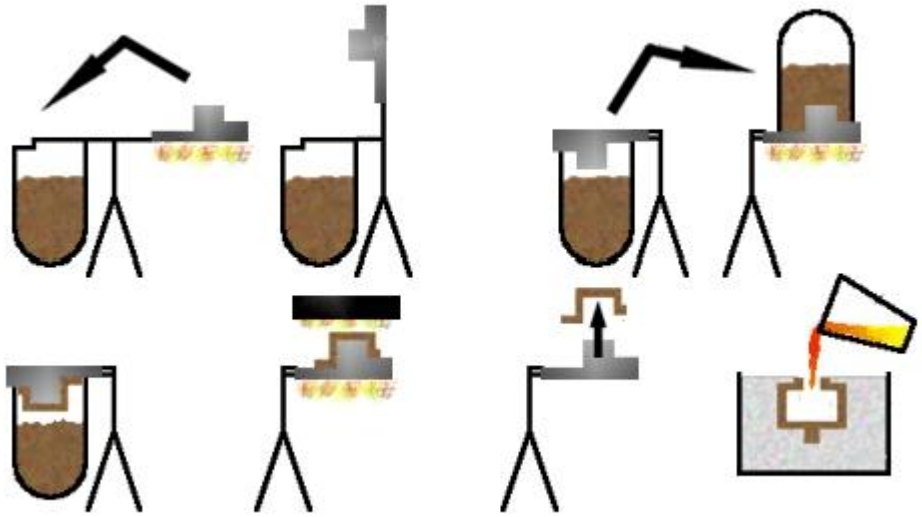
3.2 Muotinvalmistusmenetelmät

Muottien tekemiseen löytyy erilaisia menetelmiä. Ohutlevymuotin valmistuksessa on mahdollista hyödyntää näiden menetelmien periaatteita. Seuraavassa on esitelty muutamia muotinvalmistusmenetelmiä, jotka soveltuvat suuriin kappaleisiin. Menetelmiä on käsitelty suuripiirteisesti ja keskitytty niihin alueisiin, joista on mahdollisesti hyötyä tämän työn suunnittelussa.

3.2.1 Kuorimuottimenetelmä

Kuorimuottimenetelmässä käytetään hienoa hiekkaa, johon on sekoitettu hartsisideainetta. Tässä menetelmässä muotin malli, joka on valmistettu metallista, kuumennetaan noin 300 °C:seen. Tämän jälkeen hartsipitoinen hiekka puhalletaan tai pudotetaan kuuman mallin päälle, jolloin hartsi sulaa ja mallin pinnalle muodostuu kuori. Kuori kovetetaan uunissa kuumentamalla ja irrotetaan sen jälkeen mallista (kuva 3).

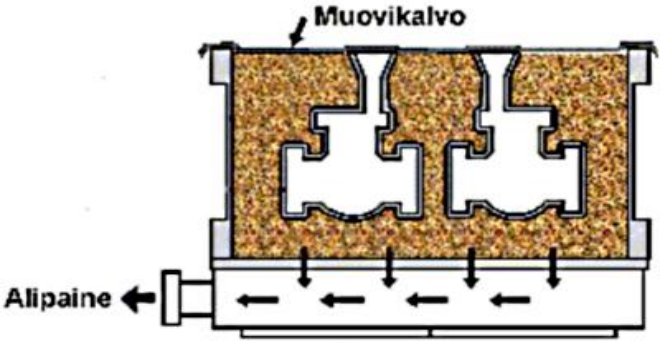
Suurien mallikustannusten takia kuorimuottimenetelmä soveltuu parhaiten suuriin valmistusmääriin. Kyseistä menetelmää käytetään monimutkaisiin ja mittatarkkoihin kappaleisiin. [5, s. 1.]



Kuva 3. Kuorimuottimenetelmä [1, s. 1]

3.2.2 Replicast-menetelmä

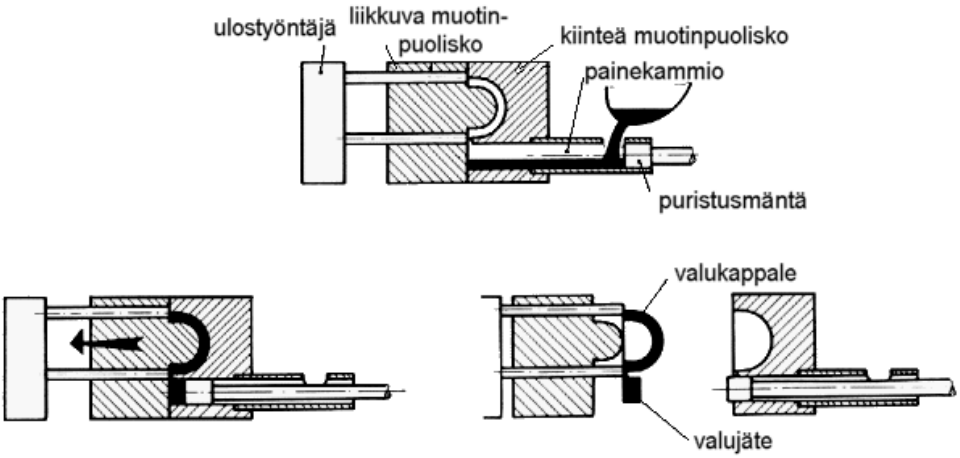
Replicast-menetelmässä malli valmistetaan polystyreenimuovista, joka poltetaan pois kuorrutuksen jälkeen. Polystyreenimalli kastetaan useita kertoja nestemäiseen keraamiseen ja tulenkestävään massaan. Tällä tavoin mallin päälle muodostuu keraaminen kuori. Kun kuori on valmistettu, malli poltetaan pois uunissa ja kuori kovetetaan. Tämän jälkeen kuori pakataan ja tuetaan kuivaan hiekkaan. Tuentaa tehostetaan alipaineistamalla laatikko, jolloin hiekka kovettuu (kuva 4). [5, s. 3.]



Kuva 4. Replicast-menetelmä [5, s. 3]

3.2.3 Painevalu

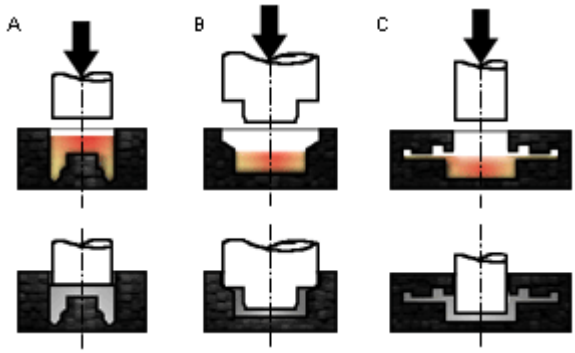
Painevalussa sula metalli puristetaan teräksestä tehtyyn muottiin suurella paineella. Suuri paine täyttää muottipuoliskojen muodostaman ontelon hyvin nopeasti. Painevalulla saadaan kappaleisiin suuri mittatarkkuus ja ne voidaan valaa valmiiksi, jolloin vältytään kappaleiden työstämiseltä (kuva 5). [5, s. 10.]



Kuva 5. Painevalu [5, s. 10]

3.2.4 Puristusvalu

Puristusvalu on menetelmänä samankaltainen kuin painevalu. Valuainetta puristetaan suurella paineella muottiin, jolloin saadaan mittatarkkoja kappaleita ja valuvirheitä on erittäin vähän (kuva 6). [5, s. 12.]



Kuva 6. Puristusvalu [5, s. 12]

3.3 Paineen tuottaminen

Painekammioon on tuotettava 20 Mpa:n paine ja sen on oltava säädettävissä. Koska paine tuotetaan nesteellä, täytyy ilmalle, joka on painekammiossa, järjestää ulospääsy. Paine, jolla neste siirretään painekammioihin, tuotetaan järjestelmässä olevalla hydrauliikkapumpulla. Paineen suuruuden säätäminen ja tehostaminen tapahtuu erillisellä paineensäätimellä. Seuraavassa on esitelty menetelmiä, joita voidaan mahdollisesti hyödyntää tässä työssä paineentuottamiseen.

3.3.1 Käsikäyttöinen ruuvimäntä

Paine voidaan tuottaa käsikäyttöisellä ruuvimännällä. Paineistussylinteri on pienikokoinen, jotta saadaan suuri paine pienellä voimalla. Ruuvimännän toiminta perustuu siihen, että hydraulinestettä työnnetään ohuen männän avulla, jolloin paine kasvaa kaavan P = F/A mukaan. Periaate on sama kuin ajoneuvon jarruissa käytetty menetelmä. Käsikäyttöisen ruuvimännän etuina voidaan pitää helppoa valmistettavuutta sekä edullisuutta. Ruuvimännän koossa tulee huomioida nesteen kokoonpuristuvuus, sillä se vaikuttaa männäniskun pituuteen. [3, s. 16.]

