



TEKNIikka JA LIIKENNE

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotesuunnittelu

INSINÖÖRITYÖ

KOMPOSIITTIKAPPALEIDEN PURISTUSPROSESSIN SUUNNITTELU

**Työn tekijä: Teemu Laukkanen
Työn ohjaajat: Pekka Hautala
Erkki Rinne**

Työ hyväksytty: ____ . ____ . 2011

**Pekka Hautala
yliopettaja**



ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin Silex Comp Oy:lle Helsinkiin. Haluan kiittää projektissa mukana olleita henkilöitä, erityisesti keksijä Erkki Rinnettä sekä yliopettaja Pekka Hautalaa, työn opastuksesta ja aiheen selvittämisestä.

Helsingissä 26.4.2011

Teemu Laukkanen

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Teemu Laukkanen	
Työn nimi: Komposiittikappaleiden puristusprosessin suunnittelu	
Päivämäärä: 26.4.2011	Sivumäärä: 31 s.
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tuotesuunnittelu
Työn ohjaaja: Pekka Hautala Työn ohjaaja: Erkki Rinne	
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Silex Comp Oy:lle. Työssä jatkokehiteltiin opiskelija Eero Aaltosen ahtopuristimen suunnittelua sekä suunniteltiin puristusprosessin kulku. Tarkoituksena oli kehittää puristimeen runko, joka kestää ahtopuristuksessa syntyvät jännitykset. Työhön sisältyi myös tuotantoprosessissa käytettävän linjaston hahmottelua sekä miettiä nostomenetelmiä.</p> <p>Työssä mukailtiin saksalaisen VDI 2221 –standardin pohjalta kehitettyä seitsenportaista työnkulkua. Se sisältää tehtävän asettelun selvittelyn, toimintojen selvittelyn, ratkaisuperiaatteiden etsinnän, jäsentelyn moduuleihin, moduulien rakennemuotoilun, tuotekokonaisuuden rakennemuotoilun sekä valmistus- ja käyttöohjeiden laatimisen. Tässä insinöörityössä keskitytään viiteen ensimmäiseen portaaseen.</p> <p>Puristinrunгон suunnittelussa oli kolme kilpailevaa ajatusta, joista kaksi hylättiin jo heti alussa. Muottirungonrakenteeksi valittiin runko, joka mahdollistaa hydraulikan avulla sulkemaan painekammiot tiukasti kiinni toisiinsa. Puristinrunгон katossa olevan paineen syöttöaukon avulla pystytään mahdollistamaan painekammioiden kiinnipysyminen.</p> <p>Painekammioiden liikuttamisessa pohdittiin kahta vaihtoehtoa, jotka olivat ilmatyynyntaso sekä linjasto. Ilmatyynyntaso hylättiin jo alkuvaiheissa, koska hinnasta tulisi huomattava. Linjasto toimii akseleiden avulla, jotka on laakeroitu. Laakeroitujen akseleiden avulla painekammioiden liikuttaminen työpisteeltä toiselle onnistuu helposti.</p> <p>Painekammioiden nostamisessa käytetään vahvaa ja kestävästä siltanosturia. Siltanosturi mahdollistaa painavien painekammioiden nostamisen tarkasti ja turvallisesti.</p>	
Avainsanat: tuotekehitys, ahtopuristus, valmistusmenetelmät, komposiittikappale	

ABSTRACT

Name: Teemu Laukkanen

Title: Designing of compression process for composite parts

Date: 26.4.2011

Number of pages: 31

Department:
Machine and production engineering

Study Programme:
Product development

Instructor: Pekka Hautala

Supervisor: Erkki Rinne

This bachelor's thesis was made for Silex Comp Oy. It is a further development of student Eero Aaltonen's compression press design where also the process is designed. The purpose was to design a compression press frame which holds up to the force generated from the pressing process. Also the production line being used was sketched and the lifting process was thought.

This work was made on the basis of the German VDI 2221 –standards seven step workflow. It includes clarification of task, conceptual design, defining functions and structure, finding solutions principle and structure, describing a variant that can be realized and the realization of the design. This thesis will focus on the first five steps.

The compression press frame had three competing designs, of which two were discarded right from the beginning. The mould was designed as a frame, which hydraulic actuation closes the pressure chamber tightly shut. The pressure chamber is held shut with the help of the pressure inlet holes on the top of the compression press frame.

In moving the pressure chamber two alternatives were considered. An air pressure floating line and a roller line. The air pressure floating line was rejected at initial stage, because the price would have gotten overly expensive. The line was made with rollers which have bearings. With the help of rollers with bearings the moving of pressure chambers from workspace to workspace is easy.

To lift the pressure chambers a sturdy and long lasting overhead crane is used. An overhead crane will allow accurate and safe lifting of the heavy pressure chambers.

Keywords: product development, compression moulding, manufacturing method, composite parts

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
1.1	Projektin lähtökohdat	2
1.2	Projektin vaiheistus	2
1.3	Insinööriyön tavoitteet	5
2	TEHTÄVÄN SELVITYS	6
2.1	Vaatimuslista	6
2.2	Valmistusmenetelmät	8
2.2.1	<i>Laminointimenetelmät</i>	8
2.2.2	<i>Puristusmenetelmät</i>	9
2.2.3	<i>Injektointimenetelmät</i>	9
2.2.4	<i>Suulakemenetelmät</i>	9
2.3	Ahtopuristus	9
2.4	Reaktiovalu (RIM)	11
2.5	Ruiskuvalu	12
2.6	Kalvopuristus	13
2.7	Muovikomposiitit	13
2.7.1	<i>SMC</i>	14
2.7.2	<i>BMC</i>	15
2.7.3	<i>GMT-prosessi</i>	16
2.8	Valmistusmenetelmä valinta	18
3	PURISTUSPROSESSIN SUUNNITTELU	20
3.1	Puristimenrungon rakenne	20
3.2	Työtason rakenne	24
3.3	Puristusprosessin kulku	24
3.4	Painekammioiden liikuttaminen	26
3.5	Tuotantolinja	27
3.6	Painekammioiden nostaminen	28
4	PÄÄTELMÄT JA JATKOKEHITTÄMINEN	28

5 YHTEENVETO

29

VIITELUETTELO

31

1 JOHDANTO

Insinööriyön tavoitteena on suunnitella moottoripyörän säilytyskotelon valmistuksen konseptointi. Puristusprosessissa on pohdittava, minkälainen puristusmenetelmä soveltuu parhaiten kyseiseen puristustyöhön. Puristusprosessissa käytetään kappaleen valmistuksessa komposiitteja, joista muotoutuu valmis kappale. Kappaleen materiaalia on pohdittava siltä kannalta, että mikä materiaali sopii parhaiten vaatimuslistan vaatimuksiin. Puristimenrungosta tehdään useampia hahmottelevia malleja, joista yksi valitaan soveltuvuuden perusteella puristimenrungoksi. Puristimen rungon on oltava sellainen, että se kestää hyvin plastisia muodonmuutoksia ja suuria paineita.

Puristusprosessin kulussa mietitään, miten painekammiot saataisiin kuljetettua mahdollisimman helposti puristimenrungolle. Kuljetusmenetelmiä on useita, ja niistä paras mahdollinen tapa piti valita soveltuvaksi parhaiten linjastoksi. Painekammioiden kuljetuksen on tapahduttava mahdollisimman vaivattomasti ja sulavasti, jotta säästytään ylimääräiseltä työltä.

Painekammioiden nostamisessa mietittiin nostomenetelmää, joka sopisi parhaiten nostamaan painavat painekammiot asennus korkeudelle. Nostimen on oltava sellainen, että se on helppo liikuttaa, sekä nosturin nostokyvyn on kestävä painavat painekammiot. Nostimen tarraimet taikka koukut on saatava asennettua mahdollisimman nopeasti painekammion nostokahvoihin. Irrotuksen on myös tapahduttava nopeasti.

1.1 Projektin lähtökohdat

Projektia lähdettiin suunnittelemaan Erkki Rinteen ja Pekka Hautalan esityksestä. Juha Karppinen suunnitteli moottoripyöränsäilytys kotelon, jossa pystytään kuljettamaan sekä säilyttämään moottoripyöriä. Vuonna 2009 opiskelija Eero Aaltonen suunnitteli uudenlaisia ahtopuristimia, joilla on tarkoitus puristaa tasomaisia kappaleita SMC-komposiiteista (Sheet Moulding Compound), sekä myöhemmin BMC (Bulk Moulding Compound), RTM (Resin Transfer Moulding) ja GMT-menetelmillä (Glass Matt Thermoplastics).

1.2 Projektin vaiheistus

Moottoripyörän säilytyskotelon konseptoinnissa kuuluu ottaa monia seikkoja huomioon. Projektissa pitää huomioida, mihin tarkoitukseen kyseinen tuote on menossa, miten se valmistetaan, mitä vaiheita kyseiseen työhön kuuluu, mitä materiaaleja käytetään, minkälainen lopputulos halutaan sekä mitkä ovat työn vaatimukset.

Jotta suunnittelu pysyisi johdonmukaisena ja selkeänä siinä käytetään saksalaisen VDI 2221 –standardin pohjalta kehitettyä seitseenportaista työn kulua (kuva 1). Vaiheistuksen avulla pystytään etenemään suunnittelussa johdonmukaisesti ja selkeästi.

Vaiheistuksen ensimmäisenä kohtana on tehtävän selvitys ja täsmennys, jonka tietojen perusteella kootaan vaatimuslista. Vaatimuslistaan kirjataan kaikki sellaiset kohdat, jotka edellyttävät ehdottomia vaatimuksia sekä sellaisia toiveita, jotka voivat parantaa tuotteen käyttöä tai suunnittelua. Kaikkia toivomuksia ei välttämättä tarvitse toteuttaa.

Toisena kohtana selvitetään tuotteen toiminnot sekä rakenteet. Tällä vaiheella on tarkoitus saada osviittaa tulevalle valmiille tuotteelle. Tässä vaiheessa ei ole vielä tarkoitus lähteä suunnittelemaan konkreettista tuotetta, vaan pohtia erilaisia ideoita tai toimintoja, jotka edistävät tuotteen käyttöä.

