



MEHHAANIKAINSTITUUT

Tootearenduse õppetool

MES70LT

Vitali Lopatnjuk

Eellaetava õhkrelva projekteerimine

Autor taotleb tehnikateaduse magistri akadeemilist kraadi

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Martin Eerme juhendamisel

“ ” mai 2015 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”2015a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”2015 a.

..... allkiri

1 Sisukord

1	Sisukord.....	3
2	Jooniste ja tabelite loetelu	4
3	Üldinfo	7
4	Ülesanne.....	7
5	Turu analüüs (Eesti)	8
6	Arendus	10
6.1	Üldine tööpõhimõte	10
6.2	Raud.....	11
6.2.1	Raua kinnitus lukukoja külge	12
6.3	Reservuaar	14
6.3.1	Ülesanne	14
6.3.2	Konstruksiooni erisused	14
6.3.3	Toru	15
6.3.4	Esikaas	19
6.3.5	Tagakaas	24
6.4	Löökgrupp.....	33
6.4.1	Vintlukk	38
6.4.2	Pinges detailide analüüs	42
6.5	Päästesüsteem	44
6.5.1	Mehhaaniline osa.....	44
6.5.2	Elektrooniline osa.....	49
6.5.3	Algoritm	58
6.6	Mudel.....	59
7	Majanduslik arvutus	60
8	Kokkuvõte	61
9	Kirjanduse loetelu	63
10	Lisad.....	65

2 Jooniste ja tabelite loetelu

Tabel 5.1. Tooted Eesti turul	8
Tabel 6.1. Lothar Walther rauad.....	11
Tabel 6.2. Raua kinnitamise viisid	12
Tabel 6.3. Alumiiniumi võrdlus	16
Tabel 6.4. D38 torud.....	16
Tabel 6.5. Arduino micro	54
Sele 5.1. WALTHER DOMINATOR FT 1250.....	8
Sele 5.2. Hatsan PCP AT44w-10	9
Sele 5.3. EDgun MATADOR R3M (long).....	9
Sele 6.1. Üldne töö printsiip	10
Sele 6.2. Raua kinnitus kruuvitega külgedel	13
Sele 6.3. Raua kinnitus kruuvitega üleval	13
Sele 6.4. Vintraua tihendamise skeem.....	14
Sele 6.5. Solidworks simulatsioon.....	18
Sele 6.6. Reservuaar manomeetriga (näidis)	19
Sele 6.7. Manomeeter „Wika“ 0-315 bar	20
Sele 6.8. Manomeeter "Wika" skeem	20
Sele 6.9. Manomeetri pesa.....	20
Sele 6.10. Kiirliitmikuga täitmistoruliitmik (male).....	22
Sele 6.11. Kiirliitmikuga täitmistoruliitmik (female).....	22
Sele 6.12. 1/8 BSP ühendus (male)	22
Sele 6.13. 1/8 BSP ühendus (female)	22
Sele 6.14. Täiteport tagasilöögiklappiga (skeem)	23
Sele 6.15. Rreservuaari esiosa mudel läbilõikes.....	23
Sele 6.16. Väljalaskeklapp 1.....	24
Sele 6.17. Väljalaskeklapp 2.....	24
Sele 6.18. Väljalaskeklapp 3.....	25
Sele 6.19. Väljalaskeklapp 4.....	25
Sele 6.20. Väljalaskeklapp 5.....	26
Sele 6.21. Väljalaskeklapp 6.....	26
Sele 6.22. Tagakaas-lukukoda v.1	27
Sele 6.23. Tagakaas-lukukoda v.2	28
Sele 6.24. Polüamiidvarras	29
Sele 6.25. Varred hiinast.....	30
Sele 6.26. Tagakaas osalises läbilõikes	32
Sele 6.27. Verdu valik	33
Sele 6.28. Löökuri korpuse variantid	34
Sele 6.29. FX Typhoon lukkukoda.....	35
Sele 6.30. Crosman lukkukoda.....	35
Sele 6.31. Löökuri vedru [30].....	36
Sele 6.32. Löökuri disain.....	37
Sele 6.33. Kuuli sisestamine.....	39
Sele 6.34. Arctix kuulid.....	40
Sele 6.35. Gamo kuulid	40