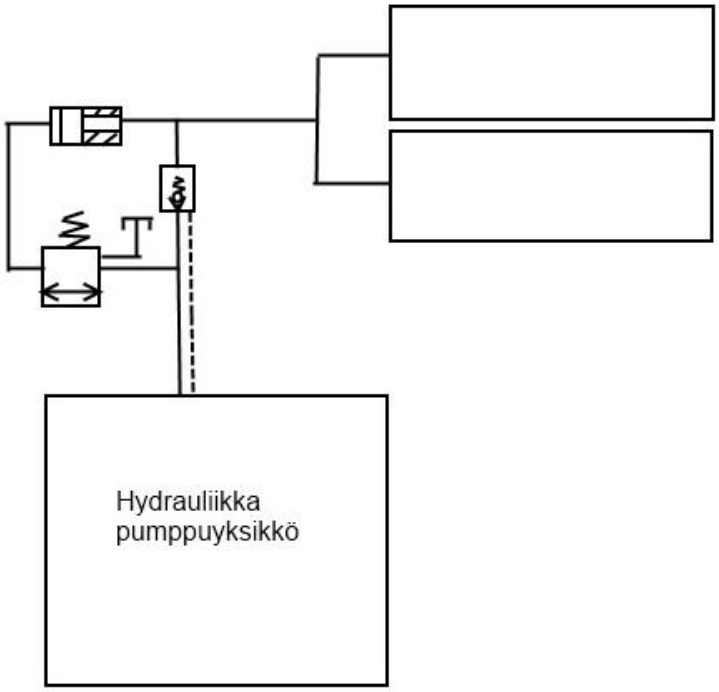
3.3.2 Käsikäyttöinen pumppu

Paineen tuottaminen onnistuu myös käsipumpulla. Periaate tässä menetelmässä on sama kuin ruuvimännässä, mutta vältytään ruuvaamiselta.

3.3.3 Säädettävällä paineenalennusventtiilillä varustettu tehostin

Paine voidaan tuottaa myös säädettävällä paineenalennusventtiilillä ohjattavalla paineentehostajalla. Paineenvahvistimen eteen sijoitetaan pai-

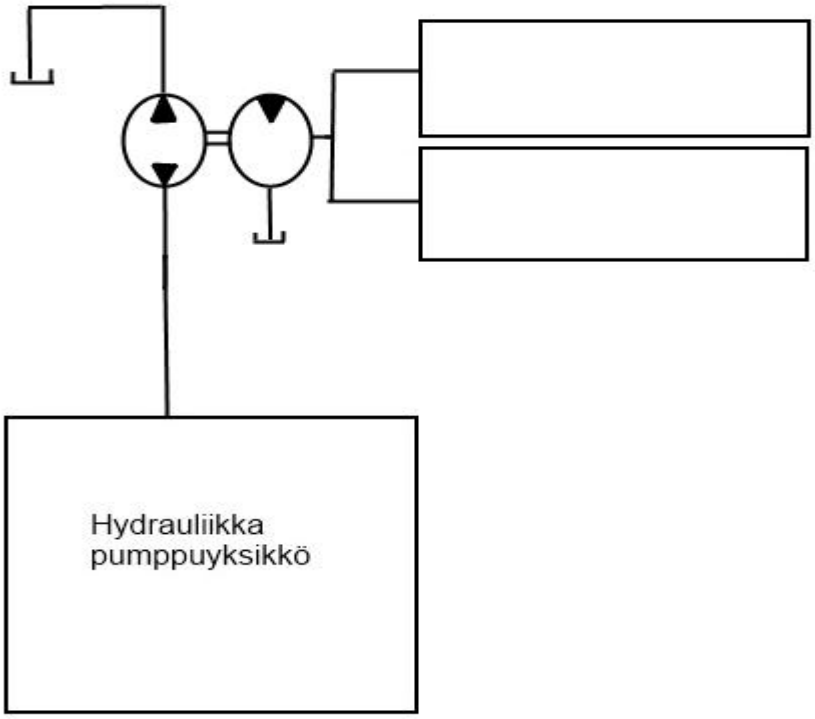
neenalennusventtiili, jolla alennetaan vahvistimeen tuleva paine siten, että se on tasapainossa lähtöpuolen kanssa. Kun painetta nostetaan, niin tehostaja lisää painetta kammioihin ja näin saadaan syntymään suuri paine pienellä vaivalla. Tässä menetelmässä täytyy huomioida se, ettei tehostettu paine pääse takaisin paineenalennusventtiiliin. Kuvassa 7, jossa on esitetty periaatteellinen ratkaisu, on asennettu ohjattu vastaventtiili estämään suuren paineen pääsy muualle kuin painekammioihin. Kun paineistusneste halutaan pois kammioista, avataan vastaventtiili ja neste pääsee virtaamaan ulos. Samoin tässä menetelmässä tulee huomioida nesteen kokoonpuristuvuus, kun mitoitetaan paineenvahvistinta.



Kuva 7. Paineenalennusventtiilillä säädettävä paineenvahvistus

3.3.4 Hydraulimoottorilla säädettävä paine

On myös mahdollista liittää hydraulimoottori hydraulipumppuun, jolloin painetta säädetään tilavuusvirran avulla. Etuna tässä menetelmässä on se, että ei olla riippuvaisia nesteen kokoonpuristuvuudesta. Menetelmä on kuitenkin kalliimpi kuin edellä mainitut. Tässä menetelmässä tarvitaan kaksi hydraulipumppua järjestelmään, ja se lisää kustannuksia. (Kuva 8.)



Kuva 8. Hydraulimoottorilla säädettävä paine

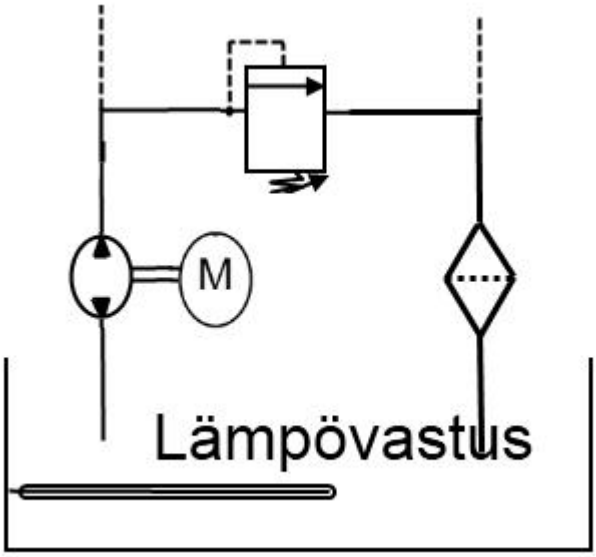
3.4 Lämmön tuottaminen

Lämmön tuottamiseen löytyy monia eri tapoja: lämmitys vastuksella ja lämmön siirtäminen nesteen avulla, vastuksen asettaminen painekammioon tai induktiolämmitys. Lämmitystavan valinnassa täytyy ottaa huomioon sen vaikutus hydrauliikkakomponentteihin, ohutlevymuotteihin sekä paineeseen painekammion sisällä.

3.4.1 Lämmön siirtäminen nesteen avulla

Eräs tapa lämmittää komposiittilevyt on lämmön siirtäminen hydraulisia putkia pitkin nesteen mukana siten, että nestettä lämmitetään lämpövastuksilla hydraulijärjestelmän nestesäiliössä ja lämpö siirtyy nesteen mukana painekammioihin, kun kammiot täytetään paineistusnesteellä (kuva 9). Koska korkeassa lämpötilassa oleva neste kuluttaa tiivisteitä nopeammin sekä lisää komponenttien sisäisiä vuotoja, täytyy hydrauliikkajärjestelmän tiivisteet valita käyttölämpötilan mukaan. [6, s. 157.] Järjestelmässä voidaan käyttää glykolipohjaista lämmönsiirtonestettä, jonka käyttö alue on -40 °C - +340 °C tai jotain muuta lämmönsiirtoöljyä, mikä kestää yli 200 °C:n lämpötiloja. Nes-

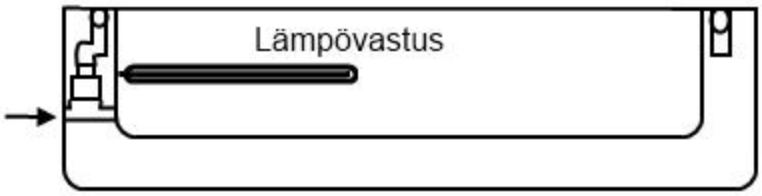
teen voiteluominaisuudet on hyvä selvittää, jotta neste ei aiheuttaisi hydraulipumpun kulumista.



