

SUKSIPROJEKTI

TK-Työkalutiimi Oy

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2010
Tuomo Sintonen

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

Sintonen Tuomo

Suksiprojekti
TK-Työkalutiimi Oy

Muovitekniikan opinnäytetyö, 27 sivua

Kevät 2010

Työn ohjaajina toimivat Reijo Heikkinen LAMK:sta sekä Aki Mäntylä ja Pertti Savinainen TK-Työkalutiimistä.

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee muovista valmistetun rullasuojaosan prototyypin tuotesuunnittelua, muottisuunnittelua, muotinvalmistusta ja muotin koepuristusta.

Työn teoriaosassa käsitellään muovituotteen ja ruiskupuristusmuotin suunnittelua ja niiden vaatimuksia. Lisäksi teoriaosassa tarkastellaan muovimateriaalien käyttövaatimuksia ja materiaalivalintaa.

Tuotesuunnittelu aloitettiin Esa Karhusen tuoteidean ja TK-Työkalutiimin alustavien suunnitelmien pohjalta joulukuussa 2009. Tuotesuunnittelun vaatimukset olivat toimiva ja mekaanisesti kestävä tuote lisäksi tuotteesta haluttiin suhteellisen halpa prototyyppi testattavaksi. Tuote pyrittiin muotoilemaan virtaviivaiseksi ja urheiluvälineeseen sopivaksi vaarantamatta mekaanista lujuutta. Muotin sivuliikkeitä suunniteltiin valmiiksi, mutta jätettiin prototyyppimuotista pois kustannusten alentamiseksi. Tuotteelle tehtiin FEM- analyysi SolidWorks Cosmos-ohjelmistolla tuotesuunnittelun tueksi.

Muotin valmistus aloitettiin tuote ja muottisuunnittelun jälkeen. Muotti valmistettiin TK-Työkalutiimissä Hollolassa. Muotinvalmistukseen käytettiin nykyaikaisia menetelmiä; muottiosat jyrättiin Hermle U30-viisiakselisella työkalujyrsimellä. Elektrodit valmistettiin Röders-suurnopeusjyrsimellä ja ne mitattiin Johansson-koordinaattimittalaitteella. Kipinätyöstöt suoritettiin Fanuc- ja Charmilles-kipinätyöstökoneilla. Kokoonpanon jälkeen suoritettiin koepuristus Engel 80 EC88-ruiskupuristuskoneella.

Kokonaisuutena projekti onnistui hyvin; tuotteesta tuli mekaanisesti kestävä ja se toimi halutulla tavalla.

Avainsanat: tuotesuunnittelu, prototyyppi, muotti

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Plastics Engineering

Sintonen Tuomo

Roller ski splash guard
TK-Työkalutiimi Oy

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 27 pages

Spring 2010

The supervisors of this thesis were Reijo Heikkinen from Lahti University of Applied Sciences, and Aki Mäntylä and Pertti Savinainen from TK-Työkalutiimi.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to design a prototype of a roller ski splash guard made of plastic, and to design and produce an injection mold for that and also perform a test run.

The theory part of this thesis deals with the designing of plastic product and injection molds and their requirements. In the theory part there is also some consideration about the use of plastic materials and choosing plastic material.

The product design started with an idea from Esa Karhunen and preliminary plans of TK-Työkalutiimi in December 2009. The requirements were to make a functional, mechanically strong and relatively cheap prototype to be tested. The styling was to be sleek and suitable for sports equipment but the styling could not compromise the mechanical strength of the product. The side cores were designed but left out from the prototype mold to decrease expenses. The product was analyzed with the SolidWorks Cosmos program to support the designing process.

Production of the injection mold started after the product and mold had been designed. The mold was produced in TK-Työkalutiimi facilities in Hollola. The mold was made with modern methods. The mold parts were milled with a Hermle fiveaxis milling machine. The electrodes were made with the Rödgers high-speed milling machine and measured with the Johansson coordinate measurement machine. Spark erosion machining was done with Fanuc and Charmilles spark erosion machines. After the mold was assembled, a test run was conducted with the Engel 80EC88 injection mold machine.

The whole project was successful, the final product was mechanically strong and worked as required.

Key words: product design, prototype, mold, Ixef1022

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TUOTESUUNNITTELU	2
2.1	Tuotekehitys	2
2.2	Muovituotteen suunnittelu	2
2.3	Materiaalivalinta	3
2.3.1	Käyttövaatimukset	4
2.3.2	Lämpötila	5
2.3.3	UV-säteily	5
2.3.4	Kemiallinen rasitus	6
2.3.5	Jäykkyys	6
2.4	Materiaali	6
2.5	Rullasuksen lokasuojan suunnittelu	8
3	FEM-ANALYYSI	10
3.1	Suksen rasitus	11
4	MUOTTISUUNNITTELU	11
4.1	Muottiteräkset	11
4.2	Tuotteen valmistelu	12
4.3	Muottilevyjen suunnittelu	13
4.4	Tukilevy ja kiinnityslevyt	15
4.5	Ulostyöntölevyt	16
4.6	Sivuliikkeet	16
5	MUOTINVALMISTUS	17
5.1	CAM-suunnittelu	17
5.2	Jyrsintä	18
5.3	Kipinätyöstö	19
5.4	Muotin kokoonpano	21
6	KOEPURISTUS	23
7	YHTEENVETO	25
	LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin TK-Työkalutiimi Oy:ssä. Työn tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa prototyyppi rullasuojasta

TK- Työkalutiimi Oy on kokenut suomalainen perheyritys. TK- Työkalutiimi on yli 20 vuotta toiminut työkalu- ja muoviosaaja, joka on erikoistunut vaativiin käyttötarkoituksiin suunniteltuihin ruiskuvalutuotteisiin ja muotteihin.

TK- Työkalutiimi Oy:llä on omat tuotantotilat Hollolassa, Lahden vieressä.

Ikärakenteeltaan nuorekas henkilöstö on kokenut ja ammattitaitoinen. Henkilöstön määrä on n. 20. Yrityksen käyttämä tekniikka on uusinta. Käytössä on alan viimeisin teknologia suurnopeustyöstöstä videomittaukseen ja ruiskuvaluun robotilla.

TK- Työkalutiimi Oy on luotettava yhteistyökumppani, joka on aidosti kiinnostunut asiakkaan tarpeista. Laadunvarmistuksessa käytössä on ISO9001-laatu- ja ISO14001-ympäristöjärjestelmät. (TK-Työkalutiimi 2010.)



KUVIO 1. TK-Työkalutiimi Hollola (TK-Työkalutiimi 2010)

2 TUOTESUUNNITTELU

2.1 Tuotekehitys

Tuotantotoimintaa harjoittavan yrityksen menestys riippuu sen kyvystä tunnistaa asiakkaan tarpeet ja reagoida niihin nopeasti kehittämällä uusia tuotteita. Tuotteella tarkoitetaan konkreettisen objektin lisäksi yhä useammin myös palvelua tai osaamista. Tuotekehitysprosessin muoto vaihtelee tapauskohtaisesti ja yrityksittäin. Sen hallinta on vaikeaa, mikä johtuu siitä, että varsinkin tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa ollaan tekemisissä vaikeasti ennustettavien tai täysin tuntemattomien asioiden kanssa. Strategisessa mielessä tuotekehitys on jokaisen teollisuusyrityksen keskeisimpiä asioita. Yrityksellä on oltava omaa tuotekehitystä, olipa sillä omia tuotteita tai ei. Tuotteesta näkyy varsinaisen idean eli keksinnön lisäksi yrityksen osaaminen eli kyky jalostaa idea asiakkaalle lisäarvoa tuottavaksi kohteeksi, josta asiakas on halukas maksamaan halutun hinnan. Tuote on sen prosessin tulos, jonka aikana asiakkaan tarpeen tyydyttämiseksi muodostettu idea muovautuu konkreettiseksi tulokseksi, jota asiakas voi hyödyntää. (Hietikko 2007, 11.)

