



RYNNÄKKÖKIVÄÄRISI- MULAATTORI

Suunnittelu ja prototyypin kehitys

Sakari Vyyryläinen

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019

Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

VYYRYLÄINEN, SAKARI:
Rynnäkkökiväärisimulaattori
Suunnittelu ja prototyypin kehitys

Opinnäytetyö 70 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2019

Tämä opinnäytetyö käsittelee tuotekehitysprojektia, jonka tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia suunnitella ja rakentaa paineilmatoiminen rynnäkkökiväärisimulaattori. Tavoitteena oli tuottaa paukkupatruunoilla ampumisen simulointiin soveltuva systeemi, jonka avulla voitaisiin harjoitella ammuntaa kustannustehokkaasti.

Suunnittelun lähtökohtana oli mahdollisimman edullisen ratkaisun löytäminen niin valmistuksen kuin käytön näkökulmasta. Vaatimus edullisesta valmistusprosessista johti siihen, että prototyypissä hyödynnettiin valmiita, käytettynä saatuja tulososia, joista ei ollut saatavilla kunnollisia mitoituskuvia. Työ osoittautui haastavaksi jo suunnitteluvaiheessa, sillä useasta liikkuvasta osasta koostuvan hienomekaanisen laitteen osien mitoitus oli vaikeaa tilanteessa, jossa rungosta ei ollut saatavilla valmiita mittoja.

Haasteista huolimatta lopputuloksena saatiin rakennettua osin toimiva prototyypipikoneisto, jonka pohjalta on mahdollista kehittää toimiva rynnäkkökiväärisimulaattori. Suunniteltua koneistoa saatetaan myös jatkokehittää tulevaisuudessa airsoft-käyttöön soveltuvan replika-aseen koneistoksi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

VYYRYLÄINEN, SAKARI:
Pneumatic Assault Rifle simulator

Bachelor's thesis 70 pages, appendices 2 pages
April 2019

This thesis explored the possibilities to design and build a pneumatic assault rifle simulator. The aim was to produce a system that could simulate shooting with cartridge ammunition in a cost-efficient way.

The aim was to find the most cost-effective solution in terms of both its manufacturing and use of the simulator. The priority for low-cost manufacturing led the author to design the prototype based on used firearm parts. The product development process turned out to be very challenging as there were no exact dimensions on the firearm parts available. Therefore the dimensions had to be measured manually. This caused the simulation of the rifle using the Autodesk Inventor 3D model simulator to be very difficult.

The outcome of this study despite the challenges, is a partially functioning prototype machine that can be developed into a pneumatic assault rifle simulator. The prototype may be developed further to create a mechanism used in airsoft replicas.

Keywords: R&D, product development project, product design, simulator, assault rifle

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TUOTEKEHITYKSEN TEORIA.....	7
2.1	Tuotekehitysprojektin työvaiheet	9
2.1.1	Tuotekehitysprojektin käynnistäminen	10
2.1.2	Tuotekehitysprojektin luonnostelu	10
2.1.3	Kehittelyvaihe	13
2.1.4	Viimeistely	15
3	SUUNNITTELUPROSESSI	17
3.1	Tuotekehitysprojektin käynnistäminen	17
3.2	Luonnostelu	18
3.2.1	Vaatusmäärittelyn johdanto	18
3.2.2	Käyttötuntuma	19
3.2.3	Esikuvana toimivan tuliseen ratkaisut.....	20
3.2.4	Huollettavuus ja käyttöikä	22
3.2.5	Hankinta ja käyttökustannukset.....	22
3.2.6	Vaatusmäärittely	24
3.3	Ratkaisuvaihtoehdot.....	25
3.3.1	Erialaisten ratkaisuvaihtoehtojen kartoitus	26
3.3.2	Osatoimintojen ratkaisut.....	28
3.3.3	Toimintaperiaate.....	29
3.4	Suunnittelutyö	31
3.5	Suunniteltavat osat.....	32
3.6	Luistin suunnittelu	34
3.6.1	Luistin toimintojen karsiminen	35
3.6.2	Luistin jako kahteen osaan	36
3.6.3	Luistin putki	37
3.6.4	Luistin mäntä ja palautinjousen kara	39
3.6.5	Luistin tanko	44
3.6.6	Luistin tangon kiinnitys	44
3.7	Venttiili	45
4	PROTOTYYPIN RAKENNUS	48
4.1	Runko.....	48
4.2	Ulkopiippu ja luistin tanko.....	49
4.3	Luistin kara.....	51
4.4	Luisti.....	53
5	PROTOTYYPIN TESTAUS.....	56

5.1	Laukaisukoneiston toiminnan testaus	56
5.2	Rekyylikoneiston toiminnan testaus	59
5.2.1	Testausasetelma	59
5.2.2	Testitulokset	61
6	TULOSTEN ANALYSOINTI	62
6.1	Laukaisukoneiston testitulokset.....	62
6.2	Rekyylikoneiston testitulokset	63
7	POHDINTA	65
	LÄHTEET	68
	LIITTEET	69
	Liite 1. Käsien piirretty luonnos rekyylikoneiston perusideasta	69
	Liite 2. Laukaisukoneiston periaatemekanismien luonnos	70

1 JOHDANTO

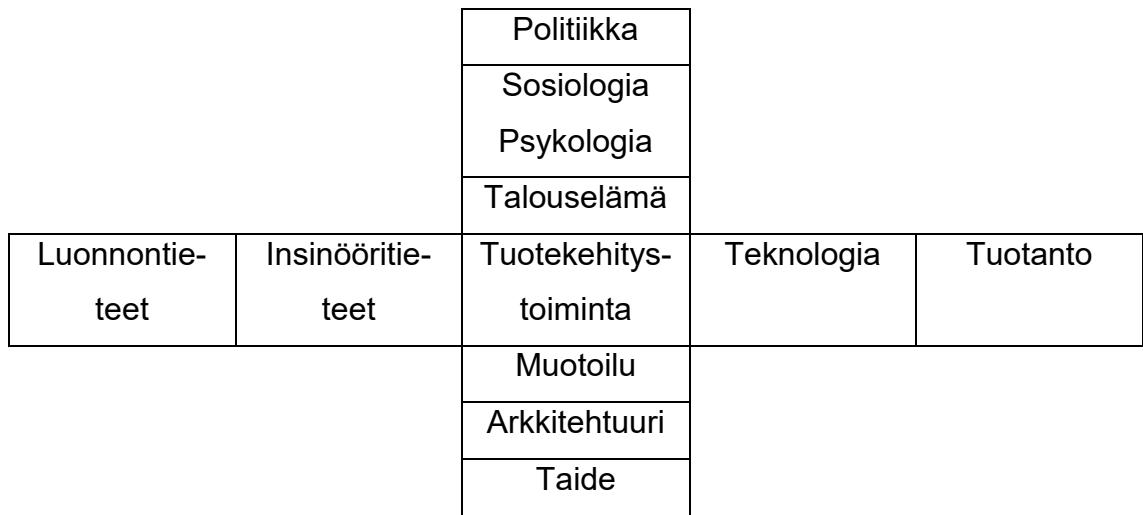
Tässä opinnäytetyössä selvitetään paineilmalla toimivan rynnäkkökiväärisimulaattorin toteutusmahdollisuuksia ja kartoitetaan sen vähimmäisvaatimuksia, jotta suunniteltavaa simulaattoria voisi soveltaa koulutuskäytössä lakisääteisen varusmiespalveluksen aikana. Tarve ja potentiaalinen markkinamahdollisuus rynnäkkökiväärisimulaattorille juontaa juurensa Puolustusvoimien tarpeeseen mahdollisuudesta säästää patruunakuluissa ja ohjata patruunakuluista saatavia säästöjä muuhun koulutukseen. (Keskisuomalainen 2018.) Tässä tutkielmassa käsiteltävässä tuotekehitysprojektissa keskitytään harjoituspatruunoiden kulutuksen vähentämisen mahdollistavan järjestelmän suunnitteluprosessiin, vaatimuksiin sekä järjestelmän suorituskyvyn ja kestävyiden kartoittamiseen koulutuskäytössä. Tuotekehitys tehdään tässä tutkielmassa siitä lähtökohdasta, että kehitettävä simulaattori voisi korvata jo ennestään Puolustusvoimien käytössä olevaa simulaattorijärjestelmän, mutta kehitettävän ratkaisun tulee olla käyttökuluiltaan nykyistä huomattavasti edullisempi.

2 TUOTEKEHITYKSEN TEORIA

Määrätietoinen ja tavoitteellinen tieteellinen tuotekehitystoiminta on varsin uusi ilmiö. Se on saanut alkunsa 1940- ja 1950-lukujen taitteessa. Sittemmin tuotekehityksen tutkimus on syventynyt ja siitä on muodostunut todellinen tieteenala, josta on ammennettu useita väitöskirjoja. Ennen nykyisin tunnettujen tuotekehitysprosessien syntymistä tuotteiden kehitys perustui suureksi osaksi vastaan tuleisiin tilanteisiin, jotka osoittivat tarpeen kehitykselle sekä onnistuneisiin ja epäonnistuneisiin kokeiluihin. (Jokinen 2001, 10–11.)

Tarve yleisesti sovellettaville suunnittelumenetelmille ja prosesseille on ajan kuluessa lisääntynyt. Syitä tarpeen kasvulle ovat tuotteiden eliniän lyheneminen ja kilpailun kiristyminen. Tehokkaalla tuotekehitysprosessilla tuotekehityspanosta on voitu kasvattaa, mikä on antanut uusia mahdollisuuksia tuottaa markkinoille kiristyvän kilpailun edellyttämiä entistä parempia ja halvempia tuotteita. (Jokinen 2001, 9–11.)

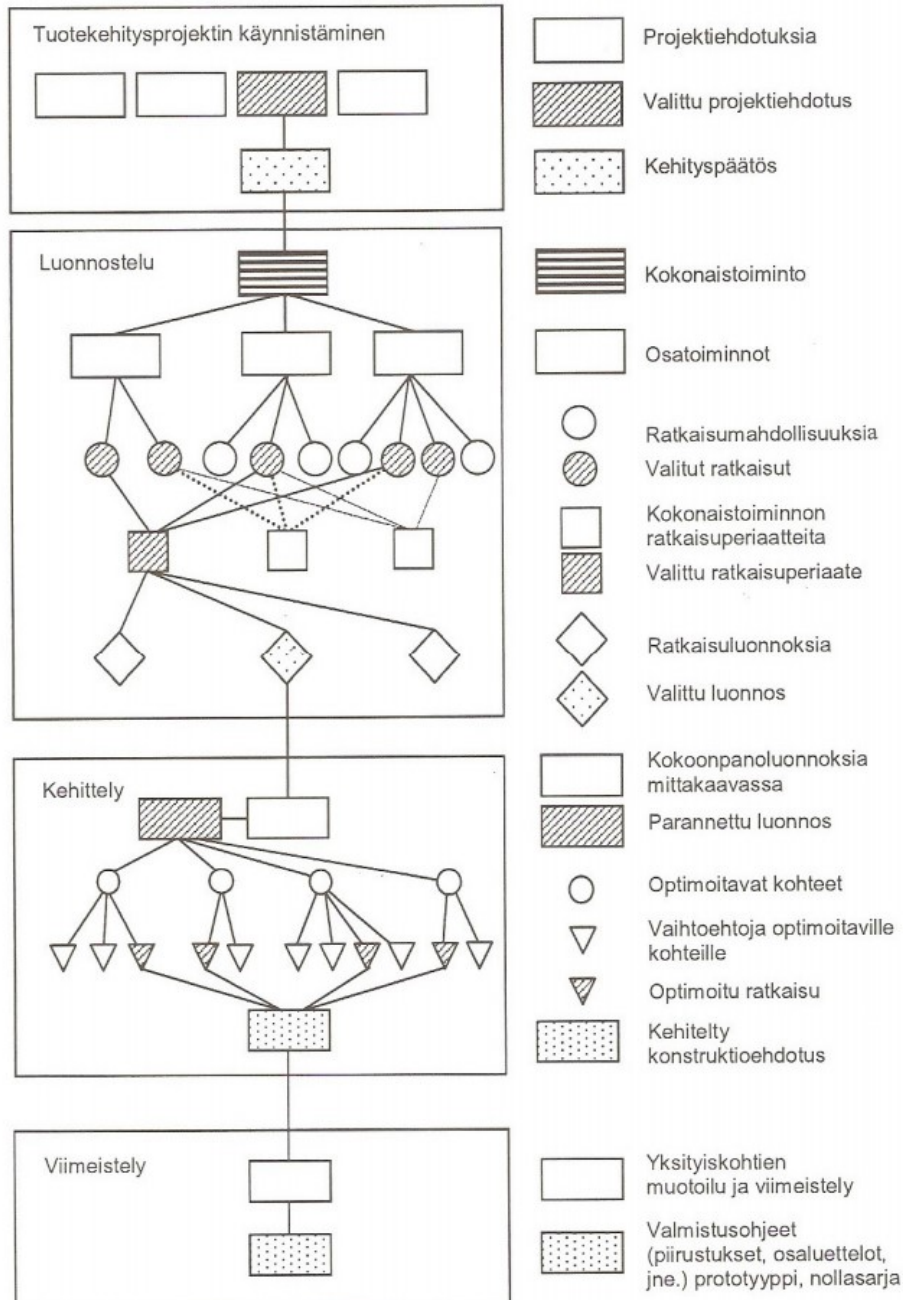
Tuotekehitystoiminta on liiketoiminnan ylläpitävä voima ja yksi keskeisimmistä yrityksen menestymisen edellytyksistä. Tuotekehitykseksi käsitetään yleisesti sellainen toiminta, jonka tavoitteena on kehittää kokonaan uusi tai osin paranneltu tuote vanhasta versiosta. Yksinkertaiselta kuulostavasta toiminnasta huolimatta tuotekehitys on monivaiheinen prosessi, mikäli se halutaan tehdä parhaalla tavalla. Pelkän tuoteidean etsiminen ja löytäminen eivät itsessään riitä tuotekehitysprosessin täydelliseen hallintaan. Tuotekehitysprosessin käynnistysvaiheessa joudutaan tekemisiin lähes kaikkien ihmiselämän osa-alueiden kanssa. Prosessissa tarvitaan luonnontieteellisen osaamisen lisäksi kykyä luovaan työhön sekä sosiaalisen viitekehityksen ymmärtämistä. Tuotekehitysprosessia voidaan esittää kulttuurin, tekniikan ja markkinoiden vaatimusten risteyskohdassa toteutuvana toimintana (kuvio 1). (Jokinen 2001, 9–11.)



KUVIO 1. Tuotekehitystoiminta kulttuurin ja tekniikan vaikutuksen alaisena (Jokinen 2001, 10)

2.1 Tuotekehitysprojektin työvaiheet

Tuotekehitysprojekti voidaan jakaa neljään toimintavaiheeseen: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely (Jokinen 2001, 14). Toimintavaiheiden sisältö on esitelty visuaalisesti kuvassa 1.



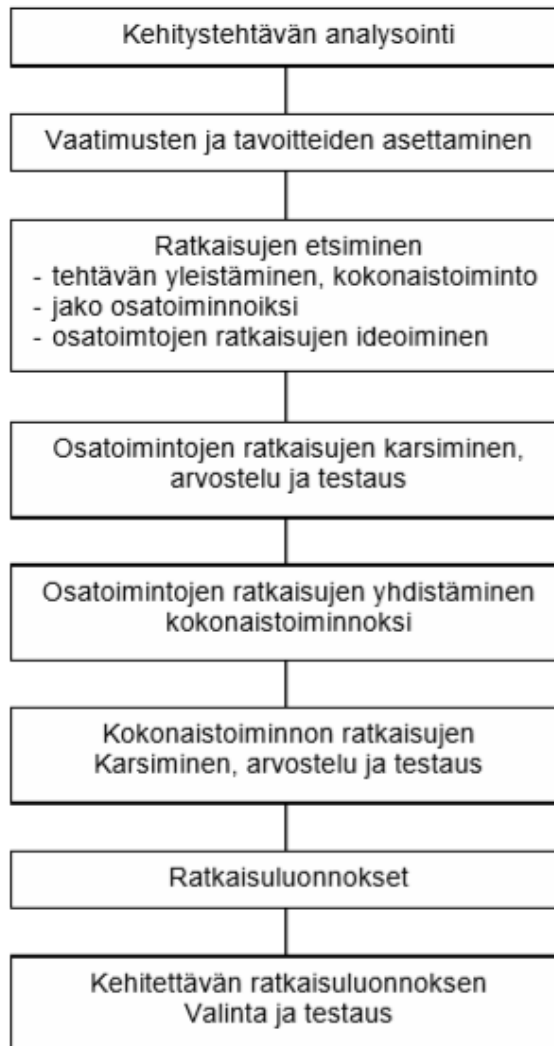
KUVA 1. Tuotekehitysprojektin toimintavaiheet (Jokinen 2001, 16)

2.1.1 Tuotekehitysprojektin käynnistäminen

Oikein valittujen tuotekehitysprojektien käynnistäminen on yritysten menestyksen kannalta erittäin oleellista. Ennen tuotekehitysprojektin toteuttamispäätöstä tulee selvittää todellinen tarve tuotekehitysprojektille, kehittämiskustannukset, markkinatilanne ja projektin tuotto. Näiden lisäksi tärkeää on selvittää vielä ympäristö- ja työterveydelliset kysymykset. Jos kehitysprojektin toteuttamiselle ei ole todellista tarvetta tai sen tuottoarvio on huono, ei kehityspäätökselle ole edellytyksiä. Jos tarkastelu tuottaa myönteisen lopputuloksen, käynnistäminen päättyy kehityspäätökseen. (Jokinen 2001, 14, 18.)

2.1.2 Tuotekehitysprojektin luonnostelu

Luonnosteluvaiheessa tuotekehitysprojektille etsitään alkuperäisen ajatuksen lisäksi myös vaihtoehtoisia ratkaisumalleja. Luonnosteluvaihe käsittää samat työvaiheet kuin mitä päätöksenteossa tai ongelman ratkaisussa käytetään. Menetelmiä on monia, mutta niitä kaikkia yhdistää seuraavan tyyppinen kulku: ongelman havaitseminen, asiatietojen hankinta, ongelman analysointi, vaatimusmäärittelyn laatiminen, ratkaisuideoiden etsiminen, ideoiden karsiminen, valittujen ratkaisujen testaus ja viimeisenä lopullinen päätöksen tekeminen. (Jokinen 2001, 21.) Kuvassa 2 on esitetty karkeasti luonnostelun eri työvaiheet.



KUVA 2. Luonnostelun työvaiheet (Jokinen 2001, 22)

Tuotekehitysprojekteja toteutettaessa on hyvä muistaa se, että usein osa projekteja valmistelleista henkilöistä ei osallistu varsinaiseen tuotekehitystyöhön. Joissain tapauksissa kaikki projektin henkilöt voivat olla uusia. Vaihtuneen henkilökunnan vuoksi luonnosteluvaiheessa on tärkeää keskittyä myös tuotekehityspäätöksessä päätetyn kehitysprojektin analysointiin (Jokinen 2001, 14). Tällöin projektihenkilökunta havaitsee ongelman, perehtyy asiaan ja analysoi ongelmaa. Alkuperäisen ratkaisuehdotuksen lisäksi ongelmaan haetaan erilaisten menetelmien avulla vaihtoehtoisia ratkaisumenetelmiä ja sama prosessi toistetaan vaihtoehtoisille ideoille (Jokinen 2001, 21).