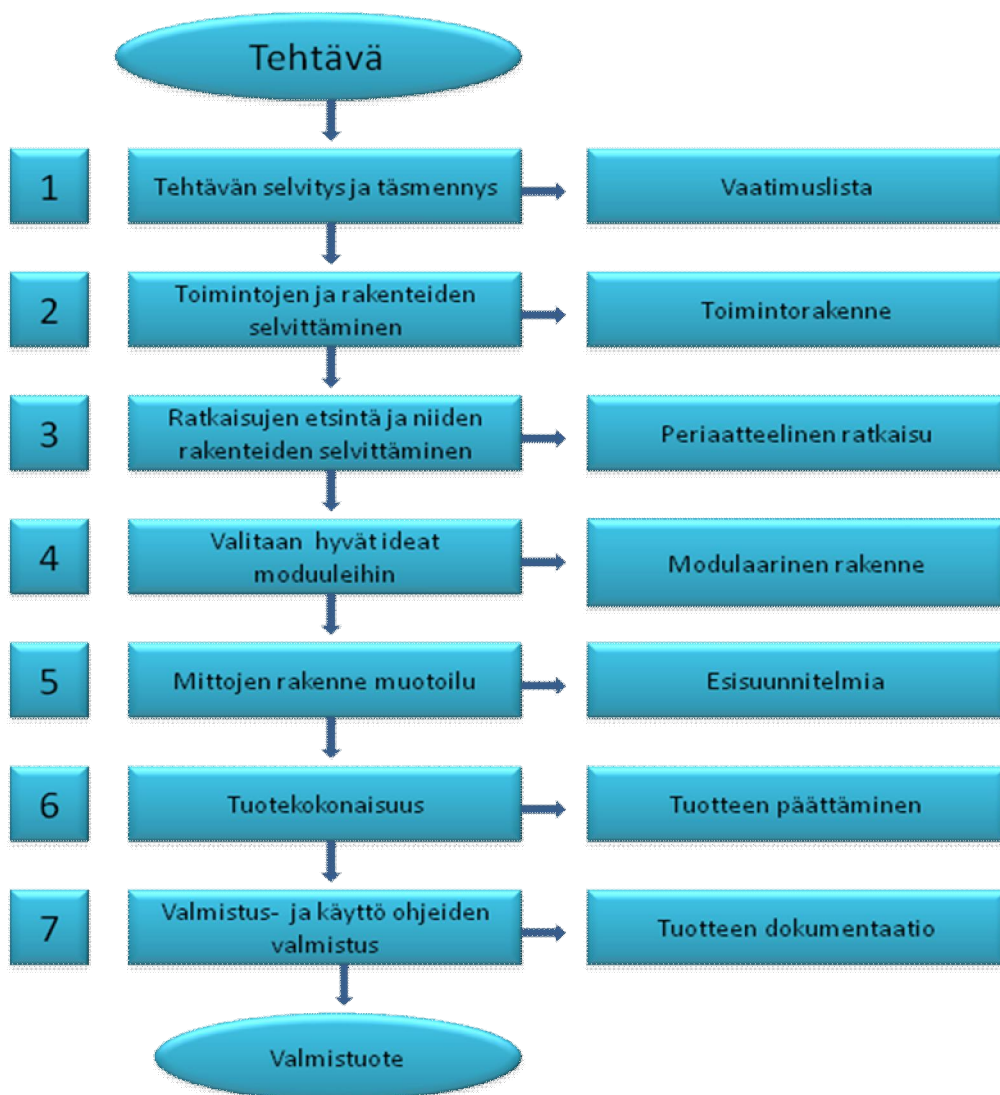
Kolmantena kohtana etsitään tuotteelle erilaisia ratkaisumahdollisuuksia. Eri-laisten ratkaisujen etsiminen auttaa löytämään hyvät ominaisuudet sekä huomioimaan ongelmakohdat.

Neljäntenä kohtana vertaillaan erilaisten ratkaisujen hyviä ja huonoja puolia. Näistä ideoista valitaan paras, jota lähdetään suunnittelemaan ja ideoimaan eteenpäin. Tuotetta voidaan hahmotella sekä käsivaraisesti tai sitten CAD-malleina (Computer Assisted Designing).

Viidentenä kohtana tehdään valitulle kappaleelle esisuunnitelma, josta selviää tuotteen päämitat ja muodot. Tässä vaiheessa kappaleesta on selvä malli ja muoto selvillä.

Kuudennessa kohdassa kootaan kaikista moduuleista tuotekokonaisuus. Näiden vaiheiden aikana pitäisi keskittyä moduulien yksityiskohtiin ja suunnitella kaikki moduulit siten, että niiden valmistus olisi mahdollisimman yksinkertainen.

Viimeisessä kohdassa laaditaan tuotteelle ohjeistus siitä, miten se tulee valmistaa. Tässä vaiheessa suunnitellaan myös tuotteen käyttöohjeistus. Tässä vaiheessa tehdään tuotteesta CAD-mallin pohjalta työpiirustukset. Työpiirustuksien avulla tuote voidaan valmistaa, niihin kuuluvat erilliset ohjeet ja kokoonpanot.



Kuva 1. Kehitystyön ja konstruoinnin yleinen kulku [4, s. 47]

1.3 Insinööriyön tavoitteet

Tämän insinööriyön tarkoituksena on suunnitella moottoripyörän säilytyskotelon konseptointi. Konseptoinnissa kuuluu ottaa huomioon, miten puristusprosessi valmistetaan, miten painekammiot saadaan liikuteltua puristimenrunkoon sekä miten painekammiot saadaan asennettua puristimeen oikeaan kohtaan.

Tavoitteena on selvittää ja mahdollisesti kehittää paras puristusmenetelmä, jolla saataisiin puristettua moottoripyörän säilytyskotelon kaikki osat.

Puristusprosessille on suunniteltava kestävä ja helppokäyttöinen puristinrunko. Puristimenrungon on oltava sellainen, että siihen saadaan asennettua painekammiot mahdollisimman helposti. Puristimenrungon on myös kestävä puristuksesta aiheutuvat suuret jännitykset.

Tavoitteena on myös suunnitella ja kehittää tapa, jolla pystytään liikuttamaan painekammioita nopeasti ja turvallisesti.

Painekammioiden nostamiselle on tarkoitus suunnitella mahdollisimman hyvä nostomenetelmä. Nostomenetelmän on oltava mahdollisimman helppokäyttöinen ja kestävä, jotta se kestää painavan painekammion.

2 TEHTÄVÄN SELVITYS

Tehtävänä on kehittää ja suunnitella puristimenrunko, jonka tarkoituksena on pitää painekammiot tiukasti kiinni toisissaan puristusprosessin ajan. Puristimenrunгон suunnittelussa huomioon otettavia asioita ovat, miten runko kestää suuria jännityksiä, lämpötiloja sekä muodonmuutoksia. Runгон rakenteen täytyy olla niin yksinkertainen, että runгон sisälle saadaan vaivattomasti painekammiot sekä liitântäkomponentit.

Puristimenrunkoon tarvittavien komponenttien täytyy olla vaatimuksien mukaisia. Puristinrungossa käytettävien hydraulikkamoottorien sekä sylintereiden kestävyys täytyy olla huomattava, koska puristusprosessi vaatii suuria voimia. Työturvallisuuden takaamiseksi kaikkien turvakaarien ja turvareleiden täytyy olla luotettavia.

Puristimenrunгон suunnittelussa oli kolme kilpailevaa rakennetta. Rakenteita tarkasteltiin siltä kannalta, mikä olisi paras mahdollinen rakenne kestämään suuria jännityksiä.

2.1 Vaatimuslista

Vaatimuslista (taulukko 1) koostuu pääsääntöisesti kolmesta kohdasta jotka ovat kiinteät vaatimukset, vähimmäisvaatimukset ja toivomukset. Kiinteissä vaatimuksissa ovat sellaiset kohdat, jotka on pystyttävä täyttämään kaikissa tilanteissa. Vähimmäisvaatimuksissa on toivottavaa, että reiluylittäminen on suositeltavaa. Toivomuksissa huomioidaan kohtia mahdollisuuksien mukaan, siten mikä sopii ja mikä ei sovi kyseiseen työhön.

Puristimen runkoon laaditun vaatimuslistan tärkeimpiä vaatimuksia ovat paineen ja muodonmuutoksien kesto. Painekammioista syntyvä paine aiheuttaa rungolle suuria jännityksiä, jotka rasittavat runkoa. Rungolle tulevien suurien jännitysten takia runko on suunniteltava siten, että se pysyy kimmoisella alueella. Runгон siirtymät on saatava pysymään pieninä, erityisesti saumakohdissa missä murtumisriski on huomattava.

Painekammion kuljetukseen laaditun vaatimuslistan tärkeimpiä vaatimuksia on kuljetustavan kestävyys. Kuljetustavan on kestävä painekammion paino, siten että kuljetustapa pysyy muuttumattomana. Painekammiota kuljetettaessa, kuljetustavan on oltava sellainen, että painekammio ei pääse putoamaan.

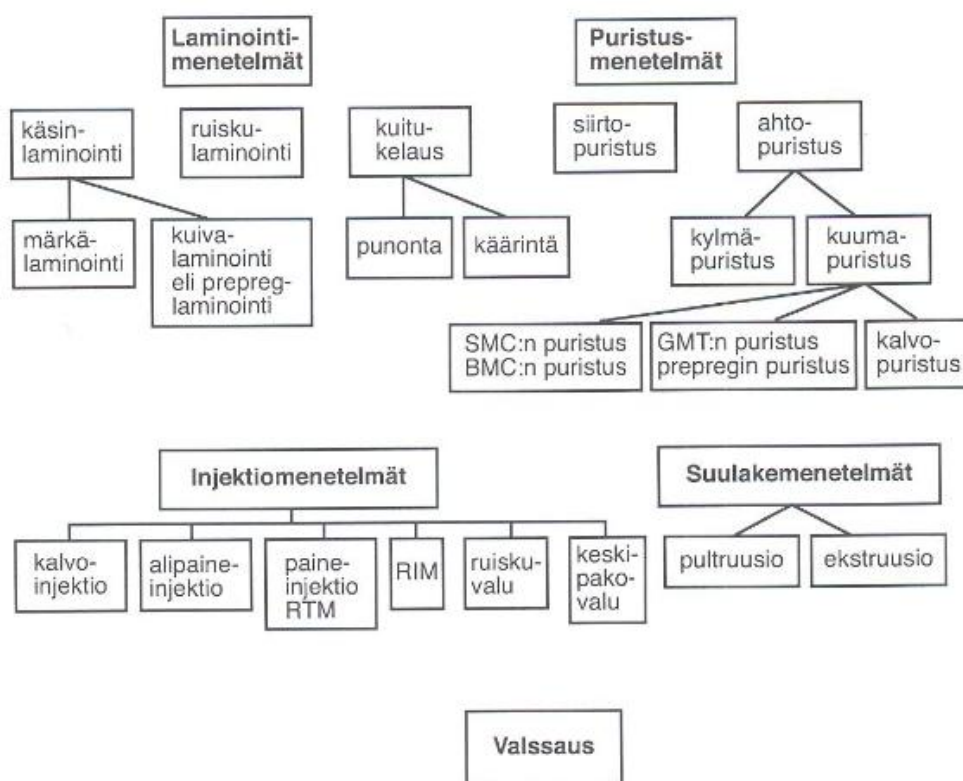
Painekammion nostamisessa laaditun vaatimuslistan tärkeimpiä vaatimuksia ovat nostimen kestävyys sekä työturvallisuus. Nostimen on kestävä painekammion massa siten, että kammio ei putoa nostimesta.