Sele 6.36. Gamo ja Arctix kuulid läbilõikes.....	41
Sele 6.37. löökur ja lukukoda 1	41
Sele 6.38. Löökur ja lukukoda 2.....	42
Sele 6.39. Hoova mõõtmel.....	42
Sele 6.40. hoova analüüs - stress	43
Sele 6.41. Hoova analüüs - displacement	43
Sele 6.42. "EDgun" päästik [33].....	44
Sele 6.45. Päästehoova vedru [30].....	45
Sele 6.43. Päästehoova staatika	45
Sele 6.44. Päästehoova staatika 2	47
Sele 6.46. Päästehoova stress	48
Sele 6.47. Päästehoova displacement	49
Sele 6.48. Aktuaatorid [34].....	50
Sele 6.49. Solenoid [35]	50
Sele 6.50. Servo [36]	51
Sele 6.51. Servo parameetrid [38]	52
Sele 6.52. Servo2 [37]	52
Sele 6.53. aku [39].....	53
Sele 6.54. aku	53
Sele 6.55. Arduino micro [40].....	54
Sele 6.56. Lüliti [41].....	55
Sele 6.57. Nupplüliti [44]	55
Sele 6.58. Pingeregulator [42]	56
Sele 6.59. Pingeregulaatori skeem [43]	56
Sele 6.60. El.skeem	57
Sele 6.61. Päästiku algoritm	58
Sele 6.62. Päästiku mehhanism läbilõikes.....	59
Sele 6.63. Relv mudel.....	59
Sele 6.64. Relv mudel2.....	59

TTÜ mehhaanikainstituut
Tootearenduse õppetool
MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Vitali Lopatnjuk 130372

Õppekava: MATM 02/11- Tootearendus ja tootmistehnika

Spetsialiseerumine: Tootmistehnika

Juhendaja: Professor Martin Eerme

Konsultandid:

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) **Eellaetava õhkrelva projekteerimine**

(inglise keeles) **Pre-charged pneumatic rifle design**

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Ülesande püstitus. Turu analüüs - olemasolevate õhkrelvade ja eeliste ja puuduste analüüs. Õhkrelva tehniliste parameetrite defineerimine.	01.03.2015
2.	Õhkrelva raua valik ja kinnituste projekteerimine. Reservuaari areng ja detailide valik. Pinge arvutused.	25.03.2015
3.	Reservuaari areng ja detailide valik. detaili jooniste koostamine.	21.04.2015
4.	Relva lukukoja ja päästikusüsteemi aarendamine. Päästiku mehhanismi arvutus. Tehniliste kooste- ja detaili jooniste koostamine.	10.05.2015
5.	Töö lõppvormistus, trükkimine ja köitmine.	22.05.2015

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Töö eesmärgiks on projekteerida odav ja töökindel eellatav õhkrelv. Selles töös analüüsitakse olemasolevate õhkrelva lahendused ja pakutakse välja majanduslikult otstarbekas relva konstruktsioon. Elektroonika- ja juhtimise osas pakutakse vajalikud lülitid ja koostatakse süsteemi juhtimisprogramm. Lisatakse konstruktsiooni detaili- ja koostejoonised. Töös kasitletakse ka ohutuse aspekte ja esiatatakse lahenduse majanduslik analüüs

Töö keel: eesti

Kaitsmistaotlus esitada dekanati hiljemalt 12.05.2013 **Töö esitamise tähtaeg 25.05.2013**

Üliõpilane Vitali Lopatnjuk /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Martin Eerme /allkiri/ kuupäev.....