Kehitettävälle tuotteelle laaditaan vaatimusmäärittely, jossa määritellään tuotteelle asetettavat vaatimukset ja tavoitteet. Tavoitteet tulee asettaa korkealle, jotta kehitysprojektissa ei alisuoriuduta, vaan saavutetaan hyvä lopputulos. Markkinoiden paras tuote tuotekehitysprojektin hetkellä ei ole riittävä. Muutoin projektin valmistuttua julkaistaisiin aina kilpailijoiden tuotteisiin verrattuna vanhentunut tuote, sillä myös kilpailijat kehittävät tuotteitaan. (Jokinen 2001, 27–28.)

Vaatimusmäärittelyssä luodaan lista tavoitteista ja reunaehdoista. Tavoitteita on useimmiten todella paljon ja tuotekehitystiimin tulisi löytää hyvä tasapaino ratkaisuehdotuksissaan tavoitteiden kanssa. Ihmisluonnolle on tyypillistä painottaa niitä asioita ratkaisuehdotuksissaan, jotka ovat hänen kokemuksensa mukaan tärkeitä asioita. Tästä syystä suunnittelijat painottavat useimmiten teknisiä ominaisuuksia ja myyntihenkilöt tuotteen lopullista hintaa. Tuotekehitystiimi on hyvä koota eri puolilla organisaatiota vaikuttavista henkilöistä, jotta kaikki tarpeet tulevat kuulluksi. Tällöin niin myyntihenkilöstö kuin suunnittelijatkin pitävät itselleen tärkeitä asioita esillä, jolloin ne eivät unohdu projektin edetessä. (Jokinen 2001, 29.)

Myöhemmin tehtävien ratkaisuehdotusten arvioinnin helpottamiseksi tavoitteet ja vaatimukset kannattaa jaoitella kolmeen erilliseen luokkaan (Jokinen 2001, 30). Ensimmäinen luokka on kiinteät vaatimukset. Ratkaisun tulee olla sellainen, että se ehdottomasti täyttää nämä vaatimukset. Esimerkkejä kiinteistä vaatimuksista voivat olla tuotteen jännitteen kesto, kantokyky tai hinta. Toinen luokka on vähimmäisvaatimukset. Vähimmäisvaatimuksilla on jokin saavutettava raja-arvo, jonka ylittäminen tai alittaminen on toivottavaa. Esimerkkeinä tällaisista saavutettavista raja-arvoista voidaan pitää hyötysuhteen alarajaa tai suurinta sallittua melutasoa. Kolmas ja viimeinen luokka on toivomukset. Toivomukset huomioidaan kehitysprosessissa mahdollisuuksien mukaan, ja niiden täyttäminen saa synnyttää määrätyn lisäkustannuksen. (Jokinen 2001, 29–30).

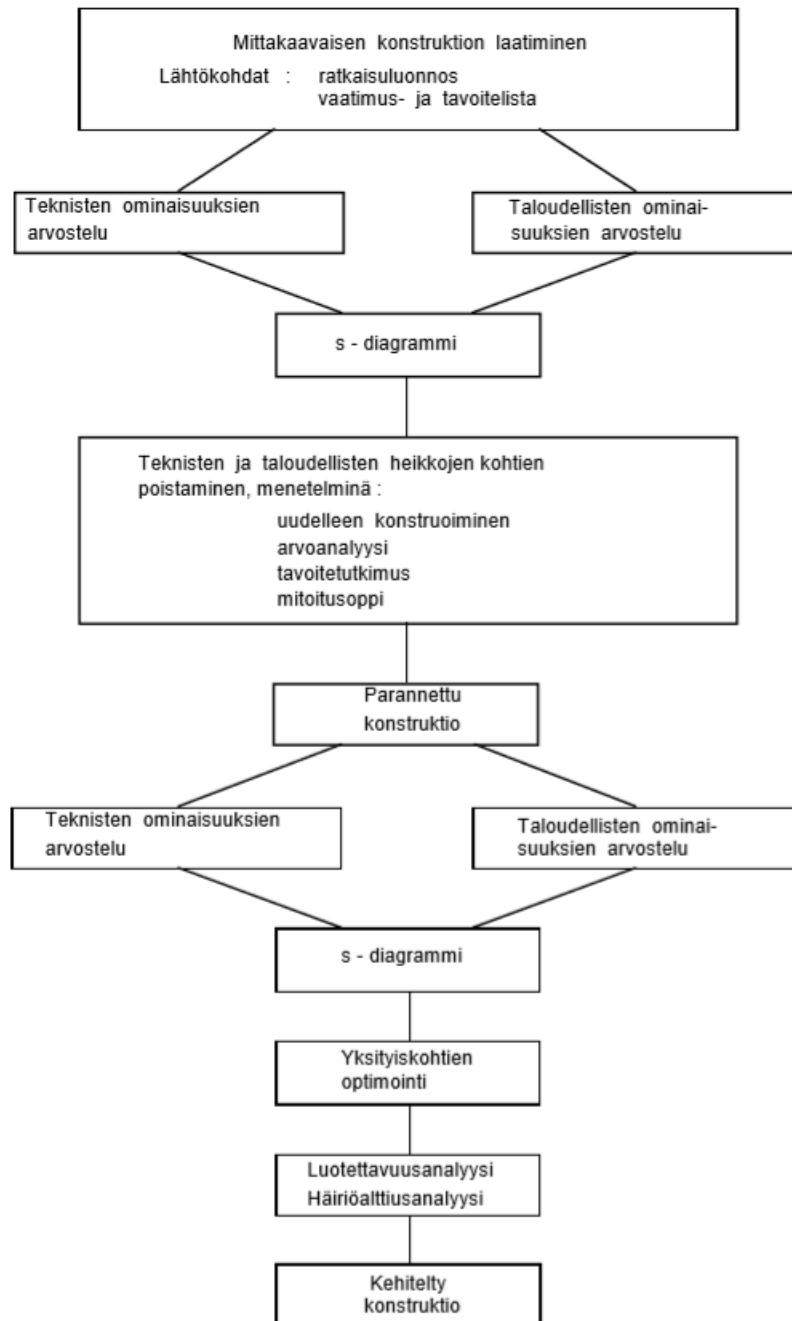
Vaatimusmäärittelyn luonnosteluvaiheessa saattaa ilmetä sellaisia seikkoja, joita ei ole osattu ottaa kehityspäätöstä tehtäessä huomioon. Tästä syystä luonnosteluvaiheessa tulee keskustella kehityspäätöksen tekijän kanssa ennen vaatimusmäärittelyn loppuun lyömistä. (Jokinen 2001, 14.)

Vaatimusten kartoituksen jälkeen siirrytään ratkaisujen etsimisvaiheeseen, jonka myötä syntyy ratkaisuluonnoksia. Ratkaisuluonnoksista siirrytään luontevasti kehitettävän luonnoksen valintaan ja testaukseen.

2.1.3 Kehittelyvaihe

Luonnosteluvaiheen lopputuloksena on saatu valittua potentiaalinen, loppuun asti kehitettävä ratkaisuluonnos. Nimensä mukaisesti ratkaisuluonnokset eivät ole valmiita ratkaisuja, jolloin niistä ei ole myöskään tehty tarkkoja osa- tai kokonpanopiirustuksia. Kehittelyvaiheen tarkoituksena on viedä ratkaisuluonnosta eteenpäin siten, että ratkaisulle voidaan tehdä piirustukset, prototyyppi ja lopulta itse tuote.

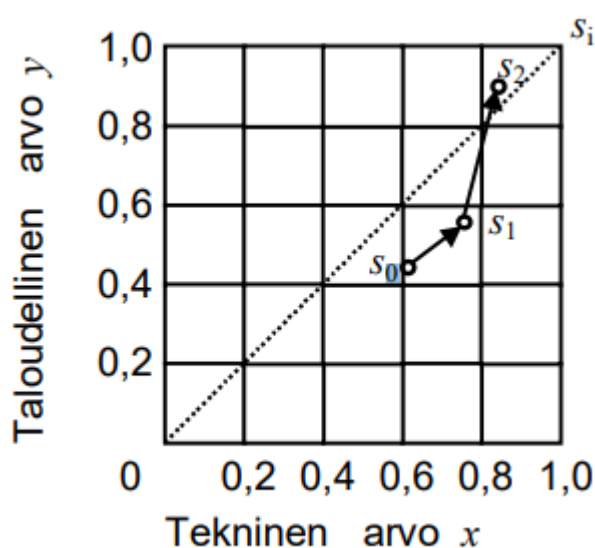
Kehittelyvaihe koostuu edellisten työvaiheiden tavoin osavaiheista. Jokinen (2001, 92) on esittänyt kuvassa 3 kehittelyn työvaiheet ratkaisuluonnoksesta lähtien.



KUVA 3. Kehittelyn työvaiheet (Jokinen 2001, 92)

Kehittelyprosessissa ratkaisuluonnosta hiotaan parempaan kuntoon arvioimalla ratkaisua. Kehitettävän tuotteen ominaisuudet ja hinta ovat numeerisia arvoja. Kehitettävälle tuotteelle on mahdollista laskea teknisten ominaisuuksien perusteella tekninen arvo ja vastaavasti taloudellisista ominaisuuksista taloudellinen arvo. Näitä lukuja voidaan verrata toisiinsa ns. s-diagrammin avulla. (Jokinen 2001, 82.) S-diagrammin avulla saadaan esiin teknisesti ja taloudellisesti heikot kohdat, joita voidaan alkaa poistaa erilaisilla kuvassa 3 esitetyillä menetelmillä. S-diagrammia on havainnollistettu kuvassa 4. Uuden ratkaisuehdotuksen jälkeen

sama prosessi toistetaan, kunnes saavutetaan vaatimusmäärittelyssä määritetty taso. Joissakin tilanteissa voidaan huomata, että ratkaisuluonnos ei olekaan toteutuskelpoinen, ja siinä tapauksessa luonnos tulee hylätä ja siirtää kehitysprosessi johonkin toiseen luonnokseen. Kun konstruktion heikot lenkit on saatu riittävän hyvin poistettua, siirrytään yksityiskohtien suunnitteluvaiheeseen. Tässä vaiheessa etsitään kohteita, joiden hienosäädön avulla voidaan parantaa kehitetävän konstruktion arvoa. Tähän vaiheeseen sisältyy myös luotettavuus- ja häiriöalttiusanalyysi. Kehittelyvaihe loppuu kehitetyn konstruktion vahvistuspäätökseen. (Jokinen 2001, 91.)



KUVA 4. Esimerkki s-diagrammista (Jokinen 2001, 85.)

2.1.4 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa kehitellylle konstruktiolle tehdään työpiirustukset, asennusohjeet ja muut tarvittavat dokumentit, jotka tarvitaan tuotteen valmistamiseen ja käyttämiseen. Viimeistelyvaiheessa tehdään lopullinen päätös muun muassa käytettävistä raaka-aineista, valmistusmetodeista, toleransseista ja pintakäsittelystä. Sarjavalmisteisista ja verrattain edullisista tuotteista tehdään viimeistelyvaiheessa prototyyppi tai nollasarja. Suurissa ja arvokkaissa tuotteissa prototyypin valmistus ei ole välttämättä mahdollista, jolloin tuotteesta valmistetaan pienoismalleja tai tärkeimpien osien kohdalla täysimittaisia koekappaleita. (Jokinen 2001, 96.)

Viimeistelyn työvaiheet on esitetty karkeasti kuvassa 5. Viimeistely aloitetaan yksityiskohtien viimeistelystä ja osien työpiirustusten sekä nämä toisiinsa yhdistävien kokoonpanokuvien toteuttamisesta. Viimeistelyvaiheen lopussa tarkistetaan vielä suunnitelmat ja tuotteiden toleranssit, standardinmukaisuus ja ohjeiden yksikäsitteisyys ennen valmistuspäätöksen tekemistä, johon viimeistelyvaihe päättyy. (Jokinen 2001, 96–97.)



KUVA 5. Viimeistelyn työvaiheet (Jokinen 2001, 97)

3 SUUNNITTELUPROSESSI

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena suorittaa tuotekehitysprosessi kokonaan uudelle tuotteelle. Tuotekehitysprosessin tavoitteena on tuottaa vaihtoehtoinen ja kustannustehokas ratkaisu taisteluharjoitusten toteuttamiseksi nykyisin varusmieskoulutuksessa käytössä olevan harjoituspatruunaan perustuvan järjestelmän rinnalle.

Harjoituspatruunoilla voidaan simuloida rynnäkkökiväärillä ampumista turvallisesti erilaisissa harjoituksissa ja koulutusvaiheissa. Simulaattorijärjestelmillä voidaan aina ainoastaan esittää oikeaa toimintaa, eikä simulaattorijärjestelmällä saavuteta koskaan täysin realistista tilannetta (Salakari 2011, 14). Simulaattorijärjestelmien tapaan myös harjoituspatruunaan perustuvassa ratkaisussa on kaikkien simulaattoreiden tavoin heikkouksia ja puutteita, ja näitä voidaan korjata täydentämällä perusratkaisua erillisillä järjestelmillä (Salakari 2011, 24). Hyvä esimerkki tällaisesta täydennyksestä on KASI-järjestelmä (kaksipuolinen simulaattorijärjestelmä), jonka avulla harjoituspatruunoihin perustuvan simulaation tähtäämisen tarpeettomuus voidaan poistaa lisäämällä rynnäkkökivääriin laserkeilan ampuva yksikkö. Tällöin laserkeilan avulla voidaan simuloida aseensa osumia vastustajaan tai tuhottavaan kohteeseen asennettavien osumanilmaisimien avulla.

3.1 Tuotekehitysprojektin käynnistäminen

Idea tuotekehitysprojektin käynnistämiseen syntyi opinnäytetyön tekijän tekemien paineilmatoimisen kuulapyssyn rakentamissuunnitelmien ja maanpuolustuskoulutuksen järjestämisestä vastaavan henkilön kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta. Keskusteluissa kävi ilmi, että harjoituspatruunat muodostavat vuosittain karkeasti arvioituna yli 10 miljoonan euron suuruisen kustannuserän Puolustusvoimille, minkä johdosta harjoituspatruunoiden käyttöä joudutaan tällä hetkellä rajoittamaan paljon, ja tulevaisuudessa mahdollisesti vielä nykyistäkin enemmän.

Airsoft-aseista saadun kokemuksen pohjalta todettiin, että harjoituskäyttöön soveltuva, airsoft-aseen toimintaperiaatteeseen perustuva ratkaisu voisi olla käyttökustannuksiltaan huomattavasti halvempi. Airsoft-aseen ampuma matalaenerginen muovikuula on myös todettu erittäin toimivaksi ratkaisuksi kuvaamaan tuliaseen osumia erityisesti lähitilanteissa, jolloin muovikuulan huomattavasti hitaamman lentonopeuden vaikutus osumiin on minimaalinen. Esimerkiksi 5 metrin matkalla tyypillinen lentoaika 95 m/s keskinopeudella lentävälle muovikuulalle on 0,053 sekuntia. Tästä syystä lähietäisyyksillä airsoft-aseita käytettäessä hitaammasta ammuksen lentonopeudesta huolimatta laukausta ei voi tietoisesti väistää laukauksen ampumisen jälkeen.

Tästä lähtöasetelmasta syntyi idea sellaisen harjoitusasesimulaattorin kehittämistä, joka ei vaadi suuria kustannuksia synnyttävien paukkupatruunoiden käyttämistä simulaation toteuttamisessa ja mikä antaa uusia mahdollisuuksia harjoitteluun piipusta ulos lentävän projektiilin avulla kustannustehokkaasti. Tämän toteutuskelpoisen idean löytymisen seurauksena tehtiin kehityspäätös ja käynnistettiin tuotekehitysprojekti.

3.2 Luonnostelu

Alkuperäinen ajatus tuotekehitysprojektissa oli kehittää airsoft-ase, joka sopisi oikean tuliaseen toiminnan simulointiin sotilaskoulutustarkoituksissa. Luonnosteluvaiheessa analysoitiin kehitystehtävää uudelleen ja kartoitettiin ominaisuuksia, joita suunniteltavassa tuotteessa tulee olla ja mahdollisuuksia jättää joitain kehityspäätöksen yhteydessä suunniteltuja kokonaisuuksia pois.

3.2.1 Vaatimusmäärittelyn johdanto

Vaatimusmäärittelyssä lähtökohtana oli suunnitella spesifikaatio simulaattorille, joka simuloi harjoituspatruunoilla luotavaa ampumisen simulointia mahdollisimman tarkasti siten, että laite tuottaa säästöjä harjoituspatruunakustannuksissa. Opinnäytetyössä esitetyillä vaatimuksilla pyritään takaamaan tavoitteiden toteutuminen ratkaisuehdotuksessa.

Kehitettävän tuotteen mahdollinen asiakas on Puolustusvoimat, Maanpuolustuskorkeakoulu ja reserviläisharrastajat. Vaatimusmäärittelyn pohjattiin tästä syystä selvittämään aluksi Puolustusvoimien kautta. Suunniteltavan tuotteen olisi hyvä täyttää potentiaalisen asiakkaan tuotteilleen asettamat vaatimukset (Jokinen 2001, 23), mutta Puolustusvoimilta saatujen tietojen ja Maanpuolustuskorkeakoulun avoimien arkistojen perusteella valmista ja tähän projektiin järkevästi sovellettavaa vaatimusmäärittelyä ei oltu luotu valmiiksi. Tästä syystä vaatimusmäärittely päätettiin tehdä suunnittelijan oman arvion mukaan.

Vaatimusmäärittelyn lähtökohtana oli asettaa minimivaatimukset ylittämään vähintään sama suorituskky ja kestävyys kuin nykyään tehdasvalmisteisissa erittäin varmatoimisissa vuokratyöön suunnitelluissa paintball-merkkaimissa. Esimerkkinä tällaisesta voidaan pitää Tippmann 98 -mallista paintball-merkkainta, jonka mekanismin on todettu kestävän yli kymmenen vuotta aktiivista vuokratyötä minimaalisella huollolla. Tieto paintball-merkkainten varmatoimisuudesta perustui paintball-vuokraamolta saatuun tietoon siitä, miten vuokratyö on heillä kestänyt aktiivisella käytöllä olleella paintball-areenalla. Tämän arvion perusteella voitiin päätellä, että paineilmatoimisesta mekaanisesta, suurelle pölymäärälle ja kovalle käytölle altistuvasta laitteesta on mahdollista saada rakennettua hyvinkin varmatoiminen ja huoltovapaa laite. Luotettavuuden lisäksi tuotteen tulee tuottaa mahdollisimman realistista simulaatiota aitoon tuliseeseen verrattuna sekä saada aikaan merkittäviä taloudellisia säästöjä.