2.2 Muovituotteen suunnittelu

Tuotesuunnittelu on prosessin osa, joka alkaa konseptisuunnitteluvaiheen jälkeen tai sen loppuvaiheessa, jolloin erilaisista luonnoksista voidaan generoida tietokonemallit niiden testaamista ja tuotettavuutta arvioitaessa. Pääasiassa tuotesuunnittelun tavoitteena on kuitenkin luoda sellaiset valmistuksen tarvitsemat dokumentit, joiden perusteella tuotanto kykenee yksiselitteisesti valmistamaan oikeat ja yhteensopivat osat ja kokoonpanot. Tuotesuunnittelu vaatii aina enemmän tai vähemmän luovuutta. Tuotesuunnittelu on itse asiassa valintojen ja päätösten tekemistä. Alkuvaiheessa on olemassa tietty mahdollisuuksien avaruus, josta vähitellen parametrien arvoja kiinnittämällä siirrytään kohti lopullista tuotetta. (Hietikko 2007, 12.)

Eri muovituotteille asetettavat vaatimukset poikkeavat paljon toisistaan, eri käyttötarkoituksien mukaan. Elektroniikkatuotteissa kuten matkapuhelinten kuoret ja televisioiden kuoret, ulkonäkö ja tekninen kestävyys ovat tärkeitä vaatimuksia. Autoteollisuuden osissa kemiallinen kestävyys ja mekaaninen lujuus ovat ulkonäköä tärkeämpiä seikkoja. Jotta tuotteen suunnittelu onnistuu, tulee tuotteen vaatimukset olla selvillä jo suunnittelun alkuvaiheessa. Tällöin materiaalin valinta onnistuu paremmin ja vältetään ikäviltä yllätyksiltä kuten huonolta pinnanlaadulta tai huonolta UV-kestolta. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 277.)

Kokonaisvaltainen tuotesuunnittelu käsittää tuotteen teknisen suunnittelun, jota ovat esimerkiksi mekaniikkasuunnittelu ja muotoilu. Teknisessä suunnittelussa otetaan huomioon tuotteen suorituskyky, syntyvät kustannukset, turvallisuus ja käyttöominaisuudet. Tuotekehittely on luovaa työtä, jonka tavoitteena on hyvän tuotteen aikaansaaminen. Tuotesuunnittelun tavoitteena on kokonaan uusi tuote tai aiemmasta tuotteesta paranneltu malli. Tutkimusten mukaan vain noin 3 % ns. alkuideoista, noin 13 % aloitetuista projekteista ja noin 50 % markkinoille tuoduista tuotteista johtavat kannattavaan tuotantoon. (Kurri, Malen, Sandell & Virtanen 2002, 68.)

2.3 Materiaalivalinta

Maailmassa arvioidaan olevan kymmeniätuhansia erilaisia kaupallisia muovimateriaaleja ja uusia kehitetään satoja vuosittain. Koska materiaalin valinta vaikuttaa ratkaisevasti lopputuotteen ominaisuuksiin ja kustannuksiin, on materiaalin valinta tehtävä huolella. Ruiskuvalettavat muovit ovat yleensä termoplastisia materiaaleja ja jakaantuvat amorfisiin ja osakiteisiin muoveihin, joiden ominaisuudet selviävät taulukosta 1. Lisäksi on mahdollista ruiskuvalaa tuotteita kertamuoveista ja kumeista, kuten esimerkiksi sähkötarvikkeita polyesterimuovista.

Tuotteen lopullisen materiaalin määrittämiseksi tulee ymmärtää tuotteelle asetettavat vaatimukset sen loppukäytössä. Paljon on tapahtunut kalliita virheitä, kun jokin ominaisuus (kuten esim. UV- tai jännityssäröilyn kesto) on jäänyt huomiomatta. (Järvelä ym. 2000, 277.)

Oikean muovin valinta kohteeseensa on haastavaa. Tyypillisesti, mikäli ominaisuuksiltaan oikea muovi löydetään, sen ajateltu työstömenetelmä ei ehkä onnistu. Niinpä tyypillistä ”insinöörinvuokaaviota” muovin valinnasta ei voi tehdä. (Järvinen 2008, 198.)

TAULUKKO 1. Muovien ominaisuudet (Järvelä ym. 2000, 264)

Amorfiset	Osakiteiset
kirkkaita	opaalisia
Pieni kutistuma	suuri kutistuma
pehmenee (ei sulamispistettä)	sulavat (selvä sulamispiste)
huono kemikaalien kesto	hyvä kemikaalien kesto
huono voitelukyky	hyvä voitelukyky
suuri kitka	pieni kitka
huono väsymislujuus	hyvä väsymislujuus
huono jännityssäröilynkesto	hyvä jännityssäröilynkesto

2.3.1 Käyttövaatimukset

Muovilaaduilla on merkittävästi toisistaan poikkeavia mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Tuotteen valmistusmenetelmää ja raaka-ainetta valittaessa pitää käytön ja käyttöympäristön asettamat vaatimukset olla selvillä. Tällöin voidaan optimoida hinnaltaan mahdollisimman edullinen tapa päästä haluttuihin ominaisuuksiin.

Muovit ovat monipuolisia aineita hyvin erilaisten tuotteiden valmistamiseen; niillä on ominaisuuksia, joiden ansiosta ne ovat ylivoimaisia. Näitä ovat mm. keveys, korroosion kesto ja joustavuus. Kilpa-autojen korit valmistetaan komposiittimuovista, kun tavoitellaan lujuuden ja keveyden äärimmäistä yhdistelmää.

Muoteilla valmistetut muovituotteet mahdollistavat monipuolisia muotoja sekä tuotteen käytettävyyden että estetiikan näkökulmasta. Samaan osaan voi integroida erilaisia toimintoja, kuten polypropeenimuovista (PP) valmistettu rasia, jossa kansi ja pohja ovat samaa kappaletta ja niiden välissä kalvosarana. Muovin joustavuutta hyödyntämällä myös rasian lukitus on tehty samaan osaan.

Muoveille ominainen muodonmuutos pitkäaikaisessa jännityksessä ja ominaisuuksien muuttuminen lämpötilan mukaan rajoittaa muovin käyttöä. Jotkut muovilaadut pehmenevät reilusti alle sadassa asteessa, ja jos jatkuva käyttölämpötila on yli 200 °C, muovi ei toimi. Polykarbonaattimuovi (PC) kestää erittäin hyvin iskuja ja on lasin kirkas mutta pitkäaikaisessa liian voimakkaassa jännityksessä murenee palasiksi. Sen kemiallinen kestävyys on heikko. Myös eri muovilaatujen hinnat poikkeavat toisistaan suuresti. (Taideteollinen korkeakoulu 2010.)

2.3.2 Lämpötila

Tuotteen käyttölämpötila rajaa mahdollisuutta käyttää muovia. Polyeteenin ominaisuudet muuttuvat jo 40 °C:ssa. Teknisten muovien pitkäaikainen altistus lämmölle on reilussa sadassa asteessa.

Joidenkin erikoismuovien muovien lämmönkesto on jopa yli 200 °C. Muovien ominaisuudet muuttuvat myös kylmässä. Useimmat muovit kovettuvat ja haurastavat pakkasessa. Jotkin muovilaadut pysyvät pehmeinä ja lujina jopa -30 °C:ssa. (Taideteollinen korkeakoulu 2010.)

2.3.3 UV-säteily

UV-säteily pilkkoo molekyyliketjuja ja muuttaa kappaleiden väriä ja lujuutta. Eri muovilaatujen valon kestossa on suuria eroja. Jotkut säilyvät pitkään lähes muuttumattomana (silikoni) toiset haalistuvat tai osan pinta liituuntuu mutta lujuus säilyy ja jotkut murenevat palasiksi. (Taideteollinen korkeakoulu 2010.)

2.3.4 Kemiallinen rasitus

Muoveissa on kemiallisesti erittäin kestäviä aineita. Muovi ei ruostu joten se on kosteudelle alttiiksi joutuviissa kohteissa rautaa parempi.

Jotkut muovilaadut imevät vettä niin paljon, että ne turpoavat.

Loviherkälle muoville pinta-aktiivinen aine, kuten saippua, voi olla kohtalokasta. Aine tunkeutuu hiushalkeamaan ja saa sen hieman raottumaan lisää, jolloin voima halkeaman kärjessä kasvaa ja särö etenee aineeseen. (Taideteollinen korkeakoulu 2010.)

2.3.5 Jäykkyys

Muovia kuormitettaessa tapahtuu muodonmuutos. Mikäli kuorma on riittävän pieni, muodonmuutos palautuu. Voimaa lisättäessä tapahtuu pysyvä plastinen muodonmuutos. Voiman poistuessa vain osa muodonmuutoksesta palautuu. Jos voimanlisäystä jatketaan, jossain vaiheessa osa murtuu.