3 Üldinfo

Eellaetav pneumorelv (ingl. *Pre Charged Pneumatics* PCP)

Tavaliselt kujutab endast pneumorelva raua all või pära sees paikneva õhu- või muu gaasireservuaariga. Gaasi rõhk reservuaaris ~ 200at. On olemas ka suurema piirrõhuga variante - ~ 300at. Reservuaari täitmine toimub suruõhupumba või eellaetud ballooni abil. Töökehana võib samuti kasutada ka heeliumit parema kokkusurutavuse ja kõrgema helikiiruse tõttu. Olenevalt reservuaari mahust võib PCP relvast ühel laadimisel teostada 30-150 lasku. Eellaetavate relvade kui ka multikompressioonrelvade üheks omaduseks on tagasilöögi puudumine. Antud asjaolu võimaldab kasutada PCP relvadel suvalisi optilisi sihikuid olenemata nende ehitusest vältides sihiku riknemise ohtu, mis on tingitud kolmekordsest tagasilöögist vedrupüssil.

Otsevooluga PCP

Otsevoolurelvades õhk reservuaarist, mis on doseeritud klapiga, satub rauda ning lükkab kuuli. Laskeseeria käigus toimuv järkjärguline rõhu langus relva reservuaaris, toob kaasa kuuli kiiruse languse, trajektoor muutub järsemaks, langeb lasketihedus. See on eriti märgatav pikkadel laskeseeriatel. Kuuli kiiruse kontrolli eesmärgil otsevooluga PCP relvi varustatakse manomeetriga. Priktilistes tegevustes nagu jaht, parasiitide tõrje kus suurt laskude hulka ei ole tarvis otsevooluga relvi kasutada siiski laialt.

Reduktoriga PCP

Stabiilse seeriatega sportliku laskmise tarbeks soovitatakse tavaliselt reduktoriga relvi.

Reduktoriga relvad on keerulisema ehitusega, neil on tavaliselt kõrgem hind. Reduktor tagab stabiilset gaasi rõhku, mis satub seejärel väljalaskeklapist rauda ja lükkab kuuli. Reduktoriga antav rõhk (reduktorijärgne) pannakse paika reduktori seadistamisega. See on alati madalam kui rõhk reservuaaris (reduktorieelne). Rõhu langus reservuaaris ei avalda mõju kuuli kiirsele niikaua kui rõhk reservuaaris on kõrgem kui seadistatud reduktorijärgne. Peale rõhu langemise alla seadistatud piiri reduktoriga relv hakkab toimima samamoodi nagu otsevooluga relv. Kiiruste stabiilsus reduktoriga relvades on kõrgem järelikult on kõrgem ka lasketihedus. Gaasi tarbimine reduktorrelvades on reeglina madalam kui otsevoolurelvades.

4 Ülesanne

Arendada PCP tüüpi pneumorelva mis ei jää oma kvaliteedi ja tehniliste andmete poolest olemasolevatele analoogidele alla, kuid on lihtsama ehitusega ja madalama hinnaga.

Nõuded:

- Kaliiber 4.5 mm
- Töörõhk - 300 at
- Ilma reduktorita
- Laskude miinimumarv ühest laadimisest – 60

- Ühelaenguline
- „Bullpup“** koostus
- Hind kuni 700 EUR
- Turvalisus

** „Bullpup“ – komponeering, kus päästik on paigutatud löökurmehhhanismi ette. Antud komponeering lubab oluliselt vähendada relva üldpikkust ilma raua lühendamata.