Taulukko 1. Vaatimuslista

	Vaatimuslista	
T/V	Vaatimukset (Vaatus = V Toivomus =T)	Vastaava
V	Rungon paineiden kesto	AK
V	Lämmönkesto	AK
V	Liitännän kestävyys	AK
V	Turvareleet	AK
T	Hydrauliikalla toimiva kiinnitysmekanismi	AK
T	Painekammion nopea poisto rungosta	AK
V	Rungon toimivuus	AK
V	Kuljetustavan on kestävä painekammion paino	AK
V	Nostimen kesto	AK
V	Nostimen helppo liikuteltavuus	AK

2.2 Valmistusmenetelmät

Muovikomposiittikappaleiden valmistuksessa on olemassa monia perusmenetelmiä. Menetelmiä on myös muunneltu tai yhdistelty toisiinsa. Kuvassa 2 on esitetty menetelmät, jotka ovat lujitemuovituotteiden valmistusmenetelmien pääryhmät, ryhmiin kuuluvat valmistustekniikat ja niiden tavalliset muunnokset [1, s. 153.]



Kuva 2. Lujitemuovituotteiden valmistusmenetelmät [1, s. 153]

2.2.1 Laminointimenetelmät

Laminointi menetelmiin kuuluvat käsinlaminointi, ruiskulaminointi ja kuitukelaus muunnoksineen. Laminaatti valmistetaan kerroksittain avomuottiin, jossa se kovetetaan ilman ulkoista painetta tai ali-/ylipaineella puristaen. Käsinlaminointi voidaan jakaa märkälaminointiin ja kuiva- eli prepreg-laminointiin. Edellä mainituissa laminoinneissa lujitteet kostutetaan nestemäisellä hartsilla. Jälkimmäisessä käytetään esikyllästettyä puolivalmisteita eli prepregejä. [1, s. 153 – 154.]

2.2.2 Puristusmenetelmät

Puristusmenetelmissä raaka-aine puristetaan muotoonsa paineen avulla. Materiaali voidaan joko asettaa muottiin puolivalmisteena tai sitten komponenteittain. Raaka-aine voidaan myös annostella siirtosylinterin ja männän avulla muottonkaloon. Edellistä kutsutaan ahopuristamiseksi ja jälkimmäistä siirtopuristamiseksi. [1, s. 154.]

2.2.3 Injektointimenetelmät

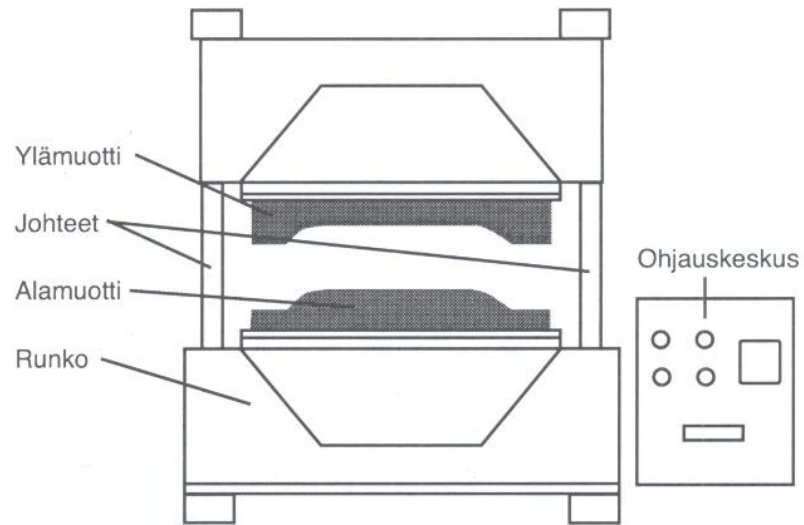
Injektointimenetelmissä kaikki komponentit syötetään muottiin paineen avulla tai valamalla. Paineinjektiossa eli RTM-menetelmässä matriisi injektoidaan ylipaineen avulla muottiin, tarvittaessa alipaineen avustuksella suljettuun muottiin. Alipaineinjektioinnissa hartsi imetään alipaineen avulla muottipuoliskojen välissä olevaan tyhjään tilaan, johon on asennettu lujitteet tai luji-teaihio. Kalvoinjektioinnissa matriisi on hartsikalvoina lujitekerrosten välissä tai muotin pinnalla ensimmäisenä kerroksena. Ylämuottina toimii normaalisti alipainekalvo. [1, s. 154.]

2.2.4 Suulakemenetelmät

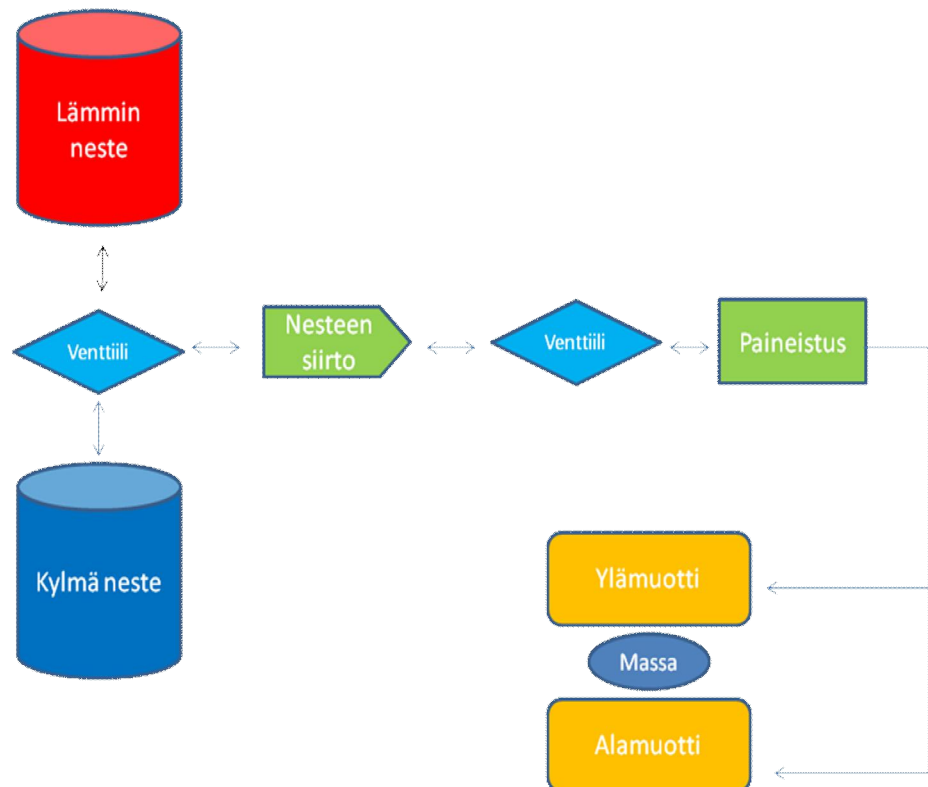
Suulakemenetelmässä kappaleella ei ole varsinaista pituusrajaa. Suulakemenetelmä on saanut nimensä kappaleiden valmistuksessa käytettävistä suulakkeista tai muotista. Suulakemenetelmillä valmistetaan erilaisia putkia ja profiileja. [1, s. 154.]

2.3 Ahtopuristus

Ensimmäinen puristusvaihtoehto (kuva 3 ja 4) olisi ahtopuristus. Ahtopuristimessa käytetään suljettuja muotteja ja puristinta. Ensimmäisessä vaiheessa valittu materiaali asennetaan avattuun muottiin. Toisessa vaiheessa puristin suljetaan siten, että kappale muotoutuu muotin kolon mukaisesti. Kolmannessa vaiheessa kappale kovetetaan oikeaan muotoon. Puristimen paineet, nopeudet sekä prosessinlämpötilat vaihtelevat materiaalin mukaan. Ahtopuristimessa on kaksi puristuslevyä joita voidaan lämmittää tarvittaessa. Puristusvoima saadaan yleisesti hydraulisesti. Ahtopuristuksessa suurimmat muottikoot ovat noin kahden neliömetrin luokkaa. [1, s. 180.]



Kuva 3. Ahtopuristuksessa käytettävä puristin [1, s. 181]

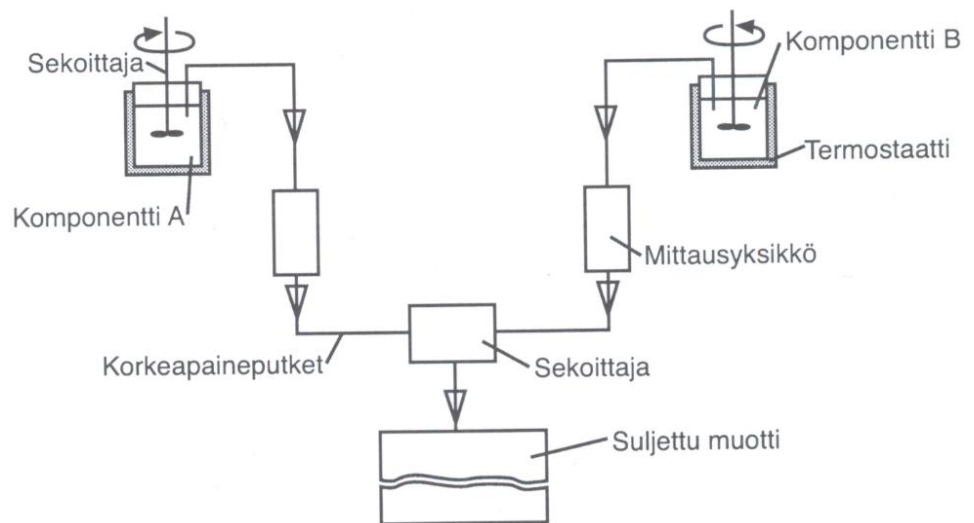


Kuva 4. Ahtopuristuksen toimintaperiaate

2.4 Reaktiovalu (RIM)

Toinen kilpaileva puristustapa on reaktiovalu eli RIM (kuva 5). RIM-menetelmä on kehitetty polyuretaanisolumuovien valmistukseen. RIM-menetelmässä kaksi pääkomponenttia sekoitetaan yhteen ja injektoidaan suljettuun muottiin. Muotit suljetaan muottipuristimilla, joilla voidaan vaihtaa helposti muotin asentoa siten, että löydetään sopiva injektointiasento.

RIM-menetelmässä käytetään tavallisesti lähtöraaka-aineina polyolia ja isosyanaattia. Molempia aineita sekoitetaan omissa säiliöissä ja kierrätetään putkistoissa saostumisen estämiseksi. Injektoitaessa valmiiksi lämmitetyt raaka-aineet johdetaan korkeapaineputkia pitkin sekoituspäihin, josta materiaali injektoidaan muottiin. Ruiskutusnopeus riippuu kappaleen koosta ja raaka-aineesta. Ruiskutus tapahtuu muutamassa sekunnissa. Raaka-aineen hyytymisaika pienillä kappaleilla on noin 2 - 6s. Muottiaika on 20 - 200s. [1, s. 175.]