Kuva 9. Nesteen lämmitys öljypohjassa

3.4.2 Vastuslämmitys painekammiossa

Lämpö voidaan myös tuottaa painekammioihin asetetuilla lämpövastuksilla. Myös tässä menetelmässä, hydrauliikkakomponentit altistuvat suurelle lämpötilalle, mikäli nesteen poisto painekammioista tapahtuu hydrauliikkaputkia pitkin. Toinen vaihtoehto on valuttaa neste pois kammioista eri reittiä. Tällöin vältytään hydrauliikkakomponenttien altistumiselta suurille lämpötiloille. Nestettä lämmitettäessä paineen nouseminen täytyy ottaa huomioon. (Kuva 10.)



Kuva 10. Lämmitys painekammiossa

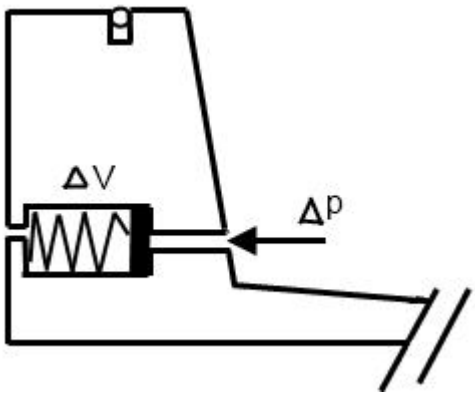
3.4.3 Induktiolämmitys

Induktiolämmityksessä sähkömagneettinen kela synnyttää magneettikentän, jolla lämmitetään komposiittilevyjä. Jotta lämmitystä voitaisiin hyödyntää, täytyy hartsin sekaan asettaa ferriittisiä metallikiteitä. Tällä tavalla saadaan kohdistettua lämpö suoraan komposiittilevyille. Jos ohutlevymuottien materiaalina käytetään alumiinia, vältytään muottien lämpenemiseltä ja saadaan mittatarkkoja kappaleita, koska muotit eivät lämpölaajene merkittävästi. Induktiolämmitys on kalliimpi kuin vastuslämmitysmenetelmät.

3.4.4 Lämmityksestä aiheutuvan paineennousun eliminointi

Kuten edellä jo mainittiin, paineistusnestettä lämmitettäessä paine nousee painekammion sisällä. Paineen nousu voi olla hyvin merkittävä, kun nestettä lämmitetään satoja asteita, ja se vaikeuttaa paineen säätämistä. Jotta paine saataisiin tasattua, täytyy kammion tilavuutta kasvattaa riippuen lämpötilasta. Tarvittava tilavuuden lisäys voidaan laskea, kun tiedetään paineistusnesteen lämpölaajenemiskerroin.

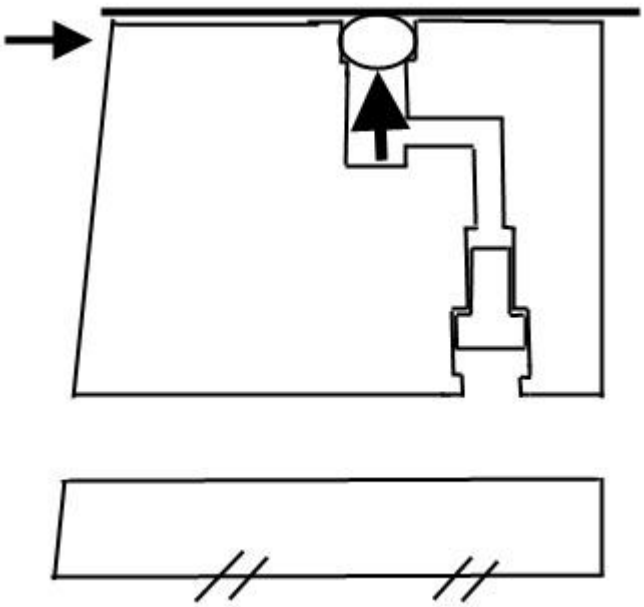
Paineen tasaus voidaan tehdä jousisysteemillä, joka sijoitetaan esimerkiksi painekammion kylkeen. Ideana jousisysteemissä on, että paineen kasvaessa kammiossa jousi puristuu kiinni ja vapauttaa tilavuutta tasaten samalla paineen kammion sisällä. Systeemin päässä on tiivistys, jotta neste ei pääse vuotamaan jousisysteemin läpi. Kammiossa on reikä jousen kohdalla, jotta ilma pääsee pakenemaan kammiosta (kuva 11).



Kuva 11. Paineen tasaus systeemi

3.5 Tiivistys

Tiivistys on tärkeä osa-alue painekammion suunnittelussa. Kammiossa on kova paine ja on tärkeää, ettei paineistusneste pääse vuotamaan ulos kammiosta. Tiivisteen materiaalin valinta on tärkeää, jotta se kestää sille tulevan paineen sekä lämmön. Tiivistys voidaan toteuttaa paineenvahvistimen avulla, kuten patentti-ideassa on esitetty, siten että painekammioon menevää painetta suurempi paine puristaa tiivistettä muottilevyä vasten estäen paineistusnesteen vuotamisen ulos kammiosta (kuva 12). Tiivistimenä voidaan käyttää esimerkiksi O-rengasta.



Kuva 12. Paineen vahvistus systeemi

Tiivistemateriaalin täytyy olla elastista, mutta tarpeeksi jäykkää, jottei tiiviste pursua pois paikaltaan. Ennen tiivistemateriaalin valintaa täytyy määrittää tiivistysongelmat. Tiivistysongelmia ovat mm. lämpötilat, paineet, käyttöaika, vuoto, yms. [7, s. 660.]

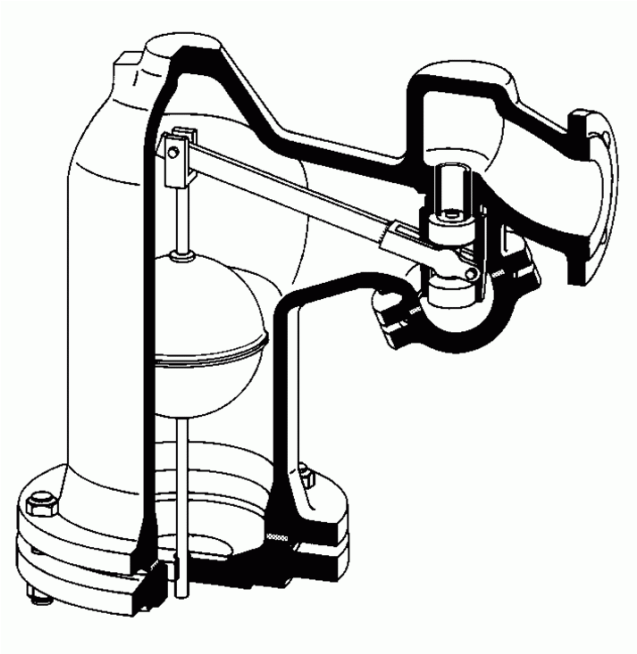
Mahdollisena tiivistemateriaalina voidaan pitää jotain PTFE-seosta mikä, kestää korkeaa lämpötilaa, ja tarvittaessa tiivistyksestä voidaan tehdä kaksiosainen, jolloin sitä voidaan vahvistaa metallisella tiivisteellä.

3.6 Ilman poistaminen säiliöstä

Nesteen siirtyessä painekammioihin täytyy ilmalle järjestää poispääsykanava. Tämä on tärkeä asia, sillä mikäli ilmaa jää kammioon, kun kammio paineistetaan se aiheuttaa vaara tilanteen. Ilma voi puristua puolet pienempään tilaan kuin mitä se on lähtötilanteessa. Kun paine poistetaan ja neste valutetaan pois, ilma laajenee suurella nopeudella ja voi rikkoa hydrauliikkajärjestelmää. Pahimmassa tapauksessa se voi aiheuttaa henkilövahinkoja.