5 Turu analüüs (Eesti)

Toode	Raua pikkus (mm)	Töörõhk (at)	Õhuballooni maht (cm ³)	Laskude arv	Bullpup	Hind (Euro)	Kvaliteet
WALTHER DOMINATOR FT 1250	600	300	154	50	ei	850	7/10
Hatsan PCP AT44w-10	495	200	180	40	ei	428	6/10
EDgun MATADOR R3M (long)	590	210	360	70	JAH	900	10/10

Tabel 5.1. Tooted Eesti turul



Sele 5.1. WALTHER DOMINATOR FT 1250



Sele 5.2. Hatsan PCP AT44w-10

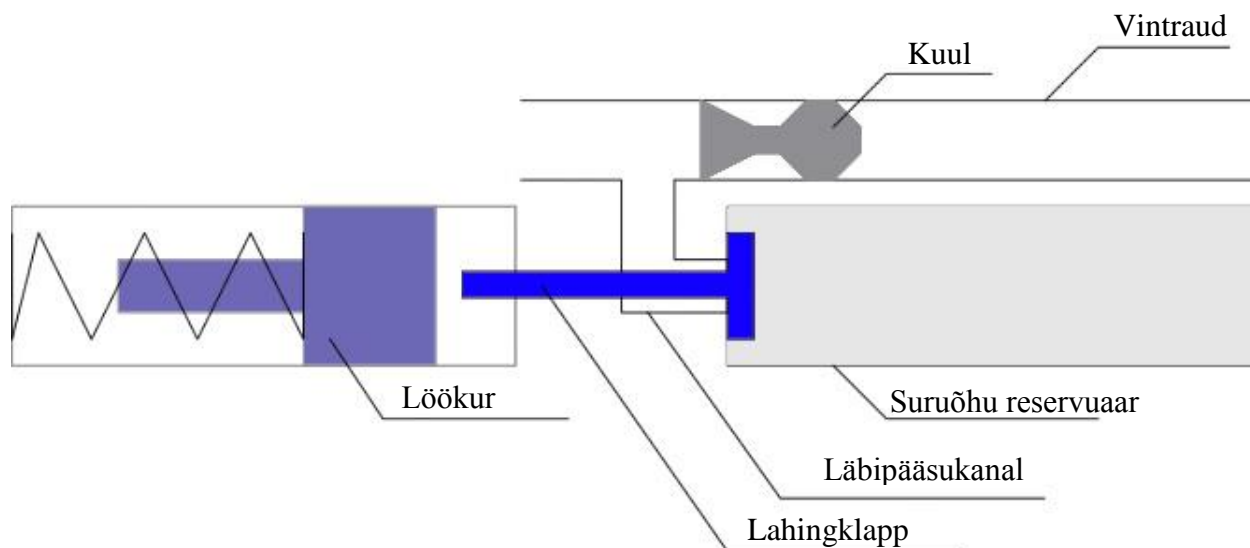


Sele 5.3. EDgun MATADOR R3M (long)

Nagu on näha, Eestis on PCP relvade valik väga kitsas. Pakutakse ainult ühte toodet mis vastaks peaaegu kõigile nõuetele. «Walter» ja «Hatsan» relvi võib osta tavalistest relvapoodidest. «Edgun» esindus on aga olemas ainult Ida-Virumaal.

6 Arendus

6.1 Üldine tööpõhimõte



Sele 6.1. Üldne töö printsiip

Lasku sooritamiseks alguses vinnastatakse löökurmehhanismi, seejärel sisestatakse kuuli raua kanalis. Peale seda, kui laskur vajutab päästikut ning löökurmehhanism lööb väljalaskeklapi vardale pihta suruõhk reservuaarist läbipääsukanali kaudu pääseb raua lükates sellega kuuli.

6.2 Raud

Käesoleva projekti tarbeks läheb vaja rauda, mille sisse on tehtud vintsooned. Vintraua valmistamine vajab spetsiaalseid seadmeid ja oskusi, mis on olemas ainult antud alal spetsialiseeruvatel ettevõtetel. Üks nendest ettevõtetest on «Lothar Walther». Antud ettevõtte pakub laias valikus relvaraudade toorikuid. Sealhulgas ka pneumorelvadele kaliibriga 4,5 mm.