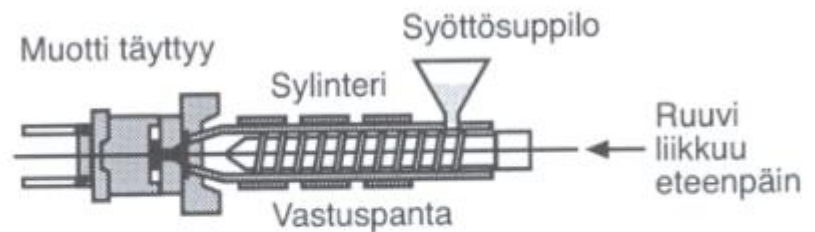
Kuva 5. Reaktiovalun toimintaperiaate [1, s. 175]

2.5 Ruiskuvalu

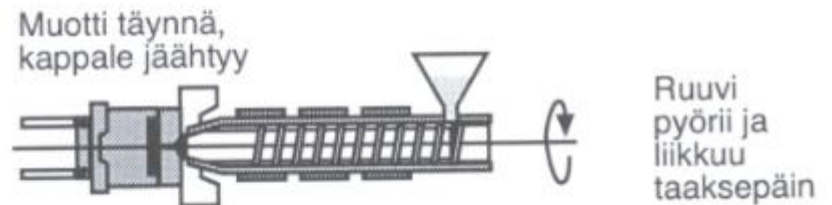
Ruiskuvalu on tärkeimpiä kestopuovien valmistustekniikoita. Ruiskuvalumenetelmää käytetään myös lujitettujen kesto- ja kertamuovituotteiden valmistuksessa. Materiaalina käytetään polymeerigranulaattia tai BMC:tä.

Syöttösuppilosta syötetään käytettävä raaka-aine ruiskuvalukoneen ruuville. Ruuvien avulla materiaali siirretään eteenpäin samalla, kun kestopuovi tai kertamuovi lämmitetään ruiskutapahtumaa varten. Kun yhtä ruiskutuskertaa varten tarvittava massa on kerätty ruuvien eteen, ruuvi liikkuu eteenpäin samalla työntäen massan muottiin. Sulkurengas estää massan takaisinvirtauksen ruiskutuksen aikana. Massan virtausta voidaan säätää ruuvien edessä olevalla sulkusuuttimella (kuva 6). [1, s. 177.]

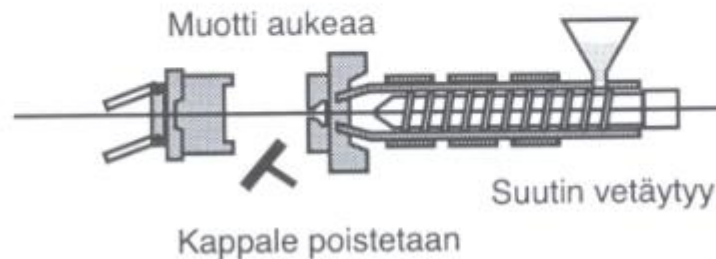
Ruiskutus



Jälkipaine ja plastisointi



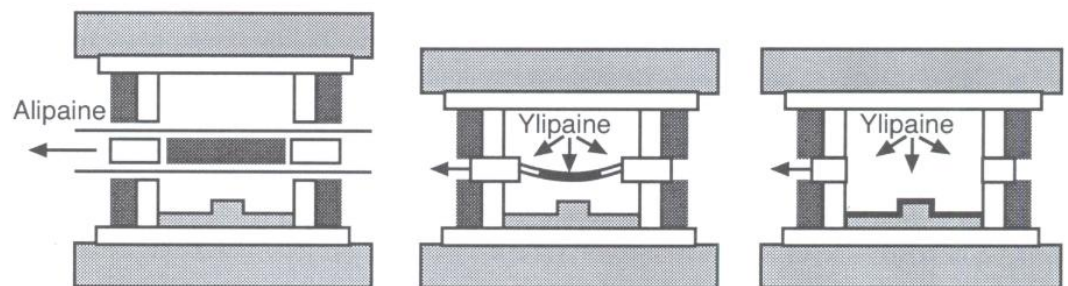
Poisto



Kuva 6. Ruiskuvalun perustyövaiheet [1, s. 177]

2.6 Kalvopuristus

Kalvopuristuksella voidaan valmistaa monimutkaisia ja vaikeita kappaleita, siinä kappaleet ovat ohutseinämäisiä ja tasomaisia. Kalvopuristusmenetelmässä prepreg- lujitteet asetetaan muotin sisällä olevien muovien väliin. Lujitteiden ollessa kalvojen välissä ne tiivistetään alipaineen ja lämmön avulla. Prepreg- pakka muovataan avomuottiin ylipaineen avulla. Muovikalvojen tehtävänä on estää lujitteiden rypistyminen ja sallia niiden asettuminen muottiin muovauksen aikana (kuva 7). [1, s. 183.]



Kuva 7. Kalvopuristuksen vaiheet [1, s. 183]

2.7 Muovikomposiitit

Nykyaikaisia muovikomposiitteja alettiin käyttää teollisuudessa 1900-luvulla, kaupallisesti 1930-luvulla. Muovikomposiiteista on tullut kilpaileva vaihtoehto metalleille ja muille erilaisille materiaaleille. [5, s. 5.]

Muovikomposiittien suuria etuja ovat niiden suuri lujuus suhteutettuna ominaispainoon, mahdollisuus muokata lujuusominaisuuksia, mahdollisuus valmistaa erikokoisia rakenteita, suunnittelun vapaus sekä hyvä kemiallinen kestävyys.

Muovikomposiiteista saadaan rakenteellisesti kestävämpiä, kun ne lujitetaan matriisimuovikuiduilla. Niiden päätehtävänä on kantaa komposiittiin kohdistuvat voimat. Kuitulujitteiden tehtävänä on myös parantaa elastomeerin mekaanisia ominaisuuksia kuten jäykkyyttä sekä lujuutta. Lujitteelta vaaditaan, että sen kimmomoduulin on suurempi kuin perusaineen.

2.7.1 SMC

SMC on täyteaineilla täytetty kertamuovimassa joka on muodoltaan levymäinen ja josta valmistetaan kappaleita kuumapuristamalla. SMC:n edut ilmenevät suurtuotannossa, jossa valmistetaan suurikokoisia levymäisiä kappaleita. SMC-kertamuovista voidaan puristaa monen muotoisia ja mittatarkkoja kappaleita. Kappaleet, jotka on valmistettu SMC kertamuovimassasta, ovat syntyneet monen vaiheen kautta. Valmistusvaihe jakaantuu neljään päävaiheeseen, jotka ovat pastan valmistaminen, levymäisen massan valmistaminen, kypsytyks ja viimeiseksi kuumapuristus. Lujitteena SMC-massassa käytetään tavallista lasikuitua. SMC:stä valmistetun kappaleen ominaisuudet riippuvat lasipitoisuuden määrästä. [1, s. 136.]

SMC-materiaali

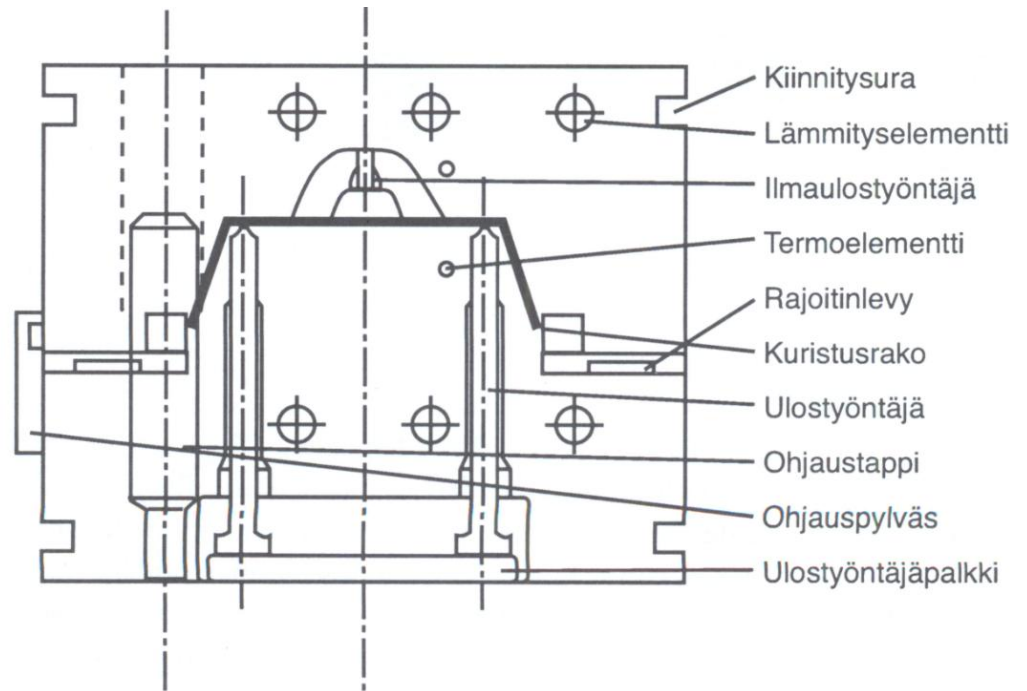
Yleisesti SMC-koostuu hartsista (20 – 27 %), lasikuidusta (25 – 30 %), täyteaineista (40 – 50 %) sekä monista muista lisä-aineista (3 – 5 %). SMC-massan pystyy puristamaan mitta tarkasti riippumatta kappaleen koosta. [1, s. 136 – 138.]

SMC-prosessi

SMC-muovausprosessissa lämpötilan ollessa 130 – 160 °C painetta on 5 - 10 MPa. Lujittuminen muotissa kestää noin 30 – 150 s riippuen kappaleen koosta. SMC- materiaalin asettelu muottiin on tärkeää, jotta saadaan haluttu laatu ja lujuus. SMC-kerrokset asennetaan yleisesti niin kutsuttuun pyramidi muotoon, kerrokset leikataan niin, että muotti täyttyy noin 70- prosenttisesti. Puristuksen aikana puristimen paineen nousua ja puristus nopeutta on pysyttävä säätämään. [1, s. 136 - 138.]

SMC-muotti

SMC- muotit ovat lämmitettäviä. Jäähdytystä ei käytetä, kappale otetaan kuumana pois muotista ja asennetaan jiggin päälle jäähtymään. Ilmanpoisto tapahtuu kuristusraon kautta, periaate on sama, kuin muissakin puristusmenetelmissä (kuva 8). [1, s. 209.]



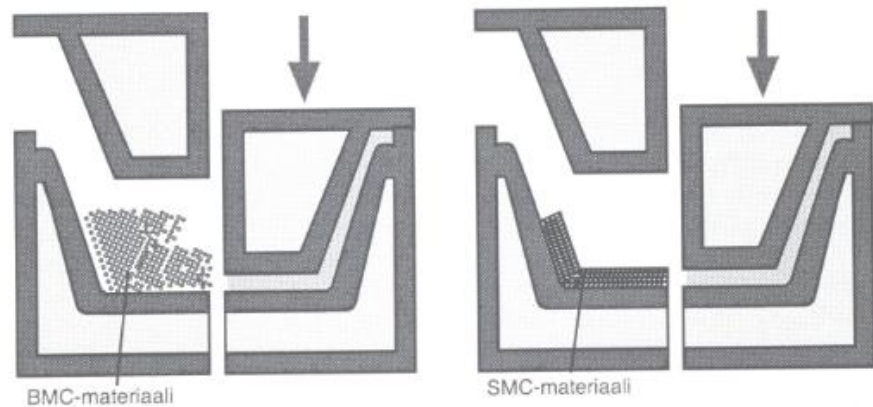
Kuva 8. SMC -muotin periaate [1, s. 209]

2.7.2 BMC

BMC on lujitettu taikinamainen kertamuovimassa, joka on täytetty täyteaineilla. Se kovetetaan muovauksen aikana suuressa lämpötilassa. Nykyaikana BMC-massa saavuttaa erittäin hyvän pinnanlaadun sekä nopean valmistuksen isoftaalipohjaisten hartsien sekä pienentävien lisäaineiden avulla. BMC:n raaka-aineet ovat matriisimuovi, lujitekuituhake, täyteaine, pigmentti, kovete ja kutistumaa vähentävä lisäaine sekä mahdollisesti palonestoaine. Hinnan alentamiseksi massassa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon täyteaineita. Lujitteena käytetään yleisesti lasikuitua. Erikoissovellutuksissa käytetään hiili- sekä aramidikuituja etenkin epoksihartsin kanssa. [1, s. 140.]

BMC-prosessi

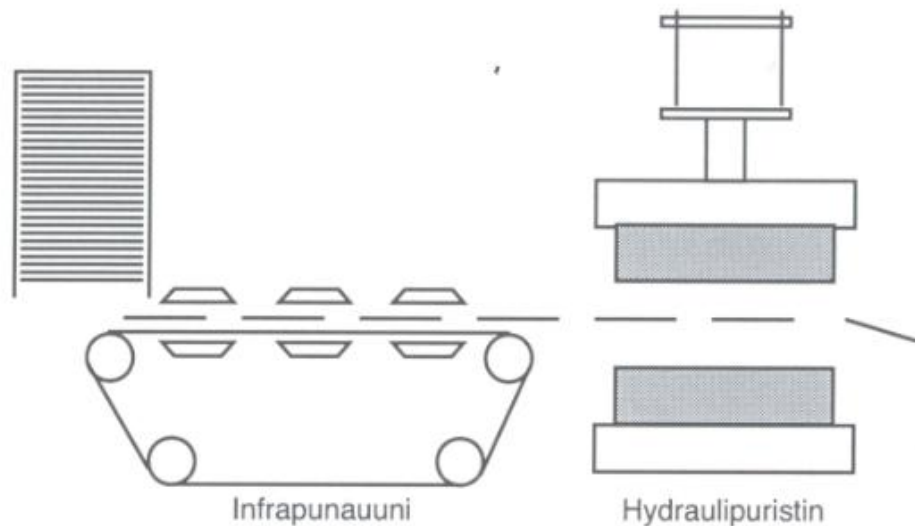
BMC- muovausprosessissa paineen ollessa 10 – 15 MPa lämpötila on noin 130 – 160 °C. BMC- massa asetetaan muottiin ”möhkäleenä”, josta se puristetaan muotin mukaiseen muotoon. Lujittuminen muotissa kestää 60 – 600 s, riippuen kappaleen koosta. BMC-puristuksessa puristimen nopeutta ja paineen nousua on pystyttävä säätämään, jotta saadaan haluttu tulos (kuva 9). [1, s. 181 - 182.]



Kuva 9. BMC:n ja SMC:n puristuksen periaate [1, s. 182]

2.7.3 GMT-prosessi

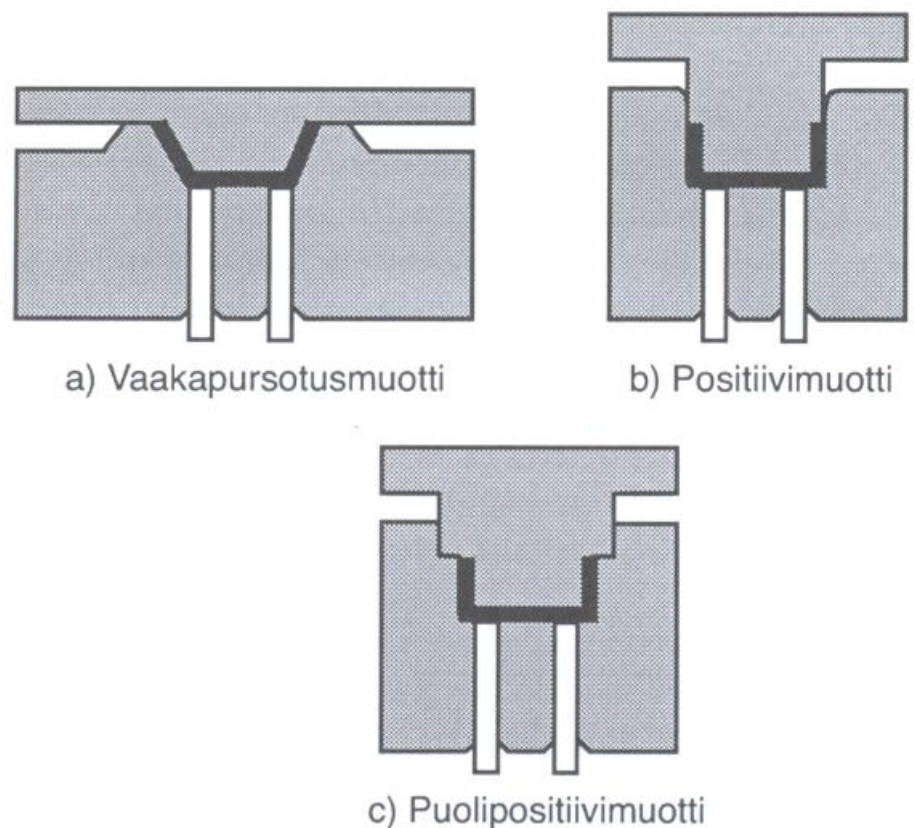
GMT-valmistusprosessi poikkeaa hieman tavanomaisista kuumapuristuksista. Lujitettu kestumovilevy kuumennetaan valmiiksi muovin sulamislämpötilan yläpuolelle, josta se siirretään kylmään muottiin ja muovataan oikeaan muotoon kovalla paineella. Puristetun kappaleen annetaan jäähtyä muotista, josta se irrotetaan sitten, kun kappale on tarpeeksi kova (kuva 10). [1, s. 184.]



Kuva 10. GMT-levyn puristuksen periaate [1, s. 184]

BMC- SMC ja GMT- tuotteiden muotit

BMC- ja SMC- menetelmissä puristusaineet ovat korkeita, joten sarjatuotantotyökalut valmistetaan pääosin metallista. Muottien pinnat ovat kromattuja tai karkaistuja, jotta pinnasta saadaan tarpeeksi kova. Muotit voivat olla vaakapursemuotteja, positiivimuotteja tai yhdistelmiä eli puoliposiitivimuotteja. Vaakapursemuotissa yläosan liike rajataan alamuotilla. Vaakapursemuotteja käytetään ainoastaan metallikappaleille, joissa virtausmatkat ovat lyhyet. Yleisesti käytetään positiivimuottia, koska kovetusaine vaikuttaa koko puristusvaiheen ajan. Tuotteen pinnanlaatu paranee, sekä mahdollistaa pitkät juoksumatkat. Tämä edellyttää kuitenkin tarkkaa materiaalin annostusta, jotta seinämän paksuudet pysyvät paikoillaan ja ilmaerot toimivat ajatetulla tavalla (kuva 11). [1, s. 209.]



Kuva 11. Puristusmuottien perustyyppiä [1, s. 209]

2.8 Valmistusmenetelmä valinta

Monista valmistusmenetelmistä ahtopuristusmenetelmä sopii parhaiten tähän työhön. Ahtopuristuksen etuja ovat kappaleen nopea valmistuminen, hyvä pinnanlaatu ja helppo toteutustapa. Ahtopuristuksessa käytettäviin muotteihin on helppo asentaa lujitteet, vahvikeosat, sähköjohdot ja saranat. Muottien asennus ja irrotus painekammioihin on helppoa, koska painekammiot saadaan helposti erilleen nostimella.

Monista ehdotetuista valmistusmenetelmistä kaikki eivät sopineet ominaisuuksien puolesta kyseiseen työhön. Pois jätetyillä valmistusmenetelmillä ei olisi päästy yhtä nopeaan ja kestävään lopputulokseen. Reaktiovalu olisi ollut mahdollinen valmistusmenetelmä, mutta valmiin kappaleen kestävyys ei olisi ollut tarpeeksi kestävä. Reaktiovalumenetelmä olisi sopinut työhön jos olisimme yhdistäneet reaktiovalumenetelmän sekä ahtopuristusmenetelmän, tällä yhdistelmällä olisi päästy nopeaan kappaleen valmistukseen, sekä saatu kestävä kappale.

Ulkopinta

Ensimmäiseksi painekammioon asetetaan ohutmuotit. Muotit ovat peltiä, ja ne on muotoiltu haluttuun muotoon. Peltien paksuus vaihtelee työn perusteella 1 mm - 3 mm. Ohutmuotin valmistusta käsitellään yksityiskohtaisemmin Antti Koskisen insinööriyössä.[3]

Toisessa vaiheessa ohutmuottien päälle asetetaan Gel-coat-massaa noin 1 mm paksuudelta. Gel-coatin levityksessä muottien on oltava sileitä ja vahattuja, jotta saadaan haluttu pinnanlaatu sekä massa tarttuu hyvin muotteihin. Gel-coat on polyesterihartsia, johon on lisätty pigmenttiä antamaan sille ominaisen värin.

Kolmannessa vaiheessa kammioon laitetaan lujitteet: metalliosat, kuten saranat, vahvikkeet ja muut metalliset osat, jotka tuovat kappaleelle vahvuuden. Kammioon asennetaan myös monia erilaisia sähköjohtoja, joilla säilytyskotelo saa virran lamppuihin ja hälytysjärjestelmiin.

Neljännessä vaiheessa suoritetaan kuuma puristus. Laitetaan painekammiot paikoilleen ja ohjataan painekammioiden sisälle paine. Paineen avulla saadaan kappaleeseen ohutmuottien muotoinen muoto.

Sisäpinta

Sisäpinta tehdään samalla tavalla kuin ulkopinta. Paineammioihin asennetaan sisäpinnan muotit, joihin tehdään samanlaiset valmistelut kuin ulkopinnan valmistuksessa.

Paneelin kokoaminen ja viimeistely

Paneelin kokoamisessa sisäpinta ja ulkopinta asennetaan muottiin. Paneelin ollessa muotissa ne vaahdotetaan. Vaahdotuksen jälkeen painekammiot kiinnitetään toisiinsa ja tuotetaan paine kammioiden sisälle. Paineammioiden ollessa paineen alaisina paneelit kiinnittyvät toisiinsa. Paineistuksen jälkeen paine poistetaan ja painekammio avataan. Avatusta kammioista poistetaan valmis paneeli.

