



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
MEHAANIKA JA TÖÖSTUSTEHNIIKA INSTITUUT

SELJASKANTAVA LASKEMOONAKOTI INTEGREERIMINE KUULIPILDUJAGA

INTEGRATION OF AMMO BACKPACK AND MACHINE GUN MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Aurel Hints

Üliõpilaskood 192401MATM

Juhendaja: teadur Maarjus Kirs

(Tiitellehe pöördel)

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.

“25” mai 2021

Autor: AUREL HINTS
 / allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 20.....

Juhendaja:
 / allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
 / nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

_____ /

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on _____ /
(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loominguulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

TalTech Mehaanika ja Tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Aurel Hints, 192401MATM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM Tootearendus ja Toomistehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Teadur, Maarjus Kirs, +372 620 3256 (amet, nimi, telefon)
Konsultant: Maarja Karu, militaarrõivaste projektijuht (nimi, amet)
AS Proflin, +372 672 9191, proflin@proflin.ee (ettevõte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) SELJASKANTAVA LASKEMOONAKOTI INTEGRERIMINE
KUULIPILDUJAGA

(inglise keeles) INTEGRATION OF AMMO BACKPACK AND MACHINE GUN

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Koostöös kliendiga disainida lahendus nende probleemile
2. Lahenduse katsetamine ja parendamine
3. Kliendiga koos toote edasiarendamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kliendi soovide ja lähteandmete kogumine	02.2021
2.	Projekteerimine ja prototüüpimine	03.2021
3.	Analüüs ja LEM arvutused	04.2021
4.	Tulemuste formuleerimine	05.2021

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "26" mai 2021a

Üliõpilane: Aurel Hints "25" mai 2021a
/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Maarjus Kirs ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

1	Sissejuhatus	8
2	Moonakottide lahendused	9
2.1	<i>Moonakoti vajadus</i>	9
2.2	<i>Moonakoti idee</i>	10
2.3	<i>Moonakotide taaselustamine.....</i>	12
2.3.1	<i>The Ironman, Ameerika Ühendriigid</i>	12
2.3.2	<i>Alternatiivsed lahendused</i>	13
2.3.3	<i>Lahenduste puudused</i>	16
2.3.4	<i>Lahenduste plussid</i>	17
3	Projekteerimine	19
3.1	<i>Fikseeritud mehaanilised nõuded.....</i>	19
3.2	<i>Määratud parameetrid</i>	21
3.3	<i>Moonarenn</i>	22
3.4	<i>Moonarenni lülide ühendus.....</i>	26
3.5	<i>Moonarenni adapterid</i>	27
3.5.1	<i>Moonakoti adapter.....</i>	28
3.5.2	<i>Relva adapter</i>	28
4	Prototüüpimine.....	30
4.1	<i>Moonarenn</i>	30
4.1.1	<i>Esimene füüsiline mudel</i>	30
4.1.2	<i>Teine füüsiline mudel</i>	31
4.1.3	<i>Kolmas füüsiline mudel</i>	33
4.2	<i>Adapterid</i>	34
4.2.1	<i>Moonakoti adapter.....</i>	34
4.2.2	<i>Relva adapter</i>	34
5	Lõplike elementide meetod.....	35
5.1	<i>Moonarenni lüli LEM.....</i>	36
5.1.1	<i>Moonarenni lüli parameetrid.....</i>	36
5.1.2	<i>Moonarenni lüli deformatsioon.....</i>	36
5.1.3	<i>Moonarenni lüli pinge</i>	37
5.2	<i>Moonakoti adapteri LEM</i>	38
5.2.1	<i>Moonakoti adapteri rajatingimused</i>	38
5.2.2	<i>Moonakoti adapteri deformatsioon</i>	39
5.2.3	<i>Moonakoti adapteri pinge</i>	40
5.3	<i>Relva adapteri LEM.....</i>	42
5.3.1	<i>Relva adapteri rajatingimused</i>	42
5.3.2	<i>Relva adapteri deformatsioon.....</i>	43
5.3.3	<i>Relva adapteri pinge</i>	45

6	Järeldused	46
6.1	<i>Moonarenni disaini etapid.....</i>	46
6.2	<i>LEM arvutused.....</i>	47
6.3	<i>Edasised tegevused.....</i>	48
7	Kokkuvõte	49
8	Summary	50
9	Lisad.....	52

1 SISSEJUHATUS

AS Proflin pöördus TalTech ülikooli poole arendusprojekti sooviga töötada välja laskemoona kandmise süsteem. Moonakandursüsteem ühendab käeshoitava tulirelva koos seljaskantava moonakotiga, mis aitab lasta rohkem moona laadimispausideta. Ettevõtte esindaja soov oli leida täiendust nende poolt valmistatud seljaskantavale moonakotile. Nimelt on puudu koti ja relva vaheline komponent, ehk moonarenn. Sarnased lahendused on juba kasutusel mujal maailmas ning tegu on tõusva trendiga. Olemasolevast moonakotis on vaja juhtida laskemoona kuulipilduritesse MG-3 ja KSP-58. Moonatüüp mõlemal relval on NATO 7.62x51. Moonarenni ahelat peab saama katta hiljem ka riidest materjaliga, et hoida eemal mustust ja samas võimaldada paremat kaitsemaskeeringut. Uue toote esimesteks klientideks on Eesti Kaistevägi ja Eesti Kaitseliit, mistõttu on projekti kõigile osapooltele väga tähtis leida hea ja töökindel lahendus. Väikeriigina on ressursid kaitsetegevusele võrdlemisi väikesed, mistõttu ollakse ka hinnatundlikud, seega väljast sisse ostmine pole hetkel turgu vaadates mõistlik. Lahendus peab olema odav, kuid seejuures kvaliteetne.

Eesti kaitseväge üheks taktikaks on vastase kinni hoidmine, mis tähendab seda, et kaitsepositsioonidel avatakse pidev tuli kuulipildujatega. Kuulipildujad on Eesti kaitseväge raskeimad käsituli relvad, mistõttu on nende tööshoidmisel iga sekund väga oluline. Praeguseini teenindab kuulipildujat kuulipilduja lahingpaar- kuulipildur ja tema abi, kelle ülesanne kuulipildujat lahingtegevuses katta. Kuna sõjategevuse tehnika on arenenud, siis soovib ka Eesti kaitseväge kaasaegsema lahendustega kaasas käia. Moonakott suudab täielikult asendada vajadust relva laadida, mistõttu muutub kuulipildur mobiilsemaks ning vastasele ohtlikumaks.

Probleemi lahendusekäik koosneb kontseptsioonide loomistest, 3D-mudeli tegemisest tarkvaraga SolidWorks ning tehtud mudeli koostöös TalTech laboriga 3D-printimine masinaga Formiga P100, millele järgneb katsetamine ning järeltööstegemine. Koostöös Eesti Kaitseliiduga on võimalus tutvuda kohapeal relvadega ning AS Proflin on taganud näidise seljakotist, kuhu kogu süsteem külge integreeritakse. Samuti on antud mõningad moonakoti näidised, üks korduvkasutatav lint paukmoonaga ja kaks hülssidest koosnevat linti, mis imiteerivad moonaketti teravmoonaga.

Võtmesõnad: moonakandur; moonakott; Eesti kaitseväge; magistritöö

2 MOONAKOTTIDE LAHENDUSED

2.1 MOONAKOTI VAJADUS

Eesti Kaitseväge jalaväejagu koosneb 5...15 liikmest, koosseisu kuulub jaoülem, pooljaoülem, kuulipilduja lahingpaar, tankitõrje lahingpaar, jaosanitar ja laskur. Jao raskeima relvaga on kuulipildur, kes allub jaoülemale ning kelle positsioon lahingtegevuses ja tuleala valik on väga oluline. Ainuüksi heast kuulipildurist ei piisa, et olemasolevatel tingimustel relva teenindada, tal läheb vaja ka kuulipilduri abi, kes tegeleb kuulipilduja katmisega laadimise või tõrgete ajal. Kuigi varasematel aegadel aitas kuulipilduri abi ka kuulipildurit moona tassimisega, siis viimastel aastatel õpetatakse kuulipildureid vastutama täielikult oma moona eest ise. Kuulipildurid kasutavad korduvkasutatavat moonalinti, laadides enda moonaga ja samaaegselt alati kontrollides, et juhuslikult ei oleks näiteks lahingmoonaga imitatsiooni moonaga kokku sattunud. Eesti Kaitseväge ja Eesti Kaitseliidu kasutuses on põhilised kuulipildurid MG-3 ja KSP-58. Neid kahte relva kategoriseeritakse kergekuulipildujateks kuna kaliiber jääb vahemikku 6,5...8 mm. Tööpõhimõte on mõlemal relval sama- peale relva laadimist toimub järgneva padrunit söötmine, relva vinnastamine ja kesta väljaheitmine lasu tagasilöögienergia arvelt. Moonaga söötmine käib vasakult sisse ning tühi hülss ja moonakett heidetakse paremalt poolt välja. Tehniline laske kiirus on 600 kuni 1200 lasku minutis^[1]. Kuulipildurid kannavad ka treeningutel 700 kuni 750 padrunit endaga kaasas. Moon on korduvkasutatavates lintides 50 kaupa ja linnid võivad olla omavahel ühendatud. Vastavalt mugavusele seotakse linnid keha ümber või pannakse rakmete taskutesse. Arvestades, et teravmoonaga puhul on ühe padrunit kaal koos ühendusketi lüluga 30 grammi kanti, siis kuulipilduri võib kanda endaga 22,5 kilogrammi moonaga või rohkem.

Kuulipilduja lahingpaar peab maastikul liikuma ühe üksusena ning üksteist toetama. Kuulipilduja töös hoidmine tähendab seda, et igas sekundis võib relvast kuni 20 padrunit läbida, seega ühest 50 padrunitiga moonalinnist võib jätkuda vähemaks kui kolmeks sekundiks. Uue moonalindi relva laadimise aeg oleneb paljustki kuulipilduri pädevusest, kuid ilmselgelt on lahingolukorras igasugune aeg relva laadimiseks liialt palju, sest see võib maksta kellegi elu, keda töötatud kaitsta.

^[1] <https://mil.ee/kaitsevagi/tehnika/relvad/>

Moonakott ei ole ainult selleks, et moona oleks mugav kaasas kanda, vaid selle töötamise korral ei sõltu kuulipildur enam liialt oma abist, kes on tema esmane kaitse relva tõrgete või laadimise ajal, sest kuulipilduja on vastasele ohtlik relv ning on alati suur sihtmärk. Töötava moonakanduri lahenduse puhul puudub laadimise vajadus, et lasta ära kogu endaga kaasas olev moon moonakotist. Moonarenn aitab eemal hoida mustust, mis maastikul müttamise käigus võib moonalindi vahele sattuda. Moonakotte võib kanda ka mitu jaoliiget ning sedasi saaks kogu jao peale rohkem moona kaasas kanda. Kiirühendusega moonakoti puhul võiks lahingolukorras vähemalt kuulipilduri abi kanda samasugust seljakotti ja ühe moonakotti tühjaks saamisel ühendada lahti moonakott relvast ja ühendada järgmise seljakotiga.

2.2 MOONAKOTI IDEE

Tulirelva söötmine kaasaskantavast konteinerist on olnud mõttes vähemalt sadu aastaid, nii ulme tasemel kui ka reaalsuses. Aasta 1987 filmis „Predator“ (eesti k „Kiskja“) on võitlejate pundis liige, Blain Cooper, kelle käsutuses on käeshoitav kuue vintrauaga pöördkuulipilduja, millel on kaasakantav moonakott ja sealt välja tulev moonarenn^[2]. Filmis kannab relv ka hüüdnime „Old Painless“^[3], (eesti k *Vana valut*). Nimetatud relv kasutab NATO 7.62×51mm padrunit ja selle laskekiirus kuni on 1250 minutis. Kuigi tegemist pooleldi filmirekvisiidiga ettevõttelt Stenbridge Gun Rentals, mis on modifitseeritud General Electric relvast M134, siis relv ja moonarenn kett töötas ka filmimisel. Kuigi legendaarses filmis võis jääda see lahendus kõrvaldetailiks, siis sai sellest uut inspiratsiooni elukutselised sõdurid ja militaarvaldkonna entusiastid.

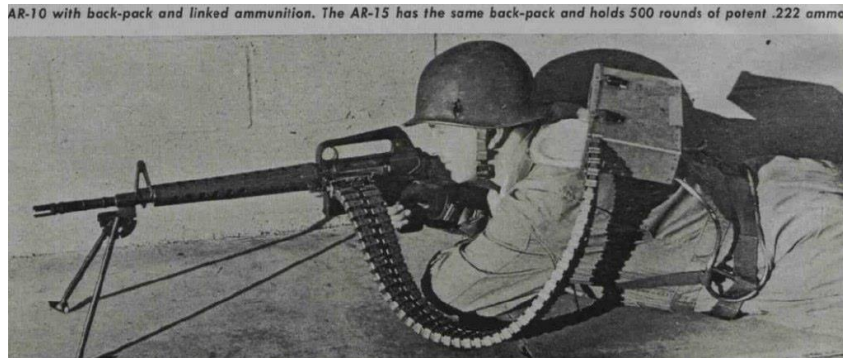


Sele 2.1 Filmi „Predator“ rekvisiitrelv „Old Painless“, mida hoiab vahakuju filmistaarist Arnold Schwarzenegger

[2] <https://www.writeups.org/heavy-weapons-dc-heroes-mutants-masterminds/>

[3] https://avp.fandom.com/wiki/Old_Painless

Reaalses elus esimesed korda arendati sarnaseid moonakotte juba 1950-ndal aastal^[4], kuid toona jäi arendus katki kuna lahendused ei toimunud piisavalt järjekindlalt, et seda laiatarbeliselt müüa. Toodet proovisid disanida relvatootja Armalite oma enda relvadele AR-10 ja AR-15, mis juba toona olid populaarsed relvad. Tänapäevaste AR-10 ja AR-15 mudelid kasutavad samuti NATO 7.62×51mm laskemoona, laskekiirusega kuni 700 minutis.



Sele 2.2 Armalite moonarenni katsetused 1950-ndatel

Võrreldes kuulipildujate laskekiirust moona kaalu ja mahuga, siis on selge see, et moona võiks alati olla rohkem kui seda kaasas jõuab kanda. Kahjuks on pahatihti märulifilmides ja videomängudes moon justkui tekitatud kuskilt mujalt.

[4] <https://www.thefirearmblog.com/blog/2014/10/10/potd-almost-forgotten-ar-10-lmg-ammo-backpack/>

2.3 MOONAKOTIDE TAASELUSTAMINE

2.3.1 The Ironman, Ameerika Ühendriigid

Moonakoti idee taaselustati 2011 aastal, kui Afgaanis olnud sõdurid ehtasid endale ise laskemoonakanddursüsteemi, nad kutsusid seda „The Ironman“ (eesti k *Raudmees*)^[5]. Selle koostamiseks kasutati käesolevat materjale. Esmane prototüüp koosnes plekist moonakastidest, soomukautolt võetud moonarennist ning taktikalisest kotist ja teibist. Nagu ka allpool olevast seelt 2.3 näha, siis inspiratsiooni saadi just „Kiskja“ filmist. Käepärast konseptsiooni testiti ning liiguti ka esimene samm tootmisele, kui tehti 27 esimese seeria komplekti. Üllataval kombel see toimis üpris hästi, sest peale lühikest katsetamisperioodi lasketiirus, julgusid nad seda kasutada ka realses lahingus, õnn oli nende poolel ja prototüübid tegid oma tööd ilusti. Ironman moonakotti peetakse esimeseks omataoliseks just seetõttu, et see töötas lahingus. Tänu sellele sündmusele sai laskemoonakandursüsteemid oma teise tulemise.



Sele 2.3 Iowa rahvuskaartlane kandmas Ironman moonakotti

Selle lahenduse moonarenni pikkus on pisut alla 70 cm, mis on võetud soomussõiduki kaugjuhitava kuulipilduja süsteemilt. Plussiks on moonarenni otsas olevad kiirühendus klambrid, mis võimaldavad lihtsalt relva külge ühendada.

[5] https://www.army.mil/article/67318/ironman_a_game_changer_on_battlefield

2.3.2 Alternatiivsed lahendused

Lisaks eelpoolmainitutele lahendustele on tänaseks töötava lahenduse välja töötanud ka hulga palju teisi ettevõtteid üle maailma. Alljärgnevalt on väljatoodud mõningad populaarsemad lahendused NATO 7.62x51 ja sellele sarnase 7.62x54R moonaja jaoks. Väljatoodud lahendusi võrreldakse eelkõige moonarennide lahendusi, kuna see on kõige kriitilisem komponent kogu süsteemi töötamiseks. Siinkohal tasub mainida, et alljärgnevalt ei ole toodud moonarennid, mis on ehitatud sõjatehnika külge, olgu need paindlikud või jäigad.

Scorpio– Venemaa Spetsnaz

Duralumiiniumist painutatud lülidest koosneva moonarenni on väljatöötanud ettevõtte Front Tactical Systems ning seda Spetsnaz tellimusel. Disaini areng on olnud pikk, kuid praegu on olemas töötav lahendus. Tegu on pealnäha lihtsa lahendusega, mis üllatavalt hästi tundub toimivat. Lahendust võiks kirjeldada kui üksteise sisse käivatest lehtri kujulistest lülidest. Renni pealmine osa on lahtine, mis võimaldab laadimisel kiiremini moonaja läbi renni liigutada. Lülide omavaheline ühenduspunkt on külgedel ja disain võimaldab sõna otseses mõttes põlve otsas vahetada või lisada lüüsid. Moonarenn on mõeldud vene padrunile 7.62x54R ning see suudab kannatada ka 90 kg koormusi^[6]. Vajadusel saab katta moonarenni ka rõivaga. Suurim pluss selle lahenduse puhul on hind, milleks on vaid 750 euro kanti. Tõenäoliselt on disainitud see masstootmiseks ning lahenduse omahind võib olla väga madal kuid seejuures tootmisvõimekus väga suur.