Rauatoorikute parameetrid:

kaliiber	Väli diameeter	Pikkus	Sooned (tk)	Soonte diameeter	väändus	Hind
.177" (4.4958 mm)	.354" (8.9916 mm)	23.8" (604.52 mm)	12	.182" (4.6228 mm)	17.7" (449,58 mm)	\$ 112 (€ 103)
.177" (4.4958 mm)	.390" (9.90600 mm)	23.8" (604.52 mm)	12	.182" (4.6228 mm)	17.7" (449,58 mm)	\$ 112 (€ 103)
.177" (4.4958 mm)	.470" (11.938 mm)	23.8" (604.52 mm)	12	.182" (4.6228 mm)	17.7" (449,58 mm)	\$ 112 (€ 103)
.177" (4.4958 mm)	.550" (13.97 mm)	23.8" (604.52 mm)	12	.182" (4.6228 mm)	17.7" (449,58 mm)	\$ 112 (€ 103)
.177" (4.4958 mm)	.590" (14.986 mm)	23.8" (604.52 mm)	12	.182" (4.6228 mm)	17.7" (449,58 mm)	\$ 112 (€ 103)
.177" (4.4958 mm)	.630" (16.002 mm)	23.8" (604.52 mm)	12	.182" (4.6228 mm)	17.7" (449,58 mm)	\$ 112 (€ 103)

Tabel 6.1. Lothar Walther raud

Niisiis «Lothar Walther» toodangust raudade toorikud erinevad omavahel ainult välidiameetriga. Mina eelistan antud projekti tarbeks maksimaalse võimaliku välidiameetriga toorikut, kuna see tagab töötlemisele ja tugevusele vajaliku varu.

6.2.1 Raua kinnitus lukukoja külge

Raua kinnitamiseks lukukojale on olemas mitu varianti. Ülesandeks on kõige lihtsama ja kindlama variandi leidmine. Põhilised meetodid koos nende plusside ja miinusitega väliku lihtsustamiseks on toodud allolevas tabelis.

Variant	Plussid	Miinused
Liimiga kinnipressimine	1) Minimaalne raua tooriku mehhaaniline töötlemine	1) Peamise ka miinuseks on see, et ühendus raud-lukukoda muutub lahtivõtmiseks tinglikult kõlbmatuks. Võib tekkida vajadus raua vahetamises rike tõttu või omaniku soovil kaliibri suurendamiseks (4.5 mm-st 5.5 mm-le või isegi 6.35 mm-le). 2) Vajalik on täpne istu tolerantside täitmine.
Lukukoda külgedest raua sisse keeratud kruvid	1) Lahtivõetav konstruktsioon 2) Kindel kinnitus	1) Nõutav raua lisatöötlemine. Vajalikud on keermega avad rauas ja avad lukukojas.
Kaks kruvi lukukoja ülevalt, mis suruvad raua lukukojaga kokku	1) Lahtivõetav konstruktsioon 2) Kindel kinnitus 3) Ei vaja keerulist mehhaanilist raua töötlemist (võrreldes meetodiga, kui kruvid on külgedel)	1) Vajab mehhaanilist töötlemist
Keermesliide (tihvtiga fikseering)	1) Lahtivõetav konstruktsioon. Raua vahetus käib lihtsalt ja kiirelt 2) Väga kindel kinnitus	1) Kõrged nõuded keermekvaliteedile. 2) Kõrge töömahukus.