3 PURISTUSPROSESSIN SUUNNITTELU

Puristusprosessi on suunniteltava siten, että kappaleen valmistus ja muokkaaminen onnistuu käytännössä. Suunnittelulla on suuri merkitys prosessin onnistumisessa, koska suunnittelussa pystytään pohtimaan syntyvät ongelmat ja epäkohdat. Suunnittelu myös auttaa hahmottamaan selkeästi miten prosessi voisi toimia. Suunnitteluvaiheessa pystytään vielä helposti muokkaamaan ja vaihtamaan vaihtoehtoja edistyksen mukaan.

Puristusprosessin suunnittelun tarkoitus on löytää ja tarkentaa puristusprosessin kulku. Prosessi koostuu monista eri vaiheista, jotka ovat muotin valmistus, muotin kiinnitys painekammioihin, painekammion asennus puristimenrunkoon, painekammioiden paineistus, paineen ja nesteen poisto, painekammion avaus, kappaleen poisto ja muotin vaihto. Näistä vaiheista koostuu puristusprosessi.

Suunnittelussa on pohdittava, miten suuret ja painavat painekammiot liikkuvat tuotantolinjassa. Tuotantolinja on suunniteltava siten, että painekammiot liikkuvat mahdollisimman helposti linjastossa. Tapahtuisipa liikuttaminen sitten ilmatyynyntason tai linjaston avulla sen on kestettävä painekammion suuri massa.

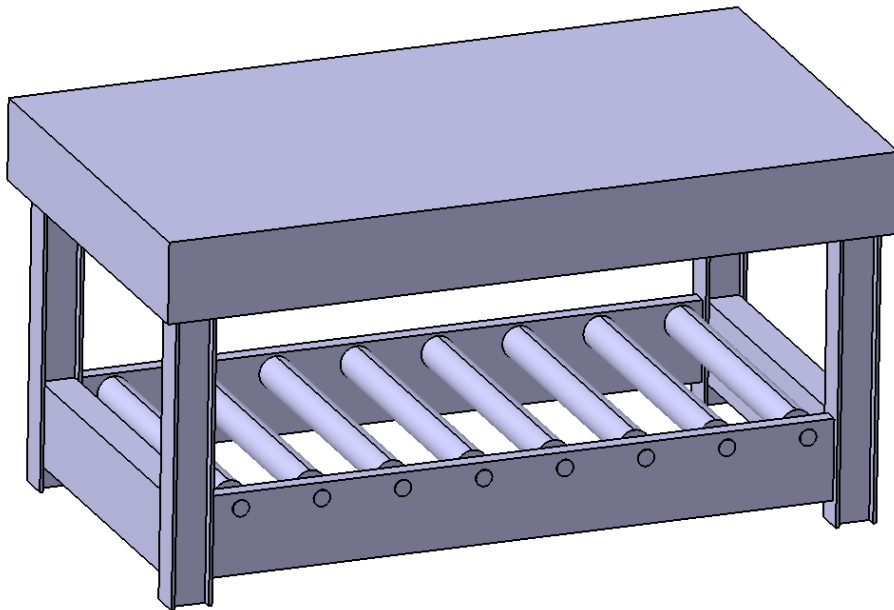
Valmistusprosessin työpisteiden etäisyyksien on oltava mahdollisimman pienet, jotta painekammio saataisiin mahdollisimman nopeasti seuraavalle työvaiheelle. Työpisteiden sijainnit on sijoitettava siten, että painekammio liikkuu mahdollisimman loogisessa järjestyksessä työkierrossa.

3.1 Puristimenrungon rakenne

Puristimen rungon tarkoituksena on pitää painekammiot tiukasti kiinni toisissaan, että paine pysyy kammioissa. Rungon rakenteen täytyy olla sellainen, että se kestää suuria voimia ja lämpötiloja. Rungon on myös pysyttävä kimmoisella alueella, jotta rungon rakenne ei muutu.

Versio 1

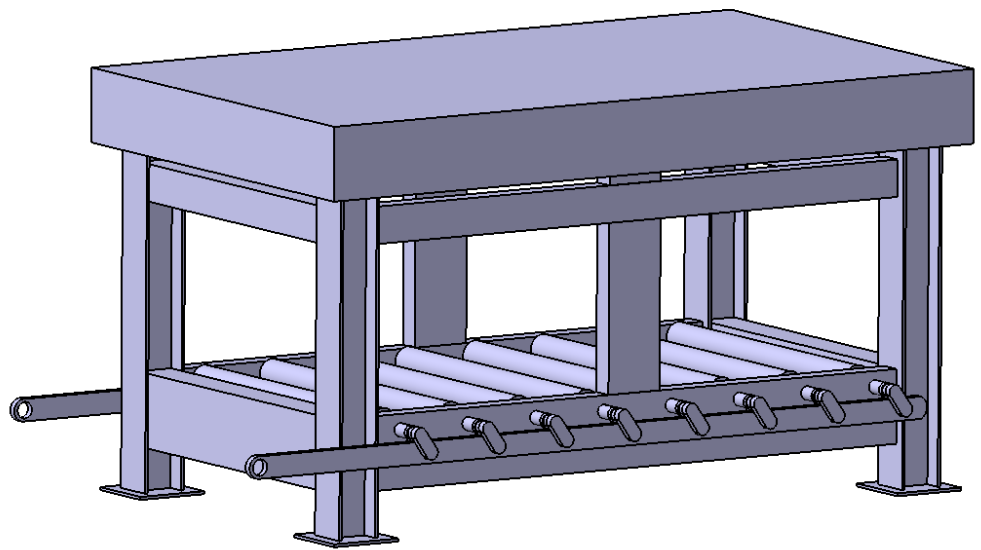
Ensimmäisessä versiossa runko on tehty vahvasta teräksestä. Rungon pystypalkit ovat vahvaa I-palkkia, jonka ansiosta runko on vahva. I-palkit on kiinnitetty reunapalkkeihin hitsaamalla. Reunapalkkien tehtävänä on jäykistää runko. I-palkkien päälle on hitsattu paksu teräslevy, jonka tarkoitus on pitää rakenne muodossaan ja ottaa vastaan suuret voimat, joita syntyy kun painekammiot paineistetaan. Painekammiot saadaan rungon sisälle siinä olevien teräsrullien avulla. Teräsrullat ovat laakeroitu siten, että kammion siirto onnistuu vaivattomasti. Painekammiota nostetaan vahvaan teräslevyyn hydraulikkasynteritien avulla. Hydraulikka sylinterit asennetaan joko maahan teräslevyn päälle tai suoraan kiinni runkoon. Sylinterit ovat asennettu siten, että ne nousevat teräsrullien välistä. Tämän ansiosta kammio on helppo siirtää ja poistaa rungosta, myös kammion nosto ja lasku tapahtuu vaivattomasti (kuva 12).



Kuva 12. Hahmotteleva malli ensimmäisestä versiosta

Versio 2

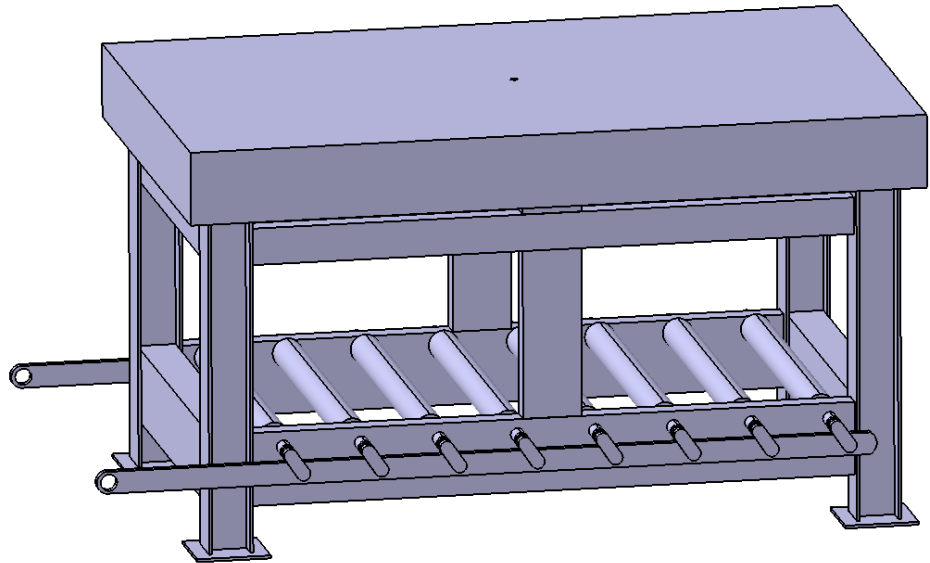
Toisessa versiossa rakenne on samanlainen kuin versiossa 1, mutta rakennetta on vahvistettu kahdella pystypalkilla sekä neljällä yläpalkilla. Näiden palkkien ansiosta rakenteesta on tullut huomattavasti vahvempi. Rungon teräsrollat ovat epäkeskiössä. Epäkeskiössä olevat rollat on kiinnitetty kahteen vahvaan vetopalkkiin. Palkkeja vedetään kahdella vahvalla hydraulikkamootorilla. Epäkeskon avulla rollat nousevat ylöspäin ja lukitsevan näin painekammion tiukasti kattoon. Kammion lasku tapahtuu myös hydrauliiikan avulla (kuva 13).



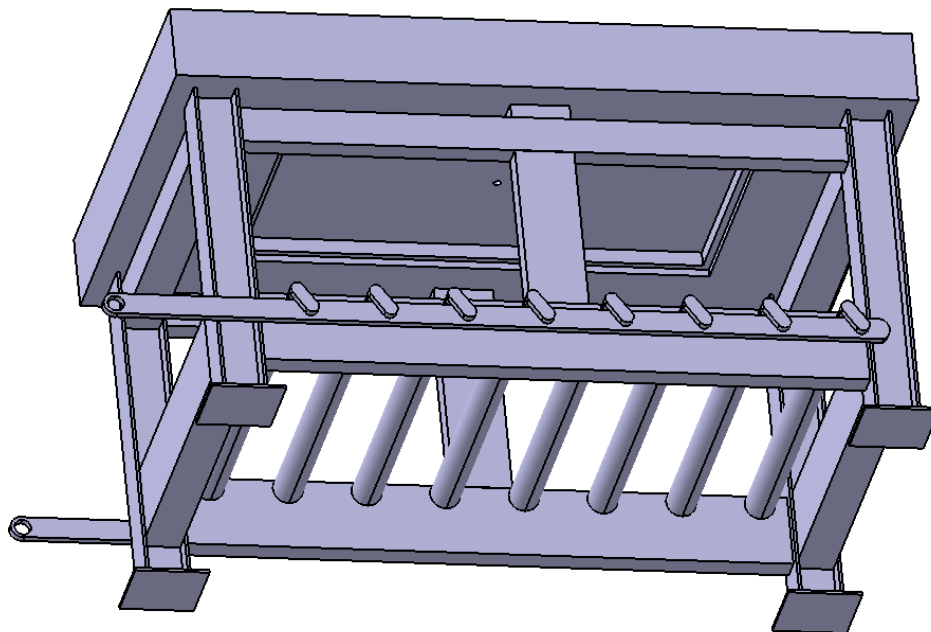
Kuva 13. Hahmotteleva malli toisesta versiosta

Versio 3

Kolmannessa versiossa yleisrakenne on sama kuin versiossa 2. Rakennetta on muutettu siten, että vahvaan ylälevyyn on tehty onkalo, joka paineistetaan, kun painekammio on kiinnitetty kattoon. Onkalon päälle laitetaan levy mitä vasten kammio nostetaan. Levyn ansiosta paine pysyy onkalossa ja puristaa kammion tiukasti kiinni (kuvat 14 ja 15).