Monet muovit viruvat eli myötävät pitkäaikaisessa jännityksessä, kun voima pikkuhiljaa purkautuu muodonmuutokseen. (Taideteollinen korkeakoulu 2010.)

2.4 Materiaali

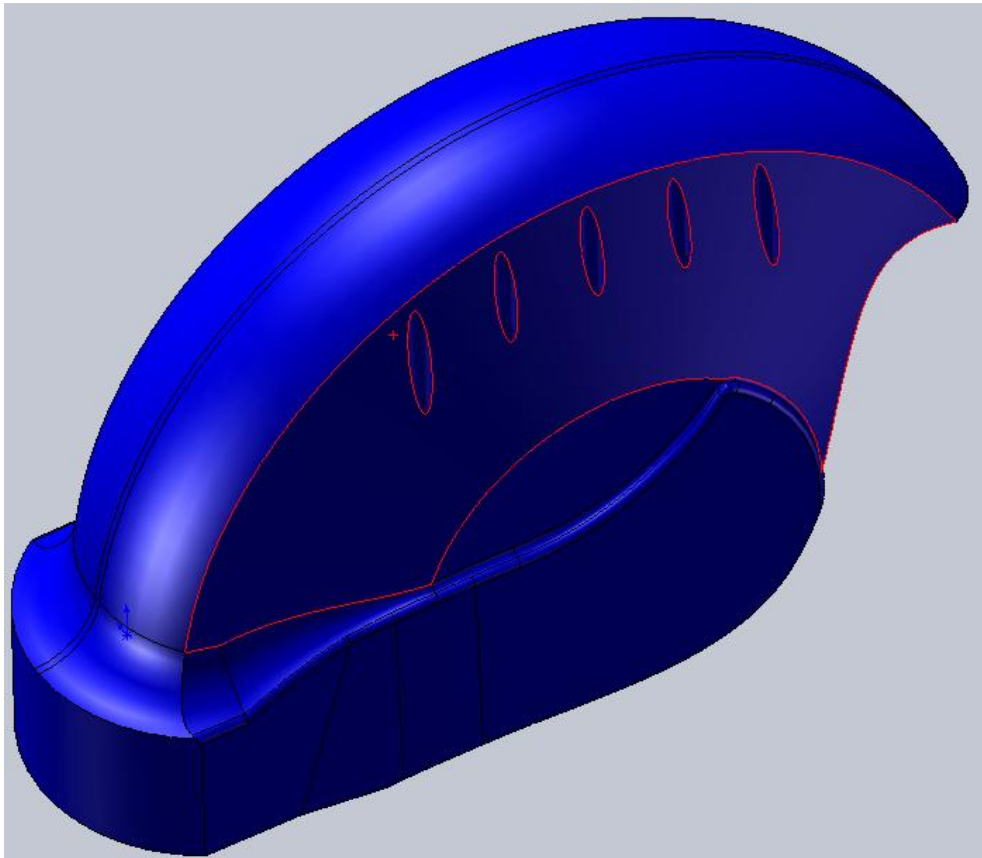
Erikoispolyamidien ryhmään lasketaan kuuluvaksi kaikki muut tyypit paitsi tavallisimmat PA 6 ja PA66. Erikoispolyamidien osuus koko polyamidimarkkinoista on vajaa kymmenes. Niillä on kuitenkin omat käyttökohteensa, joissa peruslaatuja ei voi käyttää esimerkiksi läpinäkymättömyyden, veden imeytymisen tai kemikaalinkestävyyden vuoksi. Osittain aromaattisten polyamidien ryhmä sisältää kemiallisesti erilaisia polyamideja. Tyypillisesti ne perustuvat polyftaaliamidiin tai polyaryyliamidiin ja niiden seoksiin muiden polyamidien ja lujitteiden kanssa. Osittain aromaattiset polyamidit tyypillisesti lujitetaan, yleensä lasikuidulla. Näin saadaan erityisen jäykkä polyamidi, jonka lujuutta kosteuden imeytyminen ei juuri vähennä. Ennen kaikkea jäykkyys-iskujuuus yhdistelmä on näillä polyamideilla lujitet-

tujen muovien parhaimmista. Osittain aromaattisia polyamideja käytetään runsaasti metallien korvaajina autoteollisuudessa ja jäykistävässä rakenteissa esimerkiksi matkapuhelimissa. Peruspolyamideihin verrattuina niiden kilohinta on noin kolminkertainen. (Järvinen 2008, 84.)

Lokasuojan materiaaliksi valittiin, osakiteinen lasikuitulujitettu tekninen polyamidi. Materiaalia käytetään paljon autoteollisuudessa, elektroniikka teollisuudessa ja kodielektroniikassa. Materiaali valittiin kyseiseen tuotteeseen sen hyvän mekaanisen lujuuden, jännityksen keston sekä pienen muottikutistuman takia. Materiaalin tuli kestää ulkoilman rasituksia, iskuja ja vaihtokuormitusta. Materiaalitoimitajan testeistä pääteltiin, että materiaali kestäisi siltä vaadittavat rasitukset.

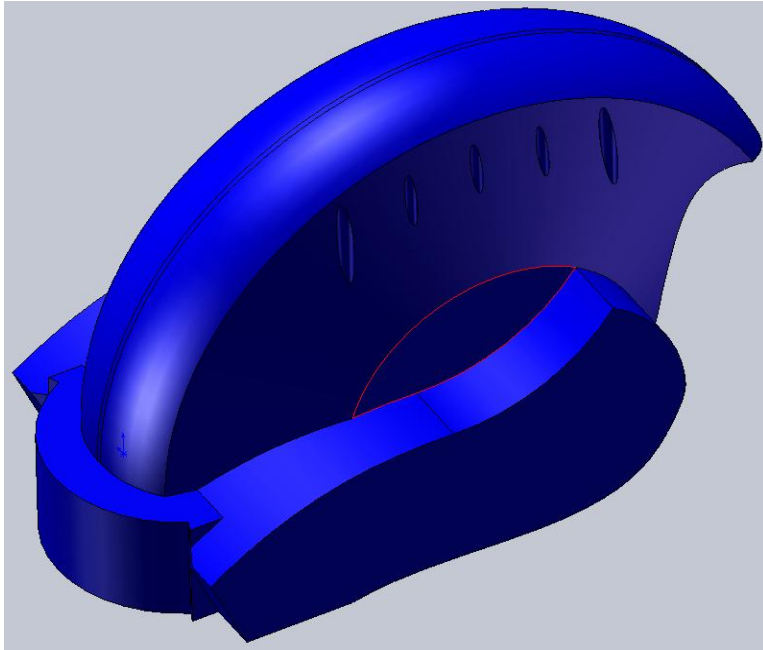
Metallien tavoin pitkäaikaisessa dynaamisessa kuormituksessa termoplastiset materiaalit kärsivät väsymisilmiön, kun jännityksen amplitudi on riittävä. Kaikkien dynaamiseen kuormitukseen joutuvien osien kestävyuden määrittelyssä on otettava huomioon materiaalin väsymistäipumus. Väsytyksestä vaihto- ja tykytyskuormituksessa mahdollistaa materiaaliokohtaisen Wöhlerkäyrän määrittelyn. Koesauvoilla suoritettavassa väsytyksessä pyritään määrittämään materiaalin väsymislujuus (väsymisraja) ts. se keskijännityksen ja jännitysamplitudin yhdistelmä, jolla sauva näyttäisi kestävän rajattoman monta kuormituskertaa. (Karhunen, Lassila, Pyy, Ranta, Räsänen, Saikkonen & Suosara 1992, 342.)

2.5 Rullasuksen lokasuojan suunnittelu



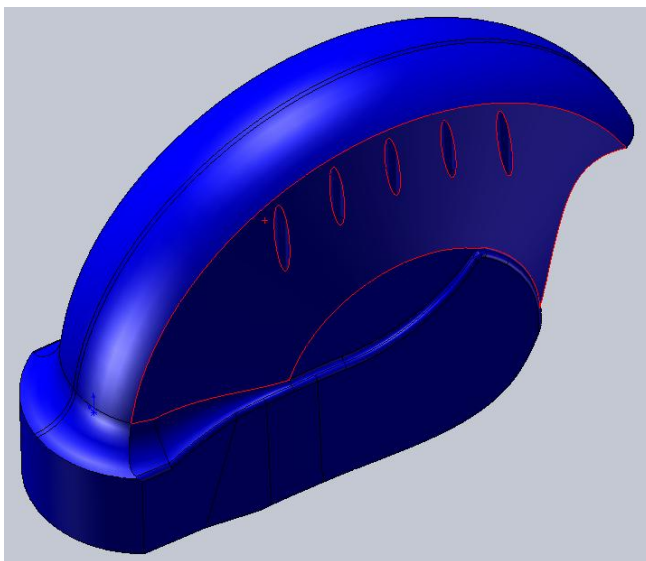
KUVIO 2. Rullasuksen lokasuoja

Tuotteen lähtökohtaiset vaatimukset olivat valmistaa alumiiniseen suksiosaan liitettävä lokasuoja, johon rengas kiinnittyy. Rullasuksen päätyosa sisältää kuvion 2 mukaisen lokasuojaosan ja kiinnitysvarren. Tuotteen suunnitteluun käytettiin SolidWorks-ohjelmaa. Tuotteen suunnittelu aloitettiin valmiista rullasuksen renkaan mallista, jonka ympärille tehtiin viiden millimetrin offsetkäyrästä keskiakselin ympäri pyöräytettävä profiili. Viiden millin välys renkaan ja lokasuojan välillä antaa riittävän tilan, jotta pienet kivet eivät jää kiinni renkaan ja lokasuojan väliin. Tuotteen lokasuojamainen sivuprofiili leikattiin spline-käyrästä tehdyllä mallilla. Seuraavaksi mallista tehtiin kuoritulavuus kolmen millimetrin seinämänvahvuudella, minkä jälkeen mallin kylkiin pursotettiin lisämateriaalia kiinnitysvarretta ja akselin reikää tukemaan kuvion 3 osoittamalla tavalla. Mallin kalteviin sivupintoihin leikattiin kartioreiät tuomaan parempaa ulkonäköä.



KUVIO 3. Lisämateriaali ja kartioreiät

Seuraavaksi mallin sivupinnat leikattiin ja niihin lisättiin kahden asteen päästö. Mallin ulkopuoliset terävät reunat pyöristettiin ja kiinnitysvarren tyvikohtaan lisättiin iso pyöristys kuvion 4 mukaisesti. Ison pyöristyksen tarkoitus on ottaa kuormitustilanteen taivutusjännitys vastaan. Jos nurkka olisi terävä, tuote voisi murtua siitä kohtaa erittäin helposti.



KUVIO 4. Pyöristykset

Seuraavaksi malliin pursotettiin kiinnitysvarsi ja leikattiin kuuden millimetrin reikä pyörän akselia varten. Tämän jälkeen mallin pohjaan tehtiin kevennystaskuja estämään liiallisia tuotteen seinämävahvuusvaihteluita. Lokasuojaosan jälkeen mallinnettiin alumiinista valmistettava suksiosa. Suksiosa pursotettiin kolmen millin seinämävahvuudella. Suksiosan päät muotoiltiin vastaamaan lokasuojan vastaavia pintoja.

3 FEM-ANALYYSI

CosmosWorks-ohjelmaa voidaan kutsua ”täysiveriseksi” FEM-ohjelmaksi ainakin siltä osin, että se on täydellisesti integroitu SolidWorks-ympäristöön. Mallinnuksesta voidaan suoraan siirtyä analysointiin ja analysoinnin perusteella tapahtuvat muutokset voidaan toteuttaa suoraan siirtymättä ohjelmasta toiseen. (Hietikko 2007, 271.)

FEM- analyysi suoritettiin SolidWorksin Cosmosworks-ohjelmistolla. Analyysin tarkoituksena oli tutkia suksen staattista kuormitustilannetta. Tällä analyysillä tuotteen käyttäytymisestä rasitustilanteessa saatiin edes jonkinlainen käsitys. FEM-analyysistä saatujen pohjatietojen perusteella voitiin muottisuunnittelu aloittaa. Taulukossa 2 on analyysissä käytetyt parametrit materiaalille.

TAULUKKO 2. Materiaalin parametrit

Ominaisuus		Yksikkö
Vetokimmomoduuli	20	GPa
Suppeumakerroin	0,35	
Liukukerroin	970	MPa
Vetolujuus	200	MPa
Myötölujuus	200	MPa

3.1 Suksen rasitus

Koko suksen kokoonpanoa kuormitettiin staattisesti, etuosastaan 400 N:n ja takaosastaan 600 N:n voimalla. Suksi oli kiinnitettynä teoreettisen ”monon” alueelta. Voima kohdistui pintoihin, joissa pyörän akseli tulee olemaan. Analyysin tuloksesta saatettiin päätellä, että minimivarmuuskerroin oli 2,4 materiaalin myötörajaan nähden.

4 MUOTTISUUNNITTELU

4.1 Muottiteräkset

Kun tuotesuunnittelija aloittaa uuden muovattavan tuotteen suunnittelun, eteen tulee useita vaatimuksia. Puhtaasti toiminnallisten vaatimusten ohella valmistusjakson aikana esiintyy pinnanlaatua ja toleransseja koskevia vaatimuksia. Lopputulokset riippuu pitkälti siitä, miten huolellisesti lopputuote ja muottityökalu on suunniteltu, miten se on valmistettu ja millainen teräs muottiin on valittu. Tuotesuunnittelijan on tehtävä monia tärkeitä päätöksiä materiaalin suhteen, jotka ennemmin tai myöhemmin liittyvät valittuun teräkseen. Esim.

- Miten tärkeä pinnanlaatu on, onko tavoitteena peilipinta tai optinen pinta?
- Kuvioidaanko muotti fotosyövyttämällä?
- Onko muovattava muovi syövyttävää tai kuluttavaa?
- Miten tärkeää on pitää kiinni tiukoista toleransseista?
- Montako osaa on tarkoitus valmistaa?

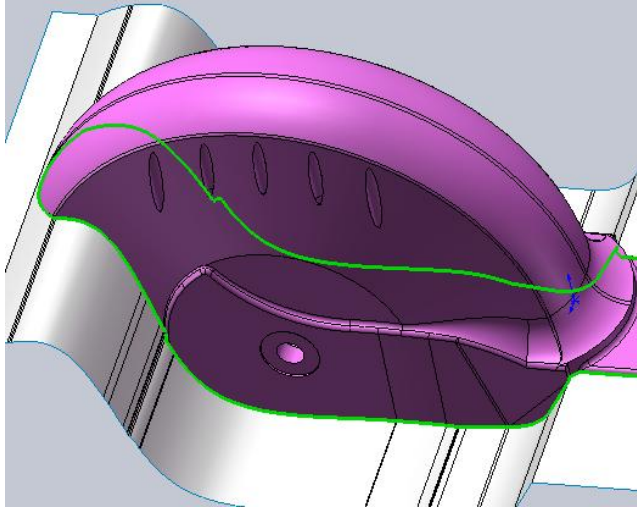
Kokenut tuotesuunnittelija välttää teräviä kulmia ja reunoja aina kun pystyy ja parantaa näin muotin kestävyttä ja tuottavuutta. Terävät kulmat muovattavassa tuotteessa ja muotissa ovat mahdollisia jännityksiä lisääviä tekijöitä, jotka todennäköisesti aiheuttavat halkeamia ja vaurioita sekä lopputuotteeseen että muottiin. Suurentamalla tuotteen osien kulman sädettä tuotesuunnittelija parantaa huomattavasti muotin iskusitkeyttä. Näin syntyy vahvempi muotti, joka kestää paremmin suuria sulku- ja ruiskutusaineita.

Yleisimmin käytettyjä muovimuottiteräksiä ovat: nuorrutetut muotti- ja muottirunkoteräksiset, läpikarkenevat muottiteräksiset ja korroosionkestävät muottiteräksiset. (Uddeholm Oy 2010.)

Tähän kyseiseen työhön muottipaketin 3D-malli tuotiin Hasco Digital Catalogue -ohjelmasta. Muottipaketiksi valittiin Hascon K-standardin esikoneistetut levyt. Muottipaketti sisälsi tarvittavat ohjaus- ja kiinnitysosat. Muottilevyjen materiaaliksi valittiin DIN werkstoff-standardin mukainen 2312-nuorrutettu työkaluteräs. Muotin muiden levyjen ja runko-osien materiaaliksi valittiin DIN werkstoff Nr. 1730 hyvin koneistettava muottirunkomateriaali. Takamuotin keernat valmistettiin myös nuorrutetusta työkaluteräksestä.