Tabel 6.2. Raua kinnitamise viisid



Sele 6.2. Rauda kinnitus kruuvitega külgedel

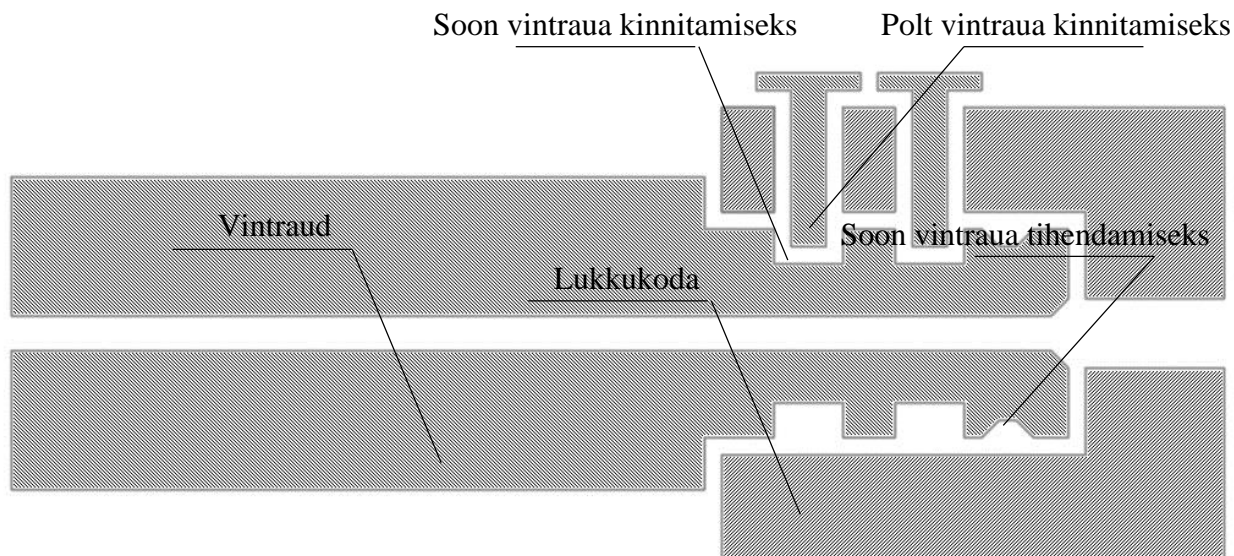


Sele 6.3. Rauda kinnitus kruuvitega üleval

Hoolikalt uurides valikut neljast peamisest raua kinnitamise meetodist peatusin variandil kahe kruviga ülevalt. Selle rakendamine ei vaja täpset mehhaanilist töötlemist, mis mõjutab positiivselt toote üldist maksumust. Kokkupaneku staadiumil ei lähe vaja spetsiifilisi lisaseadmeid. Lisaks tekib võimalus raua piisavalt kiiresti vahetada.

Raua tihendamine lukukojas

Raua tihendamiseks lukukojas raua lukukojapoolse otsa lõgatakse sisse soont kuhu paigaldatakse rõngastihendit.



Sele 6.4. Vintraua tihendamise skeem

6.3 Reservuaar

6.3.1 Ülesanne

Reservuaar on mõeldud õhkrelva toitmiseks. Esikaanes või siis lukukojas on olemas ka „väljalaskeklapp“. Kui relva löökur lööb klapile pihta, suruõhu ports pääseb edasi süsteemi ja hakkab kuuli kiirendama. Tagakaanes on olemas täitmisava ja manomeetri ava. Enne laskmist täidetakse reservuaar surveni 200-300 at.

6.3.2 Konstruktsiooni erisused

Enne reservuaari projekteerimise alustamist tuleb kindlaks määrata selle konstruktsiooni mõned aspektid.

Reduktor või otsevool

Antud juhul valik on paika pandud esialgsete tingimustega. Tarvis on kasutada otsevooliga konstruktsiooni. Selle eelisteks on madalam hind ning lihtsam reservuaari ehitus.

Väljalaskeklapp ühes kaanetest või lukukojas

Väljalaskeklapp täidab õhudosaatore funktsiooni. See on sulgesüsteem raua ja reservuaari kõrge rõhu vahel. Väljalaskeklapi varras peab ulatuma löökurmehhanismini. Lukukojas paikneva klapi konstruktsiooni põhiliseks miinuses on see, et on võimatu reservuaari täitmine lukukojast eraldatuna ning vastavalt ka reservuaari lukukojast lahtiühendamine ilma õhu reservuaarist välja laskmata. See tähendab et täidetud tagavarareservuaari olemasolul selle kiire vahetus ei osutu võimalikuks ning olukorras, kus on juba vajalik reservuaari vahetus või täitmine, rõhk selles veel püsib.

