



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

UNIVERSAALSE RELVAKABA SÜSTEEMI VÄLJATÖÖTAMINE

DEVELOPMENT OF THE UNIVERSAL RIFLE STOCK SYSTEM

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Jüri Uha

Üliõpilaskood: 164545

Juhendaja: Leo Teder, Assistent

Tallinn, 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Jüri Uha

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Universaalse relvakaba süsteemi väljatöötamine

Kuupäev: 19.05.19

51 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Assistent Leo Teder

Töö konsultant (konsultandid):

Sisu kirjeldus:

Antud lõputöö põhieesmärgiks on luua reguleeritav relvakaba süsteem Kaitseväe ajateenistuse kasutatavale automaattulirelvale Galil AR. Töös tuuakse välja antud tulirelva kaba peamised puudused, leitakse suurematele puudustele lahendused ning disainitakse ja modelleeritakse relvale uus kaba. Lisaks tehakse uue kabasüsteemi kriitilistele osadele tugevusanalüüs ning määratakse võimalikud materjalid süsteemi ehitamiseks. Töö lõpus tuuakse välja mõned variandid edasiseks arendamiseks. Peamiseks töös kasutatud meetodiks on modelleerimine. Töö tulemusena valmis pikkuse ja põsetoe kõrguse reguleerimisvõimalusega Galil AR relvakaba tagaosa.

Märksõnad: Kaitsevägi, tulirelv, modelleerimine, SolidWorks, Galil, relvakaba, reguleerimine, disain, tugevusanalüüs

ABSTRACT

Author: Jüri Uha

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Development of the universal rifle stock system

Date: 19.05.19

51 pages (the number of thesis pages including appendices)

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Assistant Leo Teder

Consultant(s):

Abstract:

The main objective of this Bachelor's Thesis is to develop a regulative rifle stock system for the assault rifle Galil AR which is being used by the individuals serving time for Estonian Defence Forces. Research paper points out the primary shortcomings of the rifle stock. The work also includes solutions for the primary problems of the stock with the design and modelling of the new rifle stock. In addition the FEM analysis is done for the most essential parts of the system and the materials chosen to build the newly designed stock. In the end of the Thesis author brings forth some possibilities to develop the system. The main method used in this research paper is modelling. The result of this Thesis is the rifle stock of Galil AR assault rifle, which stock length and cheek plate height can be adjusted.

Keywords: Defence Forces, firearm, modelling, SolidWorks, Galil, rifle stock, adjusting, design, FEM

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Universaalse relvakaba süsteemi väljatöötamine
Lõputöö teema inglise keeles:	Development of the universal rifle stock system
Üliõpilane:	Jüri Uha, 164545
Eriala:	Mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Assistent Leo Teder
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	kehtivusaja annab juhendaja
Lõputöö esitamise tähtaeg:	21.05.2019

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Valisin eelpool nimetatud teema peamiselt seetõttu, et tegelen ise spordiga, kus on olulisel kohal tulistamine tulirelvast. Tänu sellele mõistan, kui suure osa laskmistäpsuse saavutamisest moodustab tulirelva kaba kuju ning see, kui hästi see laskmist sooritava indiviidi kehaehitusega sobitub. Antud teema on aktuaalne militaartasandil, kuna igal aastal astub ajateenistusse suur hulk inimesi, kes on kõik erinevate kehaproportsioonidega, kuid kellel tuleb kasutada ühe standardi järgi valmistatud relvakabasid. Antud töö püüab luua enamiku inimeste kehaproportsioonidele vastava kaba eelkõige ajateenistuses kasutatavate relvade jaoks, võttes arvesse inimese anatoomiat ja kehalisi iseärasusi.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on luua nii soolisi kui ka kehalisi iseärasusi arvesse võttev relvakaba süsteem, mida on võimalik vastavalt individile reguleerida.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Kas eelnevalt on teenistusrelvadele sel viisil lähenetud?

Kuidas luua reguleerimissüsteemid, säilitades võimalikult suures ulatuses kaba esialgse kuju?

Milliseid materjale kasutada süsteemi loomisel?

4. Lähteandmed

Andmed Kaitseväe relvade kohta on võimalik saada Kuperjanovi jalaväepataljonist, nimelt 2. jalaväebrigaadi Tagalapataljoni relvatehnik Kristo Hüttilt. Materjalide valiku jaoks kasutan avalikke andmeid internetist materjalide omaduste ja tugevusnäitajate kohta.

5. Uurimismeetodid

Alustan info otsimisega internetist eelnevalt sarnasel teemal tehtud tööde kohta ning Eesti Kaitseväes kasutusel olevate relvade kohta. Järgnevalt hakkan looma ideid optimaalseks kaba tagaosade ehituseks. Parima idee järgi loon relvakaba tagaosast mudeli.

6. Töö struktuur

TIITELLEHT

AUTORIDEKLARATSIOON

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE..... 3

ABSTRACT..... 4

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE 5

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU 11

SISSEJUHATUS 12

1. KAITSEVÄE AJATEENISTUSE RELVAD 13

1.1 Automaatrelv AK 4 13

1.2 Automaatrelv Galil AR..... 14

1.3 Lahendatavad probleemid 15

2. NÄITED SARNASTEST TÖÖDEST..... 17

2.1 Moodultehnoloogia 17

2.2 Moodultehnoloogia laskesuusatamises..... 17

2.3 Modular Driven Technologies 18

2.4 XLR Industries..... 19

3. 3D MODELLEERIMINE..... 21

3.1 SolidWorks 22

3.2 Esmane idee 23

3.3 Teine idee.....	24
3.4 Kolmas idee.....	25
3.5 3D mudeli loomine.....	25
3.5.1 Struktuurielemendid	26
3.5.2 Kaba pikkuse reguleerimissüsteem.....	28
3.5.3 Põsetugi.....	30
3.6 Lõplik mudel.....	32
3.7 Materjalide valik	33
3.8 Tugevusanalüüs.....	35
3.9 Süsteemi osade tootmine	36
4. VÕIMALUSED EDASISEKS ARENDUSEKS	37
4.1 Kinnituse universaliseerimine	37
4.2 Amortisaatori implementeerimine	37
4.3 Integreerimine ammule	37
4.4 Massi vähendamine	37
4.5 Rohkem reguleerimise võimalusi.....	38
4.6 Efektivsem fikseerimissüsteem.....	38
KOKKUVÕTE	39
SUMMARY	41
KASUTATUD KIRJANDUS	43
LISAD	45
Lisa 1 MDT süsteemi koostule lisatavad detailid	46
Lisa 2 XLR süsteemi koostule lisatavad detailid	48
Lisa 3 Galil AR relva tagaosas mõõtmised.....	50

7. Töö etapid ja ajakava

Info kogumine ja selle läbitöötamine (29.04)

Uudse süsteemi väljatöötamine (07.05)

Võrdluste ja kokkuvõtete tegemine (15.05)

Esmase versiooni esitamine (17.05)

Paranduste elluviimine (19.05)

Lõplik versioon lõputööst (20.05)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
SISSEJUHATUS	12
1. KAITSEVÄE AJATEENISTUSE RELVAD	13
1.1 Automaatrelv AK 4	13
1.2 Automaatrelv Galil AR.....	14
1.3 Lahendatavad probleemid	15
2. NÄITED SARNASTEST TÖÖDEST	17
2.1 Moodultehnoloogia	17
2.2 Moodultehnoloogia laskesuusatamises.....	17
2.3 Modular Driven Technologies	18
2.4 XLR Industries.....	19
3. 3D MODELLEERIMINE.....	21
3.1 SolidWorks	22
3.2 Esmane idee	23
3.3 Teine idee	24
3.4 Kolmas idee	25
3.5 3D mudeli loomine.....	25
3.5.1 Struktuurielemendid	26
3.5.2 Kaba pikkuse reguleerimissüsteem.....	28
3.5.3 Põsetugi	30
3.6 Lõplik mudel.....	32

3.7 Materjalide valik	33
3.8 Tugevusanalüüs.....	35
3.9 Süsteemi osade tootmine	36
4. VÕIMALUSED EDASISEKS ARENDUSEKS	37
4.1 Kinnituse universaliseerimine	37
4.2 Amortisaatori implementeerimine	37
4.3 Integreerimine ammule	37
4.4 Massi vähendamine	37
4.5 Rohkem reguleerimise võimalusi.....	38
4.6 Efektivsem fikseerimissüsteem	38
KOKKUVÕTE	39
SUMMARY	41
KASUTATUD KIRJANDUS	43
LISAD	45
Lisa 1 MDT süsteemi koostule lisatavad detailid	46
Lisa 2 XLR süsteemi koostule lisatavad detailid	48
Lisa 3 Galil AR relva tagaosaga mõõtmised.....	50

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

MDT	Mooduldisaini tehnoloogia(Modular Design Technology)
FEM	Lõplik elementide meetod(Finite element method)
PA	Polüamiid nailon(Polyamide nylon)
N	Njuuton(Newton)

SISSEJUHATUS

Antud lõputöö kirjeldab Eesti Kaitseväe ajateenistuses kasutusel oleva automaattulirelva Galil AR relvakaba süsteemi universaliseerimist igale kehatüübile. Universaliseerimine hõlmab endas senise süsteemi puuduste analüüsimist, uuendusliku koostu disainimist ja tugevusanalüüsi. Töö põhiosas pööratakse tähelepanu sarnastele süsteemidele, põhjendatakse teema aktuaalsust läbi varasema süsteemi analüüsi, tuuakse detailselt välja uue süsteemi modelleerimisprotsess ning valitakse koostu detailide materjalid vastavalt nende asukohale süsteemis ning tugevusnäitajatele.

Lõputöö teemavalikul oli oluline osa autori isiklikel huvidel. Tegeledes igapäevaselt tiiptasemel spordialaga, kus on olulisel kohal laskmine ja sellega seonduv, tekkis autoril kavatsus disainida optimaalne relvakaba, mis oleks sobilik kasutamiseks rohkem kui ühele inimesele. Uudse süsteemi arendamine on abiks ka autorile endale tulevikus laskespordiga seonduvate detailide ja koostude disainimisel.

Lasketäpsuse ja -kiiruse puhul on väga oluline osa tulirelva osadel, selle kasutusmugavusel ja kasutuskiiirusel. Kasutusmugavus ja -kiirus on otseses sõltuvuses relva kabasüsteemi kuju ja selle sobivusega relva kasutava inimese suhtes. Põhjusel, et iga indiviid on erinev, ei ole võimalik saavutada ühe standardsete mõõtmetega relvaga erinevatel isikutel sarnast lasketäpsust ja -kiirust. Hetkel kasutusel olevatel Kaitseväe tulirelvadel on aga üheste mõõtmetega valmistatud relvakabad, mis pärsvad suurel määral lahinguväljal tegutsejate kiirust ja täpsust.

Lõputöö eesmärgiks on analüüsida varasema relvakaba puudusi ning disainida uus kabasüsteem, arvestades eelneva süsteemi puuduste ja tänapäeva ajateenijate vajadustega. Uudse kabasüsteemi disainimisel pöörata tähelepanu eelkõige selle kasutajasõbralikkuse ning Kaitseväe ajateenistuse kasutuseks vajaliku vastupidavusega. Lisaks eelnevale pakkuda välja võimalikke materjale nende mehaaniliste tugevus- ja sitkusnäitajate põhjal, et disainitav süsteem saavutaks piisava vastupidavuse ning tänu sellele ka töökindluse lahinguväljal.

Lõputöö teostamisel kasutatakse hetkel ajateenistuses olevate isikute nõuandeid ja võetakse arvesse nende poolt välja pakutavaid lahendusi standardsete relvakabade juures olevatele aktuaalsetele probleemidele. Relvakaba modelleerimiseks ja tähtsamatele detailidele tugevusanalüüside tegemiseks kasutatakse programmi SolidWorks keskkonda.

1. KAITSEVÄE AJATEENISTUSE RELVAD

Eesti Kaitseväge ajateenistuses on automaattulirelvade kategooriast teenistusrelvadeks Rootsi päritoluga AK 4 või Iisraeli päritoluga Galil AR. Mõlemad relvad valmistatakse standardi järgi vastava relvapäraga. Tänapäeva sõjapidamiseks on aga mõlemad relvatüübid liialt robustse ehitusega, eelkõige relva pikkust arvestades. Seetõttu on nendega keeruline pidada taktikalisi lahinguid, kus on vaja kiiret liikumist ja reageeringut.