3.6.1 Ilmanpoistoventtiili

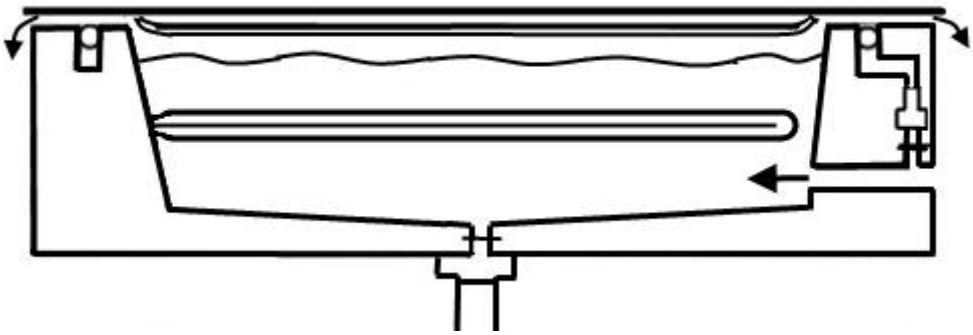
Ilmanpoistaminen kammiosta voidaan toteuttaa uimuritoimisen ilmanpoistoventtiilin avulla. Ilma pääsee virtaamaan vapaasti ulos painekammiosta, kun kammiota täytetään. Nesteen täyttäessä ilmanpoistoventtiiliä uimuri nousee ylös sulkien samalla ilmanpoistokanavan venttiilin (kuva 13). Ilmanpoistoventtiilien sijoitukset täytyy miettiä kunnolla, jotta saadaan kaikki ilma pois kammiosta. Ilmanpoistoventtiilin paineenkestävyys täytyy myös tarkistaa valmistajalta.



Kuva 13: Ilmanpoistoventtiilin toimintaperiaate [8]

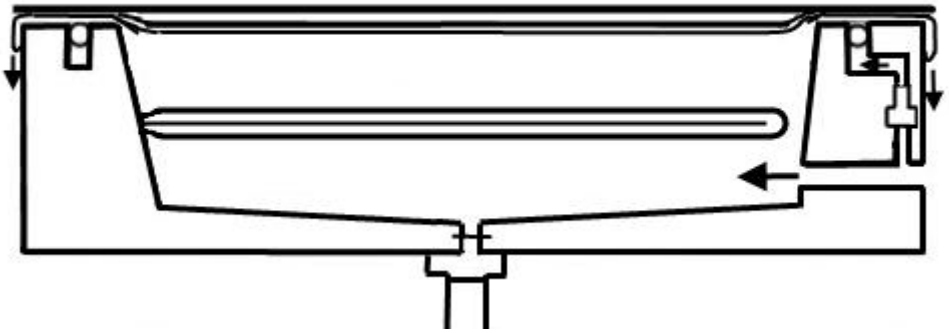
3.6.2 Kammion ylitäyttäminen

Ilma saadaan poistettua myös siten, että asetetaan tiivistys pois toiminnasta ja täytetään painekammiota, kunnes nestettä valuu yli kammion reunoilta (kuva 14).



Kuva 14: Kammio täytetään ja ilma pääsee poistumaan kammion reunoilta

Kun nestettä on tullut ulos riittävästi, tiivistys voidaan asettaa toimintaan, jolloin nestettä ei enää pääse ulos (kuva 15).



Kuva 15: Tiivistys asetetaan päälle, kun nestettä valuu reunoilta.

3.7 Painekammion rakenne

Painekammion sisällä tulee olemaan suuria paineita, joten painekammion rakenteen täytyy olla tarpeeksi kestävä. Kammio valmistetaan valuraudasta. Koska puristinta lähdettiin suunnittelemaan sopivaksi Ride-in-sovellukselle, tulee painekammiosta suurikokoinen. Suurin kappale, joka kammiossa tulisi pystyä puristamaan, on 1600 mm x 3300 mm x 300 mm. Tämä aiheuttaa sen, että rakenteesta tulee hyvin painava. Koska voima, joka syntyy paineistuksen johdosta, on hyvin suuri, täytyy painekammion rakenteen olla hyvin kestävä.

3.8 Valmistusmenetelmän valinta

Taulukossa 2 on esitetty matriisi mahdollisista menetelmistä sekä valittu ne, joita sovelletaan sekä kehitetään tähän työhön sopiviksi.

Taulukko 2. Valmistusmenetelmämatriisi

Paineentuottaminen			
Ruuvimäntä	Käsipumppu	Alennusventtiilillä varustettu tehostin	Hydrauliikka moottorilla säädettävä
x			
Lämmitys			
Nestelämmitys	Vastuslämmitys painekammiossa	Induktiolämmitys	
	x		
Painekammion tiivistyksen materiaali			
PTFE	FPM	PTFE + FPM	Metalli vahvike
		x	x
Ilmanpoistomekanismi			
Ilmanpoistoventtiili	Kammion ylitäyttäminen		
x	x		

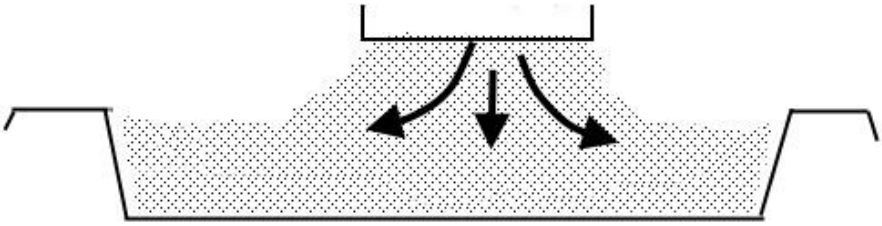
3.9 Ohutlevymuotin valmistusmenetelmän suunnittelu

Ohutlevymuotin valmistusmenetelmän suunnittelussa pyritään käyttämään hyödyksi jo markkinoilla olevia menetelmiä. Suunnittelussa pyritään hyödyntämään tekniikkaa, joka soveltuu myös komposiittilevyjen puristamiseen. Puristusprosessissa ei huomioida muottimallin valmistusta.

Ohutlevymuotin valmistusprosessiin kuuluu monta vaihetta, ja on erilaisia tapoja toteuttaa kyseinen prosessi.

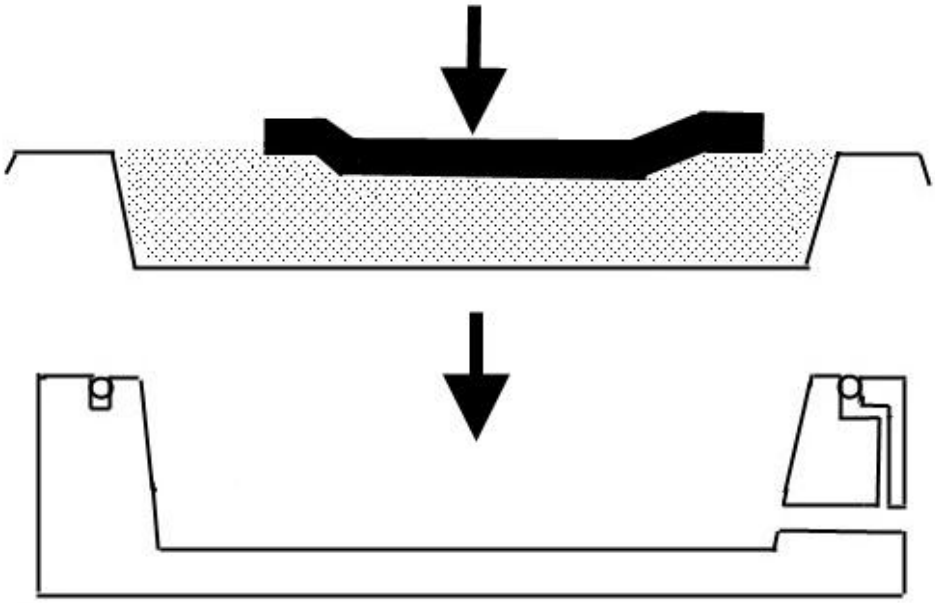
3.9.1 Versio 1: Paineistus yläpuolelta

Ensimmäisessä vaiheessa valmistetaan ohutlevystä astia, joka sopii painekammion sisään, ja täytetään se valuhiekalla. Valuhiekkana käytetään kvartsihiekkaa, johon on sekoitettu kylmähartsia sideaineeksi. Hartsi kovetetaan erillisellä koveteaineella. Kvartsihiekka, hartsi ja koveteaine sekoitetaan sekoittimella, jonka jälkeen hiekkasekoitus sullotaan ohutlevyastiaan (kuva 16). Ohutlevyastian rakenteen tulee kuitenkin olla tarpeeksi luja, jotta se voidaan nostaa pois ohutlevymuotin valmistuksen jälkeen.