3.2.2 Käyttötuntuma

Harjoituskäytössä käytettävät simulaattorit eivät voi koskaan saavuttaa täysin realistista käyttötuntumaa aitoon laitteeseen verrattuna. Simulaattoria käytettäessä vaarana on myös virheellisen oppimisen mahdollisuus. Samat rajoitteet ja riskit on olemassa kaikissa simulaattorijärjestelmissä, eli myös nykyisessä harjoituspatruunoihin perustuvassa ammunnan simulaatiossa. (Salakari 2001, 59-60) Harjoituspatruunoihin perustuvan, rynnäkkökiväärin ampumista simuloivan ratkaisun vahvuudet ovat rekyyli, kova ääni, liipaisu ja realistinen käyttöliittymä. Harjoituspatruunoihin perustuvassa ratkaisussa on kuitenkin myös heikkouksia, kuten tähtäämisen tarpeettomuus, käyttökustannukset ja aseiden kuluminen. Oleel-

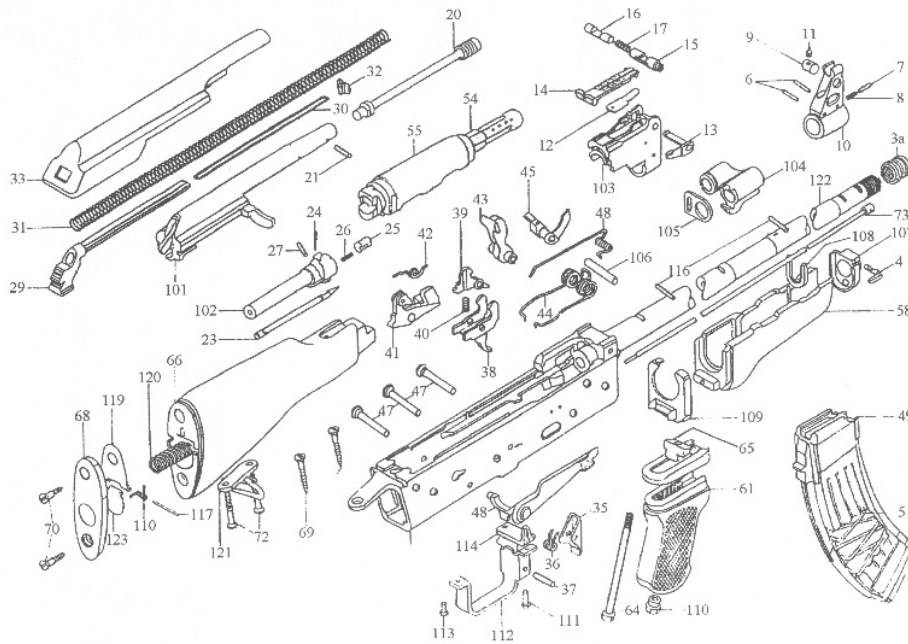
lista simulaattorikoulutuksessa on simulaattorin puutteiden huomioiminen ja koulutuksen suunnittelu siten, että simulaattorin avulla ei kouluteta sellaisia asioita, jotka toteutuvat virheellisesti simulaattoria käytettäessä. (Salakari 2011, 60.)

Suunniteltavan simulaattorin rakenne ja tukevuus luovat pohjan realistiselle käyttötuntumalle. Simulaattorin olla rakenteeltaan mahdollisimman lähellä oikeaa asetta painoltaan, materiaalivalinnoiltaan sekä hallintalaitteiden osalta, jotta simulaattorin käyttäjä voi kokea pitävänsä simuloitavaa asetta kädessään. Hallintalaitteiden käyttöliittymän ja tuntuman tulee vastata oikeaa asetta.

3.2.3 Esikuvana toimivan tuliaseen ratkaisut

Simulaattoriaseen esikuvan toiminnallisten osien tulee olla samantapaiset kuin tuliaseessa. Tästä syystä projektin luonnosteluvaiheessa tutustuttiin syvemmin tuliaseen toimintaperiaatteeseen simulaattoriaseen kehittämiseksi. Simulaattoriaseen realistisen toiminnan kannalta toiminnallisten osien toimintojen tulee olla samantapaisia kuin oikeassa aseessa, minkä vuoksi samankaltainen käyttöliittymä ja toiminnot on pyrittävä siirtämään myös suunniteltavaan simulaattoriin.

Itselataavan ruutiaseen toiminta perustuu ruudin räjähtävän palamisen myötä syntyvien ruutikaasujen tuottamaan voimaan. Ruutikaasut antavat liike-energian luodille ja aseeseen koneiston osien liikkeelle. Toimintaperiaatteen ymmärtämisen kannalta keskeisiä osia tai osakokonaisuuksia ovat luisti, palautinjousi, kara, liipaisinkoneisto, vaihdin, kaasumäntä ja aseeseen runko. Taulukossa 1 on esitelty edellä mainitut osat ja kerrottu, mitä ne tekevät oikeassa tuliaseessa. Kuvassa 6 näkyy, miltä taulukossa 1 mainitut osat näyttävät.



KUVA 6. Itäksalainen AK47 purkukuva (*Firearms for Preppers, AK-47 series Rifle. 5.5.2012*)

TAULUKKO 1. Keskeiset toiminnalliset osat

Osan nimi	Osan numero	Osan toiminta
Palautinjousi	31	Työntää luistin rekyylin jälkeen takaisin etuasentoon
Kara	29	Pitää palautinjousen (31) suorassa
Luisti	101	Liikkuva suurimassainen osa, joka liikuttaa kaikkia koneiston osia
Liipaisinkoneiston osat ja vaihdin	38–48	Ohjaa asean toimintasykliä
Kaasumäntä	20	Ruutikaasut työntävät kaasumäntää ja kaasumäntä pakottaa luistin liikkumaan palautinjousta vasten
Runko (suorakulmion muotoinen suuri osa kuvan keskellä)	Ei numeroa	Koneisto rakentuu rungon ympärille

3.2.4 Huollettavuus ja käyttöikä

Simulaattoriaseen huollon tulee olla yksinkertaista ja huoltovälin pitää olla riittävän pitkä, jotta harjoitusasetta voidaan käyttää aika- ja kustannustehokkaasti. Aseen tulee olla sellainen, että kuluvien osien vaihtaminen onnistuu lyhyellä pehdytyksellä lyhyessä ajassa, jolloin ampujajarjoittelijat voivat itse huoltaa simulaattoriaseen. Harjoitusaseen tulee olla myös helposti puhdistettavissa, sillä harjoitusmaastot ovat luonteeltaan sellaisia, että simulaattori altistuu väistämättä lialle, pölylle ja kosteudelle. Tämän lisäksi harjoitteluun tarkoitettua laitetta käyttävät osaamattomat henkilöt, jolloin laitetta myös käytetään välillä väärin. Simulaattorin tuleekin kestää virheellistä käyttöä.

3.2.5 Hankinta ja käyttökustannukset

Opinnäytetyössä kehitettävän harjoitusasesimulaattorin ensisijainen tarkoitus on mahdollistaa kustannuksissa säästäminen tinkimättä koulutuksen osaamistavoitteista. Simulaattorin hankintahinta ja vuotuisten käyttökustannusten tulee tuottaa merkittäviä säästöjä seuraavan kymmenen vuoden aikajaksolla järjestelmän hankinnasta.

Vuosittain varusmiespalvelukseen on astunut 2010-luvulla vähintään 24 000 henkilöä. Esimerkiksi vuonna 2017 palvelukseen on astunut 24 282 miestä 727 naista. (Asevelvollisuus 2000-2017, 2018). Palveluksensa aikana jokainen varusmies suorittaa peruskoulutuskaudella kouluammunnat ja ampumataitotestin (Sotilaan käsikirja 2017, 17). Peruskoulutuskauden patruunakiintiö yhtä varusmiestä kohden on nykyisellään 300 patruunaa (Pääluoto 2017). Näiden lisäksi Puolustusvoimat järjestää vuosittain 3000 – 4000 taisteluammuntaa. (Pyykkönen, 2015.) Jokainen varusmies ampuu siis palveluksensa aikana ainakin 300 kovaa luotia ja noin 300 harjoituspatruunaa. Kovien patruunoiden arvolisäveroton hinta on 0,70€ ja harjoituspatruunoiden vielä enemmän. Tätä työtä varten ei saatu selvitettyä harjoituspatruunan tarkkaa hintaa, mutta suullisesti Puolustusvoimien työntekijältä saadun arvion mukaan hinta asettuu 1-2 euron välille. Harjoituspatruunan korkeampi hinta selittyy sillä, että sillä ei ole muita käyttäjiä kuin Puolus-

tusvoimat, eikä sitä voida ostaa ja sitten varastoida suurissa erissä, sillä se synnyttää säilytyskustannuksia ja kasvattaa Senaatti-kiinteistöille maksettavia vuokratulujia.

Ollakseen potentiaalinen hankinta asiakkaalle tulee suunnitellun tuotteen tuottaa tuntuvia säästöjä kustannuksissa vuositasolla. Tavoitteeksi asetettiin vähentää laukauskohtainen käyttökustannus kymmenesosaan entisestä, mikä tarkoittaisi sitä, että laukaus saa maksaa maksimissaan 0,10€ kappaleelta olettaen harjoituspatruunan kappalehinnaksi yhden euron. Pitkällä aikavälillä hankintahinta on vähemmän oleellinen kuin käytöstä aiheutuvat kulut, kun oletetaan, että tuote kestää käytössä kauan. Suunniteltavan tuotteen tekniikka on yksinkertaista ja jo olemassa, minkä ansiosta valmistuskustannusten nousu ei ole lopputuotteen kohdalla merkittävä seikka.

3.2.6 Vaatimusmäärittely

Kehitettävän tuotteen vaatimuksista luotiin lista vaatimusten havainnollistamiseksi. Vaatimukset on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Vaatimukset ja tavoitteet

Ominaisuus	Lisätietoa
Rekyyli	Verrattavissa harjoituspatruunalla ampumiseen
Realistinen liipaisu	
Realistinen purku	
Realistinen käyttöliittymä	
Tuotettava säästöjä	Tavoitehinta laukaukselle <0,10€
Yksinkertainen huoltaa ja toimintavarma	Tuotetta verrataan Tippmann 98 -malliseen paintball-vuokramerkkaimeen
Mahdollisuus ampua biomuovista valmistettuja airsoft-kuulia	
Mahdollisuus liittää osaksi KASI-järjestelmää	
Realistinen paino	
Kykenee ampumaan minimissään 300 laukausta	
Toimii pakkasella	
Mahdollista käyttää myös airsoft-käytössä	Laajentaa asiakaskuntaa ja mahdollistaa jatkuvan tuotannon
Tarkkuus vastaa perinteisiä airsoft-sähköaseita	

3.3 Ratkaisuvaihtoehdot

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin projektin yhteydessä yhden toteutettavan prototyypin kehitykseen. Hyvän ja toimivan ratkaisun kehitysprosessia helpotettiin tutkimalla jo tuotekehitysprosessin läpikäyneitä valmiita tuotteita. Opinnäytetyössä suunniteltavaa prototyyppiä varten tutkittiin useiden eri valmistajien tuotteita ja toimivaksi todettuja ratkaisuja, joita voitaisiin hyödyntää projektin ratkaisun etsimisessä. Ideoita haettiin taulukossa 3 esitetyistä tuotteista. Toimiviksi todetuista teknisistä ratkaisuista koottiin erilaisia ratkaisumalleja eri tuotteen osaluille.

TAULUKUKKO 3. Tutkitut kilpailijoiden tuotemallit

Valmistaja	Tuote
Tippmann	M4 Carbine -versio
Daytona Gun	M4A1 GBBR -versio
WE	M4 open bolt ja closed bolt -versiot, G36 GBBR open bolt -versio
Marui	Marui GBB -pistoolien koneisto
KJW	M4 GBBR -versio
Wolverine Airsoft	HPA-koneistot
Mancraft	HPA-koneistot
Polarstar	HPA-koneistot

3.3.1 Erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen kartoitus

Erilaisista ratkaisuideoista koottiin aluksi kattava mutta karkea arvostelutaulukko erilaisten ideoiden toteutuspotentiaalin arvioimiseksi. Karkea arvostelu toteutettiin taulukon 4 mukaisesti.

TAULUKKO 4. Karkea arvostelutaulukko rungon suunnittelun lähtökohdiksi

Ratkaisuvaihtoehdot	Arvosteluperusteet					Huomautuksia ja perusteluja	Päätös
	A Vastaa tehtävän asetusta	B Täyttää vaatimuslistan	C Toteuttamiskelpoisuus hyvä	D Kustannukset kohtuulliset	E Soveltuu käyttötarkoitukseen		
1	+	-	+	+	-	Mitoitus ei ole realistinen	-
2	+	+	-	+	+	Vaatii muokkausta	+
3	+	+	+	-	+	Kustannukset nousevat opinnäytetyöprojektin yli	-
4	+	-	+	-	-	Jos ei ammu projektiilia, asiakaskunta suppea	-
5	+	+	+	+	+	Airsoft-standardiosat ovat edullisia	+
6	+	+	+	+	-		-
7	+	+	+	+	+		+
8	+	+	+	+	-	Ominaisuus ei tuo lisäkustannuksia	+
9	+	+	-	+	+		+
10	+	+	+	-	+	Liipaisimen tuntuman pitäisi vastata realistista tuntumaa	-
11	-	-	+	+	+		-
12	+	+	+	+	+		+
13	+	+	+	+	+		+
14	+	+	-	+	+	Aseen ampumisen lopettamisen toteutus vaikeaa	-

Ratkaisuvaihtoehdot:

1. Hyödynnetään airsoft-aseen runkoa pohjana
2. Hyödynnetään tuliaseen runkoa pohjana
3. Suunnitellaan ja valmistetaan kokonaan uusi runko simulaattoria varten
4. Simulaattori ei kykene ampumaan konkreettista projektiilia

5. Simulaattoriase tuottaa rekyylin ja ampuu projektiin
6. Käyttöpaine tuodaan aseeseen letkua pitkin
7. Aseen tukin sisälle rakennetaan paineilmasäiliö
8. Mahdollisuus vaihtaa paineilmalähtöä tukin sisäisen säiliön ja letkun välillä
9. Liipaisinkoneistona käytetään tuliaseen koneistoa
10. Suunnitellaan uusi liipaisinkoneisto
11. ”Open bolt” -rekyylikoneisto
12. ”Closed bolt” -rekyylikoneisto
13. Runko mahdollistaa aseiden ampumisen lopettamisen lippaan loputtua
14. Aseen runko yhteensopiva airsoft-aseiden lippaiden kanssa

Karkean arvostelutaulukon avulla luotiin prototyypikehitykselle suuntaviivat. Tässä opinnäytetyössä prototyypin kehityksen lähtökohtana oli suorittaa kehitystyö mahdollisimman edullisesti, mikä vaikutti osaltaan tehtyihin valintoihin. Karkean arvostelun perusteella toimivaa prototyyppiä lähdettiin hakemaan taulukossa 5 esitettävien suuntaviivojen mukaisesti.

TAULUKKO 5. Karkean arvostelun avulla saadut ratkaisuideat

2	Hyödynnetään tuliaseen runkoa pohjana
5	Simulaattoriase tuottaa rekyylin ja ampuu projektiin
7	Aseen tukin sisälle rakennetaan paineilmasäiliö
8	Mahdollisuus vaihtaa paineilmalähtöä tukin sisäisen säiliön ja letkun välillä
9	Liipaisinkoneistona käytetään tuliaseen koneistoa
12	”Closed bolt” rekyylikoneisto
13	Runko mahdollistaa aseiden ampumisen lopettamisen lippaan loputtua

3.3.2 Osatoimintojen ratkaisut

Karkean arvostelun kautta saaduista lähtökohdista siirryttiin tarkastelemaan osatoimintoja, joita prototyyppi tulisi sisältämään. Suunniteltavan laitteen koon pienyyden, perusosien edullisuuden ja karkeassa arvostelussa saatujen suuntaviivojen ansiosta osatoimintojen ratkaisu voitiin aloittaa konkreettisten osien kanssa. Suomalainen RK62-rynnäkkökivääri pohjautuu suurelta osin Mihail Kalasnikovin suunnittelemaan AK47-mallisarjaan. Tästä syystä suunnitteluprosessi päätettiin aloittaa suunnittelemalla harjoitussimulaattori ensiksi AK47-yhteensopivaksi, sillä AK47 ja RK62 ovat simulaattoriaseen keskeisten osien suhteen yhtenevät. Karkeassa arvostelussa suoraan tuliaseesta kopioitavat osat ovat suoraan ristiin yhteensopivia AK47- ja RK62-runkojen kanssa. Yhteensopivuus varmistettiin testaamalla RK62-osien yhteensopivuus prototyypin kehityksessä käytettävään runkoon Riihimäellä Puolustusvoimien Asekoulun tiloissa.

Suunnitteluprosessi aloitettiin neuvostovalmisteisen kuvassa 7 esitetyn AK47 (AKM) deaktivoitun rynnäkkökiväärin hankinnalla, joka purettiin hankinnan jälkeen osiin. Purun yhteydessä ei tarvinnut rikkoa aseiden deaktivoimisen yhteydessä tehtyjä hitsauksia. Tämä lisäksi hankittiin vielä viisi kappaletta kuvassa 8 näkyviä entisen Jugoslavian armeijan vanhoja AK47 (M70) runkoja, jotka ovat yhdestä teräskappaleesta jyrskyttäneitä suomalaisen RK62-aseen tavoin.



KUVA 7. Neuvostovalmisteinen AK47 (AKM)



KUVA 8. Jugoslavalainen jyrssitty AK47 (M70) runko

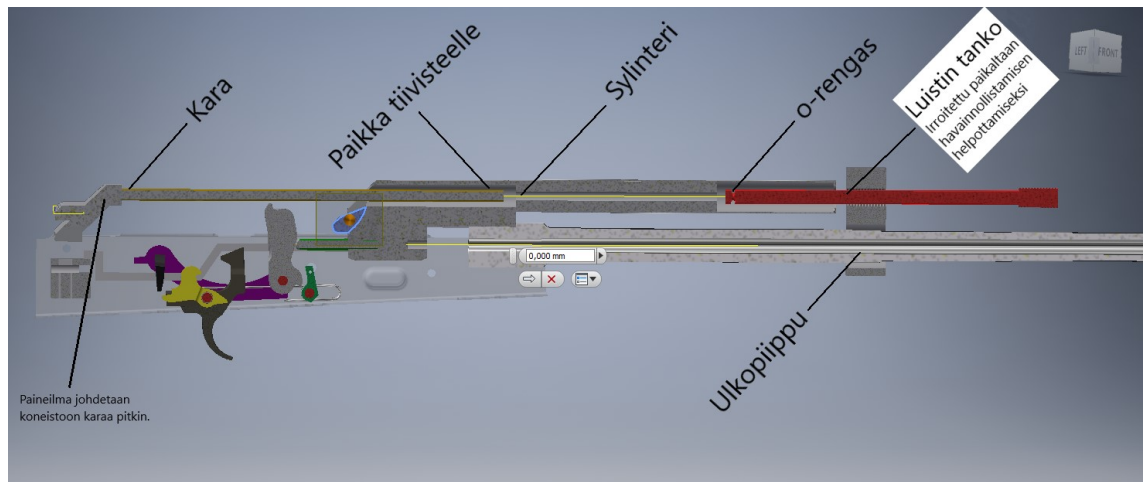
3.3.3 Toimintaperiaate

Toimintaperiaatteen lähtökohtana oli taulukossa 3 esitettyjen tuotteiden toimintamekanismeista tehty muunnos. Toimintaperiaatetta lähdettiin aluksi ratkaisemaan paperilla. Haasteena suunnitteluprosessissa oli paineilman syöttö rekyylikoneistolle. Paperilla pohdittiin useampia ratkaisuja ilmalinjan rakentamisesta esimerkiksi lippaan kautta, mutta toimivammaksi todettiin kuvassa 9 esitetty tapa tuoda käyttöpaine koneistoon oikeassa aseessa olevan palautinjousen karan kaltaista osaa pitkin, jolloin koneiston sisällä oleva mäntä pakottaa luistin liikkumaan taaksepäin. Kuvassa 10 on havainnollistettu liipaisinkoneiston vasaran iskun välitys venttiiliin, jonka ansiosta rekyylikoneisto käynnistyy. Kuvat 9 ja 10 pohjautuvat käsin tehtyihin luonnoksiin koneiston toiminnasta. Käsin piirretyt luonnokset löytyvät liitteinä 1 ja 2.