1.1 Automaatrelv AK 4



Joonis 1. Üks kaitseväge ajateenistujate teenistusrelvadest AK 4 [1]

AK 4 tootmist alustati paarkümmend aastat pärast Teist maailmasõda. Seda põhjusel, et rootslastel oli vaja uuendada enda relvavalikut. Relva robustse kuju ja ehituse põhjuseks ongi aeg, mil see on disainitud. Selline ehitus on töökindel ja lisaks oli relvade tootmine oma lihtsuse tõttu odav. 1964. aastal toodeti üks AK 4 4000 SEK¹ ehk umbes 430 euro eest. [2]

Kuigi rootslaste eesmärgiks oli toota kaasaegsemaid automaattulirelvi nende enda sõjaväe jaoks, pole sel ajal toodetud tulirelvad tänapäeval enam kaasaegsed. AK 4 mass on tänapäeva sõjapidamise jaoks liiga suur- selle mass modifitseeritult, see tähendab et koos täis salvega ja sihikuga, on 6,6 kilogrammi. [1] Selline relva mass on mõistlik toe pealt laskmiseks, kuid mitte jalaväelasele igapäevaselt terve päeva vältel kaasas kandmiseks. Lisaks pole võimalik ilma lisatoeta lasta nii massika relvaga täpselt.

Teine faktor, mis mõjutab suuresti lasketäpsust, on kaba pikkus. Standardse AK 4 relvakaba on liiga pikk, mistõttu on sellega ebamugav joosta või käia pikemaid vahemaid, mis on aga jalaväelastele

¹ SEK- Rootsi kroon, rahaühik Rootsis

kohane. Lisaks sellele takistab liiga pikk kaba kiiresti laskeasendi võtmist, mistõttu on raskendatud taktikalistes olukordades kiiresti relva õlga ja õlast ära võtmine. Selline takistus võib aga sõjaolukorras saada saatuslikuks.

1.2 Automaatrelv Galil AR



Joonis 2. Teine kaitseväge ajateenistujate teenistusrelvadest Galil AR [1]

Galil AR ehk pikemalt kirjutatult Galil assault rifle tootmisega alustati sarnasel ajastul, mil AK 4-ga. Selle päritolumaaks nagu eelpool mainitud, on Iisrael. Disainitud on Galil Soome relva M62 järgi, mis omakorda on tehtud Venemaa päritoluga AK-47 järgi. Siiski on Galili erinevus selles, et padrunit on väiksema mõõduga kui M62 või AK-47 padrunit. Sarnaselt AK 4 kujuga, on ka Galili kuju robustne. Robustne disain muudab ka selle relva töökindlaks. [3]

Nagu AK 4 puhul, on ka Galili puhul sellise kasutuse juures nagu seda vajatakse suureks miinuseks relva mass. Ilma salveta on see pea 4 kilogrammi, 50 padrunitise salve juures aga juba 5 kilogrammi. [1] Lisades eelnevale veel ka sihiku ja granaadiheitja, suureneb mass veel umbes 2 kilogrammi võrra. Selline mass muudab relva jalaväelase jaoks liiga raskeks ning samuti saab sellest häiritud ka lasketäpsus.

Erinevalt AK 4 salvest, kuhu mahub 20 padrunit, on Galil varustatud nii 35 kui ka 50 padrunitise salvaga. [1] 50 padrunitiline salv on oma ehituselt küll kaarja kujuga, kuid sellegipoolest on see väga pikk, mille kohta naljatlevalt öeldakse ka, et seda saab kasutada Galili tugijalana. [4] Siiski pole see faktor relva juures olulise tähtsusega.

Üks sarnasus kahel ajateenistuse relval on nende pikkus. Galil on lühem kui AK 4, kuid sellegipoolest on kaba liiga pikk. Arvestades veel selga minevat killuvesti, on sarnaselt AK 4-ga ajateenistujal väga ebamugav taktikalistes olukordades kiiresti relva õlga panna ja seda sealt ära võtta. Liiga pikk kaba muudab selle toimingu kohmakaks.

Galil AR puhul on segavaks faktoriks ka relva kabaraud, mis on valmistatud metallist. See kipub relva õlga pannes libisema, mis segab jällegi relva kiiret õlgapanemist.

Samas on Galilil ka AK 4 ees üks eelis. Selle kaba tagaosas on võimalik kokku voltida, tänu millele väheneb relva pikkus 25 sentimeetrit (vt joonis 3). [1] Kuigi selline lisafunktsioon on positiivne, tekitab see relvale lisaks ühe võimaliku ohuallika. Nimelt kipuvad sellised kinnitused ajapikku logisema ning pikema aja vältel polegi võimalik enam kaba kokkuvoltimise funktsiooni kasutada, vaid tuleb kasutada kaba täies pikkuses. Siiski kasutatakse kaba kokkuvoltimise funktsiooni eelkõige kohtades, kus on vaja veidi väiksemate mõõtmetega relva. Kokkuvoltimise juures on positiivne ka see, et säilib relva kasutamise võimalus. See tähendab, et voltimine pole mõeldud vaid mõõtmete vähendamiseks kaasas kandmisel, vaid selle juures säilib relva lahingvalmidus.



Joonis 3. Galil AR relvakaba tagaosas kokkuvolditult [5]

1.3 Lahendatavad probleemid

Peamised probleemid mõlema relva juures on nende relvade mass ja pikkus. Relva massi tuntavaks vähendamiseks oleks vaja disainida relvadele täielikult uued kabad või kaaluda relvakabade valmistamisel teisi materjale.

Olles teostanud mõlema relva põhjaliku analüüsi, selgub et mõlemale relvale reguleeritava kabasüsteemi tegemine osutuks liialt ajakulukaks. Seda relvade kujuerinevuste ning kaba tagaosas kinnitusmehhanismi tõttu. Lisaks ei ole võimalik relvade kaba uut disaini teha täies mõõdus, sest

see nõuaks relvasüsteemi väga põhjalikku analüüsi relvade komplitseeritud ehituse tõttu. Seetõttu keskendun enda lõputöös Galil AR relvakaba tagaosa ergonoomilisemaks muutmisele, mis on abiks nii relva pikkuse reguleerimisel, kui ka loodetavasti natuke massi vähendamisel.

Uut relvakaba tagaosa disainides püüab autor säilitada kaba senise vastupidavuse või seda uue süsteemiga parandada. Võetakse arvesse relva senist robustset disaini ning fakti, et relv peab vastu pidama ka erinevast suunast saadavatele löökidele. Hoolimata põsetoe lisamisest, püütakse pikkuse regulatsiooniga parandada ka häiritust taktikalistes olukordades relvaga kiiresti tegutseda. Lisaks tehakse uuele süsteemile relva kabaraua mitte metallist vaid kummist, et takistada selle libisemist õlga seatud kohapealt.

2. NÄITED SARNASTEST TÖÖDEST

Varasemalt sarnasel teemal valminud töid antud töö autoril leida ei õnnestunud. Küll aga tuuakse võrdluseks välja mõned näited reguleeritavatest tulirelva kabasüsteemidest. Reguleeritava süsteemi puhul on kõige tähtsam, et reguleerimissüsteem ei muudaks kaba disaini liiga keerukaks. Lisaks ei tohi see tekitada kabale liiga palju pisidetaile, mis võivad selle muuta kergesti purunevaks. Samas peab uuenduslik süsteem andma kabale lisaväärtuse, kas siis väiksema massi näol või muudetavate parameetrite näol.

2.1 Moodultehnoloogia

Moodultehnoloogia või mooduldisain kujutab endast meetodit, kus süsteem või projekt on jagatud väiksemateks osadeks ehk segmentideks. Funktsionaalsuse saab süsteem, kui kõik segmentid on üheks süsteemiks kokku pandud. Mooduldisaini iseloomustavad väiksemad osad, mis tavaliselt disainitakse ja valmistatakse eraldi, kuid sellegipoolest on neid võimalik kasutada erinevates süsteemides ja tihti ka erineva funktsionaalsusega. [6]

2.2 Moodultehnoloogia laskesuusatamises

Väga hea näide mooduldisainist on rootslasest laskesuusataja Victor Olssoni relva kaba(joonis 4).



Joonis 4. Näide mooduldisainist laskesuusatamises

Olssoni relva põhiosa, ehk skeleti moodustab pildil halli värvi olev osa. Skelett omakorda koosneb viiest erinevast osast- kabaraud, põsetoe kinnitusraud, kabarauda, põsetoe kinnitust ja kaba esiosa ühendav osa, kaba esiosa kuni salvedeni ja lisaks eelnevale veel ka salvede kinnitusavad. Kõik osad on 3D prinditud vastavate mudelite järgi. Relva skeleti materjaliks on titaanium. Selleks, et saavutada relva kasutusmugavus, on ülejäänud osadele antud kindel kuju. Need osad on pildil nähtavad sinise värvusega- kabaraua konksud, põsetugi, käepide, püstilaskmise toekoht ning lamadeslaskmise toekoht. Võimalikult täpse kuju saavutamiseks on tehtud sportlase enda käe järgi savivorm. Savivorm 3D skännitakse ning pärast seda 3D prinditakse. Lisadetaile teiste relvakabade puhul kasutada ei saa, küll aga on võimalik kasutada titaaniumist skeletti, sest see on disainitud selliselt, et on võimalik kaba pikkust muuta. Kuigi kabal on väga palju pisidetaile, mis kukkumise või löögi saamise korral võivad kergelt puruneda, on sellise disaini eeliseks tõsiasi, et ükskõik millise detaili purunemise korral pole vaja välja vahetada kogu kaba või ühte suurt detaili. Piisab vaid purunenud detaili või relvaosa väljavahetamisest.

2.3 Modular Driven Technologies

Hea näide moodultehnoloogiast on ka Ameerika Ühendriikide firma MDT¹, mis valmistab relvakabasid taktikalistele täpsusrelvadele ja jahirelvadele(joonis 5).



Joonis 5. Firma MDT moodultehnoloogial valmistatud relvakaba [7]

Relvakaba koosneb luku all olevast osast, toru all olevast osast ehk kaba esiosast, käepidemest, põsetoest ning õlatoest. Luku all olev osa on igal relval kindlate mõõtmetega ning seda pole võimalik teiste relvade puhul kasutada. Küll aga on võimalik teiste relvade tarbeks kasutada kõiki teisi osasid. Lisaks pole ka sellel relvakabal vaja kindla kabaosa purunemise korral välja vahetada tervet kaba,

¹ MDT- Modular Driven Technologies

piisab vaid purunenud detaili väljavahetamisest. Selliselt valmistatud relvakabad on mugavad, sest peaaegu iga võimalik osa relvast on reguleeritav vastavalt laskja vajadustele. Lisaks sellele on võimalik kõik relva spetsiifikast mitteolenevad osad panna kaba külge vastavalt meeldimisele ja vajadustele.

Süsteemi välimust ja materjalide paksust arvestades peaks antud kaba olema väga vastupidav. Siiski on kaba tagumises osas väga palju väikeseid disainielemente, mille purunemise tõenäosus erinevast suunast löökide saamisel on suur. Firma keskendumise tõttu täpsus- ja jahirelvadele ei ole võimalik neilt kahjuks soetada relvakabasid automaattulirelvadele. Lisaks võib arvata, et selliselt disainitud relvakaba tagumine osa võib olla Kaitseväetenistuse jaoks liialt detailne ning purunemisohtlik. Relvale lisatavad või selle muudetavad detailid on välja toodud töö osas Lisa 1.

2.4 XLR Industries

Kuigi moodulsüsteemide valmistajaid on palju, toon enda töös vaid kolm näidet. Lisaks MDT-le valmistab moodulkabasid ka teine Ameerika Ühendriikide firma XLR Industries. XLR spetsialiseerub samuti taktikaliste täpsusrelvade kabade valmistamisele, kuid kabasid valmistavad nad ka jahirelvadele(joonis 6).



Joonis 6. XLR valmistatud relvakaba täpsusrelva Remington 700 tarbeks [8]

Esmapilgul tundub antud süsteem vastupidavam kui MDT valmistatud kaba, kuna on robustsena ehitusega ning vähem on pisdetaile, mis võiks olla purunemisohtlikud. Kaba tagumise osa detailid on valmistatud nii torualumiiniumist kui ka plastikust. Torualumiinium on kerge, kuid samas vastupidav. Plastikust on valmistatud põsetugi, sest materjal on soodsam ning sellise kujuga põsetugi annab ka plastiku abil piisava tugevuse. Plastik on kaetud pehmedava vahuga. Kaba esiosa on lihtsama disainiga kui MDT firma süsteemil. Konstruktsioonilt aga on XLR süsteemi esiosa õhem ja seetõttu ka kergem. Esimese osa peale toetub ka relvatoru ning lukusüsteem, mis muudavad esiosa tunduvalt jäigemaks. Seetõttu on relvakaba esimene osa vähem purunemisohtlik kui tagumine.