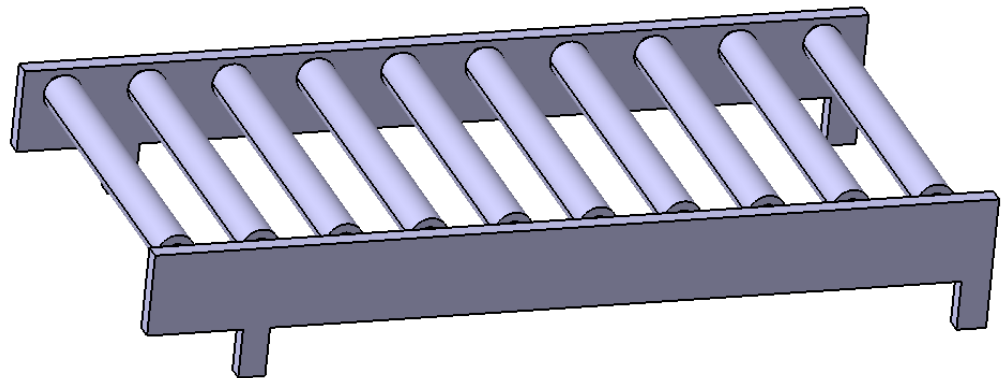
Kuva 14. Hahmotteleva malli kolmannesta versiosta



Kuva 15. Hahmotteleva malli kolmannen version katosta

3.2 Työtason rakenne

Puristimenrungon työtason tarkoitus on helpottaa painekammion asennusta puristimenrunkoon. Työtaso koostuu paksuista ja pitkistä teräspalkeista, joiden tarkoitus on pitää taso muodossaan. Palkkien jaloissa on säätämistä helpottavat ruuvit. Ruuveja kääntämällä voidaan helposti säätää työtaso oikeaan asentoon. Teräspalkkien väliin on asennettu laakeroituja akseleita. Akseleiden tarkoitus on helpottaa painekammion liikuttamista. Akselin halkaisijat ovat 200 mm jotta ne kestäisivät painekammion painon (kuva16).



Kuva 16. Työtason rakenne

3.3 Puristusprosessin kulku

Puristusprosessin kulku koostuu viidestä vaiheesta, jotka ovat ohutmuotin valmistelu, muotin kasaus, kuumapuristus, paneelin poisto ja kokoaminen ja vaahdotus.

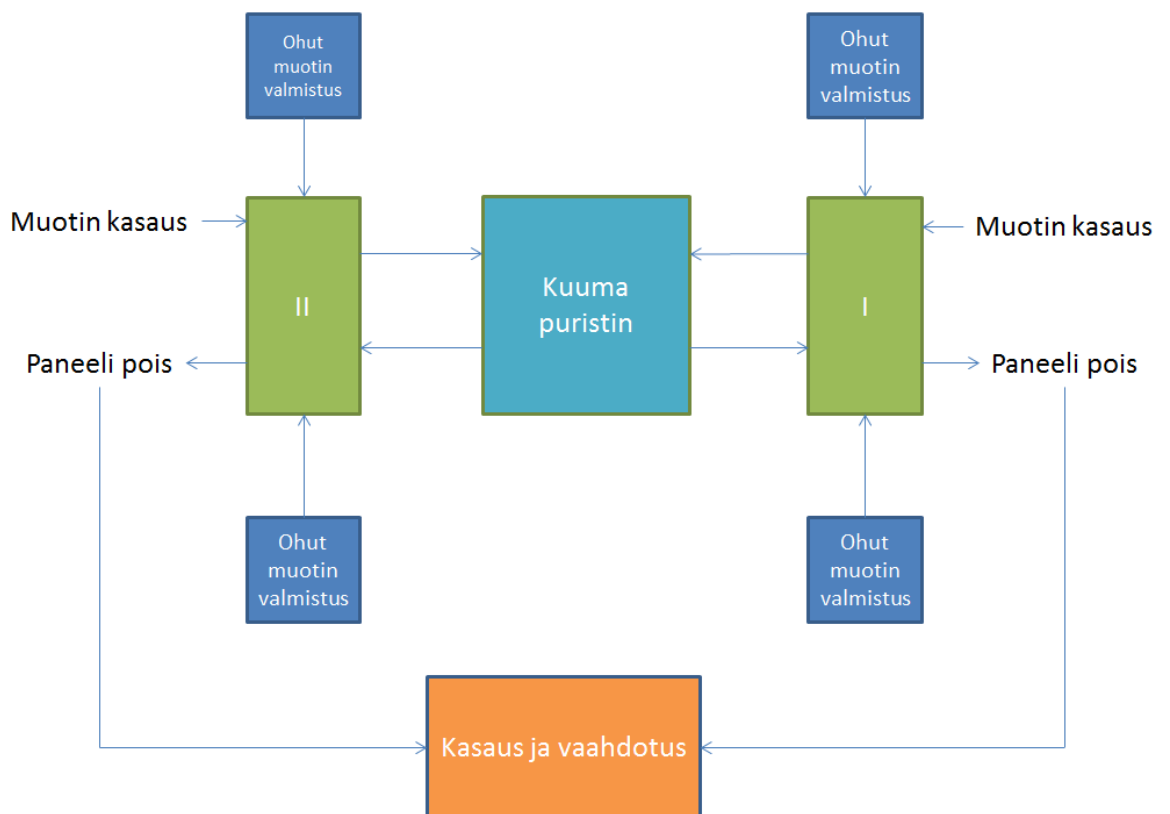
Ensimmäisessä vaiheessa ohutmuotit valmistellaan kokoamista varten. Ohutmuotin valmistelussa on neljä pistettä, jotka valmistelevat muotit. Neljä toimintapistettä varmistavat, sen että valmisteltuja muotteja on koko ajan tulessa muotin kokoamista varten.

Toisessa vaiheessa muotit kootaan, eli niihin lisätään vahvikkeet, saranat, johdot ja muut sisäiset osat. Muotin kokoamisessa käytetään nosturia, jolla pystytään laskemaan ja nostamaan yläkammio tarkasti ja turvallisesti.

Kolmannessa vaiheessa kootut painekammiot puristetaan kuumapuristimella. Painekammiot liikutetaan rullien tai hydrauliiikan avulla kuumapuristimelle. Kuumapuristimen runko estää painekammioiden aukenemisen. Painekammion ollessa rungon sisällä siihen ohjataan paine.

Neljännessä vaiheessa painekammio poistetaan puristimen rungosta rullien tai hydrauliiikan avulla takaisin pöydälle. Pöydällä valmis paneeli poistetaan painekammioista.

Viidennessä vaiheessa valmis paneeli siirretään kokoamis ja vaahdotus pöydälle. Kokoamisessa sisä- ja ulkopaneeli liitetään toisiinsa ja suoritetaan vaahdotus (kuva 17).

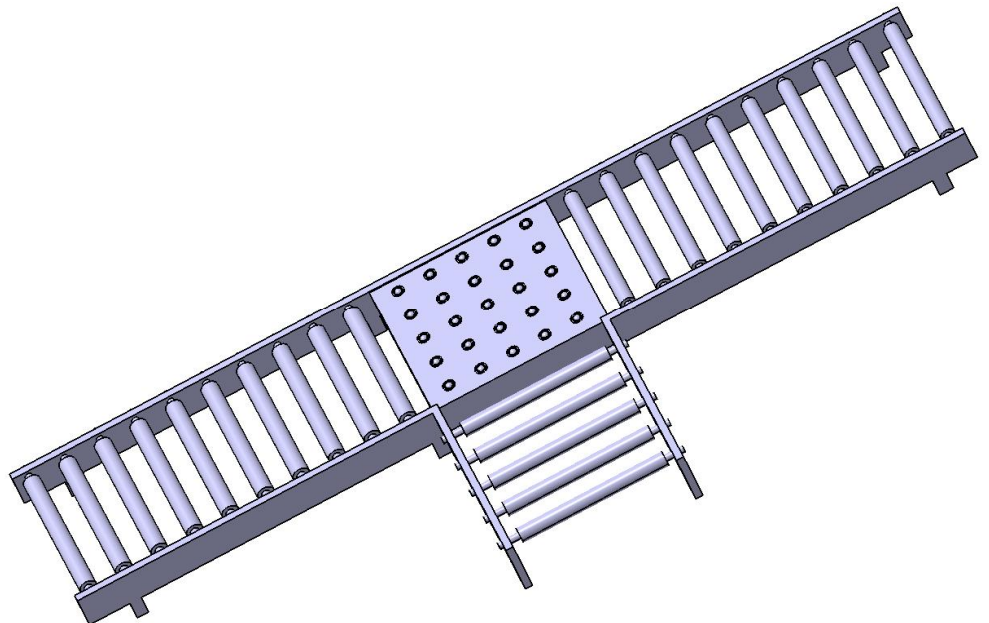


Kuva 17. Puristusprosessin kulku

3.4 Painekammioiden liikuttaminen

Painekammioiden huomattavan koon ja painon takia kammioiden liikuttamisen on tapahduttava joko linjastoa pitkin tai ilmatyynyaluksen päällä. Ilmatyynyntaso kuitenkin hylättiin suuren hinnan takia. Linjastoa käyttämällä kammiot pystytään siirtämään puristimelle siinä olevien laakeroitujen rullien avulla.

Linjastona toimii työtasontapainen rakennelma, mutta pidennettynä. Linjastoa lähdetään rakentamaan siten, että painekammioiden liikuttaminen olisi mahdollisimman helppoa. Linjaston laakeroitujen rullien asennusvälin on oltava sellainen, että painekammio kulkee linjastolla mahdollisimman tasaisesti, jotta kammion sisällä olevat komposiitit ja metalliset vahvikkeet eivät liikkuisi. Linjaston kulmissa, sitä on muutettava, jotta kammioiden kuljetus helpottuisi. Kulmiin asennetaan pallolaakereita, joilla pystytään helposti kääntämään kammion etenemissuuntaa. Linjaston rakennetta on vahvistettava kulmissa, koska kammio on ainoastaan teräslevyn ja pallolaakereiden päällä. Rakennetta vahvistetaan ylimääräisillä teräspalkeilla, jotka sijoitetaan teräslevyn alle hitsaamalla. Kulmassa kammion liikkumissuunta vaihdetaan joko käsivoimalla tai siihen tarkoitetuilla hydrauliliikkasyntereillä (kuva 18).