Kuva 16. Hiekka sullotaan ohutlevyastiaan

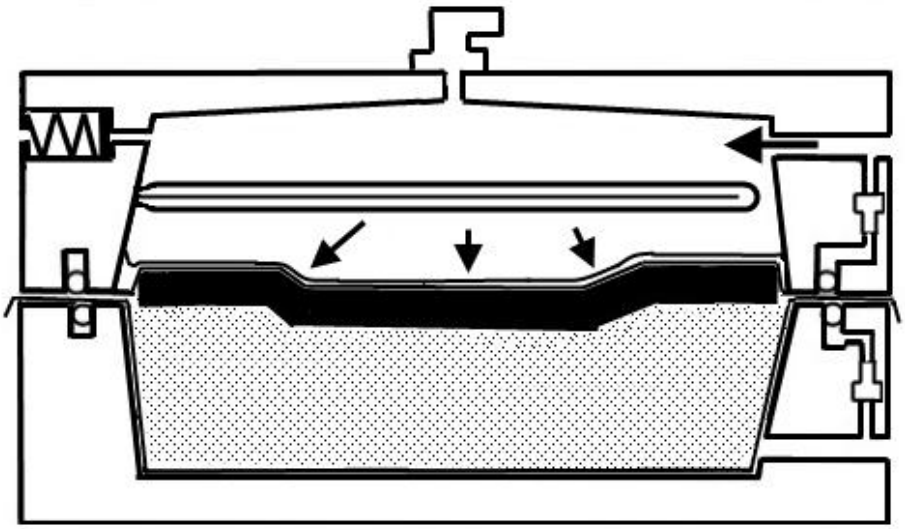
Seuraavassa vaiheessa malli asetetaan hiekka-astiaan ja se asetetaan painekammion sisälle (kuva 17). Malli on pinnoitettu irrotusaineella ja siihen on tehty päästöt, jotta malli saadaan irrotettua hiekasta.



Kuva 17. Malli asetetaan hiekka-astiaan ja hiekka-astia painekammioon

Malli puristetaan hiekkaan suuren paineen avulla, jolloin hiekasta saadaan tiivis (kuva 18). Tässä käytetään painekammion yläpuoliskoa. Painekammion puoliskot asetetaan toisiaan vasten ja malli jätetään jakopinnalle. Kun puoliskot on asetettu, täytetään kammio paineistusnesteellä ja paineistetaan se. Lämmittämällä nestettä saadaan kovetusprosessi nopeammaksi. Ilman

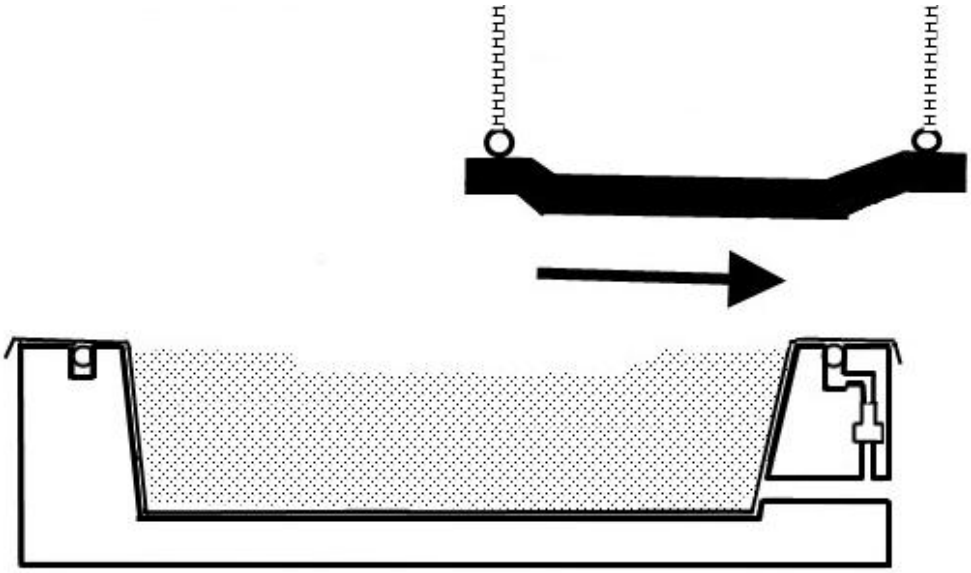
poistaminen kammiosta hoidetaan ilmanpoistoventtiilin avulla. Ilmanpoistoventtiileitä asetetaan riittävästi, että kaikki ilma saadaan pois kammiosta. Venttiilit tulee asettaa siten, etteivät ne haittaa kammioiden puoliskojen kiinni pitämistä. Kammion katto on tehty ylöspäin viettäväksi, jotta kaikki ilma pääsee pakenemaan ilmanpoistoventtiilien kautta, kun kammiota täytetään nesteellä.



Kuva 18. Malli puristetaan hiekkaan

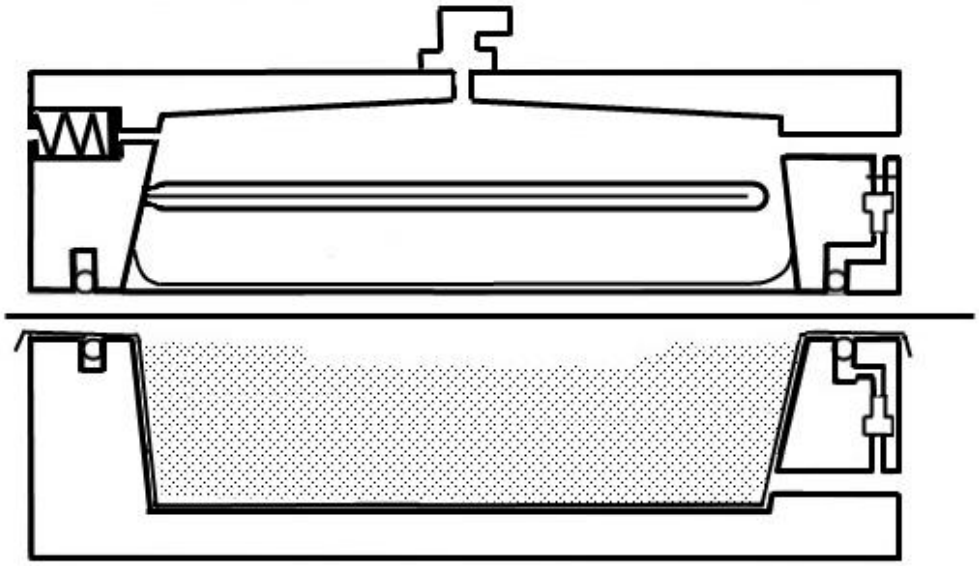
Kun mallia on puristettu riittävästi siten, että hiekka on riittävän tiivis, poistetaan yläpuolinen painekammio ja annetaan hiekan kovettua. Neste saadaan poistettua ylemmästä kammiosta valuttamalla se reunojen yli öljypohjaan. Kammion tyhjentämisen täytyy tapahtua turvallisesti niin, ettei siitä aiheudu tapaturmavaaraa. Ennen kammion tyhjentämistä paineet täytyy poistaa kammiosta.

Mallin nostamista varten siihen asennetaan nostoraudat ja se nostetaan nostokoukuilla nosturin avulla (kuva 19). Malli täytyy nostaa suorassa ja tämä voidaan varmistaa vanttiruuveilla. [9, s. 8, 9.]



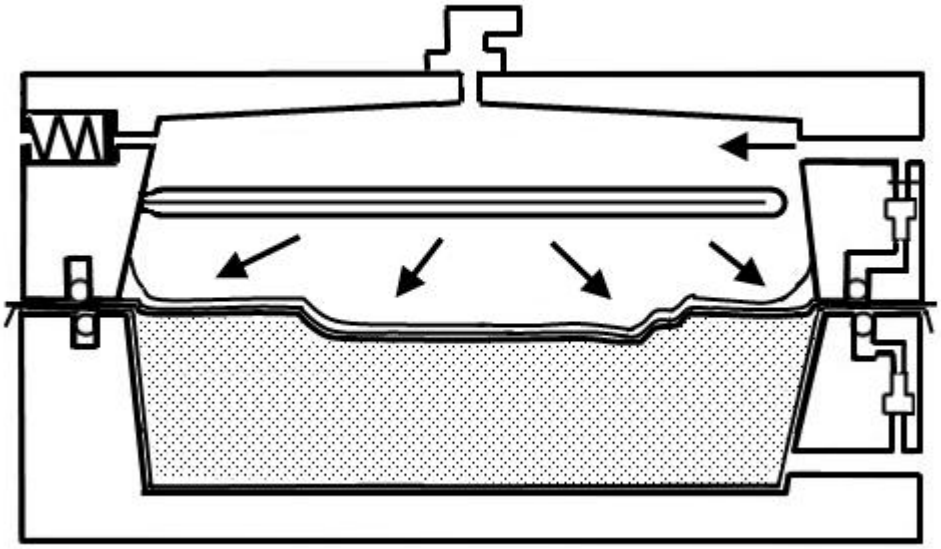
Kuva 19. Malli poistetaan hiekasta nosturin avulla

Seuraavassa vaiheessa asetetaan jakopinnalle ohutlevy, josta muokataan lopullinen muotti (kuva 20). Ohutlevyn materiaalina voidaan käyttää esimerkiksi terästä tai alumiinia.