Joonis 7. XLR valmistatud süsinikkiust relvakaba täpsusrelva Remington 700 tarbeks [9]

XLR-i tootevalikus on ka süsinikkiust valmistatud kabasid(joonis 7). Siiski on süsinikkiust valmistatud vaid kaba esimene osa, tagumine osa on samuti alumiiniumst ja plastikust. Põsetuge oleks võimalik küll valmistada süsinikkiust, kuid pigem on pehmem materjal põsetoe puhul parem, sest see summutab ka veidi lasu ajal tekkivat tagasilööki. Sarnasel põhjusel pole süsinikkiust valmistatud ka relvakaba tagaosas. Materjal viiks suure hulga tagasilöögil tekkivast jõust otse õlga. Alumiiniumtorud aga toimivad amortiseerivalt.

Süsinikkiud annab kaba esimesele osale lisaks jäikusele ja kergusele ka parema korrosioonikindluse. Kuigi süsinikkiul on eelis parema elastsusmooduli ja tugevuse osas, on sellest materjalist valmistatud detailid haprad ning purunemise korral seda tihti parandada pole võimalik. Näited XLR Industries poolt toodetavatest detailidest on nähtavad töö osas Lisa 2.

XLR Industries valmistatud kabade disain on küll vastupidavam kui teises näites toodud firma MDT disain, kuid sarnaselt MDT-le, ei valmista ka XLR Industries relvakabasid automaattulirelvadele. Seetõttu pole võimalik ka neilt seda tüüpi kabasüsteeme soetada.

3. 3D MODELLEERIMINE

Enamik kaitseväge relvade kabadest on kokku pandud selliselt, et süsteemis olevaid detaile on väga raske muuta. Samas muudab jäik ja robustne süsteem ajateenistujate tulirelva vastupidavamaks kui reguleeritavate osadega tulirelv oleks. Relvakaba väga spetsiifiliste detailide tõttu on muutmise võimalikkus ainult relvakaba tagumisel osal (vt joonis 8), mille juures tuleb jääda truuks vaid kinnitussüsteemile, et see sobiks kokku teiste relvaosadega.



Joonis 8. Galil AR relva tagaosa on modifitseeritav, tuleb vaid säilitada kinnitused [10]

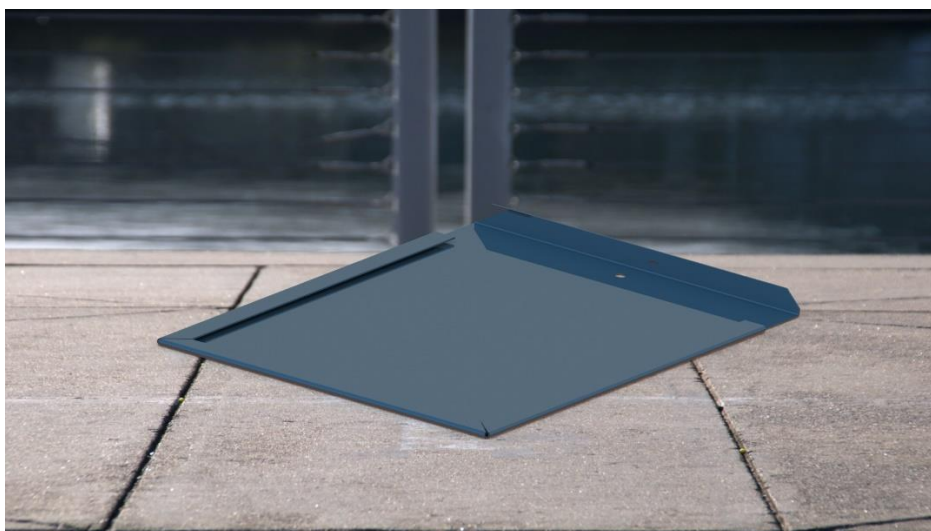
Muutmise vajalikkus ongi tegelikult vaid relvakaba tagumisel osal, sest see mõjutab kõige rohkem relva pikkust ning selle külge on kinnitatud tavaliselt ka põsetugi. Galil AR-il põsetuge standardses kabasüsteemis kaasas ei ole. Kindel põsetugi aga annab ühe tugipunkti lisaks, mis aitab kaasa lasketäpsusele. Lisaks toimiks pehmemast materjalist põsetugi ka alumiiniumist efektiivsemalt tagasilöögi summutajana. Seetõttu olen enda mudeli loomisel arvestanud, et kaba tagaosas võiks olla ka reguleeritava kõrgusega põsetugi. Lisaks põsetoele võiks kaba pikkus olla reguleeritav. Hetkel on kaba tagumine ots valmistatud torualumiiniumist. Autor plaanib kasutada ka enda mudelis torualumiiniumit. Terasest kasutamise puhul läheks relva mass suureks, samas ei võidaks piisaval määral vastupidavusnäitajate osas. Süsinikkiu kasutamise puhul oleks relva mass küll tunduvalt väiksem, kui alumiiniumit kasutades, kuid süsinikkiust tootmine oleks liialt kallis ning lisaks sellele on süsinikkiud sellise kasutusala jaoks liiga habras. Modifitseeritakse loodava süsteemi puhul vaid Galil AR-i volditavast kinnitusest tahapoole jäävat osa relva kabast. Mudeli loomisel püütakse säilitada võimalikult palju kaba tagumise osa originaalset kuju.

3.1 SolidWorks

Olles ülikooliõpingutes kokku puutunud ning praktikal käies kasutanud programmi SolidWorks, otsustas autor enda lõputöö idee ellu viia samuti eelpool mainitud programmi abil. SolidWorks pakub selle kasutajale väga palju erinevat tüüpi disainifunktsioone. Kuigi programmi tööpõhimõte on tegelikult väga lihtne, võib sellest esmaselt olla keeruline aru saada. Programmi täieliku kasutusfunktsionaalsuse ära õppimine võtab aega kuid, kui mitte aastaid. Sellegipoolest on programmi põhitõdede õppimine lihtsam kui mõnes teises modelleerimisprogrammis. Näiteks programmis AutoCAD. SolidWorks pakub lihtsaid lahendusi ja lahendamisvõimalusi, tänu programmi võimekale funktsionaalsusele. Tänu funktsionaalsusele väheneb disainimise aeg, mille abil väheneb disainimise maksumus. Samas aitavad programmi lahendused parandada disainimise üldist kvaliteeti. [11]

SolidWorksi programmis mudelite valmistamisel on tähtsaim osa esialgsel joonisel, mis programmis on funktsiooni nime all „Sketch“. Oluline on algne joonis seetõttu, et kõiki järgnevaid funktsioone kasutatakse eelnevalt valmistatud joonise põhjal. Kui alguses joonises on vead, ei lase programm koostada ka detailist mudelit. SolidWorks annab veateate ning mõningate vigade puhul viitab ka tehtavale veale.

Kuigi võiks arvata, et programmis tuleb valmis teha kogu detaili ruumiline joonis, on enne detaili modelleerimist valmistatav joonis tegelikult tihti väga algeline. Kõik detailile tehtavad lõiked, avad, ning näiteks ka faasid tehakse detailile pärast seda, kui joonisest on juba valminud 3D mudel. Näiteks on võimalik SolidWorksi programmi abil tavalisest, kindlate mõõtmetega ristküliku joonisest valmistada funktsioonide grupi „Sheet Metal“ abil selline bussigraafiku kinnitamise alus(joonis 9).



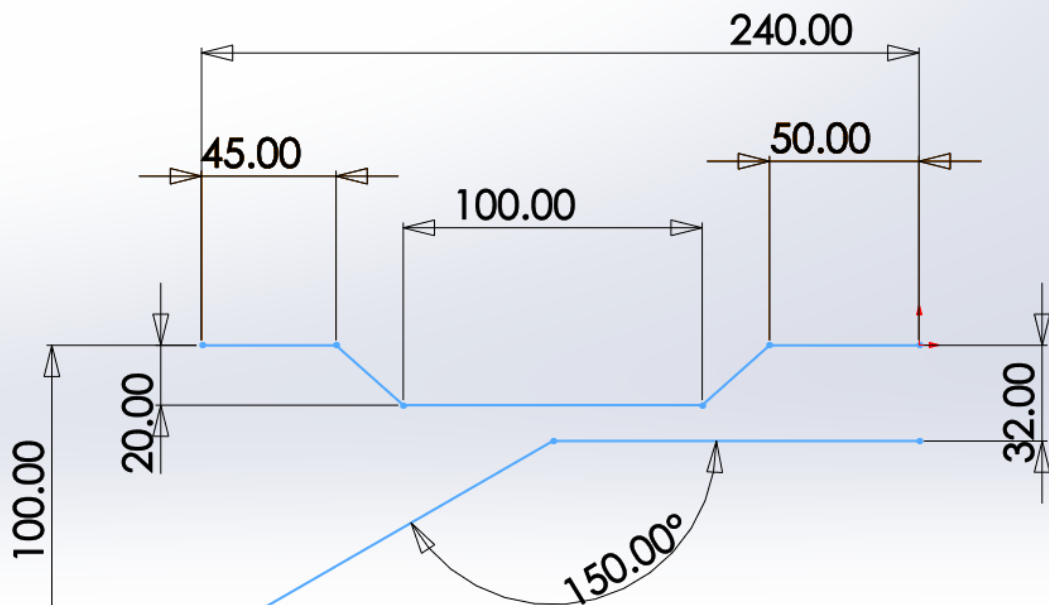
Joonis 9. SolidWorks programmis renderdatud 3D mudel bussigraafikute alusest

Kui programmis on algne 3D mudel valminud, on järgmiseks etapiks kõigi lõigete kohta mudelile jooniste tegemine. Pärast seda lõigatakse vajaliku funktsiooni abil mudelist joonisel kujutatud osa ette määratud sügavusega. Viimase etapina antakse detailile viimistlus. See tähendab kõikide faaside ja pinnaviimistluste määramist programmis. Siiski pole alati mõistlik lõikeid teha viimasena. Mõningatel detailidel on võimalik ka avade ja väljalõigete kohad määrata kohe esialgsel joonisel. Näiteks ümardetailidel või teistel sümmeetrilistel detailidel.

Kuigi programmis on funktsioonide kasutamise järjekord üpris kindlaks määratud, on võimalik siiski ühte detaili modelleerida mitmel erineval moel. Peamiselt sõltub modelleerimise tüüp sellest, kuidas on otsustanud autor teha esialgse joonise. Mitmeid detaile on võimalik erinevate funktsioonide, näiteks peegeldamise või ringmusteri abil valmistada palju lihtsamalt ja väiksema ajakuluga.

3.2 Esmane idee

3D mudeli valmistamiseks on esmalt vaja ideed toote disainist. Autori esimene idee oli teha Galil AR relvakaba samuti alumiiniumtorudest ning väga sarnase kujuga, nagu seda on standartne kaba. Reguleerimissüsteem pidi tulema kohe pärast kaba tagaosas kinnitust esiosa külge toruühenduse abil. Kogu kuju erinevus seisnes vaid ülemise toru keskosas, mis pidi põsetoe jaoks olema võrreldes originaalsüsteemiga veidi madalam.

