



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

SÄHKÖTOIMISEN KUULA-ASEEN VIRITYSMÄNTÄ

Suunnittelutyö

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Materiaalitekniikka
Muovitekniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Lauri Mäki

Lahden ammattikorkeakoulu
Materiaalitekniikan koulutusohjelma

MÄKI, LAURI:

Sähkötoimisen kuula-aseen viritysmäntä
Suunnittelutyö

Muovitekniikan opinnäytetyö, 38 sivua, 2 liitesivua

Syksy 2015

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella viritysmäntä sähkötoimisiin kuula-aseisiin. Työssä tehtiin tuotesuunnittelua 3D-ohjelmistolla, ja hyödynnettiin simulaatio-ohjelmia jännitysanalyysihin ja valmistettavuuteen. Suunnittelu pohjautuu materiaalitekniikan opinnoilla kertyneeseen tietotaitoon, ja omaan kokemukseen kuula-ase -teknikkona. Suunnittelun jälkeen valittiin perustellusti materiaali ja valmistusmenetelmät.

Viritysmännän prototyypin ja näköismallien valmistuksessa hyödynnettiin 3D-tulostusmenetelmää. Prototyypille tehtiin lopuksi sopivuustesti asentamalla se käsin rataslaatikkoon, ja tutkimalla sen toimintaa muiden rataslaatikon komponenttien kanssa. Prototyypille tehtiin vielä toimivuustesti, jossa se asennettiin rataslaatikkoon ja koneistoa käytettiin usean sadan syklin ajan.

Asiasanat: Mäntä, PA66, PA6, PEI, PPA, POM

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Materials Engineering

MÄKI, LAURI:

Upgrade piston of an electric airsoft gun
Design project

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering
appendices

38 pages, 2 pages of

Autumn/Spring 2015

ABSTRACT

The subject of this thesis was to design an upgrade piston for an electric airsoft bb-gun. The work included product development and design with 3D software, and made use of structural strength analysis and injection mold analysis. The design is the result of materials engineering studies and personal experience as an airsmith. After the design phase was finished, the process of choice of material was conducted.

A prototype was manufactured via 3D printing technology. The fitment of the prototype was tested by physically fitting it inside a gearbox and examining its proper interaction with other components of the gearbox. After the prototype was fitted in the gearbox, it was fired for a couple hundred cycles to ultimately test function.

Key words: Piston, PA66, PA6, PEI, PPA, POM

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	AIRSOFT-LAJI LYHYESTI	2
3	TUOTEKUVAUS	3
4	SUUNNITTELU	6
5	MATERIAALIT	12
5.1	POM – polyoksimeteeni	12
5.2	PA - polyamidi	12
5.3	PEI - polyeetteri-imidi	13
5.4	PPA - polyftaaliamidi	14
5.5	AISI 4130	14
5.6	AISI 8615	15
5.7	AISI 9310	16
6	MATERIAALIEN VALINNAT	17
6.1	Männän rungon materiaalin valinta	17
6.2	Hammastangon materiaalin valinta	21
7	LUJUUSLASKENTA JA ANALYYSI	23
8	RUISKUVALUANALYYSI	27
9	PROTOTYYPPI	31
10	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	39

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan sähkötoimisen kuula-aseen mäntä. Kuula-aseita käyteään airsoftissa, josta kerrotaan vielä tarkemmin työn ensimmäisessä kappaleessa. Työn tavoite on suunnitella muista erottuva ja uudenlainen viritysosa markkinoille.

Työn alussa kuvataan lyhyesti sähkötoimisen kuula-aseen toimintaperiaate ja selvitetään männän toiminta koneistossa. Kuvausta seuraa suunnitteluvaihe, jonka alussa pohditaan jo olemassa olevia ratkaisuja, niiden ongelmia ja miten niitä voisi kehittää eteenpäin. Suunnittelun yhteydessä suoritetaan materiaalinvalinnat. Suunnittelun loppuvaiheessa männän muotoilua optimoidaan tekemällä kuorma-analyysjä ja tutkitaan varmuuskertoimia kestävyuden suhteen. Suunnittelun valmistuttua kappaleelle tehdään ruiskuvaluanalyysi, jolla selvitetään kappaleen kutistumaa, vahvistuskuitujen orientaatiota, vääntyilyä, imuja, yhtymäsaumoja ja etsitään optimaali ruiskutuspaiste.

Viimeisessä kappaleessa teetetään 3D-tulostetut prototyypit ja näköismallit, ja valmistettiin hammastanko männälle. Prototyyppeä lisäksi testattiin rataslaatikossa.

2 AIRSOFT-LAJI LYHYESTI

Airsoft on Japanista lähtöisin oleva urheilulaji, jossa osallistujat eliminoivat vastapelaajia ampumalla heitä kuula-aseilla. Kuula-aseita kutsutaan airsoft-aseiksi, ja ne muistuttavat ulkonäöltään oikeita aseita (kuvio 1). Kuulat ovat muovisia eivätkä hajoa tai jätä jälkeä pelaajiin osutessaan.

Pelimuotoja on lyhyistä kilpailuhenkisistä pelikierroksista pitkiin useamman päivän skenaariopeleihin. Useimmat pelit ovat niin sanottuja viikonloppupelejä, joissa osallistujat jaetaan kahteen joukkueeseen, ja pelikentällä ainoa tavoite on eliminoida vastapelaajat. Pelimuotoja voidaan soveltaa erilaisiin lipunryöstöihin tai kohteen puolustamiseen. Pitkäkestoisemmat pelit perustuvat usein johonkin oikeaan tosielämän tapahtumaan tai taisteluun, tai voivat vaihtoehtoisesti olla täysin kuvitteellisia taustaltaan. (Wikipedia 2015)

Kuula-aseita usein viritetään ennalta määrättyjen rajoitusten mukaisesti. Virityksillä pyritään parantamaan kuula-aseiden kantamaa, tarkkuutta ja tulinopeutta pelillisen edun saamiseksi. Virittäminen vaatii osien vaihtamisen kestävämpiin, ja viritysosia on tänä päivänä saatavilla runsaasti kaikenlaisille virityksille. Tässä opinnäytetyössä keskitytään sähkötoimisen kuula-aseen viritysosien suunnitteluun.



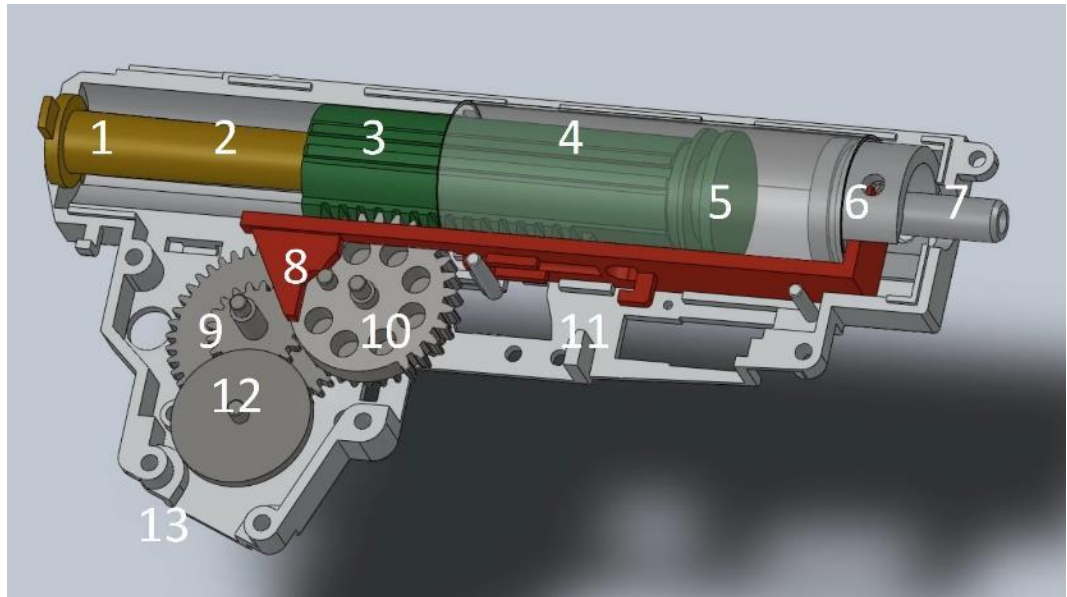
Kuvio1. Sähkötoiminen airsoft-ase

3 TUOTEKUVAUS

Tässä opinnäytetyössä suunniteltu osa on sähkötoimisen kuula-aseen mäntä. Sähköllä toimiva kuula- eli airsoft-ase, tai englanniksi automatic electric gun (AEG) on mekaaninen laite, joka kokoonpuristetun jousen voimalla puristaa ilmaa kasaan ja puhaltaa muovikuulia piipustaan ulos. Toiminnan kannalta keskeinen osa mäntä välittää sähkömoottorin ja rattaiston välittämän voiman kokoonpuristuvalla jouselle, joka vapautuessaan palauttaa männän eteen tiivissä ilmasynterissä. Ilma johdetaan sylinteristä suuttimen kautta piippuun, jolloin kuula lentää piipusta ulos. Moottori on harjallinen tasavirtamoottori, jonka voimanlähteenä käytetään yleensä 7,4 V- tai 11,1 V LiPo- akkua.

Keskiverto sähkötoiminen kuula-ase ampuu noin 15 laukausta sekunnissa 0,20 g painoisen kuulan lähtönopeuden ollessa noin 100- 110 m/s. Virityksillä pyritään parantamaan aseiden pelitehokkuutta lisäämällä tulinopeutta ja korkeamman lähtönopeuden tuomaa kantamaa. Viritettynä sähkötoiminen kuula-ase voi ampuu yli 50 laukausta sekunnissa, ja lähtönopeutta voidaan nostaa 200 m/s:iin asti. Virityksissä pyritään tyypillisesti lisäämään joko tulinopeutta tai lähtönopeutta, mutta harvemmin molempia voidaan virittää pitkälle yhtä aikaa. Virittäminen vaatii kestävämpiä osia, ja tässä työssä suunnitellaan mäntä kaikista vaativimpiin virityksiin. Mäntä on yleensä se osa, joka pettää raskaasti viritetyssä aseessa. Markkinoilla on jo kymmeniä erilaisia vahvistettuja mäntiä, mutta viritäjien keskuudessa on koettu tarve vielä vahvemmille männille. (Airsoft Mechanics 2015)

AEG:n koneistoa kutsutaan rataslaatikoksi. Sen pääkomponentit ovat esitetty kuviossa 2. numeroin lueteltuna. Rataslaatikossa on lueteltujen osien lisäksi muita toimintoja luovia osia, jotka eivät ole näkyvillä. Näitä ovat mm. tiivisterenkaat, liipaisinkoneisto, rattaiden laakerit, suutinlevyn jousi ja rattaiden takaisinpyörimistä estävä ratashaka. Lisäksi rataslaatikon etuosaan kiinnittyy erillinen syöttökammio ja piippu tiivisteineen.