Kuva 20. Ohutlevy asetetaan jakopinnalle.

Tämän jälkeen lasketaan painekammion yläpuolisko kiinni alapuoliskoon ja täytetään yläkammio paineistusnesteellä. Ilma poistetaan ilmanpoistoventtiilin avulla. Kun kammio on täytetty, paineistetaan yläpuolisko suurella paineella. Painekammion yläosassa on elastinen kalvo, mikä myötäilee ohutlevyä (kuva 21). Tällöin ohutlevy puristuu kiinni hiekkamuottiin, ja näin ohutlevymuotti on valmis.



Kuva 21: Ohutlevymuotti muovataan paineistamalla kammio.

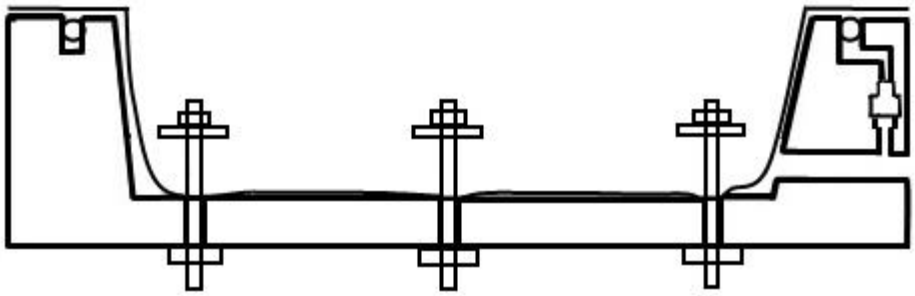
Ohutlevymuotteja voidaan tehdä useampia kappaleita, jotta voidaan nopeuttaa sarjavalmistusta.

Ongelmaksi tässä menetelmässä saattaa osoittautua nesteen poistaminen puristuksen jälkeen, koska nesteen poiston täytyy tapahtua turvallisesti.

3.9.2 Versio 2: Paineistus alapuolelta

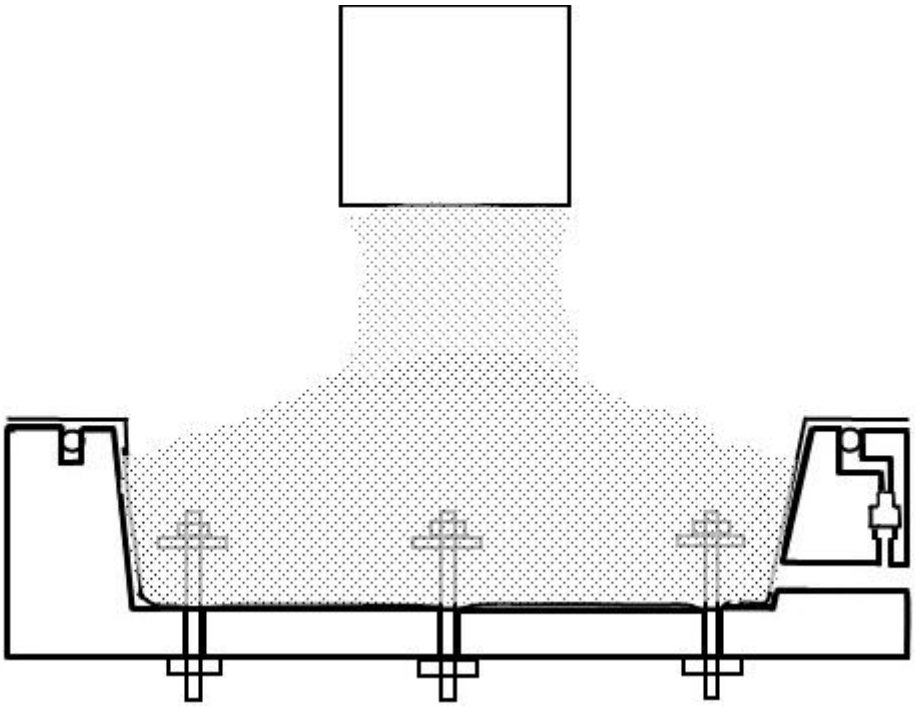
Toisessa versiossa painekammion yläpuoliskoon on porattu reikiä, joihin on asennettu vaarnaruuvit ja kestävät teräslevyt (kuva 22). Ennen vaarnaruuvien asentamista kammion sisään asetetaan ohut irrotuskalvo, jotta kammioon

sullottu hiekka saadaan irrotettua helposti. Teräslevyjen on oltava riittävän kestäviä, jotta ne jaksavat kantaa kovenneen kvartsihiekan painon.



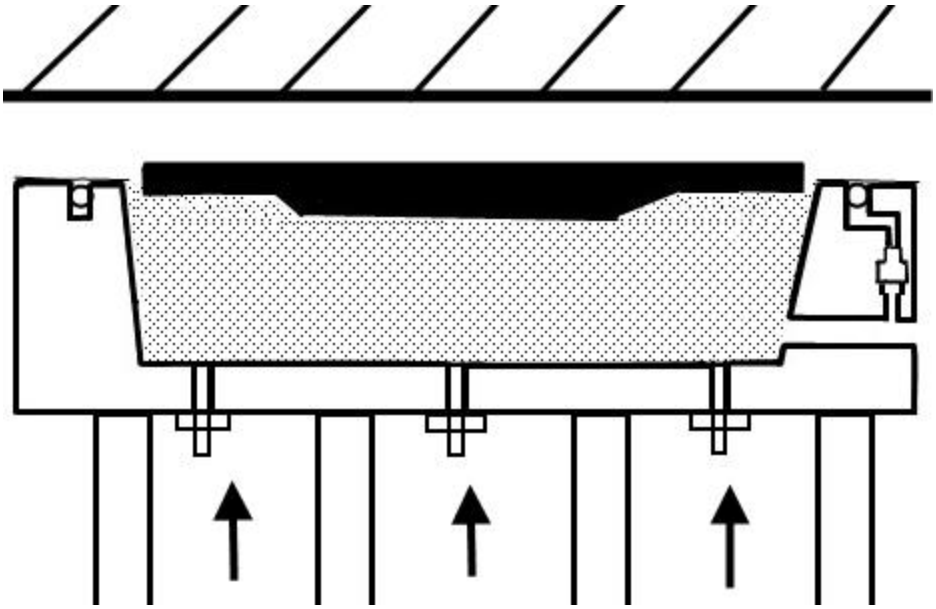
Kuva 22. Irrotuskalvo sekä vaarnaruuvit asetetaan kammioon

Seuraavassa vaiheessa hiekkaseos, joka sisältää kvartsihiekkaa, hartsia sekä koveteainetta, kaadetaan painekammion sisään (kuva 23).



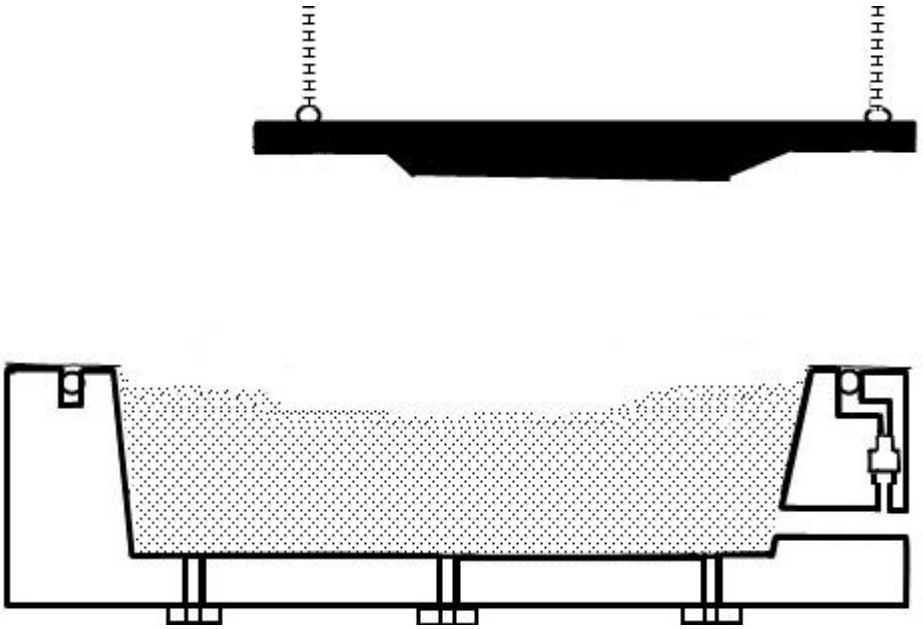
Kuva 23. Hiekka sullotaan painekammioon

Kun hiekkaseos on sullottu tiiviiksi, malli asetetaan siihen ja puristetaan painekammioita toisissaan kiinnipitävän puristimen avulla hiekkaa vasten, jotta hiekka saadaan tarpeeksi tiiviiksi (kuva 24). Puristus voidaan tehdä ahtopuristimen kattoa vasten. Mikäli nostokorkeus ei ole riittävä nostamaan vain yhtä puoliskoa, voidaan väliin asettaa toinen painekammion puolikas ja laittaa väliin tarpeeksi kestävä levy, joka kestää puristuksen. Malliin on tehty kierteelliset reiät, joihin saadaan asetettua nostokoukut, jotta se saadaan nostettua pois.



Kuva 24. Malli puristetaan hiekkaan painekammion puoliskoja toisissaan kiinnipitävällä puristimella.

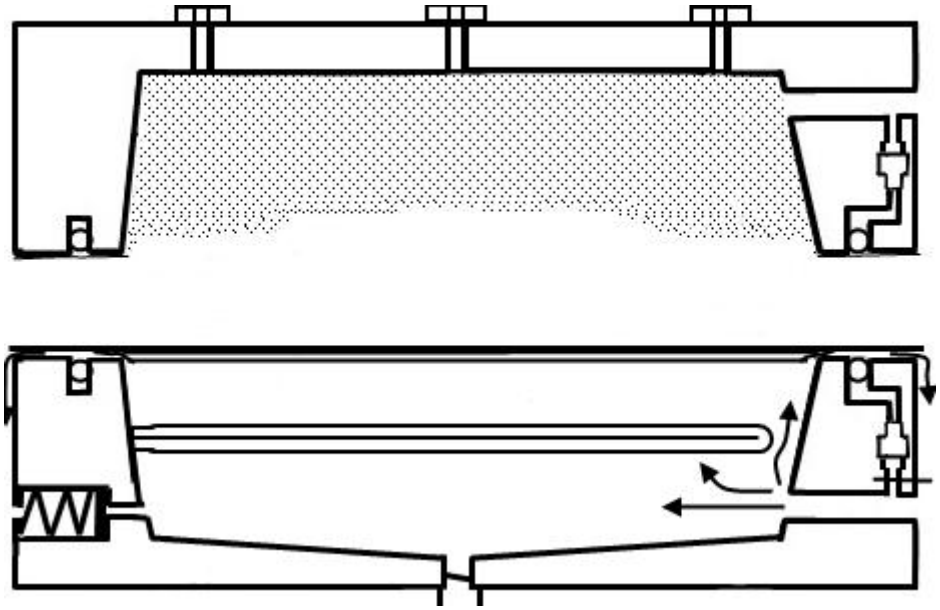
Kun mallia on puristettu tarpeeksi hiekkaa vasten, otetaan kammio pois puristimesta. Malli nostetaan pois, kun hiekkaseos on ehtinyt kovettua riittävän kovaksi. Se tapahtuu nosturin avulla (kuva 25).



Kuva 25. Malli nostetaan pois nosturin avulla

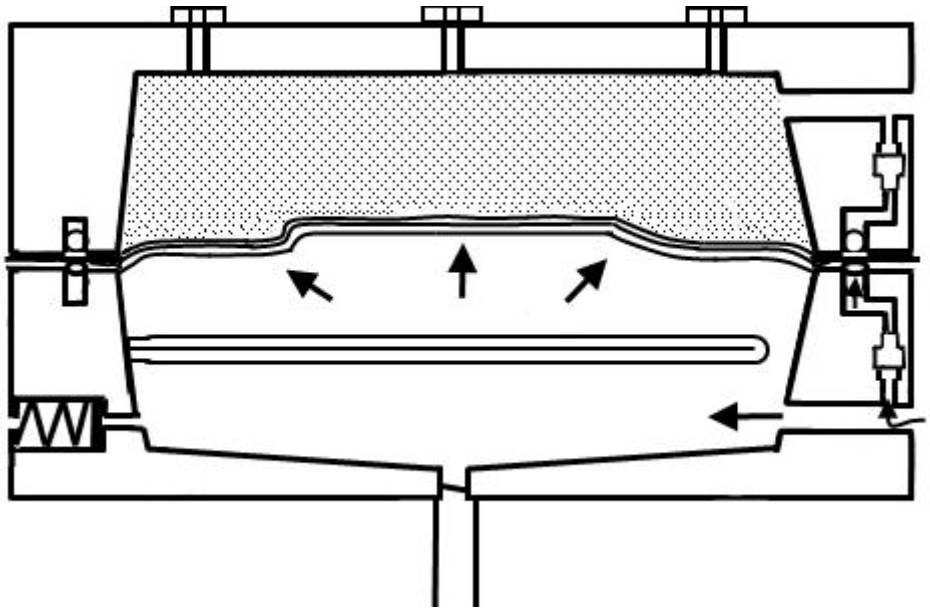
Seuraavaksi ohutlevy asetetaan jakopinnalle ja hiekalla täytetty painekammion puolisko käännetään ylösalaisin ja nostetaan toisen puoliskon päälle. Vaarnaruuvit ja aluslevyt varmistavat, että kovettunut hiekka ei pääse putoamaan.

Painekammion alapuoliskoon on sijoitettu lämpövastus, jolla neste lämmitetään sekä kammion tyhjennysaukko, jota ohjataan venttiilillä. Alapuoliskoon on myös asetettu lämmöstä johtuvan paineennousun tasaaja. Alapuoliskon pohja on tehty keskelle viettäväksi, jotta neste pääsee vuotamaan ulos vetovoiman avulla (kuva 26).



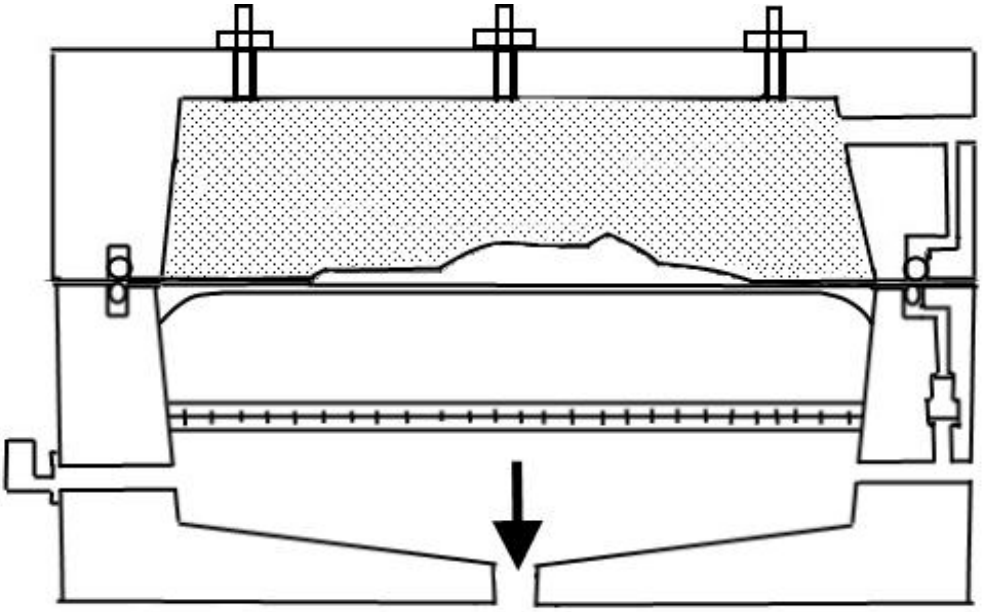
Kuva 26. Ohutlevy asetetaan jakopinnalle, minkä jälkeen painekammio täytetään nesteellä

Kun painekammio on täytetty nesteellä, se voidaan paineistaa suurella paineella. Ennen paineistamista täytyy kuitenkin varmistaa, että painekammion tiivistyskanava on avattu. Kun kammio on tiivistetty ja kammio paineistetaan, elastinen kalvo myötäilee hiekkaan tehtyä mallia puristaen ohutlevyn muotoon (kuva 27).



Kuva 27. Kammion tiivistyskanava avataan, minkä jälkeen kammio paineistetaan

Kun puristus on suoritettu, suljetaan tiivistyksen venttiili jälleen ja avataan tyhjennysaukon venttiili, jolloin neste valuu pois (kuva 28). Kammioon pitää kuitenkin päästää korvaavaa ilmaa, jotta neste valuu pois. Neste voidaan valuttaa takaisin öljypohjaan, jolloin sama neste kiertää paineistusprosessissa. Kun neste valutetaan takaisin suoraan öljypohjaan, ei hydrauliikkakomponenttien tiivisteitä tarvitse vaihtaa. Tarvittaessa neste voidaan jäähdyttää matkalla öljypohjaan.



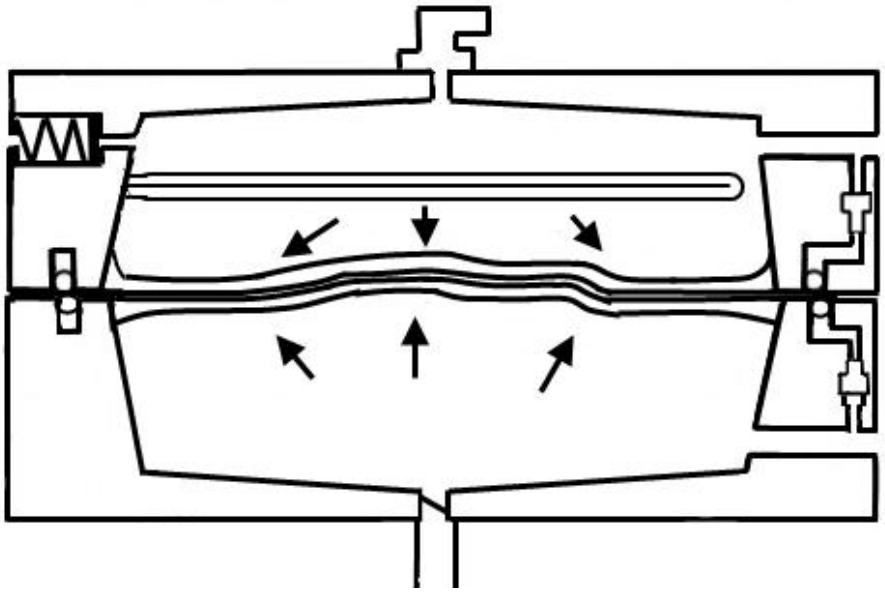
Kuva 28. Säiliö tyhjennetään avaamalla venttiili säiliön pohjasta

3.10 Ohutlevymuotin valmistusmenetelmän valinta

Ohutlevymuotin valmistusmenetelmä vaihtoehdoista valittiin versio 1, koska prosessissa on vähemmän vaiheita. SMC-levyjen puristamisessa kuitenkin tarvitaan osia molemmista versioista.

3.11 SMC-levyjen puristusprosessin kulku

SMC-levyjen muotoonpuristamisessa käytetään samaa menetelmää kuin ohutlevymuotin puristamisessa. Ainoana erona on, että kummassakin painekammion puoliskossa on nestettä. Ideana on puristaa ohutlevymuottia molemmilta pinnoilta yhtä suurella paineella, jolloin ohutlevymuotti säilyttää muotonsa, mutta SMC-levy puristuu ohutlevymuottiin. Kuvassa 29 on havainnollistettu SMC-levyn puristusprosessia. Paineistusnesteen lämmitystä tarvitaan oikeastaan vasta, kun puristetaan SMC-levyjä, sillä SMC-levyt saadaan kovetettua lämmön avulla.



Kuva 29: SMC-levy puristetaan muotoon ja kovetetaan lämmittämällä.

SMC-levyjen puristamisessa tarvitaan työvaiheita molemmista edellä kuvatuista ohutlevymuotin valmistusmenetelmistä. Kammiot täytetään nesteellä sen jälkeen, kun ohutlevymuotti ja SMC-levy on asetettu jakopinnalle. Kun painekammiot on täytetty ja tiivistetty, lämmitetään neste tarvittavaan lämpötilaan. Tämän jälkeen nostetaan painetta kammioiden sisällä ja annetaan SMC-levyn olla puristuksessa ohutlevymuottia vasten. Kun levyä on puristettu riittävän kauan ja se on kovettunut haluttuun muotoon, poistetaan painekammioista, suljetaan tiivistys ja valutetaan neste pois kammioista. Kun nesteet on poistettu, otetaan painekammioiden puoliskot irti toisistaan ja puristettu SMC-levy ja ohutlevymuotti pois jakopinnalta. Teemu Laukkasen insinöörityössä on selitetty tarkemmin koko prosessin kulku [2].

4 PÄÄTELMÄT JA JATKOTOIMENPITEET

Kuten edellä mainittiin, tässä työssä oli tarkoitus kehittää ja luonnostella toimintaperiaate ohutlevymuottien sekä SMC-levyjen puristusmenetelmästä eikä yksityiskohtiin ja mitoituksiin ole keskitytty. Seuraavaksi työtä on tarkoitus jatkaa valitun luonnoksen pohjalta ja kehittää siitä toimiva kokonaisuus ja myöhemmin prototyyppi. Kehitysvaiheessa tulee mitoittaa rakenteet riittävän kestäviksi, suunnitella kokonaisuus, jossa koko prosessi etenee mutkattomasti, ja liittää prosessi osaksi Teemu Laukkasen insinöörityötä [2]. Lisäksi

seuraavassa vaiheessa tulee miettiä painekammioiden valmistusmenetelmiä ja muita käytännön asioita.

5 YHTEENVETO

Tarkoituksena tässä insinöörityössä oli löytää periaatteellinen ratkaisu ohutlevymuottien valmistumenetelmään sekä SMC-levyjen puristamiseen. Työtä lähdettiin kehittelemään Erkki Rinteen patentti-idean pohjalta.

Työ vaiheistettiin neljään päävaiheeseen, jotka olivat tehtävän selvittely, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Tässä työssä prosessi suunniteltiin vain luonnosteluvaiheeseen asti.

Työ aloitettiin tekemällä vaatimuslista, jonka pohjalta tuotetta sekä prosessia alettiin suunnitella. Seuraava vaihe oli hakea tietoa erilaisista valamismenetelmistä, joita on mahdollista hyödyntää tässä työssä, jotta saatiin hyvä kokonaiskuva siitä, mitä ollaan tekemässä. Kun tarpeeksi yleistietoa oli saatu, alettiin miettiä erilaisia vaihtoehtoja eri prosessin vaiheisiin, kuten paineen tuottaminen, lämmitystapa, ilman poistaminen painekammiosta ja tiivistäminen.

Ohutlevymuotin puristusprosessissa oli tarkoitus käyttää kehiteltyjä menetelmiä ja sitä alettiin suunnitella seuraavaksi. Työssä luonnosteltiin kaksi erilaista mahdollisuutta joista valittiin versio 1: paineistus yläpuolelta. Todellisuudessa joudutaan käyttämään molemmissa versioissa käytettyjä menetelmiä, sillä SMC-levyjä puristettaessa käytetään paineistusnestettä sekä ylä- että alapuoliskossa.

Mielestäni tässä työssä päästiin tyydyttävään ratkaisuun, mistä on hyvä lähteä kehittämään projektia eteenpäin.

VIITTEET

[1] Ride-in sovellus [verkkodokumentti, viitattu 22.2.2011] Saatavissa: http://www.ride-in.fi/

[2] Laukkanen, Teemu, Komposiittikappaleiden puristusprosessin suunnittelu. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Helsinki. 2011.

[3] Aaltonen, Eero, Muottirungon kehittäminen. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Helsinki. 2009.

[4] Gerhard, Wolfgang, Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Berliini/Heidelberg. Suomen Metalli-, Kone- ja Sähköteknisen Teollisuuden Keskusliitto, MET. 1986.

[5] Keskinen Raimo, Niemi Pekka, Muotinvalmistustekniikka [verkkodokumentti, viitattu 22.2.2011]. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_muotinvalmistustekniikka_33_35.pdf

[6] Keinänen Toimi, Kärkkäinen Pentti, Hydrauliikka ja pneumatiikka. 2. painos. Porvoo. WSOY. 2000.

[7] Airila Mauri, Ekman Kalevi, Koneenosien suunnittelu. 4. painos. Porvoo. WSOY. 2003.

[8] Kokko Control Oy [verkkodokumentti, viitattu 21.2.2011] Saatavissa: http://www.kokko-control.fi/tuotteet/venttiilit/ilmanpoistoventtiilit

[9] Keskinen Raimo, Niemi Pekka, Muotinvalmistustekniikka [verkkodokumentti, viitattu 22.2.2011]. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/muotinvalm_tao/index.html