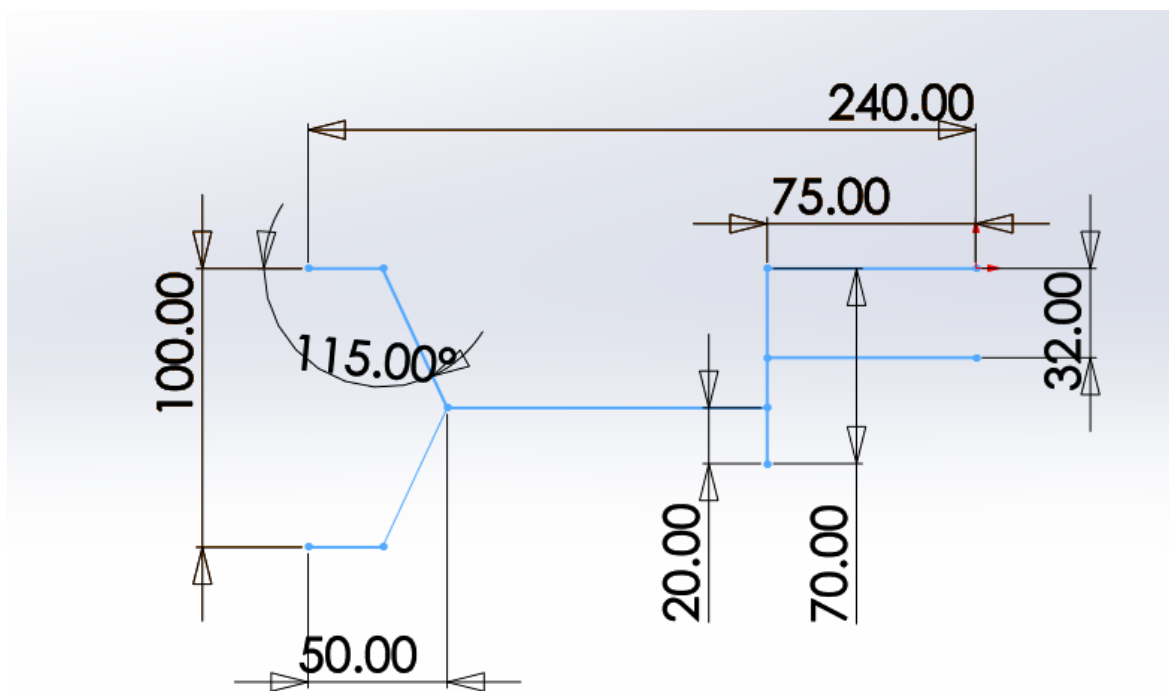


Joonis 10. Esialgne joonis kaba torudest

Sellise algidee järgi toimides selgus aga õige pea, et kui tahta säilitada Galil AR kaba tagaosa voltimisfunktsioon, pole võimalik teha reguleeritavat osa kohe kaba tagaosa algusesse. Seda põhjusel, et regulatsioonifunktsioon oleks jäänud sellisel juhul väga lühikeseks ning see poleks andnud piisavat efektiivsust. Lisaks oleks olnud keeruline teha põsetoe kõrguse reguleerimiseks vajalikku süsteemi. Selliselt oleks see küll olnud võimalik, kuid sellisel juhul oleks tulnud kas vaid üks kinnitus mõlema toru külge, või kaks kinnitust ülemise toru külge. Sellised kinnitusviisid poleks olnud aga piisava tugevusega Kaitseväe ajateenistujate tarbeks.

3.3 Teine idee

Teine idee oli teha relvakaba pikkuse reguleerimiseks vajalik süsteem ühe toru abil, mis oleks esimese osa külge kinnitunud stopperklambri abil. Klamber omakorda oleks kinnitunud eespool olevate torude külge, mis omakorda oleks pidanud kinnituma kaba voltimissüsteemi külge.



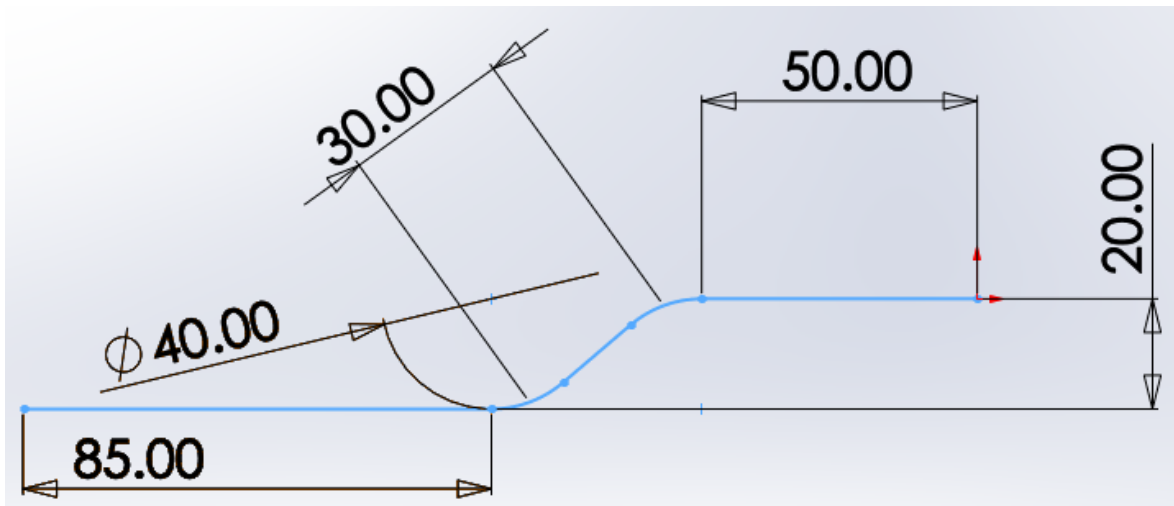
Joonis 11. Teine idee kaba torudest pikkuse reguleerimiseks

Ka sellise süsteemiga tekkisid õige pea komplikatsioonid. Reguleerimise teekond oleks küll olnud pikem kui esialgsel ideel, kuid küsimus tekkis põsetoe kinnitustega. Esiteks oli raske mahutada kahte põsetoe kinnitust selliselt, et nad ei jääks segama pikkuse reguleerimise süsteemi. Teiseks kui teha põsetoe kinnitused joonisel keskmise toru tagaosale, oleks need tulnud liiga lähestikku ja liiga pikad, mis seadis küsimuse alla nende vastupidavuse. Jõuti järeldusele, et ka sellisele variandile tuleb leida alternatiivne lahendus.

Vasakpoolse toru läbimõõt aga on väiksem, et mahtuda parempoolse osa toru sisse. Tänu sellele on võimalik reguleerida süsteemi kogupikkust.

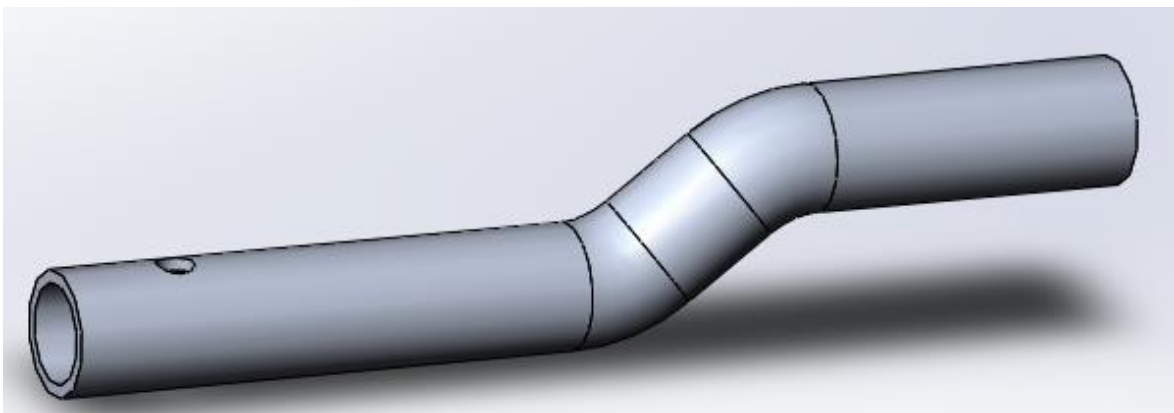
3.5.1 Struktuurielemendid

Kõigi ülejäänud detailide aluseks on relvakaba tagaosal nii-öelda toruskelett. Need moodustavad alusstruktuuri, mille ümber on võimalik hakata looma lisaosadest koosnevat süsteemi.



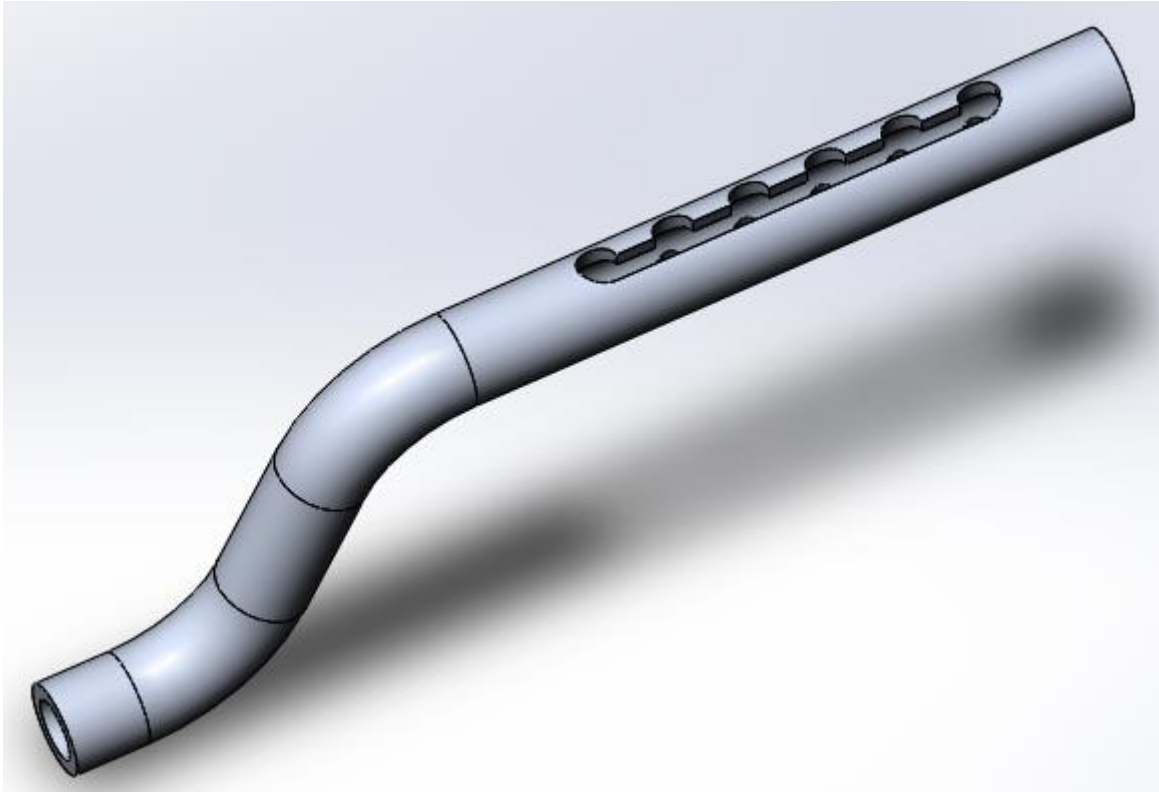
Joonis 13. Programmis Solidworks loodud skelett toru mudeli valmistamiseks

Torust 3D mudeli saamiseks tuleb skeletile lisada läbimõõt ja anda materjalile paksus. Selleks kasutab autor programmis Solidworks funktsiooni „Swept Boss/Base“. Torude piisava tugevuse saavutamiseks kasutatakse kõigi torude puhul materjaliks alumiiniumit. Kaalumisel oli ka plastiku, eelkõige nailoni PA 6 kasutamise võimalus, kuid selle tugevusnäitajad on veidi kehvemad kui alumiiniumil ja lisaks pole ka saadav kaaluvõit suur. Seetõttu ei olnud mõtet riskida nailoni kasutamisega.

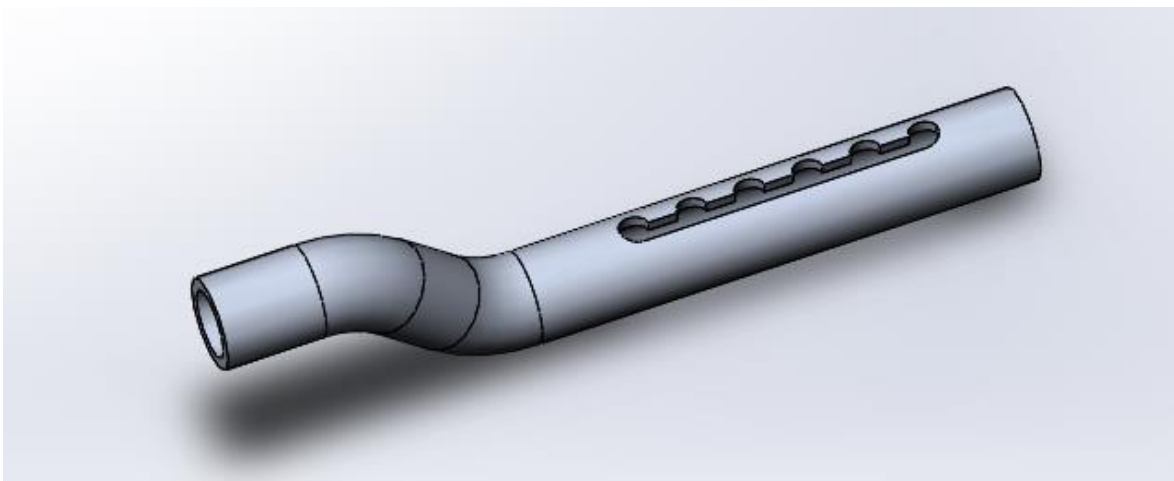


Joonis 14. Skeleti abil loodud 3D mudel torust

Kaba parempoolsete torude 3D mudel(joonis 14) kujutab nii toru, kui kinnitussüsteemi jaoks vajaminevat auku. Põhjusel, et nii ülemine kui ka alumine parempoolne toru on täpselt samasuguse kujuga, erinevus vaid torude läbimõõdus, pole põhjust mõlemast torust eraldi joonist lisada. Süsteemi vasakpoolsete torude mahtumiseks parempoolsete torude sisse, on seatud vasakpoolsete torude läbimõõt parempoolsete torude paksuse võrra väiksemaks.