Sele 2.4 Scorpio moonarenn^[7]

[6] <https://shr32.ru/en/parodontologiya/skorpion-v-pomoshch-pulemetchiku-pistolet-pulemet-skorpion/>

[7] https://www.youtube.com/watch?v=P5SF0cOZyIQ&ab_channel=ScorpionMilitaryDefense

M60 Gunner Backpack- Ameerika Ühendriigid

Tootjaks I.W.A.internationalinc, lahenduse põhimõte on sama, mis eelpoolmainitud Scorpio. Erinevuseks on see, et lülid on pikemad ning seetõttu nende koguarv ahelas on väiksem. Lisaks on mõeldud see NATO 7.62x51 moonale. Alloleval sele 2.5 peal on ka näha, et moon ise on moonaketis malesammus, mis tähendab, et ka moonarenn on kõrgem. Olenemata sellest, et disain on väga sarnane Scoripo omale, küsitakse süsteemi eest koguni 2750 euro kanti, mis on kindlasti suureks miinuseks.



Sele 2.5 M60 Gunner Backpack I.W.A.internationalic^[8]

Huron MICO- Ameerika Ühendriikide sõjatööstuses

Toode on tehniliselt palju keerukama moonarenniga, mis on toodetud GSI internationali poolt, kellele kuulub ka sellisele moonarenni patent, pildi lahendusest leiab sele 2.6 pealt. Moonakoti süsteemi kasutab nüüdseks nii Ühendriikide sõjavägi kui NATO liikmed. Huron Mico on ettevõtte TYR Tactical bränd moonakottidele. Moona hoiustatakse süsinikkiust kastis, mis omakorda seljakotti paigutatakse. Hinnaks küsitakse 3350 euro kanti. Kui hind kõrvale jätta on kasutajad olnud peale selle kasutamist väga rahul^[9].

[8] <https://iwainternationalinc.com/shop/predator-packs/>

[9] <https://soldiersystems.net/2014/09/21/us-army-developed-ironman-ammo-pack-costs-more-than-commercial-version-it-emulates/>



Sele 2.6 Huron Mico kasutusel olevmoonarenn, ettevõttelt GSI international^[10]

The Prime ManPack, Isreal

Huron Mico konkurendiks on tootja TMIL systems, kes on kasutanud sama moonarenni tootjalt GSI international^[11], mida kasutab ka TYR Tactical oma Huron sarjas ning mis on näidatud eelpool seel 2.6. Kuna moonakoti lahendused olid liialt sarnased, tekkis kahe ettevahel ka vaidlused. Täpsed asjaolud vaidluse tulemusest on avalikustamata, kuid nüüdsest võib TMIL Systems kodulehelt leida uuema moonarenni lahenduse, mis erineb siiani mainitud toodetest märkimisväärselt. Alljärgnev seel 2.7 pealt on näha, et tegu on plastikust lülidega ning ühenduspunktid on alumisel ja pealmisel pinnal. Tõenäoliselt väikseima tühikaaluga lahendus, mis kaalub vaid 1,5 kg.



[10] <http://www.tyrtactical.com/faqs/product-overview-huron-mico-machine-gunners-assault-pack/>

[11] <https://www.thefirearmblog.com/blog/2016/06/03/tmil-systems-copies-the-tyr-tactical-mico/>

Avenger, Ameerika Ühendriigi merevägi

Alternatiivne lahendus Ironmannile, kuigi ametlikult jõuti sarnasele lahendusele täiesti juhuslikult^[13] on see pealtnäha sama välimusega. Ühendriikide mereväele toodetud moona kandmissüsteemi turult kätte pole võimalik saada. Uue lahendusega vähendati võrreldes Ironman lahendusele kaalu ligi poole võrra, tõsteti moona mahtuvust 650 kuulini ja tootmiskulud viidi 250 euro kanti, mis on peaaegu kümne kordne vahe Ironman lahenduse kulust. Moonarenni toodab ettevõtte BeltFeds.Com, LLC. Selle moonarenni teeb eriliseks kasutatud materjalid. Nimelt on selle puhul kasutatud süsinikkiudu kui ka ülikõrgmolekulaarne polüetüleen (UHMW)^[14]. Siiamaani kõige odavama hinnaga lahendus, kuid jaomüügist seda osta pole võimalik.

2.3.3 Lahenduste puudused

Kogukaal ja laskemoona hulk on olenemata tootjast või lahendusest on moonakandursüsteemi nõrgim koht. Reaalsuses ei saaks üksikvõitleja kanda endaga kaasas lõpmatu arv moona, kuskil tuleb ette kaasaskantava moona maksimaalne koguarv, seda nii oma mõõtmel kui ka kaalult. Üksiku NATO 7.62×51mm padruni kaal on 25,4 g, võrdluseks on aga venelaste 7.62×39mm moona kaal vaid 16,3 g, mis on ligi kolmandiku võrra kergem, mistõttu võiks ka kolmandiku rohkem moona korruga kanda, kuid selle moona energia on kolmandiku võrra madalam^[15], sellest tulenevalt ka lennuomadused on sobilikumad pigem linnalahingus. Lisaks padruni kaalule tuleb arvestada ka moonaketi lüli kaaluga, mis on M13 lüli puhul 4,35 g. Arvestades, et sõdurid kannavad reaalses lahingus kuni 90 kg varustust endaga kaasas^[16], tuleb arvestada, et tegu on elukutseliste sõduritega, kes treenivad ja valmistuvad selliste raskutega liikumisega oma põhitööna. Eesti Kaitseväge varustuse kaalu arvestades, peaks jalaväe sõdur olenemata ilmastikust ja missioonist kandma lahingus seljas vähemalt 11,5 kg, milles kajastuvad vaid riided, kiiver, killuvest, rakmed ja poole liitrine joogipudel. Lisaks sellele tuleb ka kuulipildujatel kanda samas kaalus relva, mis teeb kokku juba 23 kg. Kui arvestada, et keskmisel üksiksõduril ei ole optimaalne kanda lahingus rohkem kui 50 kg,

[12] <http://www.tmil-systems.com/machine-gun-mount/weapon-mount/machine-gun-backpack/>

[13] <https://taskandpurpose.com/military-tech/navy-ammo-backpack-avenger/>

[14] https://www.youtube.com/watch?v=pvBNXW1Rz4E&ab_channel=BeltFeds.Com%2CLLC

[15] <https://thebiggamehuntingblog.com/7-62x39-vs-308-vs-7-62x54r/>

[16] <https://www.popularmechanics.com/military/research/a25644619/soldier-weight/>

siis jääb kandevõimet moonakandursüsteemile koos moonaga 27kg. Kui süsteemi tühikaaluks võtta optimistlik 5 kg, siis võiks sõdur kanda 22 kg lahingmoona. Seega võiks sõdur kanda umbes 730 NATO padrunit või 970 vene padrunit.

Mainitud lahendused on hinna või saadavause poolest Eesti Kaitseväge tarbeks mitte sobilikud. Kuigi Ameerika mereväe lahendus *Avenger* maksab väidetavalt ligikaudu 250 eurot, siis pole see teistele kättesaadav. Jaemüügis olevad lahendused jäävad hinnavahele 2500-3500 eurot, täpsema info selle kohta leiab Tabel 2.1 Moonakandursüsteemide kokkuvõte.

Moonakoti kandmine on raskendatud kui on vaja ka täisvarustust seljas kanda, seda näiteks rännakutel. Moonakoti suurust kiiresti muuta ei saa ning ka kokkupakitavus on sellel üsna väike. On võimalik, et teatud olukorras võib olla keeruline kanda moonakoti seljas.

2.3.4 Lahenduste plussid

Moonakott võimaldab ühe laadimisega märkmisväärselt rohkem moona lasta kui traditsioonilistel viisidel. Keskmiselt on ühe moonakoti maht koos moonarenni mahutava moonaga 650 padrunit kandis. Sellise koguse moona võib kulutada kuulipildur minutiga, kuid selle kogukaal on 18 kilogrammi kandis ning moona ruumala on võrdväärne kaheksa liitriga. Käes kanda osa sellest raskusest võib olla väga kurnav ning on kindlasti ebapraktiline. Samuti moonalintide ümber keha sidumine ja rakmetsse pakkimisega kaasnevad probleemid laadimisel. Seljakoti eelis on ühtlane koormuse jaotus ning mass on seljale lähedal, mis ei kurna keha liialt. Keha kurnatus lahingolukorras ei pruugi adrenaliinirohkes olukorras anda märku enne kui on juba hilja.

Moonakandursüsteem on piisavalt kinnine ning mustuse sattumine moonalinti on vähendatud. Sellest tulenevalt on tõrgete oht palju väiksem, mis omakorda hoiab kuulipilduriga lahinguvalmis kui seda vaja on. Ühtlasi võimaldab moonakoti kõrval ka kanda lisamoona endistel viisidel lisaks. Suurendatud moona kandevõime võib tähendada mõnes olukorras vahet elu ja surma vahel.

Praktiliste omaduste kõrvale annab moonakott kuulipildurile motivatsiooni. Kes ei tahaks välja näha nagu märulifilmi kangelane, teades ka, et ta ei sõltu teiste abist. Sõdurile annab enesekindlust juurde see, kui ta teab, et tema varustus on kaasaegne.

Moonakandursüsteemiga varustatud kuulipildurid vastasele palju ohtlikumad ja kardetumad. Moonakandursüsteem võib asendada täielikult kuulipilduri abi vajaduse moona kandmise ja laadimisega. Nad on tõenäoliselt vähem koormusest kurnatud ning on üksikuna mobiilsemad.

Alljärgnevalt on toodud olemasolevate süsteemide kokkuvõtte Tabel 2.1 Moonakandursüsteemide kokkuvõtteTabelist näeme, et lahenduste hind võib kõikuda märkimisväärselt. Tõsi on, et tegu on jaemüügi hinnaga, kuid sellegipoolest saab aimu, et tegu võib olla väga kalli tootega. Süsteemide mahtuvus jääb 500...650 padrunit hulka, millele lisandub vastavalt moonarenni pikkusele moon mis on tõmmatud moonarenni. Näiteks Prime ManPack süsteemi mahub koos moonarennis oleva moonaga kokku 850 padrunit, mis teeks süsteemi kaalu ja lahingmoonaga kaaluga kokku ligikaudu 27 kg.

Tabel 2.1 Moonakandursüsteemide kokkuvõtte

Tootja	Nimetus	Tühi- kaal, kg	Moonarenni materjal	Mahtuvus, padrunit	Moona- tüüp	Hind, EUR
US ARMY	Ironman	8,0	Polükarbonaat	500	7.62×51	3350 +
US NAVY	Avenger	4,0	Süsinikkiud, UHMW	650	7.62×51	250
Front Tactical Systems	Scorpio	4,1	AMG5 duralumin	550	7.62x54 R	750
TYR Tactical	MICO	8,0	Metall	500	7.62×51	3350
TIL System	Prime ManPack	1,6	Polümeermaatri ksi komposiit	850*	7.62×51	-
Iwa internationalinc	M60 Gunner Backpack	4,1	Metall	500	7.62×51	2770

*Mahtuvus märgitud koos moonarenni tõmmatud moonaga.

3 PROJEKTEERIMINE

3.1 FIKSEERITUD MEHAANILISED NÕUDED

Enne komponentide projekteerimist tasub mõelda võimalike töötlemisprotsessidele ja nendega seotud materjalide peale. Kokku on erinevaid tootmisprotsesse üle saja, mis pealtnäha tundub üüratult palju, kuid tootmismahud ja hind määravad ära selle, et tasub vaadata kuidas on sarnased asjad toodetud. Moonarenni lülide arv kogupikkuse peale on vastavalt disainile 30...100 tüki kandis. Adaptereid seevastu läheb igasse süsteemi mõlemat üks tükk. See tähendab, et vaja on nii mass tootmisele kui ka väike- ja keskseeriatootmisele sobilikud tootmisviisid. Tootmismahud võiksid olla adapterile sobilikud 100 kuni 1000 tükki vahemikus ning moonarenni lülidele alates 10000 tükist.

Sõjatehnikas kasutatavaid materjale võib laias laastus jagada kaheks, esmalt on kompromissideta parimate omadustega materjalid, mille hind on teisejärguline ning teise kategooriasse kuuluvad materjalid, mis on heade omadustega, aga mõistliku hinnaga. Antud töös otsitaksegi sobivaid materjale teisest kategooriast.

Metallide seast on sobilikud enamlevinud materjalid nagu teras, alumiinium ja pronks. Nendest omakorda sobib paremini just roostevaba teras ja anodeeritud alumiinium oma korrosioonikindluse ja kõvaduse poolest. Mõlemad materjalid on laialt levinud ja kuuluvad samasse hinnaklassi. Omaduste poolest on üsnagi sarnased, kuigi terase tugevus on suurem, siis alumiinium on kergem ja seetõttu on võimalik saavutada soovitud tugevus väiksema kaaluga.

Plastikutest on sõjatehnikas on laialt kasutusel vormimisele sobilikud plastid^[17]. Nende seas on näiteks polüpropeen (PP), polüeeter-eeter ketoon (PEEK), polüamiid (PA), polüester (PE) ja polüfenüleensulfiid (PPS). Nende läbiv ühine tunnus on hea vastupanu kemikaalidele, kuumusele ja kulumisele.

Tõenäoliselt on lõpliku lahenduse puhul moonarenni lülid polümeerist kuid adapterid võivad olla ka duralumiiniumist või roostevabast terasest.

^[17] <http://www.plastivision.org/blog/9-popular-plastics-for-military-applications/>

Moonarenni lülide võimalikud töötlemisprotsessid on rotatsioon-, puhumis-, pritse- ja survevormimine [18] [19] [20]. Geomeetria tõttu on välistatud näiteks vaakum- ja termovormimine, pultrusioon ning väljapressimine. Lõiketöötlus ja 3D printimised on välja jäetud peamiselt tootmismahude tõttu. Tabelis 3.1 on võrreldud võimalike vormimise meetodeid, kus on kirjeldatud pisut meetodist, märgitud sobivad materjalid, tuntud tooted, eelised ja puudused ning tootmismahud. Hinda pole hetkel siin eraldi välja toodud, kuna eeldatavad tootmismahud on piisavalt suured. Sobivate materjalide lahtrisse on toodud vaid eelpool mainitud laialt levinud sõjatööstuse plastikud.

Tabel 3.1 Moonarenni lülide töötlemisprotsesside võimalused

	Rotatsioon- vormimine	Puhumisvormimine	Pritsevormimine	Survevormimine
Kirjeldus	Kuumutatud vormi pööratakse aeglaselt ja materjal sulab seinte külge	Esmalt tehakse toorainest toorik, millele järgmises etapis pressitakse suruõhuga materjal vastu vormi, et anda lõplik kuju	Vedel tooraine pressitakse vormi, kus see jahtudes tahkub	Materjalile antakse soovitud kuju vormi pressides suure jõuga
Materjalid	PE, PP, PA,	PE, PP	PA, PP, PPS	PA, PU, PPS
Tuntud tooted	Suured kujud, kanuud, auto kere detailid	Pudelid, konteinerid	Ühekordsed raseerijad, kastid	Auto armatuurlaud
Eelised	Pingevabad ja ühtlased seinapaksused, võimalus lisada inserte	Madal tööriista hind, suure kogused	Kiire, täpne tootmine, võimalus lisada inserte	Võrdlemisi odav ka väiksema partii tootmisel, võimalus lisada inserte
Puudused	Aeglane protsess ja vorm vajab pidevat hooldust	Madal tugevus, ilma järeltöötluseta peab ava olema vaid ühel küljel	Geomeetria ei tohiks olla teravaid servi	Esialgne investering on suur
Tootmis- maht	Kuni 10 000 tükki aastas	Masstootmine	Masstootmine	Masstoomine

[18] <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/default.aspx>

[19] <https://fibertechinc.net/custom-rotational-molding/a-simple-guide-to-plastic-molding/>

[20] <https://formlabs.com/blog/guide-to-manufacturing-processes-for-plastics/>

Toodud tabeli võrdluste põhjal võiks olla kõige sobilikum meetod pritse- ja survevormimine. Rotatsioonvormimise üks suurimad puudusi antud olukorras on väike tootmiskaht. Puhumisvormimise puhul tuleks tõenäoliselt detail järeltöödelda, mistõttu ei ole see otstarbekas lahendus. Pritsevormimine on võrreldes survevormimisega kiirem ja see sobib pisut keerulisema geomeetriaga detailidele, kuid suurtemate mahtude juures on survevormimine odavam ja väiksema hooldusega.

Prototüüpimiseks ja esmasteks katsetusteks on plaanis 3D printida kõik komponendid TalTech ülikooli laboris. Kasutatav masina mudel on Formiga P100 ja materjaliks polüamiid.

Antud töö eesmärgiks on leida kliendile sobilik disain ja seda tõestada prototüübi näol. Lõpliku materjali ja tootmistehnika valik kõikidele komponentidele on suuruselt mahukas ja edasine pikk protsess, mida selles töös ei käsitleta.

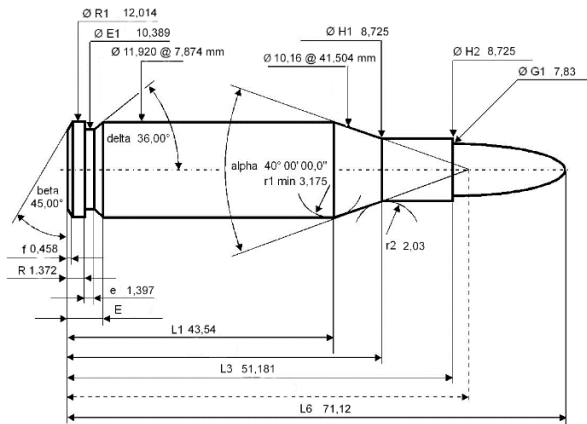
3.2 MÄÄRATUD PARAMEETRID

Selles alapeatükis käsitletakse parameetreid, mis on ette antud ning need ei tohiks muutuda. Meil on teada, mis relvadele on vaja süsteem luua ning ette on ka antud näidis seljakotist, kuhu moon laetakse. Teame, et relvadeks on kuulipildujad MG-3 ja KSP-58, mis mõlemad võtavad moonu sisse vasakult. Teada on ka seljakoti suurus, milleks on pikkus 285 mm, laius 80 mm, sügavus 500 mm. Seljakott on ristküliku kujuga ning on pealt avatav klambritest. Samuti on see on parajalt jäik ning tekitab vähe hõõrdejõudu moonaga.

Relva hoitakse üldjuhul vasakus käes, sest enamus operatsioonid relvaga toimuvad paremalt poolt, kuid lahendus võiks sobida mõlemas käes hoidmisel. Seljakotist väljatulev moon peaks koos moonarenniga ümber kandja jõudma relva, selleks peab moonarenn tegema justkui "U"-kujulise pöörde. Moonarenni optimaalne pikkus sõltub kasutaja pikkusest, kuid relvaga opereerimiseks peaks moonarenn võimaldama relvast tulistamist igas asendis. Kasutaja soovide ja eripärade tõttu võiks moonarenn olla ka pikendatav.