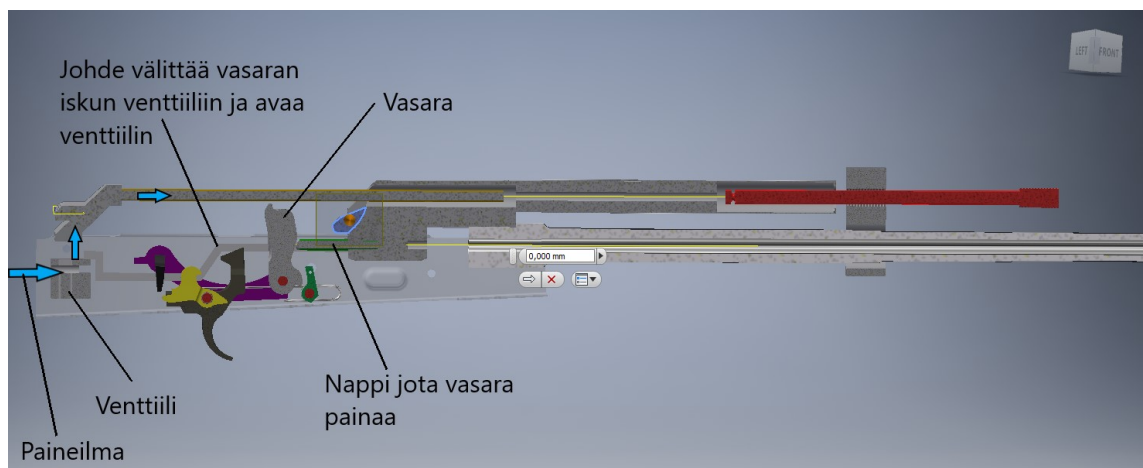
Rekyylikoneiston luonnoksen toiminnan vaiheet:

1. Liipaisinta painettaessa vasara vapautuu ja iskeytyy luistissa olevaan nappiin
2. Nappi välittää vasaran liikkeen kuvassa 9 näkyvää johdetta pitkin
3. Johde avaa venttiilin ja ohjaa paineen karaa pitkin luistin sisälle
4. Luisti lähtee liikkumaan taaksepäin paineilman voimasta palautinjousta vasten
5. Luisti painaa alas vasaran, joka lukittuu ala-asentoon

6. Luisti iskeytyy venttiiliä vasten ja muuttaa sen asennon siten, että paineilma pääsee pois karan kautta luistin sisältä.



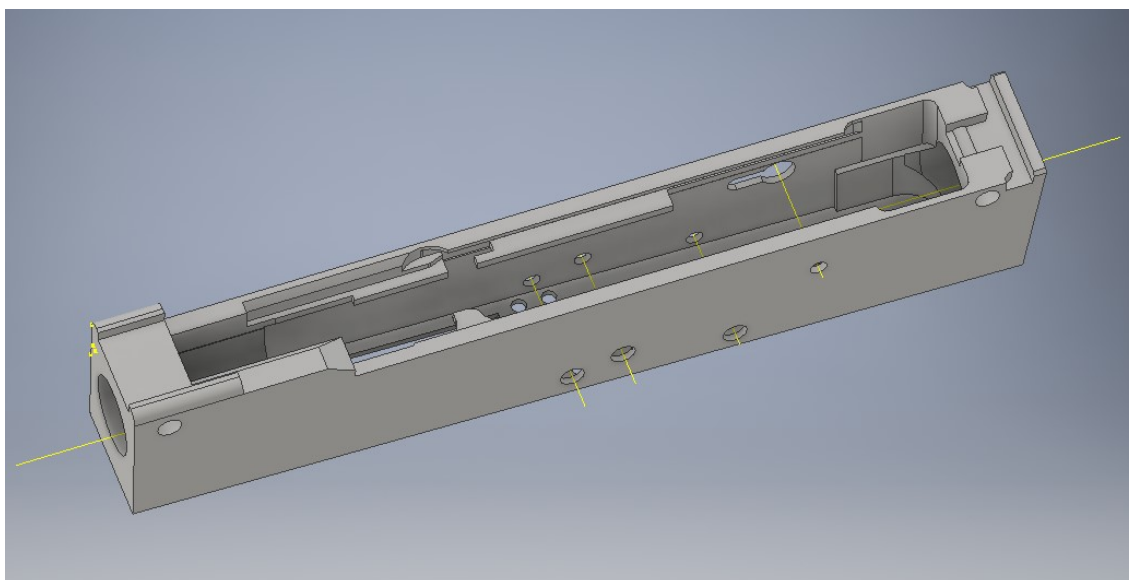
KUVA 9. Rekyylikoneiston toimintaperiaatteen luonnos



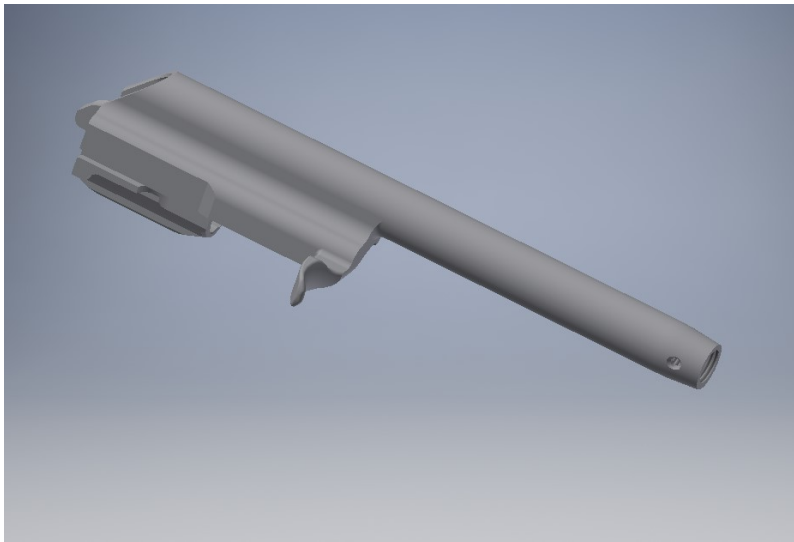
KUVA 10. Laukaisukoneiston periaatemekanismiin luonnos

3.4 Suunnittelutyö

Varsinainen suunnittelutyö ja koneiston piirtäminen aloitettiin mallintamalla ostettujen runkojen pohjalta 3D-mallit Autodesk Inventor 2016 3D-mallinnusohjelmalla. Mitat runkoon mitattiin työntömitalla työtä varten hankitusta rungosta. Kuvassa 11 on esitetty työntömitan avulla otettujen mittojen mukainen 3D-malli. Rungon 3D-mallinnuksen jälkeen periaatteellista toimintamekanismia alettiin sovittaa rungon sisälle. Suunnittelua alettiin viemään eteenpäin ensimmäisenä luistin ja rekyykoneiston suunnittelusta, ja venttiilin sekä liipaisinkoneiston toimintamekanismi jätettiin myöhemmälle. Luistin kohdalla mallinnustyömäärää onnistuttiin keventämään Grabcad.com verkkosivuilta löytyneen valmiin hyvin mitoissa olevan AKM luistin 3D-mallin avulla. Mallin on julkaissut palvelussa nimimerkki Efimchenko Pavel. Kuvassa 12 on esitetty hänen tekemänsä malli.



KUVA 11. Zastava M70 -rungosta työntömitan avulla tehty 3D-malli



KUVA 12. Neuvostovalmisteisen AKM-rynnäkkökiväärin luistista tehty 3D-malli (Efimchenko 2011)

3.5 Suunniteltavat osat

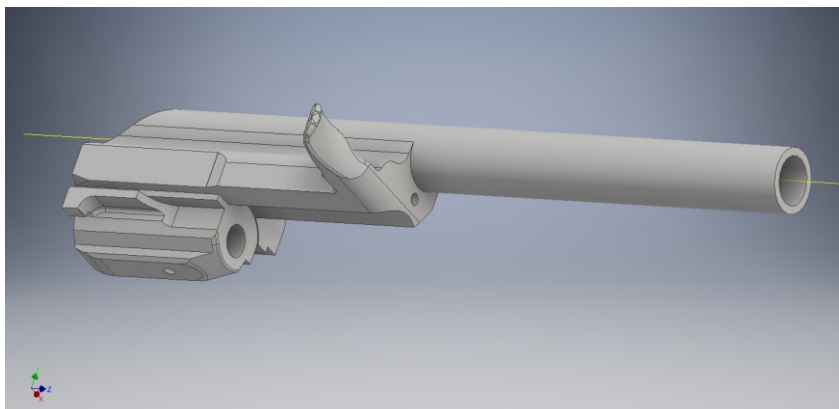
Simulaattorin rekyylikoneiston toimintamekanismi hyödyntää oikeassa tuliaseessa esiintyviä osia, joihin on tehty tarvittavia muunnoksia. Tämän lisäksi simulaattoriin on lisättävä toimintaperiaatteelle välttämättömiä osia, kuten paineen ohjaukseen käytettävä venttiili sekä ilmalinjat. Taulukossa 6 esitellään suunniteltavat osat ja niiden toiminnot simulaattorissa ja tuliaseessa.

TAULUKKO 6. Osien toiminnot

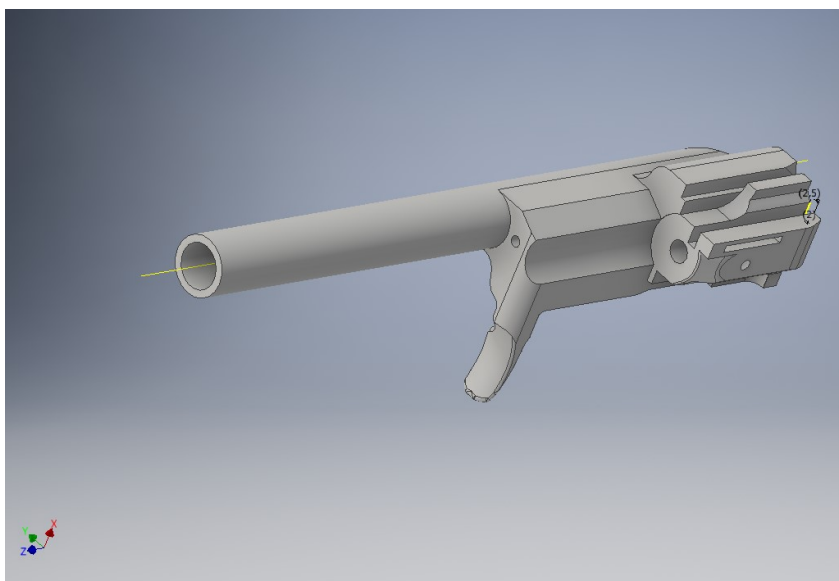
Osa	Merkitys tuliaseessa	Merkitys simulaattorissa
Runko	Liittää osat toisiinsa ja muodostaa asean rakenteen.	Liittää osat toisiinsa ja muodostaa asean rakenteen.
Luisti	Sitoo luodin ampumisesta syntyvää liike-energiaa massaansa. Luisti toimii ikään kuin asean moottorina, joka liikuttaa kaikkia toiminnan kannalta olennaisia mekanismeja.	Sitoo paineilman avulla tuotettua liike-energiaa massaansa. Luisti toimii ikään kuin asean moottorina, joka liikuttaa kaikkia toiminnan kannalta olennaisia mekanismeja.
Palautinjousi	Palauttaa luistin takaisin alkutilanteeseen eli niin sanottuun nollatilaan laukauksen jälkeen.	Palauttaa luistin takaisin alkutilanteeseen eli niin sanottuun nollatilaan laukauksen jälkeen.
Palautinjousen kara	Pitää palautinjousen suorana ja ohjaa sen luistin sisälle. Kara toimii jousenohjaimena.	Pitää palautinjousen suorana ja ohjaa sen luistin sisälle. Kara toimii jousenohjaimena. Sen lisäksi karaa pitkin paineilma välitetään luistin sisälle rekyylikoneistoon.
Liipaisinkoneisto	Välittää vasaran iskun liipaisinta painettaessa iskuripiikille ja aiheuttaa asean laukeamisen. Tämän lisäksi liipaisinkoneistomekanismi ohjaa asean toimintaa.	Välittää iskun liipaisinta painetta venttiilille ja aiheuttaa asean laukeamisen. Tämän lisäksi liipaisinkoneistomekanismi ohjaa asean toimintaa.
Venttiili	Ei ole oikeassa tuliaseessa. Venttiili korvaa tuliaseessa olevan iskurin.	Venttiili päästää paineilmaa paineilmatankista rekyylikoneiston sisälle.
Painelähde	Ruutikaasut tuottavat paineen ja toiminnalle oleellisen energian ruudin palaessa.	Paineilmatankki asean rungon ulkopuolella tuottaa toiminnalle tarpeellisen energian.

3.6 Luistin suunnittelu

Luistin suunnittelu aloitettiin opinnäytetyötä varten hankitun deaktivoidun neuvostoliittolaisen AK-47 luistin ja venäläisen aseharrastajan ”Efimchenko Pavel” tekemän CAD mallin mittojen pohjalta. Internetistä löydetyn CAD-mallin mitat tarkistettiin vertaamalla siitä löytyviä mittoja työtä varten hankittuun AKM-luistiin. Mitat osoittautuivat oikeiksi, ja CAD-malli todettiin kelvolliseksi pohjaksi suunniteltavalle luistille. Valmiin luistin päälle alettiin CAD-mallintaa periaatteen tasolla mietityn mallista luistia. Luistista tehtiin kymmeniä erilaisia versioita, joista kaksi erilaista on esitetty seuraavissa kuvissa 13 ja 14.



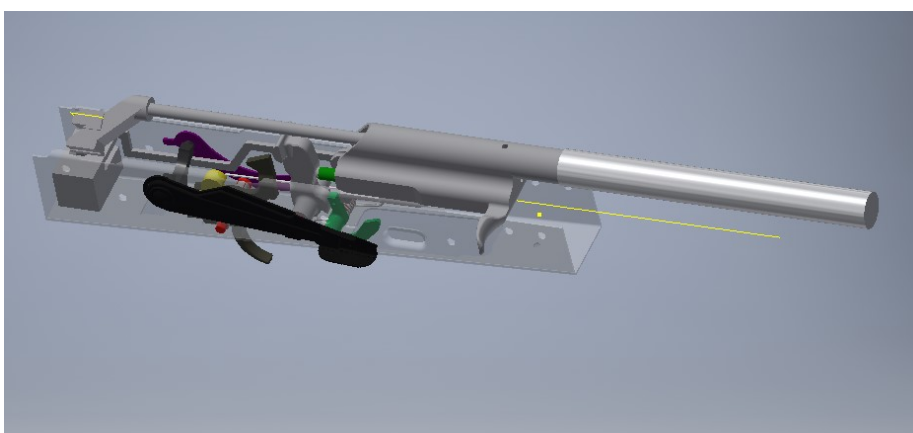
KUVA 13. Luistin versio 1.4



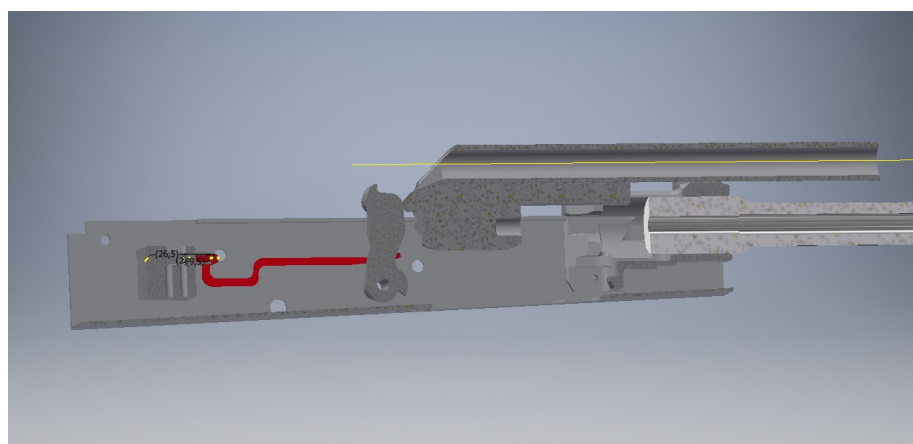
KUVA 14. Luistin versio 1.5.1

3.6.1 Luistin toimintojen karsiminen

Prototyypisuunnittelun edetessä luistin malli muuttui vähitellen edellä olevan kuvasarjan mukaisesti yksinkertaisemmaksi. Projekti osoittautui erittäin haastavaksi toteuttaa kerralla kuntoon. Aseen koko mekaniikasta tehtiin kokoonpanokuvia, joita simuloitiin Inventor-ohjelmistolla, mutta toimivan systeemin rakentaminen osoittautui erittäin haastavaksi ja suuritöiseksi projektiksi toteutettavaksi opinnäytetyöhön käytettävän ajan puitteissa. Tästä syystä luistin suunnitteluvaiheessa päätettiin, että aluksi rekyykoneisto suunnitellaan toimivaksi, minkä jälkeen siitä tehdään prototyyppi. Tällä tavoin voidaan varmistaa rekyykoneiston toimivuus ennen kuin muuta mekaniikkaa aletaan suunnitella. Mallinnusvaiheessa käytettiin paljon aikaa kuvassa 15 näkyvän liipaisinkoneiston ja mallin periaatteellisen rekyykoneiston suunnitelman yhteensovittamiseen tuliaseen osien kanssa. Vastaavasti kuvassa 16 nähtävässä mallissa on suunniteltu venttiilin toimintaa suhteessa liipaisinkoneistoon ennen kuin tiedettiin, toimiiko suunniteltu rekyykoneisto ollenkaan.