Joonis 15. Mudel süsteemi alumisest vasakpoolsest torust

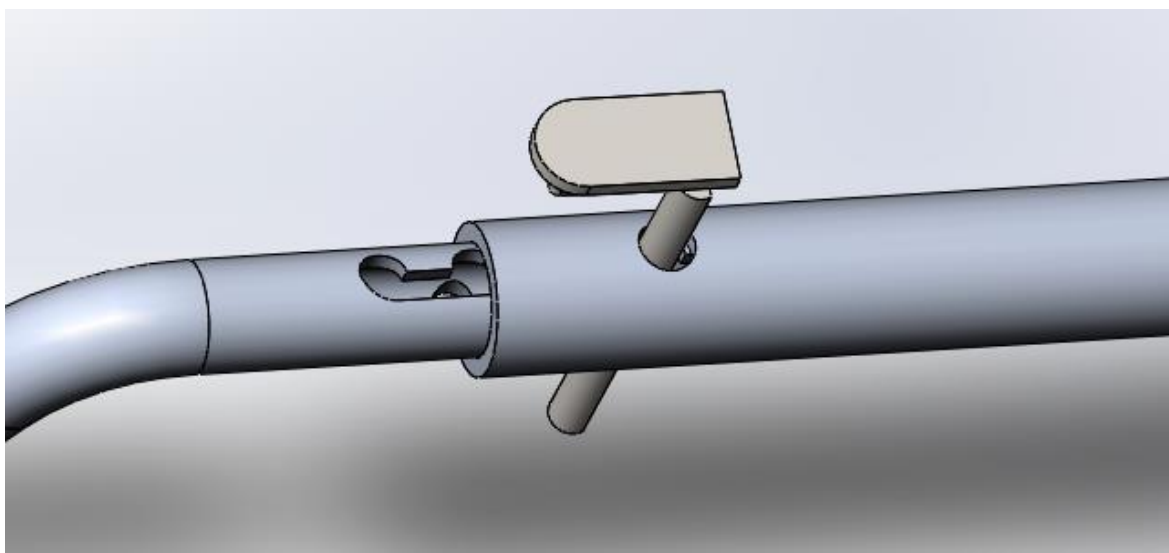


Joonis 16. Mudel süsteemi ülemisest vasakpoolsest torust

3.5.2 Kaba pikkuse reguleerimissüsteem

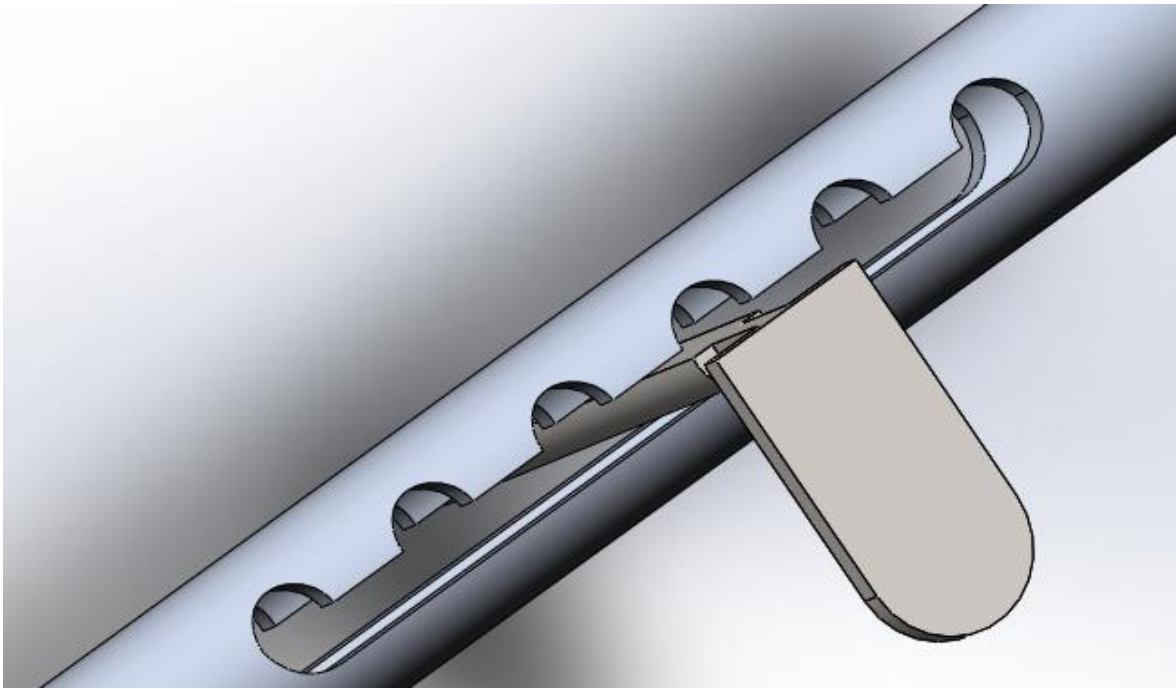
Esiatselt oli plaanitud pikkuse reguleerimiseks vajalik süsteem teha nii-öelda hammastega. Sisemisele torule tehakse kindla suurusega augud sarnase kujuga, nagu on hammasrattal. Välimise toru peal on stopper, mille surve on suunatud toru poole ning mille otsas on hammas, mis läheb süsteemi liikumise takistamiseks sisemise toru hammastesse. Sellise reguleerimissüsteemiga tekkis aga küsimus, kuidas teha stopper mõlemale torule korraga. Vastasel juhul oleks muutunud pikkuse reguleerimine kahe toru eraldi reguleerimisega liialt tülikaks.

Eelpool olevatelt joonistelt on näha lisaks süsteemi vasakpoolsetele torudele endile ka pikkuse reguleerimiseks kasutatav süsteem. Kui vasakpoolsele torule lisada parempoolne toru, mis tuleb selle ümber, kattuvad pealmiste torude aukude kohad sisemiste torude augukohtadega. Selle abil on võimalik lihtsa mehhanismi abil muuta relva tagaosaga pikkust.



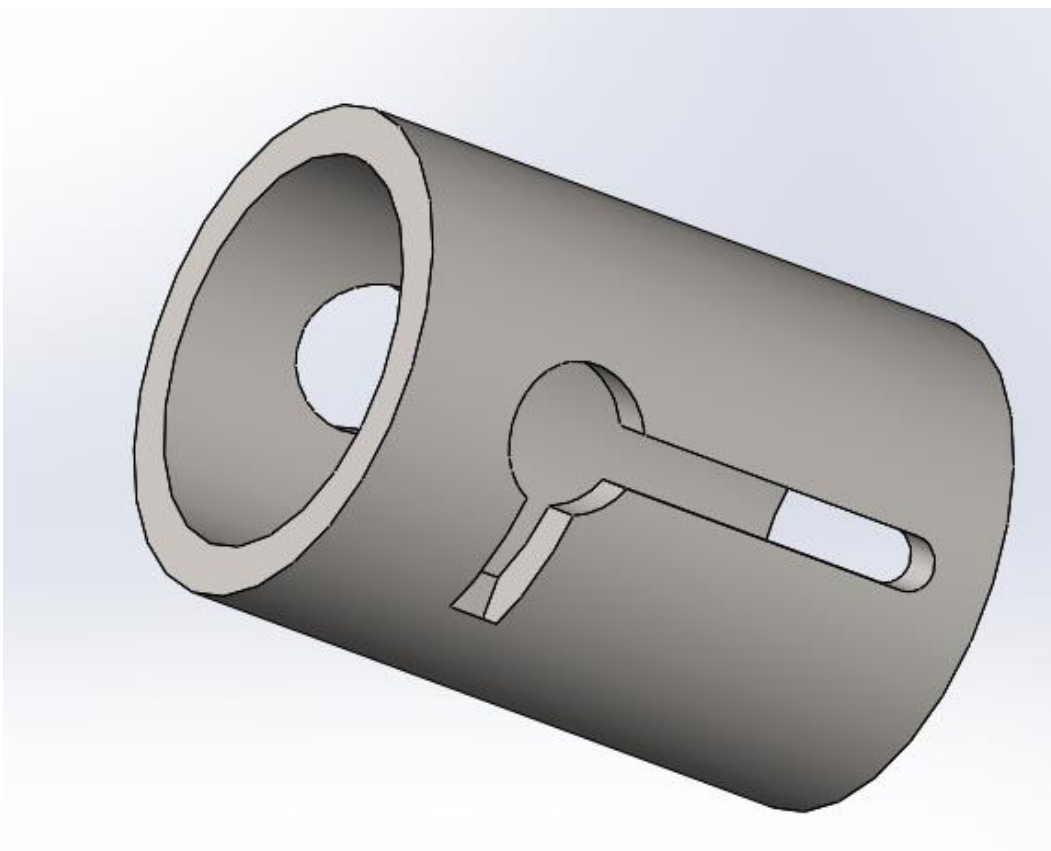
Joonis 17. Pikkuse muutumist takistava stopperi mudel

Torude liikumist takistav stopper on tehtud läbi mõlema- nii ülemise kui alumise toru. Kui stopper on pildil näidatud asendis, on süsteem kindla pikkusega kinnitatud. Stopper läbib nii pealmise toru auku, kui ka sisemise toru poolkaari. Tänu stopperi enda poolkaare kujule, saab seda täisnurga võrra pöörates keerata stopperi sisemise toru soonde, mille abil on võimalik pikkust jälle muuta. Eelnevat lauset iseloomustab ka järgnev joonis.

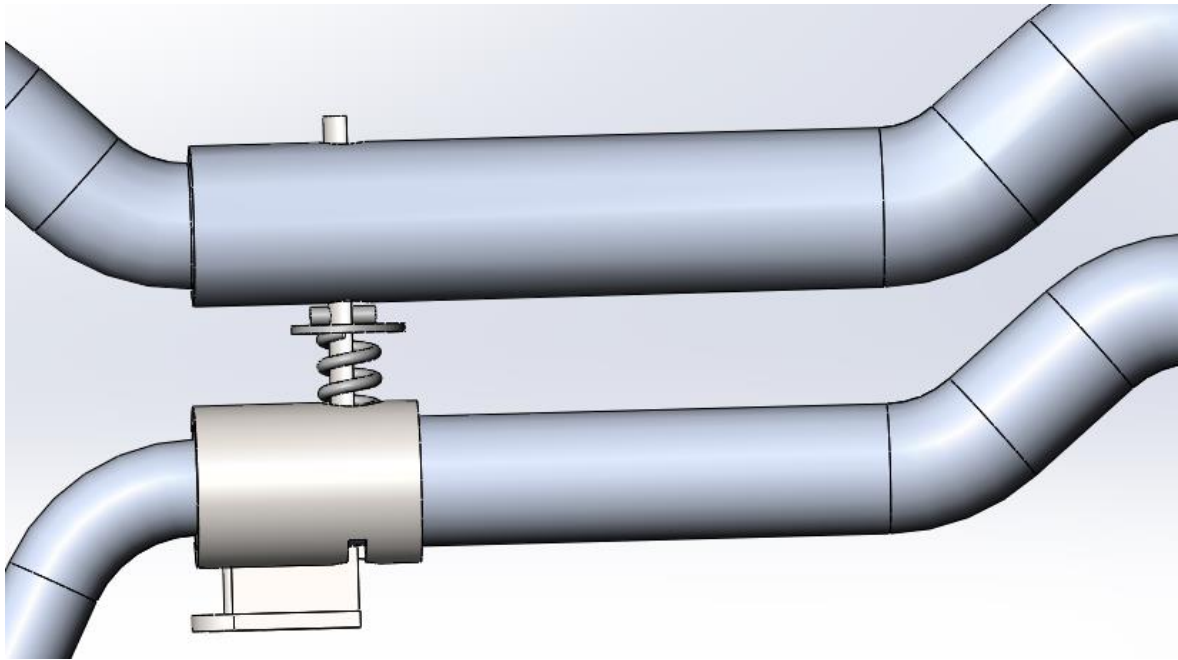


Joonis 18. Stopperi liikumine soones

Stopperi asendite fikseerimiseks kasutatakse ümber alumise parempoolse toru minevat klambrit, millele on tehtud stopperi asenditele vastavatesse kohtadesse sisselõiked.