Täpsustatud on ka padrungi suurus, milleks on NATO 7.62x51mm, mille teravmoona mõõtmed on allpool märgitud sele 3.1 peal. Padruni ümbermõõdule tuleb juurde arvestada ka moonaketi materjali paksus, milleks on kuni 0,7 mm^[21].

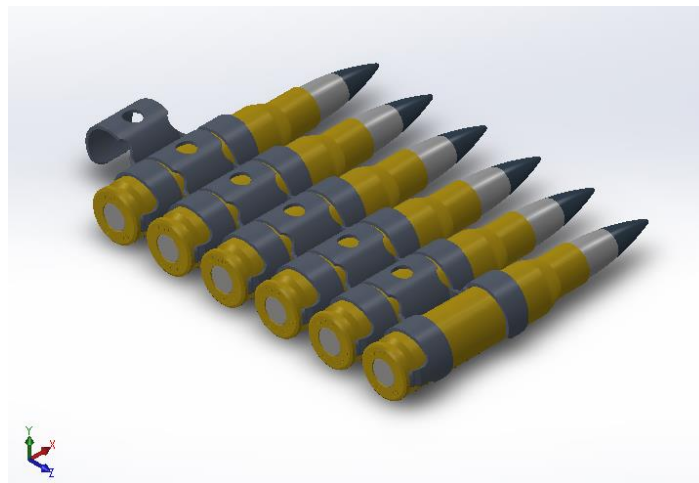
[21] https://www.inetres.com/gp/military/infantry/rifle/762mm_ammo.html



Sele 3.1 NATO 7.62x51 mm teravmoona mõõtmed

3.3 MOONARENN

Moonarenni piirangud peavad olema rangemad kui laskemoonaketil, nii välditakse võimalikku moona kinni kiilumist moonarenni sees. Moonaketi liikumist iseloomustab kolm põhilist suurust, milleks on painderaadius, rullumisraadius ja väändepikkus. Et neid paremini mõista, märgime ära teljed allpool leitaval sele 3.2 peal, kus on kujutatud kuute NATO 7.62x51 padrunit koos M13 moonaketi lülidega.



Sele 3.2 Padrunikett NATO 7,62x51 teravmoon ühendatud M13 lülidega ja märgitud X-,Y-,Z-teljed

- rullumisraadius (ingl k *roll*) on raadius ümber X-telje pöörlemisel.
- painderaadius (ingl k *fan*) on raadius ümber Y-telje pöörlemisel, mida võib mõõta nii seest kui väljast, nendest olulisem mõõde on sisemine raadius, mis asub tongipoolses otsas.
- väändepikkus (ingl k *twist*) on pikkus ümber Z-telje pöörlemisel 90° kraadi väände sooritamiseks.

Eesti Kaitseväel on plaanis kasutada moona laetud nii M13 lülidesse kui kasutada taaskasutatavat padrunilinti. Mainitud kettidest on M13 lülidesse paigutatud padrunid rangemate piirangutega, seega lähtuti esimeste lahenduste puhul selle mõõtmetest. Olemasolevate lahenduste näidete pealt leiame, et euroopa turul tugevalt esindatud moonarenni tootev ettevõtte NoblesWorldwide lahenduse parameetrid^[22] on järgnevad: väändepikkus 231 mm; rullumisraadius 23 mm; sisemine painderaadius 170 mm ja välimine painderaadius 190 mm. Alternatiivsel lahendusel GSI internatinali moonarenni mõõtmed on järgmised: välimine painderaadius on 241 mm ja rullumisraadius 114 mm^[23]. Kahjuks pole 90 kraadi väände pikkust sellel tootel märgitud. Olemasolevate toodete parameetrid on toodud alljärgnevas Tabel 3.2 koos M13 lülidega ning korduvkasutatava lindi parameetritega, mis on mõõdetud etteantud näidiste pealt.

Tabel 3.2 Ülevaade moonaketi ja moonarenni mõõtmetest.

Toote nimetus või tootja	M13	Korduvkasutatav lint	GSI	Nobles-Worldwide
Rullimisraadius, mm	0	0	114	23
sisemine painderaadius, mm	410	135	-	170
välimine painderaadius, mm	Moona põhine	Moona põhine	241	190
Väändepikkus, mm	400	116	-	231

Mainitud üheks moonaketi parameetrik on painderaadiused, mida tegelikult võimalik ka valitud disaini puhul mitte arvestada ja Y-teljelise liikumise lahendada X- ja Z-telgede liikumistega. Lihtsaks eluliseks näiteks on plastikust või metallist pakkelindid, millega koormaid pakkealustele kinni tõmmatakse. Piisavalt väikese rullimisraadiuse ja väändepikkusega on võimalik lindi mõlemad otsad valitud ruumis kinnitada soovitud punktidesse, ükskõik mis suunaga.

Korduvkasutatava ja M13 lülidega moonalintide paineraadiused ja väänderaadiused on kõrvutatud vastavale sele 3.3 ja sele 3.4 peal. Tähele tuleb panna, et need on juba kasutatud lindid ning nende omadused võivad olla seetõttu pisut erinevad otse tootmisest tulnud lintidega võrreldes. Sellegi poolest on selgelt näha, et M13 lülidega lindi puhul on pöörlemised ümber Y- ja Z- telgede märgatavalt kehvemad, mida on ka näha tabelis 3.2.

[22] <https://www.noblesworldwide.com/feed-and-eject-chutes-2/>

[23] https://www.gsiinternational.com/7-62-ammunition-feed-chute_8_4239_8613.htm



Sele 3.3 Moonalintide M13 (üleval) ja korduvkasutatava (alumine) painderaadiused



Sele 3.4 Moonalintide M13 (üleval) ja korduvkasutatava (alumine) väändepikkused

Moonaahela tõrkevabaks töötamiseks on väga oluline järgida, et moonarennis oleks tekkivad jõud ühtlaselt jaotunud. Mistõttu on optimaalne teha moonarenn korduva mustri osadest ning mille kordussamm on piisavalt väike, et mitte piirata relva kasutamise ala. Samuti peab moonarenn olema sobilik erinevatele moonatüüpidele, milleks on peamiselt teravmoon ja paukmoon.

Täpsustatud tingimused moonarenni lülidele on järgmised:

- sisemine painderaadiuse suurus alates 135 mm;
- väändepikkus üle 116 mm;
- moonarenni sisemõõtmed moona liikumiseks vähemalt pikkusega 72 mm ja kõrgusega 13mm;
- moonarenni pikkust peaks olema võimalik kohandada käepäraste vahenditega;
- kulumiskindlus kuni 20 padrunit sekundis;
- võimalik odavalt toota.

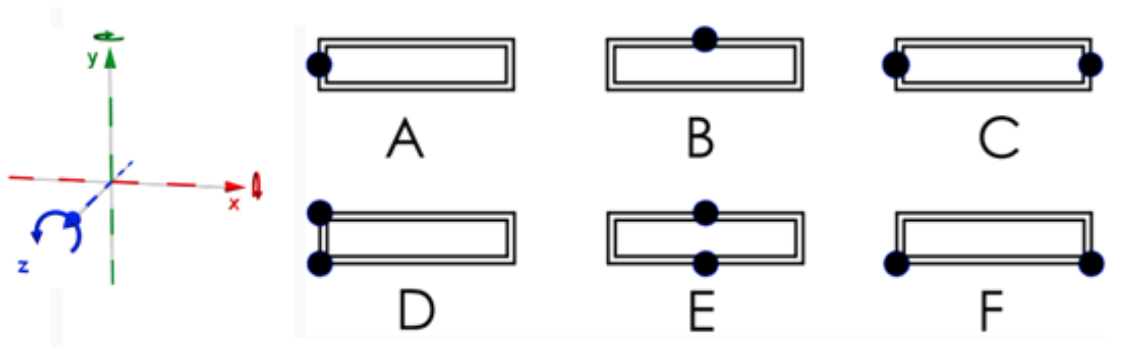
Lahenduste leidmise abistamiseks on loodud esmalt morfoloogiline maatriks, mis on toodud all tabelis 3.3.

Tabel 3.3 Morfoloogiline maatriks moonarenni lahenduse leidmiseks

Tunnus ()	Lahenduselemendid			
Lülide samm	0 mm ... 19 mm	20 mm ... 39 mm	40 mm ... 59 mm	60 mm+
Lülide jätku vahe	Ülekate	Null	Väike	Suur
Lülide ühendamine	Pealt	Parem /vasak	Alt	Kombineeritud
Materjal	Metall	Polümeer	Kombineeritud	Muu
Lindi parandamine	Võimalik kiirelt	Võimalik	Võimalik tööriistadega	Pole võimalik
X-telje liikumine	Puudulik	M13 lüli järgi	Korduvkasutatava lindi järgi	
Y-telje liikumine	Puudulik	M13 lüli järgi	Korduvkasutatava lindi järgi	
Z-telje liikumine	Puudulik	M13 lüli järgi	Korduvkasutatava lindi järgi	

3.4 MOONARENNI LÜLIDE ÜHENDUS

Siin peatükis käsitletakse lähemalt võimalusi kuidas moonarenni lülid ahelas on seotud ja millised piirangud nendega tekivad. Lülide omavaheline liigendi asukoht määrab ära X-,Y- ja Z-telje liikumise piirangud. Sele 3.5 peal on toodud kuus erinevat ühendusvõimalust. Olenemata lülide ühendusest, peab moonarenni profiil olema mõõtmetega, kust moon läbi peab tulema, seega võrdluse jaoks on ristlâbilõige kõigil lahendustel suuruses 75 x 15 mm. Ümmargune punkt tähistab ühenduspunkti asukohta järgmise lüliga. Näidatud on ka teljestik.



Sele 3.5 Lülide omavaheline ühenduse võimalused

Eelpool 2. peatükis mainitud olemasolevad lahendused on esindatud variantidega B (Ironman, Avenger), C (Scorpio, M60 gunner backpack) ja E (MICO, Prime ManPack). Saamaks arusaama ümber telgede pöörlemise omadustest, on koostatud Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Lülide omavahelise ühenduse võrdlustabel

Lahendus	X-telje pöörlemine, rullumine	Y-telje pöörlemine, paindumine	Z-telje pöörlemine, vääne
A	Mõlemalt poolt keskmiselt	Ühelt palju, teiselt poolt vähe	Suur, kuid asümmeetriline
B	Ühelt palju, teiselt poolt vähe	Mõlemalt poolt keskmiselt	Suur
C	Mõlemalt poolt keskmiselt	Mõlemalt poolt vähe	Keskmiselt
D	Mõlemalt poolt vähe	Ühelt palju, teiselt poolt vähe	Suur, kuid asümmeetriline
E	Mõlemalt poolt vähe	Mõlemalt poolt keskmiselt	Suur
F	Ühelt palju, teiselt poolt vähe	Mõlemalt poolt vähe	Keskmiselt

Tuginedes olemasolevatele lahendustele on välditud ebasümmeetrilisi liikumisi Y-, ja Z-telgedel ja X-telje liikumine pole kõige tähtsam. Seda võib põhjendada ka sellega, et rullumine moonalindil on praktiliselt piiramatult, kuid moonarenni puhul piiratakse see disaini tõttu, kuna üks serv peab justkui venima ja teine kokku tõmbuma.

3.5 MOONARENNI ADAPTERID

Lõplik relva ja moonakoti adapteri lahendus sõltub otseselt moonarenni lahendusest, mistõttu on vaja esmalt viimistleda moonarenni lülide disain. Ühendus võib olla kiiresti lahtikäiv, kuid see ei ole nõutud. Piisab sellest, et vähemalt üks adapteritest oleks kiirühendusega. Tulenevalt sellest, et esmajärgus tegeletakse MG-3 külge kinnituva süsteemiga ning sellel relval on juba tootjapoolselt võimaldatud kiirühendus, siis pole vajadust teha kiirühendust eraldi moonarenni adapteritele.

3.5.1 Moonakoti adapter

Moonakoti külge integreeritav adapter peab ühendama moonarenni moonakotiga. Seljakott on juba ette antud mõõtudes ning ruumi koti sees, sisemistel külgedel on vähe, mistõttu on piiratud lahenduse võimalused. Esmane disain peaks olema selline, mis seljakoti mõõtmeid ja lahendust ei muudaks. Mõlemad adapterid peaksid olema kulumiskindlad ning disainilt lihtsad. Moonakoti mõõtmed padriuni teljesuunal on 80mm, seinapaksus on 2-3 mm ja seinad on paindlikud, mis on oluline faktor, kuna moonarenni lülide sisemõõt padrunile võiks jääda 75mm millele lisandub adapteri seinapaksus, mis prototüübi puhul on 3 mm. Adapter peaks suunama moona vasakult välja. Kokkuvõtvalt on nõuded moonakoti adapterile järgmised:

- Lihtne disain ühest komponendist, mida saab 3D printida;
- Peab sobituma olemasolevale moonakotile, ilma, et seda peaks modifitseerima;
- Kinnituskohad moonakoti külge kinnitumiseks;
- Adapter kinnitub moonakoti külge vasakult ning juhib moona välja horisontaalselt;
- Moona liikumise jaoks peaks ava olema mõõduga 75 x 15 mm;

3.5.2 Relva adapter

Süsteem peab sobituma kahele relvale, mistõttu tuleb adapter relva ja moonarenni vahel teha kahest osast, see tähendab seda, et mõlema relva poole kinnitub adapteri üks pool, mis erineb vastavalt relvale. Teine pool adapterist on ühesugune ning see on ühendatud moonarenni külge. Eesti Kaitseväge poolt on tagatud relvapoolded adapterid. Projekteerida jääb moonarenni otsa kinnituv üleminek, mis on mõlemal relval samasugune.

Disaini alustades on olemas moonarenni lüli mudel ning Eesti Kaitseväge poolt väljastatud relva külge kinnituva adapteri poole joonised ja füüsiline näidis. Näidis sobitub ainult relvale MG-3, kuid ühendusviis teise poole adapteriga jääb samaks. MG-3 relva poolne adapter kinnitub relva külge juba integreeritud kiirühendusega pesasse, mis on kujutatud all seel 3.6. Avad läbimõõduga 5,4mm on mõeldud süvistatava peaga M5 poltidele. Avade ristkülik on 22 mm vahedega ning avade mustri tšenter asetseb 2,4mm vasakul pool relva sööturi ava tsentrist.



Sele 3.6 Relva poole adapter kuulipilduja MG-3 kiirühendus pesas

Moonarenni ots peaks olema täpselt suunatud söötruisse. Sööturi ja relva adapteri vahe on võrdne selle materjali paksusega, milleks on 3 mm. Kõrgus sööturi tasapinnast ja avade tsentrist on 27 mm.

Ühendusviise on mitmed, näiteks olemasolevad moonarennid kinnitatakse alligaator klambritega või lihtsalt poltidega adapteri külge. Projekteeritav adapter võiks olla lahendatud ühe detailina.

Teades moonarenni lülide disaini, tuleb seda infot kasutades disainida lülile sarnase komponendi, mis ühendab ülejäänud moonarenni relvaga. Lisanduvad nõuded:

- Lihtne disain ühest komponendist, mida saab 3D printida;
- Adapteri kinnitusavad peavad sobima Kaitseliidu poolt väljastatud komponendiga;
- Moona liikumise jaoks peaks ava olema mõõduga 75 x 15 mm ning see peab olema tsentreeritud MG-3 relva sööturisse;

4 PROTOTÜÜPIMINE

4.1 MOONARENN

4.1.1 Esimene füüsiline mudel

Kuigi skitse erinevatest lahendustest on tehtud mitmeid nii paberil kui ka katsetatud 3D keskkonnas, siis otsustati moonarenni kompleksete liikumisomaduste tõttu hakata disaini varajases staadiumis katsetama füüsiliste mudelite.



Sele 4.1 Kiir-prototüüpimise katsetus

Esimene katsetus ja selle disain, toodud sele 4.1 peal, on tehtud kiir-prototüüpimise põhimõttel, kus lihtsate liigutustega saadakse ümbkaudne lahendus. Katsetatud on disain, kus lülid kinnituvad ühelt poolt pehmest materjalist vöö külge. Laseriga on välja lõigatud olemasolevatest materjalidest pinnalaotused, mis omavahel kokku on pandud ja kuumaliimiga fikseeritud. Katsetatud on erinevaid lülide küljepikkusi, millest kaks on pikkusega 30 mm ja teised kaks on 50 mm pikkusega. Eesmärk on vaadata kuidas moonakett lülide sees liigub ning kuidas lülide pikkus mõjutab moonarenni omadusi.

Katsetustest selgus kiiresti, et lahendus vöö külge kinnitusega lahendus ei töötaks nii, nagu plaanitud, mistõttu selle lahenduse arendamine lõppes. Küll aga sai aimu moonaketti liikumisest ja selgus ka kui oluline on piirata paineraadiused. Väiksema pikkusega lülid annavad parema ja monoliidsema tulemuse.

4.1.2 Teine füüsiline mudel

Teine füüsiline mudel on tehtud juba teades, et prototüübid on vaja 3D printida ülikooli laboris polüamiidist. Seetõttu on järgitud, et seinapaksus oleks võimalikult ühtlane ning kogu lüli peaks koormustele vastu. Algusest saati on eesmärk katsetada ahelad füüsiliselt, sest moonarenni ahela liikumised on keerulised. Katsetamiseks kasutatakse moonalinte ning kontrollitakse kui hästi ahel paindub ja kas see ühtib 3D mudelil katsetatud liikumisomadustega. Valitud lahendus on kahelt küljelt ühenduspunktidega (tabelist 3.4 variant C) nagu Scorpio ja M60 gunner backpack. Lülide samm on 34mm ja on ülekattega igas asendis. Lindi lülide lisamine on võimalik põlveotsas, kuid eemaldamiseks on vaja lihtsaid tööriistu nagu näiteks kruvikeeraja.