4.2 Tuotteen valmistelu

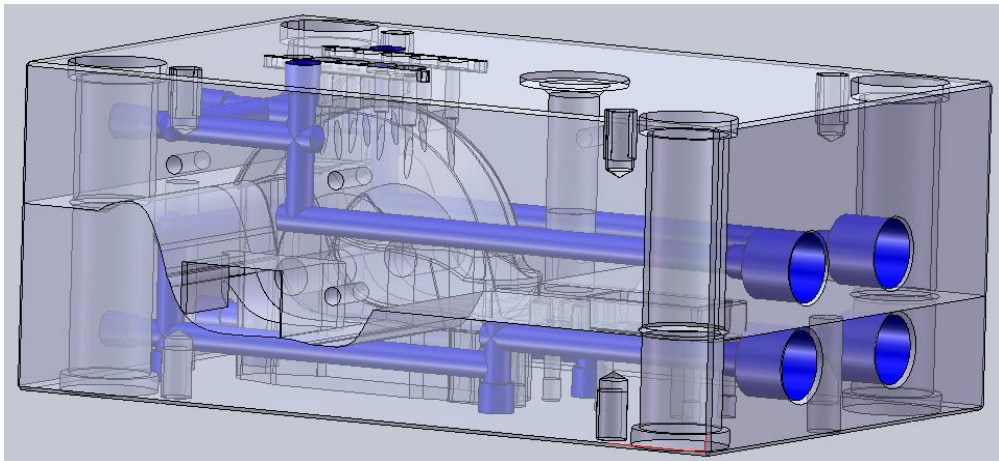
Tuote valmisteltiin muottipuoliskojen halkaisua varten. Materiaalin kutistumaksi arvioitiin 0,2 prosenttia. Tuote skaalattiin kertoimella 1,002. Skaalauksen jälkeen tuotteelle tehtiin päästöanalyysi, josta nähtiin jakoviivan sijoitus. Jakoviivan moinutkaisuuden takia SolidWorksin automaattinen jakoviivan luontityökalu ei toiminut halutulla tavalla. Jakoviiva tehtiin projisioimalla tarvittaville pinnoille käyriä. Käyrien projisioinnin jälkeen jakoviiva tarkistettiin päästöanalyysillä ja todettiin sen kulkevan oikealla kohtaa. Sulkupintojen tekoon käytettiin SolidWorksin automaattitoimintoa, joka toimi kahta pintaa lukuun ottamatta hyvin. Kaksi epäonnistunutta sulkupintaa korjattiin luomalla kaksi pursotuspintaa ja trimmaamalla ne käyrillä oikeankokoisiksi. Muottipuoliskojen jakopintojen automaattinen luonti epäonnistui ja pinnat päätettiin mallintaa itse. Pinnat luotiin pursotuspintoina, joiden pohjana käytettiin jo olemassa olevia jakoviivan käyriä. Pinnat trimmattiin jakoviivan ja pursotettujen pintaprimitiivien avulla. Sulkupinnat neulottiin yhtenäisiksi kuvion 5 osoittamalla tavalla ja muottipuoliskojen halkaisu aloitettiin



KUVIO 5. Sulkupinnat ja jakoviiva

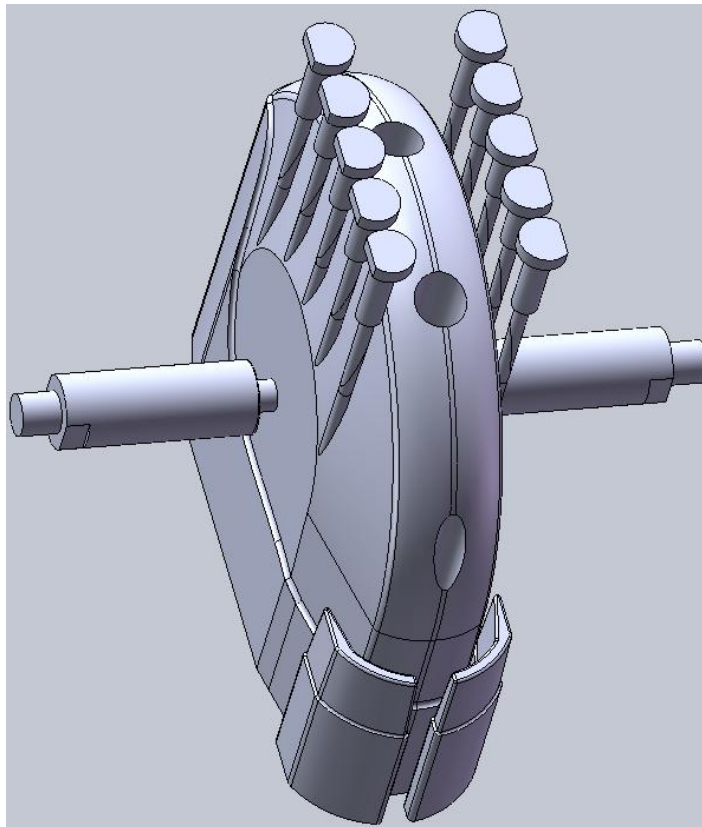
4.3 Muottilevyjen suunnittelu

Muottipuoliskot halkaistiin Core/Cavity-toiminnon avulla etu- ja takamuottipuoliskoiksi. Muotin jakotaso trimmattiin tuotteen valmisteluosuudessa tehdyillä jakopinnoilla. Muottilevyihin suunniteltiin vesikierrat: etumuottilevyn vesikierto kahteen ja takamuottilevyn kolmeen tasoon kuvion 6 osoittamalla tavalla.



KUVIO 6. Muottilevyjen vesikierto

Muottipuoliskojen keernoitus suoritettiin SolidWorksin Core-toiminnolla. Toiminto leikkasi valmiiksi määriteltyjen käyrien avulla kuvion 7 mukaiset keernat muottilevyistä. Etumuottilevyn keernoihin lisättiin kartio-ohjauspintoja, jotta ne eivät katkeaisi massasulan vaikutuksesta. Takamuottilevyn keerna-aukot suunniteltiin suoriksi ilman päästöä, keernojen pohjiin tehtiin kierrereiät tukilevyn läpi tulevia pultteja varten. Etumuotin keernatapit suunniteltiin niin, että ne voitaisiin valmistaa viiden millin ulostyöntötapeista. Etumuottilevyn keernojen lukitus toteutettiin leikkaamalla osa kannasta pois. Etumuottilevyyn leikattiin keernojen kannanupotukset ja keernojen lukitustapin tasku. Tuotteen syöttö suunniteltiin tässä prototyypivaiheessa yksinkertaisesti avosuuttimella valmistuksen helpottamiseksi. Etumuottilevyyn leikattiin sivuliikkuvia varten väistötaskut ja 14 millimetrin keernareikä. Etumuottilevyn sivuihin leikattiin myös M8-kierrereiät sylinterin kiinnityslevyjä varten.

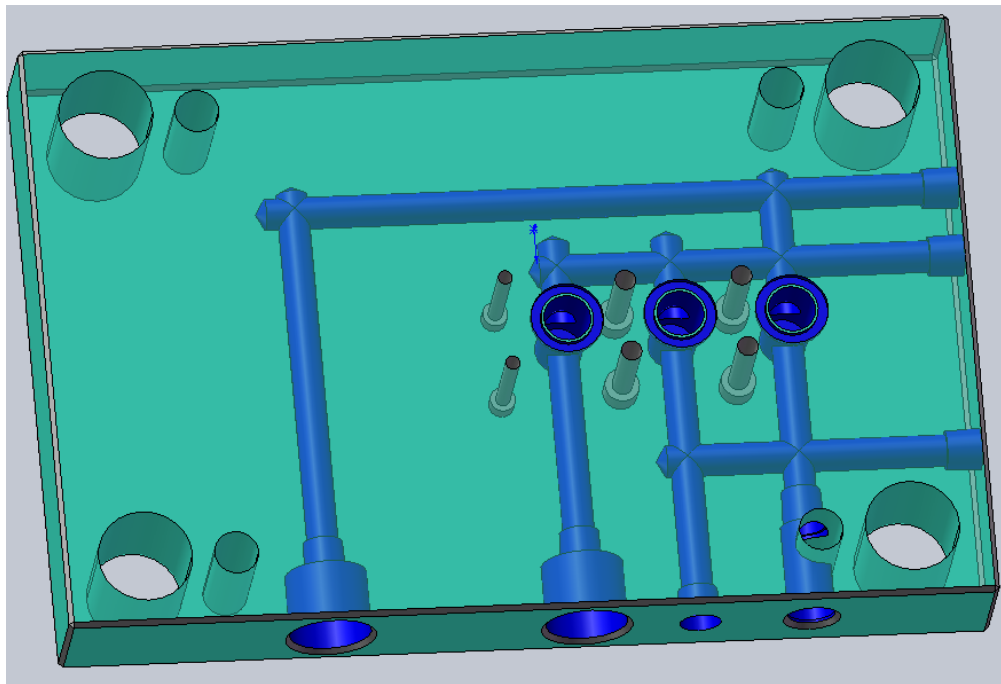


KUVIO 7. Keernat

Takamuottilevyyn suunniteltiin kappaleen ulostyöntö ja pakkopalauttajat. Ulostyöntötappeja pyrittiin laittamaan reilusti, jotta tuote irtoaisi varmasti. Tuotteen varsiosaan mallinnettiin viisi kappaletta kuuden millin ulostyöntimiä. Takamuottipuuoliskon isoon keernaan laitettiin kaksi kymmenen millin ja kaksi kuuden millin ulostyönnintä.

4.4 Tukilevy ja kiinnityslevyt

Tukilevyyn suunniteltiin vapaareiät ulostyöntötapeille ja pakkopalauttajille. Levyn alapintaan tehtiin kannanupotukset keernojen pultteja varten. Tukilevyyn suunniteltiin lisäksi vesikierto, josta jäähdytysvesi ohjattiin vesilistojen avulla keernaan. Vesikierto toteutettiin halkaisijaltaan 10 mm:n vesirei'illä ja 15 mm:n vesikaivoilla kuvion 8 osoittamalla tavalla.



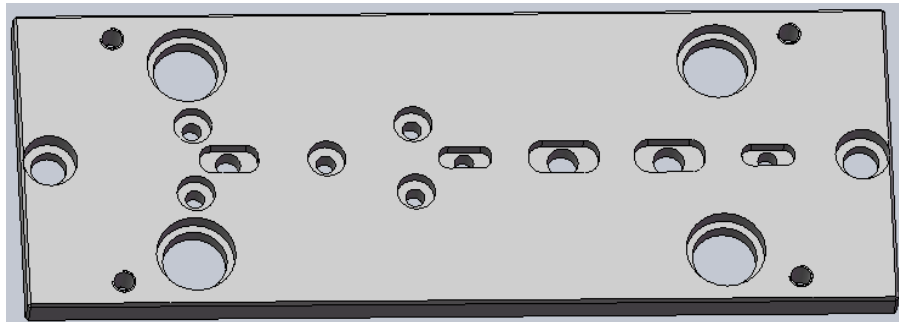
KUVIO 8. Tukilevyn vesikierto

Etukiinnityslevyyn leikattiin 40 mm:n reikä suutinta varten ja reiän suu viistettiin väistämään ruiskutusyksikköä. Etukiinnityslevyyn leikattiin myös 90 millimetriä halkaisijaltaan oleva ympyrätasku sekä M6-kierrereiät ohjausrenkaan kiinnitystä varten.

Takakiinnityslevyyn leikattiin 30 mm:n reikä ulostyöntötankoa varten sekä 12H7-reiät ulostyönnön ohjausta varten.

4.5 Ulostyöntölevyt

Ylempään ulostyöntölevyyn leikattiin neljä kappaletta 22H7-reikiä ulostyönnön ohjausholkkeja varten. Ulostyöntötappeja varten leikattiin vapaareiät ja ulostyöntötappien kantoja varten tehtiin kannanupotukset. Kaareviin pintoihin osuneet ulostyöntötapit lukittiin tekemällä kannanupotuksesta suorakaiteen muotoinen kuvion 9 mukaisesti. Alempaan ulostyöntölevyyn leikattiin myös ulostyönnön ohjausholkkien reiät sekä M16-kierreikä ulostyöntötankoa varten.

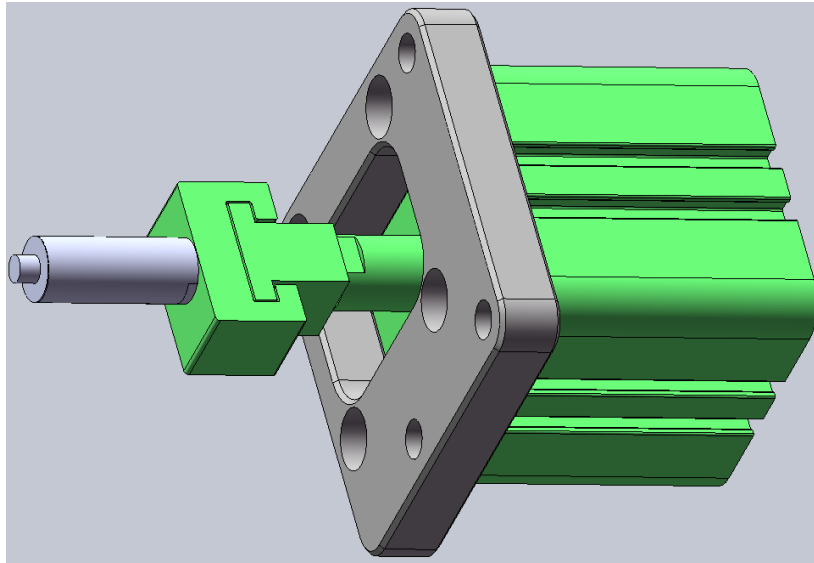


KUVIO 9. Ylempi ulostyöntölevy

4.6 Sivuliikkeet

Tuotteen akselireiän teko muotissa vaati sivuliikkeen. Sivuliike päätettiin toteuttaa sylinterillä. Sylintereiksi valittiin Feston ADVU-50-25PAS6- paineilmasylinterit. Suunnittelu aloitettiin mallintamalla männänvarren päähän liitettävistä t-paloista. T-palojen ympärille mallinnettiin t-urapalat, johon sivuliikkeen keerna

liitettiin. Palojen väliin jätettiin 0,2 mm:n välys helpottamaan muotin kasausta. Sylinterejä varten suunniteltiin kiinnityslevyt, joihin sylinterit kiinnitettiin M8-pulteilla. Sylinterin kiinnityslevyihin leikattiin M8-pultinreiät ja kannanupotukset sekä suorakaideaukko mäntäasetelmaa varten. Kuviossa 10 on sylinteriasetelman kokoonpano.



KUVIO 10. Sylinteriasetelma

5 MUOTINVALMISTUS

5.1 CAM-suunnittelu

Muotin valmistaminen aloitettiin työstöratojen ja elektrodien suunnittelusta. Suunnittelussa käytettiin Delcamin PowerMill- ja PowerShape-ohjelmia. Työstöratasuunnittelua vaativat osat olivat etumuottilevy, takamuottilevy ja ylempi ulostyöntölevy. Tarvittavat elektrodit päätettiin työstöratasuunnittelun ohessa. Elektrodeja suunniteltiin kolme kappaletta: etumuottilevyyn yksi ja takamuottilevyyn ja keernoihin kaksi. Etumuotin elektrodi nimettiin A1 ja takamuotin kaksi elektrodia B2 ja B3. Elektrodeille valmistettiin työstöradat suurnopeustyöstöä varten. Elektrodit valmistettiin grafiitista. Grafiittia on saatavilla eri laatuluokissa erittäin hie-

norakeisista laaduista suurirakeiseen karkeatyöstölaatuun. Grafiitin raekoko vaikuttaa elektrodiin työstetyn pinnan laatuun ja edelleen kipinätyöstetyn työkappaleen pinnan laatuun. Mitä pienempi raekoko, sen parempi pinta elektrodiin saadaan työstämällä ja sen parempi pinta on kipinätyöstetyssä kappaleessa. Elektrodiin materiaaliksi valittiin SGL Carbon R8650-kipinätyöstögrafiitti. R8650-kipinätyöstögrafiitilla on erittäin hyvät kulumisominaisuudet ja suuri aineenpoistokyky, ja sitä voidaan käyttää rouhinta- että viimeistelytyöstössä. Taulukossa 3 on kuvattu kipinätyöstögrafiittien mekaanisia ominaisuuksia.

TAULUKKO 3. Kipinätyöstögrafiitit

	R8500	R8650	R8710	Yksikkö
Tiheys	1,78	1,85	1,87	g/cm ³
Raekoko	10	7	3	µm
Huokoisuus	13	10	10	%
Taivutuslujuus	48	65	80	N/mm ²
Puristuslujuus	120	120	200	N/mm ²
Kimmomoduuli	12	13,5	14	kN/mm ²
Ominaisvastus	14	16	13	µOhm
Lämmönjohtavuus	80	70	100	W/mK
Lämpölaajenemiskerroin	3,7*10 ⁻⁶	3,6*10 ⁻⁶	4,3*10 ⁻⁶	1/mK
Kovuus Rockwell B 5/100	80	105	105	

5.2 Jyrsintä

Levyt jyrsittiin Heidenhain iTNC510-ohjauksella varustetulla Hermle C30U-työkalujyrsimellä. Työkalujyrsin on varustettu 32-paikkaisella työkalunvaihtajalla. Kappaleet kiinnitettiin koneruuvipuristimeen ja koneen pöytään. Jyrsintäprosessi koostui asetuksen tekemisestä, kappaleen suoruuden tarkistuksesta mittakellon avulla, nollapisteiden asetuksesta ja työstöradan ajosta. Niihin levyihin, joihin ei ollut valmistettu työstörataa, käytettiin käsiohjelmointia ja ohjauksen tarjoamia valmiita työkiertoja. Muodot rouhittiin auki kipinätyöstöä varten ja jakotasot viimeisteltiin valmiiseen mittaan. Taulukossa 4 olevasta työvaihesuunnitelmasta selviää takamuottilevyn jyrsinnän koneistusvaiheet yksilöitynä.

TAULUKKO 4. Takamuottilevyn työvaihesuunnitelma.

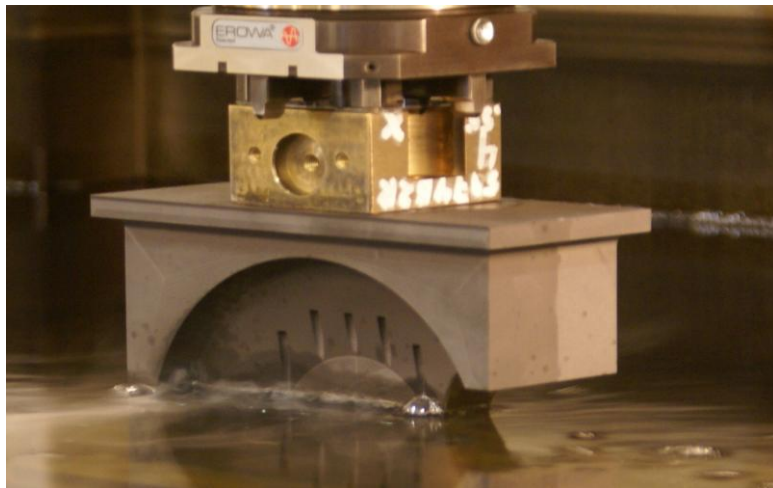
	Työvaihe	Työkalu/kiinnitin	Leikkuunopeus m/min	Syöttö mm/min	Mittaväline
1	Kiinnitys 1	Koneruuvipuristin			Mittakello
2	Poraus	Guhring CarbideØ 12,2	70	528	
3	Poraus	Guhring CarbideØ 10	70	576	
4	Poraus	Guhring CarbideØ 7,9	70	510	
5	Poraus	Guhring CarbideØ 6,5	70	532	
6	Poraus	Guhring CarbideØ 5,9	70	488	
7	Poraus	Guhring CarbideØ 3	70	576	
8	Kalvinta	HSS Ø8H7	8	38	
9	Kalvinta	HSS Ø6H7	8	26	
10	Kiinnitys 2	Koneruuvipuristin			Mittakello
11	Rouhintä	CoroMill 300 Ø32R5	245	2450	
12	Väliviimeistely	CoroMill 300 Ø16R4	245	1470	
13	Väliviimeistely	CoroMill 300 Ø12R3,5	245	1300	
14	Viimeistely	Fraisa Sphero-XR Ø12R6	300	3200	
15	Viimeistely	Guhring Ø12R1,5	250	2600	
16	Viimeistely	Guhring Ø6R1	200	2100	
17	Viimeistely	Fraisa MicroX Ø3R1,5	120	2000	
18	Viimeistely	Fraisa MicroX Ø2R1	120	1800	Kaarimikromet- ri

5.3 Kipinätyöstö

Muottityökalujen sekä muodoltaan erikoisten työkappaleiden, reikien ja kolojen valmistus on hyvin vaikeaa ja monesti mahdotonta perinteisillä lastuavilla työstömenetelmillä. Tällaisiin töihin sopii kipinätyöstö. Kipinätyöstössä johdetaan sähkövirta työkalusta, elektrodista, työkappaleeseen väliaineen läpi. Tämä sähkövirta kulkee kipinä, joka irrottaa työkappaleesta pieniä ainesosasia. Väliaineena oleva huuhteluneste kuljettaa hiukkaset pois. (Ansaharju & Maaranen 1997, 582.)

Elektrodit jyrtsittiin Röders-suurnopeusjyrtsinkoneella tappi- ja pallopäisillä täyskovametalliterillä. Kipinätyöstöä vaatineet osat olivat etumuottilevy, takamuottilevy sekä takamuottilevyn keernat. Takamuottilevyn keerna-aukot sekä keerna-aihiot työstettiin Fanuc Robocut-lankakipinätyöstökoneella. Lankakipinätyöstöradat generoitiin työkappaleen 3D-mallista otetuista käyristä.

Etu ja takamuottilevyjen syvät muodot sekä keernat työstettiin Charmilles Roboform- uppokipinätyöstökoneella. Elektrodit mitattiin Johansson-koordinaattimittauskoneella ja mittatiedot luettiin uppokipinätyöstökoneen ohjaukseen. Mittatiedot sisälsivät elektrodin pituuskorjaimen, kiertymän ja sijainnin, elektrodijalkaan nähden. Tällä tavoin eliminoitiin mahdolliset paikoitusvirheet. Elektrodien alimitta, loppusyvyys, tavoiteltu pinnankarheus sekä työstöstrategia ohjelmoitiin uppokipinätyöstökoneeseen. Kipinätyöstökoneiden valmistajat antavat patametreille ohjearvoja. Mitä suurempaa jännitettä ja virtaa käytetään, sitä epätasaisempi työstetystä pinnasta tulee, mutta samalla työstönopeus kasvaa. Tästä syystä työstö tehdään tavallisesti kahdessa vaiheessa: karkeatyöstövaihe ja viimeistelyvaihe. Karkeatyöstövaiheessa kipinätyöstökone säädetään poistamaan ainetta tehokkaasti ja nopeasti. Viimeistelyvaiheessa aineenpoistonopeus ei ole yhtä suuri. Tarkoituksena on työstää mahdollisimman suurella tarkkuudella. Pinnanlaatutavoitteet olivat etumuottilevyyn VDI 24 ja muihin osiin VDI 28. Etumuottilevyyn haluttiin parempi pinnanlaatu, jotta tuote irtoaisi etumuotista varmemmin. Kuviossa 11 on takamuotin kipinätyöstöä.



KUVIO 11. Takamuotin keernan uppokipinätyöstöä (TK-Työkalutiimi 2010)

5.4 Muotin kokoonpano

Takamuottipuolisko kokoonpantiin jo alustavasti uppokipinätyöstää varten. Osa ulostyöntötapeista osui kaarevaan muotoon, kaareviin pintoihin osuvat tapit päätettiin uppokipinätyöstää muotoonsa. Ulostyöntötapit katkaistiin lähelle lopullista mittaansa ja lukittavien tappien kannat muotoiltiin. Ulostyöntöasetelma kasattiin ja siihen asennettiin ohjausholkit ja kuulakorit. Ulostyöntöasetelmaa nostettiin 20 mm ylöspäin, jotta ulostyöntötapit päästiin kipinätyöstämään kuvion 12 mukaisesti.