Joonis 19. Stopperi asendite fikseerimiseks vajaliku toruklambri mudel

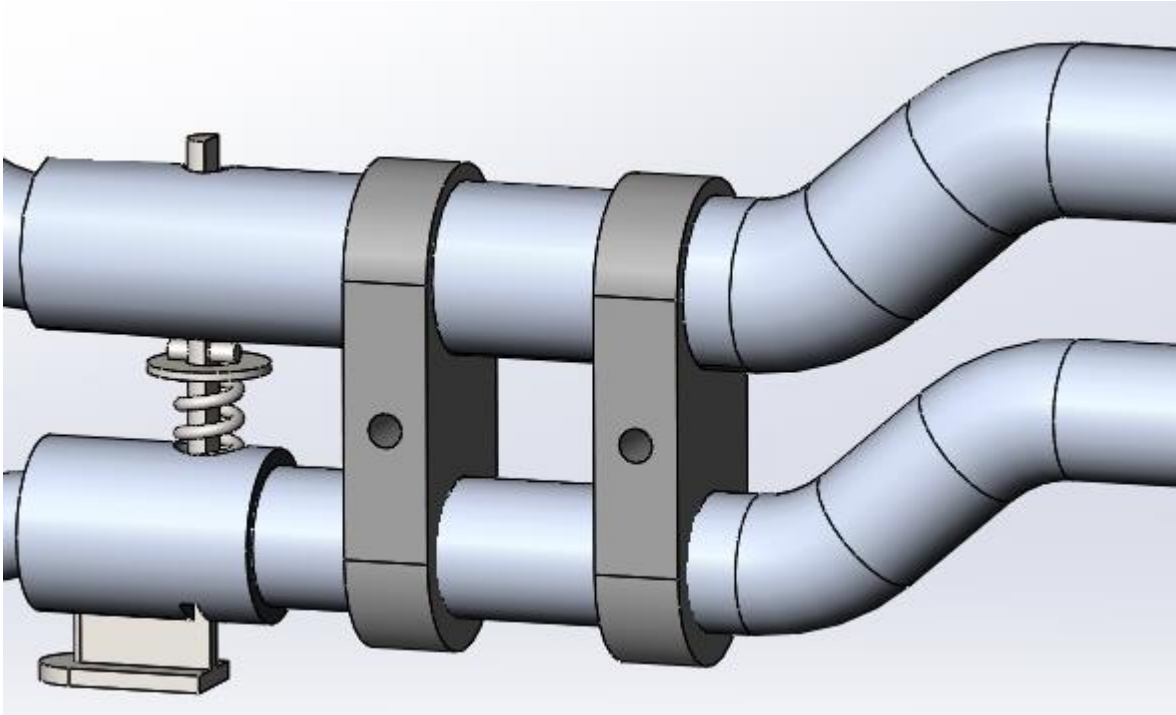


Joonis 20. Pikkuse reguleerimiseks vajaliku fiksaatori mudel

Stopper läbib nii ülemist kui alumist toru. Kuna stopper on süsteemis suunaga allapoole, takistab selle väljakukkumist avadest kahe toru vahel olev vedru, mida omakorda takistab selle kohal olev splint. Vedru üks ots kinnitub ümber toru oleva klambri vastu, millele on tehtud spetsiaalne tasapind. Teine ots kinnitub vastu seibi, mille asukoht on fikseeritud läbi stopperi oleva splindi abil. Kui tõmmata stopperist, lüheneb vedru ning stopperil on võimalik liikuda allapoole. Tänu sellele on võimalik keerata stopperit täisnurga võrra ning muuta tagaosa pikkust.

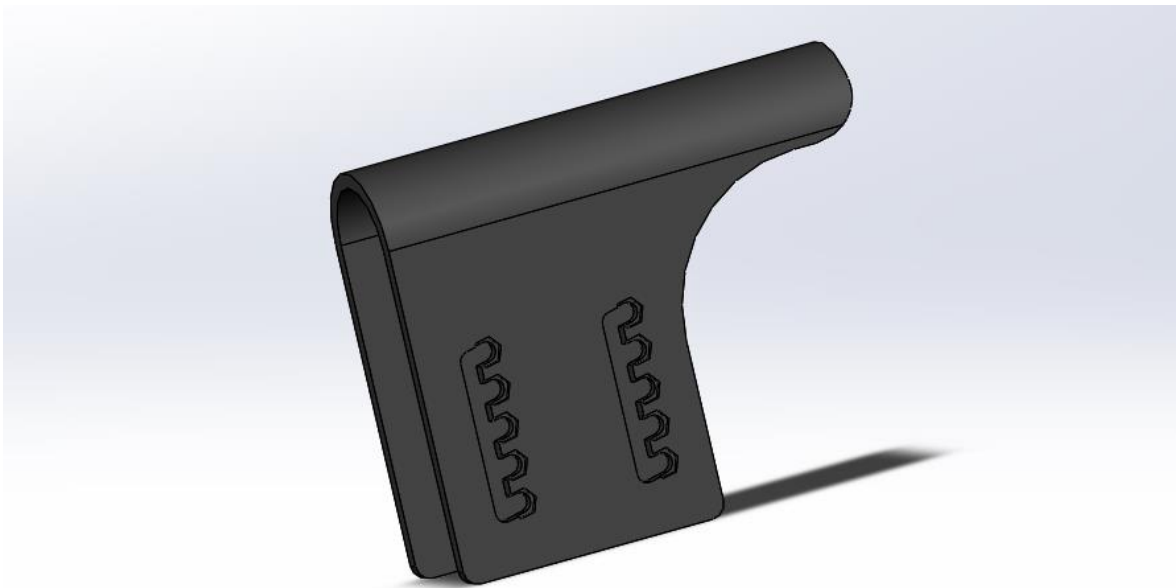
3.5.3 Põsetugi

Teades, et põsetugi peab olema robustne ja töökindel, otsustasin selle teha raskesti puruneva kujuga. Põsetugi on üle pealmise toru ning kinnitustega kahe toru vahele. Selleks, et toe kõrgus oleks ühes tasapinnas, tuli sellele kinnitusi teha kaks. Kinnitussüsteem koosneb torude vahel olevatest fiksaatoritest, millest läheb läbi polt ja otsast kinnitatakse mutriga. Poltidena on kasutusel liblikpoldid, et süsteemi kasutamiseks poleks vaja abivahendeid. Vältimaks mutrite ringi käimist koos poldiga, on mutritele tehtud millimeetri sügavused sisselõiked kinnitustasapinda. Põsetoe tagumine klamber on abiks ka torude ühes sihis hoidmisel. See tähendab, et tagumist toruklambrit läbivad ka tagumised torud. Toruklamber aga ei lase neil toru ristisihis väänduda. Klambrid on nähtavad joonisel 21.



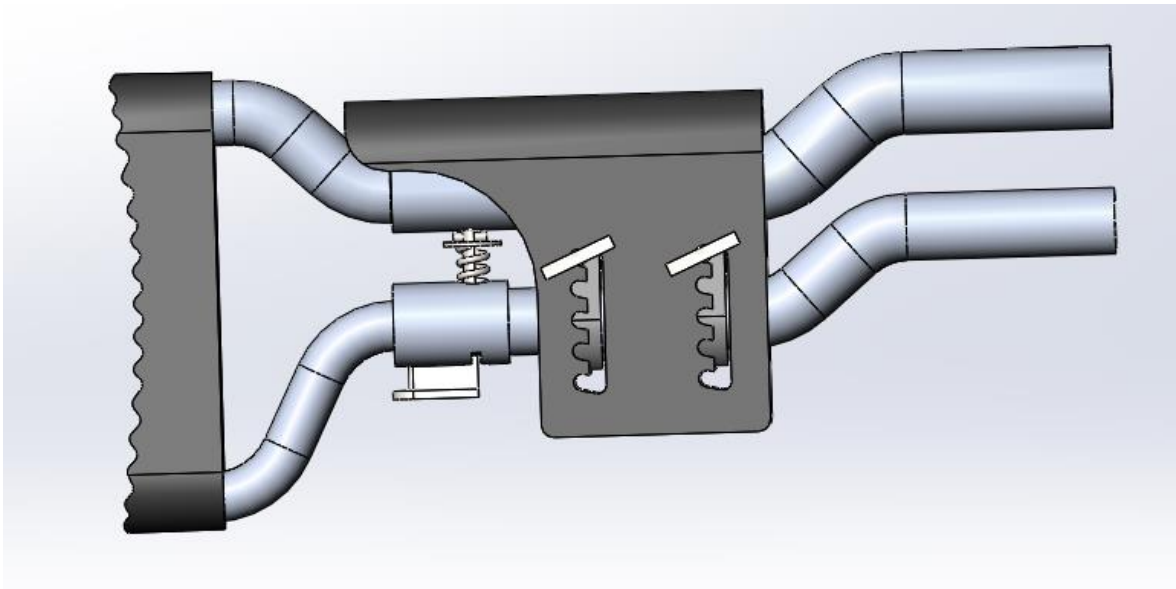
Joonis 21. Põsetoe kinnitamiseks vajalike toruklambrite mudel

Põsetoe kuju on disainitud selliselt, et süsteem oleks kasutatav nii parema kui vasakukäelistele. Samas annab selline disain ka tugevduse torude süsteemile ning mingil määral ka kaitse löökide eest. Lisaks kaitseb põsetugi vähesel määral ka pikkuse reguleerimise stopperit. Kuna pikkuse reguleerimise stopper ja selle ava on ülevalt poolt lahtine ning sealt on võimalik pääseda kogu süsteemi nii okstel, mullal kui ka teistel kõrvalistel esemetel, on väga hea, et põsetugi selle osa ära katab (vt joonis 23).



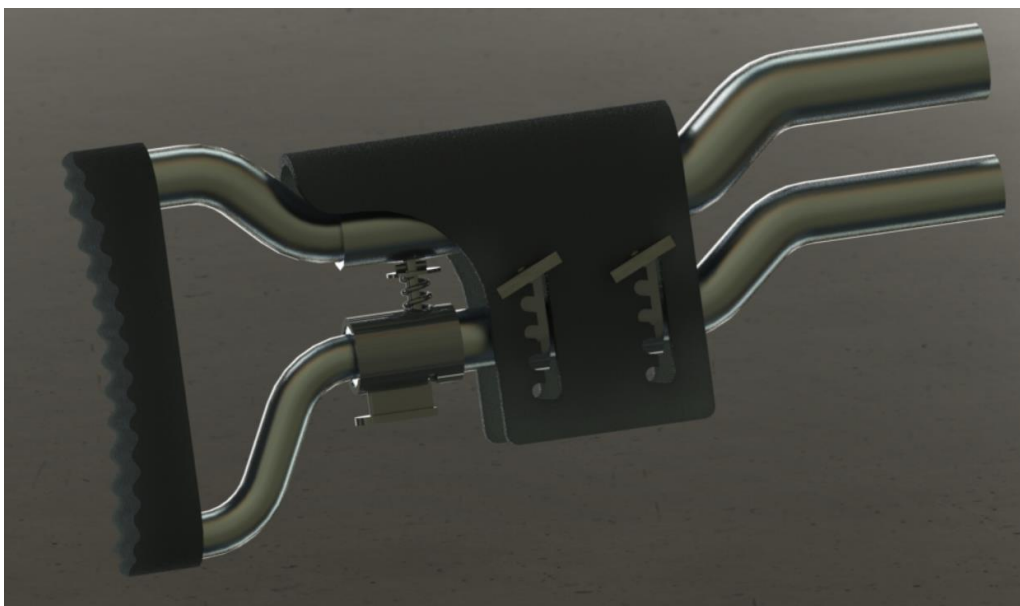
Joonis 22. Põsetoe mudel

3.6 Lõplik mudel



Joonis 23. Reguleeritava relvakaba mudel

Relvakaba tagaosaga lõplik mudel osutus peaaegu sama robustseks nagu seda on originaalsel Galil AR relval. Mõõtmete poolest on võimalik kaba teha sama pikaks nagu see on standardrelval. Samas on võimalik seda teha ka lühemaks ning pikemaks. Reguleeritav põsetugi on võimalik samuti asetada samale kõrgusele, nagu seda on standardselt kaba tagaosas ülemine alumiiniumtoru. Jooniselt on näha, et seda on võimalik liigutada ka madalamale ja kõrgemale. Tavaliselt on probleemiks liiga madal põsetugi, seega kõrgemale reguleerimiseks on valikuid rohkem kui madalamale reguleerimiseks.



Joonis 24. Lõplik renderdus relvakaba tagaosast

Lõpliku renderduse jooniselt on näha kõigi detailide kuju selliselt nagu nad peaksid ideaalis tulema ka reaalselt koostu kokku panemisel. Materjalide värvused võivad küll taustast ja valgusest ning lisaks SolidWorksi materjali välimusest sõltuda. Siiski on lõpliku renderduse pilt suuresti tõese väljanägemisega.

3.7 Materjalide valik

Süsteemile materjalide valimine on keerukas ülesanne, sest pole täpselt teada, millistele parameetritele süsteem vastama peab. Lööke, painutusi või vääned võib süsteemile tekkida erinevatest positsioonidest ja erinevale süsteemi osale. Materjalide valikul lähtuti detaili tugevusvajadustest, tema positsioonist koostu suhtes ning tema funktsioonist. Materjalide valimiseks koostati tabel erinevatest võimalustest (vt Tabel 1). Tabelisse lisati astmeliselt, milline on materjalide hind, kuid täpseid hindasid polnud võimalik tuvastada, sest tegemist on erinevate materjali- või toorikukujudega.

Tabel 1. Erinevate materjali mehaanilised tugevusnäitajad ja hind

Materjal Omadus	Süsinikkomposiit, mitme- suunaline [12]	Alumiinium, 6061-O [13]	Teras, S355 [14]	Nailon PA 6 [15]	2.klassi Titaanium [16]
Löögisitkus, J	N/A	N/A	40	36.2	115
Tõmbetugevus, MPa	4137	124	600	110	228
Voolepiir, MPa	4470	55.2	345	142	140
Tihedus, g/cm³	1.81	2.70	7.80	1.13	4.51
Elastsusmoodul, GPa	242	68.9	210	13	110
Hind	Kõrge	Madal	Keskmine	Madal	Kõrge

Kaba tagaosa materjalid tuleb valida selliselt, et need ka Kaitseväge ajateenistujate ülesandeid täites oleksid piisavalt vastupidavad. Purunemisohtu pole kunagi võimalik täielikult vältida, kuid seda on võimalik vähendada. Eelnevalt mainiti juba, et süsteemis olevate torude materjaliks valiti alumiinium. Seda põhjusel, et alumiinium on piisavalt kerge ja piisavalt vastupidav, et taluda venitusi, painutusi ja väändumisi. Kõigele eelnevale lisaks on alumiiniumi hind võrreldes näiteks titaaniumiga, väga odav. Ilmselt poleks titaaniumist torudel eriti suurt mõtet, sest ka alumiinium on selliseks tarbeks piisava tugevusega. Lisaks on torudesüsteemi tugevdamiseks S355 terasest põsetoe klambrid, mis omakorda aitavad vältida torudele kahjustuste tekkimist. Sel põhjusel tehti ka klambrite materjalivalik tugevama materjali kasuks. Lisaks surve, mis tuleb põsetoe kinnituspoldilt kinnitusklambri. Hinnapoolest on teras küll kallim kui alumiinium, kuid samal ajal on tema tugevusnäitajad ka tunduvalt paremad.

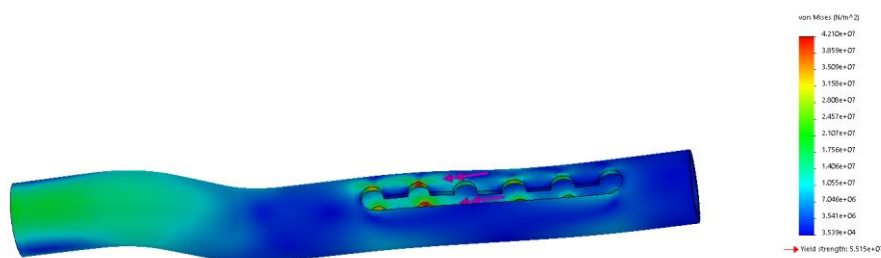
Pikkuse reguleerimise stopperi kinnitusklambri materjali valikul lähtuti eelkõige sellest, et antud klambri ei tule mitte mingit survet. Lisaks on tema asukoht selline, et löökide saamise oht on väike. Seetõttu oleks mõistlik valida selle materjaliks justnimelt plastik, mis on kerge, kuid võimalike löökide saamisel ka piisavalt tugev.

Lisaks stopperi kinnitusklambri valisin ka veel põsetoe materjaliks plastiku. Selle paksuse juures vastavalt 3 millimeetrit, peaks põsetugi olema piisavalt tugev, et taluda nii kinnitustelt tulevat survet põse peale toetamisel, kui ka erinevaid lööke. Idee oli teha põsetugi ka süsinikkomposiit materjalist, kuid kuna süsinikkomposiit on tuntud enda jäikuse poolest, ei summutaks põsetugi nii palju tagasilööki, kui seda teeb plastikust põsetugi. Lisaks ei leidnud ma infot selle kohta, milline on süsinikkomposiidi löögitugevus, kuid isiklike kogemuste põhjal tean, et ristisihis selle löögitugevus hea ei ole, mistõttu võib juhtuda, et põsetugi oleks liiga habras. Relva kabaraua, mis originaalsel Galil AR-il on metallist, tegin tagasilöögi paremaks amortiseerimiseks kummist.

Ülejäänud detailid- mutrid, pikkuse reguleerimissüsteemi stopperi, liblikpoldid põsetoe reguleerimiseks, vedru ja seibi materjaliks valiti teras, et vältida kindlalt nende purunemist või läbi paindumist. Pärast sellist materjalide koguvalikut tuli süsteemi massiks 354 grammi, mis autori arvates on arvestades materjalide paksusi, süsteemi pikkust ja üldist suurust väga hea tulemus.

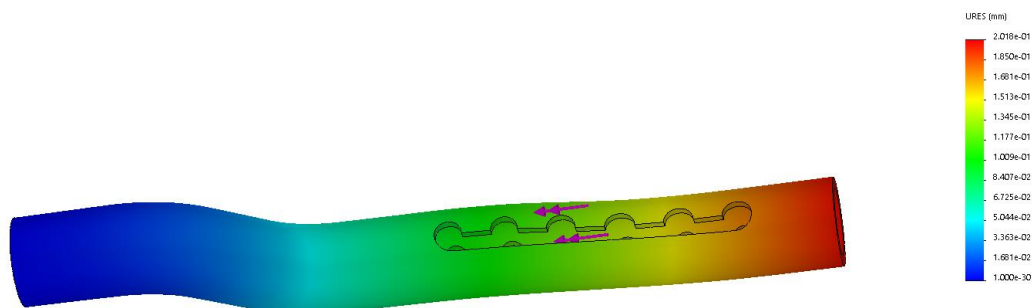
3.8 Tugevusanalüüs

Kuigi laskmise juures sõltub nii inimese laskeasendist kui ka relvakäsitsemisest, millistele kohtadele langeb relva tagaosas surve, on siiski võimalik mingil määral määrata, kas detail on piisavalt tugev kindla jõu rakendamisel. Selle analüüsimiseks kasutan SolidWorks programmis funktsiooni FEM analysis, mille abil saan mudelile teha selle materjali teades staatilise tugevusanalüüsi. Valisin analüüsi tegemiseks mõlemad sisemised tagumised torud, millele langeb surve laskmise ajal, kui relv toetatakse õlga.



Joonis 25. Ülemisele vasakpoolsele torule tehtud FEM analüüs

Analüüsil on detailile rakendatud violetsete nooltega näidatud kohas ja suunas jõudu 300 N, mis on umbes 30 kg. Sellise jõu rakendamisel näitab tugevusanalüüs, et kõige nõrgemad kohad detailis on kohe jõu rakendamise koha juures, märgitud punasega (vt joonis 25). Tänu faktile, et torusid on kaks ning rakendatav jõud jääb samaks, võib arvata, et detailil peaks olema suur tugevusvaru.



Joonis 26. Deformatsioon tugevusanalüüsi põhjal

Joonisel 26 on näha, milline oleks detaili deformatsioon 300 N jõu rakendamisel violetse noolega näidatud punkti. Täielikult see joonis usutav pole, sest selle kohaselt on detail kinnitatud parempoolsest otsast. Deformatsiooni joonise põhjal on jõu rakendamise punktis deformatsioon 0.1 millimeetrit, mis on väga hea näitaja. Kahe toru kasutamisel ilmselt deformatsiooni ei eksisteeri.

3.9 Süsteemi osade tootmine

Kuigi selle lõputöö raames pole autoril plaanis süsteemi ega süsteemi osasid toota ning süsteemi ennast valmis ehitada, pakub autor välja mõned tootmisprotsessid.

Alumiiniumtorude valmistamiseks on mõistlik kasutada torude painutamist, sest selline meetod on kiire ning odav. Tänu sellele on võimalik valmistada detaile suure efektiivsusega. Põsetoe valmistamiseks plastikust oleks kõige mõistlikum lõigata lehest välja detaili kuju ning seda termiliselt painutada. Ka selle detaili juures on oluline hind ja töö tegemise kiirus. Teine võimalus põsetugede valmistamiseks on survevalu vormimine. See aga eeldab, et on varasemalt ettevalmistatud survevalu vorm, mistõttu on mõistlikum esimene välja pakutud variant.

4. VÕIMALUSED EDASISEKS ARENDUSEKS

Hoolimata sellest, et kaba tagaosasüsteem on disainitud ja suure tõenäosusega täidab enda eesmärgipärast tööülesannet, on olemas võimalusi edasiarendusteks, tänu millele oleks võimalik saada süsteemi töökindlamaks, kergemaks või veel ergonoomilisemaks.

4.1 Kinnituse universaliseerimine

Hetkel on disainitud süsteem kasutuskõlblik vaid Kaitseväge ajateenistusrelva Galil AR jaoks. Üks edasiarendamise võimalustest oleks teha kaba tagaosale universaalne kinnitus või adapter, tänu millele oleks võimalik süsteemi kasutada ka teist tüüpi relvade puhul.

4.2 Amortisaatori implementeerimine

Kuigi automaattulirelvadel AK 4 ja Galil AR pole tagasilööki eriti tugev ning nende relvade jaoks pole otsest amortisaatorit vaja, võib tulevikuvärsioonidel antud relvakaba tagaosast seda vaja minna. Edasiarenduse puhul teistele, näiteks suurema kaliibriga relvadele oleks väga hea kui disainile suudetaks lisada amortisaator, mis vähendaks tagasilööki.

4.3 Integreerimine ammule

Arendamisvõimalus on ka kabasüsteemi disainimine selliselt, et antud süsteemi oleks võimalik integreerida ka ammupüssile. Kuigi ammuksabad valmistatakse tavaliselt ühes tükis, tehti seda kunagi ka tulirelvade puhul, mis ei välista, et kunagi oleks võimalik sellist kaba tagaosasüsteemi kasutada ka ambude puhul.

4.4 Massi vähendamine

Olenemata sellest, et tegelikult saadi ka selle töö raames relvakaba tagaosasüsteemi kogumass mõistlikus suurusjärgus, on kindlasti võimalik arendada süsteemi veel paremaks ja optimaalsemaks. Seda näiteks kasutades kindlaid tugevusarvutusi, tänu millele on võimalik määrata, kui tugevaid materjale mingi süsteemi osa jaoks täpselt vaja läheb. Hetkel on süsteemile materjalid määratud selliselt, et vältida kindlasti võimalikku purunemist. Lisaks on võimalik teha ka täpseid katseid erinevast suunast löökidega, et näha, kas kaba on piisavalt vastupidav kõigiks väljakutseteks, mis võivad süsteemi Kaitseväge ajateenistuses oodata.

4.5 Rohkem reguleerimise võimalusi

Praegune relva tagaosa reguleerimisel töötab kaba pikkuse reguleerimine nii lühemaks kui pikemaks. Lisaks sellele on võimalik reguleerida ka põsetoe kõrgust nii madalamaks kui kõrgemaks. Siiski on reguleerimise vahemik pikkuse reguleerimisel 55 millimeetrit ning põsetoe kõrguse reguleerimisel 34 millimeetrit. Kuigi sellised vahemikud peaksid olema piisavad, on kindlasti võimalusi edasisteks arendusteks. Eelkõige on võimalik süsteemi muuta kasutajasõbralikumaks. Kuigi ka praeguse süsteemi puhul pole reguleerimiseks vaja abivahendeid, on hetkel kõige kehvemaks osaks disaini juures liblikpoldid, ümber mille on võimalik takerduda taimedel või nõõridel ja traatidel. Materjali jämeduse tõttu neil ilmselt murdumise ohtu ei ole. Siiski on kõik väljaulatuvad detailid süsteemile pigem kahjuks kui kasuks. Põsetoe reguleerimine kõrgemale ja madalamale on küll tavaliselt põhiprobleemiks, kuid sellegipoolest võib probleemiks olla ka põsetoe asend. Põsetoe puhul oleks võimalik arendada nii selle edasi-tagasi liikumist relvakaba tagaosa suhtes, kui ka selle asendi muutmist ja fikseerimist erineva nurga all.