Esimene 3D prinditud versioon lülidest koosneb viiest lülist. Lülide omavaheline ühendamine on pisut keerulisem kui oodatud, kuna materjal on väga jäik. Kuigi lülid käitusid sarnaselt sellele, mida oli planeeritud, siis selgus, et piirangud on liiga ranged ning väändumise võimalus oli praktiliselt olematu. Tegu oli praktiliselt justkui tööstusliku energiaketiga. Pilt lülidest koos M13 lintidega ühendatud hülssidest on toodud Sele 4.2 Teise füüsilise mudel

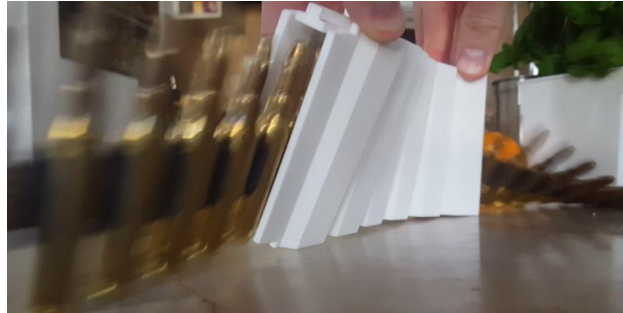


Sele 4.2 Teise füüsilise mudeli esimene prototüüp

M13 moonalüli järgi on seatud maksimaalne paineraadius ning disainile sobilik rullumisraadius on fikseeritud. Viiest lülist koosneva ketiga katsetati moona liikumist ahelas. Kuigi moon liikus ahelas väga hästi oli aru saada sellest, et liikumine ei ole piisav ning väändepaindumist on vaja. Samuti on vaja suurendada rullumisraadiust. Keti ühenduspunktid olid vastupidavad. Välimuselt on lahendus esinduslik, mistõttu prooviti saada aheldat rohkem paindlikumaks.

Edasiarendus

Prinditud ahela järgmise verisooniga lisatud väändepaindumine töötas hästi, küll aga sellise disainiga olid lõtkud piirasendites liialt suured ja seetõttu pole ahel piisavalt monoliidne. Lisatud rullumisraadius tundus olevat paras. Pilt katsetusest on seel 4.3.



Sele 4.3 Teise füüsilise mudeli teine prototüüp

Järgnevalt viimistleti uus versioon vastavalt M13 lülidele sobivale moonahelale ning esitleti kliendile. Kokkusaamisel kliendiga näidati neile viimast ja eelnevaid prototüüpe, kuid kliendile antud lahendus ei sobinud. Algupärase soovi kasutada ka M13 lülide asemel sooviti edasi minna lahendusega, mis oleks parema pööderaadiusega ning mis oleks rohkem ümber keha. Sellise suunamuutusega on võimalik kasutada vaid korduvkasutatavat linti.

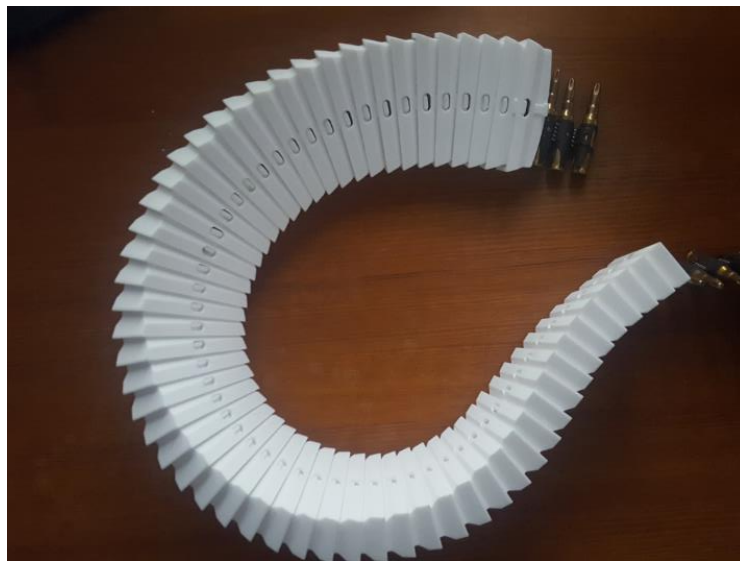
Lahendused on leitavad seel 4.4, kus ülevalt alla on sellise disaini versioonid venamast uusimani.



Sele 4.4 Moonarenni prototüübid, versioonide järjekord: esimene üleval; teine keskel; ning uusim alumine

4.1.3 Kolmas füüsiline mudel

Kolmas ja antud töös viimane disain on eelmistest prototüüpidest märkimisväärselt erinev. Liikumise parameetrid ei ole enam M13 lülidega arvestatud, seda teadlikult ning kokkuleppeliselt kliendiga. Kuigi väliselt leiab palju sarnasusi, on muudetud ühenduspunktide asukoht külgedelt alumisele ja pealmisele servale (tabelist 3.4 variant E). Disain on sarnane Mico ja Prime Manpack lahendustele. Lülide samm on 14 mm ja läbiv seinapaksus on jäetud 3 mm. Rullumisraadius on 100 mm, painderaadius 220 mm ja väändepikkus 480 mm. Pilt ahelast koos paukmoona lindiga on toodud seel 4.5.



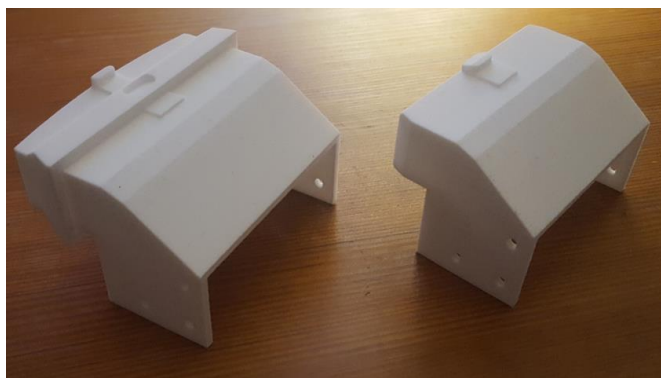
Sele 4.5 Kolmas disain

Esmalt on katsetatud omadusi vaid 12 lüliga. Prinditud lülid vastasid 3D mudelis proovitud omadustele ja seetõttu sai ka adapterid lõplikult ära projekteerida ning 3D printida. Lisaks adapteritele toodeti veel 88 lüli lisaks, mis muudab ahela kogupikkuseks 1400 mm. Ahelaga katsetati padrunilindi laadimist, mis koos väikeste tõrgetega võttis aega alla 10 sekundi. Samuti kontrolliti moona liikumist ahelas erinevates piirasendites. Kõik eelpool mainitud katsetused õnnestusid. Vajadusel on võimalik saavutada paremad liikumisomadused, kuid tõenäoliselt tähendaks see olulisel määral lülide kabariitmõõtmete muutmist ning olemasolevad vabadused on juba piisavad, et täita eesmärgid. Sobiva materjali korral vähendades seinapaksust näiteks 1,5 või 2 mm peale on võimalik saavutada suuremad vabadused. Hetkel on kasutusel seinapaksus 2,8 mm ja ühe lüli kaal on 12 g, mis 1 meetrise ahela puhul teeb kogukaaluks 860 g.

4.2 ADAPTERID

4.2.1 Moonakoti adapter

Moonakoti adapter on sarnaselt relva adapterile tehtud vastavalt moonarenni lülile. Samuti on läbiv seinapaksus 3 mm. Siseküljele, kus on palju hõõrdumist, on lisatud ribad, mis pikendavad kulumisesest tingitud kasutusiga. Adapterile on lisatud avad seljakoti külge kinnitamiseks kas õmmeldes või väikeste kinnitusvahenditega. Allpool oleval seel 4.6 on kujutatud adapter koos moonarenniga ja ilma.



Sele 4.6 Moonakoti adapter koos moonarenni lüliga (vasakul) ja ilma (paremal).

4.2.2 Relva adapter

Relva adapteri sisendiks on lõpliku moonarenni lüli disain ja Kaitseliidu poolt adapteri ühenduse avad. Adapter on disainitud võimalikult madala profiiliga ning selles olev pesa on järgides lüli väliskontuuri. Moonarenn on tsentreeritud MG-3 kuulipilduri sööturiga. Läbiv seinapaksus on sarnaselt moonarennile 3 mm. Allpool oleval seel 4.7 on kujutatud adapter koos moonarenniga ja ilma.



Sele 4.7 Relva adapter koos moonarenni lüliga (vasakul) ja ilma (paremal).

5 LÕPLIKE ELEMENTIDE MEETOD

Kõikidele komponentidega viiakse läbi arvutused lõplike elementide meetodiga (LEM) kasutades programmi SolidWorks Simulation keskkonda. LEM arvutustega leitakse disaini nõrgad kohad staatilise koormuse puhul. Eesmärk on mõista millised detaili osad võiks tulevikus optimeerida. See tähendab esmajärgus materjali juurde lisada valitud kohtadesse ja võimalusel mõnest kohast vähendada.

LEM arvutused viiakse läbi komponentidele üksikshaaval. Detailide materjal on valitud kõigile sama, selleks on polüamiid 6 ehk nailon. Tähele tuleb panna, et kuigi prototüüp on samuti polüamiidist ei ole selle mehaanilised omadused samad. Samuti on 3D prinditud detailide mehaanilised omadused teised, kuna toode valmistamine toimub kihtide kaupa materjal ei ole ühtlase struktuuriga. Kuigi materjali valik ei ole lõplik ja leitavad arvud on seetõttu kõik väga suhtelised, siis valitud nailoni puhul esindavad nad võrdlemisi hästi tulevikus valitava materjali omadusi. Kõiki komponente koormatakse 200 newtoniga (N) ühenduspunktides, simuleerides olukorda kui moonakott oleks ühendatud relvaga ja moonakotti üles tõstes jääks relv rippuma.

Simulatsiooni tulemustest uuritakse pingeid (von Mises meetodil) ja deformatsiooni URES meetodiga. Von Mises meetodil leitav arv on arvutuslik normaalpinge iseloomustamiseks ühe skalaarse arvuna suvalist pingust: joon-,tasa- või ruumpingust^[24] ja seda kuvatakse megapaskalites (MPa). URES, ehk kõikide telgede resultatiivne deformatsioon on võrdeline ruutjuurega telgede nihete ruutude summast, seda kuvatakse millimeetrites.

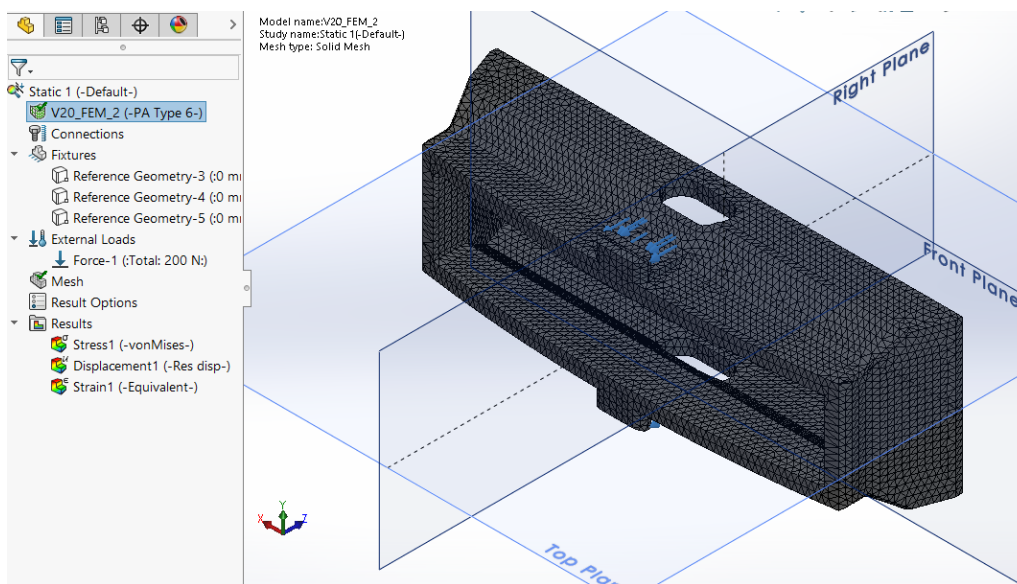
Saadud simulatsiooni tulemused on kõik visualiseeritud kümnekordse skaalaga. Läbiv skaala suurus lihtsustab komponente omavahel võrrelda ning on paremini näha millistes suundades komponent deformeeruma hakkab.

[24] Kübarsepp, J. ja Kulu, P. (2016), Materjalitehnika Seletav Sõnaraamat. Tallinn: TTÜ Kirjastus

5.1 MOONARENNI LÜLI LEM

5.1.1 Moonarenni lüli parameetrid

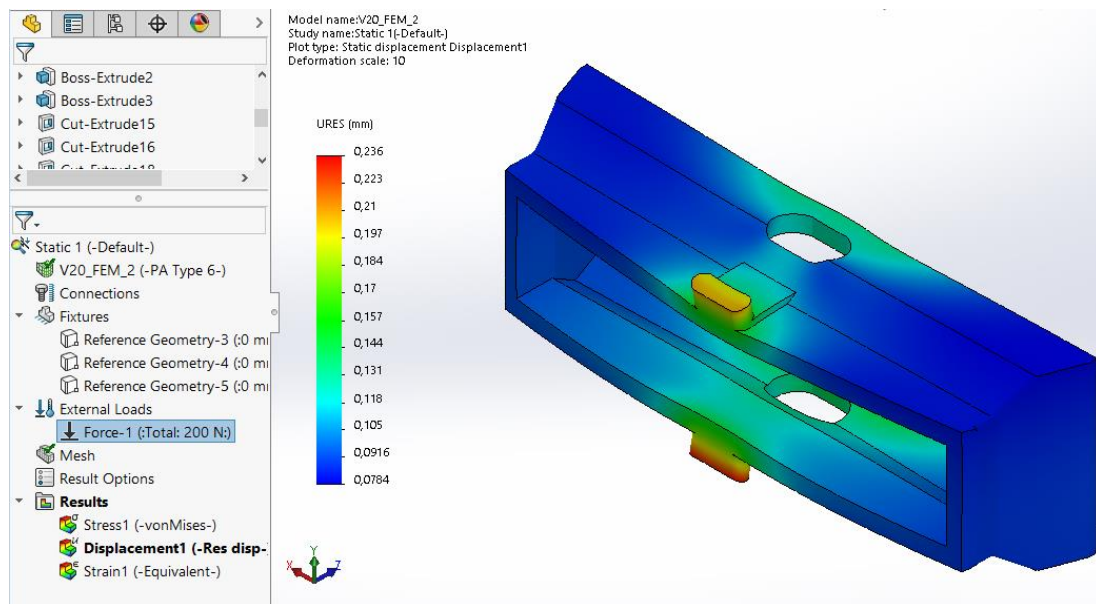
Detail on XZ-tasapinna ning YZ-tasapinna suunas sümmeetriline, mistõttu on detaili sümmeetriatasapinnal asetsevad punktid fikseeritud telgede normaali suhtes. XY-tasapinna suhtes on fikseeritud nagade jaoks mõeldud avade välisserva poolne pind, mis on seel 5.1 paremal. Jõud 200 N on jaotatud kahe ühenduse naga sisekülje peale (seel 5.1 tähistatud siniselt). Jõud on Z-telje suunaline. LEM võre (ingl k *mesh*) elementide suurus on valitud programmi poolt pakutud soovituslik minimaalne 1,14 mm, mis on piisavalt täpne.



Sele 5.1 Moonarenni lüli LEM rajatingimused

5.1.2 Moonarenni lüli deformatsioon

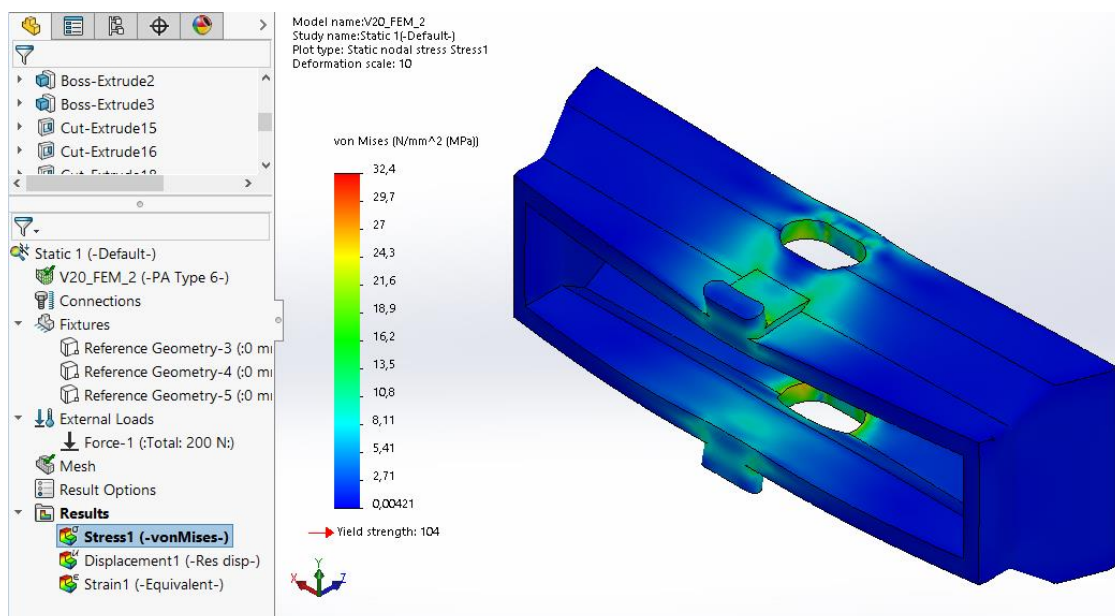
Simulatsiooni järgi on nagade juures suuremad nihked kui avades. See tähendab seda, et võiks suurendada nagade suurst. Nagu alloleval sele 5.2 peal on näha siis suurim resultatiivne deformatsioon on 0,236 mm. Ekstreemum asub libiseva kinnitusega samal küljel. Tulemus on ootuspärane ning positiivne. Selgelt on ka näha, et kogu jõud käib läbi detaili keskosa, mistõttu võiks mõelda ka külgedel olevate seinte paksuse vähendamist. Simulatsiooni põhjal võiks öelda, et 200 N staatilist koormust peaks selline disain ära kannatama valitud PA 6 või sarnase materjali korral, ilma, et ahel lahti tuleks või mingi osa puruneks.