Kuvio 2. Rataslaatikon osat (Airsoft mechanics 2015)

1. Jousenohjain
2. Jousi (ei kuvassa)
3. Mäntä
4. Sylinteri (läpinäkyvä)
5. Männänpää
6. Sylinterinpää
7. Suutin
8. Suutinlevy
9. Alennusratas
10. Sektoriratas
11. Rataslaatikon kuoret
12. Kulmaratas

Moottori (ei kuvassa)

Tämän tyyppisen AEG rataslaatikon suunnitteli Japanilainen airsoft-aseita valmistava yritys nimeltä Tokyo Marui 1990-luvulla (Wikipedia 2015). Nykypäivänä kaikki sähkötoimiset airsoft aseet käyttävät tästä kopioituja rataslaatikoita, ja niiden käyttämät osat ovat pääosin yhteen sopivia keskenään.

AEG:n rataslaatikon voimanlähde on tasavirtamoottori, joka välittää pyörimisvoiman rattaiston kautta muihin rataslaatikon osiin. Rattaiston välityssuhde on vakiona 18,72:1, eli yhden sektorirattaan pyörähdystä kohden moottorin akseli pyörähtää 18,72 kertaa akselinsa ympäri. Rattaistoja on saatavilla 10:44:1 välityssuhteesta 45:1 välityssuhteeseen asti. Vääntävämpiä välityssuhteita ei tänä päivänä usein enää tarvita, koska viritysmoottorit ovat siirtyneet käyttämään voimakkaita neodmium magneetteja ferriittimagneettien sijasta, mikä moninkertaisti moottoreista saatavan väännön. Akkuina käytetään pääasiassa nikkeli-pohjaisia NiCd- ja NiMH akkuja ja tehokkaampia litium-pohjaisia LiPo ja LiFePo4 akkuja. Nämä tehokkaammat moottorit ja akut toisaalta ovat lisänneet koneiston muihin komponentteihin kohdistuvaa räsitusta, mikä vaatii niiltä parempaa kestävyyttä. Viritysten yleistyessä myös viritysosien määrä markkinoilla on kasvanut. Virittäminen on muodostunut airsoftin harrastajien keskuudessa omaksi osa-alueekseen. (Airsoft Mechanics 2015)

4 SUUNNITTELU

Lähtökohta oli suunnitella mäntä, joka eroaa edukseen jo markkinoilla olevista männistä kestävyydellään. Suunnittelu aloitettiin alkuperäisen osan pohjalta, eli Tokyo Maruin valmistamasta männästä (kuvio3). Männän mitoituksista ei ole olemassa standardeja, joten mitoitus täytyi tehdä suoraan käsin mittaamalla alkuperäisestä. Dimensiot mitattiin työntömitalla ja 3d-mallinnus tehtiin Solidworks 2014 -ohjelmistolla. Suunnittelussa tarkasteltiin jo olemassa olevia ratkaisuja, mietittiin niiden hyviä ja huonoja puolia sekä kehitettiin niitä pidemmälle ja keksittiin uusia ratkaisuja.



Kuvio 3. Tokyo Maruin vakiomäntä

Markkinoilla on olemassa monenlaisia viritysmäntiä. Tyypillisesti hampaiston ensimmäisen hampaan ainevahvuutta on kasvatettu tai sen sivuille on lisätty jäykistysrimat. Sillä pyritään ehkäisemään ensimmäisen hampaan irti halkeamista, mikä on tyypillinen hajoamistapa männälle. Tämä johtuu siitä, että sektoriratas poimii täydellä vauhdilla männän paikallaan olevasta tilasta, jolloin jousikuorma ja männän oma massa aiheuttaa iskumaisen kuorman poimimishetkeen. Rattaistossa ei ole tähän minkäänlaista iskuvaimennusta, joten männän materiaali tulee olla iskunkestävää ja väsymiskestävää. Suurempi jousikuorma ja syklinopeus lisäävät tarvetta vahvemmalle männälle.

Männässä ei ole mitään erillistä virekynttä, vaan se vapautuu eteen, kun sektorirattaan viimeinen hammas pyörähtää sen alta pois. Hampaiston loppupäässä on siis oltava teräshammas (kuvio 4), koska muovinen hammas ei kestäisi vapautuksesta aiheutuvaa pintapainetta teräksistä ratashammasta vasten.

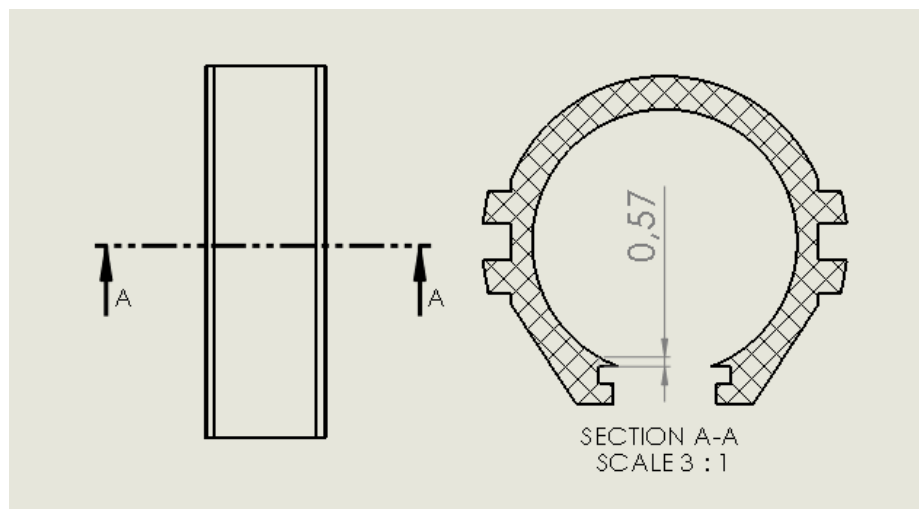


Kuvio 4. Erilaisia mäntiä

Teräksistä hammastankoa on usein kasvatettu useamman hampaan pituiseksi. Teräshampaita on vakio-aseissa yleensä 1 ja viritysmännissä 3, 7 tai 10. Kaiken kaikkiaan männässä on 16 hammasta. Teräshampaiden määrän kasvatus perustuu suuremman jousikuorman asettamaan tarpeeseen lisätä hampaiden kovuutta ja kulumiskestävyyttä.

On olemassa mäntiä, joiden kaikki hampaat on korvattu teräksisellä hammastangolla. Täysmetallihampaistus aiheuttaa kuitenkin ongelman siinä, ettei rataslaatikossa ole riittävästi tilaa muuttaa männän mittoja niin, että täyspitkä hammastanko kiinnittyisi männän runkoon riittävän lujasti. Useimmilla viritystasoilla täysmetallihammasmäntä kestää hyvin, mutta ne ovat muovihampaisia mäntiä epäluotettavampia. Hammastangon puutteellinen kiinnitys aiheuttaa sen, että suuremmilla kuormilla hammastanko repeytyy joko männästä kokonaan irti tai painautuu sen sisään. Sisäänpainuminen johtuu siitä, ettei männän rungon jäykkyys riitä pitämään hammastankoa urissan riittävän tukevasti ja siitä, ettei männän sisällä olevan jousen vaatiman tilan vuoksi

hammastankoa voi suoraan tukea alapuolelta. Kuviossa 5 on havainnollistettu tätä ongelmaa. Malli on tehty olemassa olevan muun valmistajan männän mukaan, jossa ongelma on merkittävä. Materiaalivahvuus vaihtelee valmistajien välillä. Sisäänpainumista voidaan välttää kasvattamalla hammastangon leveyttä, jolloin alta tukevan materiaalin pinta-ala ja ainevahvuus kasvaa. (Airsoft Mechanics 2015)



Kuvio 5. Hammastangon puutteellinen tukeminen alapuolelta

Hammastangon kovuus on myös ollut olemassa olevissa viritysmännissä ongelma. Käyttökohde on teräkselle vaativa, koska siltä vaaditaan iskunkestävyyttä, ja toisaalta myös kovuutta. Näiden ominaisuuksien yhdistäminen ohuessa hammastangossa on vaikeaa, koska ainevahvuudeltaan millimetrin paksuisen tangon lämpökäsittely on vaikea tehdä siten, että pinta saadaan kovaksi ja sisus joustavammaksi. Usein kovuuden suhteen on päädytty kompromissiin, jossa hammastangon kovuus jätetään kulumiskestävän ja iskunkestävän välimaastoon. Tyypillisesti mäntien hammastangot ovat valmistettu jauhemetallurgia menetelmällä tai teräksen ruiskuvalulla (MIM/Metal injection molding). Näillä menetelmillä tehdyt hammastangot eivät ole aivan yhtä lujia kuin jyrsimällä valmistetut hammastangot johtuen niiden huokoisuudesta. (Wikipedia 2015) Toisen ongelmakohtat havainnollistaa kuvio 6, jossa näkyy täysmetallihampaisen männän ohut kannake, joka kantaa valtaosaa hammastankoon kohdistuvasta

kuormasta.



Kuvio 6. Täysmetallihampaisen männän ohut tukiseinämä

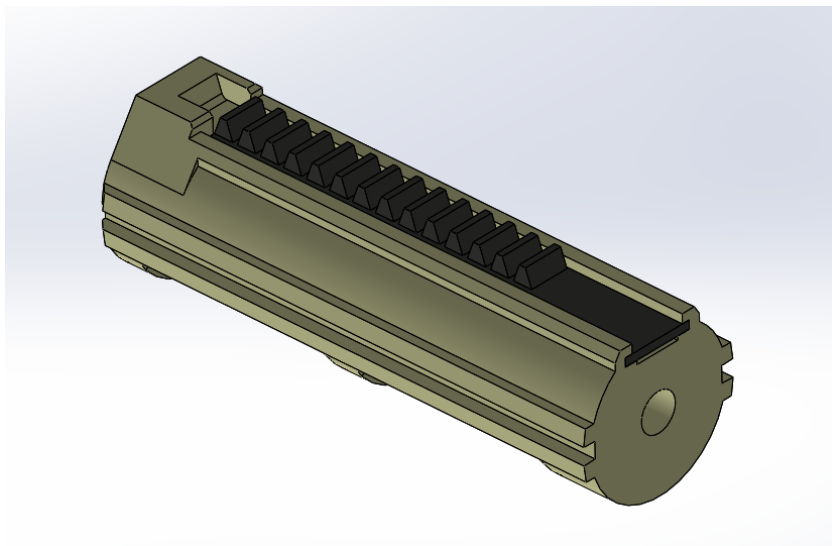
Hammastankoa tukevan kannakkeen ainevahvuutta ei voida kasvattaa, koska rataslaatikon mitoitus estää tämän. Myöskään hammastangon etäisyyttä männän kuvitteelliseen keskiakseliin ei voi muuttaa, jotta hammastangon ja sektorirattaan voimalinjat kohtaavat oikein. Kuvio 7 ilmenee, kuinka mäntä on taka-asennossaan lähellä rataslaatikon päätä. Tämä estää materiaalivahvuuden lisäämisen männän takaosaan.



Kuvio 7. Mäntä taka-asennossaan.

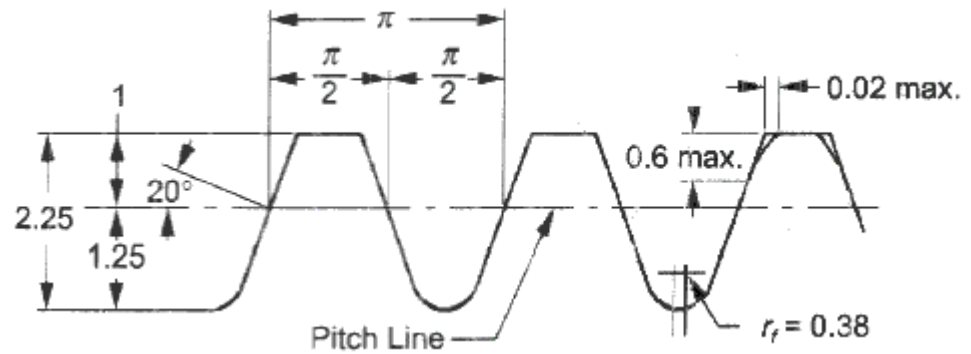
Täysmetallihampaisen männän ollessa lujuusteknisistä syistä epärealistinen

mietittiin sellaista ratkaisua, jossa kaikki hampaat ensimmäistä lukuunottamatta valmistettaisiin teräksestä. Kun ensimmäinen hammas pidetään muovisena, sitä voidaan lujittaa sivuilta tehokkaammin. Samalla hammastanko kiinnittyy runkoon varmemmin, sillä tällöin hammastanko lepää moninkertaisesti vahvempaa kannaketta vasten kuin männässä, jossa koko hampaisto on korvattu erillisellä hammastangolla. Eli mäntä, jossa on vahvistettu muovinen ensimmäinen hammas, kestää suurempaa iskuenergiaa kuin mäntä, jossa vastaava hammas on terästä. Ensimmäisen hampaan ollessa myös muovinen, toimii se myös iskunvaimennuksessa, ja vähentää sektorirattaan kulumaa. Hammastanko voidaan myös karkaista kovemaksi, koska sen ei enää tarvitse kestää iskukuormia. Tämä idea lopulta valittiin, ja alla on kuva lopullisesta versiosta.



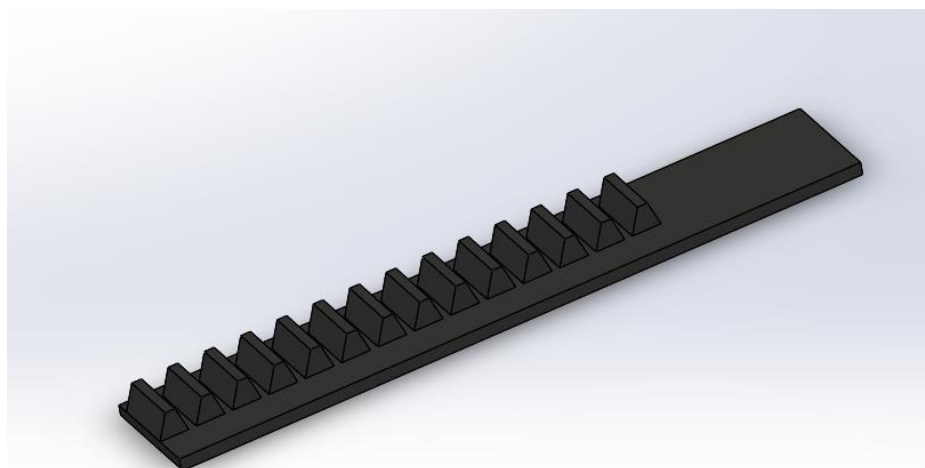
Kuvio 8. Suunniteltu mäntä

Hammastangon mitoitusta varten mitattiin Tokyo Maruin männän hampaiden mitat. Hampaiden havaittiin olevan standardi moduulikokoa 2.0 mm, ja ryntökulma on 20 astetta. Hammastus mitoitettiin kuvio 9:ssä esitetyn piirustuksen mukaan ilman pyöristyksiä. Suunniteltu hammatanko on esitetty kuviossa 10.



Kuvio 9. Moduuli 2.0 mm hampaiden mitat (Roymech 2015)

Hammastangon voimalinjan (pitch line) positio eli etäisyys sektorirattaasta mitattiin suoraan Tokyo Maruin männän mittojen mukaan. Tämä tarkkuus riittää, koska rataslaatikoiden ja niiden sisäisten osien valmistajia on paljon, ja niiden välillä on havaittu olevan pieniä mittaeroavaisuuksia. Työntömitan mittaustoleranssia paremman tarkkuuden tavoittelemisesta ei tässä tapauksessa hyödytä. Käytännössä mitoitusta ei voi tehdä tarkemmin, koska rataslaatikon mitoista ei ole virallista standardia. Mitoituksen suhteen täytyisi luottaa rataslaatikosta tehtyyn 3D-malliin, jonka mitoitustarkkuus on joka tapauksessa samaa suuruusluokkaa.



Kuvio 10. Suunniteltu teräksinen hammastanko

5 MATERIAALIT

Mekaanisia osia korvataan tänä päivänä yhä useammin täysin muovisilla osilla. Muoviosilla säästetään kustannuksia, voitelun tarve vähenee ja tärinää sekä ääntä muodostuu vähemmän. Männän runkoon valitaan muovimateriaali, ja hammastangolle teräs. Tässä kappaleessa esitellään materiaalit, jotka valittiin materiaalin valintaprosessiin.

5.1 POM – polyoksimeteeni

Polyoksimeteeni/polyasetaaali eli POM on osakiteinen tekninen muovi, joka on jäykkää, vahvaa ja virusmiskestävää. Se soveltuu erityisen hyvin mekaanisille osille, sillä sen väsymiskestävyys ja kulumiskestävyys ovat erinomaisia.

Polyasetaaalin kiteisyysaste on hyvin korkea, mikä luo sille lähes metallimaiset fyysiset ominaisuudet, joita ovat mm. jousimaisuus ja dimensiostabiiletti.

Polyasetaaalin heikkouksia ovat suuri muottikutistuma, vaikea liimattavuus ja mikromurtumien muodostuminen jännitettynä. Polyoksimeteenin mekaaniset ominaisuudet ovat esitelty taulukossa 1.

Polyasetaalista valmistetaan mekaanisia osia, kuten hammaspyöriä, liukulaakereita, joustavia rakenteita ja koneenosia (Polymerik 2015).

Taulukko 1. Polyasetaalihomopolymeerin ominaisuuksia (Vink 2015)

Tiheys [g/cm^3]	1,42
Vetolujuus [MPa]	75
Kimmomoduuli [MPa]	3200
Lovi iskulujuus (Charpy) [kJ/m^2]	10
Lämmönkesto [$^{\circ}\text{C}$]	-50-90

5.2 PA - polyamidi

Polyamidit ovat teknisten muovien materiaalityyppiä, jotka eroavat toististaan hiiliatomien lukumäärän ja järjestyksen mukaan. Niille yhteistä on osakiteisyys ja iskulujuus. Yleisimmät polyamidit ovat alifaattisia polyamideita, esim PA 6.6 ja PA 6. Polyamidien mekaaniset ominaisuudet ovat hyvät. Vahvuuksia ovat

kulutuksenkestävyys, sitkeys, väsymislujuus, iskulujuus ja hyvä seostettavuus. Polyamidi 6.6- ja 6:n mekaaniset ominaisuudet ovat esitelty taulukossa 2. Polyamideita seostetaan usein lasikuiduilla ja muilla täyteaineilla jäykkyyden parantamiseksi. Polyamidien huono ominaisuus on veden absorptio, mikä vaikuttaa polyamidien mekaanisiin ominaisuuksiin ja valmistukseen. (Polymerik 2015).

Taulukko 2. Polyamidi 6 ja 6.6 ominaisuuksia (Vink 2015)

Tiheys [g/cm^3]	1,14	1,15
Vetolujuus [MPa]	80	85
Kimmomoduuli [MPa]	3200	3300
Lovi iskulujuus (Charpy) [kJ/m^2]	>3,0	>3,0
Lämmönkesto [$^{\circ}\text{C}$]	-40-85	-30-95

5.3 PEI - polyeetteri-imidi

Polyeetteri-imidi eli PEI on amorfinen korkean käyttölämpötilan tekninen muovi. Sillä on korkea lujuus ja jäykkyys, jotka säilyvät korkeissa lämpötiloissa. Sen mittapysyvyys on huippuluokkaa ja kemiallinen kestävyys on erinomainen. Polyeetteri-imidin mekaaniset ominaisuudet ovat esitelty taulukossa 3.

Polyeetteri-imidin käyttökohteita ovat elektroniikkateollisuus, lääketeollisuus ja hienomekaaniset komponentit (Polymerik 2015).

Taulukko 3. Polyeetteri-imidin ominaisuuksia (Aikolon 2015)

Tiheys [g/cm^3]	1,28
Vetolujuus [MPa]	127
Kimmomoduuli [MPa]	3200
Lovi iskulujuus (Charpy) [kJ/m^2]	3.5
Lämmönkesto [$^{\circ}\text{C}$]	170

5.4 PPA - polyftaaliamidi

Polyftaaliamidi eli PPA on aromaattinen polyamidi. Se on edullinen materiaali, jonka mekaaniset ominaisuudet ovat paremmat kuin polyamidi 6.6:lla. Se on lujempaa ja jäykempää, eikä sillä tapahdu veden absorptiota. Polyftaaliamidin lämmönkesto ja kemiallinen kestävyys ovat erinomaisia. Sillä on hyvä mittapysyvyys ja virumiskestävyys myös korkeissa lämpötiloissa.

Polyftaaliamidin mekaaniset ominaisuudet ovat esitelty taulukossa 4.

Polyftaaliamia käytetään laajasti eri teollisuuden aloilla. Sillä korvataan metallia, ja sitä käytetään urheiluvälineissä, mekaanisissa osissa, hammasharjojen harjaksissa ja kaasuputkissa (Polymerik 2015).

Taulukko 4. Polyftaaliamidin ominaisuuksia (RTP plastics)

Tiheys [g/cm ³]	1,20
Vetolujuus [MPa]	86
Kimmomoduuli [MPa]	3800
Lovi iskulujuus (Charpy) [kJ/m ²]	16
Lämmönkesto [°C]	-50-200

5.5 AISI 4130

AISI 4130 teräs sisältää seostettuna kromia ja molybdeniumia lujuusominaisuuksien parantamiseksi. Se on niukkahiiliterästä ja se on hyvin hitsattavissa, koneistettavissa ja karkaistavissa. AISI 4130:n kemiallinen koostumus on esitelty taulukossa 6 ja lujuusominaisuuksia taulukossa 5.

AISI 4130:n käyttökohteina ovat putkirakenteet, lentokonemoottori kiinnitysrakenteet, akselit, hammasrattaat, pumput, venttiilirungot. (Azom 2012). Karkaisu tehdään kuumentamalla 870- 890°C ja sammuttamalla öljyyn. Päästö tulisi tehdä 400- 570°C asteen lämpötilassa heti kappaleen jäähtyttyä huoneenlämpötilaan karkaisun jälkeen (Steelforge 2015).

Taulukko 5. Karkaisemattoman AISI 4130:n mekaanisia ominaisuuksia (Efunda 2015)

Vetolujuus [MPa]	560
Myötöraja [MPa]	460
Kimmomoduuli [GPa]	210
Koneistettavuus [%]	70

Taulukko 6. AISI 4130 kemiallinen koostumus (Azom 2012)

Materiaali	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
AISI 4130	0.28- 0.33	0.40- 0.60	0.035	0.040	0.15- 0.30		0.80- 1.10	0.15- 0.25

5.6 AISI 8615

AISI 8615 teräs on pääasiallisesti hiiletyskarkaistava teräs, jota käytetään keskivaativissa käyttökohteissa, jossa tarpeena on suuri pintakovuus ja ytimen lujuus. Seosaineina on kromin ja molybdenumin lisäksi nikkeliä parantamassa lujuusominaisuuksia. AISI 8615:n kemiallinen koostumus on esitelty taulukossa 8 ja lujuusominaisuuksia taulukossa 7. Käyttökohteita ovat taotut akselit ja laakerit auto- ja lentokoneiteollisuudessa. Karkaisu tehdään 840 °C:n lämpötilassa ja päästää 522 °C:n lämpötilassa (Steelforge 2015).

Taulukko 7. Karkaisemattoman AISI 8615:n mekaanisia ominaisuuksia (Efunda 2015)

Vetolujuus [MPa]	690
Myötöraja [MPa]	500
Kimmomoduuli [GPa]	210
Koneistettavuus [%]	70

Taulukko 8. AISI 8615:n kemiallinen koostumus (Azom 2012)

Materiaali	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
AISI 8615	0.13- 0.18	0.70- 0.90	0.035	0.04	0.15- 0.30	0.40- 0.70	0.40- 0.60	0.15- 0.25

5.7 AISI 9310

AISI 9310 on hiiletyskarkaistava nikkeli-kromi-molybdeeniteräs, jolla on erinomaiset lujuusominaisuudet. AISI 9310:n kemiallinen koostumus on esitelty tarkemmin taulukossa 10 ja lujuusominaisuuksia taulukossa 9. Se on syvälle karkaistavissa, ja sillä on erinomainen iskunkestävyys ja väsymislujuus. AISI 9310:n käyttökohteita ovat lentokoneteollisuuden moottorikomponentit sekä raskaiden ajoneuvojen ja sotateollisuuden rattaat ja akselit.

Koneistettava ennen lämpökäsittelyitä. Karkaisu tehdään 830- 880 °C:n lämpötilassa ja sammutetaan öljyyn. Hiiletyskarkaisu tehdään 830- 880 °C:ssa ja sammutetaan öljyyn. Temperointilämpötila on 170- 220 °C (Steelforge 2015).

Taulukko 9. Karkaisemattoman AISI 9310 mekaanisia ominaisuuksia (Efunda 2015)

Vetolujuus [MPa]	820
Myötöraja [MPa]	440
Kimmomoduuli [GPa]	210
Koneistettavuus [%]	40

Taulukko 10. AISI 9310 kemiallinen koostumus (Azom 2012)

Materiaali	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
AISI 9310	0.08- 0.13	0.45- 0.65	0.025	0.025	0.15- 0.30	3.00- 3.50	1.00- 1.40	0.08- 0.15

6 MATERIAALIEN VALINNAT

6.1 Männän rungon materiaalin valinta

Viritysmäntä asettaa korkeat vaatimukset muovimateriaalille.

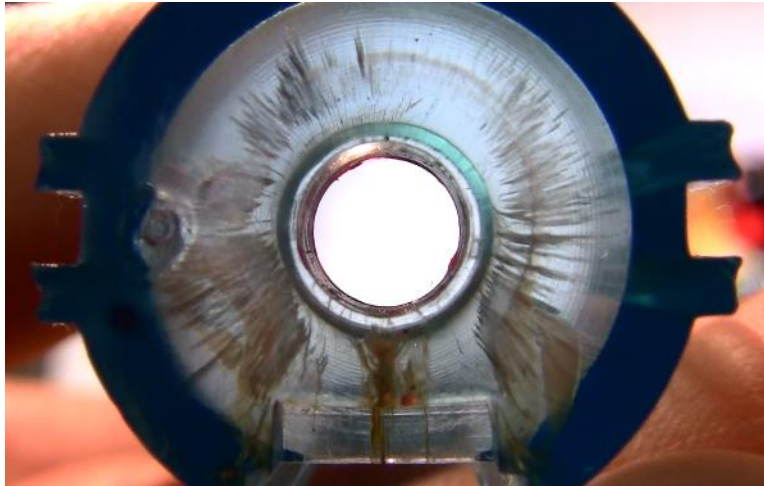
Materiaalinvalinnassa painotettiin eniten tiheyttä, iskulujuutta, veto- ja taivutuslujuutta, kulumiskestävyyttä ja hintaa. Merkityksellisesti vähäisempiä valintakriteereinä ovat valmistettavuus, pinnanlaatu ja värjättyvyys. Näiden vaatimusten perusteella valittiin muutama teknistä muovimateriaalia vertailua varten.

Tietolähteeksi materiaalien teknisille tiedoille valittiin RTP Imagineering Plastics (RTP 2015). Kaikki materiaalitiedot ovat tältä samalta tavarantoimittajalta materiaalien teknisien tietojen hyvän vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Seulontaan valittiin materiaalit, jotka ovat esitelty taulukoissa 11 ja 12.

Taulukko 11. Vertailuun valitut materiaalit (RTP Imagineering Plastics)

Polymeeri	Valmistajan tyyppinimi	Täyteaine
POM homopolymeeri	RTP 882	Hiilikuitu 15 %
POM homopolymeeri	RTP 800 DEL	-
PA 6.6	RTP 283	Hiilikuitu 20 %
PA 6.6 Impact modified	RTP 283 H	Hiilikuitu 20 %
PA6	RTP 205 A	Molybdeenisulfidi 5 % ja lasikuitu 30 %
PA6	RTP 283 A	Hiilikuitu 20 %
PEI	RTP 2183	Hiilikuitu 20 %
PPA	RTP 4083	Hiilikuitu 20 %

Vertailusta jätettiin pois polykarbonaatti, vaikka moni airsoft –viritysosien valmistaja valmistaa siitä osiaan. Syy pois jättämiselle on ensisijaisesti polykarbonaatin heikko kemiallinen kestävyys. Polykarbonaatti haurastuisi altistuksesta voiteluaineille, eivätkä siitä valmistetut osat olisi siten luotettavia (kuvio 11).



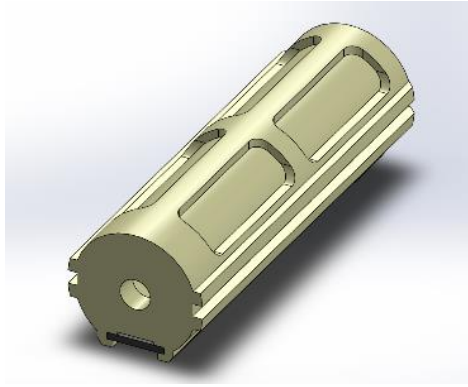
Kuvio11. Jännityssäröilyä polykarbonaattisessa männässä

Polykarbonaatti sietäisi joitakin kemiallisesti mietoja PTFE-pohjaisia voiteluaineita, mutta siitä huolimatta polykarbonaatin taipumus väsyä ja virua tekee siitä epäsoveliaan materiaalin osalle, johon kohdistuu toistuvia ja pysyviä suuria mekaanisia voimia. (Bechem 2015) Vertailuun valituista materiaaleista valittiin hiilikuiduilla lujitettuja tyyppejä, sillä kuitulujitusta tarvitaan jäykkyyden lisäämiseksi, ja toisaalta lasikuidut lisäävät painoa. Vertailuun otettiin kuitenkin yksi lasikuitulujitettu PA6.

Taulukko 12. Materiaalien tekniset tiedot (RTP Imagineering Plastics)

	<i>RTP88 2 POM</i>	<i>RTP 800 POM CF2 0</i>	<i>RTP283 H PA66H CF20</i>	<i>RTP28 3 PA66 CF20</i>	<i>RTP205 A PA6 GF30</i>	<i>RTP283 A PA6 CF20</i>	<i>RTP218 3 PEI CF20</i>	<i>RTP408 3 PPA CF20</i>
<i>Tiheys (g/cm³)</i>	1,44	1,41	1,17	1,22	1,41	1,22	1,35	1,28
<i>Muottikutistuma (%)</i>	0,5	2,5	0,3	0,2	0,4	0,1	0,05	0,2
<i>Iskunkestävyys, IZOD notched (J/m)</i>	64	80	160	64	96	69	59	53
<i>Iskunkestävyys, IZOD unnotched (J/m)</i>	224	1708	908	641	1068	747	481	534
<i>Vetolujuus (MPa)</i>	86	63	145	207	159	172	195	241
<i>Kimmomoduuli / jäykkyys (MPa)</i>	12411	2413	11032	15514	10342	14480	16203	18616
<i>Taivutuslujuus (MPa)</i>	124	90	228	296	241	262	269	345
<i>Taivutuskerroin (MPa)</i>	11032	2689	9653	12411	9653	11032	13100	15169
<i>Hinta (\$/kg)</i>	0,61	0,61	2,5	1,11	1,05	1,05	2,23	0,79

Materiaalien tekniset tiedot arvioitiin taulukko 13:ssa, jossa laskettiin materiaaleille kokonaisarvosana painotettujen ominaisuuksiensa perusteella. Ominaisuuksista tärkeimpinä pidettiin tiheyttä ja lovetettua iskunkestävyyttä, joten niille asetettiin suurin painotuskerroin. Tiheyttä ei tavallisesti painotettaisi paljoa, mutta tässä tapauksessa männän massan pitäminen mahdollisimman alhaisena on oleellista rataslaatikon toiminnan ja mäntään kohdistuvan kuormituksen kannalta (kuvio 12).



Kuvio 12. Mäntään tehdyt kevennykset

Tarpeettoman suuri männän massa aiheuttaa ajoitusongelmia suurilla syklinopeuksilla, ja lisäksi mäntään kohdistuvan iskuenergian ja liikkeellelähtöön vaadittavan voiman yhteisvaikutus on suoraan verrannollinen männän massaan. Iskulujuus arvioitiin vetolujuutta tärkeämmäksi ominaisuudeksi, koska mäntään kohdistuva kuorma on liikkeellelähtövaiheessa pääosin iskumainen. Liikkeellelähdön jälkeen jousikuorma on melko tasainen, eikä se ole voimakkuudeltaan samassa suuruusluokassa kuin alkuvaiheen iskukuorma. Pisteytys on tehty asteikolla 0-4, nollan ollessa heikoin ja 4 vahvin arvosana.

Taulukko 13. Vertailtavien materiaalien pisteytystaulukko

	RTP 882	RTP 800	RTP 283 H	RTP 283	RTP 205 A	RTP 283 A	RTP 2183	RTP 4083	Painotus
Materiaali	POM	POM CF2 0	PA6 6H CF2 0	PA6 6 CF2 0	PA6 GF3 0	PA6 CF2 0	PEI CF2 0	PPA CF2 0	
Tiheys	0	0	4	4	0	3	1	2	0,25
Muottikutistuma	2	0	3	3	2	3	4	3	0,05
Iskunkestävyys, IZOD notched	2	3	4	2	3	3	1	1	0,25
Iskunkestävyys, IZOD unnotched	0	4	3	3	4	3	1	1	0,15
Vetolujuus	1	1	3	4	3	3	2	4	0,1
Kimmokerroin	4	1	4	4	4	4	4	4	0,05
Taivutuslujuus	2	1	3	4	3	4	4	4	0,1
Taivutuskerroin	3	1	3	4	3	3	4	4	0,05
Pistemäärä	1,25	1,65	3,55	3,3	2,4	3,15	1,85	2,25	1,00

Pisteytyksessä kolmen parhaan joukkoon pääsi iskunkestävä polyamidi 6.6 CF20, toiseksi tavallinen polyamidi 6.6 CF20 ja kolmanneksi polyamidi 6 CF20.

Merkittävin ero näiden materiaalien välillä on lovetettu iskusitkeys, mikä on iskunkestävällä polyamidilla 6.6 CF20:lla yli kaksinkertainen muihin verrattuna. Se on lisäksi myös vertailuista materiaaleista kevyin ja noin kaksi kertaa kalliimpaa. Lopullinen päätös riippui siitä, kuinka paljon kaksinkertaistunut materiaalikustannus vaikuttaisi lopputuotteen hintaan. Päätöksentekoa varten kappaleelle laskettiin materiaalimenekki.

Yhteen mäntään menee 7,75 kuutiosenttimetriä materiaalia, eli sen massa on siis $1,17 \text{ g/cm}^3 * 7,75 \text{ cm}^3 = 9,07 \text{ g}$

Iskusitkostetun polyamidi 6.6 CF20:n hinta kilogrammaa kohden on 2,5 \$/kg, eli materiaalikulut yhtä mäntää kohden olisivat siis $2,5 \text{ \$/kg} * 9,07 \text{ g} * 10^{-3} = 0,023 \text{ \$/kpl}$

Materiaalikulut siis joka tapauksessa olisivat niin alhaiset, ettei hieman kalliimpi materiaali käytännössä vaikuttaisi kappaleen hintaan. Todellisuudessa materiaalikulut olisivat korkeammat, koska ruiskuvaluprosessissa muodostuu muuta materiaalihävikkiä. Todellinen materiaalikustannus kappaletta kohden olisi todennäköisesti siis välillä 0,04-0,10 \$/kpl. Edellä selitetyin perustein materiaaliksi valittiin RTP 283H PA6.6H CF20.

6.2 Hammastangon materiaalin valinta

Hammastangon materiaaliksi sopii teräs, joka on hyvin karkaistavissa, lujaa ja sitkeää, kulumiskestävää ja väsymiskestävää. Materiaalin tulisi lisäksi olla hyvin koneistettavissa. Hinta on myös merkittäviä tekijä, mutta näille vertailuille materiaaleille ei löytynyt selkeitä listattuja hintatietoja. Internet-haun mukaan nämä kolme materiaalia ovat keskimäärin saman hintaisia, 1500- 3000 \$/t (Alibaba 2015). Vertailuun valittiin muutama tyypillinen hammasrattaissa käytetty materiaali (Engineers edge 2015).

Taulukko 14. Vertailuun valitut materiaalit karkaistuina (Engineers edge 2015)

Spesifikaatio	Pinnan kovuus (HRC)	Ytimen kovuus (HB)	Tensile strength yield (MPa)	Tensile strength ultimate (MPa)
AISI 4130	50-55	160-230	435	670
AISI 8615	55-60	270-370	500	690
AISI 9310	58-63	250-350	897	966

Hammastangon materiaaliksi ei ole järkevä valita materiaalia, joka on merkittävästi lujempaa kuin yleisesti käytetyt rattaat. Markkinoilla olevien rattaiden kovuus ja laatu vaihtelevat paljon, ja melko harva käyttää kaikista laadukkaimpia rattaita. AISI 9310 olisi erinomainen materiaali, mutta sen koneistettavuus on vaikeampaa kuin AISI 4130:n ja 8615:n, ja sen lujuusominaisuudet ylittävät tarpeet. Täten materiaaliksi valittiin AISI 8615, jolla on hyvä väsymiskestävyys ja hyvät lujuusominaisuudet.

7 LUJUUSLASKENTA JA ANALYYSI

Männän muotoilun optimoinnissa käytettiin apuna Solidworks 2014 –ohjelmiston FEM-lujuuslaskenta ominaisuutta, jolla laskentamallille voitiin tehdä simuloituja kuorma-analyysyjä. Simulaatiossa materiaali oli isotrooppista, eli sillä oli samat lujuusominaisuudet joka suuntaan. Todellisuudessa kuituvahvistetun muovikappaleen lujuusominaisuudet ovat kuitenkin voimakkaasti riippuvaisia kuitujen orientaatiosta. Suurin osa kuiduista orientoituu sulavirran suunnan mukaisesti, joten myös ruiskutuspaikka vaikuttaa kappaleen lujuusominaisuuksiin.

Analyysillä saatiin selville, kuinka kuorma jakautuu männän eri osiin sektorirataan poimiessa sen liikkeelle. Männän muotoilua muutettiin tulosten perusteella siten, että jännitykset kohdistuisivat mahdollisimman suurelle pinta-alalle. Analyysiä varten luotiin uusi materiaali, johon syötettiin RTP 283H:n materiaalitiedot. Käytetyn materiaalin teknisissä tiedoissa ei ollut ilmoitettu myötörajaa, joten se arvioitiin vetolujuuden ja taivutuslujuuden perusteella olevan suuruusluokaltaan 150 MPa.

Männän ensimmäiseen hampaaseen kohdistuva jännitys arvioitiin laskemalla. Lasku perustuu oletukseen, että mäntä kiihtyy sektorirataan kehänopeuteen $1/30$ yhteen kierrokseen kuluva ajasta. Arvio $1/30$ tulee siitä, että yhden hampaan pituus sektorirataan kehällä on $1/30$ sektorirataan kehän pituudesta. Täten siis teoriassa kuorma on ensimmäisellä hampaalla tuon ajan, minkä jälkeen kuorma siirtyy teräksiselle hammastangolle. Arvioon tyydytään, koska todellinen kiihtymisaika on haastava laskea käsin.

Laskussa lasketaan jännitys, joka muodostuu, kun käytetään M170 -jousta, ja syklinopeus (tulinopeus) on 35 laukausta sekunnissa. M170 jousi on lepotilassaan hieman esipuristuneena ja työntää mäntää eteenpäin 60N:n voimalla. (Airsoft mechanics 2015) Kyseinen voima siis on männän liikesuuntaa vastakkainen voima, mikä lisätään männän massahitaudesta muodostuvan voiman määrään. Saadaan seuraava laskukaava:

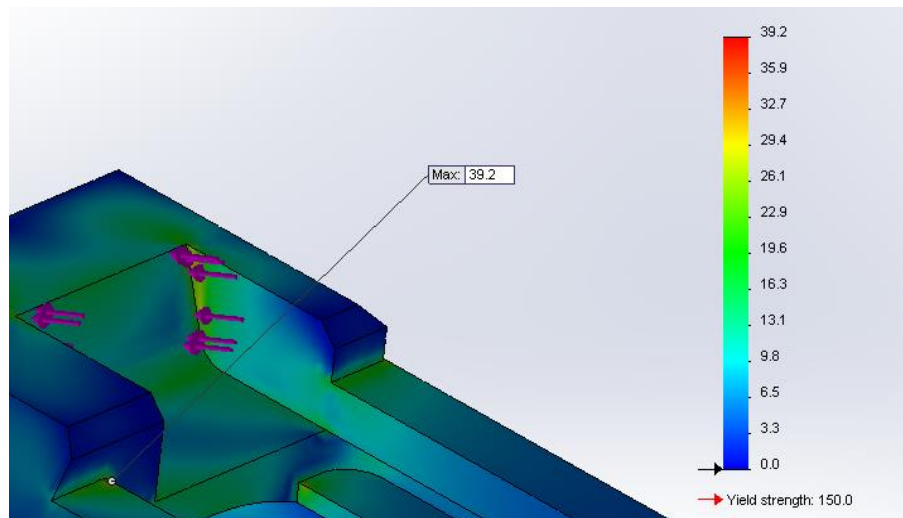
$$60N + (0.030kg \times \frac{\pi \times 0.032m \times 35r/s}{(\frac{1}{30}) \div \frac{35r}{s}}) = \underline{170,8 N}$$

Laskukaava selitettynä:

$$\text{Jousen voima} + (\text{männän ja männänpään massa} \times \frac{\text{kehänopeus } (v = \pi \times D \times n)}{(\frac{1}{30}) \div \text{syklinopeus}})$$

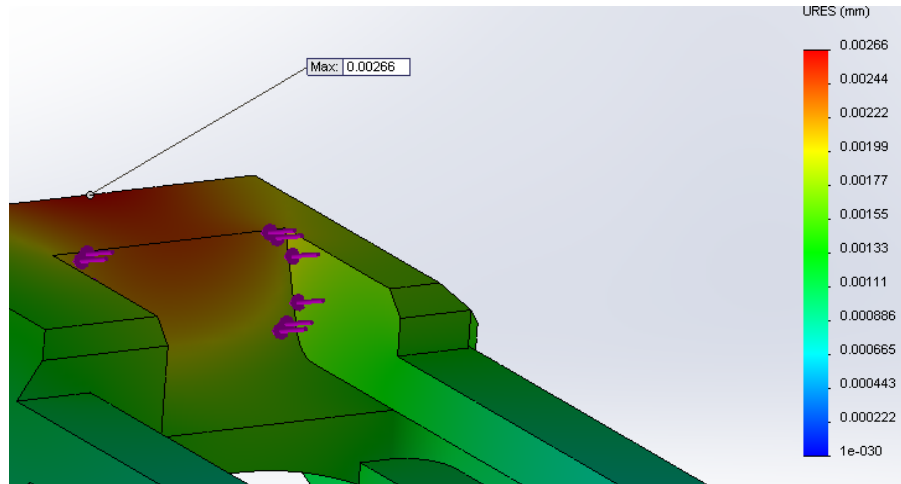
M170 tason viritys 35 r/s:n tulinopeudella on varsin liioteltu viritystaso, mutta tarkoitus on varmistaa männän kestävyys kaikista vaativimmilla virityksillä.

Simulaatio näyttää von Mises –taulukon mukaisen suurimman (max) arvon (kuvio 13). Havaitaan, että suurin jännityspiikki kohdistuu pieneen nurkkaan, joka voidaan eliminoida pienellä pyöristyksellä. Kulmien pyöristysten jälkeen jännitys jakautuu hampaan alueelle lukuarvoltaan yli 5:n varmuuskertoimella.



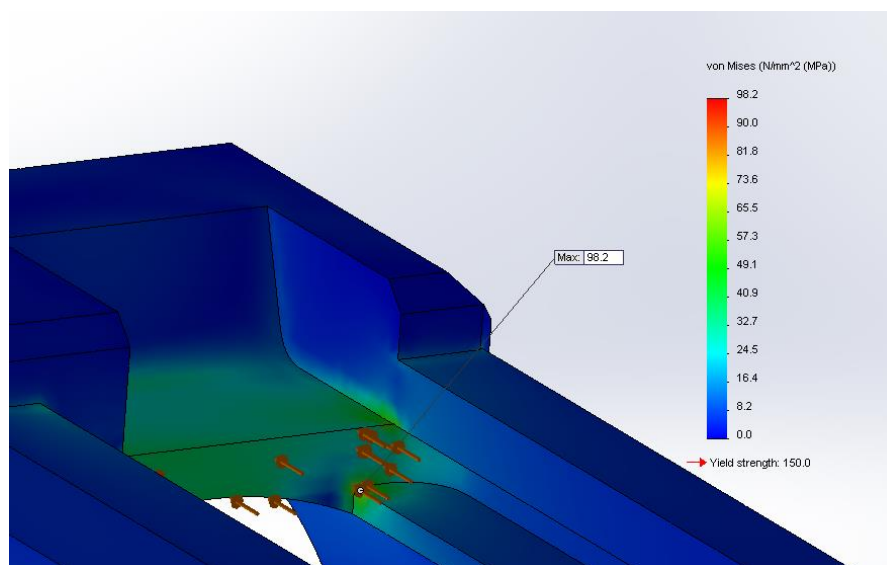
Kuvio 13. Voiman jakauma männän ensimmäisen hampaan alueelle

Von Mises analyysi laskee myös tarvittaessa kappaleen deformaation (kuvio 14). Tässä tilanteessa muodonmuutos on maksimikohdassa 0,003 mm. Tulos on odotettua parempi. Hyväksyttävä raja olisi 0,1 mm.



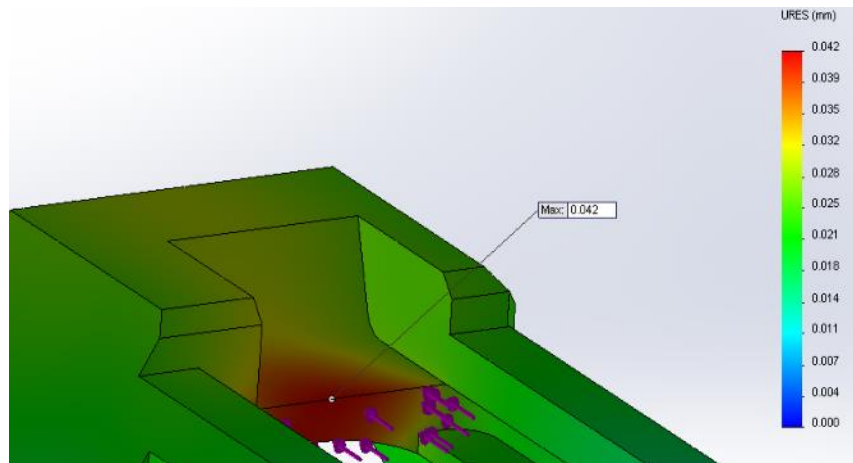
Kuvio 14. Voiman aiheuttama muodonmuutos kappaleeseen

Samalla simuloitiin myös mäntään kohdistuva kuorma syklin loppuvaiheessa, eli juuri ennen männän vapautusta kun jousikuorma on suurimmillaan. Tällöin kuorma välittyy hammastankoa pitkin männän rungon päätä vasten. Markkinoilla olevista jousista kaikista jäykin m210 -jousi vaatii kokoonpuristuakseen 265 N:n voiman (Airsoft mechanics 2015), joten simulaatio suorettiin sillä voimalla. Tämä simulaatio on siinä mielessä epätarkka, että hammastanko tulisi lopullisessa tuotteessa olemaan liimattu kiinni männän runkoon, jolloin kuorma jakautuisi todellisuudessa tasaisemmin eikä keskittyisi vain toiseen pätyyn.



Kuvio 15. Hammastangon mäntään välittävän voiman jakauma

Havaitaan, että jännityksen maksimiarvo on $2/3$ myötörajusta. Tämä maksimiarvo on pienellä pyöristämättömällä alueella. Kyseiseen kohtaan ei ole mahdollista tehdä pyöristystä, joten asialle ei voi mitään. Jännitys muuttamalla alueella on keskimäärin noin 30 N/mm^2 , mikä on täysin turvallisella alueella. Muodonmuutos jäi jälleen alhaiseksi huippuarvon ollessa noin $0,04 \text{ mm}$ (kuvio16). Huomion arvoista on edelleen se, että simulaatioissa on aina epätarkkuustekijöitä, joten niihin tulee suhtautua aina pienellä varauksella. Mikäli mahdollista, simulaatioita on hyvä tukea todellisilla mekaanisilla testeillä.



Kuvio 16. Voiman aiheuttama muodonmuutos kappaleeseen

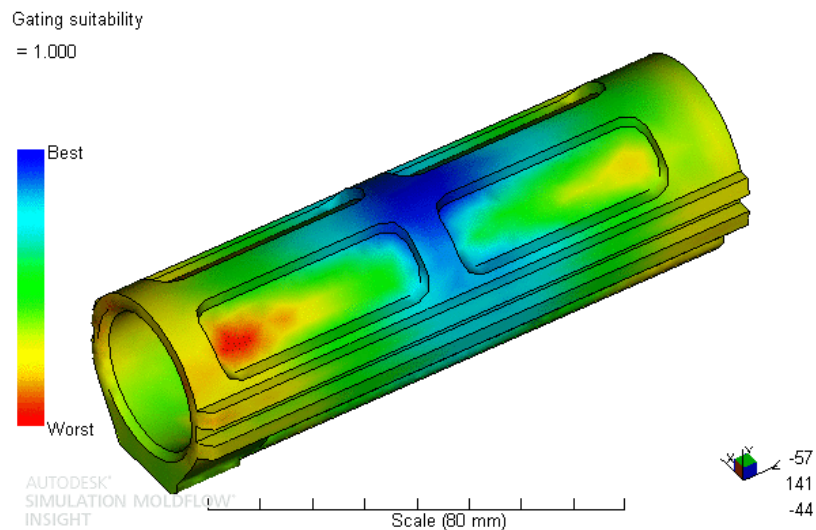
8 RUISKUVALUANALYYSI

Moldflow:n ohjelmiston ruiskuvaluanalyysillä selvitettiin hiilikuitujen orientaatio, mahdolliset yhtymäsaumat, imut, kappaleen vääntymä, kutistuma ja optimointiin ruiskutuspaiste. Simulaatiot tehtiin Moldflow:n automaattisilla materiaalikohtaisilla valmistusparametreillä (taulukko 15).

Taulukko 15. Ruiskutusanalyysin valmistusparametrit

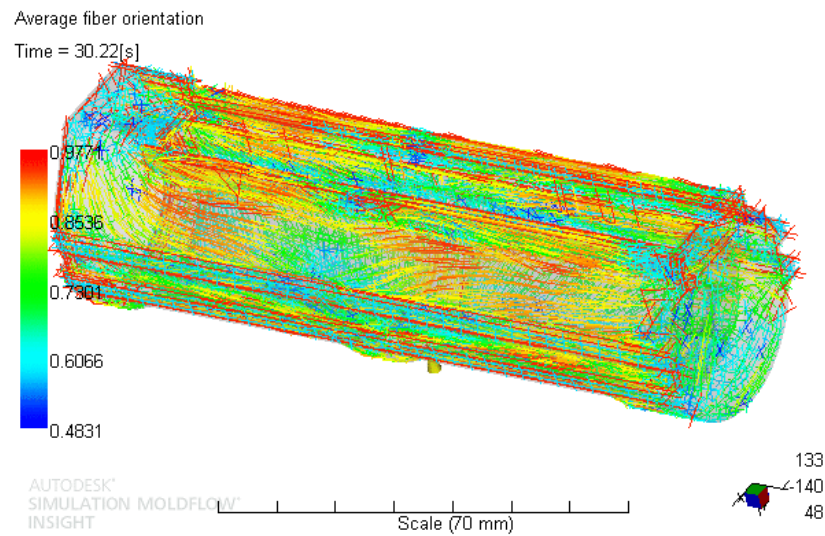
Parametri	Arvo
Muotin lämpötila [C]	120
Sulan lämpötila [C]	300
Tilavuusvirta [cm ³ /s]	83
Ruiskutuspaiste [MPa]	100
Jälkipaiste [MPa]	80

Ensimmäisenä tutkittiin ruiskutuspaiste. Tuloksena on, että ruiskutuspaiste tulee sijoittaa männän selkäpintaan (kuvio 17). Muiden valmistajien mäntiä tutkimalla havaittiin, että useimpiin on sijoitettu ruiskutuspaiste samalle alueelle.



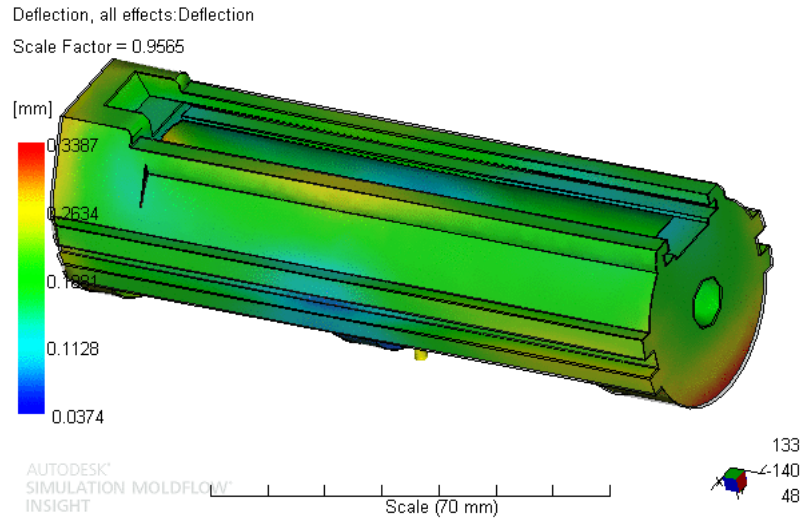
Kuvio 17. Ruiskutuspaisteen optimaalinen sijainti simuloituna

Männän lujuuden kannalta vahvikekuitujen orientaatio on olennaista. Simulaatio osoittaa, että suurin osa kuiduista on orientoitunut sulavirran etenemissuunnan mukaisesti. Lujuuden kannalta kuidut ovat pääosin orientoituneet jännitysten suuntiin nähden samansuuntaisesti (kuvio 18).



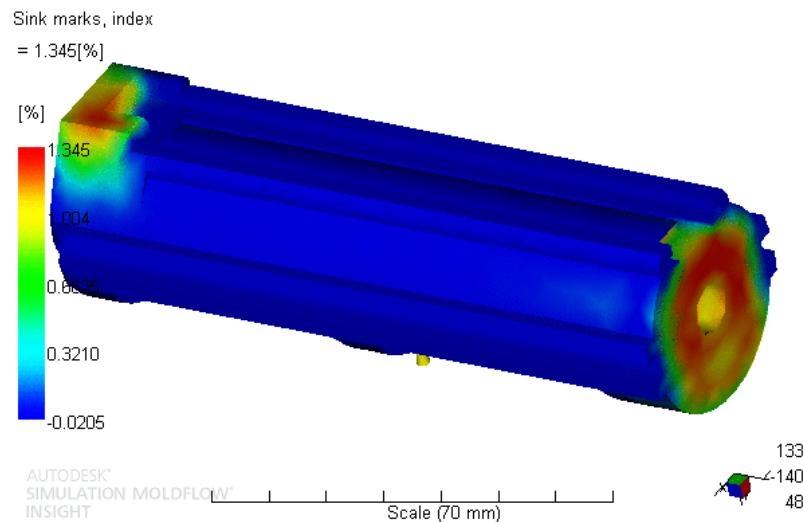
Kuvio 18. Simuloitu vahvikekuitujen orientaatio

Kappale kutistui pituussuunnassa 0,34 mm (kuvio 19). Mittamuutos on pieni, ja on hyvin lähellä materiaalin teknisissä tiedoissa annettuun muottikutistumaan (0,3%), sillä 0,34 mm:n pituuden muutos on 0,52 % männän pituudesta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että muottia valmistaessa muottikammio on skaalattava 0,5 % suuremmaksi.



Kuvio 19. Kappaleen kutistuma simuloituna

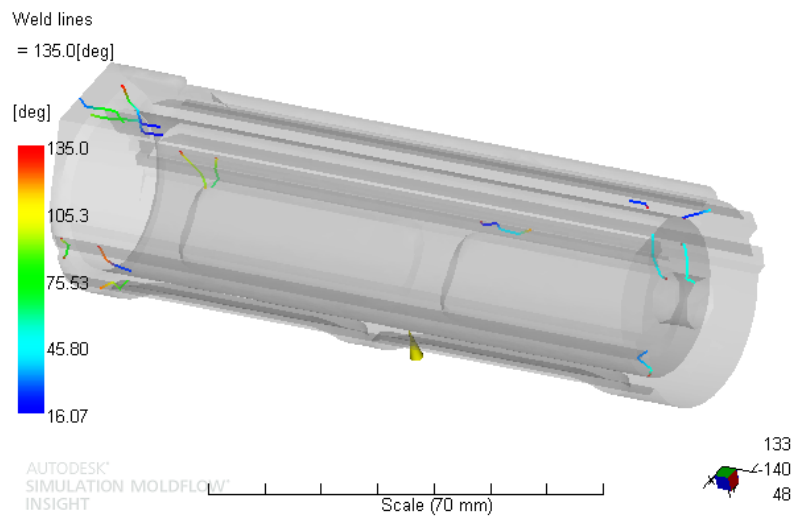
Kappaleeseen syntyi pieniä imuja (kuvio 20). Suuruusluokkaa yhden prosentin imu ei näy kappaleesta ulospäin, ellei pintalaadusta tehdä erityisen kiiltävää. Kuituvahvisteisella polyamidilla ei joka tapauksessa saa erityisen hyvää pinnanlaatua, joten pinta jätettäisiin tarkoituksella himmeäksi tekemällä muottiin himmeä pintatekstuuri.



Kuvio 20. Kappaleen muodostuvat imut simuloituna

Mäntään muodostui yhtymäsaumoja. (Kuvio 21) Yhtymäsaumojen muodostumista ei kappaleen muodon vuoksi voi täysin estää, eikä

ruiskutus pistettä voitu muutoin järkevästi siirtää siten, ettei yhtymäsaumaa muodostuisi keskelle ensimmäistä hammasta.



Kuvio 21. Yhtymäsaumojen muodostuminen simuloituna

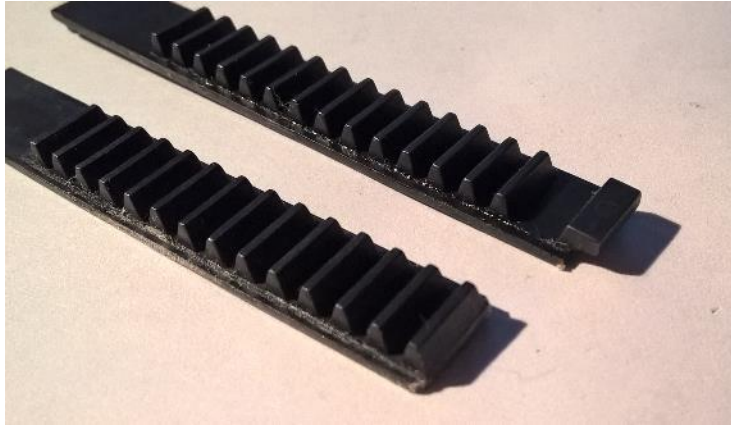
9 PROTOTYYPPI

Suunnitellusta männästä valmistettiin prototyyppi vain sopivuuden testausta varten. Koska työllä ei ole toimeksiantajaa, ei nähty taloudellisesti järkeväksi ja tarpeelliseksi valmistaa ruiskuvalamalla prototyyppiä. Männän rungon monimutkaisen geometrian vuoksi koneistaminenkaan ei ollut realistinen vaihtoehto, joten prototyyppien valmistuksessa päädyttiin SLS -3D-tulostukseen. 3D-tulostamalla ei ole mahdollista valmistaa lujuusominaisuuksiltaan ruiskuvalukappaletta vastaavaa osaa, joten teetetyt prototyypit ovat lähinnä näköismalleja. Siitä huolimatta yksi prototyyppi tulostettiin materiaalista PA12GF, ja sille suoritettiin kevyet suoritus-testit. PA12GF:sta tulostettu prototyyppi teetettiin Kraftwurx:lla. Kaksi muuta prototyyppiä tulostettiin PA2200:sta näköismalleiksi Shapeways:stä (kuvio 22).



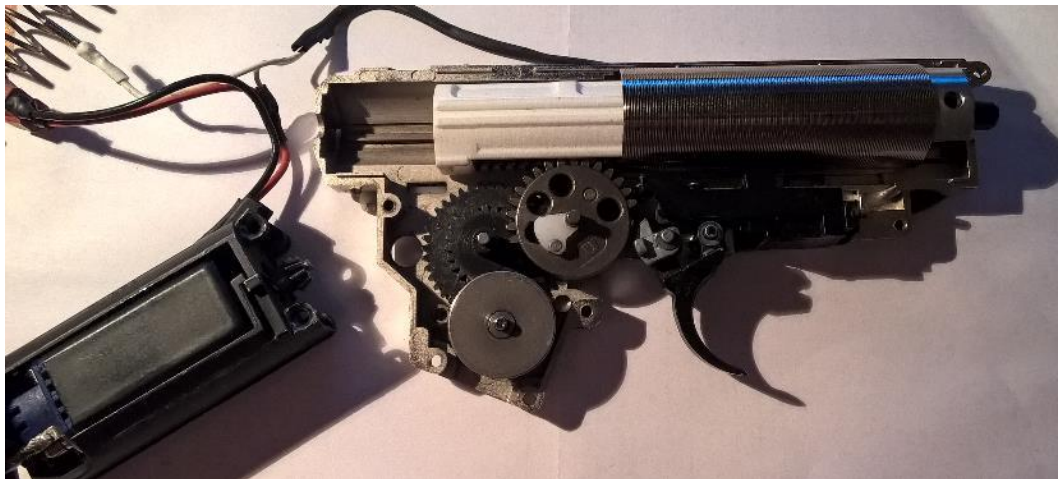
Kuvio 22. Prototyyppi oikealla ja näköismallit vasemmalla

Teräksistä hammastankoa ei myöskään samoista syistä koettu tarpeelliseksi valmistaa lopullisesta materiaalistaan, vaan hammastanko lainattiin toisen valmistajan männästä ja muokattiin hiomakoneella sopivaksi (kuvio 23). Tilanteessa jossa tämä mahdollisesti tulisi valmistukseen, tehtäisiin osista kunnolliset prototyypit, jotta materiaalien sopivuus voidaan vielä varmistaa sekä tuotteessa että valmistusteknisesti.

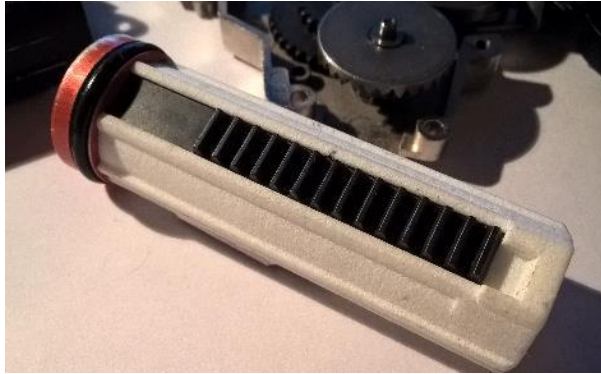


Kuvio 23. Modifioitu ja alkuperäinen hammastanko

Ennen kuin männälle tehtiin varsinaisia toimivuustestejä, männän istuvuus varmistettiin rataslaatikossa muiden osien kanssa (kuvio 24). Havaittiin, että mäntä liikkuu kiskoillaan vapaasti, eikä törmää mihinkään. Hammastangon korkeus ilmeni oikeaksi, sillä välystä ei ollut liikaa sektorirattaan kanssa, eivätkä hammaspinnat painuneet toisiaan vasten. Vielä varmistettiin, ettei mäntä törmää rataslaatikon takaosaan, ennen kuin sektoriratas vapauttaa männän. Väliä jäi noin yhden millimetrin verran, eli varmuusvaraa jäi riittävästi muiden valmistajien rataslaatikoihin.



Kuvio 24. Mäntä rataslaatikossa ilman jousta



Kuvio 25. Mäntä ja männänpää ennen toimivuustestiä

Taulukko 16. 3D-tulostusmateriaalien ominaisuudet (Paramountid, Stratasys 2015)

	PA12GF	PA2200
Tiheys (g/cm ³)	1.25	0.45
Taivutuslujuus (MPa)	61	48
Kimmomoduuli (MPa)	2241	1700
Iskunkestävyys (lovetettu) (J/m)	40	220
Iskunkestävyys (loveamaton) (J/m)	120	440
Vetolujuus (MPa)	36	58

Mäntä kesti toimivuustestit hyvin. Mäntää kokeiltiin ensin matalatehoisella 7,4 V akulla noin 200 laukausta, minkä jälkeen kokeiltiin vielä 11,1 V:n akulla noin 200 laukausta. Rataslaatikko toimi normaalisti ilman mitään vikoja tai jumiutumisia. Männän ensimmäiseen hampaaseen ei tullut silminnähtävää muuta kulumaa, kuin voiteluaineen aiheuttama värjäytyminen (kuvio 26).



Kuvio 26. Mäntä toimivuustestin jälkeen

10 YHTEENVETO

Työn ajatus lähti jo opintojen alkuvaiheessa harrastuksen pohjalta. Aihe oli luonnollisestikin mielenkiintoinen, ja se opetti suunnitteluprosessin eri vaiheita materiaalinvalinnassa, mekaniikasuunnittelussa, sekä työkalujen ja ohjelmistojen käyttöä. Työstä saatu kokemus on suoraan hyödynnettävissä nykyisissä ja tulevilla suunnittelutöissä ja projekteissa.

Työssä oli alunperin odotuksena saada mukaan jo olemassa oleva airsoft-osia valmistava yritys, mutta työn valmistuttua asia oli vielä auki. Suunnittelutyö saatiin kuitenkin tehtyä loppuun, eikä tuotannollistamiseen jäänyt pitkää matkaa. Tuote olisi valmistusta ja markkinointia vaille valmis.

LÄHTEET

Efunda, 2015. AISI 8615 alloy steel [viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_8615&show_prop=all&Page_Title=AISI%208615

Efunda, 2015. AISI 9310 alloy steel [viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_9310&show_prop=all&Page_Title=AISI%209310

Azom, 2015. AISI 4130 alloy steel [viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6742>

Aikolon, 2015. PEI fysikaaliset ominaisuudet [viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

<http://www.aikolon.fi/tuotteet/erikoismuovit/pei>

Vink, 2015. PA tekniset tiedot [viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pa/vink_pa_esite_a4_web.pdf

Vink, 2015. POM tekniset tiedot [viitattu 29.10.2015] Saatavissa:

http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pom/vink_pom_esite_a4_web-2.pdf

Stratasys, 2015. LS material specifications [viitattu 25.10.2015] Saatavissa:

https://www.stratasysdirect.com/wp-content/themes/stratasysdirect/files/material-datasheets/laser_sintering/prototype/LS_Nylon_12_GF_Material_Specifications.pdf

Paramountid, 2015. Material data sheet. PA2200 [viitattu 25.10.2015] Saatavissa:

http://www.paramountind.com/pdfs/eos_pa2200_mds.pdf

Matweb, 2015. Datasheet AISI 9310 Steel [viitattu 25.10.2015] Saatavissa:

<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=049fb890548c422a948d4e1b92f051b5>

Matweb, 2015. Datasheet AISI 8615 Steel [viitattu 25.10.2015] Saatavissa:

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=38a6f15f2e334158a0f2f838ece7d220>

Matweb, 2015. Datasheet AISI 4130 Steel [viitattu 25.10.2015] Saatavissa:
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=7eb7e2c6eab3433c9fb96eaa9f0312fb>

Engineers edge, 2015. Gear Material Steels for Industrial Gearing [viitattu 25.10.2015] Saatavissa:
http://www.engineersedge.com/gears/gear_material_steels_for_industrial_gearing_13180.htm

Roymech, 2013. Spur gears [viitattu 24.10.2015] Saatavissa:
http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Drive/Gears.html

Plastiker, 2015. Real time Price List [viitattu 18.10.2015] Saatavissa:
http://plasticker.de/preise/pms_en.php?show=ok&make=ok&aog=A&kat=Mahlgut

Bechem, 2015. Lubricants compatible with elastomer and plastics [viitattu 18.10.2015] Saatavissa:
http://www.bechem.de/fileadmin/pdf/BECHEM_Lubricants_compatible_with_elastomer_and_plastics.pdf

Polymerik, 2012. Tekniset muovit [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:
<http://polymerik.pp.fi/pdf/Osa4-Tekniset-muovit.pdf>

Polymerik, 2015. Polyoksimeteeni [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:
<http://polymerik.pp.fi/pom.html>

RTP, 2005. Product Data Sheet RTP 800 DEL [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:
<http://web.rtpcompany.com/info/data/0800/RTP800DEL.htm>

RTP, 2006. Product Data Sheet RTP 882 [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:
<http://web.rtpcompany.com/info/data/0800/RTP882.htm>

Polymerik, 2015. Iskuluja polyamidi 66 [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:
http://polymerik.pp.fi/iskuluja_pa66.html

RTP, 2007. Product Data Sheet RTP 283H [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:
<http://web.rtpcompany.com/info/data/0200H/RTP283H.htm>

Polymerik, 2015. Polyamidi66 [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://polymerik.pp.fi/pa66.html>

RTP, 2004. Product Data Sheet RTP 283 [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://web.rtpcompany.com/info/data/0200/RTP283.htm>

Polymerik, 2015. Polyamidi6 [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://polymerik.pp.fi/pa6.html>

RTP, 2004. Product Data Sheet RTP 283A [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://web.rtpcompany.com/info/data/0200A/RTP283A.htm>

RTP, 2004. Product Data Sheet RTP 205AMS5 [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://web.rtpcompany.com/info/data/0200A/RTP205AMS5.htm>

Polymerik, 2015. Polyeetteri-imidi [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://polymerik.pp.fi/pei.html>

RTP, 2005. Product Data Sheet RTP 2183 [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://web.rtpcompany.com/info/data/2100/RTP2183.htm>

Polymerik, 2015. Polyftaalamidi [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://polymerik.pp.fi/ppa.html>

RTP, 2005. Product Data Sheet RTP 4083 [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://web.rtpcompany.com/info/data/4000/RTP4083.htm>

Polymerik, 2015. Polyeetterieetteriketoni [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://polymerik.pp.fi/peek.html>

RTP, 2005. Product Data Sheet RTP 2283LF [viitattu 17.10.2015] Saatavissa:

<http://web.rtpcompany.com/info/data/2200/RTP2283LF.htm>

Wikipedia, 2015. Metal injection molding [viitattu 16.12.2015] Saatavissa:

https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_injection_molding

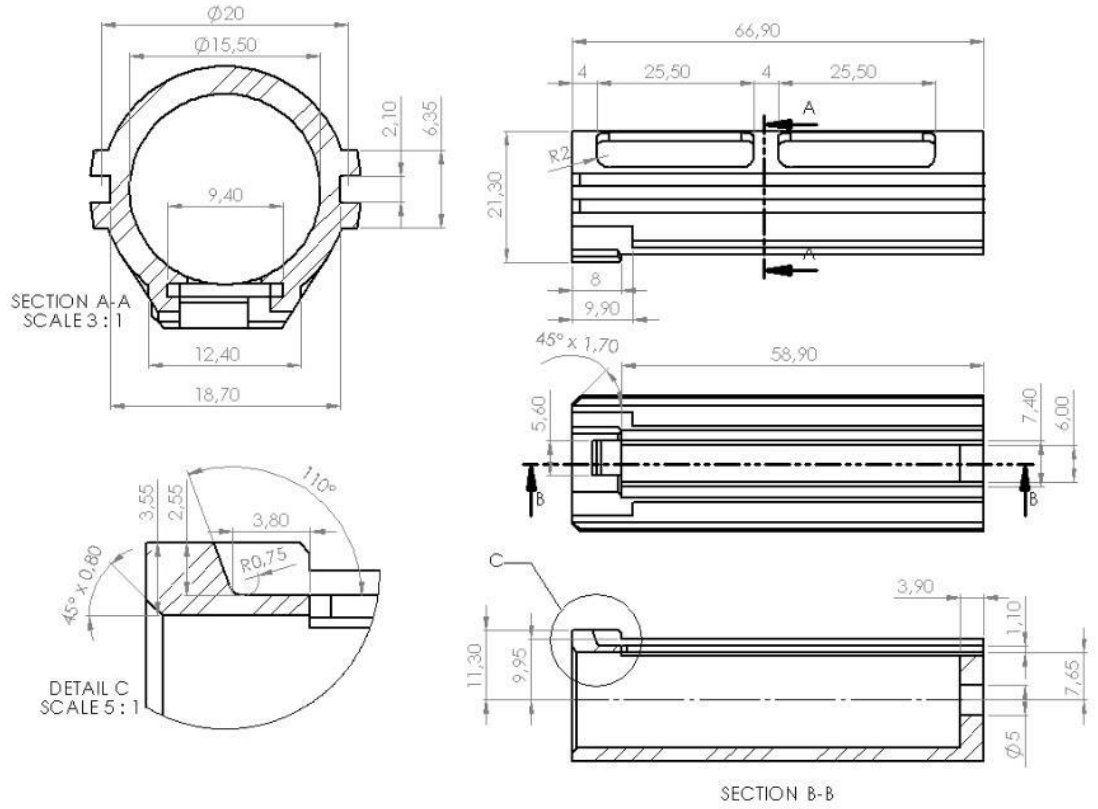
Wikipedia, 2015. Airsoft [viitattu 16.12.2015] Saatavissa:

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Airsoft>

LIITTEET

Männän piirustukset

LIITE 1



Hammastangon piirustukset

LIITE 1