KUVIO 12. Ulostyöntötappien uppokipinätyöstää (TK-Työkalutiimi 2010)

Vesireikiä yhdistävien reikien suut tulpattiin ja veden sisäänmeno- ja ulostulo-reikiin asennettiin R1/4 vesinipat. Tukilevyn ja keskikeernan yhdistäviin vesikaivoihin asennettiin vesilistat ja o-renkaat. Vesilistojen päät leikattiin viistoiksi, jotta jäähdytysvesi kulkisi niiden yli paremmin. Takamuottilevyn asennettiin keernat, ohjausholkit ja tukilevy asetettiin paikalleen, jolloin keernat päästiin pulttaamaan kiinni. Pienemmistä keernoista poistettiin kipinäpinta viilauskoneella, jotta kappale irtoaisi muotista paremmin. Etumuottilevyn asennettiin suutin ja muottipuoliskot kohdistavat ohjaustapit. Kiinnityslevyt asetettiin paikalleen, etukiinnityslevyyn asennettiin ohjausrenkas ja takakiinnityslevyyn ulostyöntön ohjaustapit.

Muotin sulkua tutkittiin sovitusvärin avulla kuvion 13 mukaisesti, muotti ei sulkenut kunnolla kaikista kohdista, jakotason monimutkaisuuden takia. Etumuottilevyn jakotaso kevennettiin jyrsimällä muottipesän ympäriltä ylimääräistä ainetta pois. Jakotason teräviä nurkkia viilattiin jouheammiksi ja muotti saatiin sulkemaan kohtalaisesti.



KUVIO 13. Jakotason sovitusvärjäys. (Työkalutiimi 2010)

6 KOEPURISTUS

Koepuristus suoritettiin TK-Työkalutiimin tiloissa Engel 80EC88-ruiskupuristuskoneella. Raaka-ainetta kuivattiin kuusi tuntia 85 °C:een lämpötilassa. Muotti nostettiin koneeseen ja kiinnitettiin muottipöytiin sekä vesikierron letkut asetettiin paikoilleen. Koneen ohjaukseen asetettiin tarvittavat parametrit, mm muotin korkeus, avausmatka, suojausmatka, sulkuvoima, ruiskutuspainetta, ruiskutuspainetta rajoitus ja muotinsuojapaine. Ulostyöntö nollattiin, ulostyöntömatka asetettiin ja ruiskutusyksikkö nollattiin suuttimen päähän. Muottilämmöt asetettiin 120 °C:seen ja sylinterilämmöt suuttimesta lukien 255 °C, 265 °C, 265 °C, 250 °C, 50 °C. Koepuristus aloitettiin pienellä annoksella ja kasvatettiin asteittain, jotta nähtiin muotin täyttyminen.

Tuote alkoi jäädä etumuottipuoliskoon kiinni ja aiheutti ongelmia. Kappale poistettiin etumuotista manuaalisesti. Ongelman ratkaisuksi päädyttiin nostamaan etumuotin lämpötilaa 120 °C:sta 125 °C:seen. Lisäksi etumuottiin ruiskutettiin teflonsprayta edesauttamaan kappaleen irtoamista.

Etumuotin lämpötilan nosto ratkaisi ongelman, ja kappaleet eivät jääneet enää kiinni etumuottiin. Muotin sulku ei toiminut optimaalisesti ja tuotetta ei pystytty ruiskuttamaan halutulla nopeudella täyteen. Tämä aiheutti visuaalisesti huonon pinnanlaadun. Tuotetta koetettiin ajaa täydellä ruiskutuspainella ja jälkipaineella, joka aiheutti kuviossa 14 näkyvää purseen muodostumista. Lopulta päädyttiin ajamaan purseettomia tuotteita pienemmällä ruiskutusnopeudella ja jälkipaineella. Ruiskuvalukone oli kapasiteetiltaan hieman liian pieni, ja prosessista ei saatu täysin vakaata.



KUVIO 14. Purseen muodostuminen (TK-Työkalutiimi 2010)

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa kohtuullisen edullinen, mekaanisesti kestävä prototyyppi rullasuksen lokasuojasta. Materiaalivalinta ei tuottanut ongelmia koska TK-Työkalutiimillä oli kokemusta kyseisestä raaka-aineesta entuudestaan. Tuotteen ulkonäön suunnitteluun annettiin vapauksia ja siitä pyrittiin suunnittelemaan virtaviivainen, mutta kestävä. Lopulliseen tuotemalliin päädyttiin muutaman mallimuutoksen jälkeen. Tuotteen kartioreikiä muutettiin kahdesti, jotta ne saatiin valmistusteknisesti paremmiksi, ja muutamia jakotason kannalta ongelmallisia kohtia paranneltiin

FEM-analyysin käyttö tuotesuunnittelun tukena oli hyvin tarpeellista, tuotteen monimutkaisuuden takia. Perinteinen lujuuslaskenta olisi ollut erittäin hankalaa ja tuotetta olisi tarvinnut yksinkertaistaa.

Muottisuunnittelu onnistui pääosin hyvin muutamaa jakotason terävää kohtaa lukuun ottamatta. Jakoviiva olisi pitänyt suunnitella muutamasta kohtaa jouheammaksi, jouhentaminen olisi helpottanut koneistusta.

CAM-suunnittelu ja lastuava työstö onnistui hyvin, joskin moniakselijyrsintää olisi pitänyt hyödyntää vielä enemmän. Moniakselisuuden parempi hyödyntäminen olisi tuonut prototyyppimuotin kustannuksia alemmas. Elektrodit onnistuivat hyvin, ja niiden alimitat todettiin olevan kohdallaan koordinaattimittauksen avulla. Lankakipinätyöstetyt keerna-aukot olivat mitoillaan ja muotin kokoonpano sujui keernojen osalta sujuvasti. Muotin kokoonpanossa ainoa ongelma oli, että ensimmäisessä sovituksessa muotin jakotaso jäi keskeltä auki 0,1 mm. Ongelma korjaantui osittain etumuotin jakotason kevennyksellä ja pienellä viilauksella.

Tuotteelle ehdittiin tämän työn puitteissa tekemään vain yksi koeajo, koeajosta saatiin muutama hyvä kappale ja täytösmallit. Täytösmalleista päästiin toteamaan yhdyssaumojen paikat ilmauksia varten. Koeajossa prosessia ei saatu täysin vakaaksi, koska muotin sulkua ei toiminut kunnolla ja ruiskuvalukoneen annos alkoi loppua kesken. Kappaleita jouduttiin ajamaan pienemmällä ruiskutusnopeudella ja jälkipaineella, jotta saatiin purseettomia tuotteita.

Tämä oli ensimmäinen suunnittelemani muovituote ja muotti. Mielestäni onnistuin minulle annetusta tehtävästä hyvin. Työ opetti uusia näkökulmia muottisuunnitteluun ja valmistukseen. Jatkossa tulen kiinnittämään huomiota jakotason jouhevuuteen ja työstömenetelmien valintaan. Vaikka tässä työssä pääsikin itse suunnittelemaan tuotteen, oli hyvin vaikeaa miettiä samanaikaisesti tuotetta suunniteltaessaan, minkälainen muotista tulisi. Tästä päätellen tuotesuunnittelijoilla tulisi olla ainakin jonkinlainen käsitys valmistustekniikasta.

LÄHTEET

Ansaharju, T. & Maaranen, K. 1997. Koneistus. Porvoo: WSOY.

Hietikko, E. 2007. SolidWorks Tietokoneavusteinen suunnittelu. 2. uudistettu painos. Tampere: Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja B 3/2007.

Järvelä, P., Syrjäla, K. & Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. 3. uudistettu painos. Tampere: Plastadata Oy.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: Muovifakta Oy.

Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosara, E. 1992. Lujuusoppi. 9. muuttumaton painos. Helsinki: Otatieto Oy.

Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. 3. tarkistettu painos. Helsinki: Tekijät ja Opetushallitus.

Solvay. 2010. Suomi [viitattu 5.4.2010]. Saatavissa: <http://www.solvay.com/>

Taideteollinen korkeakoulu. Helsinki [viitattu 11.3.2010]. Saatavissa: <http://www.taik.fi/>

TK-Työkalutiimi. 2010. Hollola [viitattu 1.3.2010]. Saatavissa: <http://www.tk-tyokalutiimi.fi/index.php?sivu=etusivu>

Uddeholm Oy. 2010. Vantaa [viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: <http://www.uddeholm.fi/>