Sele 5.2 Moonarenni lüli LEM arvutuse resultatiivne deformatsioon URES (mm)

5.1.3 Moonarenni lüli ping

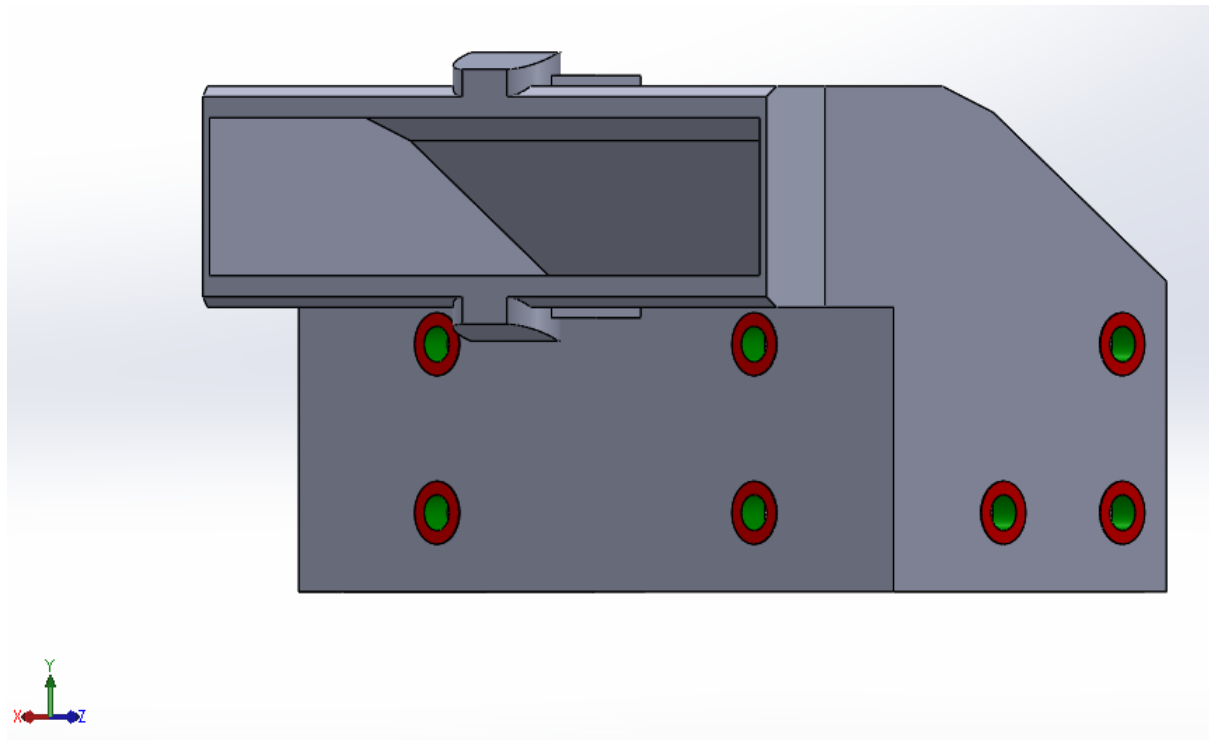
Pingeintensiivsus näitab väga hästi ära piirkonnad, kus sisejõud tekivad. Alloleval seel 5.3 on kontrastselt märgatav piirkonnad, kus pinged praktiliselt enam ei mõjuta (siniselt) ning kohad, kus pinged asetsevad (roheliselt) ning pingekontsentratsiooni kohad (punaselt). Ekstreemumid on teravate servade juures nagade ja avade lähimbruses.



Sele 5.3 Moonarenni lüli LEM arvutuse ping intensiivsus von Mises (MPa)

5.2 MOONAKOTI ADAPTERI LEM

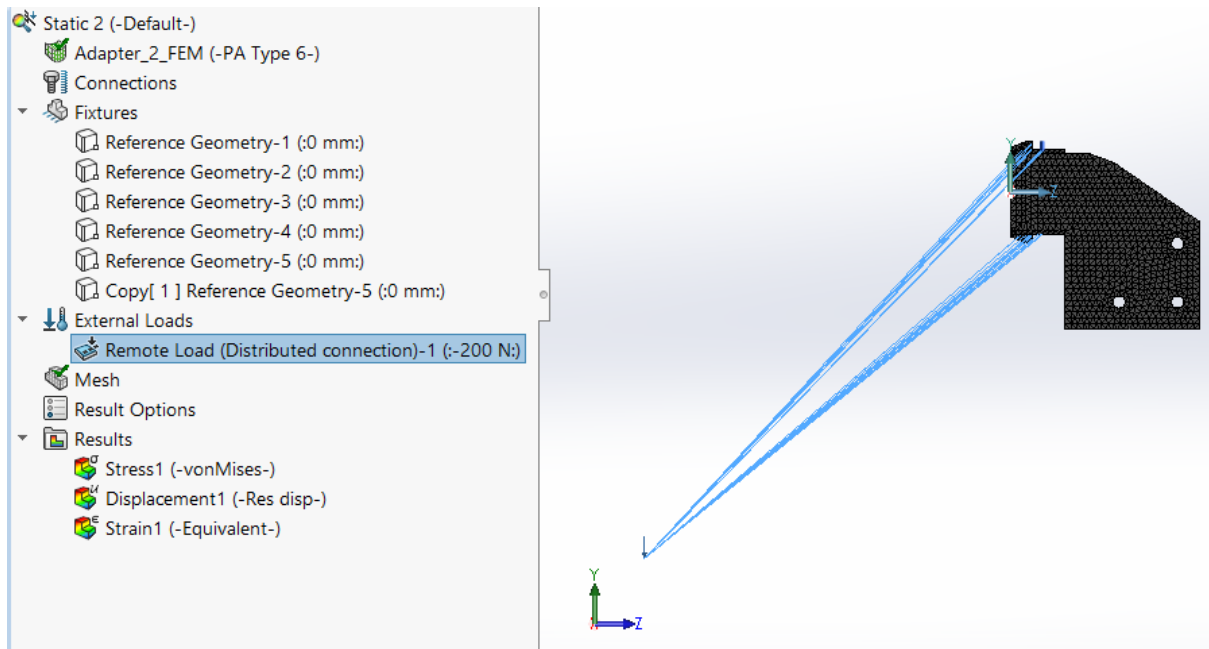
Selleks, et määrata paremini ära kinnituspunktid, tuleb esmalt lisada geomeetriaale pinnad kuhu ühendused tekivad. Sele 5.4 peal on näha lisapinnad, mis on avade ümber ja märgistatud punase värviga. Valitud pinnad on piirkonnad, kus adapteri kinnitus on seotud moonakotiga.



Sele 5.4 Moonakoti adapteri lisapinnad LEM arvutuse jaoks (punaselt)

5.2.1 Moonakoti adapteri rajatingimused

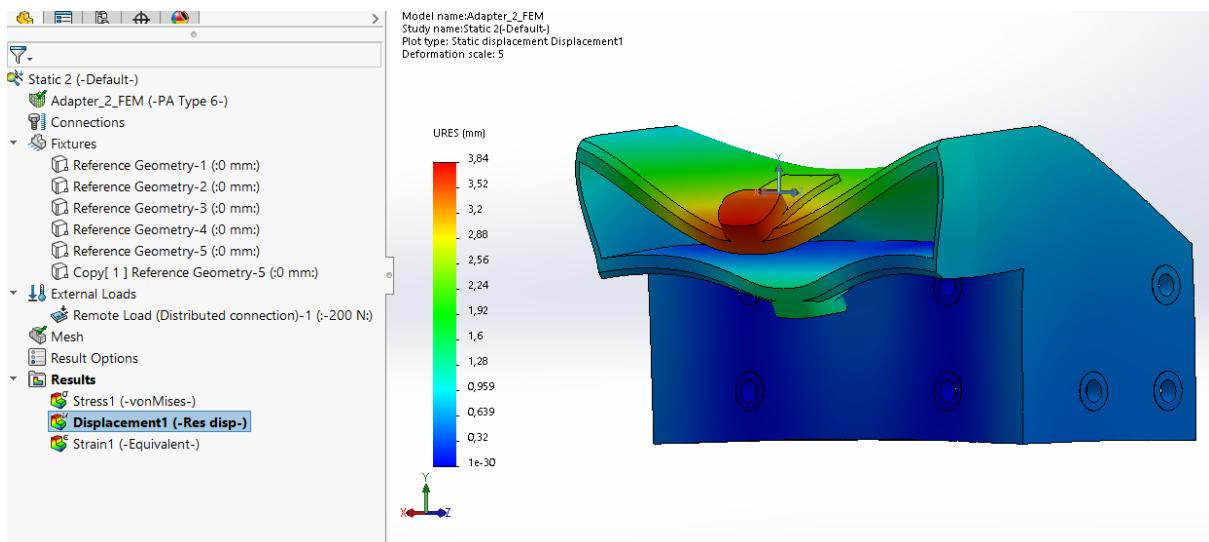
Esipinnal liikumatult fikseeritud pinnad on sele 5.4 peal tähistatud punaselt, need on fikseeritud YZ-tasapinna normaali suhtes. Esipinnal olevad poldiavade sisepinnad (roheliselt) on fikseeritud radiaal liikumise eest. Sarnase põhimõttega on fikseeritud ka külgedel asuvad avad vastavate tasapindadega. Jõud 200 N on kinnituskohdadest nii mõlema X- ja Z-telje suunas eemal 100 mm ning jaotub nagade sisepindade ning kontaktpindade vahel. Kaugus tuleneb moonarenni rullumisraadiusest, mis on ligikaudu 110 mm. Olukord üritab simuleerida kui adapter on seljakoti küljes fikseeritult ning moonarenni relvaga ripub selel 5.5 jõuga näidatud suunal. Reaalses elus annab moonakott seljas pisut rohkem ka järelle. LEM võre elementide suurus on pisut suurem (1,63 mm) kui moonarenni lülidel.



Sele 5.5 Moonakoti adapteri LEM jõu rajatingimused

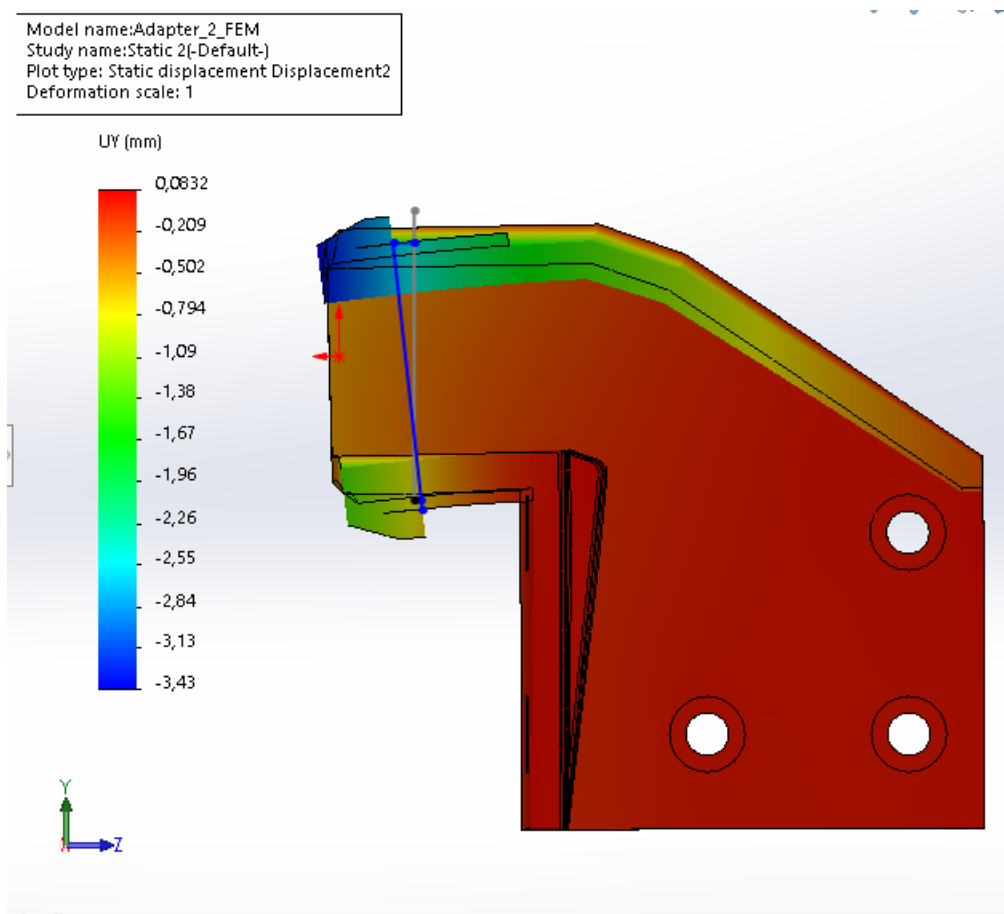
5.2.2 Moonakoti adapteri deformatsioon

Moonakoti adapteri LEM simulatsiooni tulemusest saadud resultatiivne deformatsioon ulatub kuni 3.84 millimeetrini, mis on üle 15 korra suurem moonarenni lüluga võrreldes. Deformatsiooni skaalat on muudetud selle paremini mõistmiseks 5 peale. Olukorra põhjustab tekkiv suur jõuõlg. Suurimad nihked on oodatult ühenduspunktide juures, mis tõttu peaks lisama tugevtusribisid või materjali.



Sele 5.6 Moonakoti adapteri LEM arvutuse resultatiivne deformatsioon URES (mm)

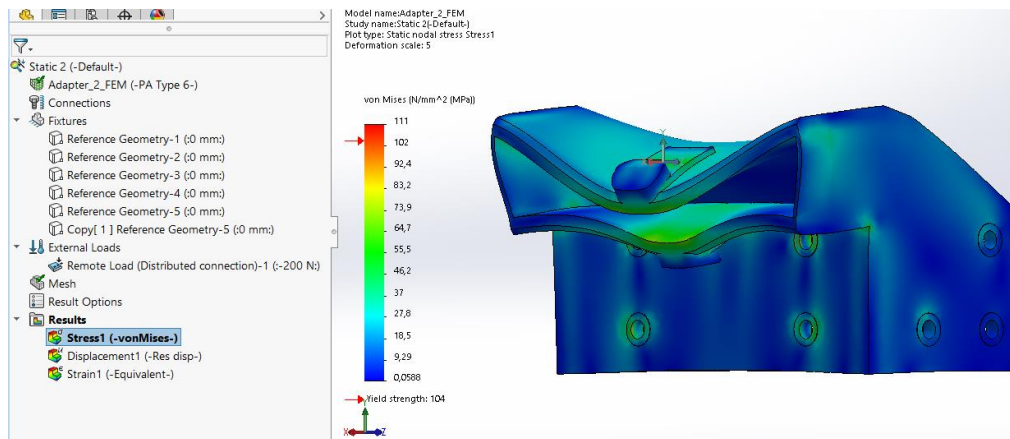
Selleks, et uurida kriitilisemat kohta, milleks on ühenduspunktid, võetakse luubi alla resultatiivse nihete asemel vaid Y-telje nihked seda YZ-tasapinna ristlõikes. Sele 5.7 Moonakoti adapteri LEM arvutuse Y-teljeline deformatsioon Y- ja Z-telje ristlõikes (mm) 5.7 peale on lisatud ka joon märkimaks naga servade asukohad enne jõu rakendamist halliit. Deformatsiooni skaala on 1. Kriitilise koha pealt on nagade pinnad kokku tõmbunud kuni 1,47 mm, mis on üllatavalt palju. Nagade asetused enne ja peale koormust on Z-telje suunal on vastavalt -1,68 mm üleval ja 0,57 mm all. Sellise testi puhul on juba väga suur oht, et moonarenn tuleb adapteri küljest lahti.



Sele 5.7 Moonakoti adapteri LEM arvutuse Y-teljeline deformatsioon Y- ja Z-telje ristlõikes (mm)

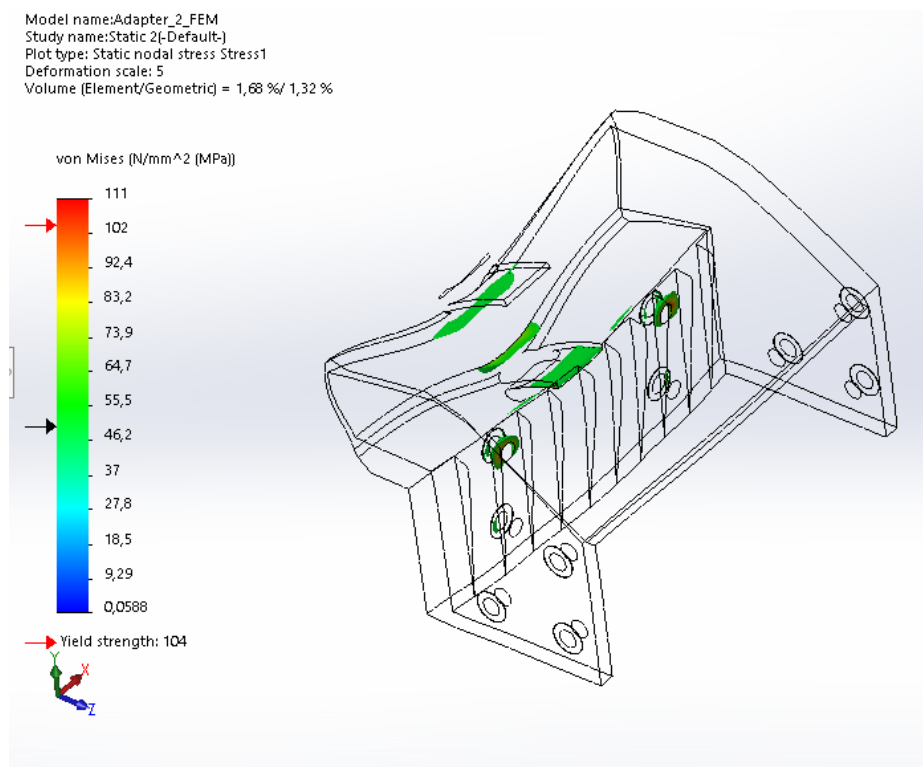
5.2.3 Moonakoti adapteri pinge

Kuigi pinged ulatuvad ligi kolmkorda suuremaks kui moonarenni lülide puhul, siis üldine pilt moonakoti adapteri pingetest on rahuldav, sest need on võrdlemisi ühtlaselt jaotunud. Oodatult on suuremad pinged kinnituskohade ümber. Kuigi ekstreempunktides on pinge kuni 111 MPa, siis tegu on väga väikeste punktidega, mistõttu on mõistlik vaadata pigem selliste punktide lähiümbruses olevaid suurusi.



Sele 5.8 Moonakoti adapteri LEM arvutuse pinge intentsiivsus von Mises (MPa)

Alloleval selil 5.9 on toodud välja piirkonnad kus pingud on üle 50 MPa, mis on ligikaudu PA 6 või sarnase materjali tõmbetugevuse alampiiriks^[25]. See tähendab, et nendes piirkondades võib detail juba puruneda.

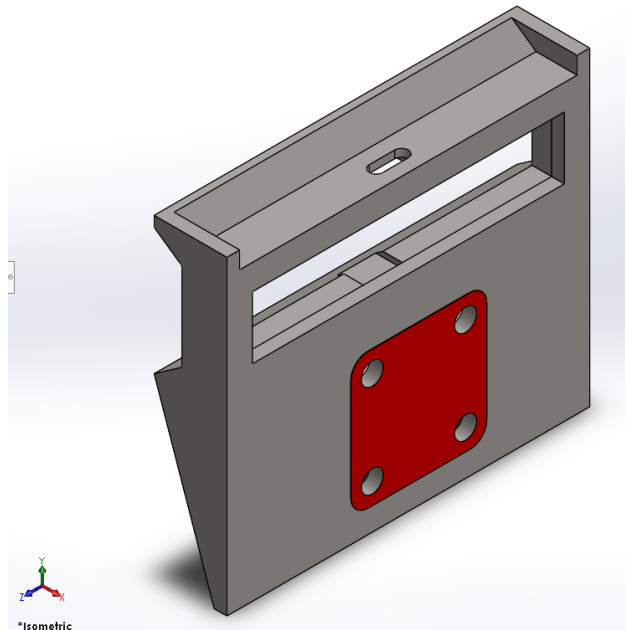


Sele 5.9 Moonakoti adapteri LEM arvutuste pinge von Mises meetod (MPa)

[25] <http://matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=8d78f3cfcb6f49d595896ce6ce6a2ef1>

5.3 RELVA ADAPTERI LEM

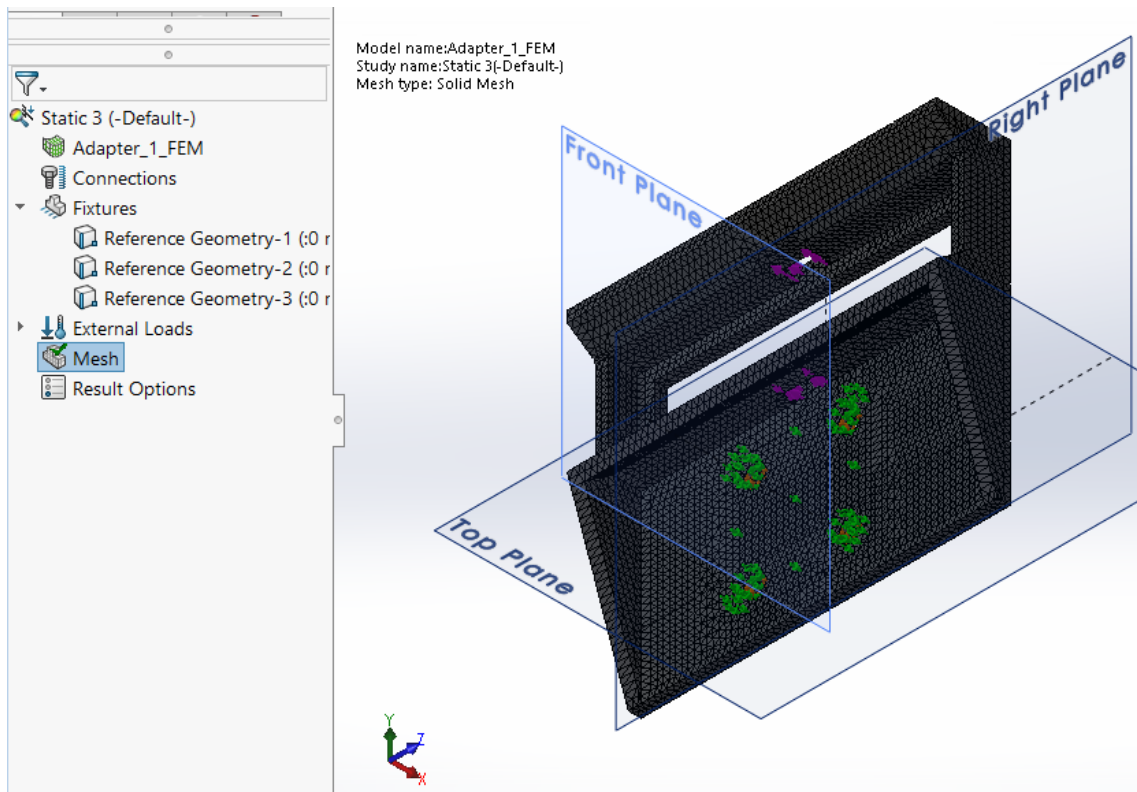
Sarnaselt moonakoti adapterile tuleb selleks, et määrata paremini ära kinnituspunktid, esmalt lisada geomeetria pinnad mis kujutlevad poldipeade asukohta. Tegu on sama protsessiga, mis on tehtud moonakoti adapteriga. Sele 5.10 peal on näha lisapind kõrgusega 0,1 mm avade ümber, samasugune pind on lisatud ka vastaspoolele. Valitud pinnad on piirkonnad, kus adapter on seotud relvaga.



Sele 5.10 Relva adapteri lisapind LEM arvutuse jaoks (punaselt)

5.3.1 Relva adapteri rajatingimused

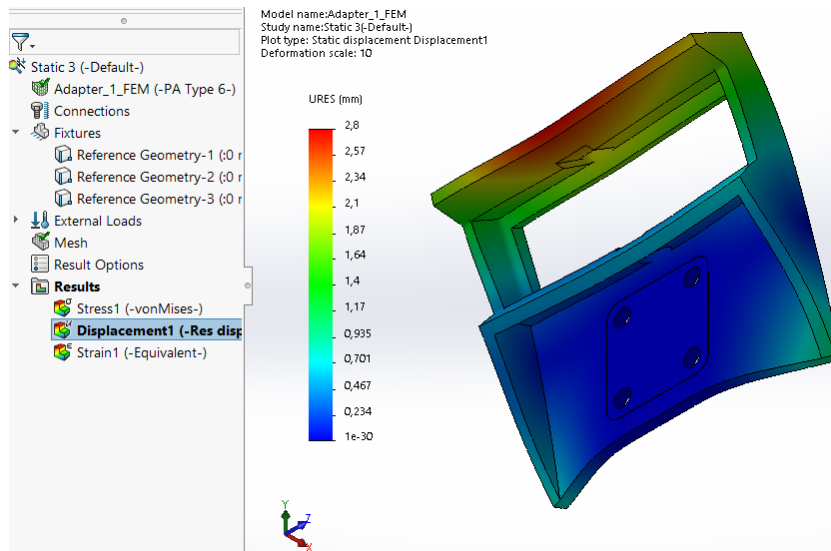
Lisatud pinnal on piiratud YZ-tasapinna suhtes normaal liikumine ning poldiavade sisepinnad on piiratud radiaal liikumise suhtes. Jõud 200 N on jaotatud kahe ühenduse naga sisekülje peale (selel 5.11 tähistatud lillalt). Jõud rakendub mööda X-telge. LEM võre elementide suurus on 1,43 mm.



Sele 5.11 Relva adapteri LEM rajatingimused

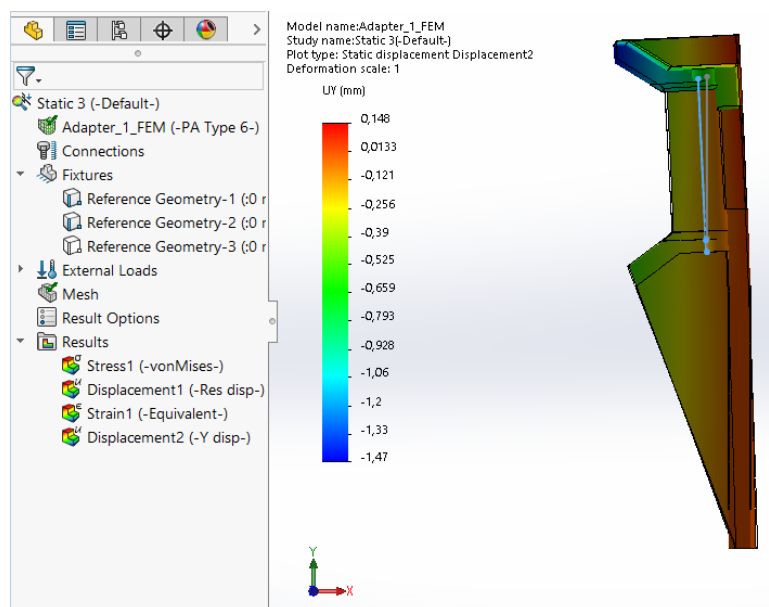
5.3.2 Relva adapteri deformatsioon

Relva adapteri resultatiivne deformatsioon on kuni 2,8 mm, mis on küll rohkem kui poole väiksem moonakoti adapteri maksimaalsest väärtusest, kuid siiski väga palju. Sele 5.12 peal on näha, et ülemine osa justkui tõmmatakse ette. On näha, et geomeetria ei ole ühtlane nagu eelmised komponendid ning seda võiks optimeerida. Kasutada võiks näiteks rohkem tugevdusribi.



Sele 5.12 Moonarenni lüli LEM arvutuse resultatiivne deformatsioon URES (mm)

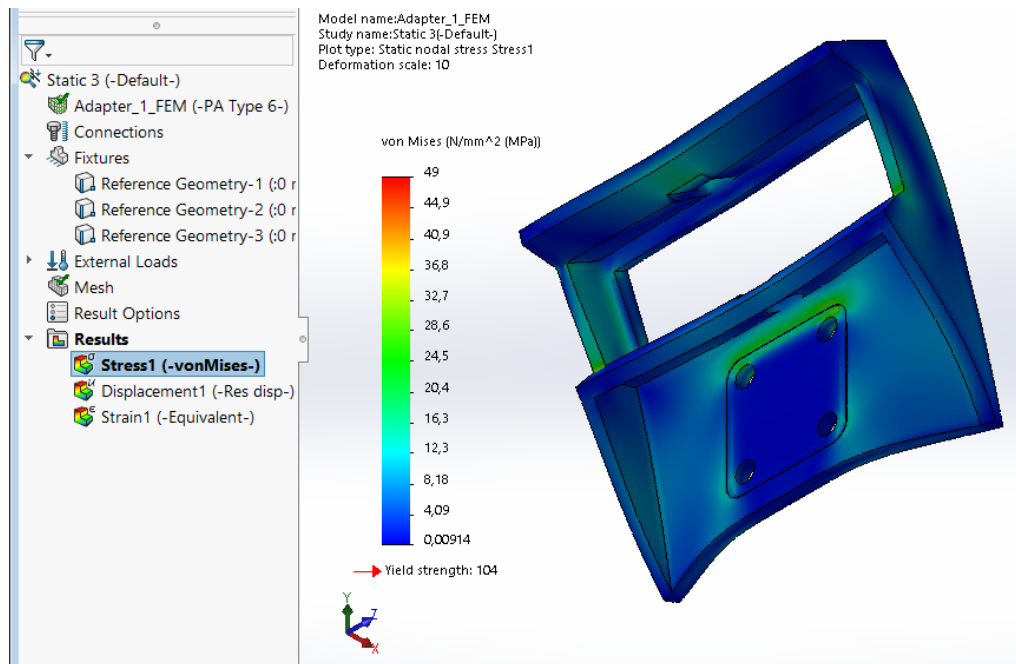
Sarnaselt moonakoti adapterile uurime ka relva adapteri Y- ja Z-telje ristlõikes deformatsiooni Y-teljel. Sele 5.12 peal on näha, et Y-teljelised deformatsioonid on märkimisväärselt suured, kohati kuni -1,47 mm, mis on teiste komponentidega võrreldes väga palju. Õnneks on moonarenni ühenduskohas deformatsioon maksimaalselt kuni 0,2 mm Y-telje suunas, kuid kuni 0.81 mm X-telje suunas. Halli joonega on tähistatud adapteri ühendusavade sisemised otsad enne deformeerumistja helesiniselt kujutletav telg, mis näitab ka et ülemine ja alumine ava ei ole kohakuti.



Sele 5.13 Relva adapteri LEM arvutuse Y-teljeline deformatsioon Y- ja Z-telje ristlõikes (mm)

5.3.3 Relva adapteri pinged

Von Mises stressitulemustest on näha, et pingud on võrdlemisi väikesed aga deformatsioonid olid suured, mis on vihje sellele, et tuleks üle vaadata materjal ja geometria. Kuna relva adapterit kogu ahelas on vaid üks siis võiks kaaluda see teha tugevamast materjalist, näiteks duralumiiniumist või roostevabast terasest.



Sele 5.14 Relva adapteri lüli LEM arvutuse pinged intensiivsus von Mises (MPa)

6 JÄRELDUSED

6.1 MOONARENNI DISAINI ETAPID

Enne moonarenni disainimist uuriti olemasolevaid lahendusi turul ning kirjutati üles kliendi nõudeid. Esialgsete nõuete kohaselt pidi moonarenn olema odav, ühendama moonakoti relvaga ning sobima M13 ja korduvkasutatavale moonalindile. Lähtudes sellest, tuli moonarenni vabadused valida rangema, M13 lindi omad. Kuigi rullumisraadius on mõlemal sama, ehk mõtteliselt võrdeline nulliga, siis painderaadius ja väändepikkus on sellel ligi kolm korda suuremad. Täpsemad numbrid on leitavad tabelis 3.2, mis asub peatükis 3.1. Kättesaadava informatsiooni kohaselt pole M13 linti võimalik kasutada alternatiivsete lahendustega, kuna see võib moonarennis piirasendite korral kinni kiiluda.

Lahendus, kus samuti M13 linti saaks kasutada, eristuks turulolevatest just selle sama nišši tõttu. Selline lahendus oleks palju universaalsem. Peale kiirprototüüpimist hakatigi disainima sobivat lahendust. Enne seda, kui 3D printiti teine füüsiline mudel, oli ka disainitud sarnane lahendus lehtmetailist. Lahendus sarnases olemasoleva Scorpio lahendusele, sest see on lihtne disain, et seda proovida. Kuna ülikoolil on võimalus 3D printida kuid mitte lehtmetailist välja lõigata ja ära painutada, siis toimus väike suunamuutus ja disain tehti uuesti, lähtudes sellest, et toodet printitakse. Selline otsus oli kaitsta klienti ja mitte avalikustada kolmandatele isikutele, et sellise asjaga ülikoolis tegeletakse.

Prototüüpe on tehtud sama disainiga kolm tükki, toodud ka ära sele 4.4 peal. Kolmas prototüüp on viimistletud ja kuigi liikumisvabadust oli tahtlikult pisut piiratud võrreldes eelmise versiooniga, siis kliendile näidates ei sobinud ükski, kuna kliendi ettenägemuses peaks moonarenn rohkem ümber keha olema. Selgus, et M13 lindi järgi disainides ei ole moonarenn piisavalt paindlik. Koos kliendiga lepiti kokku, et moonarenni liikumisvabadust tuleb suurendada ja sellega koos kaob tõenäoliselt ära võimalus kasutada M13 linti.

Kolmas füüsiline disain on erinev eelmisest ühenduspunktide paiguse poolest, kuna selle projekti raames saadud kogemuste põhjal on eeldatav, et lahendus, kus ühenduskohad on pealmises pinnas (sele 3.3 peal variandid B ja E) võimaldavad palju väiksemaid painderaadiused kui külgedel olevad lahendused. Kuigi võrreldes maailmaklassi moonarenni omadustega jäävad liikumisvabadused pisut väiksemad, siis on veel ruumi neid paremaks teha, ilma et peaks disaini oluliselt muutma.

Tagant järgi tarkusena on tehtud projekti raames mõningased vead, kuid üldjoontes on tulemus väga hea, sest eesmärgid said täidetud. Lõpliku lahenduseni, mis masstootmisesse läheb, on tööd veel palju, kuid disain ise töötab ja kliendi sõnul on see üllatavalt hea.

Kehvasti läks see, et kulutati aega prototüübi viimistlusega ja vahepealseid versioone kliendile mitte näidates. Teisest küljest on prototüübid tehtud kuni kuuest lülist, mis on väike osa kogupikkusest ja ei loo tervikpilti ning võib olla eksitav. Olukorda oleks saanud ka vältida sellega, et oleks kohe alguses lepitud sellega, et tehakse moonarenn sobivaks vaid korduvkasutatavale lindile.

Positiivne projekti raames on see, et tänu sellele, et tegu on magistri lõputööga, on tehtud palju rohkem taustatööd ja tähtsam sellest ka dokumenteeritud. Kuigi prototüüpimisel on tehtud vigu, siis nendest on õpitud ning seda tõestab uue disaini õnnestumine esimesel korral. See ei tähenda, et see on täiuslik, kuid see täidab prototüübi eesmärgi. Lõpliku disaini puhul tuleb arvestada materjali ja tootmisvõimalusi, seega võib geomeetria pisut muutuda.

6.2 LEM ARVUTUSED

LEM arvutuste eesmärk on leida disaini nõrgad kohad. Arvulised väärtused ei ole nii olulised, kuid kuna kõiki komponente testiti sarnastel tingimustel, siis neid omavahel võrreldes, selgus, et disainilt on moonarenni lüli kõige optimaalsem ning relva adapteri puhul peaks muutma disaini või materjali. Arvutusi ei saaks kategoriseerida läbikukkuniks, kuna kõik komponendid taluksid määratud 200 N tõmbejõudu.

Moonarenni lüli disaini tulemustest on näha, et pinged on vägagi ühtlaselt jaotunud. Oodatult on suurmad pinged ühendusnaga nurgas. Nähes, et servades ei teki palju sisepinged, võiks sealt materjali eemaldada kas seinapaksuse vähendamisega või lihtsalt avadega. Selline modifitseerimine on mõeldav ainult sel juhul, kui see oleks kogu süsteemi mõttes märgatav. Avade tegemisega oleks võimalik vähendada kaalu hinnanguliselt kuni ühe kolmandiku võrra, kuid see muudab geomeetria märgatavalt keerulisemaks. Seinapaksuse vähendamisega võiks samuti kuni kolmandiku massi vähendada.

Moonakoti adapteri geomeetria ning kinnitusviisid moonakotiga on valitud sellised, et need ühendatult ei lõhuks moonakoti. Selle adapteri disain on võrdlemisi primitiivne ja seda tuleb veel järgnevate versioonidega muuta. LEM arvutustest on näha, et praegune disain on üsna habras. Tõenäoliselt oleks vaja moonakoti adapter teha veelgi tugevamast ja

kulumiskindlamast materjalist. Materjali muutmisega võib muutuda võimalikud optimaalsed tootmisvõimalused ja seetõttu ka geomeetria.

Relva adapteri LEM arvutustest selgus, et tänu suurele jõuõlale toimub nihkumine. See ei pruugi tähendada, et midagi puruneks või süsteem ei toimiks, aga sellegipoolest oleks mõistlik vähendada igasuguseid nihked. Sarnaselt moonakoti adapterile on ka relva adapterit igas süsteemis vaid üks, mistõttu tasub valida tugevam materjal.

6.3 EDASISED TEGEVUSED

Kliendile on edastatudkogu süsteemi prototüüp. Katsetamisest lahingmoonaga ja tagasiside põhjal saab kas kinnitada praegust disaini või tuleb seda vähesel määral täiustada. Praeguse disaini puhul on juba teada, et tuleks kaotada teravad servad, mida on lihtne teha ning sellega arvestatakse lõpliku lahenduse puhul. Lisaks on selgunud, et moon libiseb mööda moonarenni liialt hästi, seega peaks mõtlema lahenduse inertsi pidurdamiseks kas moonarenni lülide või moonakoti adapteri külge.

Plaan koostöös TalTech polümeeride tehnoloogia professori Andres Krummega läbi mõelda võimalikud materjalid ja töötlemisprotsessid. Materjalist ja tootmisviisist lähtudes täiendada disaini ning seejärel kontrollida uut geomeetriat uuesti 3D prinditud prototüüpidega. Kliendi soov on esmalt testida 20 moonakandursüsteemi ka oma harjutustegevustes. Tõenäoliselt tähendab see samuti 3D prinditud prototüüpidel kasutamist.

Lõplik lahendus peaks olema piisavalt kvaliteetne ja katsetatud, sest kliendil on juba optimistlik plaan ka kogulahendust välismaale müüa. Kuna suuremahulise tootmiseni on veel pikk protsess, siis tuleks senikaua hoida madalat profiili, et mitte lekitata oma disaini ja seetõttu kaotada potentsiaalseid tellimusi.

Koostöö TalTech ülikooli ja AS Profiline vahel kestab edasi, kuniks ülikooli poolset tuge vaja läheb.

7 KOKKUVÕTE

Ettevõtte AS Proflin küsis abi TalTech ülikoolilt, et koostööna tuua turule uus toode. Toode ühendab kuulipilduri läbi laskemoona juhtiva moonarenni seljaskantava moonakotiga. Ülikool ühines projektiga, kui juba oli välja aretatud moonakott ja hakati aretama disaini moonarennile, mis nende sõnul ebaõnnestus, sest nendel endil puudus pädevus luua keerukaid 3D mudeleid ja polnud ka sobivaid tootmisvõimalusi prototüüpidele.

Süsteemist oli puudu moonarenni lahendus koos relva ja moonakoti külge kinnituvate adapteritega. Kuigi turul on juba saadaval sarnased lahendused, siis üks põhikriteeriumitest kogu disaini puhul on madal hind. Seda enam, et esimesteks klientideks on Eesti Kaistevägi ja Eesti Kaitseliit, tuleks hinna madalal hoidmise juures meeles pidada, et kvaliteet ei tohiks sellest kannatada.

Esmalt kaardistati üles kliendi täpsemad soovid, toote vajalikkuse, uuriti olemasolevaid lahendusi ning pisut ka toote ajaloo. Tootel on väga vähe negatiivseid aspekte, mistõttu hind võiks olla ainuke takistus seda mitte kasutada.

Toote projekteerimisel mõõdeti parameetrid, mis tulenevad moonalintidest, mis mööda moonarenni liikuma peavad. Kuna esialgse plaani kohaselt soovis klient kasutada kahte erinevat moonalinti, millest ühe liikumisomadused on teised palju kehvemad, siis esialgsed otsused disainimesel lähtusid sellest, et süsteemi saaks kasutada mõlema lindiga.

Prototüüpe on töö käigus tehtud mitmeid ning sai koostöös TalTech laboriga 3D prinditud polüamiidist. Esimest disaini, mida välja prinditi, täisutati enne kui seda kliendile näidati. Selgus aga, et lahendus ei sobi, kuna moonarenni liikumine on liialt piiratud ning klient soovib paindlikumat lahendust. Kokkuleppeliselt otsustati uue disaini kasuks, mis aga tähendab ka, et vaid ühte kahest moonalindist on võimalik kasutada piirasendites.

Käesoleva töö raames viimane disain valmis üsna kiiresti, kuna projekti raames õpitu ja eelnevad prototüüpidega tehtud vigadest oli palju kasu. Kui eelnevate prototüüpide puhul on toodetud vaid väike osa kogu moonarennist, siis uue disainiga prinditi ka ülejäänud osa koos adapteritega. Kogu süsteemi estileti kliendile ning nendepoole arvamus oli ääretult positiivne. Viimasest kokkusaamisest saadik jäeti prototüüp kogu lahendusest kliendi kätte, et nad saaksid seda enda tingimistes katsetada.

Lõputöö raames saadud tulemused on head, sest takistusi läbides saadi asendamatu infot, mis aitab kaasa lõpliku disaini valimisel ning selle heakskiidul.

8 SUMMARY

Estonian company AS Proflin have asked TalTech University for help to bring a new product to the market. The product connects a machine gun to the ammo backpack with a ammo chute. The university joined the project when the backpack had already been developed and a design for a ammo chute had begun. Their design did not get far because they lacked the skills to create complex 3D models and did not have suitable production facilities for prototypes.

The system lacked solution to the ammo chute with adapters attached to the gun and the bag. Although similar solutions were available on the market, one of the main criteria for the whole design is low price. Especially as the first customers are to be Eesti kaitsevägi (the Estonian Defense Forces) and Eesti kaitsealiit (the Estonian Defense League), the low price should not affect quality.

First, the customer's more specific wishes were mapped and existing solutions were investigated. Since this product has very few negative aspects to it, the only obstacle not to use this would be high price.

Before designing process started, the parameters from the ammo belts were measured. According to the original plan, the customer wanted to use two different ammo belts, one of which has much less freedom in movement properties. Initial decisions of the design were based on the fact that the system could be used with both ammo belts.

Several prototypes have been made and these were 3D printed in cooperation with TalTech laboratory out of polyamide. The first design that was printed was improved twice before it was shown to the customer. However, it turned out that the solution is not suitable, because the movement is too limited. Customer preferred a more flexible solution, therefore, it was decided in favor of the new design, which also means that only one of the two ammo belts could be used.

The final design within this thesis was completed fairly quickly. It was done with the knowledge learned during the project and from errors made in previous prototypes. While the previous prototypes were produced in just small portion of the whole ammo chute, then with the new design tested, a full size ammo chute with the adapters were produced aswell. The whole system was shown to the client and their opinion was overwhelmingly positive. Since the last meeting with customer, the prototype has been left in their hands for testing.

The results obtained in the thesis are good, because the bumps along the way provided irreplaceable information, which helps to select the final design and makes its approval more informed decision.

9 LISAD

Tabel 9.1 Eesti kaitseväes kasutusel olevate kuulipildujate KSP-58 ja MG-3 tehnilised andmed

Kuulipilduja	KSP-58	MG-3
Padrun	7.62x51	7.62x51
Kuuli algkiirus	850 m/s	820 m/s
Tehniline laskekiirus	600-850 l/min	1200 l/min
Efektiivne laskekaugus	600 m	600 m
Relva kaal	11,6 kg	11,5 kg
Relva pikkus	1275 mm	1225 mm
Vintraua pikkus	545 mm	565 mm



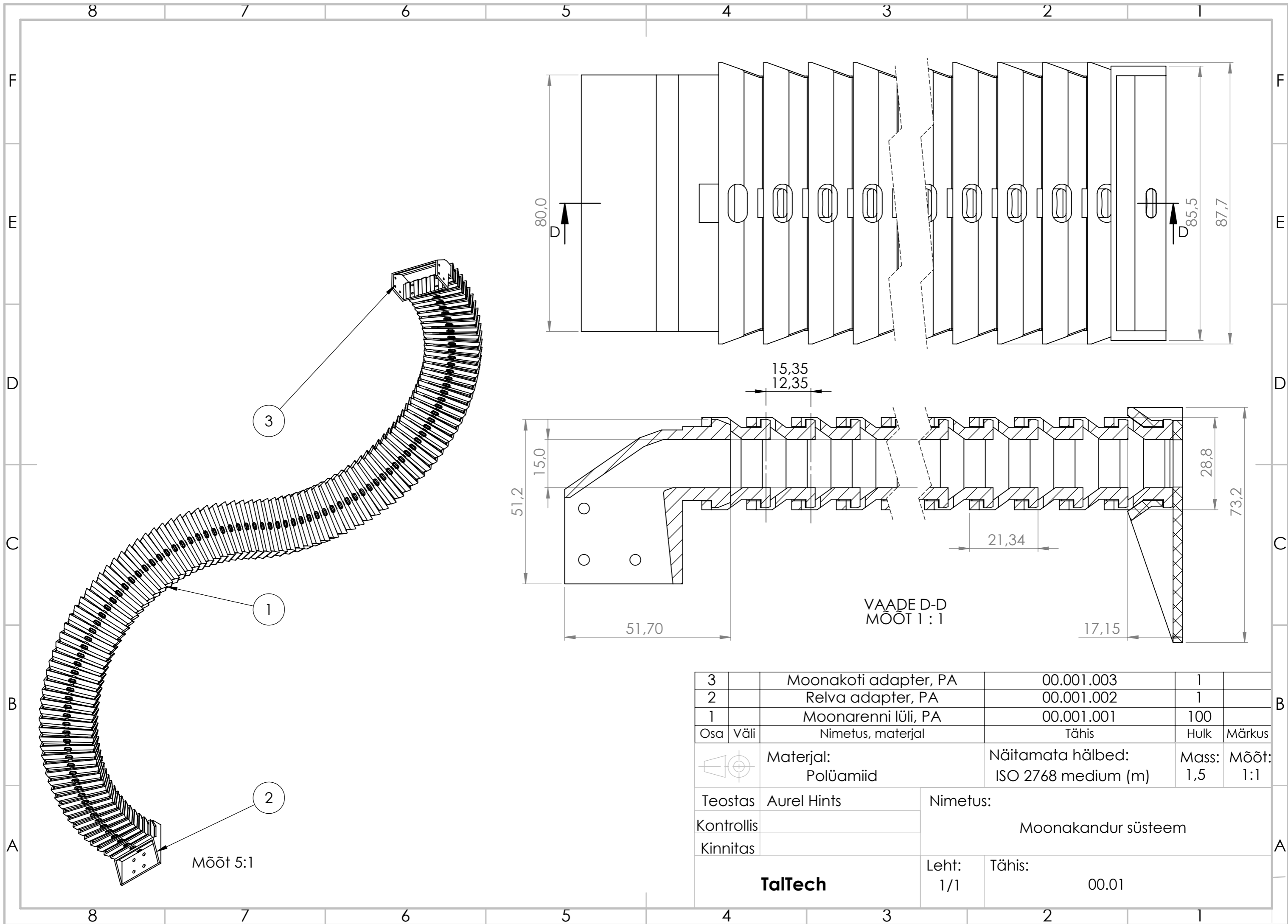
Sele 9.1 Kuulipildur MG-3^[26]

[26] <https://mil.ee/kaitsevagi/tehnika/relvad/#t-762-mm-kuulipilduja-mg-3>

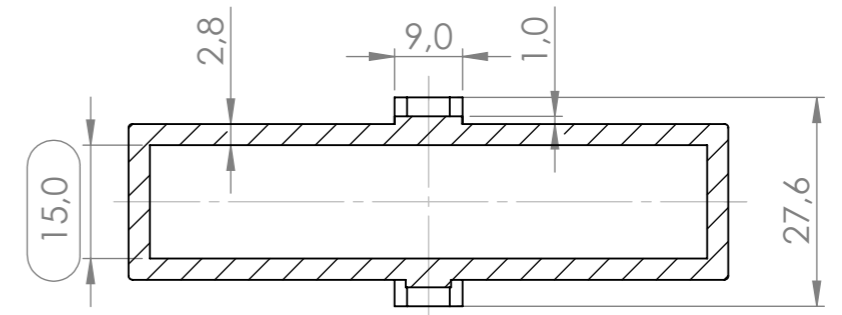
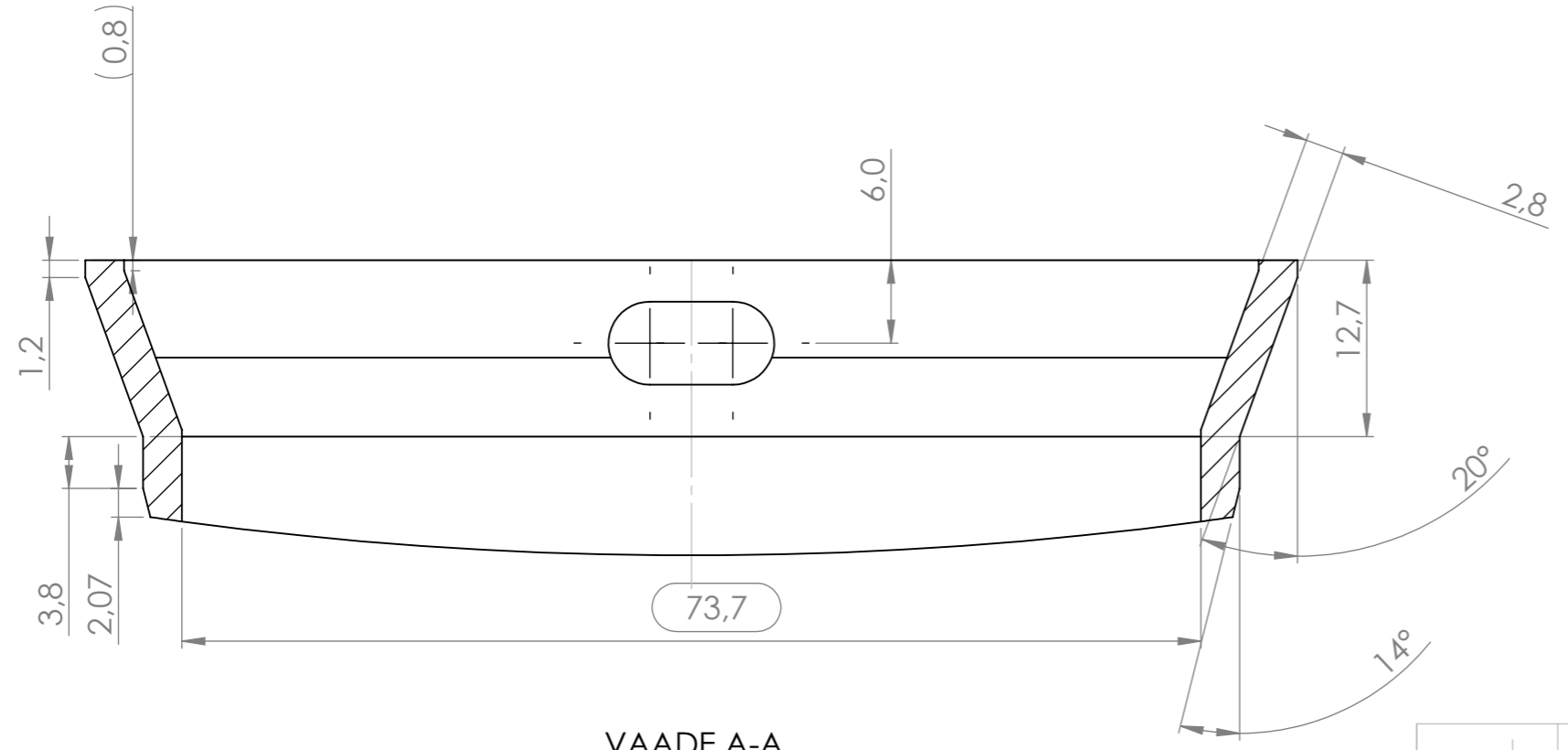
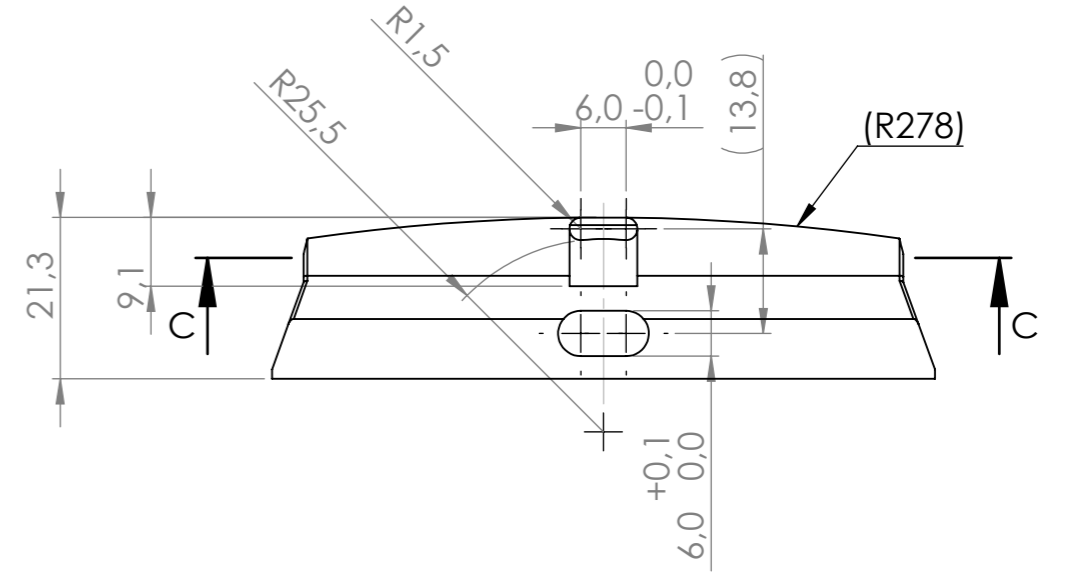
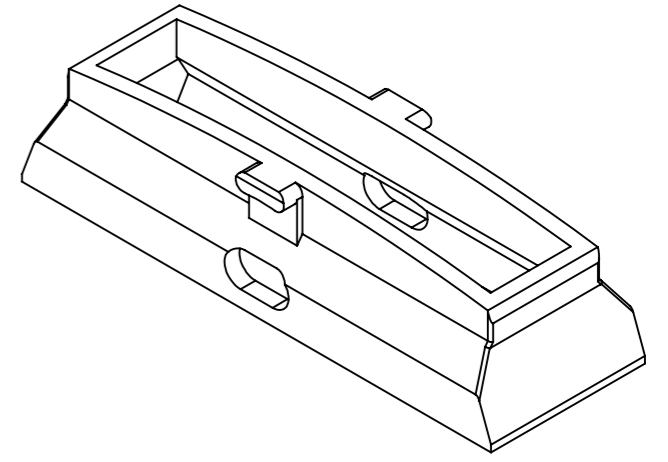
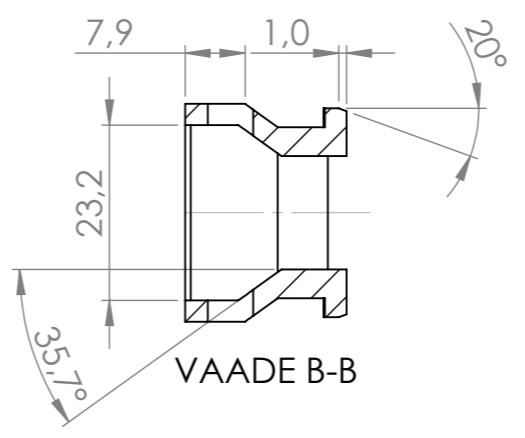
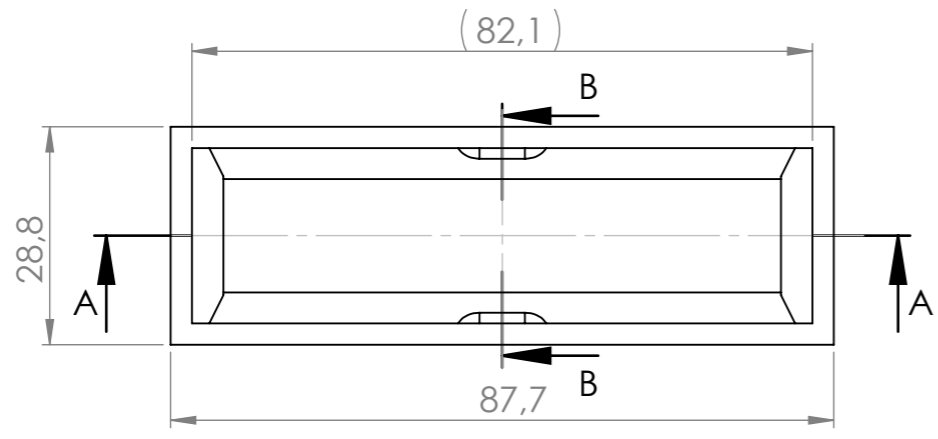


Sele 9.2 Kuulipildur KSP-58^[27]

[27] <https://mil.ee/kaitsevagi/tehnika/relvad/#t-762-mm-kuulipilduja-ksp-58>



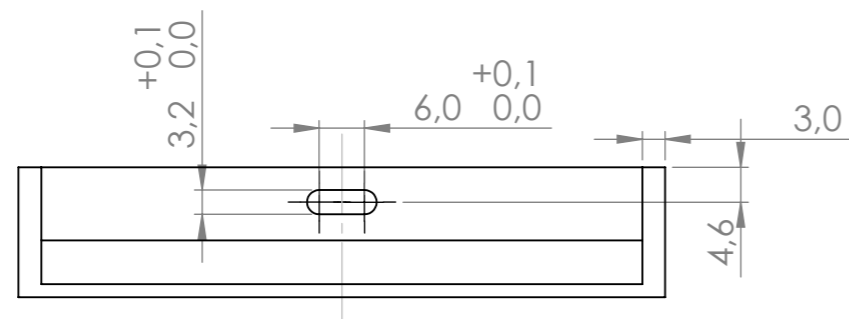
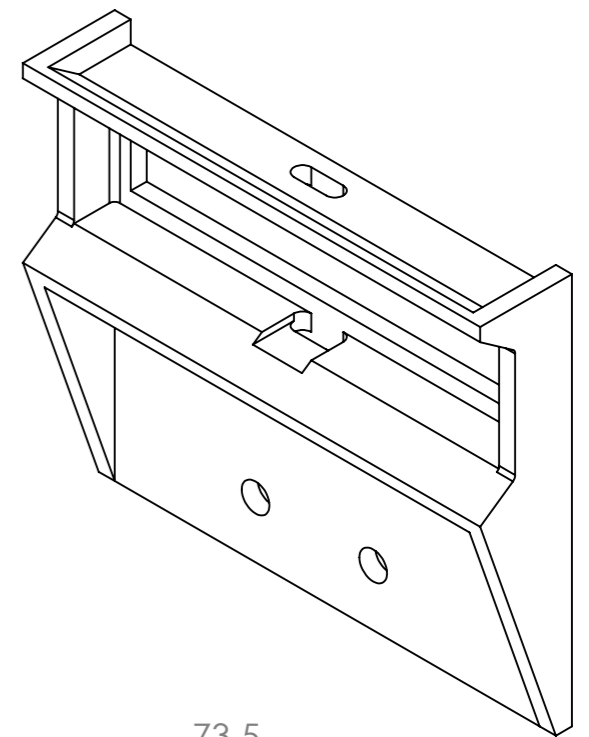
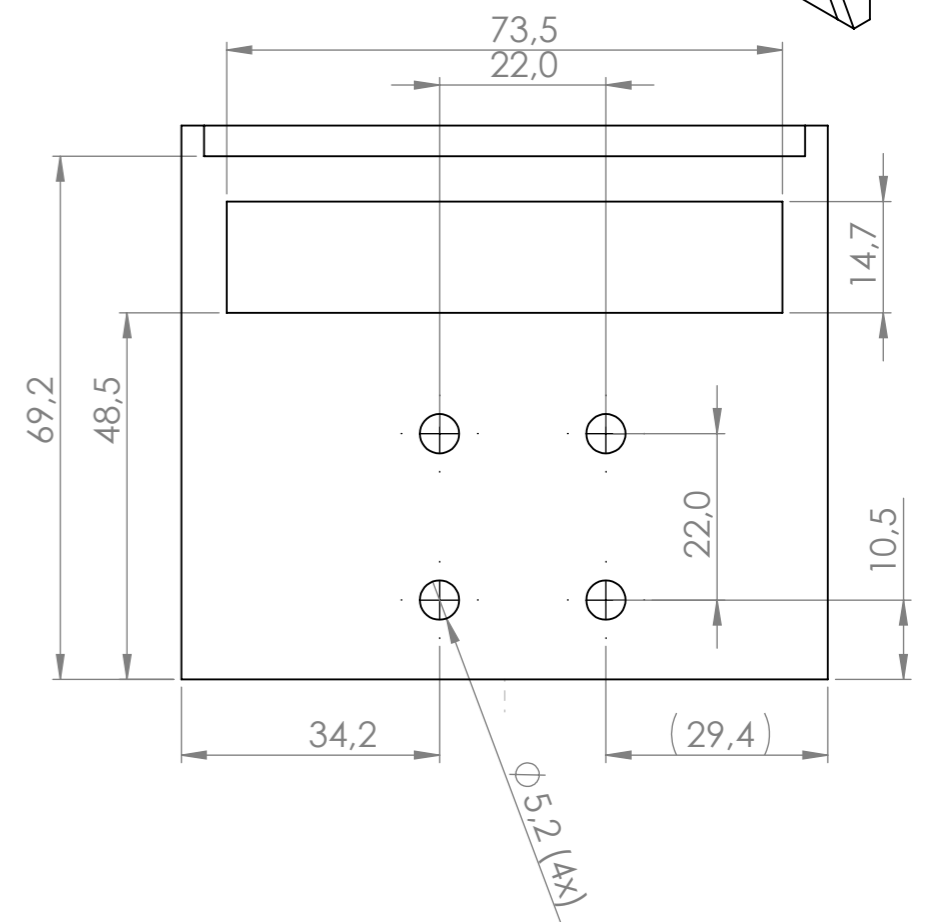
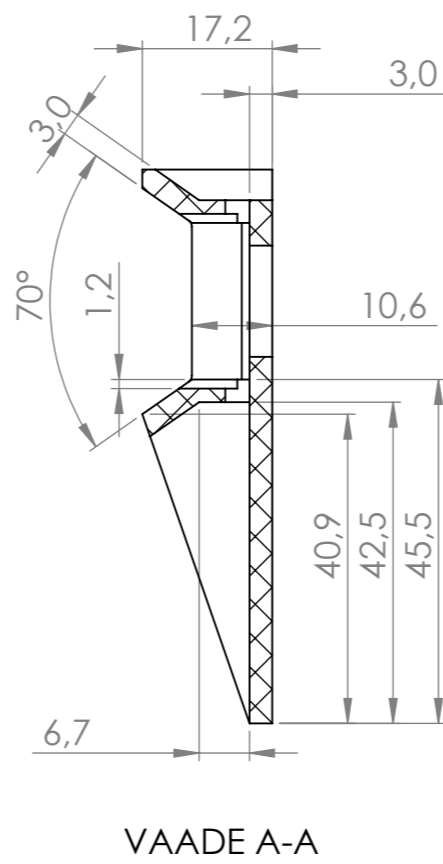
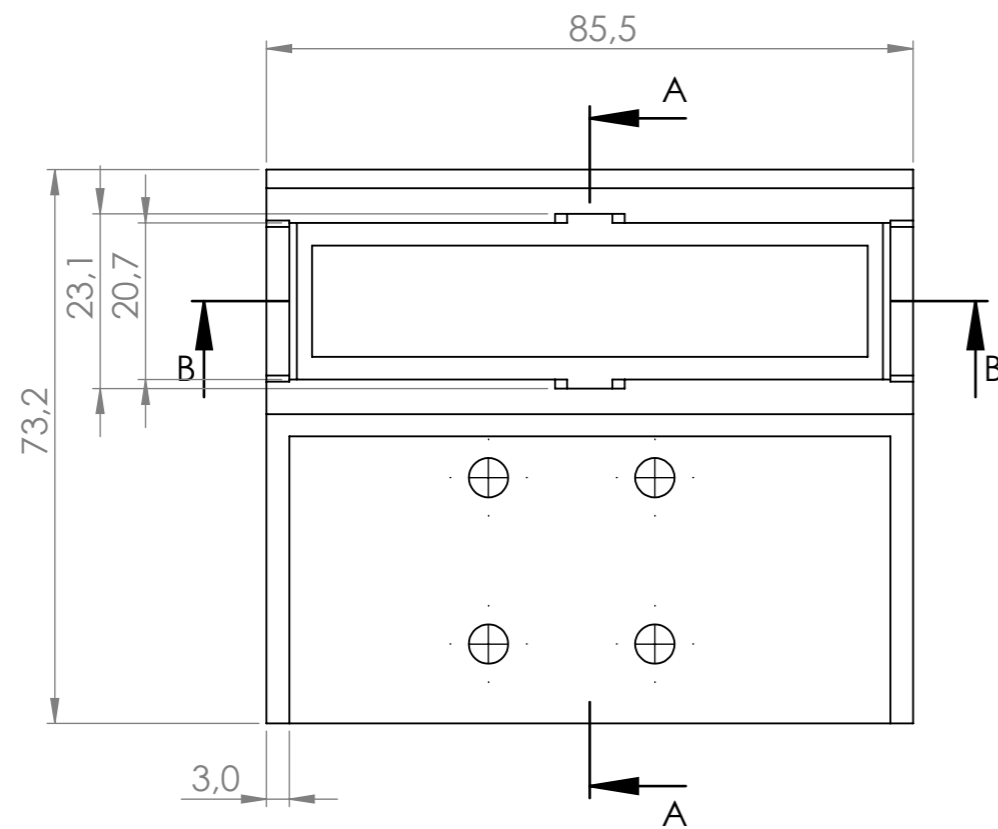
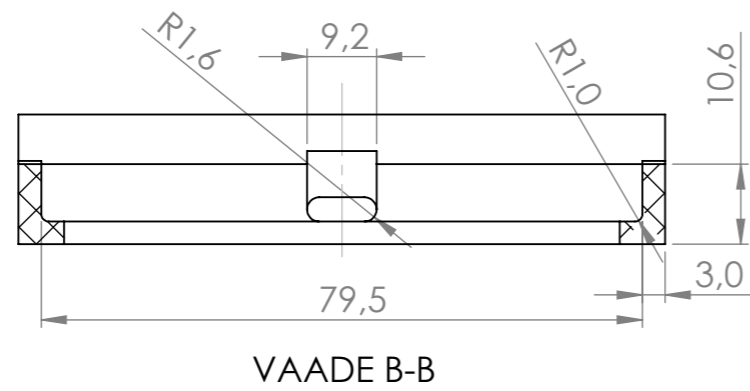
3		Moonakoti adapter, PA	00.001.003	1	
2		Relva adapter, PA	00.001.002	1	
1		Moonarenni lüli, PA	00.001.001	100	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal: Polüamiid	Näitamata hälbed: ISO 2768 medium (m)	Mass: 1,5	Mõõt: 1:1
Teostas	Aurel Hints		Nimetus:		
Kontrollis			Moonakandur süsteem		
Kinnitas			Leht: 1/1	Tähis: 00.01	
TalTech					



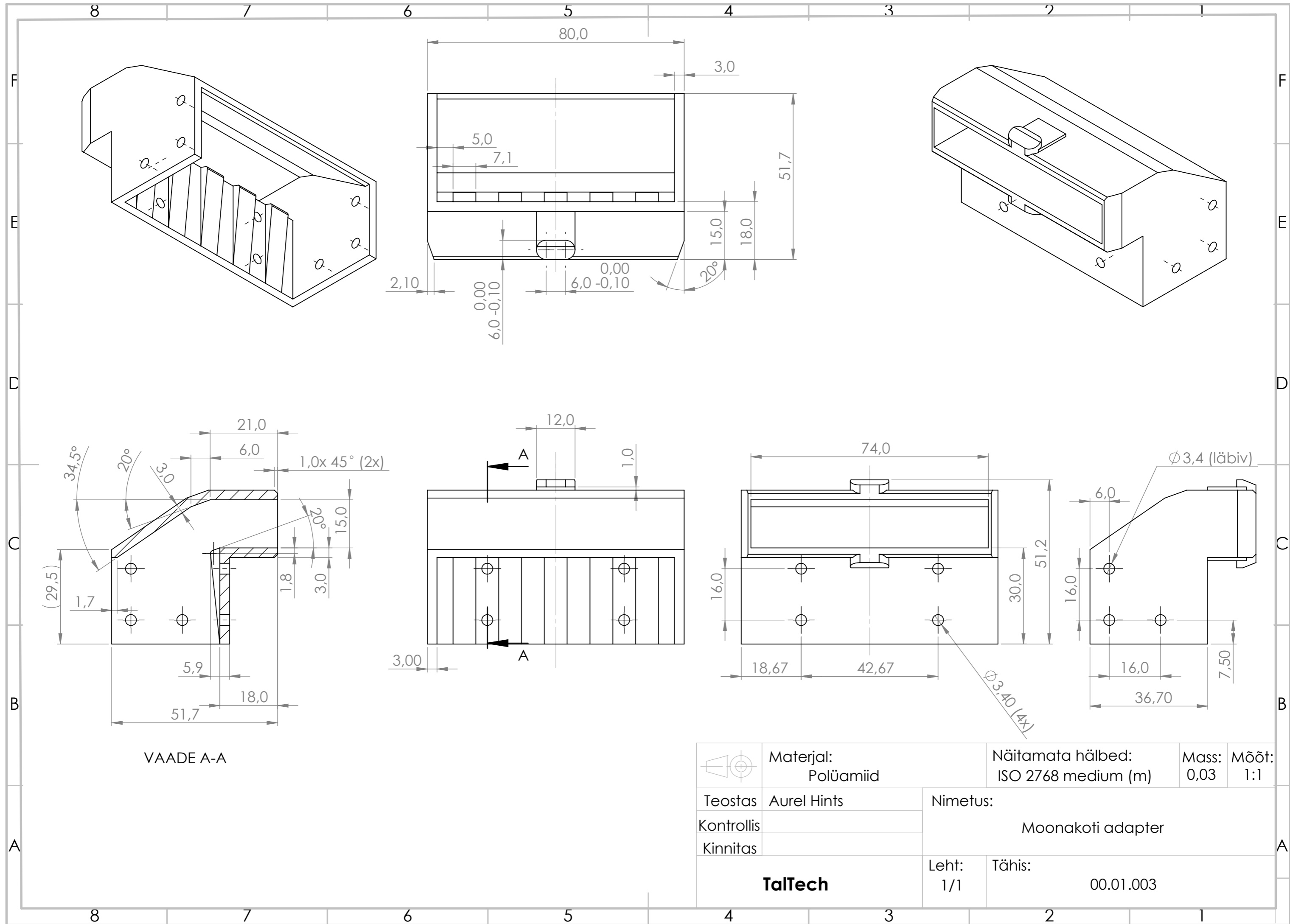
VAADE A-A
MÕÖT 2:1

VAADE C-C

	Materjal: Polüamiid	Näitamata hälbed: ISO 2768 medium (m)	Mass: 0,01	Mõõt: 1:1
Teostas	Aurel Hints	Nimetus: Moonarenni lüli		
Kontrollis				
Kinnitas		Leht: 1/1	Tähis: 00.01.001	
TalTech				



	Materjal: Polüamiid	Näitamata hälbed: ISO 2768 medium (m)	Mass: 0,03	Mõõt: 1:1
Teostas	Aurel Hints	Nimetus: Relva adapter		
Kontrollis				
Kinnitas		Leht: 1/1	Tähis: 00.01.002	
TalTech				



VAADE A-A

	Materjal: Polüamiid	Näitamata hälbed: ISO 2768 medium (m)	Mass: 0,03	Mõõt: 1:1
Teostas	Aurel Hints	Nimetus: Moonakoti adapter		
Kontrollis				
Kinnitas		Leht: 1/1	Tähis: 00.01.003	
TalTech				