4.6 Efektivsem fikseerimissüsteem

Üheks võimaluseks pikkuse reguleerimisel kaba tagaosa puhul võiks kasutada meetodit, mille puhul oleks võimalik reguleerida pikkust ükskõik millisesse asendisse. Hetkel on kasutusel astmetega regulatsioon, kuid tulevikus võiks süsteem töötada näiteks keerme abil.

KOKKUVÕTE

Käesolev lõputöö räägib Eesti Kaitseväge ajateenistuses kasutusel oleva automaattulirelva Galil AR-i relvakaba puuduste analüüsimisest, uuendusliku ja universaalse süsteemi disainimisest ja modelleerimisest.

Lõputöö esimeses peatükis pööratakse tähelepanu mõlemale ajateenistuses kasutusel olevale automaattulirelvale-vastavalt AK 4 ja Galil AR. Analüüsitakse eelkõige mõlema relva kabasid, nende kasutajasõbralikkust ja töökindlust taktikalistes lahingolukordades. Lisaks tuuakse mõlema kaba puhul välja probleemid, mis vajavad parandamist ning kirjeldatakse detailsemalt problemaatilisi kabaosaid, mille lahendamisele hakatakse antud lõputöös edasiselt tähelepanu pöörama.

Teises peatükis toob autor näiteid sarnaselt lahendatud relvakabadest. Lisaks on kirjeldatud teises peatükis moodultechnoloogiat ja selle tähtsust relvakabade disainimisel. Näiteid moodultechnoloogiast tuuakse nii spordialalt, kus on väga oluliselt kohal laskmine, kui ka täpsuslaskmisest ning jahilaskmisest.

Kolmanda peatüki läbiv teema on uuendusliku relvakaba disainimine ja modelleerimine. Selles peatükis kirjeldatakse esmalt modelleerimiseks ja tugevusanalüüsiks kasutatavat programmi SolidWorks ning selle tööpõhimõtteid. Autor toob välja esialgsed ideed süsteemi disainimisel, nende puudused ning põhjused, miks selline disain ei osutunud valikuks. Parima idee järgi loodava mudeli koostamisest antakse detailne ülevaade, et oleks näha modelleerimise protsess ning süsteemi tööpõhimõtte. Kolmanda peatüki lõpus kirjeldatakse lühidalt süsteemi materjalide valikut, tehakse koostu tähtsamatele osadele tugevusanalüüs ning selgitatakse selle tulemusi. Viimase osana antakse lühiülevaade süsteemi osade tootmisvalikutest.

Neljandas ehk viimases peatükis toob töö autor välja võimalusi edasistest arendusteks ning pöörab tähelepanu disainitud süsteemi puudujääkidele või kitsaskohtadele.

Lõputöö tulemusena valmis Galil AR automaattulirelva kaba tagaosa reguleeritav süsteem. Reguleerimine toimib nii pikkuse reguleerimisel kui ka põsetoe kõrguse reguleerimisel astmeliselt. Autori valitud materjalide puhul saavutati relvakaba tagaosa kogumassiks 354 grammi, mis on küll arvatust raskem, kuid selline mass saavutati materjalide kindlate tugevusvarudega.

Lõpptulemus on autori hinnangul hea. Seda eelkõige põhjusel, et autoril polnud võimalik testida süsteemi osade vastupidavust otseses situatsioonis. Põhjalikumate tugevusanalüüside ning erinevate löögitestide tulemusel oleks võimalik saavutada süsteemile nii optimaalsem mass kui ka

parem efektiivsus löökide talumisel. Lisaks oleks võimalik süsteemi puhul optimeerida reguleerimissüsteeme, mis annaks paremad võimalused saavutada täpne regulatsioon igale invidiidile.

SUMMARY

This Bachelor's Thesis is written about the rifle stock of assault rifle Galil AR which is used by Estonian Defence Forces for the individuals serving time in the army. Thesis focuses on the analysis of shortcomings of the rifle stock. To add to that, it also pays attention on designing and modelling a new universal and innovative rifle stock for the rifle mentioned above.

The first chapter of the research paper turns attention to both rifles- AK 4 and Galil AR, used when serving time in the army. Both rifle stocks are being analysed about their user-friendly features and working efficiency in tactical combat situations. In addition, the problems of both rifle stocks, which are going to be modified during this Thesis, are brought forth.

In the second chapter, the author brings forth similar solutions as it is planned to design for the upcoming rifle stock. Besides that, describes the second chapter modular technology and brings out its importance in rifle stock design. Samples of modular technology are from sports which include shooting, from accuracy shooting and also from target shooting.

The main subject of third chapter is the design and modelling of the innovative rifle stock. The program SolidWorks used for Modelling and FEM analysis are first described. Author brings out initial ideas and their shortcomings. The best idea chosen, makes the author a guide through the design and modelling process. In the end of third chapter the usage of materials is described, besides FEM analysis and the manufacturing process of system parts.

The fourth chapter is about the future developments and possibilities to improve the shortcomings of the designed system.

The result of this Bachelor's Thesis is the adjustable rifle stock of the assault rifle Galil AR. The regulation works with stages for both the length of stock and the height of cheek plate. Weight of the whole system with the materials chosen by the author is 354 grams. This is slightly heavier than expected but these mass properties are achieved with extra strength of the chosen materials.

In spite of a heavier system than expected, author would still rate the results of the work as good. The reason for this result is that the author did not have an opportunity to make all the tests in the environment needed to get adequate strength indicators. With more specific tests and strength analysis the mass properties of the system could be optimized. The system would also be less vulnerable to hits from different directions if it was specifically tested. In addition, the regulation

of stock length and height of cheek plate could be optimized, which would additionally improve the regulation quality and range.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] K. peastaap, „Kaitsevägi,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.mil.ee/et/kaitsevagi/tehnika/relvad>. [Kasutatud 14 Mai 2019].
- [2] O. Janson, „Swedish military assault rifles 1945-1990,“ 6 November 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.gotavapen.se/gota/ak/ak4_5/ak5_history.htm. [Kasutatud 18 Mai 2019].
- [3] „Military today,“ 2006. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.military-today.com/firearms/galil.htm>. [Kasutatud 18 Mai 2019].
- [4] „The Hebrew Hammer,“ 23 Detsember 2014. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://hebrewhammerblog.com/2014/12/23/why-the-galil-failed/>. [Kasutatud 18 Mai 2019].
- [5] „zib-militaria,“ ZIB GmbH, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.zib-militaria.de/epages/61431412.mobile/en_GB/?ViewObjectID=47704177. [Kasutatud 17 Mai 2019].
- [6] Martin, „CLEVERISM,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.cleverism.com/lexicon/modular-design/>. [Kasutatud 17 Mai 2019].
- [7] M. D. Technologies, „MDT,“ 2009. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://mdttac.com/eu_en/about-mdt. [Kasutatud 14 Mai 2019].
- [8] srWorx, „XLR Industries,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://xlrindustries.com/products/element-chassis>. [Kasutatud 15 Mai 2019].
- [9] srWorx, „XLR Industries,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://xlrindustries.com/products/carbon-chassis>. [Kasutatud 15 May 2019].
- [10] Hudson, „Numrich Gun Parts Corporation,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.gunpartscorp.com/products/1591840>. [Kasutatud 14 Mai 2019].
- [11] „Dassault Systemes SolidWorks Corporation,“ 2002. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.solidworks.com/category/3d-cad>. [Kasutatud 18 Mai 2019].

- [12 Matweb, „Matweb,“ 1996. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=7c8a8b22cdb244c5bf9abf5e0045d2a1>. [Kasutatud 17 Mai 2019].
- [13 Matweb, „Matweb,“ 1996. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=626ec8cdca604f1994be4fc2bc6f7f63>. [Kasutatud 17 Mai 2019].
- [14 Matweb, „Matweb,“ 1996. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=805261d90c9a4aee8ff3b08e02661175>. [Kasutatud 17 Mai 2019].
- [15 Matweb, „Matweb,“ 1996. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fb48404b7e04433bb3ee3d2a0af922ff>. [Kasutatud 17 Mai 2019].
- [16 Matweb, „Matweb,“ 1996. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=24293fd5831941ec9fa01dce994973c7>. [Kasutatud 17 Mai 2019].
- [17 M. D. Technologies, „MDT,“ 2009. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
] https://mdttac.com/eu_en/accessories/?p=1&product_list_limit=30. [Kasutatud 17 Mai 2019].
- [18 srWorx, „XLR Industries,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval:
] <https://xlrindustries.com/collections/accessories>. [Kasutatud 17 Mai 2019].

LISAD

Lisa 1 MDT süsteemi koostule lisatavad detailid



SKELETON RIFLE STOCK
ESS MODEL



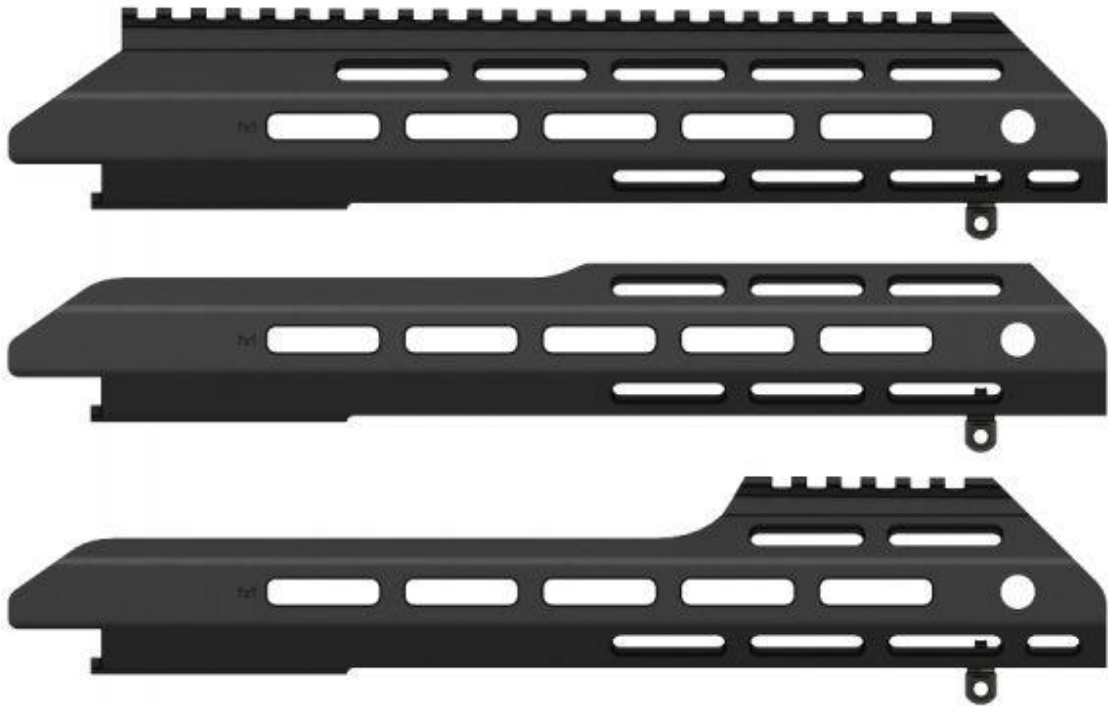
Joonis 27. Süsteemile lisatav kaba tagaosa [17]



ADJUSTABLE
VERTICAL GRIP



Joonis 28. Süsteemile lisatav käepide [17]



Joonis 29. Süsteemile lisatav kaba esiosa erinevad tüübid [17]



Joonis 30. Näide kaba tagaosa kinnitamisest põhiosa külge [17]

Lisa 2 XLR süsteemi koostule lisatavad detailid



Joonis 31. Pehme õlapadi tagasilöögi amortiseerimiseks [18]



Joonis 32. Üks võimalikest pehme pealiskattega põsetugedest [18]



Joonis 33. Üks võimalikest käepidemete valikutest [18]

Lisa 3 Galil AR relva tagaosa mõõtmed



Joonis 34. Relva tagaosa alumise toru läbimõõt



Joonis 35. Relva tagaosa pikkus



Joonis 36. Torude klambri sisse mineva osa mõõt



Joonis 37. Relva tagaosas ülemise toru läbimõõt