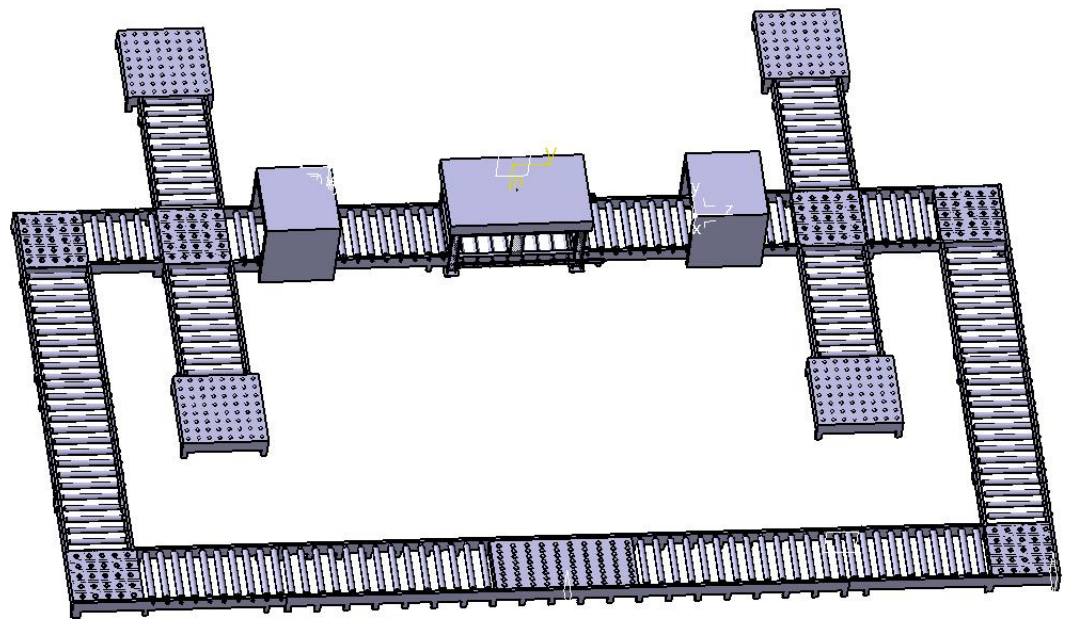


Kuva 18. Linjasto

3.5 Tuotantolinja

Tuotantolinjan tarkoitus on helpottaa työn tekemistä ja samalla nopeuttaa valmistumista. Tuotantolinja mahdollistaa kappaleiden samanaikaisen valmistumisen, sekä sen, että kaikki moottoripyörän laatikon osat valmistetaan samassa linjastossa.

Puristusprosessin tuotantolinja on rakennettu siten, että samassa tuotantolinjassa pystytään valmistamaan koko kappale. Tuotantolinja on rakennettu linjoista, joissa on laakeroidut pyörivät akselit. Työpisteissä on työtasopöydät, joissa on pallolaakerit painekammion liikuttamiseksi. Työtasojen päällä painekammioon asennetaan kappaleeseen kuuluvat komponentit. Ahtopuristinta vastapäätä olevalla työtasolla kappaleeseen suoritetaan vaahdotus sekä kasaus. Puristimen molemmille puolille on asennettu GMT -esilämmitysuunit (kuva 19).



Kuva 19. Tuotantolinja ja GMT -esilämmitysuunit

3.6 Painekammioiden nostaminen

Painekammioiden asentamista helpotetaan nostimella. Nostimen tulisi olla sellainen, että se pystyisi nostamaan 22 t painavat painekammiot. Nostimen tulisi olla sellainen, että nostotyö olisi mahdollisimman turvallinen työntekijöille sekä nostimen käyttö olisi helppoa. Painekammioiden asennuksen nostimeen on tapahduttava yksinkertaisesti ja nopeasti, jotta työn kulku olisi optimaalinen.

Ehtoihin vedoton todettiin, että tavallinen siltanosturi sopisi parhaiten nostamaan painekammiot. Siltanostimen käyttö on helppoa ja turvallista, koska nosturia ohjataan kahdella kädellä ohjauspaneelista. Nostimen koukkuihin kiinnitetään erilliset nostinosat, jotka kiinnitetään painekammion nostokahvoihin. Toisena vaihtoehtona nostimen koukut kiinnitetään suoraan kammion nostokahvoihin.

4 PÄÄTELMÄT JA JATKOKEHITTÄMINEN

Saatujen tulosten perusteella puristimenrunkoa voidaan lähteä jatkokehittämään siten, että lasketaan kestäväkö kehikko siihen vaikuttavat voimat ja muodonmuutokset. Rungon suunnittelussa on otettu huomioon vaatimuslistan vaatimukset.

Puristimenrungon kehitys on pääasiallisesti teoreettiseen suunnitteluun suunniteltu ja sen toimintaa ei ole käytännössä varmistettu. Puristimenrunkoa testataan sitten, kun rungon lujuudet on laskettu ja pystytään tarkistamaan rungon riskikohtien luotettavuudet. Kehittelyn tuloksia voidaan käyttää hyväksi jatkokehittämisessä sekä varsinaisen tuotteen suunnittelussa ja kehityksessä.

Linjaston suunnittelussa todettiin, että painekammioiden paras liikutustapa olisi linjasto. Linjaston avulla pystytään siirtämään painekammioita nopeasti ja turvallisesti.

Linjasto on kuvattu periaatetasolla, sen suuruus ja muoto riippuvat työtilasta. Linjaston jatkokehittämisessä on otettava huomioon, että linjasto kestävä painekammioiden painon. Linjaston lujuuslaskut on laskettava ennen, kuin linjastoa lähdetään suunnittelemaan eteenpäin.

Painekammioiden nostamisessa käytetään siltanosturia, joka soveltuu nostamaan painavia painekammioita. Siltanostimen ulottuvuus riippuu työtilan mitoista. Nostimen tyyppiä ei pystytä vielä päättämään, koska tarvitaan tarkat tiedot nostimen nostokapasiteetista ja ulottuvuustarpeesta.

5 YHTEENVETO

Projektin tavoitteena oli kehittää puristimenrunko, sekä suunnitella puristusprosessi. Rungon avulla pystytään puristamaan ahtopuristamalla levymäisiä kappaleita SMC-komposiittimuovista. Insinööriyön osuus koko projektissa on rajattu puristimen rungon rakenteeseen, linjastoon sekä painekammioiden nostamiseen.

Suunnittelun pitämiseksi johdonmukaisena käytettiin apuna saksalaista VDI 2221 –standardia, jonka pohjalta käytetään seitsemänportaista työnkulkua. Työn kulkuun sisältyy tehtävänasettelun selvitys, toimintorakenteen selvittäminen, ratkaisuperiaatteiden etsintä, jäsentely moduuleihin, rakenne moduulien muotoilu ja valmistusohjeiden laatiminen. Tässä insinööriyössä käytetään viittä ensimmäistä porrasta.

Puristusprosesseja valittaessa mietittiin, mikä prosessi soveltuisi parhaiten puristamaan levymäisiä muotoja. Monista eri vaihtoehdoista valittiin ahtopuristus, koska puristusprosessi on nopea ja helppo toteuttaa. Muut vaihtoehdot hylättiin, koska niiden puristusmahdollisuudet eivät vastanneet haluttuja puristusnopeuksia eivätkä kaikki soveltuneet levymäisten kappaleiden valmistukseen.

Moottoripyörän kuljetuslaatikko valmistetaan neljässä työvaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa painekammioihin asennetaan ohutmuotit. Toisessa vaiheessa ohutmuotin päälle asennetaan Gel-Coat -massa. Kolmannessa vaiheessa painekammioon asennetaan lujitteet sekä vahvikkeet, saranat ja muut sisäiset komponentit. Neljännessä vaiheessa suoritetaan kuumapuristus, painekammioihin ohjataan suuri paine, jonka avulla kappale muotoutuu muottien mukaisesti. Sisäpinnan valmistus suoritetaan samalla lailla, kuin ulkopinnan valmistus. Lopuksi ulkopinta ja sisäpinta asennetaan painekammioon, jossa tapahtuu paneelien vaahdotus sekä kiinnittäminen.

Puristinrungonrakenteessa oli kolme kilpailevaa versiota, joista kaksi hylättiin jo alkuvaiheessa. Päätettiin valita versio 3, koska runko kestää parhaiten suuria jännityksiä, sekä pystytään puristamaan painekammiot tiukasti kiinni toisiinsa hydraulikan avulla. Katossa olevan paineaukon avulla pystytään puristamaan painekammiot tiukemmin kiinni, mikäli kammiot alkavat aueta.

Työtasona käytetään tavallista rullatasoa, jonka rullat on laakeroitu. Laakeroitujen rullien avulla painekammioihin on helppo asentaa sisälle kuuluvat komponentit. Kun komponentit on asennettu painekammioihin, painekammiot on helppo siirtää siitä puristukseen.

Painekammioiden liikuttamista työpisteestä toiselle mietittiin kahden kilpailevan idean avulla. Kilpailevina versioina olivat linjaston käyttö ja ilmatyynyntaso. Ilmatyynyntaso hylättiin lähes välittömästi, koska kustannukset olisivat nousseet huomattavasti. Päätettiin lähteä suunnittelemaan linjasto, jossa on laakeroidut akselit. Laakeroitujen akseleiden päällä painekammiot ovat helposti siirrettävissä eri työpisteille.

Painekammioiden nostamisessa mietittiin erilaisia nostimia, mutta päädyttiin tavalliseen siltanostimeen. Siltanostin pystyy nostamaan suuria massoja sekä nostin ei ole työntekijöiden tiellä, koska se liikkuu katonrajassa olevien paalujen päällä.

Puristimenrunko mallinnettiin Catia V5 -ohjelmistolla ja siitä tehtiin kokoonpanokuva. Puristimenrungon ja linjaston kestävyyttä ei ole päästy testaamaan.

Mainittuja menetelmiä voidaan yhdistää ja suunnitella tapauskohtaisesti, valmistettävien kappaleiden mukaisesti.

VIITELUETTELO

- [1] Saarela, Olli, ym. *Komposiittirakenteet*. Helsinki: Muoviyhdistys ry. 2003.
- [2] *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer System und Produkte*. VDI-Richtlinie 2221 (Entwurf). Düsseldorf: VDI-Verlag. 1985.
- [3] Koskinen, Antti, Paineammion toimintaperiaatteen ja ohutlevymuotin valmistusmenetelmän suunnittelu. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Helsinki. 2011.
- [4] Beitz, Wolfgang - Pahl, Gerhard, Konesuunnitteluoppi. Porvoo: Metalliteollisuuden kustannus Oy. 1990.
- [5] Aaltonen, Eero, Muottirungon kehittäminen. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Helsinki. 2009.