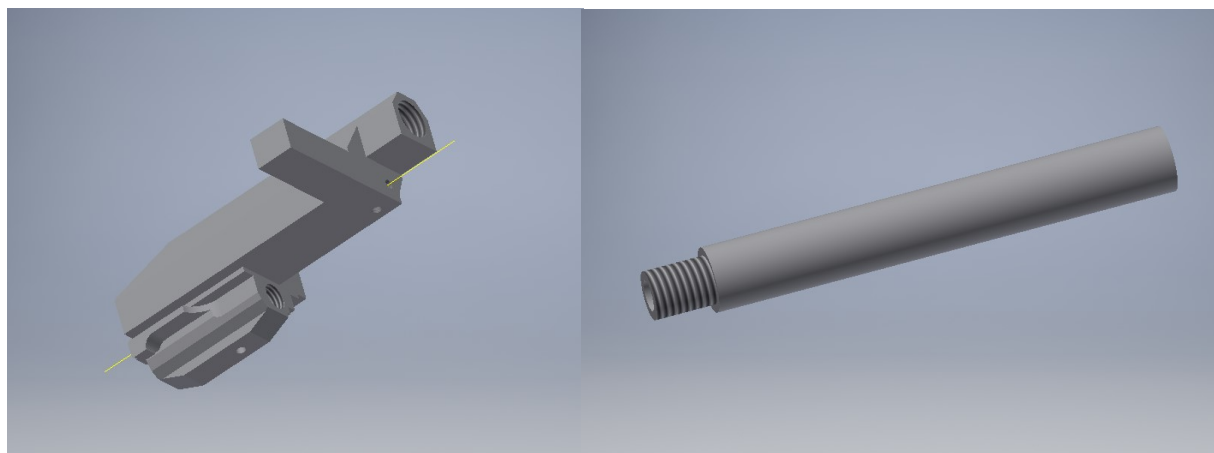
KUVA 15. Koneiston toiminnan simulaatio



KUVA 16. CAD-malli liipaisinkoneiston ja ohjausventtiilin välisestä toiminnasta

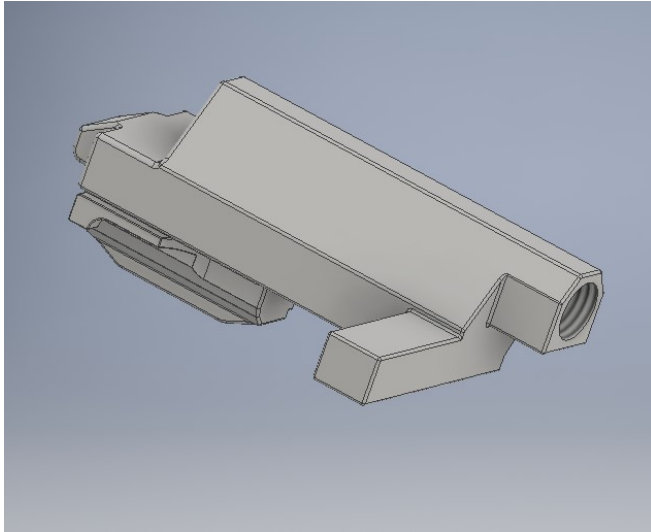
3.6.2 Luistin jako kahteen osaan

Luistin suurimassainen takaosa ja putkimainen etuosa oli ensimmäisissä suunnitelmissa samaa kappaletta. Valmistusteknisten tietojen keräämiseksi konsultoitiin hankaliin koneistuksiin erikostunutta tamperelaista TH-Tools-konepajaa. CAD-malleja tutkiessa huomattiin, että valmistusteknisesti luistin valmistus olisi haastavaa, minkä vuoksi päätettiin, että luisti jaettaisiin kahteen osaan: luistin takaosaan ja luistin putkeen. Tämän lisäksi luistin geometriaa muokattiin siten, että siitä poistettiin terävät kulmat ja pyöreitä teriä vaativat muodot. Tällöin prototyypin valmistusta saatiin helpommaksi, ja samalla se helpottaisi tiivisteiden asentamista ja vaihtamista luistin sisälle. Luisti katkaistiin kuvassa 17 näkyvästä kohdasta ja katkaisukohtaan mallinnettiin kierteet, joihin putki voitaisiin kiinnittää. Jatkossa tässä opinnäytetyössä luistilla tarkoitetaan luistin takaosaa ja luistin putkella siihen kierrettävää putkea.



KUVA 17. Kahteen osaan jaetun luistin takaosa ja etuosa

Hankalien geometrinen muotojen poistamisen lisäksi luistista poistettiin venttiilin ohjauksen vaatimat urat ja kuulan ampumisen mahdollistavan mekanismin vaatimat poraukset ja ilmalinjat, jotta prototyypiluistin tekeminen rekyylikoniston testaamiseksi muuttuisi helpommaksi. Tehtyjen toimenpiteiden jälkeen luisti saatiin suunniteltua kuvassa 18 näkyvään valmistuskelpoiseen muotoon.



KUVA 18. Luistin prototyyppi

3.6.3 Luistin putki

Luistin kaasumäntää imitoivan putken ulkohalkaisija valittiin oikean aseensa vastaavan osan mukaisesti. Työntömitalla mitattuna halkaisija on tasan 16,00 mm. Putken sisähalkaisijaksi määritettiin 7,5 mm, jotta kohdassa 3.6.4 määriteltävä kara pääsee työntymään vapaasti luistin putken sisälle luistin liikuessa taaksepäin. Kohdassa 3.6.4 karaksi valitaan 6 mm hydraulikkaputki, jonka ansiosta putkea pitkin johdettava paineilma pääsee liikkumaan 7,5 mm luistin putken sisällä olevan 6 mm karan välistä luistin mäntää vasten. Välyksen riittävyys todettiin riittäväksi alla suoritetun laskennan avulla. Laskennan avulla todettiin, että välyksen ala on suurempi kuin karan ala, ja näin ollen se ei ole rajoittava tekijä ilman virtausnopeudelle.

Standardiputkista ei löydetty tunnetuilta toimittajilta sopivaa putkiprofiilia, ja siksi putki päätettiin tehdä sorvaamalla rakenneteräksestä. Putken pituus määritettiin mittaamalla luistin suurin mahdollinen liike. Toisin sanoen putkesta vähimmäismitaksi määritettiin sama mitta kuin luistin liikerata voi maksimissaan olla asekoottuna. Luistin liikeradaksi määritettiin työntömitalla 11 cm. Putken pituuden riittämisen varmistamiseksi pituutta lisättiin vielä varmuuden vuoksi 5 mm, jolloin putken kokonaispituudeksi saatiin 11,50 cm. Putki kiinnitettiin luistiin sen toisesta päästä löytyvillä M12 ISO -standardin mukaisilla kierteillä. Suunniteltua putkea on havainnollistettu kuvassa 19.

Luistin putken sisäpintaa vasten tiivistyvää kohdassa 3.6.5 esiteltävää luistin tangoa varten sisäputken pinnankarheus määritettiin tiiviin kokoonpanon mahdollistamiseksi. Putken sisäpinnan pinnankarheus määritettiin Eriks o-rengasmitoitusohjeen taulukkotiedon perusteella arvoon 0,4 $\mu\text{m Ra}$. (ERIKS 2018, 154).

Luistin tangon ja putken väliin jäävän välyksen alan pinta-alan laskenta:

$$A_{kara} = 6 \text{ mm} * \pi$$

$$A_{putki} = 7,5 \text{ mm} * \pi$$

$$A_{välyys} = ?$$

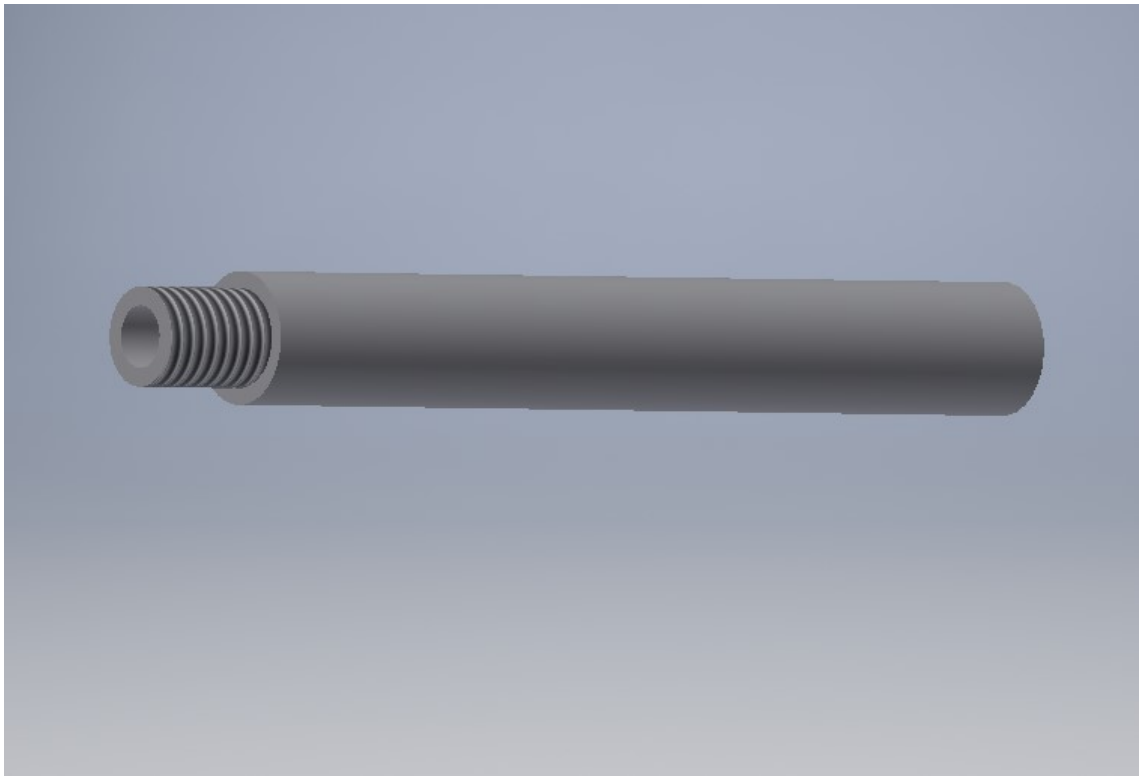
$$A_{välyys} = A_{putki} - A_{kara} \quad (1)$$

$$A_{välyys} = 7,5 \text{ mm} * \pi - 6 \text{ mm} * \pi \quad (2)$$

$$A_{välyys} = 7,5 \text{ mm} * \pi - 6 \text{ mm} * \pi \quad (3)$$

$$A_{välyys} = 18,85 \text{ mm}^2 \quad (4)$$

Laskennan perusteella tangon ja luistin putken väliin jäävän välyksen ala on 18,85 mm^2 , mikä on reilusti enemmän kun 4 mm sisähalkaisijalla varustetun hydrauliiikaputken ala. Hydrauliiikaputken ala on 12,57 mm^2 . Tästä voitiin todeta, että pieneltä tuntuva ala on riittävä takaamaan riittävän ilman virtausnopeuden tangon ja karan välistä paisuntatilaan.

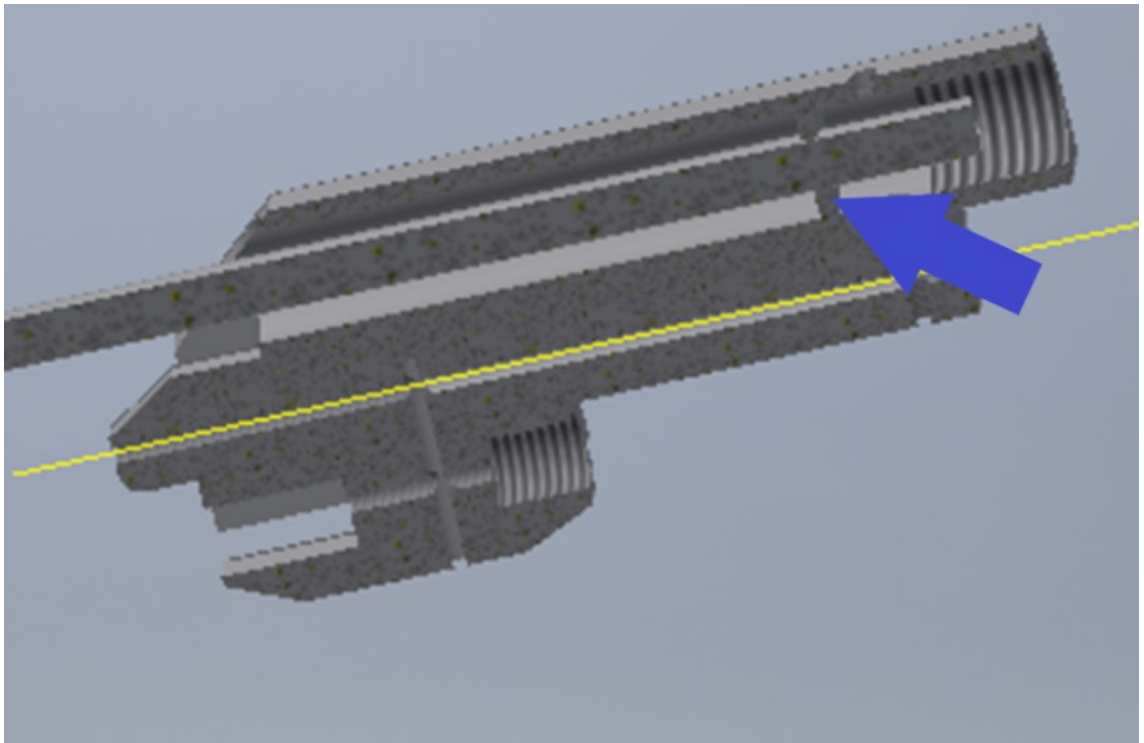


KUVA 19. Luistin putki 3D-malli

3.6.4 Luistin mäntä ja palautinjousen kara

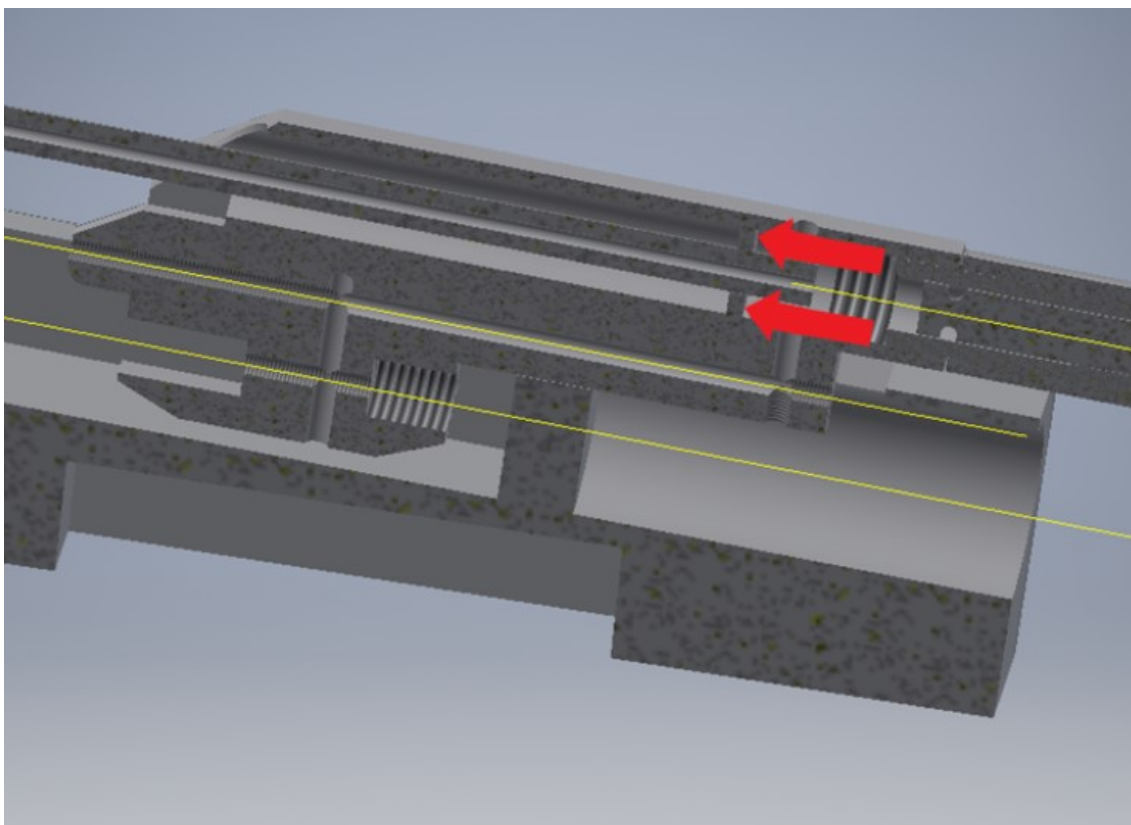
Tuliasseessa luistin palautusjousi asetetaan jousenohjaimen päälle, jota tässä työssä kutsutaan palautinjousen karaksi. Kara toimii simulaattoriaseessa jousenohjaimen lisäksi putkena, jota pitkin paineilma siirretään luistin sisälle rekyykoneistolle. Kara työntyy rekyykoneiston sisälle, minkä vuoksi karan ja luistin välilyksen välissä tulee olla tiiviste.

Karan kautta kulkeva paineilma synnyttää kuvan 9 mukaisesti palautinjousta vastaan tulevan voiman luistin sisällä olevan männän avulla. Mäntä sijaitsee samassa pinnassa kuin mistä löytyy läpivienti karalle. Mäntä muodostuu siis karan ympärille tulevasta pinnasta, jota on havainnollistettu kuvassa 20 sinisellä nuolella.

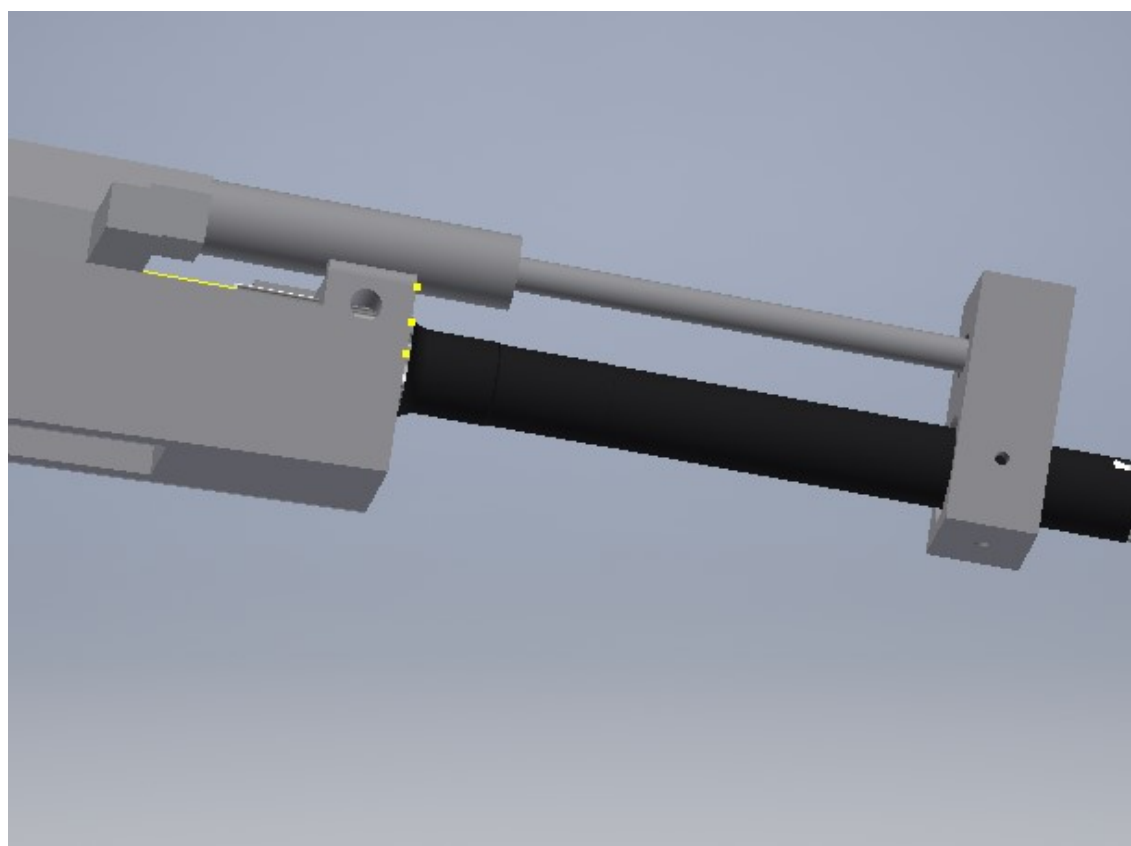


KUVA 20. Luistin mäntä

Luistin sisällä oleva mäntä toimii siten, että luistin putken puolelle syntyy ylipaine karan kautta tulevan ilman vaikutuksesta, minkä ansiosta karan ympärillä olevalle pinnalle kohdistuu painetta. Pintaa, jolle paine kohdistuu, on havainnollistettu kuvassa 21 punaisilla nuolilla. Paine ei pääse purkautumaan pois tilasta, sillä luistin putki tulpataan luistin putken sisälle asennettavalla liikkuvalla o-renkaalla varustetulla tangolla. Tangon ansiosta kara pääsee työntymään luistin putken sisälle luistin liikuessa taaksepäin. Luistin tikun o-renkaan uralla varustettu pääty näkyy kuvassa 21 olevassa läpileikkauksessa punaisten nuolien takana. Kuvassa 22 on havainnollistettu, kuinka luistin tanko kiinnitetään ulkopiippuun erillisellä kiinnityspalalla.



KUVA 21. Luistin männän muodostava pinta



KUVA 22. Luistin tanko mustan ulkopiipun päälle kiinnitettyinä

Luistin sisällä oleva mäntä tiivistyy liikkuvaa vartta, eli palautinjousen karaa vasten. Karan ja männänpään välisen kontaktin olla ilmatiivis, jotta mäntä toimii halutulla tavalla. Tiivistysratkaisuksi pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja erilaisten o-renkaiden ja huulitiivisteiden välillä. Erilaisia ratkaisuja arvioitiin hyötyjen ja haittojen perusteella taulukossa 6 esitetyn pisteytystaulukon avulla. Hyötyjen ja haittojen perusteella tehdyn vertailun kautta tiivisteeksi valittiin huulitiiviste. Huulitiivisteeksi valittiin 6 mm tiiviste varrelle ja 12 mm tiiviste sylinterin sisälle.

TAULUKKO. 6 Tiivisteiden vertailu ja arviointi

Tiivistemalli	Huolto	Tiiveys	Kestävyys
Huulitiiviste	Helppo vaihtaa	Keskiverto	Erinomainen, antaa periksi vaikka olisi roskia
o-rengas (kumi)	Vaikea vaihtaa	Erinomainen	Kohtalainen (hiekkä voi vaurioittaa helposti)
o-rengas PTFE	Vaikea vaihtaa	Erinomainen	Hyvä
2x o-rengas kumi	Todella vaikea vaihtaa	Erinomainen	Kohtalainen (hiekkä voi vaurioittaa helposti)
2x o-rengas PTFE	Todella vaikea vaihtaa	Erinomainen	Hyvä

Karan toiminta putkena ja liikkuvana tiivistettävänä pintana luo tarpeen riittävälle pinnankarheudelle karan pinnassa. Pinnankarheuden määrittämiseen käytettiin Seppo Kiviojan Toleranssit ja pinnankarheus julkaisussa määritetyjä yleisiä arvoja erilaisissa käyttötarkoituksissa. Kiviojan mukaan huulitiivisteiden vaatima pinnankarheus liikkuvalla akselille tulee olla korkeintaan 0,63. Taulukossa 7 on ote Kiviojan laatimasta taulukosta pinnankarheuksista erilaisissa.

TAULUKKO 7. Yleisesti käytettävät pinnankarheudet huulitiivisteille liikkuvan akselin ympärillä (Kivioja 2011, 19)

Liikkuvat tiivistyspin- nat		
metalliosat, esim venttiilit	0,4...0,8	
säteisakselitiiviste (huulitiiviste), akseli	0,2...0,63	$R_y \leq 6,3$
O- ja V-rengas, liukupinta	0,2...0,4	$R_y \leq 2$
punostiiviste, liukupinta	0,8	

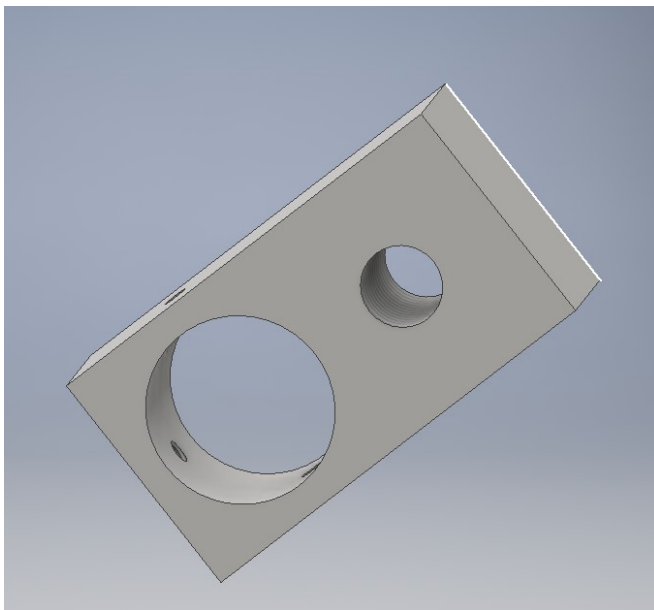
Karan putken valmistusmateriaaliksi valittiin näiden ehtojen perusteella ulkohalkaisijaltaan 6 mm paksuinen hydraulikkaputki. Putken pinnankarheus on 0,4 μm Ra ja sisähalkaisija 4 mm, joka todettiin vähintäänkin riittäväksi riittävän virtauksen aikaansaamiseksi. 4 mm sisähalkaisijan arvio perustuu kilpailijoiden tuotteissa oleviin ratkaisuihin, joista löytyy vastaavia ilmalinjoja, joiden sisähalkaisija on alle 2 mm. Putken suurehko halkaisija nostaa järjestelmän tilavuutta, jonka ansiosta 4 mm sisähalkaisija nostaa systeemin ilmankulutusta. Prototyypivaiheessa ilmankulutuksen optimointi ei ole keskinen tekijä vaan suunnittelussa pyrittiin varmistamaan mekanismin toiminta.

3.6.5 Luistin tanko

Luistin tangolla tarkoitetaan kaasumännän varren paikalla olevaa putkea ja sen sisältä löytyvää tankoa, jota on esitelty jo kuvissa 19 ja 20. Luistin putken sisälle tuleva luistin tanko tiivistyy o-renkaalla luistin putkea vasten. Tiivistysmetodiksi valittiin tavallinen uraan asennettava o-rengas. O-renkaalle päätettiin tehdä 2 mm levyinen ja mahdollisimman syvä ura. O-renkaan tarkemman koon mitoitus ja materiaalin valinta päätettiin jättää myöhemmälle. Prototyypivaiheessa tiiviyyttä voitaisiin testata erilaisilla tiivisteillä.

3.6.6 Luistin tangon kiinnitys

Prototyypin helppoa rakentamista varten suunniteltiin erittäin yksinkertainen ja helposti valmistettava osa, jonka avulla luistin tanko voitaisiin kiinnittää ulkopiippuun. Lopullisessa mallissa tämän osan tulisi näyttää RK:n "gas block" -osalta. Kiinnitystä varten suunniteltiin suorakulmion muotoinen pala, josta löytyy kierteet luistin tangon kiinnittämiseksi sekä tiukka reikä, johon ulkopiippu voidaan asentaa. Kuvassa 23 esitetty kiinnityspala lukitaan kitkan lisäksi ulkopiippuun kolmella kiristettävällä M3-pultilla.



KUVA 23. Luistin tangon kiinnike ulkopiippuun

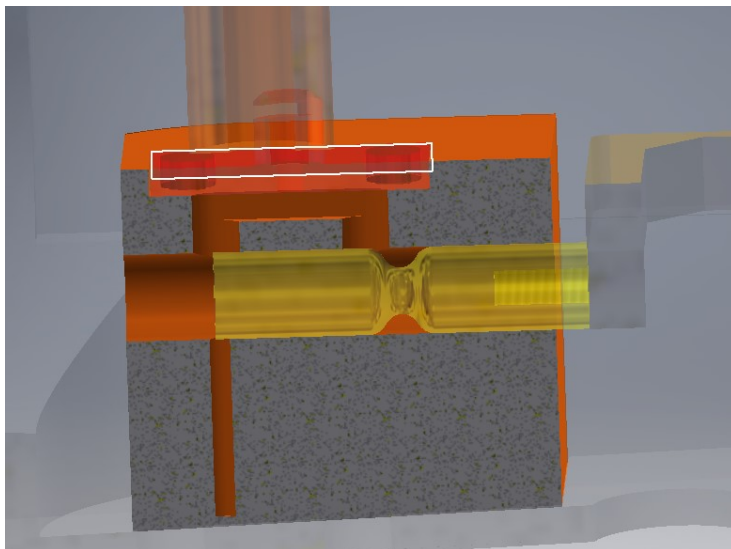
3.7 Venttiili

Venttiilin toimintaperiaatetta hiottiin koko suunnitteluprosessin ajan. Alkutilanteessa ajatus venttiilin toiminnasta oli sellainen, että vasaran iskeytyessä eteen vipu pakottaa aseensa takaosassa olevan venttiilin auki ja ilmavirtaus pääsee tällöin rekyylikoneistoon ja tuottaa luistin liikkeen. Venttiilin sulku ja paineen poisto järjestelmästä tapahtui tällöin luistin liikkeen vaikutuksesta taaksepäin.

Alkuperäinen idea kaksiasentoisesta yllä esitetystä venttiilistä korvattiin suunnitteluprosessin loppuvaiheessa kolmiasentoisella venttiilillä. Kolmiasentoinen venttiili mahdollistaa ilmankulutuksen pienentämisen. Toimintaperiaate on sellainen, että alkutilanteessa venttiilin auetessa ilma pääsee sylinterin sisään ja se tuottaa rekyyliliikkeen. Venttiilin avautuminen aiheuttaa sylinterin sisään ylipaineen, joka pysyy siellä, vaikka venttiilin sulkisi. Tästä syystä ilman virtaaminen keskeytetään sopivassa vaiheessa rekyyliliikettä ja sylinteriin jo päässyt ilma kiihdyttää luistin taka-asentoon. Luistin saavuttaessa taka-asennon se siirtää venttiilin nollatilaan, jolloin ilma pääsee vapaasti poistumaan järjestelmästä ja luisti voi liikkua ilman vastusta takaisin etuasentoon palautinjousen voimalla. Venttiilin sekvenssikaavio on esitetty taulukossa 8. Kuvassa 24 on esitettyä kolmiasentoisen venttiilin luonnos. Esitettyssä luonnoksessa mitat ovat summittaisia, sillä kuvassa on pyritty suunnittelemaan venttiiliä pelkästään periaatetasolla.

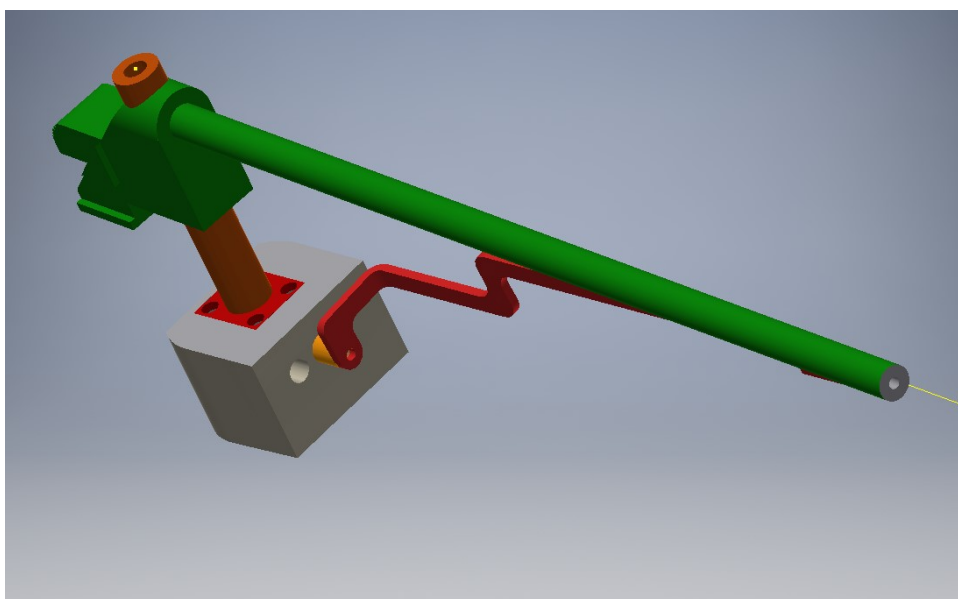
TAULUKKO 8. Venttiilin sekvenssikaavio

	Venttiilin asento
1	Virtaus koneistoon auki
2	Virtaus suljettu painelähteestä koneiston sisälle. Ylipaine kuitenkin pysyy koneiston sisällä ja vaikuttaa luistin sisällä olevaan mäntään.
3	Venttiili poistaa paineen koneiston sisältä.



KUVA 24. Lämpileikkaus periaatteellisesta venttiilistä

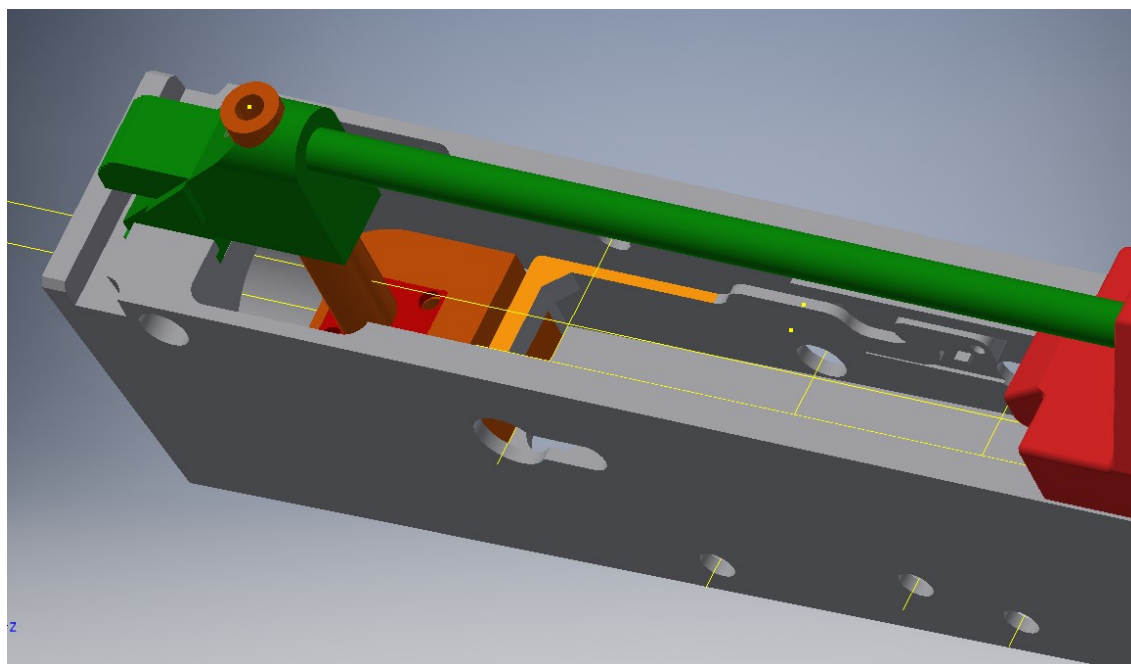
Suunnitteluprosessin aikana venttiilin kehitys jätettiin periaatetasolle, eikä sen osia mitoitettu valmiiksi. Kuvassa 25 on esitetty viimeisin periaatteellinen venttiili, johon on liitetty kara oranssilla putkella ja punainen venttiilin asentoa ohjaava liipaisinkoneiston liikuttama levy.



KUVA 25. Venttiilin periaatteellinen 3D-malli

Venttiilin asennuspaikka rungon sisällä on pistoolikahvan yläpuolella rungon takaosassa. Venttiilin sijainti valittiin siten, että takaosassa on parhaiten tyhjää tilaa oikean tuliaseen suunnittelun ansiosta. Sen lisäksi voimanlähde, eli paineilmasäiliö voidaan asentaa helposti asean perän sisälle, jolloin paineilmasäiliöstä voidaan johtaa painetta helposti lähellä olevaan venttiiliin. Kuvassa 26 on esitetty,

kuinka venttiili asettuu rungon sisälle takaosassa olevaan tyhjiin tilaan. Kuvassa näkyvä oranssi putki yhdistää venttiilin karaan ja johtaa paineilman rekyylikoneistolle palautinjousen karan kautta.



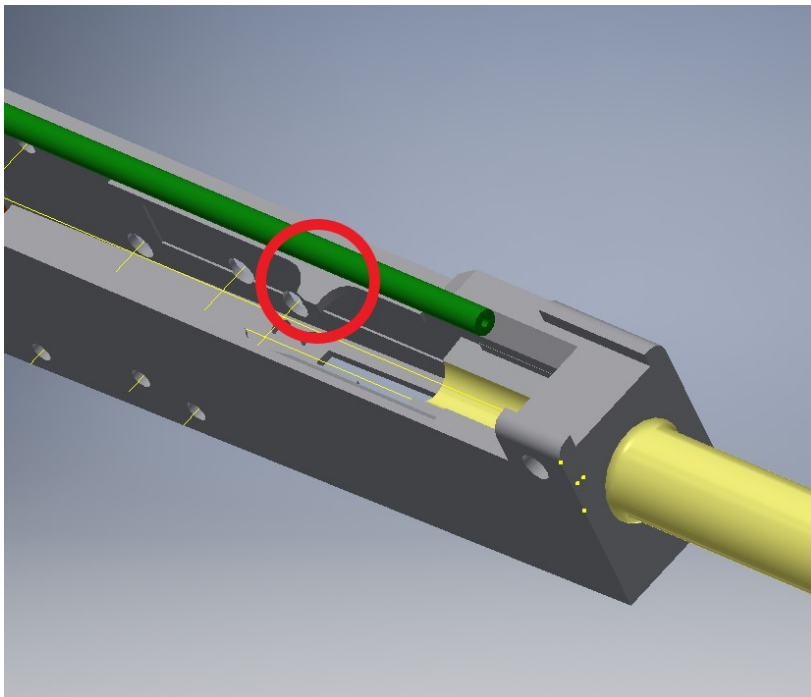
KUVA 26. Venttiili asennettuna rungon sisälle

4 PROTOTYYPIN RAKENNUS

Opinnäytetyössä prototyypin suunnittelu ja rakennus on esitetty peräkkäisinä osina. Todellisuudessa suunnittelutyö ja rakennustyö tehtiin osin samanaikaisesti. Ensimmäinen konkreettinen tuotettu osa oli ensimmäinen versio aseeseen luistista, joka oli käytännössä Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa tulostettu 3D-malli. Sittemmin prototyypin rakentamisen helpottamista varten hankittiin Original Prusa i3 3D-tulostin sekä kulkuoikeudet tamperelaiseen jaettuun Hacklab-työtilaan.

4.1 Runko

Prototyypin rakennus aloitettiin suunnittelun tavoin rungosta. Tuliaseeseen rungosta löytyy lukon kääntymisen aiheuttava pykälä, joka on tiellä simulaattoriaseessa. Kuvassa 26 pykälä on merkitty punaisella renkaalla.



KUVA 26. Rungosta poistettava pykälä

Pykälä hiottiin pois Zastava-rungosta kulmahiomakoneella, minkä jälkeen runko saatiin sellaiseksi, että suunniteltavat osat sopivat sen sisään. Kuvassa 27 on esitetty muokattu runko.

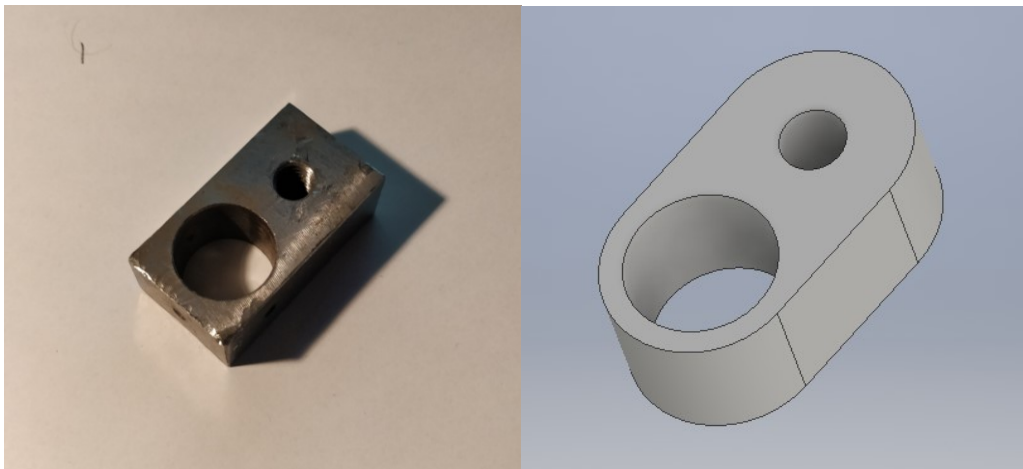


KUVA 27. Muokattu runko

4.2 Ulkopiippu ja luistin tanko

Rekyylikoneiston prototyypissä ulkopiipulla ei ole muuta tehtävää kuin pitää luistin tanko paikallaan. Tästä syystä ulkopiipuksi valittiin metalliromun seasta löytynyt paksu teräsputki, joka sorvattiin Tampereen Hacklab-tiloissa sopivaksi. Ulkopiippu on kuvassa 26 näkyvä alempi ja paksumpi, osin sorvattu pyörähdyssymmetrinen kappale. Ulkopiipun kiinnittämisen jälkeen siihen sovitettiin Tredu-ammattikoulussa valmistettua ulkopiipun ja luistin tangon yhdistävää kiinnityspalaa. Osaa asennettaessa huomattiin, että osan reikien etäisyys toisistaan on virheellinen yli yhden millimetrin verran. Tästä syystä kuvassa 28 näkyvä osa todettiin sopimattomaksi. Tilanne oltaisiin voitu välttää mahdollisesti paremmilla toleransseilla varustetuilla mitoituskuvilla. Tilanne ratkaistiin mallintamalla vastaava osa

uudelleen ja tulostaen se sitten 3D-tulostimella. Kuvassa 29 luistin tanko on kiinnitetty ulkopiippuun 3D-tulostetulla osalla.



KUVA 28. Epäonnistunut luistin tangon ja ulkopiipun kiinnityskappale sekä 3D-malli korvaavasta tulostettavasta osasta.



KUVA 29. Ulkopiippu kiinnitettyä runkoon

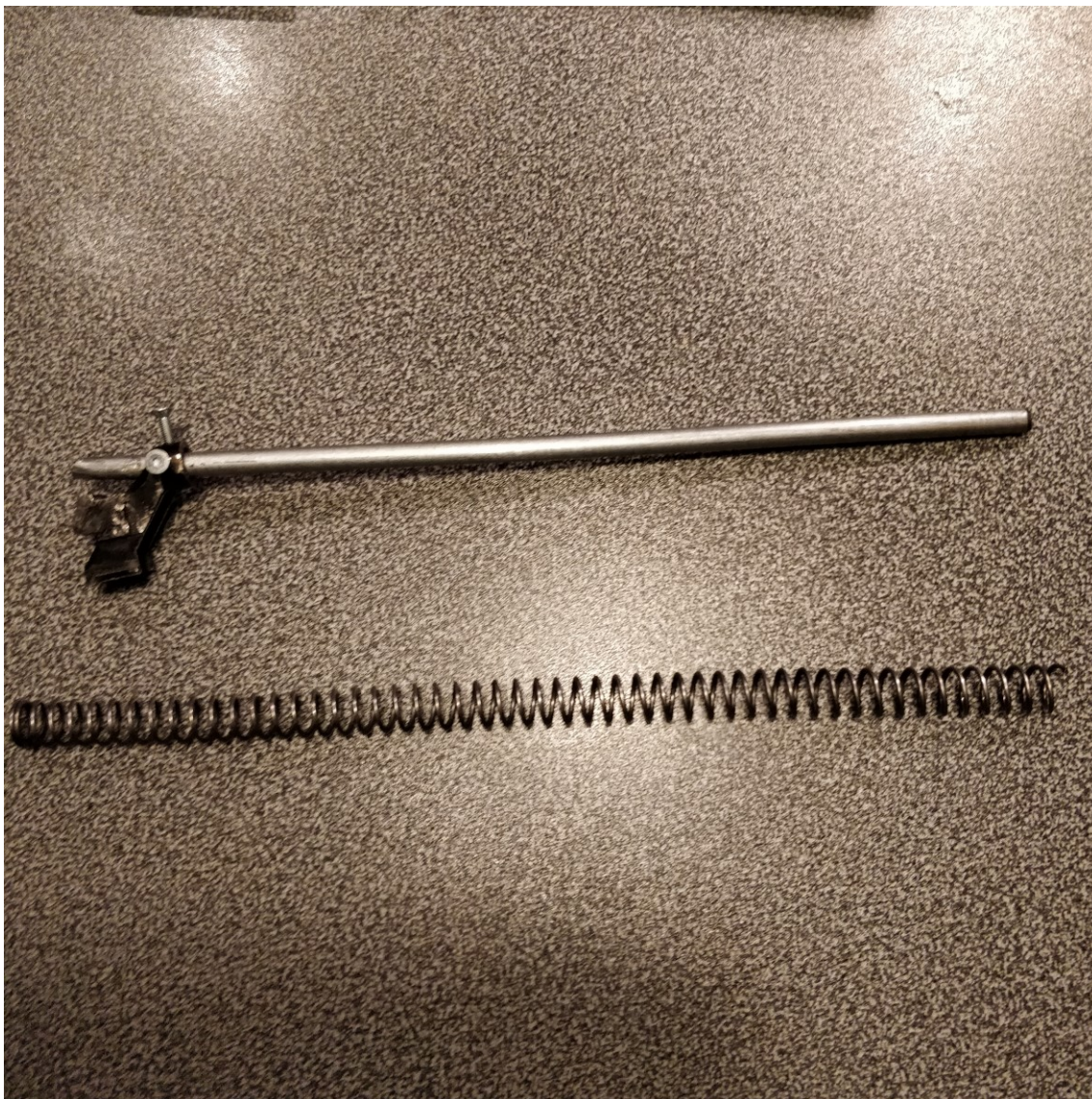
Luistin tangon kiinnitysalustan kiinnittämisen jälkeen kiinnitysalustaan asennettiin luistin tanko. Sen lisäksi luistin tankoon asennettiin kuvassa 30 näkyvä o-rengas.



KUVA 30. Luistin tanko asennettuna

4.3 Luistin kara

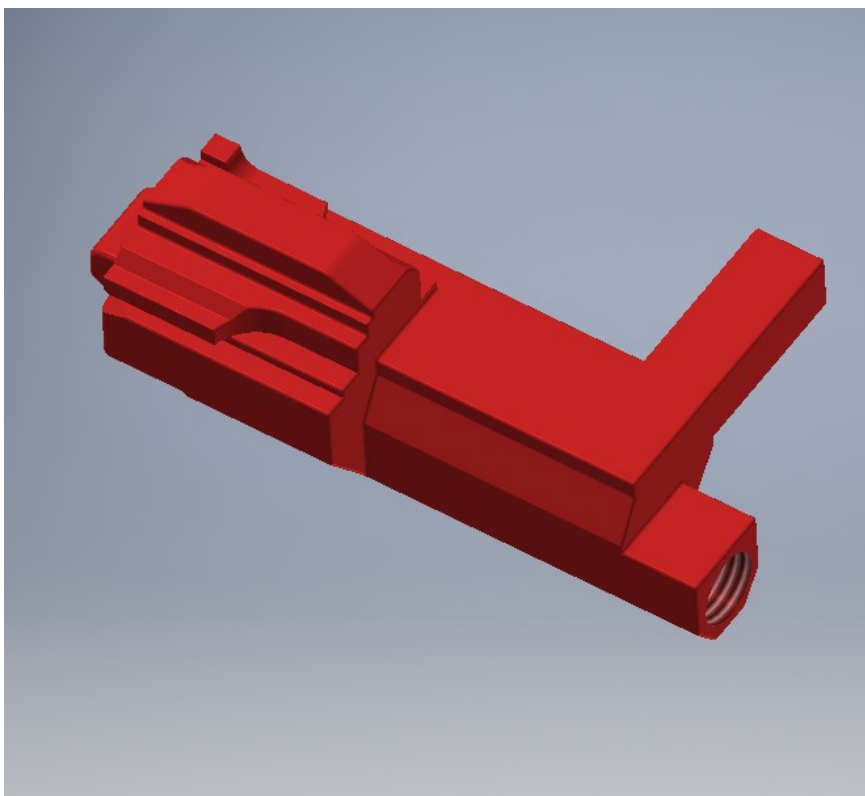
Luistin karan valmistuksessa hyödynnettiin neuvostovalmisteisen AKM-aseen karaa. Alkuperäisestä AKM-aseen karasta sahattiin irti laatikon kannen lukitusnappi, jonka lävitse porattiin reikä hydraulikkaputkelle. Putken kiinnitys varmistettiin kolmella M3-ruuvilla leikattuun nappiosaan kierteistettyjen reikien avulla. Valmis luistin kara on esitetty kuvassa 31.



KUVA 31. Luistin kara ja palautinjousi

4.4 Luisti

Luisti valmistettiin alihankintana hankaliin työstöihin erikoistuneen TH-Toolsin konepajassa. Luisti koostuu kahdesta pääosasta, jotka ovat luistin runko ja luistin putki. Luistin rungon Autodesk Inventor 2016 -ohjelman avulla tehty 3D-malli on esitetty kuvassa 32.



KUVA 32. Luistin 3D-malli

Luistin valmistuksen yhteydessä kuvassa 32 näkyvät kierteet päätettiin viime hetkellä valmistaa käsin koneistettavaan luistiin luistin sisälle asennettavan huulitiivisteeseen sopivuuden testaamisen jälkeen. Viime hetkellä tehdyn suunnitelman muutoksen takia lopputulos oli virheellinen. Sileäksi jätetyn osan halkaisijaa ei huomattu muuttaa pienemmäksi M12-kokoisten kierteiden poraamista varten, vaan reiästä koneistettiin 12 mm kokoinen. Tästä syystä luistin putkea ei voitu kiinnittää suunnitellulla tavalla luistiin. Kuvassa 33 olevaan koneistettuun prototyyppiluistiin on kiinnitetty luistin putki vaihtoehtoisella menetelmällä. Vaihtoehtoisella kiinnitysmenetelmällä tarkoitetaan samantapaista vararatkaisua, jota käytettiin hydraulikkaputken kiinnittämiseen alkuperäisen luistin karan takaosaan.

Kuvassa 33 olevaan luistiin on porattu kuusi kierteistettyä reikää. Reikiin on kiristetty kuusi M3-kuusiokoloruuvia, jotka pitävät luistin putken paikallaan. Liitos tiivistettiin luistin ja luistin putken sisäkkäin menevien osien väliin laitettavalla teflonteipillä. Vararatkaisu todettiin parhaaksi vaihtoehdoksi, sillä mikäli se kestäisi testausvaiheessa edes muutaman testilaukauksen, saataisiin koneiston toiminnasta arvokasta tietoa. Vararatkaisua rakennettaessa mietittiin vararatkaisun tilalle myös sellaista vaihtoehtoa, että osat hitsattaisiin toisiinsa. Hitsaus olisi varmasti riittävän kestävä, mutta ennen sitä päätettiin testata nyt rakennettua vararatkaisua.



KUVA 33. Luisti ja siihen vararatkaisulla kiinnitetty luistin putki

Luistin putki valmistettiin kahteen kertaan. Ensimmäinen versio tehtiin Tredumattikoulun konepajassa ja seuraava TH-Toolsin konepajassa. Ensimmäisen version putken sisäpinnan pinnan laatu osoittautui liian rosoiseksi, minkä ansiosta luistin putki valmistettiin uudelleen. Valmis TH-Toolsin valmistama luistin

putki on esitetty kuvassa 34. Putken päästä löytyy M12-vakiokierre, jonka avulla luistin putki piti alun perin kiinnittää luistista löytyviin kierteeseen.



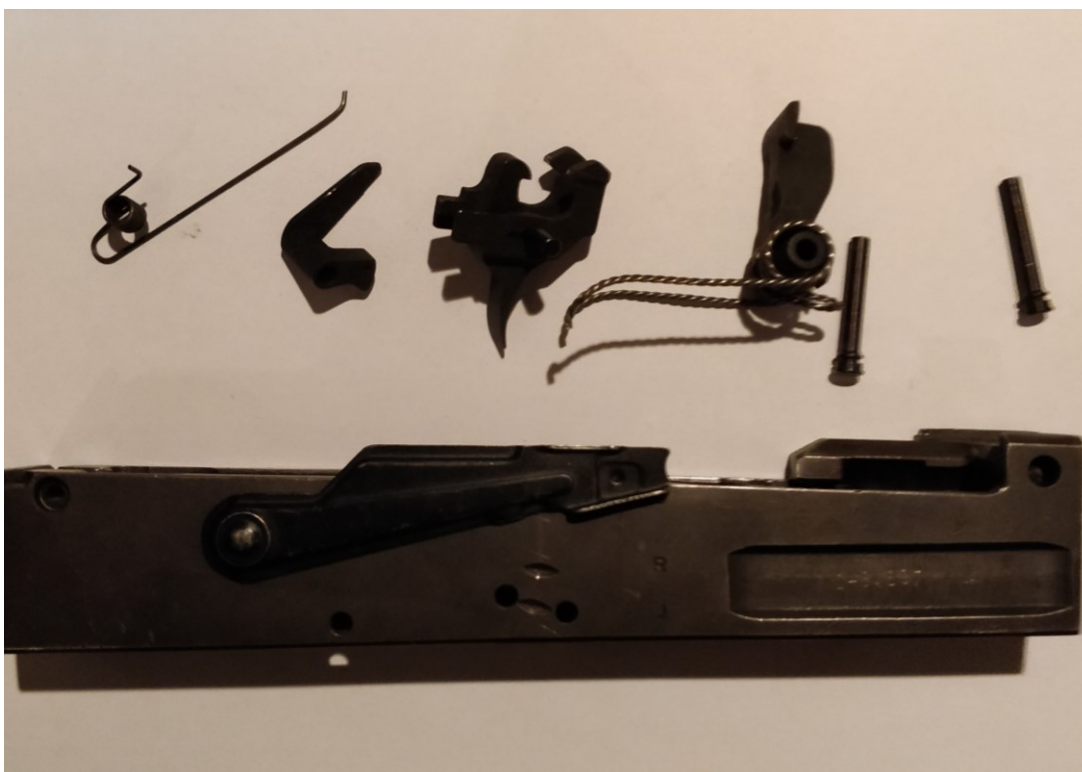
KUVA 34. Luistin putki

5 PROTOTYYPIN TESTAUS

Osien valmistuttua tuotekehitysprojektissa siirryttiin testausvaiheeseen. Testausvaihe suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä testausvaiheessa testattiin, miten tuliaseesta otettu laukaisukoneisto toimi yhdessä projektissa valmistettujen osien kanssa. Tämän jälkeen suoritettiin rekyylikoneiston testaus ilman laukaisukoneistoa.

5.1 Laukaisukoneiston toiminnan testaus

Laukaisukoneiston toiminnan testaus aloitettiin laukaisukoneiston asentamisella runkoon. Laukaisukoneiston osat ja runko on esitetty kuvassa 35.



KUVA 35. Runko ja laukaisukoneiston osat

Laukaisukoneiston asennuksen jälkeen luisti ja luistin putki liitettiin toisiinsa kohdassa 4.4 esitellyllä vararatkaisulla ja kiristettiin paikalleen. Luistin putken ja luistin välinen sovitus oli virheellisestä valmistuksesta huolimatta niin hyvä, että vararatkaisusta huolimatta luistinputken ja luistin välillä ei esiintynyt ylimääräistä

heiluntaa. Kuvassa 36 on havainnollistettu luistin putken ja luistin liitosta sekä laukaisukoneistoa asennettuna rungon sisälle.



KUVA 36. Luisti ja laukaisukoneisto asennettuna runkoon

Tämän jälkeen luisti asennettiin runkoon ja testattiin kaikkien laukaisukoneiston ja luistin välisten toimintojen toiminta prototyypissä. Kuvassa 37 prototyypiluistin avulla ladataan laukaisukoneistoa ja todetaan, että luisti liikkuu helposti urissaan ja kykenee virittämään aseensa vasaran ala-asentoon.



KUVA 37. Luistin yhteensopivuuden testaus laukaisukoneiston kanssa.

Tämän jälkeen testattiin vielä aseän laukeaminen liipaisinta painettaessa, tulenvalitsimen toiminta ja sarjatulen mahdollistaman pidättimen toiminta. Suunnitellun luistin mitoitus todettiin onnistuneeksi suhteessa liipaisinkoneiston vaatimuksiin.

5.2 Rekyylikoneiston toiminnan testaus

Rekyylikoneiston toiminnan testaus suoritettiin Atom Airsoft Oy:n tiloissa, ja testauksen aikana hyödynnettiin yrityksen välineistöä. Yli 20 baarin paineille suunniteltujen komponenttien saaminen pneumatiikkaa teollisuudelle toimittavista tukuista osoittautui haastavaksi, minkä vuoksi testausvaiheessa päätettiin käyttää alimitoitettuja maksimissaan 20 baarin paineille suunniteltuja komponentteja. Tästä syystä testausvaiheessa käytettiin aina kuulosuojaimia sekä silmäsuojausta, sillä testausasetelma saattoi hajota testin aikana.

5.2.1 Testausasetelma

Testausasetelmassa aseiden runko kiinnitettiin viilapenkkiin. Paineilman johtamiseksi rekyylikoneiston sisälle palautinjousen karanputken päähän liitettiin kuvassa 38 näkyvä 6 mm paineilmaletkulle tarkoitettu pistoliitin. Pistoliitin kiinnitettiin putken sisälle porattujen $\frac{1}{4}$ mm kierteiden avulla, ja liitos tiivistettiin teflontepillä.



KUVA 38. Pistoliitin liitettynä luistin karanputken päähän.

Korkeapaineisen paineilman johtaminen pistoliittimen kautta rekyylikoneistolle suoritettiin alun perin paintball-käyttöön suunnitellun korkeapainesäiliön ja sitä

varten suunniteltujen liittimien avulla. Testin aikana pistoliittimen kiinnitys osoitautui liian heikoksi, minkä vuoksi letkun kiinnitys vaihdettiin kuvassa 39 näkyvään tapaan, jossa 8 mm sisähalkaisijalla oleva polyuretaaniletku on kiinnitetty luistin karaan letkunkiristimellä. Polyuretaaniletkun toiseen päähän on kiinnitetty helposti suljettava Ninja Paintball Slide Check -venttiili, jonka jälkeen tulee muutamien metrien mittainen paineilmasäiliöön liitetty kierreletku. Tämän laitteiston avulla voitaisiin suorittaa lopulliset testit 60 baarin paineella. Paineilmalähteen ja letkun väliin asennettiin vielä kuvassa 40 näkyvä regulaattori, jonka avulla testauspaine voitaisiin laskea ensimmäisiä testejä varten matalalle noin 10 baarin suuruiselle tasolle.



KUVA 39. Paineilmasäiliö liitettynä rekyylikoneistoon



KUVA 40. Paineilmasäiliön ja letkun väliin asennettava lisäregulaattori

5.2.2 Testitulokset

Testausprosessi jaettiin kahteen erilliseen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa mekanisme testattiin matalalla 10 baarin paineella liittämällä matalapaineregulaattori painelähteen ja koneiston väliin. Toisessa vaiheessa suoritettiin samat testit 60 baarin paineella. Molempien testausprosessien tulokset on esitetty seuraavassa luvussa 6 taulukoissa 8 ja 9.

6 TULOSTEN ANALYSOINTI

Testausvaiheessa saatiin selville, että koneiston suunnittelussa saavutettiin sekä onnistumisia että epäonnistumisia.

6.1 Laukaisukoneiston testitulokset

Laukaisukoneiston osalta rakennettu prototyyppi onnistuttiin rakentamaan siten, että mikään laukaisukoneiston ominaisuus ei lakannut toimimasta prototyyppiä varten runkoon tehtyjen muokkausten tai valmistettujen osien mitoitusten takia. Prototyyppikoneiston vaatiman paineilman ohjauksen suorittavia osia ei kuitenkaan saatu suunniteltua tämän opinnäytetyön aikana. Tästä syystä tämä testitulokset ei ota kantaa siihen, miten paineilman ohjauksen mahdollistavien osien lisääminen tulee vaikuttamaan laukaisukoneiston toimintaan.

Laukaisukoneisto hyödynsi kauttaaltaan tuliaseesta lainattuja osia ja tästä syystä laukaisukoneisto täyttää automaattisesti kaikki simulaattorille asetetut vaatimusmäärittelyt laukaisukoneiston toiminnan osalta. Toisin sanoen simulaattorin laukaisukoneiston varmatoimisuus, liipaisu ja laukaisukoneiston hallintalaitteen, tulenvalitsimen, käyttötuntuma vastaa täysin vaatimusmäärittelyssä asetettua tasoa.

TAULUKKO 9. Laukaisukoneiston testitulokset

Toiminto	Testitulos
Luisti virittää vasaran	Toimii
Sarjatulen mahdollistavan pidättimen toiminta	Toimii
Laukaisu liipaisimesta	Toimii
Tulenvalitsimen toiminta	Toimii

6.2 Rekyylikoneiston testitulokset

Luvussa 5 kohdassa 5.2.1 esitetyn rekyylikoneiston testausvaiheen tulokset on esitetty alla olevissa taulukoissa yhdeksän ja kymmenen. Taulukoista käy ilmi, kuinka testissä simulaattorikoneisto toimi osin odotetulla tavalla ja testin avulla saatiin todistettua suunnitellun koneiston toimivuus periaatteellisella tasolla. Vaikka testissä koneisto saatiin liikkumaan rivakasti taka-asentoon ilman liipaisinkoneistoa, testin aikana koneisto jumittui useampaan kertaan johonkin kohtaan. Jumittumisen syyksi paljastui 3D-tulostetun piipun ja luistin putken välisen kiinnityksen heiluminen, toleranssit osien sovituksessa ja pintojen karheus. Tästä syystä koneisto jäi jumiin niin lujaa testin aikana, että liikkuvien osien liikuttaminen oli hankalaa jumin ohitse myös käsivoimin. Liipaisinkoneiston kanssa vasara painoi viritysvaiheessa luistin alapuolelta ylöspäin, mikä todennäköisesti aiheutti koneiston jumittumisen. Testin perusteella osien sovitukselta keskenään parantamalla voitaisiin ehkäistä koneiston jumittumisen ja muuttaa koneisto täysin toimivaksi ja koneisto voitaisiin saada mahdollisesti täyttämään myös vaatimusmäärittelyssä vaadittu toimintavarmuus. Tämän projektin aikana tehty prototyyppi ei kuitenkaan täytä vaatimusmäärittelyssä vaadittavia edellytyksiä miltään osin. Jatkokehitykselle ei kuitenkaan ollut aikaa tämän opinnäytetyön ajallisten resurssien puitteissa.

TAULUKKO 10. Testausprosessin ensimmäinen vaihe 10 baarin paineella

Osio 1	Paine	Tulos	Johtopäätökset
Mekanismin testaus ilman liipaisinkoneistoa	10 bar	Mekanismi toimii	Mekanismi toimii ja luisti liikkuu rauhallisesti taka-asentoon venttiilin avaamisen jälkeen.
Mekanismin testaus liipaisinkoneiston kanssa	10 bar	Mekanismi ei toimi	10 baarin paine ei tuottanut riittävästi voimaa vasaran virittämiseksi.

TAULUKKO 11. Testausprosessin ensimmäinen vaihe 60 bar paineella

Osio 2	Paine	Tulos	Johtopäätökset
Mekanismin testaus ilman liipaisinkoneistoa	60 bar	Mekanismi toimii	Mekanismi toimii ja luisti saatiin liikkumaan taka-asentoon venttiilin avaamisen jälkeen erittäin riivakasti.
Mekanismin testaus liipaisinkoneiston kanssa	60 bar	Mekanismi ei toimi	Luisti jumittuu matkalla taaksepäin eikä viritä liipaisinkoneiston vasaraa ala-asentoon.

7 POHDINTA

Prototyypin tuotekehitysprojekti opinnäytetyönä ja vaillinaisilla resursseilla oman päätyön sivussa osoittautui raskaaksi, mutta myös erittäin opettavaiseksi oppimisprosessiksi. Opinnäytetyössä kehitettiin ja rakennettiin jo markkinoilla olevien ilma-aseiden kaltainen, mutta rakenteellisesti erilainen rekyykoneisto. Ratkaisu pohjautui opinnäytetyön tekijän omaan kehitysideaan, minkä vuoksi työn aloittaminen oli erittäin mielekästä ja innostavaa.

Toimintaperiaatteen luonnostelun jälkeen periaatteellista koneistoa sovitettiin 3D-mallinnuksen avulla tuliaseen rungon sisälle. Lähes heti työn aloittamisen jälkeen huomattiin ensimmäisen kerran suunnittelutyön haasteet. Simulaattoriaseen pohjaksi valitun entisen Jugoslavian armeijan käyttämän tuliaseen rungosta ei ollut saatavilla mittakuvia, minkä vuoksi mitat otettiin valmiista tuotteesta työntömitan avulla. Useiden mittojen mittaaminen oli liki mahdotonta, minkä johdosta simulaattorin rungon muut osat jouduttiin mitoittamaan ja mallintamaan Autodesk Inventor CAD -ohjelmistolla moneen kertaan toistensa kanssa keskenään yhteensopivien osien aikaansaamiseksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa prototyyppi, minkä vuoksi prototyyppiosien suunnittelussa taustalla oli ajatus siitä, että suunniteltavat osat olisi kyettävä valmistamaan olemassa olevilla resursseilla. Käytössä olevat resurssit olivat kuitenkin varsin rajalliset osien valmistamiseksi itse tai alihankintana. Tästä syystä suunnittelussa oli kiinnitettävä paljon huomiota siihen, että osien valmistus onnistuu yksinkertaisilla työkaluilla.

Omaan ideaan pohjautuvan työn tekeminen oli erittäin innostavaa, mikä mahdollisesti sokaisi tekijää ja sai välillä unohtamaan, mitkä asiat ovat oleellisia tuotekehitysprojektissa. Yksi esimerkki tällaisesta virheestä oli liian suuri tavoite tehdä toimiva tuote kerralla valmiiksi. Työtä jälkeinpäin tarkastellessa todettiin, että olisi ollut helpompaa suunnitella ja rakentaa prototyyppi jokaisesta osatoiminnosta erikseen ja kehittää siten mekanismin puolesta toimiva prototyyppi. Tämän jälkeen toimiva koneisto olisi voitu muuntaa yhteensopivaksi rynnäkkökiväärin

rungon kanssa. Tuotekehitysprosessin aikana olisikin kannattanut pysähtyä analysoimaan työn aikana ilmenneitä haasteita tarkemmin ja etsimään niihin ratkaisuja. Kokemuksen puutteen ja tekemisen innon aikaansaamaa sokeutta olisi voinut mahdollisesti ehkäistä tukeutumalla projektin eri vaiheissa kokeneiden ja tuotekehitystyötä tehneiden henkilöiden apuun.

Sen sijaan, että suunnittelussa ilmenneitä haasteita olisi yritetty ratkaista jakamalla työ osakokonaisuuksiin ja testaamalla periaatteellista toimintaa virtuaalisesti, työmäärää kasvatettiin hankkimalla laitteita prototyypiosien valmistamiseksi. Työtä varten hankittiin 3D-tulostin, jotta suunniteltujen osien sopivuutta valittuun runkoon voitiin sovittaa fyysisesti. Tämän lisäksi metallisten prototyypiosien valmistamisen rahoittamiseksi haettiin Tekesin innovaatioaseteli, jotta osia voitaisiin koneistuttaa myöhemmin alihankkijan avulla.

Tulostimen hankinta ja osien sovittaminen väkisin valittuun runkoon vei fokuksen tuotekehitystyön olennaisimmasta osiosta sivuun. Aikaa käytettiin runsaasti keskeneräisen mekanismin sovittamiseen rungon sisälle, vaikka mekanismin todellisesta toimivuudesta ei ollut vielä varmuutta. Sen sijaan työaikaa olisikin kannattanut käyttää mekanismin periaatteen kehittämiseen. Prototyyppi olisi myös kannattanut rakentaa sellaiseen runkoon, joka olisi voitu valmistaa tarvittaessa itse edullisesti ja jonka tarkat mitat olisivat olleet tiedossa.

Useiden yritysten ja hieman erilaisilla mitoilla tulostettujen osien avulla 3D-mallinnetun rungon mitat saatiin kuitenkin vastaamaan reaali maailman rungon mittoja. Mekanismia päästiin vihdoinkin testaamaan 3D-tulostetuilla osilla alkuperäisen, työtä varten hankitun rungon kanssa. Testaaminen jäi tässä vaiheessa kuitenkin vain yritykseksi, sillä 3D-tulosteesta valmistetut osat halkesivat käytännössä heti testin aikana.

Opinnäytetyönä tämä projekti venyi liian pitkäksi. Työ tehtiin kokonaan vapaaajalla kokopäivätyön ohessa, minkä vuoksi työlle ei ollut uhrata täysipäiväistä työpanosta. Työn aikana projektin edistämiseksi oli myös hankittava rahoitusta, sillä muutoin prototyyppijä ei olisi voinut koneistaa konepajassa työn tekijän silloisen vision mukaisesti. Rahoituksen saaminen vei yli puoli vuotta, joten projekti ei edennyt sinä aikana juuri ollenkaan. Resurssipulan vuoksi kehitystyö osoittautui

odotettua vaikeammaksi, mikä söi uskoa projektin onnistumisesta. Useamman rahoitushakemuksen jälkeen projektia varten saatiin hankittua pieni rahoitus, jonka avulla projektia voitiin taas jatkaa. Rahoituksen avulla valmistettiin ensimmäinen teräksinen prototyyppiluisti, joka ei kuitenkaan onnistunut puuttuvan kierteen takia. Tästä huolimatta aiheista saatiin tehtyä testiin kelvollinen versio. Työn yksi suurin kompastuskivi saattoi olla liian selkeä visio valmiista tuotteesta, minkä vuoksi prototyyppiä kehitettiin ainoastaan vision suuntaan muiden vaihtoehtojen miettimisen sijaan. Opinnäytetyön aikana perehdyttiin Tapani Jokisen teokseen Tuotekehitys (2001) ja siinä esitettyyn tuotekehitysprojektimalliin. Opinnäytetyön tekeminen auttoi projektin edetessä ymmärtämään kirjassa esitetyn tuotekehitysprojektimallin tarpeellisuuden ja sen hyödyt. Jos teoksessa esiteltyä prosessiluontoista projektin läpivientiä paloittain olisi noudatettu koko tämän opinnäytetyön tekemisen ajan, oltaisiin todennäköisesti voitu välttää useita työn aikana tehtyjä virheitä. Tämän lisäksi tuotekehitysprojektissa olisi kannattanut konsultoida kokeneita tuotekehittäjiä ennen varsinaista kehitystyötä. Tällä tavoin oltaisiin voitu kohdentaa resurssit mekanismin todelliseen kehittämiseen ja testaamiseen virtuaalisesti sen sijaan, että rakennettiin mekaanisesti toimiva prototyyppi heikosti kehitystyöhön soveltuvalla alustalla.

Opinnäytetyössä rakennetun prototyyppikoneiston jatkokehitys rynnäkkökiväärisimulaattoriksi on toistaiseksi epätodennäköistä ilman ulkopuolista rahoitusta. Mekanismin toimintaperiaate on kuitenkin onnistunut, ja sen pohjalta koneistosta voidaan jatkokehittää tulevaisuudessa esimerkiksi toimiva airsoft-aseen koneisto.

LÄHTEET

Efimchenko, P. 2011. Bolt carrier with gas piston for AKM. Julkaistu 12.11.2011. Luet-tu: 5.1.2017. <https://grabcad.com/library/bolt-carrier-with-gas-piston-for-akm>

ERIKS 2018. Sealing Elements Technical Handbook O-rings. Luettu: 14.3.2018. <https://eriks.nl/documentatie/o-ringen/o-ringen-en-overige-ringen/eriks-o-ring-technical-handbook.pdf>

Findikaattori. 2018. Asevelvollisuus. Luettu 7.2.2019. <https://findikaattori.fi/fi/table/99>

Firearms for Preppers, AK-47 series Rifle. 2012. Survivalistiblogi: Getting Started In Emergency Preparedness. Luettu 6.2.2019. <https://gsiep.blogspot.com/2012/05/firearms-for-preppers-ak-47-series.html>

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki. Hakapaino Oy.

Keskisuomalainen, 2018. Alokkaat voivat jatkossa oppia ampumisen perusteet. Julkaistu: 12.7.2018. Luettu: 11.11.2018. <https://www.ksml.fi/kotimaa/Alokkaat-voivat-jatkossa-oppia-ampumisen-perusteet-simulaattorissa-%E2%80%93-Puolustusvoimien-uudet-koulutusmenetelm%C3%A4t-s%C3%A4st%C3%A4isiv%C3%A4t-sek%C3%A4-patruunoita-ett%C3%A4-ymp%C3%A4rist%C3%B6/1225798>

Kivioja, S. 2011. Toleranssit ja pinnankarheus. Tuotekehitysklubi. Espoo

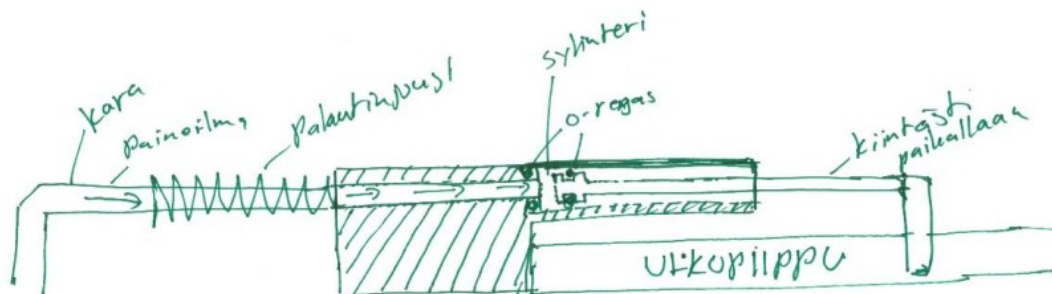
Pyykkönen, S. 2015. Jussi Niinistö: Puolustusvoimien vahvuudessa ehdoton minimitaso. Uutinen. Julkaistu 7.2.2015. Luettu: 14.3.2018. <https://www.verkkouutiset.fi/jussi-niinisto-puolustusvoimien-vahvuudessa-ehdoton-minimitaso-31704/>

Pääluoto, M. 2017. Vierailijakolumni: Helsinki, keisarillinen varuskuntakaupunki. Ruo-tuväki-lehti 5/2017, 3.

Salakari, H. 2011. The Simulatori Instructor's Handbook. Eduskills Consulting

LIITTEET

Liite 1. Käsini piirretty luonnos rekyykoneiston perusideasta



Ilma johdetaan karaa pitkin sylinteriin luistin sisälle, jolloin paineilma pakottaa luistin tankseppäily, josta sylinterin tilavuus kasvaa.

Liite 2. Laukaisukoneiston periaatemekanismin luonnos