Pidades meeles kõik puudused mina otsustasin et mõistlik on paigutada väljalaskeklapp reservuaari tagumise kaane korpusesse.

Manomeetriga või ilma

Relva kasutamise ajal rõhu jälgimine reservuaaris on väga oluline. See võimaldab õigeaegselt reservuaari täita või seda vahetada. Reservuaari paigutatud manomeeter on ka dubleerivaks lisaturvasüsteemiks reservuaari surugaasiga täitmisel. Täitesüsteemis paikneva põhimanomeetri rike korral teine jääb alles. Samuti, teadmata kui palju langeb rõhk iga lasku järel ei osutu võimalikuks relva seadistamine maksimaalsele tootlikkusele minimaalse gaasitarbimisega. Sellega ma arvan et manomeeter on reservuaari lahutamatuks osaks. Kõige mugavam selle paigutus on esikaanes.

6.3.3 Toru

Alguseks tuleb täpsustada mis materjali toru valmistamiseks kasutada. Toru peab 300 at survele vastu pidama ilma plastilise deformatsiooni tekkimiseta. Samuti on meile oluline ka konstruktsiooni üldine kaal. Nii põhilisteks valiku kriteeriumiteks on kaal ja voolavustugevuse tegur (yield strenght). Teras sobib oma mehhaaniliste omaduste ning ka hinna poolest, aga terasest valmistatud reservuaar osutub liiga raskeks. Peamisteks pretendentideks on alumiiniumi sulamid (näiteks duralumiinium) ja titaan. Titaan näitab väga häid omadusi, kuid titaanist toodangu hind on liiga kõrge. Seega jääb alles ainult alumiinium ja selle sulamid. Meile on tarvis materjali kõrgeima voolavustugevuse teguriga. „Ruukki“ firma veebilehelt mina leidsin alumiiniumsulamite markide võrdlustabeli.

AW		Temper	R _{p0,2min}	R _{mmin}	R _{mmax}	A ₅₀ mm%
1050A	Al 99.5	H22	55	85	125	5
2017A	AlCu4MgSi	T4	245	390	-	14
2024	AlCu4Mg1	T4	290	425	-	12
3103	AlMn1	H22	75	115	155	7
4017	AlSiMnMgCu					
5005	AlMg1	H22/H32	80	125	165	5
5026	AlMg4.5MnSiFe	H24 ¹⁾	220	300	340	5
5083	AlMg4.5Mn0.7	H22/H32	215	305	380	6
5754	AlMg3	H22/H32	130	220	270	8
6063	AlMg0.7Si	T4	65	130	-	12
6082	AlSi1MgMn	T4	110	205	-	12
7075	AlZn5.5MgCu	T6	460	540	-	6

Tabel 6.3. Alumiiniumi võrdlus

Tabelist tuleneb et «AW 7075» sulam on suurima voolavustugevuse teguriga (460 MPa) järgmine aga jääb sellele oluliselt alla (290 MPa).

Edasi on tarvis kindlaks määrata toru välist läbimõõtu ja seinte paksust. Läbimõõdu valik on piiratud ainult esteetiliste aspektide ja toru tarnija tootesortimendiga. Sarnase toodangu läbimõõdud varieeruvad 30-40 mm. Oma reservuaari valmistamiseks otsustasin kasutada toru läbimõõduga 38 mm. Suur valik «AW 7075» sulamist torusid on esitatud <http://www.alfun.eu/> veebilehel.

Välidiameeter (mm)	Seina paksus (mm)	Kaal iga meetri kohta (kg)
38.00	1.00	0,5104
38.00	2.00	0,858
38.00	3.00	0,979
38.00	4.00	1,2452
38.00	5.00	1,5098

Tabel 6.4. D38 torud

Peale välise läbimõõdu valimise on tarvis välja arvutada seina paksust. