

Miika Keskinen

**MESSINGIN KORVAAMINEN POLYMEE-
REILLÄ KORKEAPAINESOVELLUKSISSA
KÄYTETYISSÄ KOMPONENTEISSA**
Materiaalitekhninen pohjatutkimus

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Marraskuu 2021

Tarkastajat:
Essi Sarlin
Ilari Jönkkäri

TIIVISTELMÄ

Miika Keskinen: Messingin korvaaminen polymeereillä korkeapainesovelluksissa käytetyissä komponenteissa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikka
11/2021

Valmistavassa teollisuudessa pyritään jatkuvaan tuotannon tehostamiseen automaatioasteen kasvattamisella sekä kulujen pienentämiseen vaihtamalla edullisempiin raaka-aineisiin tai yksinkertaistamalla tuotantoprosessia. Yksi keino millä tähän pyritään on metallisten komponenttien korvaaminen kevyemmillä sekä halvemmilla polymeerisillä komponenteilla, joita on nopeampi sekä helpompi valmistaa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tieteellinen perusta toimeksiantajalle, miten polymeereillä voitaisiin korvata messinkisiä komponentteja toimeksiantajan tuotannossa.

Tutkimuksen teoriaosuudessa perehdyttiin toimeksiantajan aikaisemmin toteuttamien käytännön testien dokumentaatioihin ja näiden dokumentaatioiden pohjalta rakennettiin sisäisesti standardoidut testimenetelmät tuloksien vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Kokeellisessa osiossa lähtökohdaksi valittiin toimeksiantajan aikaisemmissa testeissä parhaiten menestynyt materiaali ja kriittisten ominaisuuksien tunnistamiseksi kaksi materiaalia, jotka poikkesivat ominaisuuksiltaan ensimmäisenä valitun materiaalin ominaisuuksista. Tutkimuksen alkuvaiheessa tarkasteltaviksi ominaisuuksiksi valittiin vetolujuus, murtovenymä sekä iskutkeys ja materiaalivalinnat perusteltiin näiden ominaisuuksien avulla.

Teoreettisen materiaalikarakterisoinnin pohjalta teetätettiin ruiskuvalutuja tuotteita. Prototyyppien valmistuksessa törmättiin odottamattomiin ongelmiin sillä materiaalien käyttäytyminen ruiskuvaluprosessissa poikkesi materiaalien valmistajien antamista tiedoista. Näitä ristiriitoja ei tämän tutkimuksen aikataulupuitteissa ehditty ratkaisemaan yrityksistä huolimatta ja käytännön testaukset jouduttiin tekemään osittain viallisilla prototyypeillä. Prototyypeissä oli havaittavissa muun muassa yhtymäsaumoja, kutistumia, vajaita tuotteita sekä liian korkeaa kiteisyysastetta. Valmistusvirheistä huolimatta prototyyppejä pystyttiin testaamaan toimeksiantajan testilaitteistolla ja niistä saadut tulokset korreloivat materiaalien ominaisuuksia.

Tutkimus ei tuottanut suoraa materiaaliratkaisua messinkikomponenttien korvaamiseksi tuotannossa, mutta tuloksista saatiin toimeksiantajalle arvokasta ja lupaavaa tietoa materiaalien käyttäytymisestä, käytössä olleesta testilaitteistosta, sen toiminnallisuudesta sekä tarpeellisesta dokumentoinnista tulevia jatkotutkimuksia varten. Työstä saadut tärkeimmät huomiot olivat tarve muuttaa prototyyppien valmistamiseen käytetyn muotin rakennetta sekä tarve määritellä kriittiset ominaisuudet uudelleen. Työssä tutkituista materiaaliominaisuuksista iskutkeys vahvistui merkittävimmäksi ominaisuudeksi. Lisäksi työn aikana laadittu testimenetelmä sekä siihen liittyvä dokumentointiohjeistus jää toimeksiantajalle työkaluksi tulevia jatkotutkimuksia varten.

Avainsanat: Valmistava teollisuus, Messinki, Polymeeri, Korvaaminen, Korkeapainesovellus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Miika Keskinen: Replacing brass with polymers in components used in high pressure applications
Master's thesis
Tampere University
Materials Science
11/2021

The aim of the manufacturing industry is to continuously increase the efficiency of production by increasing the degree of automation and to reduce costs by switching to cheaper raw materials or simplifying the production process. One way to achieve this is to replace metallic components with lighter as well as cheaper polymeric components that are faster and easier to manufacture. The aim of this thesis was to provide a scientific basis for the company on how polymers could replace brass components in the company's production.

In the theoretical part of the study, the documentation of the practical tests previously carried out by the client was examined, and based on these documentation, internally standardized test methods were built to ensure the comparability of the results. In the experimental section, the material that performed best in the client's previous tests was selected as the starting point, and two materials that differed in properties from the first selected material were used to identify critical properties. Tensile strength, elongation at break and impact strength were selected as the properties to be considered at the beginning of the study, and material choices were justified by these properties.

Based on the theoretical material characterization, injection molded products were commissioned. Unexpected problems were encountered in the manufacture of prototypes because the behavior of the materials in the injection molding machinery differed from the information provided by the material manufacturers. These inconsistencies were not resolved within the timeframe of this thesis, despite attempts, and field testing had to be done with partially defective prototypes. The noticed defects were knit lines, shrinkage, incomplete products and too high a degree of crystallinity. Despite manufacturing defects, prototypes could be tested on the company's test equipment and the results correlated with the properties of the materials.

The thesis did not provide a direct material solution for the replacement of brass components, but the results provided to the company a valuable and promising information on the behavior of the materials, about the test equipment and its functionality and the necessary documentation for further research. The main considerations from the thesis were the need to change the structure of the mold used to make the prototypes and the need to redefine the critical properties. In this thesis, impact toughness was confirmed to be the most significant property from studied properties. In addition, the test method developed during the thesis and the related documentation instructions will remain a tool for the company for further studies.

Keywords: Manufacturing, Brass, Polymer, Replacement, High Pressure Application

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Diplomityön aiheeseen päädyttiin työsuhteen aikana käytyjen keskustelujen tuloksena. Toimeksiantajan tarve tutkimukselle aiheesta ylitti huomattavasti diplomityön laajuuden ja työ rajattiin kattamaan yksi osa-alue laaditusta projektikonaisuudesta.

Tahdon kiittää toimeksiantajaa tutkimuksen mahdollistamisesta ja siellä kaikkia minua tutkimuksessa auttaneita ja kannustaneita henkilöitä. Lisäksi erityiskiitokset ohjaajilleni Essi Sarlinille sekä Ilari Jönkärille laadukkaista ohjeistuksesta ja opastuksesta sekä pitkäjänteisestä sitoutumisesta tutkimuksen suorittamista kohtaa. Kiitän myös avopuolisoani, jonka tuki ja kannustus ovat olleet työn kirjoittamisen kannalta äärimmäisen tärkeitä.

Hämeenlinna, 14.11.2021

Miika Keskinen

Miika Keskinen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TYÖN RAKENNE.....	3
2.1 Tutkimustarve	3
2.2 Työn tavoite ja rakenne.....	5
3. PATRUUNA	7
3.1 Patruunan kehityskaari.....	7
3.2 Lataussykli	11
3.3 Patruunahylsy	13
3.3.1 Kaula ja suu.....	14
3.3.2 Hartia	15
3.3.3 Runko	16
3.3.4 Kanta	17
3.4 Vaatimukset ja lainsäädäntö	18
4. KÄYTETYT TUKIMUSMENETELMÄT	20
4.1 Teoreettinen pohjustus.....	20
4.2 Prototyyppien testaus.....	21
5. POLYMEERIEIEN VALLANKUMOUS	23
5.1 Polymeeriteollisuus	23
5.2 Polymeerit metallien korvaajana.....	25
5.3 Polymeerin käyttö sovelluskohteessa.....	27
5.3.1 Sovelluskohteen vaatimukset.....	27
5.3.2 Valmistustekniikan valinta	28
6. TOTEUTUS	32
6.1 Aineiston kokoaminen	32
6.1.1 Vanhat materiaalit	32
6.1.2 Kriittiset ominaisuudet	36
6.1.3 Uudet materiaalit.....	37
6.2 Testijärjestelyt.....	39
6.2.1 Laatutestit	40
6.2.2 Toiminnallisuustestit.....	41
6.2.3 Patruunatestit.....	42
7. TULOKSET.....	44
7.1 Prototyypit.....	44
7.2 Laatutulokset.....	53
7.3 Toiminnallisuustulokset.....	55
7.4 Ruutitestitulokset.....	56
7.4.1 Reseptihaku.....	56
7.4.2 Patruunatulokset.....	60
8. YHTEENVETO.....	68
LÄHTEET	69
LIITE A.....	75
LIITE B.....	76
LIITE C.....	77

LYHENTEET JA MERKINNÄT

C.I.P.	Commission internationale permanente pour l'épreuve des armes à feu portatives
NATO	The North Atlantic Treaty Organization
PA 6	Nailon 6
PA 6 GF	Lasikuituvahvisteinen nailon 6
POM	Polyoksimetyleeni
POMCB	Hiilimusta vahvistettu polyoksimetyleeni
PP	Polypropeeni
SAAMI	Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute
STANAG	Standardization Agreement

1. JOHDANTO

Patruunateollisuudessa on kilpailtu aina kahdella osa-alueella: Volyymissä sekä variaatioissa. Tämä kahtiajako on käytännössä pakottanut yritykset optimoimaan jommankumman, koska hyvin pitkälle standardisoidussa massatuotannossa variaatioiden joustava hallitseminen muuttuu lähes mahdottomaksi. Toisaalta taas joustava tuotanto edellyttää pienempiä eräkokoja ja tuotantolaitteilla asetuksien rullavaa vaihtumista, joka kuluttaa tuotantolaitteiden produktiivista aikaa.

Diplomityön toimeksiantajana toimii Euroopan johtava kiväärien valmistaja. Toimeksiantaja on lisäksi yksi harvoista yrityksistä maailmalla, jonka tuoteportfolioon kuuluu kiväärien lisäksi myös laaja valikoima kivääripatruunoita. Toimeksiantajan liikevaihto oli noin 95 m€ ja se työllisti noin 300 henkeä vuonna 2020, mutta viimevuosia on leimannut voimakas kasvu, joten luvut tulevat kasvamaan selkeästi tulevaisuudessa. Toimeksiantajalla on aktiivisia patruunavariaatioita jo yli 300, joka tarjoaa erinomaisen kilpailukyvyn useimpiin valmistajiin. Globalisaation myötä eri variaatioiden saatavuus on helpottunut loppukäyttäjille, jonka vuoksi markkina-aseman säilyttäminen ja sen kasvattaminen vaatii jatkuvasti uusia innovaatioita sekä vanhojen tuotteiden jatkokehitystä.

Vaihtamalla patruunoiden materiaali messingistä polymeeriin, voidaan polymeeristä ja kaliiperista riippuen, lopputuotteen kokonaiskustannuksissa saavuttaa jopa 20–60 % säästöt. Tämän lisäksi tuot-

teiden massa pienenee 15–45 %, joka on erityisesti sotilas- ja viranomaispuolella erittäin merkittävä arviointikriteeri. Pitkälle kehitetyssä tuotantoprosessissa jo muutaman prosentin kustannussäästöt luokitellaan huomattaviksi, joten useamman kymmenen prosentin potentiaaliset kustannussäästöt yhdessä keventyneen lopputuotteen kanssa mahdollistaisivat merkittävän kilpailuedun markkinoilla.

Parin viime vuosikymmenen aikainen kehitys polymeerien saralla on tuonut markkinoille uusia teknisiä polymeerejä, joiden ominaisuudet ovat joissain sovelluskohteissa parempia kuin metallisten verrokkien. Tämä kehitys näkyy todella voimakkaasti aseteollisuuden puolella, jossa valtaosa tuotteiden ei-toiminnallisista runko-osista on jo korvattu muovisilla osilla. Jo tapahtuneen transition lisäksi polymeereillä pyritään jatkuvasti korvamaan yhä vaativampia komponentteja. Polymeerimateriaalien entistä tarkempien valmistus- ja räätälöintitekniikoiden ansiosta polymeerimateriaaleja pyritäänkin käyttämään entistä vaativimpiin sovelluskohteisiin jatkuvasti.

2. TYÖN RAKENNE

2.1 Tutkimustarve

Diplomityön aihetta ei toimeksiantajan puolesta rajoitettu ja todellisen tutkimustarpeen laajuus ylittää moninkertaisesti diplomityön laajuuden. Rajausta lähdettiin kuitenkin tekemään kartoittamalla, millä patruunan komponentilla voidaan saavuttaa suurin hyöty, jos siirtyminen polymeeriin onnistuu. Kartoituksen tuloksien perusteella työ rajattiin hylsyyn ja tarkemmin sen materiaalitekniseen toteutukseen. Hylsy valikoitui lopulta tutkimuskohteeksi, koska siirtymällä polymeeriseen rakenteeseen voidaan saavuttaa lukuisia etuja nykyiseen messinkiseen hylsyyn. Lisäksi erilaisia luotiprojekteja on toimeksiantajalla jo käynnissä ja niistä saavutettu hyöty rajoittuu yksittäisiin tuotteisiin.

Potentiaalinen hyöty voidaan saavuttaa useammalla osa-alueella samanaikaisesti: tuotteen valmistusmenetelmänä käytetään kylmämuokkausta, joka on kehitetty 1870-luvulla ja on sieltä saakka pysynyt lähes muuttumattomana ja hylsyn materiaalikustannus on useimmissa tuotteissa suurin yksittäinen kustannuserä patruunan valmistuksessa.

Valmistusprosessi sisältää monta välivaihetta ja vaatii täten paljon työtä ja energiaa. Kuvassa 1 näkyy messinkisen hylsyvalmistuksen välituotteet.



Kuva 1, Messinkisen patruunahylsyn valmistuksen välivaiheet.

Välituotteet pestään ja kuivataan jokaisen työvaiheen välissä sekä lämpökäsitellään ja peitataan muutamia kertoja valmistusprosessin aikana. Kokonaisuudessaan valmistusprosessi sisältää yli 30 työvaihetta.

Prosessin yksinkertaistaminen lisäksi raaka-aineen vaihdolla voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä. Hylsyissä käytetty messinki on suurimmaksi osaksi kuparia (70–75 %), joten sen hinta luonnollisesti myötäilee kuparin hintaa. 2000-luvun puolella teknologian yleistyessä huimaa vauhtia, kuparin kysyntä on kasvanut räjähdysmäisesti. Vaikka kuparin tuotanto on lisääntynyt vuosittain, on kysyntä kasvanut voimakkaammin eikä viitteitä kasvun hidastumisesta ole (kuva 2).



Kuva 2, Kuparin pörssihinnan kehitys aikavälillä 1960–2021. Ilmoitettu hinta on dollaria per pauna. Vuoden 2008 lama näkyy jyrkkänä hinnanlaskuna samoin kuin vuosien 2012–2015 pelko lamasta laski hintoja merkittävästi [1].

Tästä syystä vaihtoehtoinen materiaali tuotteelle on ajankohtainen, sillä jos raaka-aineiden hinnat jatkavat nousuaan, tuotanto muuttuu

kannattamattomaksi lopputuotteen hinnan ylittäessä kuluttajien kipurajan.

2.2 Työn tavoite ja rakenne

Työn tavoitteena on luoda luotettava aineistopohja suuremmalle tutkimusprojektille, jossa selvitetään polymeeristen materiaalin potentiaalia korvata nykyisin käytössä olevia materiaaleja patruunoissa. Työ itsessään keskittyy hylsyyn ja sen materiaalitekhniseen toteutukseen, mutta siitä saatava tutkimustieto hyödyttää myös tulevia projektiin liittyviä tutkimuksia eikä pelkästään hylsyn, mutta myös muiden komponenttien osalta.

Työn alussa käsitellään patruunaa yleisesti ja perehdytään sen kehityskaareen. Osio toimii pohjatietona asiaan vähemmän perehtyneelle lukijalle ja havainnollistaa tämän työn kaltaisen tutkimuksen merkityksellisyyttä patruunateollisuudessa. Yleisen osion jälkeen käsitellään patruunan rakennetta ja toiminnallisuutta tarkemmin, sillä niiden tuntemus yksityiskohtaisesti on äärimmäisen tärkeää työn sekä työstä saatujen tuloksien ymmärtämiseksi. Osiossa ei tuoteta varsinaisesti uutta tietoa alalle, vaan kattavalla kirjallisuusselvityksellä perehdytään lopputuotteen ominaisuuksiin sekä erilaisiin rakenneratkaisuihin johtaneita syitä.

Toisessa osiossa käsitellään tutkimusmenetelmiä sekä niiden soveltamista aiheeseen. Osiossa käydään järjestyksessä läpi, mitä menetelmiä työssä on käytetty missäkin vaiheessa, minkä vuoksi sekä mitä hyötyjä ja puutteita menetelmissä on työn edistymisen kannalta. Lisäksi arvioidaan menetelmien luotettavuutta ja niiden tuottaman datan jatkokäsittelyarvoa.

Kolmannessa osiossa käsitellään polymeerejä ja niiden potentiaalia metallien korvaajina teknisesti haastavissa sovelluskohteissa. Osiossa syvennytään lisäksi mitä mahdollisuuksia polymeerit tarjoavat verrattuna metalleihin sekä mitä rajoitteita ne asettavat tutkimuskohdteessa rakenteen tai valmistustekniikan puolelta.

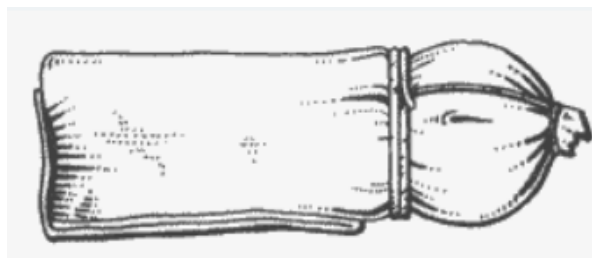
Neljäs osio käsittelee työn käytännön toteutusta ja kuvaa kehitysprosessin etenemistä. Osio aloitetaan perehtymällä toimeksiantajan datapankkiin sekä sen organisointiin siten, että materiaalin avulla on mahdollista muodostaa selkeä, ajantasainen kuva projektista työn aloitusvaiheessa sekä määritellä ja perustella tutkimustyön lähestymisperiaatteet. Osiossa siirrytään jouhevasti työn aloitukseen sekä suunniteltujen toimenpiteiden toteutukseen sekä niistä saatuun informaatioon.

Viidennessä osiossa esitetään ja analysoidaan työssä saadut tulokset sekä arvioidaan työssä käytettyjen tutkimusmenetelmien ja saatujen tuloksien luotettavuutta. Kuitenkin lopulliset johtopäätökset sekä työtä ja sen merkityksellisyyttä toimeksiantajalle arvioidaan yhteenvedossa.

3. PATRUUNA

3.1 Patruunan kehityskaari

Ensimmäisen kehityskaskel kohti patruunaa otettiin 1600-luvulla, jolloin mustaruutiaseiden käsivaraisesta ruudin annostelusta siirryttiin mitattuihin ruutiannoksiin. Ruutiannokset olivat tyypillisesti annosteltu pieniin putkiloihin, joita sotilaat kantoivat nahkaremmissä ja josta ne olivat nopeasti saatavilla taistelutilanteessa. Tavalliset metsästäjät kuitenkin käyttivät pitkälle 1700-luvulle saakka puusta, luusta tai metallista valmistettua ruutipulloa, josta ruutia kaadettiin käsivaraisesti piippuun. [2] Sotilaskäytössä aseiden jälleenlatausnopeutta kuitenkin pidettiin suuressa arvossa ja vaikka ruuti oli valmiiksi mitattu, ei se juurikaan parantanut aseiden tulinopeutta. Tästä syystä jo vuonna 1644 löytyy ensimmäiset kirjalliset ohjeet paperipatruunoiden, eli kartuusien (kuva 3), käyttämiseksi. Ensimmäiset kartuusit olivat yksinkertaisia paperiputkiloita, joiden pohja oli suljettu puisella pinnillä tai narulla, jotka täytettiin ruudilla ja lyijykuulalla sekä sidottiin tai liimattiin kiinni. [3]



Kuva 3, Ensimmäinen kirjallisuudesta löydetty kuva kartuusista vuodelta 1644 [3].

Varsinaisesta patruunasta ei voida kuitenkaan vielä puhua, koska käytettäessä kartuusin pohja revittiin auki, sisällä oleva ruuti kaadettiin piippuun ja tiivistettiin kuulalla, jossa oli kartuusin paperi vielä

kiinni. Kartuusi ei myöskään sisältänyt alkuvaiheessa itsessään sytytintä, vaan lataus sytytettiin ulkoisen kipinän avulla. Kartuusin muoto ja koko vaihteli käytetyn asetyypin mukaan, mutta konsepti säilyi muuttumattomana aina 1800-luvulle asti. [4]

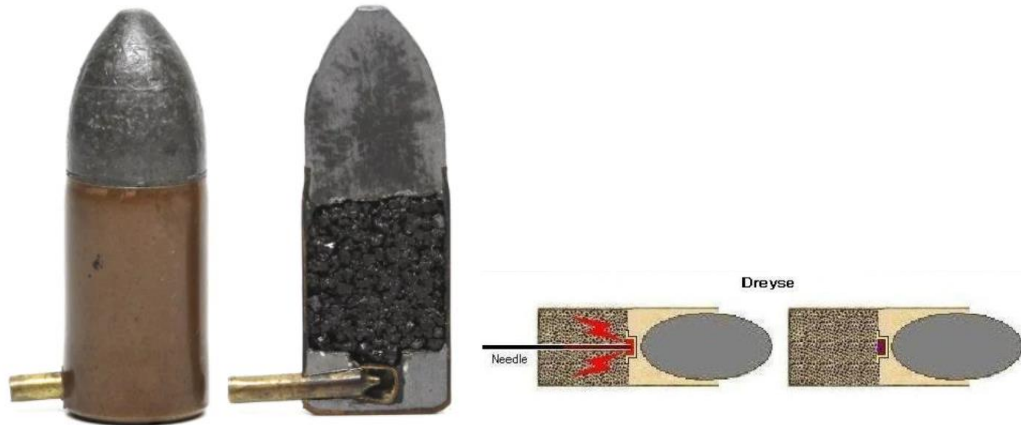
Ensimmäinen virallinen patruuna, joka sisälsi kaikki patruunan rakenteelliset komponentit eli nallin, ruudin, luodin sekä niitä yhdessä pitävän rungon, kehitettiin sveitsiläisen asesepän Jean Samuel Pauly toimesta vuonna 1808 (kuva 4a). Vaikka Pauly kehittänyt patruuna sisälsikin rakenteellisesti kaikki komponentit, ei se vastannut modernia patruunaa laisinkaan. Kuten kuvasta 4a käy ilmi, Pauly ensimmäiset patruunat olivat paperisia ja aiheuttivat haasteita syötettäessä takaa-ladattaviin kivääreihin. Paperinen runko oli pehmeä ja rutistui helposti kuljetuksessa sekä kastuessaan se repesi helposti. Pauly tiedosti ongelmat ja jo vuonna 1812 hän ymmärsi metallirungon hyödyt ja patentoi ideansa (kuva 4b) käyttäen messingistä valettua sylinteriä. [5]



Kuva 4a (vasen), Pauly vuonna 1808 kehittämä paperipatruuna sekä kuva 4b (oikea) Pauly jatkokehittämä messinkirunkoinen patruuna vuodelta 1812. [5, 6]

Patruuna yleistymisen oli kuitenkin hidasta, koska konseptin todellinen potentiaali ylitti silloisten päättäjien käsityskyvyn ja heidän mielestään nallissa käytetty räjähdettä oli liian epävakaata ja siten vaarallista sotilaiden kannettavaksi ja käytettäväksi [6].

Paulyn käyttämä nallimassa oli epävakaa sekä siten hyvin iskuherkkä ja heikkous pyrittiin eliminoimaan hyvinkin erilaisilla ratkaisuilla, mm. pin-fire sekä neulasyttyyspatruunoilla (Kuva 5a ja 5b). [7]



Kuva 5a (vasen) Casimir Lefaucheur:n vuonna 1836 kehittämä "pin-fire" patruuna sekä kuva 5b (oikea) samana vuonna Johann Nikolaus von Dreyesen toimesta kehitetty "needel-fire" patruuna [7].

Näissä ratkaisumalleissa ilmeni kuitenkin muita suorituskykyä heikentäviä ongelmakohtia mm. pinnien katkeilua tai irtoamista sekä laukeamattomia patruunoita. Vasta vuonna 1845 ranskalainen Louis-Nicolas Flobert kehitti nimeään kantavan, 6 mm Flobert (kuva 6), kuparihylsyisen, reunasytteen patruunan, joka ei sisältänyt laisinkaan ruutia vaan ainoastaan nallimassaa. [8]



Kuva 6, Flobertin 6 mm patruuna. Patruuna oli seinämiltään venytetty nallikuppi, joka oli täytetty nallimassalla ja kiilattu 6 mm lyijykuulalla tiiviiksi [8].

Patruunamalli pysyi kuitenkin valtaväestöltä pimennossa, kunnes vuonna 1851 Horace Smith ja Daniel Wesson törmäsivät Flobertin patruunaan näyttelyssä ja ymmärsivät välittömästi sen potentiaalin ja alkoivat kehittämään sitä käyttävää asetta. Kehitystyöstä syntyi vuonna 1857 Smith&Wesson model 1 revolveri, joka käytti muokattua Flobertin patruunaa. Hylsyä pidennettiin ja sinne lisättiin mustaa ruutia, josta syntyi vielä nykyisinkin käytössä oleva .22 Short. [9]

Keskisytytteiset patruunat olivat teknisesti helpommin valmistettavia kuin reunasytytteiset sekä niiden hylsy olisivat uudelleen käytettäviä, mutta herkkä nalli esti niiden yleistymisen samassa mittakaavassa kuin reunasytytteisten. Tästä syystä erilaisia nalliratkaisuja alkoikin syntyä kymmeniä, mm. Bar anvil, Benet cup, Rodman-Crisp jne., joista sittemmin toimintavarmimmat Brendan- (v.1866) sekä vuotta myöhemmin kehitetty Boxer- nallit alkoivat yleistyä. Vaikka keskisytytteiset patruunat ovatkin nykyaikana selkeästi yleisimmin käytettyjä kuin reunasytytteiset, niin Flobertin reunasytytteinen patruuna avasi oven massavalmisteisille, messinkisille patruunoille. [8]

1900-luvun vaihde oli patruunoiden kehityksen kulta-aikaa, kun mustaruuti korvattiin 1880-luvun lopulla nitroselluloosalla ja maailmansodat vaativat logistiikalta ja tuotteilta huomattavasti aikaisempaa enemmän. Nitroselluloosa mahdollisti automaattiasseiden kehityksen sekä huomattavasti pienemmän latauksen saman tehon saavuttamiseksi kuin mustaruutiaseella. Samaan aikaan kun massatuotanto tehostui, niin aseet ja ammukset yleistyivät myös siviiliväestössä. [2, 10]

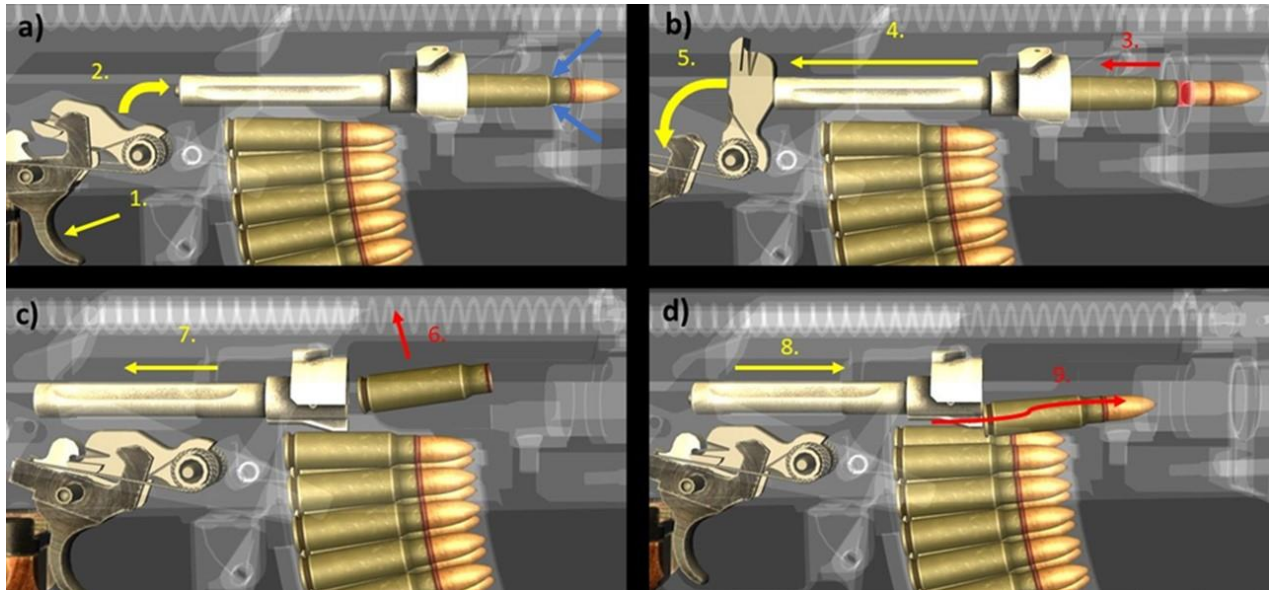
Siviilikäyttäjille logistiikan yksinkertaisuus, patruunan paino tai joissain tapauksissa edes hinta ei ole niin merkittävässä asemassa ostopäätöstä tehdessä, vaan patruunan suorituskyky loppukäyttäjän kaipaamassa tilanteessa. Näistä syistä johtuen sotateollisuuden puolella ase- ja patruunakehitys pyrkii pienempään tuotteeseen ja yhtenäisempään valikoimaan, kun siviilipuolella tuotteen koko kasvaa ja valikoima monipuolistuu.

Tästä hyvänä esimerkkinä toimivat standardeja ylläpitävien organisaatioiden tietokannat: *Commission internationale permanente pour l'épreuve des armes à feu portatives* eli lyhennettynä C.I.P:n tietokannasta löytyy kaupalliseen siviilikäyttöön hyväksytyjä kaliipereja 1789 erilaista [11] ja laajasti armeijoiden ja poliisien käytössä oleva North Atlantic Treaty Organization eli NATO:n ylläpitämästä Standardization Agreement eli STANAG:sta löytyy kuusi kaliiperia [12].

3.2 Lataussykli

Ennen hylsyn toiminnallisuuksiin syventymistä, täytyy asejärjestelmän toimintaperiaate ja siihen liittyvät komponentit käydä läpi. Eri asejärjestelmissä lataussyklin yksityiskohdat ja liikkeen vaatiman

energian lähde voivat vaihdella, mutta kaikkien järjestelmien sykli sisältää seuraavat neljä vaihetta: Laukaisu (kuva 7a, nuolet 1 ja 2), vasaran viritys (kuva 7b, nuolet 4 ja 5), hylsyn poisto (kuva 7c, nuoli 6) sekä uuden patruunan syöttäminen (kuva 7d, nuoli 9).



Kuva 7, Itselataavan kiväärin lataussykli. Syklin vaiheet a) laukaisu, b) vasaran viritys, c) hylsyn poisto sekä d) uuden patruunan lataus. Grafiikka: World of Guns: Gun disassembly-simulaattori.

Vasaran virittämisen lisäksi lukon sisällä oleva iskuri tulee siirtyä etu-asennosta takaisin taka-asentoon jossain syklin vaiheessa. Tulevien kappaleiden ymmärtämisen helpottamiseksi, taulukossa 1 on nimettyä asejärjestelmän kriittiset osat ja niiden sijainnit kuvissa 7a-b.

Taulukko 1, Asejärjestelmän kriittisten osien nimet ja sijainnit kuvissa.

Kuva	Osa	Sijainti
7a	Liipaisin	1. Nuolen osoittama
7a	Vasara	2. nuolen alkupäässä
7a	Iskuri (pää näkyvässä)	2. nuolen osoittama
7b	Lukko	4. nuolen alapuolella

Iskuri on lukon läpi kulkeva puikko, joka vasaran osumasta iskee patruunan nalliin laukaisten sen. Nyt kuvatussa syklissä iskuri siirtyy taka-asentoon kuvien 7c ja 7d välillä lukon muuttaessa liikesuuntansa. Kuvissa 7a sekä 7d on lukon vasemmassa reunassa havaittavissa iskurin pää (taka-asento), kun kuvissa 7b ja 7c se ei ole näkyvässä laisinkaan (etuasento). Taulukko 1:n tarkoitus on toimia yhdessä kuvien 7a-d havainnollistavana muistilistana, kun aseennäköisiä osia käsitellään tulevilla kappaleilla.

3.3 Patruunahylsy

Kuten kappaleessa 3.1 käytiin läpi, moderni hylsy on vuosisatojen saatossa muovautunut vaihe kerrallaan nykyiseen malliinsa, jossa se on nyt pysynyt lähes muuttumattomana vuosisadan. Hylsy yksittäisenä vaikuttaa hyvin yksinkertaiselta tuotteelta, mutta vuosikymmenten kehitystyön tuloksena hylsyn jokaisella piirteellä (kuva 8) on funktionaalinen merkitys. [13]



Kuva 8, Moderni kiväärihylsy, kaliiperi 308win, sekä sen geometriset piirteet korostettuina sekä nimettyinä. Lähde: Toimeksiantajan arkisto

Jotta näin pitkälle kehitettyä tuotetta voisi jatkojalostaa, täytyy jokainen sen piirre tuntea läpikotaisin sekä ymmärtää, miksi ja miten kyseiseen ratkaisuun on päädytty. Kuvassa 8 esitetty hylsy on moderni keskisytytteinen urakannallinen .308Win kaliiperin hylsy, kun työssä tutkittavana on .22 Hornet, joka on laippakannallinen hylsy (kuva 9).



Kuva 9, .22 Hornet hylsy. Lähde: Toimeksiantajan arkisto

Työn teoriaosuudessa viitataan kuitenkin kuvaan 8, sillä siinä hylsyn geometriset piirteet ovat selkeästi paremmin erotettavissa kuin kuvan 9 hylsyssä. Geometrinen piirteiden toiminnallisuudet säilyvät kuitenkin samana, joten tämä ei vaikuta työn seurattavuuteen. [13]

3.3.1 Kaula ja suu

Hylsyn kaulalla on kaksijakoinen tehtäväkokonaisuus. Sen ensimmäinen tehtävä on mahdollistaa tarpeeksi pitkä kitkapinta luodille, jolloin luotia asetettaessa se istuu oikeaan syvyyteen ja kitka pitää sen tiukasti paikoillaan. Jotta kaulan luotiin kohdistama voima olisi tarpeeksi suuri, kaulan materiaali ei saa olla liian pehmeää ja siten muovautua

liian helposti. Kaulan toinen tehtävä on laukaisussa laajentua paineen vaikutuksesta patruunapesän seinämiä vasten niin tiiviisti, jotta ruudin palaessa syntyvät palokaasut eivät pääse vuotamaan hylsyn ja piipun välistä taakse päin patruunapesään. Nämä tehtävät täyttääkseen hylsyn kaulan on oltava mittatoleransseiltaan hyvin tiukka ja kaulan oikeanlainen lämpökäsittely on ensiarvoisen tärkeää. Tällöin materiaali on tarpeeksi kovaa puristuksen mahdollistamiseksi, mutta silti samalla tarpeeksi pehmeää, jotta se laajentuu laukauksen yhteydessä ilman halkeamista. [13, 14, 15]

Hylsyn suulla (kappaleen reuna-alueella) ei normaalitilanteessa ole erityistä funktiota, mutta muutamien erikoisluotien kohdalla hylsyn suu niipataan eli puristetaan kasaan luodissa olevaan niippausuraan. Tällöin hylsyn ja luodin välille saadaan mekaaninen lukitus kitkalukituksen lisäksi ja tällöin patruuna kestää rajuakin käsittelyä. Niippaus tehdään kuitenkin useimmiten vain sotilas- ja viranomaiskäyttöön suunnitelluille patruunoille, koska näiden käyttöympäristö poikkeaa huomattavasti normaaleista metsästys- ja harrastusympäristöistä.

3.3.2 Hartia

Hylsyn hartian on patruunan kriittisin alue. Hartian alue tarkistetaan erityisen huolellisesti jokaisesta hylsystä, sillä pienikin virhe tai poikkeama mittatoleransseissa tai materiaalin koostumuksessa heikentää hylsyn rakennetta huomattavasti ja se ei ole välttämättä enää käyttäjäturvallinen. Hartian varsinaisista tehtävistä ensimmäinen on mahdollistaa rungon halkaisijan kasvattamisen ilman luodin halkaisijan kasvattamista ja kasvattaa täten patruunan ruutitilavuutta huomattavasti.

Hartia toinen kriittinen tehtävä on varmistaa patruunalle tukipiste (kuva 7a, siniset nuolet), kun lukko painaa patruunaa piippuun. Mikäli hartia on väärän mallinen tai antaa tässä vaiheessa periksi, patruuna ei tiivisty tarpeeksi tiukasti lukkoa (kuva 7a, harmaa vaakasuora kapale) vasten, jolloin vasaran (kuva 7a, nuoli 2) osuessa iskuriin (kuva 7a, lukon sisällä kulkeva puikko), iskuri ei osu tarpeeksi voimakkaasti nalliin eikä nalli laukea. Patruuna jää tällöin “klikiksi” eli laukeamattomaksi patruunaksi.

Kolmantena tehtävänään hartian seutu laajenee laukaisussa paineen vaikutuksesta patruunapesän seinämiin, tiivistäen patruunapesän ja piipun välisen alueen lopullisesti, vähentäen täten painehäviötä piipussa ja siirtäen ruudin energian tehokkaammin luotiin. Hartia helpottaa myös patruunan sijoittumista oikein, kun asejärjestelmä siirtää patruunaa latauslaitteesta kohti patruunapesää (kuva 7d, nuoli 9). [13, 14, 15]

3.3.3 Runko

Rungon selkein tehtävä on säilöä ruuti sekä suojata sitä ympäristöltä ja ennenaikaiselta syttymiseltä. Runko määrittelee myös patruunan mekaaniset ominaisuudet suurimmilta osin. Runkoa tutkiessa lähemmin havaitaan, että rungon seinämät eivät ole täysin suorat vaan runko on aavistuksen kartion mallinen ($0,30^{\circ}-1^{\circ}$) ja kapenee hylsyn suuta kohden siirryttäessä. Tuotteen kartiokkuus helpottaa patruunan sovitusta patruunapesään sekä helpottaa hylsyn ulosvetämistä laukaisun jälkeen. Rungon ehkä jopa tärkein tehtävä kuitenkin on laajentua laukaisussa patruunapesän seinämiä vasten ja kitkan avulla välittää paine patruunapesän seinämiin. Tämä keventää hylsyn kantaan

ja lukkoon kohdistuvaa painetta sekä pienentää huomattavasti vaara-tilannetta, jossa lukkorunko pettää paineen alaisuudessa ja lukko tai sen osia sinkoutuu aseesta käyttäjää kohtaan. [13, 14, 15]

3.3.4 Kanta

Patruunat luokitellaan kannan rakenteen mukaan viiteen pääryhmään: Urakantaiset, laippakantaiset, vyökantaiset, puolilaippakantaiset, sekä kavennetut urakantaiset. Näistä viidestä pääryhmästä urakantaiset (kuva 8) ovat ylivoimaisesti yleisimmin käytössä ja sitä kutsutaankin usein moderniksi malliksi. Seuraavaksi yleisimmät ovat laippakantaiset (kuva 9), joita käytetään vanhoissa sotilaskäyttöön suunnitelluissa aseissa sekä kevyissä pienriista- ja kilpa-aseissa. Kolmanneksi suurin ryhmä on vyökantaiset, joita käytetään raskaissa suurriistan metsästykseseen sekä tarkkuusammuntaan suunnitelluissa aseissa. Puolilaippakantaiset sekä kavennetut urakantaiset ovat harvinaisia ja niitä käytetään lähinnä spesifisissä kilpailulajeissa.

Kannan näkyvin ja selkein tehtävä on kantaa ja suojata nallia. Kannan toinen tehtävä on tiivistää patruuna lukkoa vasten patruunan ollessa patruunapesässä sekä kohdistaa nalli iskurin kanssa. Laukauksen yhteydessä kantaan kohdistuu huomattava paine, joka välittyy myös lukolle, vaikka patruunan runko suurimman osan kuormituksesta kantaa. Laukauksen jälkeen patruuna vedetään ulos patruunapesästä kannassa olevan uran tai laipan avulla, johon lukossa oleva ulosveittäjä on kiinnittynyt patruunan patruunapesään työntämisen yhteydessä. Kun hylsy on vedetty kokonaan ulos patruunapesästä, lukon sisällä oleva ulosheitin työntää patruunaa kannasta, jolloin hylsy lentää ulos hylsynpoistoaukosta. Kantaan myös leimataan valmistuksen

yhteydessä patruunan kaliiperi ja valmistaja sekä mahdollisesti valmistusvuosi. [13, 14, 15]

3.4 Vaatimukset ja lainsäädäntö

Polymeerisen tuotteen olisi tarkoitus korvata messinkinen tuote tai ainakin toimia sen rinnalla samanaikaisesti, joten niiden toiminnallisuudet tulisivat olla mahdollisimman samankaltaiset keskenään. Jotta polymeerinen hylsy voisi korvata messinkisen edeltäjänsä, se ei saa merkittävästi lisätä rajoituksia valmistusta, logistiikkaa eikä käyttöympäristöä kohtaan. C.I.P. on laatinut tarkat testit ja toleranssit turvallisuuden varmentamiseksi ja ne läpäistyään valmistajan tekninen vastuu tuotteen turvallisuudesta siirtyy C.I.P:lle. Jotta polymeerisiä hylsyjä voitaisiin myydä kuluttajille toimeksiantajan toimesta, tulee hylsyn täyttää C.I.P:n asettamat vaatimukset sille. [11]

C.I.P määrittelee jokaiselle kaliiperille valmistus- ja laatutoleranssit, joista esimerkkeinä ovat liitteet A ja B, sekä valvoo asettamiensa standardien toteutumista. C.I.P on toistaiseksi ainoa organisaatio maailmassa, jolla on laillinen valta jäsenmaissaan määrätä sanktioita standardien noudattamatta jättämisestä. Virallisia jäsenvaltioita on tällä hetkellä 14, mutta C.I.P:n standardit ovat yleisesti käytössä Euroopan markkinoilla. [11] Maailmalla toimii C.I.P lisäksi muitakin organisaatioita, jotka ovat antaneet omat standardinsa, mutta joilla ei ole laillista toimivaltaa vaan toimivat pikemminkin jäseniensä keskinäisinä kattojärjestöinä, jotka ylläpitävät ohjeistustaan keskitetysti. Tällaisista organisaatiosta ovat esimerkkeinä Yhdysvalloissa toimiva Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute eli SAAMI sekä sotilas- ja viranomaispuolella merkittävänä tekijänä toimivan

NATO ja sen ylläpitämä STANAG. SAAMI muodostuu 52 jäsenyrityksestä [16] ja NATO 30 jäsenvaltionsa välisistä sopimuksista [12].

Kansainvälisten standardien ja laatuvaatimusten lisäksi toimeksiantajaa velvoittaa Suomen oma lainsäädäntö elinkeinoa kohtaa, joka käsittelee tarkemmin erilaisia tuotantotilojen ja -laitteiden turvallisuusvaatimuksia, pakkaus-, varastointi- ja kuljetusohjeistuksia sekä määrittelee tarkkaan myyntiehdot [17]. Toimeksiantajan toimiala on hyvin tarkkaan säädeltyä sekä valvottua ja tästä syystä kaikkia hylsyyn liittyviä rajoituksia tai vaatimuksia ei ole mielekästä listata saatikka käsitellä yksityiskohtaisemmin.

4. KÄYTETYT TUKIMUSMENETELMÄT

Työn luonteen vuoksi saatavilla olevista tietokannoista ei löydy aiheeseen julkista tietoa kovinkaan paljon. Tästä syystä kirjallisuustutkimus jää huomattavasti tavoiteltua suppeammaksi ja toimeksiantajalle joudutaan laatimaan tutkimusmenetelmiä, joilla pystytään varmistamaan työn ja siitä saatujen tuloksien laadullisuus ja siten muodostetaan luotettava aineistopohja jatkotutkimuksille.

4.1 Teoreettinen pohjustus

Vaikka kyseisestä aiheesta on tehty tutkimuksia eri yritysten toimesta jo yli 70 vuotta, suoria tutkimustuloksia on hyvin vähän saatavilla aiheen arkaluonteisuuden vuoksi. Paras tiedonlähde työn alussa oli toimeksiantajan omat tutkimustulokset. Kirjallisuutta erilaisista materiaalitutkimuksista samankaltaisiin sovelluskohteisiin löytyy kuitenkin jonkin verran, jonka pohjalta työn suorittamiselle pystytään muodostamaan vaadittu teoriapohja.

Työn kohteeseen ei löydy suoraan ensimmäistäkään patenttia tai tutkimusta, vaan kilpailijoiden vastaavat tuotteet ovat kaikki erinäisiä komposiittirakenteita tai metalli-insertillisiä tuotteita. Tämä työ toimii suuremman projektin aloituksena, jonka tavoitteena on löytää valitulle hylsulle sellainen materiaali- ja rakenneratkaisu, jotta tuote voitaisiin valmistaa täysin polymeeristä.

Matemaattista analyysiä on vaikea lähteä tekemään pelkän kirjallisuustutkimuksen jälkeen, koska tarpeellisia numeerisia arvoja useimmille kriittisille ominaisuuksille ei ollut eri tutkimuksissa mitattu. Tämän vuoksi työssä edetään kirjallisuustutkimuksen jälkeen suoraan

prototyypin suunnitteluun ja teettämiseen, jotta numeerisia tuloksia saadaan halutuista ominaisuuksista sekä rakenteen kriittisistä kohdista.

Kun ensimmäiseltä testikierrokselta on saatu numeerisia arvoja mitattua tuotteen suorituskykyä kuvaaville suureille, voidaan ne rinnastaa materiaalien mekaanisiin ominaisuuksiin. Ensimmäisellä testikierroksella tarkasteltavia suureita ovat paine sekä käytön aiheuttama mekaanisen rasituksen kesto sekä materiaalin kriittisiksi ominaisuuksiksi arvioitiin vetomurtolujuus, murtovenymä sekä iskutkeys. Myös pintaresistiivisyyden ja taivutusimmokertoimen arvoja tarkkaillaan, jotta tuotteen lopullista valmistettavuutta voidaan arvioida tutkimustyön aikana. Testeistä saadut numeeriset lukuarvot tullaan rinnastamaan näihin kriittisinä pidettyjen ominaisuuksien arvoihin, jolloin luodaan pohja teoreettiselle materiaalien vertailulle.

Mikäli testitulokset ovat kovin ristiriitaisia kriittisinä pidettyjen ominaisuuksien kanssa, voidaan kriittiseksi oletettujen materiaaliominaisuuksien todeta olevan väärin valittuja ja tuotteen toimivuuteen vaikuttaa sellaisia tekijöitä, joita ei ole osattu ottaa huomioon työtä aloitettaessa. Ristiriitaisetkin tulokset kuitenkin auttavat todellisten kriittisten ominaisuuksien tunnistamista, joka täytyy tehdä ennen seuraavaa testikierrosta.

4.2 Prototyyppien testaus

Ensimmäiset prototyypit tehdään toimeksiantajan lähes kymmenen vuotta vanhalla muotilla, johon pystyi tekemään huomattavasti nopeammin muutoksia kuin teettää täysin uusi muotti. Muutokset muottiin tehtiin vanhojen testituloksien sekä toimeksiantajan omien pohjatutki-

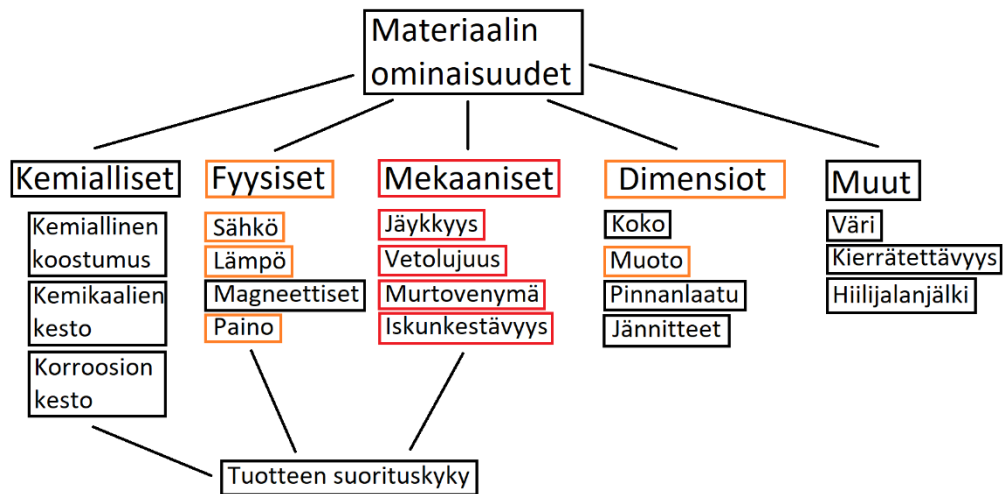
muksien perusteella siitä, miten hylsy käyttäytyy laukaisutapahtumassa sekä miten polymeerit tyypillisesti käyttäytyvät nopeassa kuorimituksessa. Tarkempia kuvia muotista tai tehdyistä muutoksista rakenteeseen ei voida sisällyttää työhön missään muodossa toimeksiantajan tietosuojakäytäntöjen vuoksi.

5. POLYMEERIEIEN VALLANKUMOUS

5.1 Polymeeriteollisuus

Polymeeriteollisuus on maailmanlaajuisesti monen miljardin dollarin teollisuudenala, jossa uusien polymeerimateriaalien, valmistusprosessien, suunnittelukonseptien ja markkinoiden vaatimusten jatkuva virtaus on mahdollistanut nopean kasvun. Polymeereillä on nykyisin huomattava vaikutus ihmisten elämiin kaikkialla maailmassa sekä yhä useammalla teollisuudenalalla uusi sovellus pohjautuu polymeeriteollisuuden tekniseen kehittymiseen. Uudet innovaatiot hyödyntävät monipuolisesti uusien polymeerimateriaalien ominaisuuksia ja laajaa valikoimaa erilaisia prosessointitekniikoita. Tuloksena on ollut kustannustehokkaiden tuotteiden kehittyminen, joista puolestaan on edelleen poikkeuksellisia etuja ihmisille ja teollisuudelle kaikkialla maailmassa. [18] Polymeereillä on tärkeä rooli yhteiskuntamme kehityksessä maailmanlaajuisesti: ominaisuudet, joita voidaan helposti säätää laajalla alueella, mahdollistaa muovien käytön sekä massatuotannossa että erittäin räätälöityjen tuoteratkaisujen valmistamiseen. Useimmat teollisuudenalat eivät ole vielä hyödyntäneet läheskään täysimittaisesti olemassa olevaa innovaatiopotentiaalia, mitä maailman polymeeriteollisuudella on tarjota.

Polymeerien ominaisuudet voidaan luokitella useammallakin tavalla, mutta yksi yleisesti käytetty tapa on jakaa ne kuvan 10 mukaisesti. Kyseinen jaottelutapa valittiin tähän työhön, koska hylsillä on hyvin tarkat suorituskykykriteerit sekä loppukäyttäjät arvostaa ennen kaikkea suorituskykyä ja vähemmissä määrin tuotteen visuaalisia tai ekologisia ominaisuuksia. [19]



Kuva 10, Polymeerimateriaalien ominaisuuksien kategorisointi. Kuva ei sisällä kaikkia ominaisuuksia vaan havainnollistaa ominaisuuksien luokittelua. [19]

Kuvaan 10 on merkittynä punaisella työn kannalta kriittiset tutkittavat ominaisuudet sekä oranssilla ominaisuudet, joita seurataan tutkimuksen toteutuksen aikana, mutta joihin ei itse työssä keskitytä. Seuraa oranssilla merkityille ominaisuuksille tehdään luotettavan pohjadata keräämiseksi jatkotutkimuksia varten.

Polymeerien monipuolinen hyödyntäminen nykyisin on mahdollista niiden ominaisuuksien laajasta kirjosta sekä näiden ominaisuuksien helposta muokattavuudesta sovelluskohteeseen sopivaksi. Lisäksi muovituotteiden massavalmistusta kehittää ja tuotteiden valmistustehokkuus paranee jatkuvasti, vaikka kuluttajamarkkinat vaativatkin yhä yksilöidympiä tuotteita. [19]

Kun uutta tuotetta suunnitellaan, on suositeltavaa tehdä suunnittelu ja materiaalivalinta raaka-ainevalmistajan kanssa, sillä esimerkiksi yleisesti käytössä olevasta polypropeenista (PP) löytyy tuhansia erilaisia muovilaatuja, joiden lisäaineet sekä niiden määrät vaihtelevat

huomattavasti. [20, 21, 22] Tämän vuoksi pelkän polymeerin valitseminen ei ole riittävää valmiin tuotteen kannalta, mutta toisaalta se antaa helpon keinon haarukoida laajempaa ominaisuuskirjoa tuotteen kehityksen alkuvaiheessa.

Polymeerit ovat nykyisin yleisimmin valmistettu ja käytetty materiaali-ryhmä maailmanlaajuisesti. Ne jopa ohittivat teräksen tilavuuden suhteen mitattuna vuosituhannen vaihteessa sekä useiden muiden metallien kohdalla myös massan suhteen mitattuna. [23, 24]

5.2 Polymeerit metallien korvaajana

Polymeerien käyttö on lisääntynyt radikaalisti vuosituhannen vaihteen jälkeen, sillä polymeerin kirjo on kasvanut huomattavasti sekä käytetyt valmistusmenetelmät ovat kehittyneet huomattavasti. Lisäksi tuotteita, jotka on perinteisesti valmistettu metalleista mm. koneiden osat, rakennusmateriaalit sekä erilaiset kuluttajatuotteet, voidaan nykyisin korvata erilaisilla komposiiteilla tai polymeerimateriaaleilla. Yksi merkittävimmistä syistä, jonka vuoksi metalleja pyritään korvaamaan polymeereillä, on polymeerituotteiden keveys. Muita merkittäviä hyötyjä ovat tuotteen valmistettavuuden parantaminen sekä raaka-aineen edullisuus. [25] Kuvassa 11 on yleisimmin käytettyjä polymeerejä ja metalleja sekä näiden tiheyksiä.

Material	Spec. gravity	lb/cu in.
ABS	1.04–1.06	0.0375–0.0383
Acetal	1.42	0.0514
Cellulose acetate	1.27	0.0458
Ethyl cellulose	1.10	0.0397
Nylon	1.14	0.0412
Polycarbonate	1.20	0.0433
Polethylene		
Low density	0.914–0.940	0.330–0.339
High density and copolymers	0.941 and up	0.0340–0.0346
Polpropylene	0.905	0.0327
Polystyrene		
General purpose	1.06	0.0383
High impact	1.03–1.04	0.0433–0.0494
Poly(vinyl chloride) compound	1.20–1.37	0.0433–0.0494
Styrene acrylonitrile copolymer	1.07	0.0386
Vinyl acetate copolymer	0.94–0.95	0.0339–0.0343
Aluminum SAE–306	2.77	0.100
Aluminum SAE–309	2.64	0.0953
Brass, yellow	8.5	0.307
Brass, 85/5/5/5	8.75	0.316
Iron, pig, basic	7.1	0.256
Magnesium AZ–91B	1.81	0.283
Steel, CR alloy	7.85	0.283
Steel, tool, standard 0.95C	7.82	0.282
Steel, Stainless 304	7.92	0.286
Zinc SAE–903	6.6	0.238

Kuva 11, Yleisimmin käytössä olevien polymeerien sekä metallien suhteelliset tiheydet [19]. Taulukosta on korostettu keltainen messinki ja listan raskain polymeeri havainnollistamaan tiheyksien huomattavaa eroa.

Kuvasta 11 nähdäänkin, että yksi tiheimmistä yleisesti käytetyistä polymeereistä, asetaali (polyasetaali, polyoksimetyyli jne.) on 83 % kevyempää kuin messinki, lähes puolet (46 %) kevyempää kuin alumiini ja jopa 21 % kevyempää kuin magnesium, joka on kevyin rakenne metalli [26]. Tässä työssä kartoitetaan polymeerimateriaaleja, joilla pystyttäisiin korvaamaan nykyisin käytössä oleva messinki, ”yellow brass”. Työn mielekkyyden kannalta tarkasteltuna, mahdollisesti säästettävissä hyötyjä olisi tuotteen keventyminen lähes 80 % sekä huomattavat kustannussäästöt raaka-aineissa.

5.3 Polymeerin käyttö sovelluskohteessa

5.3.1 Sovelluskohteen vaatimukset

Kappaleessa 3 käsiteltiin hylsyn tehtäviä sekä sen eri alueilta vaadittuja ominaisuuksia. Ongelmallisimmat yhteensovittettavat mekaaniset ominaisuudet polymeerien kannalta ovat korkea vetolujuus, suuri murtovenymä sekä korkea iskusitkeys. Näiden lisäksi tuotteen valmistusvaiheessa mittapysyvyys pitäisi olla huipussaan valmistustoleranssien ollessa 0,05 mm tai alle. Polymeerimateriaalien luonteesta johtuen näiden yhdistäminen on haasteellista perinteisillä homogeenisillä polymeereillä. [27]

Hylsyn ulkomittojen toleranssit ovat tarkkaan säädetyt, mutta sisäpuolen mittoja ei ole standardien mukaan rajoitettu. Tähän tulevat kuitenkin käytännön rajoitteet vastaan, kun käytössä olevat tuotteet on mitoitettu siten, että seinämävahvuus on keskimäärin 0,2 mm, jolloin ruuttilavuus on riittävän suuri tuotteen suorituskyvyn kannalta. Tästä syystä polymeerihylsyn ruuttilavuutta voi periaatteellisesti pienentää mielivaltaisesti, mutta tuotteen suorituskyky jää tällöin kauaksi messinkisistä referenssituotteista, jolloin sen kyky korvata verrokki jää saavuttamatta.

Työn vertailukohteeksi otettiin polymeeristä valmistetut painesäiliöt sekä hydraulikkaletkut. Näiden käyttöolosuhteet ovat hyvin samankaltaiset kuin työn sovelluskohteella, sillä tyypillisesti polymeerisiä painesäiliöitä ja -letkuja käytetään -20 °C ja +100 °C lämpötila-alueella. Näiden säiliöiden ja letkujen käyttöpaineet ovat kuitenkin korkeintaan muutamia kymmeniä ja hetkellisissä kuormituksissa satoja baareja. [27, 28]

Patruunassa paine kasvaa laukaisussa 1,2 ms aikana yli 3000 bar sekä lämpötila hylsyn sisällä kohoaa yli 400 °C asteeseen. Paineen ja lämpötilan huippuarvot saavutetaan noin 1 ms laukaisun jälkeen ja tasapainotila saavutetaan 200 ms jälkeen, [30, 31], jolloin polymeereille tyypillistä viskoelastista käyttäytymistä ei ehdi tapahtua, vaan polymeerit käyttäytyvät elastisesti ja murtumatilanteessa hauraasti [32].

Näiden lisäksi messinki on kestävä korroosiota hyvin eikä vesi tai käyttöympäristössä esiintyvät rasitteet mm. hermetisointilakka, ruuti, aseöljyt, UV-säteily yms. aiheuta siinä merkittävää korroosiota. Polymeerit ovat huomattavasti alttiimpia kemiallisille muutoksille näissä käyttöympäristöissä, joten ne tulisi pystyä suojaamaan näiltä lisäaineiden avulla.

5.3.2 Valmistustekniikan valinta

Jotta tuote olisi koskaan kilpailukykyinen, on se suunniteltava massavalmistukseen soveltuvaksi. Muovituotteiden massavalmistukseen kannattavin valmistustekniikka on ruiskuvalu, erityisesti hylsyn kaltaisissa pienissä tuotteissa. Pienten tuotteiden valmistuksessa on etuna se, että yhden syklin aikana pystytään valmistamaan useampia kappaletta samanaikaisesti, jolloin tahtiaika kappaletta kohden putoaa huomattavasti.

Ruiskuvalu on tekniikkana luontainen lähtökohta massavalmisteisten tuotteiden kehitystyössä, sillä tekniikasta on kehitetty vuosikymmenten kuluessa lukuisia erilaisia variantteja, joilla pystytään vaikuttamaan valmiin tuotteen suorituskykyyn. Lisäksi itse valmistusproses-

sin parametrien avulla, mm. sulan lämpötila, muotin lämpötila, ruiskutusaika, pakkausaika, pakkauspaine yms., avulla pystytään vaikuttamaan entistä enemmän sekä ennen kaikkea tarkemmin tuotteen ominaisuuksiin. Tämän kehityksen myötä prosessin sekä tuotteen ominaisuuksien optimointi on nopeampaa, edullisempaa sekä jossain määrin myös helpompaa kuin useimmilla muilla valmistustekniikoilla. [33]

Ruiskuvaletun tuotteen ominaisuudet riippuvat täten käytetyn materiaalin lisäksi myös käytetyistä prosessiparametreista. Parhaimmassa tilanteessa prosessiparametrien optimointi parantaa tuotteen laatua sekä suorituskykyä, että lyhentää prosessiaikaa. Kuitenkin näin vaativassa sovelluskohteessa prosessin kesto tulee prioriteettina kuitenkin vasta tuotteen turvallisuuden sekä suorituskyvyn jälkeen. Ruiskuvalu on tekniikkana sekä kehitystyön kannalta että valmiin tuotannon kannalta hyvä lähtökohta, koska se mahdollistaa nopean ja tehokkaan massatuotannon, jossa työvoimakustannukset ovat maltilliset suuren automaatioasteen ansiosta. [34] Messinkisen tuotteen valmistuksessa käytetään nykyisin automaattisia koneita lisääntyvässä määrin, mutta välttämättömien välivaiheiden vuoksi koko prosessia ei voida automatisoida, jolloin henkilöosaamisen tarve jää huomattavan isoksi.

Ruiskuvalu prosessina on myös käytettävien materiaalien osalta erinomainen lähtökohta kehitystyöhön, sillä lähes kaikki nykyisin tunnetut polymeerimateriaalit ovat ruiskuvalettavia, kiitos lukuisten eri prosessivariaatioiden sekä säädettävien prosessiparametrien ansiosta. Prosessivariaatiot mahdollistavat mm. monivaiheiset valuprosessit, joissa samalle materiaalille saadaan prosessista riippuen erilaisia

ominaisuuksia tai prosessissa voidaan käyttää täysin eri polymeeriä tai vaikka metallia. Tämä mahdollistaa entistä laajemman materiaali-kirjon sekä helpottaa tuotteen suorituskyvyn optimointia.

Massatuotannon kannalta välttämättömin ominaisuus, jonka ruisku-valuprosessi pystyy täyttämään, on valmistettavien kappaleiden samankaltaisuus. Mitä pienemmän varianssin valmistustekniikka pystyy tarjoamaan, sitä tasalaatuisempia ja siten myös turvallisempia tuotteita prosessilla pystytään valmistamaan. Ruiskuvalu prosessina ei kuitenkaan ole täydellinen: Ruiskuvalulinjaston sekä muottien kertakustannukset ovat moninkertaiset verrattuna metallien työstämiseen suunniteltujen koneiden investointeihin. Lisäksi tekniikka asettaa hyvinkin tarkat rajat valmistettavan tuotteen geometrialle sekä saattaa vaatia muotoja, jotka eivät tue tuotteen optimaalista suorituskykyä esim. päästöjen, ruiskutuspuisteiden, ejektorien sekä tuki- ja ohjausrakenteiden sijaintien suhteen. [34]

Vaihtoehtoisena prosessina voidaan vertailla perinteistä jatkuvaa tai syklistä ekstruusiota. Molempien prosessien puolesta puhuu huomattavasti edullisemmat investoinnit: laite on edullisempi sekä yksinkertaisempi, se ei vaadi kalliita muotteja sekä tuotteen jälkimuokkaaminen välittömästi ekstruusion jälkeen on helpompaa, sillä koneesta ulos tullut massa/tuote on vielä huomattavan lämmin, joka mahdollistaa sen viimeistelyn hyvinkin pienillä voimilla. Tämä kuitenkin vaatii erillisen laitteen ekstruusiolinjan lisäksi ja riippuen tarvittavan jälkimuokkauksen määrästä, itse ekstruusiolaitteen edullisuus ei välttämättä tee prosessista valintana kannattavaa. Ekstruusio ei myöskään ole järin soveltuva pienten toleranssien omaavien tuotteiden massa-

valmistukseen, sillä käytetystä materiaalista riippuen polymeerit laajenevat tullessaan muotista ulos sekä kutistuvat jäähtyessään, jolloin lopputuotteen todellisten mittojen säätäminen vaadittujen toleranssien sisään on huomattavasti haastavampaa ja aikaa vievää. [35, 36]

6. TOTEUTUS

Kyseisestä aiheesta on toimeksiantajan toimesta tehty tutkimusta jo lähes vuosikymmen, jonka vuoksi teoreettisen aineiston sekä testituloksien kirjauksien vähäinen määrä sekä niiden puutteellisuus oli yllettävää. Lisäksi selkeää kehitys- tai testaussuunnitelmaa ei ollut koskaan tehty eikä aiheelle ollut luotu minkäänasteista projektiaikataulua. Dokumentoinnin puutteet selittyvät pitkälti sillä, että projektin aikaisempi vastuuhenkilö oli tehnyt ne omaan käyttöönsä ja oman työskentelynsä tueksi ja kyseisen henkilö työsuhde on päättynyt ennen tämän diplomityön aloitusta. Tämän vuoksi työn toteutettavuuden kannalta oli luotava täysin uusi ja selkeä toteutussuunnitelma sekä aikataulu ja suunnitella systemaattinen testausprotokolla sekä määrittää kriteerit, joiden avulla materiaalit ja niiden suorituskyky pystytään pisteyttämään. Lisäksi projektille täytyi luoda organisoitu arkisto toimeksiantajan tietokantaan, joka mahdollistaa projektin läpinäkyvyyden avainhenkilöille sekä systemaattisen datankeräyksen ja tallennuksen kyseiseen projektiin liittyen.

6.1 Aineiston kokoaminen

6.1.1 Vanhat materiaalit

Dokumentointi aloitettiin jo ennen varsinaisen työn aloitusta, jotta kaikki toimeksiantajalla oleva sekä kirjallinen että hiljainen tieto saatiin kerättyä keskitetysti yhteen paikkaan. Tämä dokumentointi toteutettiin valokuvaamalla paperiset muistiinpanot sekä haastatteleamalla henkilöitä, jotka ovat olleen mukana projektissa jossain vaiheessa.

Kokeellista aineistoa on vuosikymmenen aikana kerääntynyt yllättävän vähäinen määrä ja sen lisäksi aloitusdokumenttiin jäi siitä huolimatta huomattavia aukkoja, koska osa projektiin osallistuneista henkilöistä eivät enää työskennelleet toimeksiantajalle, kun diplomityö aloitettiin. Huomattava osa heidän kirjallisista dokumentaatioistansa eivät myöskään olleet tieteellisesti valideja, koska niistä ei käynyt riittävällä tasolla ilmi, milloin, miten, kenen toimesta ja mitä materiaaleja tai rakenteita testeissä on testattu. Jotta samankaltaisten aukkojen muodostuminen kyettäisiin estämään tulevaisuudessa, täytyi projektille luoda virallinen dokumenttipohja, jota käyttämällä testistä jää kriittisimmät tiedot talteen myöhempää toistamista varten.

Varsinainen materiaalikarakterisointi aloitetaan kuitenkin käyttämällä toimeksiantajan vanhoja testiraportteja parempien referenssien puuttuessa. Aineiston puutteellisuuden vuoksi useimpien prototyyppien materiaalia eikä tarkkaa rakennetta pystytä identifioimaan luotettavasti. Esimerkkinä kuva 12 yhdestä testiraportista.

26.6.2012
Uusi testierä ruskeita muovihylsyjä. Hylsyjä ei päästy ampumaan koska kaula halkesi luotia asettaessa.

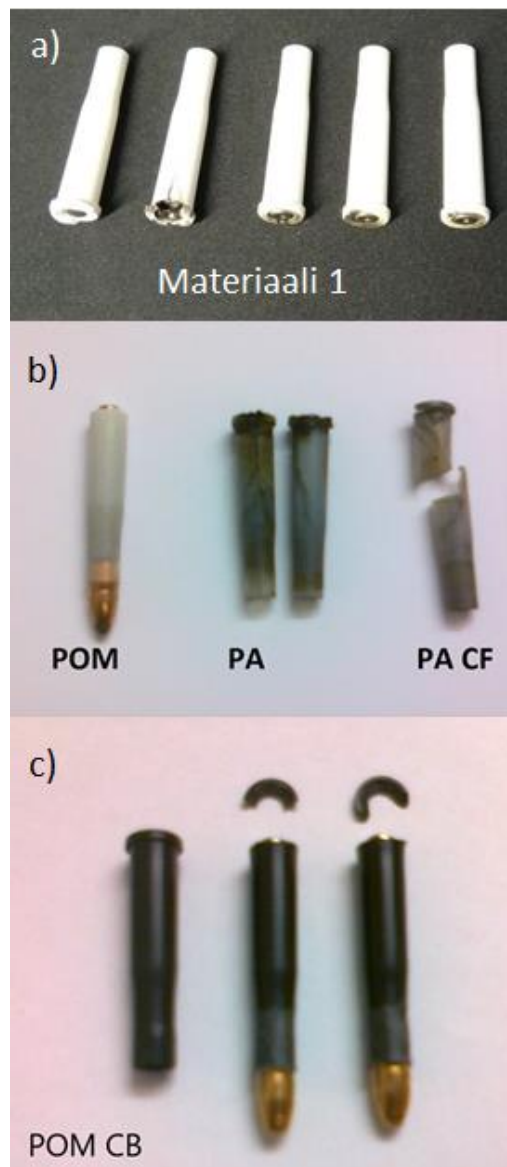


Kuva 12, Kuvankaappaus toimeksiantajan arkistoidusta testi-raportista. ”26.6.2012 – Uusi testierä ruskeita muovihylsyjä. Hylsyjä ei päästy ampumaan, koska kaula halkesi luotia asettaessa.”

Kuvan 12 raportista käy ilmi päivämäärä, jolloin testejä on prototyypeille yritetty tehdä, mutta tuotteen rakenne tai materiaali ole tiedossa. Kyseisen raportin on tehnyt henkilö, joka ei enää työskentele toimeksiantajalle eikä haastattelua projektin osalta ollut mahdollista toteuttaa.

Aineistoista löytyy kuitenkin muutama yksittäinen testi, joiden avulla pystytään luomaan luotettava pohja materiaalikarakterisoinnille. Dokumenteista saadaan luotettavasti selville seuraavat prototyyppien materiaalit: polyoksimetyleni (POM), hiilimustallinen polyoksimetyleni (POM CB) puhdas nailon 6 (PA6) sekä hiilikuituvahvisteinen nailon 6 (PA6 CF15) (kuva 13 a-c). Dokumenteista ei kuitenkaan selviä, missä tai koska mikäkin prototyyppi on valmistettu ja kuka materiaali on valmistanut. Ainoa poikkeus on muovi TP21958, jatkossa

materiaali 1 (kuva 13a), jonka testiraportista käy ilmi materiaalin toimittaja, prototyypin valmistaja sekä valmistuspäivämäärä. Vanhempien prototyyppien ja materiaali 1:stä valmistettujen prototyyppien rakenteessa on kuitenkin selkeitä eroavaisuuksia, joten niillä suoritettujen testien tuloksia ei voida pitää suoraan verrannollisina nyt toteutettavien testien kanssa.



Kuva 13, Lopputuloskuvat niiden materiaalien osalta, joiden alkuperä pystyttiin luotettavasti jäljittämään. a) Muovista TP21958 valmistettuja prototyyppejä nallitestin jälkeen. b) Testattuja prototyyppejä rinnakkain materiaalit nimettyinä. c) aikaisemman testin tuloksien perusteella POM:ta on yritetty lujittaa hiilimustan avulla tuloksetta. Kuvankaappaukset toimeksiantajan testiraportista.

Dokumentaatioista ei selviä käytetty testijärjestely eikä myöskään mitään numeerisia arvoja testeistä. Testien lopputuloskuvista (kuvat 13 a-c) pystytään kuitenkin päättelemään, että materiaali 1:stä valmistetut prototyypit ovat menestyneet aikaisemmissa testeissä parhaiten. Sitä, onko menestyksen perusta rakennemuutoksen vai materiaali-vaihdon ansiota ei voida aukottomasti todistaa, mutta luotettavasti dokumentoidun testimenestyksen vuoksi työn aloituskohdaksi valikoituu materiaali 1.

6.1.2 Kriittiset ominaisuudet

Prototyyppien rakenteisiin on eri materiaalitestien väleissä tehty muutoksia, joten suoraa vertailua materiaaliominaisuuksilla ei pystytä luotettavasti tekemään. Aikaisemmat testit ovat kuitenkin paras referenssi tutkimuksen alkuvaiheessa ja niiden pohjalta valitaan kriittiset ominaisuudet. Vetomurtolujuus valitaan ominaisuudeksi siksi, että kaikilla polymeereillä on huomattavasti matalampi vetomurtolujuus kuin messingillä ja tämän ominaisuuden riittävä raja-arvo tulisi löytää. Murtovenymä valitaan vertailtavaksi ominaisuudeksi, koska hylsyn toiminnallisuuden perustana on kyky laajentua laukaisussa murtumatta. Lisäksi aikaisemmissa testeissä lujitetut muovilaadut, joiden murtovenymä on vähäisempi kuin lujittamattoman verrokin, suoriutuminen testeistä on ollut heikompaa. Kolmanneksi ominaisuudeksi valitaan iskusitkeys, koska parhaiten aikaisemmissa testeissä menestyneen materiaali 1:n iskusitkeys on ollut korkein. Samanaikaisesti materiaali 1:n murtovenymä on ollut yksi korkeimmista, joten näiden kahden ominaisuuden kriittisyyttä pyritään tarkastelemaan erikseen tulevissa testeissä.

Myös pintaresistiivisyyttä ja taivutuskimmokertoimen arvoja seurataan, mutta sitä tehdään vain pohjadatan keräämiseksi jatkotutkimuksia varten. Näitä arvoja ei siis pidetä rajoittavina tekijöinä, mutta niiden suhdetta kriittisten ominaisuuksien arvoihin halutaan toimeksiantajan toimesta seurata alusta saakka.

6.1.3 Uudet materiaalit

Työssä pääasiallisena tutkimuskohteena olevat materiaalit ovat luotamuksellisia, jonka johdosta niiden tarkkaa koostumusta ei voida työssä kertoa. Työn seurattavuuden kannalta on kuitenkin oleellista käsitellä materiaaleja siten, että lukijalla on mahdollisuus ymmärtää miten materiaalit suoriutuvat testeistä verrattuina vanhoihin materiaaleihin sekä toisiinsa.

Materiaalikarakterisointi aloitetaan arvioimalla toimeksiantajan koekellisestä aineistosta selvitettyjen materiaalien suoriutuminen testeissä ja verrataan niiden kirjallisuudesta kerättyjen kriittisten ominaisuuksien arvoja keskenään (taulukko 2).

Taulukko 2, Tutkittavien materiaalien kriittisten ominaisuuksien vertailutaulukko. Tiedot peräisin toimeksiantajan raporteista sekä materiaalien valmistajien toimittamista materiaalitiedoista (MDS).

Ominaisuus	Yksikkö	Messinki	PA6	PA5CF15	POM	POMCB	Mat. 1	Mat. 2	Mat. 3
Tiheys	kg/l	8	1,1	1,14	1,41	1,41	1,21	1,25	1,3
Vetomurtolujuus	Mpa	340	80	90	60	70	48	63	105
Venymä	%	60	20	10	45	10	30	8	30
Nozched Izod	kJ/m ²	NB	10	9	11	6	69	18	5
F-moduli	Mpa	11000	3200	5000	2250	2600	2000	2800	3900
S.R.	Ohm	johtaa	ei johda	1,00E+06	ei johda	1,00E+14	ei johda	1,60E+04	1,00E+09

Tutkittavana oleva materiaali 1 on sama kuin vanhoista dokumenteista tunnistettu TP21958. Materiaali otetaan uudelleen testaukseen, koska se on menestynyt aikaisemmissa testeissä parhaiten. Lisäksi

sen avulla toimeksiantajalle saadaan arvokasta tietoa, miten rakenteeseen tehdyt muutokset vaikuttavat tuotteen suorituskykyyn. Tässä työssä ei kuitenkaan keskitytä rakenneratkaisuihin sen syvällisemmin, vaan materiaali toimii pääosin referenssinä messinkisen tuotteen kanssa.

Työssä käytettävä materiaali 2 on samaa polymeeriä kuin materiaali 1, mutta siinä olevien lisä- ja vahvikeaineiden seossuhdetta on muutettu. Tällä pyritään selvittämään miten lisäaineet vaikuttavat muovin materiaaliominaisuuksiin sekä miten tuotteen valmistettavuutta parantavat lisäaineet vaikuttavat tuotteen suorituskykyyn. Muuttamalla lisäaineita materiaalista 2 saatiin antistaattinen sekä sen vetomurtolujuus kasvamaan, mutta vastaavasti murtovenymä ja iskusitkeys puutoavat huomattavasti (taulukko 2).

Materiaali 3 on materiaaleista 1 ja 2 täysin poikkeava sekä ominaisuuksiltaan (taulukko 2), että kemialliselta koostumukseltaan ja valitaan mukaan juuri näistä syistä. Materiaali 3 on kaikilta muilta ominaisuuksiltaan oletettavasti suorituskykyisempi kuin materiaalit 1 ja 2, ainoana poikkeuksena iskusitkeys. Mikäli materiaali 3 suoriutuu testeistä huonommin kuin materiaalit 1 ja 2, se kertoo suoraan nyt seurattavista ominaisuuksista kriittisimmän olevan iskusitkeys. Jos testeistä saadut tulokset ovat ristiriitaisia ja kriittisten ominaisuuksien tunnistaminen epäonnistuu, tarkoittaa sen vain sitä, että toiminnallisuuteen vaikuttavat sellaiset materiaaliominaisuudet, joita ei ole osattu ottaa huomioon nyt eikä aikaisemmin.

6.2 Testijärjestelyt

Referenssitesteissä kerätään numeeriset arvot nykyisin käytössä olevasta tuotteesta samalla testijärjestelyllä, mitä tullaan uusien tuotteiden kehittämisessä ja testaamisessa käyttämään. Tällä tavoin kehitettävien tuotteiden suorituskykyä voidaan mitata ja arvioida luotettavasti jatkotutkimuksissa.

Referenssitestaukset (taulukko 3) tehdään viiden (5) kappaleen otannalla per osio, koska kaupallisena ja massavalmisteisena tuotteena sen suorituskyvyssä ei ole suurta variaatiota. Menettelyllä saadaan vertailukelpoiset tulokset nopeasti ja riittävän tarkasti.

Taulukko 3, Testisuunnitelman mukaisesti laadittu tulosten kirjaustaulukko referenssinä toimivalle messinkihylsulle. Testiosiot on jaoteltu taulukossa kaksoisviivalla

TESTI	Messinki referenssinä					TULOS
	1	2	3	4	5	
Latauspituus (mm)	0	0	0	0	0	0,00
Irtivetovastus (N)	0	0	0	0	0	0,00
Nallitus	0	0	0	0	0	0 / 5
Laukaus	0	0	0	0	0	0 / 5
Ulosveto	0	0	0	0	0	0 / 5
Patruuna (bar)	0	0	0	0	0	0,00

Referenssimittaukset tehdään ennen varsinaisten prototyyppien testejä (pl. patruunatesti), jotta tavoitearvot jokaiselle testille saadaan tietoon etukäteen sekä samalla testien tarkoituksenmukaisuus että itse testilaitteistot tulevat testattua turvallisesti ja luotettavasti. Taulukossa 3 on esitettyä toteutettavat testit sekä niiden järjestys. Testit on jaoteltu taulukossa kaksoisviivalla kolmeen testikokonaisuuteen: Laatutesteihin, toiminnallisuustesteihin sekä patruunatestiin.

6.2.1 Laatutestit

Laatutesteissä tuote luoditetaan toimeksiantajan käsilatauslaitteistolla ja luodin irtivetovastus sekä luodin pyörimisvastus mitataan. Irtivetovastuksen mittauksessa mitataan luodin poistamiseen vaadittu voima ja verrataan testattavien tuotteiden tuloksia messinkiseen referenssiin. Irtivetovastuksille ei ole määritelty kaikille tuotteille yhtenäisiä raja-arvoja, vaan mittauksella pyritään varmistamaan valmistettujen tuotteiden tasalaatuisuus. Irtivetovastus kuitenkin ilmaisee hyvin nopeasti, mikäli tuotteessa tai luodissa on mitoitusvirhe. Normaaliolanteessa irtivetovastukset vaihtelevat 100 N ja 400 N välillä, jolloin luotia ei ilman apuvälineitä pysty poistamaan tuotteesta. Mikäli vastus on alle 100 N, luoti on mahdollista työntää tuotteen sisään ilman apuvälineitä ja tällöin lopputuote ei ole enää luotettava eikä välttämättä turvallinen käytettäväksi. Vastuksen noustessa liian suureksi voima itsessään ei aiheuta vaaratilannetta, mutta se antaa viitteitä viallisista komponenteista, jotka puolestaan saattavat tehdä lopputuotteesta hengenvaarallisen käyttäjälle. Näistä syistä irtivetovastusta mitataan osana säännöllistä laaduntarkkailuprosessia ja sitä seurataan myös uuden tuotteen kehityksen kohdalla.

Pyörimisvastus on imagollinen laatumittari, joka on vasta hiljattain otettu toimeksiantajalla käyttöön. Pyörimisvastusta mitataan lopputuotteesta sen vuoksi, koska erityisesti uusien tuotteiden lanseerauksen yhteydessä on havaittu, että vaikka lopputuote täyttäisi kaikki laatuksiteerit ja olisi täysin toimiva ja turvallinen käyttää, pyörintä heikentää mielikuvaa lopputuotteen laadusta. Tästä syystä erityisesti uusissa tuotteissa luodin pyörintä on erityisen haitallinen ominaisuus, jonka eliminoimiseksi tarvitaan oma tarkastusmenetelmänsä. Luodin

profiilin vuoksi kitkapinta luodin ja hylsyn välillä jää vähäiseksi, jolloin luodin saa pyörimään vähäisen vastuksen vuoksi. Luodin profiili kuitenkin osaltaan varmistaa sen, että luoti ei pääse liikkumaan pituus-suunnassa ja täten vaaranna lopputuotteen turvallisuutta, kunhan ir-tivetovastus on hyväksyttävällä tasolla.

6.2.2 Toiminnallisuustestit

Toiminnallisuustesteissä sekä ruutitesteissä testilaitteistona käytetään toimeksiantajan aseseppien tätä tutkimustyötä varten tekemää painepiippua, johon oli kytkettävissä kaukolaukaisulaitteisto. Painepiipun ympärille asetettiin vielä iskunkestävästä polykarbonaattilevystä valmistettu laatikko turvallisuuden varmistamiseksi.

Toiminnallisuustestauksella tarkoitetaan kolmivaiheista prosessia, jossa ensimmäisessä vaiheessa tuotteeseen asetetaan nalli käsilaus-koneella ja nallin pysyvyys tarkastetaan. Nallituksen ja sen pysyvyyden varmistuksen jälkeen, toisessa vaiheessa, tuote syötetään testilaitteistoon ja laukaistaan ja kolmannessa vaiheessa tuote poistetaan testilaitteistosta. Prosessin jälkeen tuotteen suorituskyky arvioidaan visuaalisesti kaikissa näissä kolmessa vaiheessa seuraavin kriteerein: Nallin pysyvyys, tuotteen rakenteen kestävyys nallin sytytyksessä sekä tuotteen tavoitteen mukainen toiminnallisuus. Arviointikriteereille ei ole numeerisia arvoja, vaan jokainen tuote arvioidaan sen mukaan, suoriutuuko se testistä vai ei. Kriteerinä suoriutumiselle on se, että onko tuotteessa visuaalisesti havaittavissa olevia virheitä prosessin jälkeen ja onko sen toiminnallisuus ollut verrattavissa mes-sinkiseen referenssiin.

6.2.3 Patruunatestit

Ruutitestit on jaettu kahteen osioon: Reseptitestiin sekä maksimipainetestiin. Reseptitestillä pyritään etsimään jokaiselle materiaalille painetaso, jonka prototyyppi kestä. Maksimipainetestissä puolestaan testataan, kuinka suuren maksimaalisen paineen prototyyppi kykenee tuottamaan.

Reseptitestissä tuote nallitetaan, sen sisään ladataan pieni määrä ruutia ja luoditetaan. Ruudin laatu ja määrä, eli resepti, haetaan sopivaksi systemaattisella testisarjalla, jotta tuotteen suorituskyvystä saataisiin numeerisia arvoja ja löydettäisiin tuotteen maksimaalisen suorituskyvyn raja-arvo.

Reseptinhaku aloitetaan tuotteelle tyypillisestä ruutilaadusta, Vihtavuoren N110:sta. Reseptihaussa pienennetään ruudin määrää ja ongelmien, kuten vajaiden palojen tai jumiutumien ilmetessä, siirrytään takaisin suurempaan ruutimäärään ja nopeampaan laatuun (taulukko 4). Tätä jatketaan, kunnes löydetään paineen raja-arvo, jonka mikäkin materiaali kestä. Koska hylsy täytetään ruudilla vaillinaisesti erityisesti sarjan loppuvaiheessa, tiivistetään pienet ruutimäärät tuotteen pohjaan huopapalaa apuna käyttäen. Tiivistämisen avulla huomattavasti suurempi prosenttiosuus ruudista saadaan palamaan laukaisuissa ja syntyvä paine vastaa realistisemmin käytettyä ruutimäärää.

Taulukko 4, Reseptitestin testisuunnitelma ja tulostaulukkopohja.

Testi no.	Ruutilaatu	Ruudin määrä (g)	Paine (bar)	Luoti	Kesto	HUOM!
1.	N105	0,3	-	x	-	
2.	N105	0,25	-	x	-	
3.	N105	0,2	-	x	-	
4.	N105	0,15	-	x	-	
5.	N105	0,1	-	x	-	
6.	N105	0,05	-	x	-	
7.	N331	0,3	-	x	-	

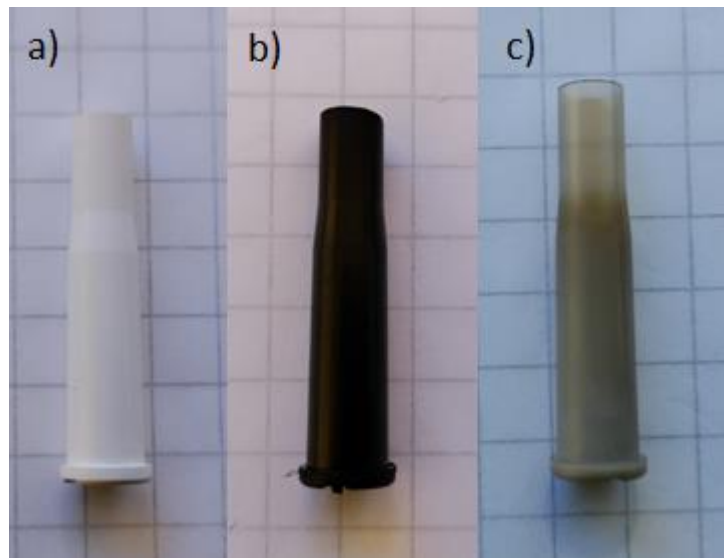
Taulukosta 4 tehdään jokaiselle materiaalille oma pohja ja siihen kirjataan jokaisen testilaukauksen mitattu painearvo sekä huomioita testin suorituksesta. Testeistä saadut numeeriset arvot painetasoille yhdessä visuaalisen tarkastuksen kanssa mahdollistavat mittatulosten sitomisen materiaalin ominaisuuksiin. Tämä helpottaa tulevia tutkimuksia aiheeseen, nopeuttaen materiaalien rajausta ja tukemaan päätöksentekoa, mitä materiaaleja on hyödyllistä ottaa testattavaksi.

Patruunatestissä eli niin sanotussa ”pommilatauksessa” patruuna ladataan mahdollisimman suurella määrällä nopeinta saatavilla olevaa ruutia. Tästä testistä saadaan arvokasta tietoa hylsyn vaurioiden etenemisnopeudesta laukaisutapahtumassa, mutta se sisältää huomattavia riskitekijöitä ja vaatii erityistoimenpiteitä turvallisuuden suhteen. Messinkiselle referenssille ei maksimaalista painetestiä tehdä vaan painetasot mitataan prototyyppien testauksessa käytettävällä ruutimäärällä sekä -laadulla. Messinkisestä hylsystä kerätään referenssipaineen arvot maksimipainearvon sijaan, koska messinkisen hylsyn hajotessa painetasot ovat niin korkealla, että käytössä oleva testilaitteisto ei tätä kestäisi ja vaurioituisi korjauskelvottomaksi. Samalla tämä menetelmä mahdollistaa vaurioiden etenemisnopeuden määrittämisen prototyypeissä sillä perusteella, kuinka suuri osa paineesta purkautuu muualle kuin piippuun ja sitä kautta paineanturiin.

7. TULOKSET

7.1 Prototyypit

Prototyypit (kuva 14a-c) valmistettiin ruiskuvalamalla ja ne teetettiin alihankkijalla. Alihankkijalle toimitettiin mittapiirustukset, mutta muotin valmistus ja tekninen toteutus jäi valmistajan optimoitavaksi.



Kuva 14, Uudet ruiskuvaletut prototyypit. a) materiaali 1 b) materiaali 2 ja c) materiaali 3. Prototyyppien valanta ei onnistunut suunnitellusti ja kappalemäärällinen saanto jäi vähäiseksi.

Valmistajalla oli huomattavia vaikeuksia prototyyppien valmistuksessa, koska muotti on alun alkaen suunniteltu POM:lle ja sitä muokattiin siten, että se soveltui paremmin materiaali 1:lle (kuva 14a). Materiaalien 2 ja 3 (kuvat 14b ja c) käyttäytyessä eri tavalla, kappaleisiin muodostui valmistusvirheitä, jolloin materiaali 1:n (kuva 14a) valu onnistui suunnitellusti, mutta kahden muun prototyypin valut eivät. Materiaali 2:n (kuva 14b) piti materiaalin valmistajan mukaan olla juok-

sevampaa ja siten helpommin valettavaa, mutta käytännössä materiaali tarttui muotin pintoihin sekä jäähtyi ilmoitettua nopeammin. Materiaali 3:n kohdalla (kuva 14c) alihankkija ei päässyt vaadittuihin prosessointiparametreihin, jonka vuoksi prototyypeissä on lukuisia valmistusvirheitä. Testausmenetelmää suunnitellessa prototyyppejä oli tarkoitus testata taulukon 5 mukaisesti 195 kpl:tta, mutta supistui toteutushetkellä 89 kpl:seen.

Taulukko 5, Alkuperäisen testimenetelmän mukaan laskettu tarve hylsille oli 210 kpl, joista prototyyppejä olisi ollut 195 kpl.

MATERIAALITARVE	REF.				
Materiaali	Messinki	Mat.1	Mat.2	Mat.3	
Luoditus, irtivetovastus	5	5	5	5	20
Nallitus, laukaus, ulosveto	5	5	5	5	20
Reseptitesti	0	50	50	50	150
Patruunatesti	5	5	5	5	20
YHTEENSÄ	15	65	65	65	210

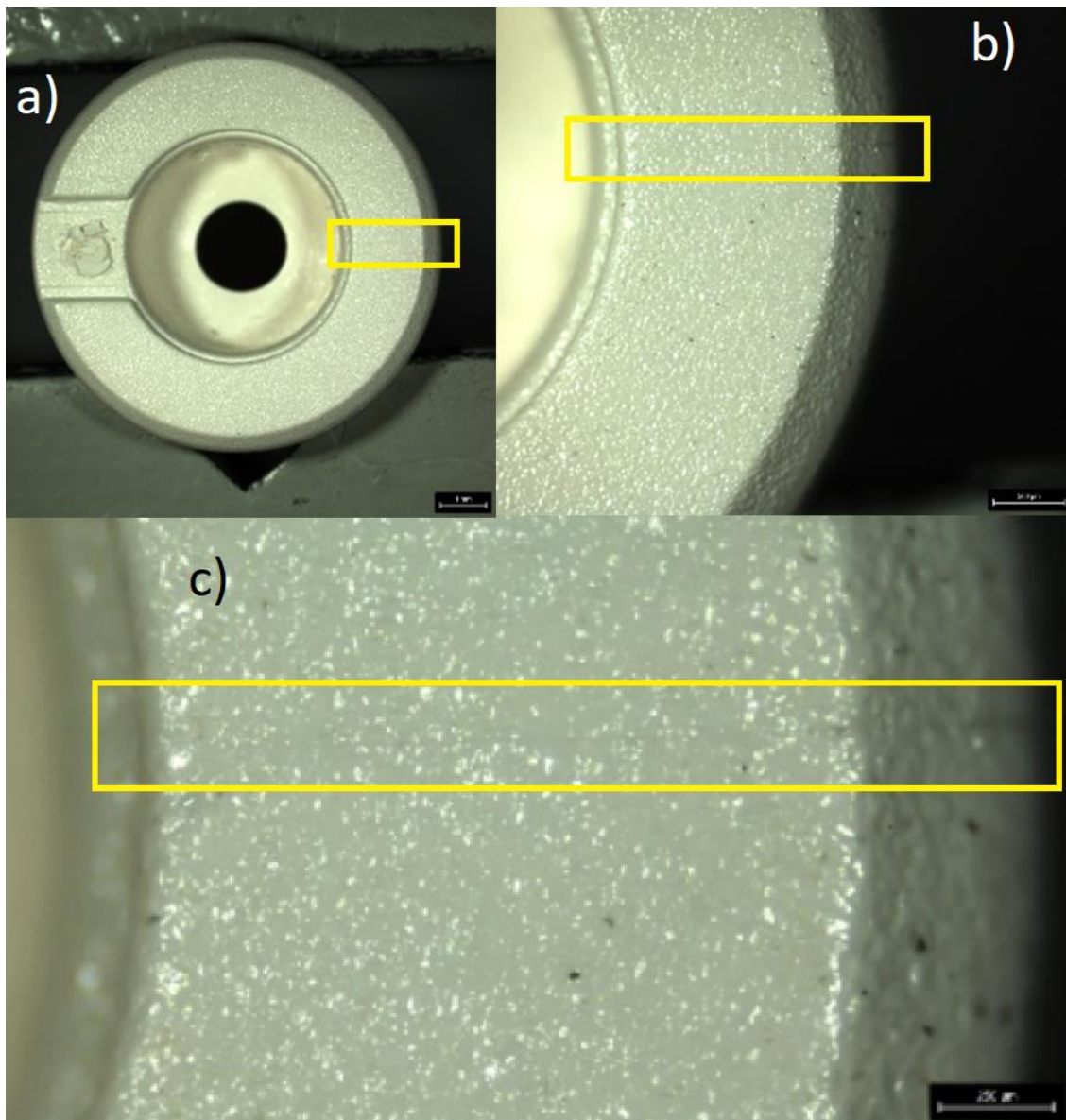
Taulukossa 5 on laskettuna materiaalarve eri testien suhteen. Suunniteltu testikokonaisuus olisi täten vaatinut yhteensä 195 kpl ruiskuvalettuja prototyyppejä satunnaisvirheiden vaikutuksien minimoimiseksi, mutta valmistushaasteiden vuoksi prototyyppien saanti jäi huomattavasti tavoiteltua vähäisemmäksi ja saadut prototyypit jaettiin testeihin taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6, Valmistushaasteiden vuoksi testikäyttöön soveltuvia prototyyppejä käytettiin yhteensä 89 kpl.

MATERIAALITARVE	REF.				
Materiaali	Messinki	Mat.1	Mat.2	Mat.3	
Luoditus, irtivetovastus	5	5	2	3	15
Nallitus, laukaus, ulosveto	5	5	3	4	17
Reseptitesti	0	50	4	4	58
Patruunatesti	5	5	2	2	14
YHTEENSÄ	15	65	11	13	104

Taulukossa 6 on esitetty eri testien sopeutettu tarve prototyypeille. Materiaali 1:stä prototyyppejä saatiin 100 kpl, materiaali 2:sta 17 kpl, joista 5 jouduttiin hylkäämään valmistusvirheiden vuoksi ja materiaali 3:sta prototyyppejä saapui 22. Näistä kuitenkin 8 hylättiin visuaalisesti merkittävien valmistusvirheiden vuoksi. Näiden lisäksi kaikista eristä otettiin yhdet prototyypit talteen toimeksiantajan arkistoon.

Materiaalista 1 valmistetusta hylsystä otetuista kuvista 15a-c oli haasteellista erottaa yksityiskohtia materiaalin voimakkaan heijastavuuden vuoksi. Keltaisella korostetuilla alueilla on kuitenkin mahdollista havaita yhtymäsauma.



Kuva 15, Materiaali 1:n prototyyppien mikroskooppikuvat. Kuvassa a) koko hylsyn kanta ja yhtymäsauman sijainti suhteessa ruiskutuspiisteeseen, b) suuremmalla suurennoksella yhtymäsauma alkaa erottumaan ja c) suurimmassa suurennoksessa yhtymäsauma näkyy hyvin selkeästi, materiaalin heijastavuudesta huolimatta.

Huolimatta muotin sekä prosessointiparametrien optimoinnista, hylsyihin muodostui selkeä yhtymäsauma (kuva 15c), joka on rakenteen heikoin kohta. Sivusta otetussa kuvassa (kuva 16) yhtymäsauma näkyy huomattavasti paremmin, kun valotus onnistuttiin säätämään optimaaliseksi.



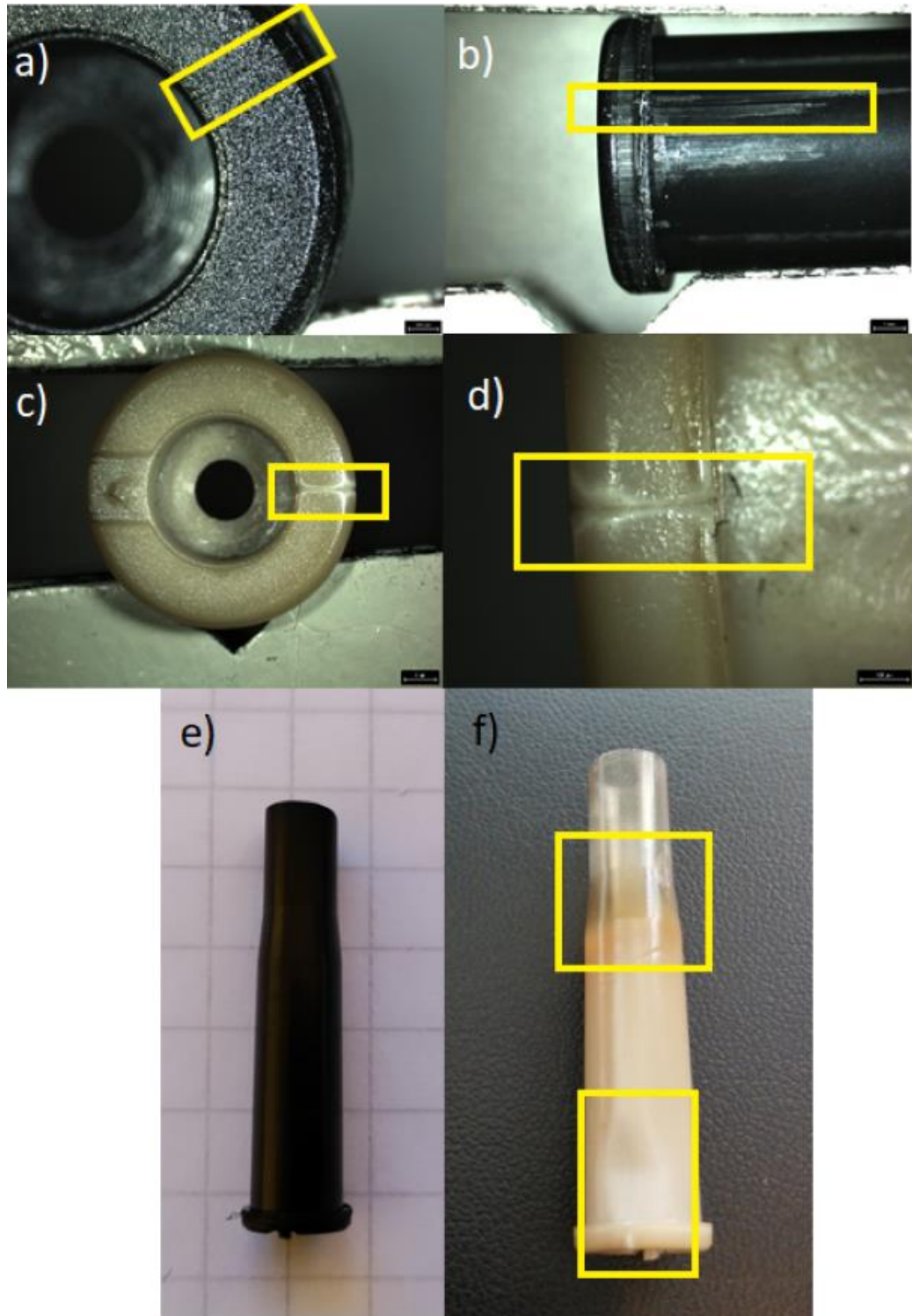
Kuva 16, Materiaali 1:stä valmistetun hylsyn sivusta otetusta kuvasta yhtymäsauman voimakkuus ja pituus on selkeästi havaittavissa.

Mikroskoopilla otetussa kuvassa 16 yhtymäsauma on kiistattomasti havaittavissa, mutta sen pituus ja voimakkuus tuli jopa prototyyppien valmistajalle yllätyksenä. Paljaalla silmällä, normaalissa valotuksessa, yhtymäsaumaa ei pysty havaitsemaan ja tuote vaikuttaa kaikin puolin virheettömältä (kuva 17).



Kuva 17, Normaalissa valaistuksessa otetussa valokuvassa yhtymäsauma ei ole havaittavissa.

Kuvan 17 hylsyssä yhtymäsauma ei ole havaittavissa paljaalla silmällä, mutta sen pystyy tuntemaan ohuella neulalla. Näin voimakkaan yhtymäsauman vaikutukset rakenteen kestävyYTEEN ovat kiistattomat. Yhtymäsauman muodostumiseen vaikuttaa olennaisesti kaksi asiaa: merkittävin tekijä on valuportin muoto sekä sijainti ja toisena on kylmäkanavan käyttäminen muotissa. Valuportti on käytetyssä muotissa pistemäinen ja sijaistee pyörähdyssymmetrisen kappaleen reunalla, jolloin vastakkaiselle reunalle muodostuu kuin tarkoituksellisesti voimakkaat vastakkaissuuntaiset materiaalivirtaukset ja yhtymäsauma näiden virtausten väliin. [37] Yhtymäsauman muodostumista vahvistaa entisestään valmistajan päätös käyttää kylmäkanavaa, jolloin polymeerisula jäähtyy huomattavasti jo valukanavassa ja siten yhtymäsaumassa virtaukset sekoittuvat entistä huonommin. Kuvakollaaissa (kuva 18a-f) on esitettyinä vastaavat kuvat materiaaleista 2 ja 3, kuin mitä aikaisemmin esitettiin materiaalista 1.



Kuva 18, Materiaaleista 2 ja 3 valmistettujen protyyppien tarkastelu. Kuvissa a) materiaali 2:sta valmistettujen hylsyjen oletettu yhtymäsauma korostettuna b) muotista poiston yhteydessä syntyneet naarmut sekä oletetun yhtymäsauman sijainti korostettuna c) materiaali 3:sta valmistetun protyyppin yhtymäsauman sijainti korostettuna d) lähikuva yhtymäsaumasta e) materiaali 2:sta valmistetun prototyypin visuaalinen ulkonäkö normaalissa valaistuksessa f) materiaali 3:sta valmistettu hylsy normaali valaistuksessa sekä korostettuina kiteisyysasteen huomattava muutos hartian seudulla sekä kutistuma rungon alaosassa.

Kuvan 18 vasemmassa yläkulmassa (a) on materiaali 2:sta valmistettu hylsy, jonka oletettu yhtymäsauma on kehystetty keltaisella laatikolla. Oletetun yhtymäsauman sijainti on hieman sivussa ja suuremmilla suurennoksilla materiaali alkoi heijasti niin voimakkaasti, ettei valotusta onnistuttu säätämään sopivaksi yhtymäsauman tarkempaa kuvantamista varten. Mahdollisia selityksiä yhtymäsauman sijainnille on, että muottiin on jäänyt kaasua tai kosteutta, joka on estänyt sulan tasapuolisen virtaamisen muottiin. Toinen mahdollinen syy on polymeerisulan jäähtyminen kylmäkanavassa niin voimakkaasti, että polymeerivirta on jähmettynyt muottiin kiinni ennen virtojen kohtaamista ja jälkipaineen avulla vähemmän jähmettynyt reuna on siirtynyt kiinni toisen puolen materiaaliin ja muotti on saatu täytettyä [38]. Muutama tuote jäi vajaaksi valmistusprosessissa, joka indikoi kaasun tai vesihöyryn kertymisestä muottiin. Lisäksi materiaali 2 jäi niin voimakkaasti kiinni muottiin, että valetut tuotteet täytyi kaapia mekaanisesti irti muotista joka syklin välissä ja tästä aiheutui huomattavia naarmuja tuotteiden kantoihin sekä runkoihin (kuva 18b). Oletetun yhtymäsauman paikka on merkitty keltaisella laatikolla kuvaan 18b, mutta naarmuista johtuen sitä ei kyetty paikantamaan luotettavasti. Vaikka kuvassa 18b on havaittavissa merkittäviä naarmuja, rungolla olevia naarmuja ei kuitenkaan normaalissa valossa pysty havaitsemaan paljaalla silmällä (kuva 18e).

Hylsyjen valmistajan mukaan materiaali 2 virtasi annetuilla prosessointiparametreilla huomattavasti oletettua huonommin sekä se jäähdytti huomattavasti nopeammin kuin mitä oli oletettu. Hylsy valmistettiin materiaalin valmistajan tekemien testien mukaisesti optimoiduilla parametreille, joten virtaus- ja jäähtymiskäyttäytymisten eroavaisuudet

testien ja tuotteiden välillä oli yllätys. Näiden eroavaisuuksien syytä ei tämän työn tekemisen aikana saatu selvitettyä yrityksistä huolimatta. Materiaali 3 kohdalla valmistaja kertoi huomattavista haasteista prosessin osalta, kun he eivät saaneet sulan lämpötilaa nostettua riittävän korkealle optimaalisen prosessoimisen mahdollistamiseksi. Tämä haaste yhdistettynä muotin rakenteeseen aiheuttaa erittäin voimakkaan yhtymäsauman, korostettuna keltaisella laatikolla kuvissa 18c ja 18d. Materiaalin ollessa ominaisuuksiltaan hyvin erilaista kahteen aikaisempaan verrattuna, tuotteessa on havaittavissa myös kutistuman aiheuttamia vääristymiä (kuva 18f, alempi laatikko) sekä polymeerin kristallisaatiossa on silmin havaittavia eroavaisuuksia eri alueilla (kuva 18f, ylempi laatikko) [39]. Tavoitteena oli saada tuotteesta mahdollisimman amorfinen, joten muottiin täytyy tehdä huomattavia muutoksia, jotta materiaali 3:sta olisi mahdollista tehdä amorfisia tuotteita ilman voimakasta yhtymäsaumaa.

7.2 Laatutulokset

Testejä varten kaikki testikappaleet olivat samoissa ympäristöolosuhteissa vähintään 24 tuntia ennen testien suorittamista. Tällä järjestelyllä pyritään saamaan mahdollisimman vertailukelpoisia tuloksia eri testeistä. Taulukossa 7 on esitettyä laatutesteistä saadut tulokset.

Taulukko 7, Laatutesteistä saadut tulokset materiaaleittain. Materiaalin perässä näkyvä luku kertoo, kuinka monen mittauksen keskiarvo rivillä on esitetty.

Laatutestit				
Hylsy	Luoti	Latauspituus (mm)	Irtivetovastus (N)	Pyörimisvastus (Nm)
Messinki (5 kpl)	105G	43,70	107,4	2,5
MAT 1 (5 kpl)	105G	43,74	56,67	-
MAT 2 (2 kpl)	105G	43,73	71,00	-
MAT 3 (3 kpl)	105G	43,73	59,00	-

Kuten taulukosta 7 näkee, otantojen koot ovat pienet ja tämän vuoksi tuloksien laadukkuudessa on parantamisen varaa. Mikään otanta ei kuitenkaan koostu yhdestä kappaleesta, joten tulosten ollessa lähellä toisiaan, voidaan otannan edustavan keskiarvoa. Tarkka mittapöytäkirja on työssä liitteenä C.

Tuloksista (taulukko 7) havaitaan selvästi, että polymeeriset tuotteet suoriutuvat laadullisista testeistä huomattavasti messinkistä referenssituotetta heikommin. Todellinen ”tresh hold” arvo irtivetovastukselle täytyisi määritellä polymeeriselle tuotteelle erikseen, koska se poikkeaa mitoiltaan ja toiminnallisuudeltaan jonkin verran messinkisestä verrokistaan. Pyörimisvastuksen osalta tulokset ovat huolestuttavampia, koska luodin pyörittämiseen vaadittu voima on niin pieni (<1,5 Nm), ettei mittalaitteisto pysty näyttämään mitään arvoja luodin läh-

tiessä liikkeelle. Vaikkei luodin pyöräminen itsessään aiheuta turvallisuusriskiä, heikentää sen tuotteen imagoa. Luodin pyöräimisen estämiseksi täytyisi kiinnittämiseen kehitellä periteisestä poikkeava menetelmä, jolla voitaisiin mahdollisesti samalla varmistaa patruunan vesitiiveys.

7.3 Toiminnallisuustulokset

Toiminnallisuustestit tehdään rajallisella otannalla prototyyppien vähäisen määrän vuoksi. Mitään testiä ei kuitenkaan toteuteta yhdellä kappaleella, jottei satunnaisten virheiden aiheuttama tulos vääristä tuloksia ja johtopäätöksiä. Toiminnallisuustestissä prototyyppien asettamiseen nalli ja nallin pysyvyys tarkastetaan. Nallituksen jälkeen prototyyppi asetetaan testilaitteistoon ilman ruutia tai ammusta, laukaitaan ja hylsy poistetaan. Prosessin jälkeen tuotteen suorituskyky arvioidaan visuaalisesti kaikissa näissä kolmessa vaiheessa seuraavien kriteerein: Nallin pysyvyys, nallin syttyminen sekä prototyypin poistuminen lataussyklin aikana. Tulokset kirjattiin suorituksen jälkeen taulukkoon 8.

Taulukko 8, Toiminnallisuustestin tulokset materiaalien 1, 2 ja 3 osalta.

Materiaali 1						
TESTI	1	2	3	4	5	Tulos
Nallitus	+	+	+	+	+	5 / 5
Laukaus	+	+	+	+	+	5 / 5
Ulosveto	+	+	+	+	+	5 / 5

Materiaali 2						
TESTI	1	2	3	4	5	Tulos
Nallitus	+	+	-			2 / 3
Laukaus	+	-				1 / 2
Ulosveto	-	-				0 / 2

Materiaali 3						
TESTI	1	2	3	4	5	Tulos
Nallitus	+	+	+	+		4 / 4
Laukaus	+	+	+	-		3 / 4
Ulosveto	-	+	-	-		1 / 4

Taulukossa 8 oleville tuloksille ei ole numeerisia arvoja, vaan jokainen prototyyppi arvioidaan sen mukaan, suoriutuuko se testistä vai ei. Tuloksien (taulukko 8) perusteella on selvää, että materiaali 1 suoriutuu testeistä parhaiten, materiaali 3:n ollessa tulosten perusteella toiseksi parhaimpana. Kaikkien materiaali 1:stä valmistettujen prototyyppien suoriutuminen kaikista vaiheista suurimman otannan kanssa on merkittävä tulos ja antaa viitteitä materiaalin potentiaalista. Suoria johtopäätöksiä toiminnallisuustuloksista on kuitenkin epäluotettavaa tehdä pienen kokonaisotoksen vuoksi sekä prototyypeissä esiintyneiden valmistusvirheiden vuoksi.

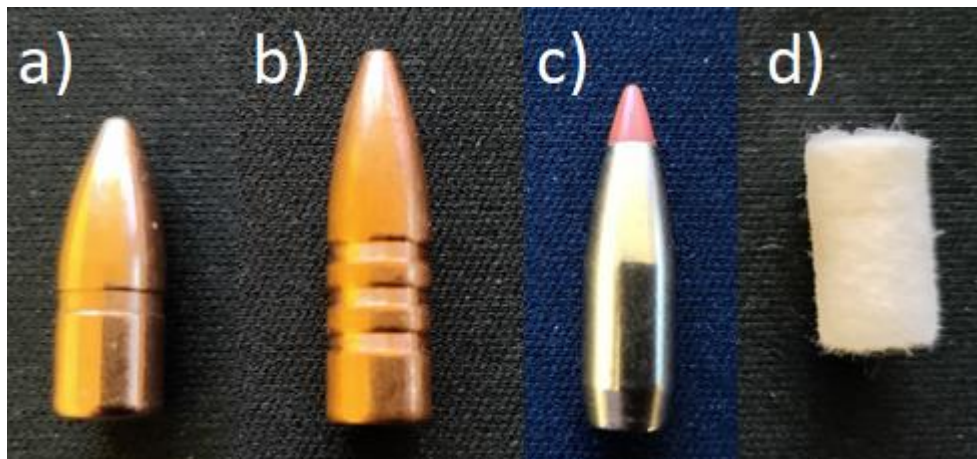
7.4 Ruutitestitulokset

7.4.1 Reseptihaku

Reseptihaussa lähdetään tyypillisesti liikkeelle niin sanotusta normaalilatauksesta, jolla tuote saavuttaa markkinoiden sille asettamat vaatimukset. Tämä tarkoittaa käytännön työskentelyssä sitä, että valitaan hitaimmin palava ruuti niin suurella latauksella kuin tuote pystytään lataamaan. Tämä lähestymistapa vaatii kuitenkin tässä tutkimuksessa huomattavia varotoimenpiteitä, sillä oletuksena on, että tuote ei kaupallisia latauksia tule kestämään. Messinkisessä referenssituotteessa kaupallinen lataus on 0,47 g N110 ruutia.

Reseptihaku aloitetaan lataamalla prototyyppit kaupallista latausta nopeammalla Vihtavuoren N105 ruudilla, sillä valmistustekniikka asettaa prototyyppien geometrian suhteen rajoituksia, jolloin hylsyyn saadaan mahtumaan maksimissaan 0,3 g ruutia. Lataamisen jälkeen prototyyppit luoditetaan toimeksiantajan omalla luodilla (kuva 19a). Testi-

laukauksia suoritettaessa testilaitteiston paineanturin kanavan havaitaan ”höyläävän” luodeista lastuja, jotka tukkivat paineanturin kanavan. Tämän vuoksi testeissä siirrytään käyttämään alihankinnasta ostettuja luoteja (19b), joiden kitkapinnassa olevat urat estävät suurien lastujen muodostumisen. Nämäkään eivät kuitenkaan toimi täysin ongelmitta testilaitteiston kanssa vaan kanava tukkeutuu kuparilastuista sekä matalammilla paineilla luodit jumiutuvat piippuun. Ratkaisuna siirrytään .22 kaliiperin luodeista halkaisijaltaan selkeästi pienempään .20 kaliiperin luotiin (14c). Tämä kuitenkin aiheuttaisi tilanteen, jossa palokaasut virtaavat luodin ohitse ja ei täten kerrytä painetta samalla tavalla. Tämä ratkaistaan käyttämällä luodin ja hylsyn välissä halkaisijaltaan 6 mm paksua huopatyynyä (kuva 14d), joka puristuu hylsyn suulle sekä piipun seinämiin tiukasti.



Kuva 14, Patruunatesteissä käytetyt ammuksia. Kuvassa a) toimeksiantajan oma-valmisteinen 3,2 g luoti b) alihankinnasta saatu 3,4 g luoti c) alihankinnasta saatu .20 kaliiperin ja 2,6 g luoti d) tiivistämiseen käytetty halkaisijaltaan 6 mm paksu asepuhdistustyyny.

Tällä testijärjestelyllä ja käytössä olevalla mittalaitteistolla saadaan tasalaatuisia ja siten luotettavia tuloksia painemittauksille. Reseptihaun

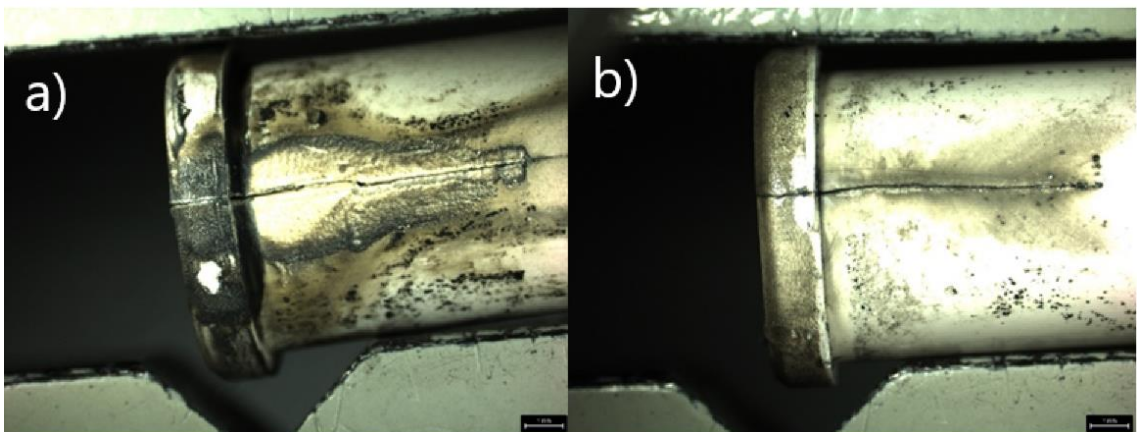
tulokset materiaali 1:lle ovat esitettynä taulukossa 8. Taulukossa on myös huomioita testin suoristuksesta.

Taulukko 8, Materiaali 1:lle suoritettu reseptihakusarja.

Testi No.	Ruutilaatu	Ruudin määrä (g)	Paine (bar)	Luoti (kuva 14)	Kesto	HUOM!
1.	N105	0,3	1656	a	-	Täysi!
2.	N105	0,3	1620	a	-	
3.	N105	0,3	1243	a	-	P-ant. tukos
4.	N105	0,3	826	a	-	P-ant. tukos
5.	N105	0,25	1203	a	-	
6.	N105	0,25	1920	a	-	Anturivirhe?
7.	N105	0,25	643	a	-	P-ant. tukos
8.	N105	0,25	741	a	-	P-ant. tukos
9.	N105	0,2	861	a	-	
10.	N105	0,2	870	a	-	
11.	N105	0,2	202	a	-	P-ant. tukos
12.	N105	0,2	658	a	-	P-ant. tukos
13.	N105	0,15	652	a	-	vajaa palo
14.	N105	0,15	631	a	-	vajaa palo
15.	N105	0,15	491	a	-	P-ant. tukos
16.	N105	0,15	662	a	-	vajaa palo
17.	N105	0,15	312	a	-	P-ant. tukos
18.	N331	0,3	2260	b	-	Luoti ja ruuti
19.	N331	0,3	2240	b	-	
20.	N331	0,3	2258	b	-	
21.	N331	0,2	847	b	-	Luoti jumissa
22.	N331	0,3	2134	c + d	-	Luoti
23.	N331	0,3	2116	c + d	-	
24.	N331	0,3	2128	c + d	-	
25.	N331	0,2	1310	c + d	-	
26.	N331	0,2	1298	c + d	-	
27.	N331	0,2	1287	c + d	-	
28.	N331	0,1	487	c + d	+	
29.	N331	0,1	500	c + d	+	
30.	N331	0,1	492	c + d	+	

Kuten taulukosta 8 nähdään, niin kaupallista latausta ei tuotteeseen pystytä tekemään. Tämä ei kuitenkaan ole tutkimuksen suorittamisen kannalta ongelma, sillä jo 0,3 g latauksella saavutetaan niin suuret painearvot, etteivät prototyypit sitä kestä. Latausta pienennettiin sys-

temaattisesti, jotta löydettäisiin raja-arvo paineelle, jonka kukin prototyyppi kestäisi. Pienemmillä latauksilla hylsyn sisään jäävä tyhjä tila kuitenkin aiheuttaa latauksen epätasaisen syttymisen, jolloin kaikki ruuti ei aina pala laukaisussa (taulukko 8, vajaa palo). N105 ruudilla ei päästy tarpeeksi pieniin paineisiin, jotta hylsyn kestävyysmaksimi arvo olisi löydetty. Ammuttujen hylsyjen lähempi tarkastelu osoitti, että niissä oli havaittavissa lievää sulamista (kuva 15a), joka tuki entuudestaan päätöstä siirtyä ruutilaatuun N331. Uusi ruuti palaa nopeammin kuin N105, jolloin se lämmittää hylsyä vähemmän ja aiheuttaa vähemmän sulamista [40] (kuva 15b).



Kuva 15, Ruudin vaihdon merkitys prototyyppien vaurioihin. Kuvassa a) rungon murtuma sekä sulamista käytettäessä N105 b) rungon siistimpi murtuma käytettäessä N331.

Kuvassa 15a käytetty lataus on taulukossa 8 testinumero 9 ja kuvassa 15b käytetty lataus on samassa taulukossa testinumero 25. Kuvista 15a ja 15b nähdään, että itse murtuma on molemmissa lähes samankokoinen ja muotoinen, vaikka paineissa on huomattavat erot. Ruudin vaihdoksella pyritään minimoimaan lämpötilan vaikutus tuotteeseen ja saamaan tarkempia tuloksia tuotteen paineenkestävyydestä. N331 myös syttyy herkemmin kuin N105, jolloin vajaan palon

tilanteita tulee vähemmän ja siten myös tuloksien luotettavuus paranee.

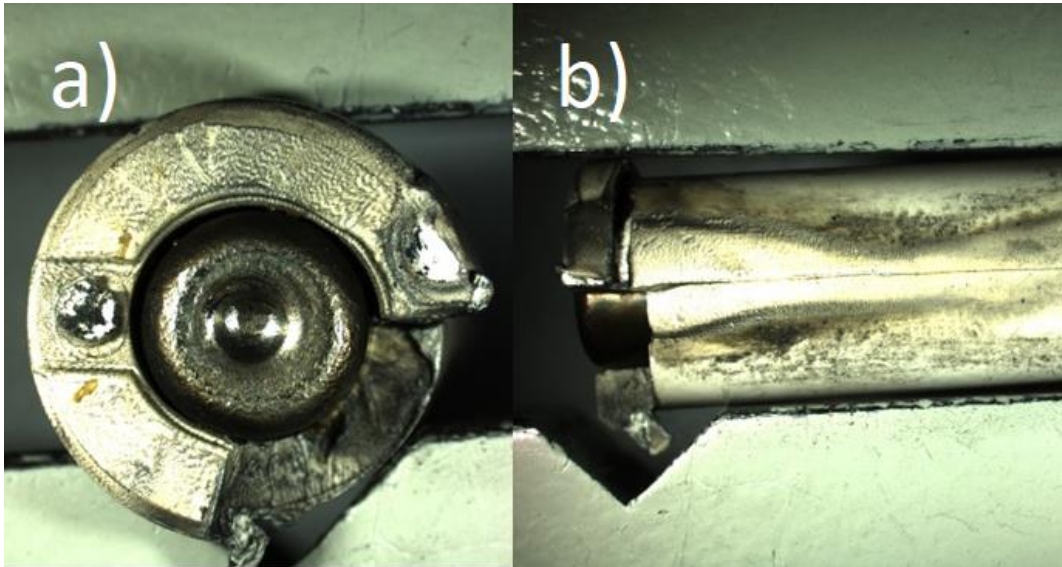
Reseptihaussa päästään materiaali 1:n osalta painetasoihin, jotka prototyypit kestävät. Pienistä ruutimääristä sekä prototyyppien laadullisesta vaihtelusta johtuen tarkkaa raja-arvoa ei työn aikataulun puitteissa pystytä määrittelemään eksaktisti, mutta mittauksilla pystytään varmuudella todistamaan raja-arvon olevan materiaalille 1 jossain 500 bar sekä 600 bar välillä nykyisellä rakenteella. Tulos on tälle tutkimukselle merkittävä, koska aikaisemmin toimeksiantajalla ei ole ollut mitään numeerisia arvoja prototyyppien suoriutumisesta. Samalla tässä työssä käytettyjä mittalaitteistoja ei ole aikaisemmin käytetty tämän tyyppisessä testauksessa, joten tutkimustyö tuotti arvokasta tietoa myös testilaitteiston toiminnallisuudesta sekä rajoitteista.

7.4.2 Patruunatulokset

Patruunatesteissä lähdettiin liikkeelle niin sanotusta ”pommilatauksesta”, jolloin patruuna ladataan suurimmalla määrällä nopeinta ruutia. Prototyyppien rajallisuuden vuoksi materiaaleille 2 ja 3 tehdään huomattavasti suppeammat mittaukset kuin materiaali 1:stä valmistetuille prototyypeille. Materiaaleille 2 ja 3 tehdään kestävyysmittaukset ainoastaan N331 ruudilla sekä latauksilla 0,3 g / 0,2 g / 0,1 g, jotta niiden suoriutuminen testeistä pystytään rinnastamaan portaittain materiaali 1:sen vastaaviin suorituksiin.

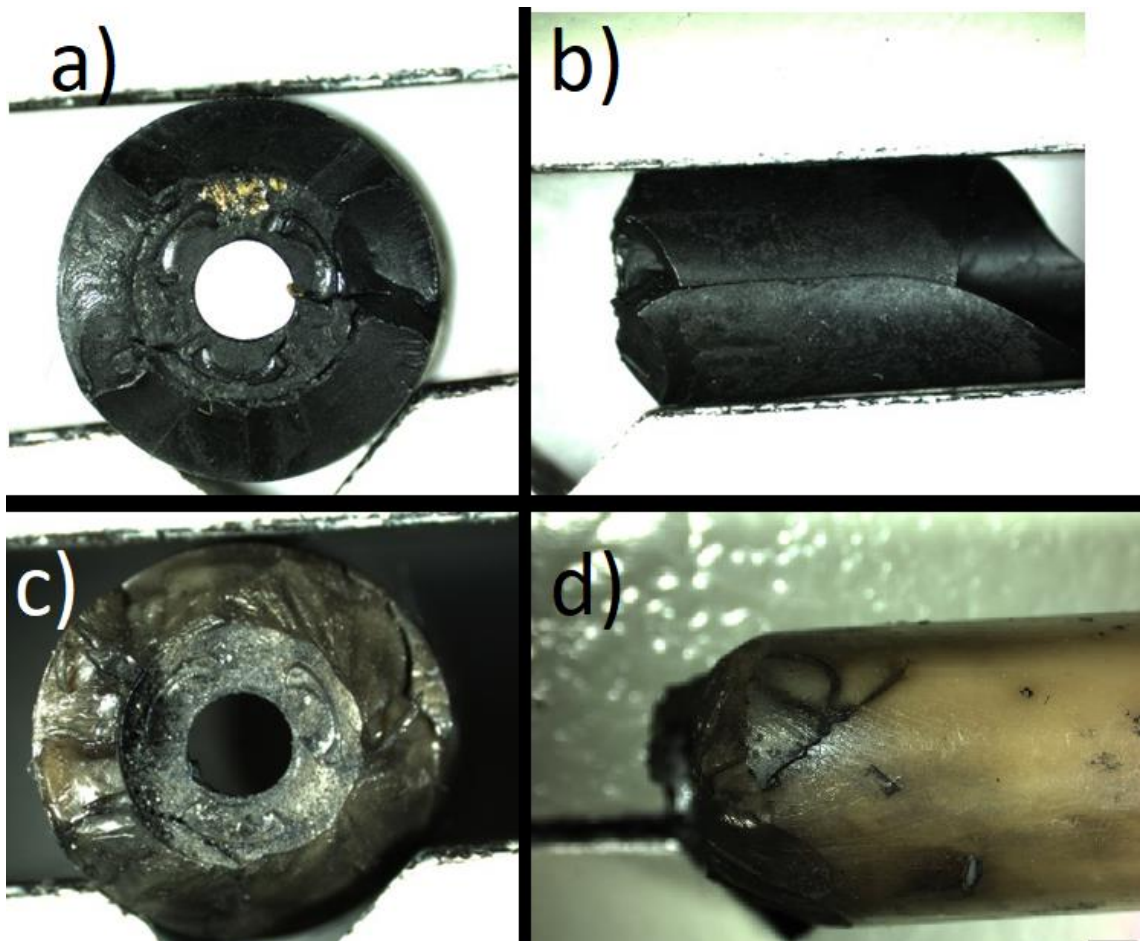
Materiaali 1:sta valmistettu prototyyppi saavuttaa reseptihaussa maksimissaan 2260 bar paineen eikä pysty saavuttamaan CIP vaatimaa korkeapainetilannetta 3500 bar. Prototyyppi ei pysty saavuttamaan

korkeapainetilannetta, koska hylsy alkaa pettämään jo 500 bar jälkeen ja paineen kasvaessa vaurio laajenee siinä määrin (kuva 16), että paine pääsee purkautumaan useisiin suuntiin samanaikaisesti eikä siksi pysty saavuttamaan tätä korkeampaa arvoa.



Kuvat 16a ja 16b, Materiaali 1:stä valmistetun prototyypin vauriot niin sanotussa "pommilatauksessa" eli 0,3 g latauksella N331 a) kannassa sekä b) yhtymäsauman puolella rungossa.

Kuten kuvasta 16a on havaittavissa, prototyyppi pettää yhtymäsauman kohdalta ja ruiskutuspuoleen ympäristö on säilynyt lähes vaurioitta. Kuva 16b puolestaan osoittaa, että vaurio etenee viivavuorasti yhtymäsaumaa pitkin aiheuttaen vain vähäisiä lämpöaurioita ympäristöön. Vauriot ovat kuitenkin huomattavasti pienemmät materiaali 1:stä valmistetuissa prototyypeissä kuin materiaaleista 2 ja 3 valmistetuissa prototyypeissä (kuva 17a-d)



Kuva 17, Prototyyppien vauriot niin sanotussa "pommilatauksessa" eli 0,3 g latauksessa N331. a) Materiaali 2:sta valmistetun prototyypin kannan sekä b) rungon vauriot. c) Materiaali 3:sta valmistetun prototyypin vauriot kannassa sekä d) rungossa.

Kuvan 17 vaurioita verrattaessa materiaali 1:stä valmistettujen prototyyppien (kuva 16) vaurioihin, voidaan vaurioiden todeta olevan huomattavasti mittavammat. Kuvista 17a sekä 17c ei pystytä paikantamaan yhtymäsauman sijaintia luotettavasti eikä sitä myöden myöskään todistamaan vaurioiden alkavan siitä. Kuvassa 17b nähdään kuitenkin yksi selkeä rungon suuntainen murtuma, jonka oletetaan olevan yhtymäsauman mukainen, mutta tätä ei pystytä nyt tehdyillä testeillä todentamaan. Huomionarvoisin kuva on kuitenkin 17d, sillä siinä ei ole havaittavissa yhtäkään rungon suuntaista murtumaa eikä

yksikään murtuma kulje kannasta kaulan alueelle asti, voimakkaimmasta yhtymäsaumasta huolimatta. Taulukossa 9 on prototyyppien saavutetuista maksimipaineista.

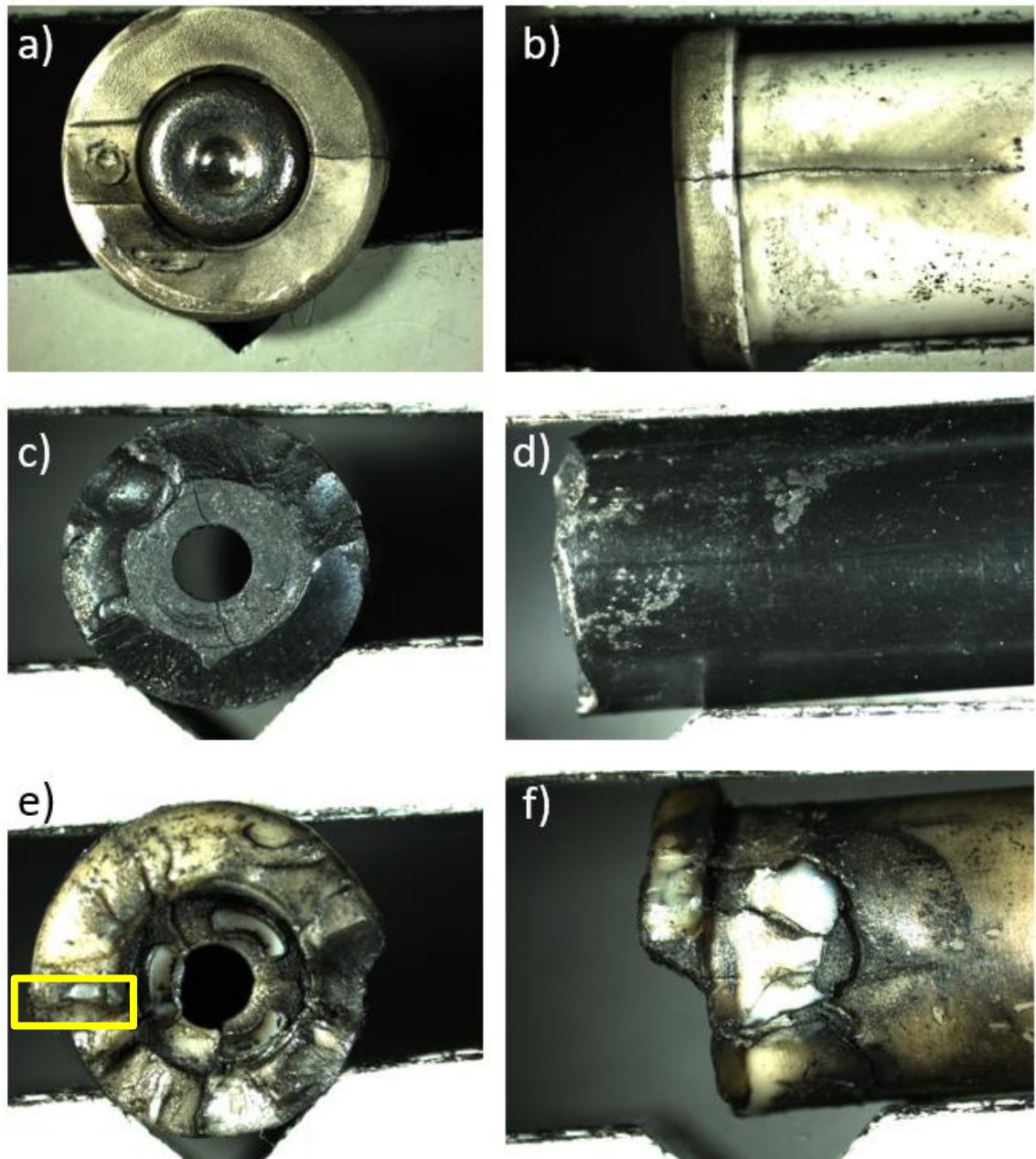
Taulukko 9, Pommilatauksen huippuarvot sekä messingille että jokaiselle materiaalille.

Patruunatesti				
Hylsy	Luoti	Ruutilaatu	Ruudin määrä (g)	Paine max (bar)
Messinki	c + d	N331	0,30	2939
MAT 1	c + d	N331	0,30	2260
MAT 2	c + d	N331	0,30	356
MAT 3	c + d	N331	0,30	846

Maksimipainetuloksista (taulukko 9) huomataan, että materiaali 1:stä valmistetun prototyypin huomattavista vaurioista huolimatta (kuvat 16a ja b) se kykenee tiivistämään patruunapesän hämmästyttävän hyvin, painehäviöksi muodostuen ”vain” 679 bar. Materiaaleista 2 ja 3 valmistetut prototyypit eivät pääse lähellekään tätä arvoa vaan jäävät molemmat alle 1000 bar. Tästä voidaan päätellä, että materiaaleista 2 ja 3 valmistetuissa prototyypeissä vaurio muodostuu heti laukaisutapahtuman alussa sekä etenee hyvin nopeasti, vapauttaen paineen patruunapesään piipun sijaan. Materiaali 1:stä valmistettu prototyyppi puolestaan kestää laukaisutapahtuman sekä kykenee tiivistämään patruunapesän palotapahtuman aikana ja ohjaamaan huomattavan osan paineesta piippuun patruunapesän sijaan.

Prototyyppien rajallisuuden vuoksi materiaaleille 2 ja 3 tehdään suppeammat mittaukset kuin materiaali 1:stä valmistetuille prototyypeille. Materiaaleille 2 ja 3 tehdään kestävyysmittaukset ainoastaan N331 ruudilla sekä latauksilla 0,3 g (kuva 17), 0,2 g (kuva 18) sekä 0,1 g

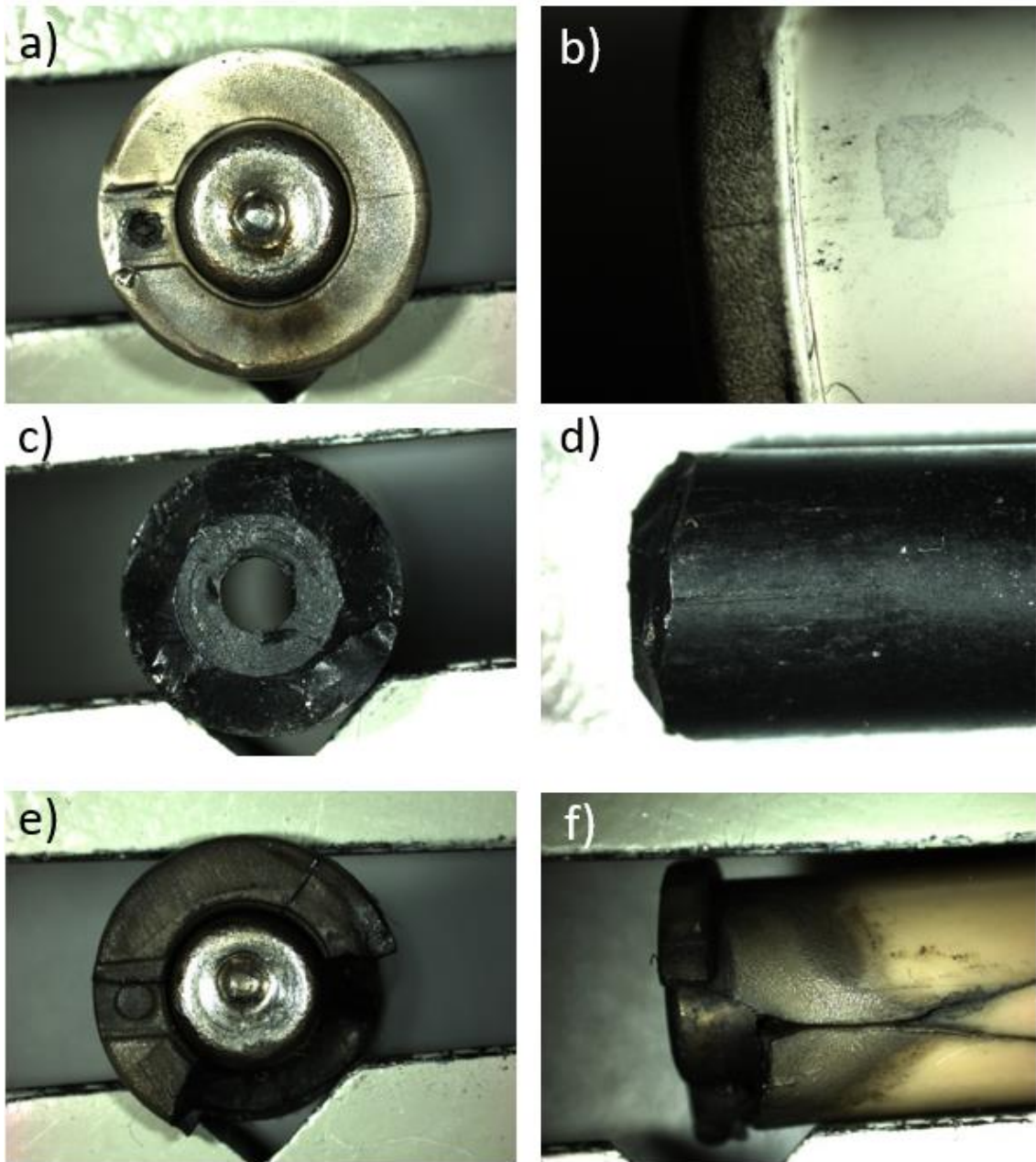
(kuva 19). Kuvissa 18 sekä 19 on myös materiaali 1:stä valmistettujen prototyyppien testikuvat vastaavilla latauksilla vertailun helpottamiseksi.



Kuva 18, Prototyyppien vauriot 0,2 g latauksella N331. a) Materiaali 1:sta valmistetun prototyypin vauriot kannassa sekä b) rungossa yhtymäsauman puolella. c) Materiaali 2:sta valmistetun prototyypin vauriot kannassa sekä d) rungossa. e) Materiaali 3:sta valmistetun prototyypin vauriot kannassa (ruiskutuspuiste korostettuna) sekä f) rungossa yhtymäsauman kohdalla.

Kuvassa 18a nähdään, kuinka minimaaliset vauriot lataus on tuottanut kantaa sekä kuvassa 18b ei ole halkeaman lisäksi havaittavissa huomattavaa sulamista tai irronneita sirpaleita. Materiaali 2:sta valmistetussa prototyypissä ei ole kantaa enää olemassa (kuva 18c), mutta toisinkuin 0,3 g latauksessa (kuva 17b), runko on säilynyt ehjänä eikä siinä ole havaittavissa rungon suuntaista murtumaa. Materiaali 3:sta valmistetun prototyypin kuvasta 18a pystytään paikantamaan ruiskutuspaikka kannan vasempaan reunaan ja rungolla yhtymäsauman kohdalla oleva vaurio (kuva 18f) murtuma ei ole edennyt rungon suuntaisesti vaan haarautunut vastaavalla tavalla kuin aikaisemmin kuvassa 17d.

Kuvissa 19a sekä 19b on materiaali 1:stä valmistetun prototyypin kuvat 0,1 g latauksella N331 ruutia. Kuten kuvakollaasista 19a-f havaitaan, materiaali 1:stä valmistettu prototyyppi on ainoa työssä tutkituista prototyypeistä, jolle löydettiin painetaso, jonka prototyyppi kestää.



Kuva 19, Prototyyppien vauriot latauksella 0,1 g N331. a) Materiaali 1:stä valmistetun prototyypin vauriot kannassa sekä b) rungossa yhtymäsauman kohdalla. c) Materiaali 2:sta valmistetun prototyypin vauriot kannassa sekä d) rungossa. e) Materiaali 3:sta valmistetun prototyypin vauriot kannassa sekä f) rungossa yhtymäsauman kohdalla.

Materiaali 2:sta valmistetun prototyypin vauriot kuvissa 19c sekä 19d ovat hyvin samankaltaiset kuin aikaisemmalla 0,2 g latauksella. Merkittävin huomio 0,2 g latauksen kuviin verrattuna on, materiaali 1 prototyyppin kestämissen lisäksi, materiaali 3:sta valmistetun prototyypin

vauriot kuvissa 19e ja 19f. Kuvassa 19e nalli on pysynyt paikoillaan, joka merkitsee jäljelle jääneen kannan kykenevän kohdentaa niin kovan paineen nalliin, että se pysyy paikoillaan. Sitäkin enemmän kuvan 19f vauriot antavat aihetta yhtymäsauman merkittävyydelle, sillä työssä tuntemattomaksi jäävästä syystä pienimmällä testilatauksella murtuma on selkeästi lähtenyt yhtymäsaumasta ja edennyt sen suunnaisesti runkoa pitkin.

Tehtyjen testien ja niistä saatujen tuloksien perusteella voidaan luotettavasti todeta materiaali 1:stä valmistettujen prototyyppien suorittuvan testeistä parhaiten nykyisellä rakenteella. Tulokset ovat osittain ristiriitaisia nyt tarkasteltujen kriittisten materiaaliominaisuuksien suhteen, joka kertoo kriittisten ominaisuuksien virheellisestä tunnistamisesta ja huomio tulisikin siirtää muihin ominaisuuksiin tulevaisuudessa tutkimuksissa. Tulokset korreloivat kuitenkin iskusitkeyden arvojen kanssa, joten tämä on mielestäni kriittistä pitää seurattavana materiaaliominaisuutena myös tulevaisuudessa jatkotutkimuksissa.

Tuloksien paikkansapitävyyttä erilaisella rakenteella sekä valmistusmenetelmällä ei voida luotettavasti tämän työn pohjalta todeta, mutta tutkimus antaa laadukkaan pohjan tulevien materiaalitutkimuksien lisäksi rakenne- sekä valmistusmenetelmätutkimuksille. Nämä tutkimukset suoritettuna erikseen materiaalitutkimuksesta antavat erittäin laadukkaan pohjan, jolta tulevien prototyyppien valmistaminen on huomattavasti nopeampaa, laadukkaampaa sekä tuloksellisempaa.

8. YHTEENVETO

Työn tavoitteena on tuottaa toimeksiantajalle riittävä tieteellinen pohjustus tuotteen kehitystyön jatkamiseksi sekä luoda dokumentoitu testimenetelmä tulevien tuloksien vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Työn alussa perehdytään toimeksiantajan aikaisemmin toteutettuihin testeihin sekä näiden dokumentaatioihin, joissa havaitaan huomattavia puutteita, mutta niiden pohjalta pystytään kuitenkin rakentamaan riittävän validi teoreettinen perusta. Teoreettisen tarkastelun perusteella toimeksiantajan dokumentaatiosta valitaan parhaiten menestyneen prototyypin materiaali lähtökohdaksi ja kriittisen ominaisuuden tunnistamiseksi kaksi muuta materiaalia, jotka eroavat vetolujuudeltaan, murtovenymältään sekä iskusitkeydeltään materiaali 1:estä. Tutkimus ei tuottanut suoraan toimivaa tuotetta toimeksiantajalle, mutta tuloksista saatiin arvokasta tietoa materiaalien käyttäytymisestä laukaisutapahtumassa, testilaitteiston toimivuudesta sekä tarpeellisesta dokumentoinnista jatkotutkimuksia varten. Tärkeimmät huomiot tuloksista jatkotutkimuksia ajatellen ovat prototyyppien muotin rakenteen muuttaminen, jotta prototyyppeihin ei muodostuisi voimakasta yhtymäsaumaa, kriittiset ominaisuudet tulee määritellä uudelleen, sillä nyt vertailut ominaisuudet eivät vastaa täysin saatuja tuloksia. Tulokset huomioiden nyt tutkituista materiaaliominaisuuksista iskusitkeys on merkittävimmissä roolissa. Lisäksi työn aikana laadittu testimenetelmä sekä siihen liittyvä dokumentointi jää toimeksiantajalle työkaluksi tulevia jatkotutkimuksia varten.

LÄHTEET

- [1] London Metal Exchange, Saatavissa: www.lme.com
Viitattu: 30.10.2021
- [2] S. Bocetta, The complete history of small arms ammunition and cartridges, Small wars journal, 2017. Saatavissa: <https://smallwarsjournal.com/jrnl/art/complete-history-small-arms-ammunition-and-cartridges>. Viitattu 16.4.2021
- [3] A. Newcomer, Cartridge collector's glossary, International Ammunition Association Inc.
Saatavissa: <http://cartridgecollectors.org/?page=glossary>.
Viitattu: 16.4.2021
- [4] O. Flatnes, From musket to metal cartridge: A practical history of black powder firearms, Crowood Press, 2013, 125-130 pp.
- [5] G. Priestel, Jean Samuel Pauley, Henri Roux and Successors, Australian Cartridge Collectors, 2020. Saatavissa: <https://australiancartridgecollectors.org/External%20Documents/Jean%20Samuel%20Pauley,%20Henri%20Roux%20and%20Successors.pdf>. Viitattu 17.4.2021
- [6] P. Tebaldi, History of French guns, Steniron, 2018. Saatavissa: <https://www.steniron.com/wp-content/uploads/2019/02/Chapter-one-the-frnch-guns.pdf>. Viitattu: 17.4.2021
- [7] A. Newcomer, C. D. Leet & Company Pinfire Cartridges, 2019. Saatavissa: <https://aaronnewcomer.com/c-d-leet-company-pinfire-cartridges/>. Viitattu: 17.4.2021

- [8] L. Cuenco, The rimfire report: A brief history of rimfire ammunition, The Firearm Blog, 2020. Saatavissa: <https://www.thefirearmblog.com/blog/2020/03/16/brief-history-rimfire-ammunition/> Viitattu: 18.4.2021
- [9] H. Hyytinen, Patruunat ja kaliberit 1, Arma Fennica 9, Saarijärven Offset Oy, 2007, s. 36-83
- [10] C. Monturo, Forensic Firearm Examination, Elsevier Science & Technology, 2019. Viitattu: 30.3.2021
- [11] C.I.P. – Comission Internationale Permanente Pour L'epreuve Des Armer a Feu Portatives. Saatavissa: <https://www.cip-bobp.org/en>. Viitattu: 21.5.2021
- [12] AEP-97 Ed: A Ver 1, MULTI CALIBRE MANUAL OF PROOF AND INSPECTION (M CMOPI) FOR NATO SMALL ARMS AMMUNITION, NATO Standardization Office. Saatavissa: <https://nso.nato.int/nso/nsdd/main/list-promulg>. Viitattu: 21.5.2021
- [13] E. Paananen, Messinkihylsyisten keskisytytyspatruunoiden jälleenlataus (4. painos), 2008.
- [14] Case Design, Firearm Examiner Training, 2008. Saatavissa: https://projects.nfstc.org/firearms/module03/fir_m03_t06_02_h.htm. Viitattu: 22.5.2021
- [15] W.C. Davis, Handloading, National Rifle Association, 1981, pp.67-69
- [16] SAAMI - Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute. Saatavissa: <https://saami.org/>. Viitattu: 21.5.2021

- [17] TUKES – Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/rajahteet-ilotulitteet-patruunat-ja-ruuti>. Viitattu 21.5.2021
- [18] Polymer Market Overview, Prescient&Strategic Intelligence, 2021. Saatavissa: <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/polymer-market>. Viitattu: 21.5.2021
- [19] N.R. Schott, M.G. Rosato, D.V. Rosato, Plastic Technology Handbook – Volume 1, 2010, pp. 7-22
- [20] PP Grades, HMC Polymers, Saatavissa: <https://www.hmcpolymers.com/pp-grades>. Viitattu: 26.5.2021
- [21] The Definitive Guide to Polypropylene (PP), Omnexus – The material selection platform. Saatavissa: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic>. Viitattu: 26.5.2021
- [22] [C. Hindle, Polypropylene \(PP\), BPF – British Plastics Federation](#). Saatavissa: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/pp.aspx#grades>. Viitattu: 26.5.2021
- [23] I. Tiseo, Global plastic production 1950-2020, Statista, 2021. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>. Viitattu: 26.5.2021
- [24] D.G. Rogich, G.R. Matos, The Global Flows of Metals and Minerals, USGS - United States Geological Survey, 2008. Saatavissa: <https://pubs.usgs.gov/of/2008/1355/pdf/ofr2008-1355.pdf>. Viitattu: 26.5.2021

- [25] T. Brown, Why high performance polymers are replacing metals in demanding applications, The Manufacturer, 2014. Saatavissa: <https://www.themanufacturer.com/articles/high-performance-polymers-replacing-metals-demanding-applications/>. Viitattu: 26.5.2021
- [26] Magnesium: The Lightest Structural Metal, International Magnesium Association, Saatavissa: <https://www.intlmag.org/page/mg-lightest-metal>. Viitattu: 26.5.2021
- [27] K. Balani, V. Verma, A. Agarwal, R. Narayan, Biosurfaces: A Materials Science and Engineering Perspective, 2015, pp. 329-344.
- [28] R. Grimm, [28] R.U se for Boilers and Pressure Vessels, The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors, 2001. Saatavissa: <https://www.nationalboard.org/index.aspx?pageID=164&ID=246>. Viitattu: 26.5.2021
- [29] M. Legault, The First Commercial Type V Composite Pressure Vessel, CompositesWorld, 2012. Saatavissa: <https://www.compositesworld.com/articles/next-generation-pressure-vessels>. Viitattu: 3.11.2021
- [30] J. Siewert, Cartridge Cases & Case – Chamber Interactions, Arrow Tech, 2019. Saatavissa: <https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2019/armament/SiewertTutorial5.pdf>. Viitattu: 27.5.2021

- [31] J.D. Blackwood, F.P. Bowden, The initiation, burning and thermal decomposition of gunpowder, The Royal Society, 1952. Saatavissa: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspa.1952.0127>. Viitattu: 27.5.2021
- [32] M. Sepe, Materials: Understanding Strain-Rate Sensitivity in Polymers, 2016. Saatavissa: <https://www.ptonline.com/articles/materials-understanding-strain-rate-sensitivity-in-polymers>. Viitattu: 27.5.2021
- [33] X. Dang, General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters, Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 41, 2014, pp. 15-27
- [34] What are the advantages and disadvantages of injection moulding, Plastikcity, 2019. Saatavissa: <https://www.plastikcity.co.uk/blog/advantages-disadvantages-of-injection-moulding/>. Viitattu: 13.11.2021
- [35] B. Cockram, Extrusion moulding: The Advantages and Disadvantages, Plastic&Chemical Trading, 2019. Saatavissa: <https://plastrading.com/2019/01/16/extrusion-moulding-the-advantages-and-disadvantages/>. Viitattu: 13.11.2021
- [36] E. Dontigney, The Advantages & Disadvantages of Extrusion Moulding, HomeSteady, 2019. Saatavissa: <https://homesteady.com/13659457/the-advantages-disadvantages-of-extrusion-molding>. Viitattu: 26.5.2021

- [37] V.A. Kagan, J. Mazza, C. Roth, Optimizing Mechanical Performance of Injection Molded Multiple Gated Rotating Thermoplastic Components: Part 2 - Knit Line/Weld Inter-Phase Integrity, SAE 2001 World Congress, 2001. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/300701070_Optimizing_Mechanical_Performance_of_Injection_Molded_Multiple_Gated_Rotating_Thermoplastic_Components_Part_2_-_Knit_LineWeld_Inter-Phase_Integrity. Viitattu: 13.11.2021
- [38] M.G. Rosato, D.V. Rosato, Troubleshooting and Maintenance, Injection Molding Handbook, 2000, pp. 969-1027
- [39] J. Grasmeyer, Polymer Crystallinity – HPP Explained (part 3), Victrex, 2017. Saatavissa: <https://www.victrex.com/en/blog/2017/polymer-crystallinity-hpp-explained-part-3>. Viitattu: 26.5.2021
- [40] Vihtavuoren latausopas 2021, sivu 114

LIITE A

C.I.P.	308 Win.	TAB. I
	Country of Origin: US	Date 84-06-14
		Revision 08-09-23
Alternative Names: 308 Winchester, 7,62 x 51		
	<p>CARTRIDGE MAXI</p> <p>Lengths</p> <p>L1 ¹⁾ = 39.62 -0.20 L2 ¹⁾ = 43.48 -0.20 L3 ¹⁾ = 51.18 L4 = L5 = L6 = 71.12</p> <p>Case Head</p> <p>R = 1.37 R1 = 12.01 R3 = E = 3.85 E1 = 10.39 e min = 1.40 delta = 36° f = 0.38 beta = 35°</p> <p>Powder Chamber</p> <p>P1 = 11.96 P2 ¹⁾* = 11.53 -0.20</p> <p>Junction Cone</p> <p>alpha * = 40° S * = 55.46 r1 min = 0.76 r2 = 3.18</p> <p>Collar</p> <p>H1 * = 8.72 H2 ¹⁾ = 8.72</p> <p>Projectile</p> <p>G1 ¹⁾ = 7.85 G2 = F = L3+G ¹⁾ = 58.16</p> <p>Pressures (Energies)</p> <p>Method Transducer</p> <p>Pmax = 4150 bar PK = 4773 bar PE = 5190 bar M = 25.00 EE = 3920 Joule</p> <p>Miscellaneous Dimensions</p> <p>Fe ¹⁾³⁾ = 0.10 delta L = 0.10</p>	<p>CHAMBER MINI</p> <p>Lengths</p> <p>L1 = 39.48 L2 = 43.28 L3 ¹⁾ = 51.44</p> <p>Breech</p> <p>R = R1 = 12.03 R2 = R3 = r =</p> <p>Powder Chamber</p> <p>E = 3.85 P1 ¹⁾ = 11.99 P2 * = 11.56</p> <p>Junction Cone</p> <p>alpha ¹⁾* = 40° S * = 55.36 r1 max = 0.76 r2 = 3.68</p> <p>Collar</p> <p>H1 * = 8.79 H2 ¹⁾ = 8.74</p> <p>Commencement of Rifling</p> <p>G1 ¹⁾* = 7.87 G ¹⁾ = 6.98 alpha 1 * = 71°25'59" h = 0.60 s = 2.89 i ¹⁾* = 1°45' w =</p> <p>Barrel</p> <p>F ¹⁾* = 7.62 Z ¹⁾ = 7.82</p> <p>Grooves</p> <p>b = 4.47 N = 4 u = 305.00 Q = 47.51 mm²</p>
Scale 1.11:1		
Dimensions in << mm >> Dimensions and Tolerances for Proof Barrels see Appendix CR 1.	Notes: 1) Check for safety reasons 3) Headspace on Shoulder * Basic dimensions	

LIITE B

C.I.P.	22 Hornet Country of Origin: US	TAB.	II
		Date	84-06-14
		Revision	02-05-15
	<p>CARTRIDGE MAXI</p> <p>Lengths</p> <p>L1 = 21.64 L2 = 25.80 L3¹⁾ = 35.64 L4 = L5 = L6 = 43.76</p> <p>Case Head</p> <p>R¹⁾ = 1.65 -0.25 R1 = 8.89 R3 = E = E1 = e min = delta = f = 0.38 beta = 35°</p> <p>Powder Chamber</p> <p>P1 = 7.59 P2* = 7.04</p> <p>Junction Cone</p> <p>alpha* = 11°16' S* = 57.33 r1 min = 12.70 r2 = 22.23</p> <p>Collar</p> <p>H1* = 6.22 H2¹⁾ = 6.16</p> <p>Projectile</p> <p>G1¹⁾ = 5.70 G2 = F = L3+G¹⁾ = 38.78</p> <p>Pressures (Energies)</p> <p>Method Transducer</p> <p>Pmax = 3000 bar PK = 3450 bar PE = 3750 bar M = 17.50 EE = 1055 Joule</p> <p>Miscellaneous Dimensions</p> <p>Fe¹⁾ = 0.15 delta L =</p>	<p>CHAMBER MINI</p> <p>Lengths</p> <p>L1 = 21.44 L2 = 25.81 L3¹⁾ = 35.76</p> <p>Breech</p> <p>R¹⁾ = 1.65 R1 = 9.14 R2 = R3 = r =</p> <p>Powder Chamber</p> <p>E = P1¹⁾ = 7.62 P2* = 7.07</p> <p>Junction Cone</p> <p>alpha* = 10°58'01" S* = 58.26 r1 max = 12.70 r2 = 22.23</p> <p>Collar</p> <p>H1* = 6.23 H2¹⁾ = 6.17</p> <p>Commencement of Rifling</p> <p>G1¹⁾* = 5.82 G¹⁾ = 3.14 alpha1* = 90° h = 0.18 s = j¹⁾* = 3° w =</p> <p>Barrel</p> <p>F¹⁾* = 5.51 Z¹⁾ = 5.64</p> <p>Grooves</p> <p>b = 1.73 N = 6 u = 406.00 Q = 24.53 mm²</p>	
<p>Notes: 1) Check for safety reasons * Basic dimensions</p>			

LIITE C

	Messinki referenssinä					
TESTI	1	2	3	4	5	ka.
Latauspituus (mm)	43,72	43,67	43,7	43,69	43,71	43,70
Irtivetovastus (N)	108	114	128	129	119	119,60
Nallitus	+	+	+	+	+	5 / 5
Laukaus	+	+	+	+	+	5 / 5
Ulosveto	+	+	+	+	+	5 / 5
Patruuna (bar)	2954	2894	2913	2974	2963	2939,60

	Materiaali 1					
TESTI	1	2	3	4	5	ka.
Latauspituus (mm)	43,71	43,78	43,75	44	44	43,85
Irtivetovastus (N)	58	71	67	61	72	65,80
Nallitus	+	+	+	+	+	5 / 5
Laukaus	+	+	+	+	+	5 / 5
Ulosveto	+	+	+	+	+	5 / 5
Patruuna (bar)	2184	2062	2260	2142	2098	2149,20

	Materiaali 2					
TESTI	1	2	3	4	5	ka.
Latauspituus (mm)	43,74	43,76				43,75
Irtivetovastus (N)	71	68				69,50
Nallitus	+	+	-			2 / 3
Laukaus	+	-				1 / 2
Ulosveto	-	-				0 / 2
Patruuna (bar)	356	338				347,00

	Materiaali 3					
TESTI	1	2	3	4	5	ka.
Latauspituus (mm)	43,73	43,78	43,72			43,74
Irtivetovastus (N)	60	64	53			59,00
Nallitus	+	+	+	+		4 / 4
Laukaus	+	+	+	-		3 / 4
Ulosveto	-	+	-	-		1 / 4
Patruuna (bar)	782	846				814,00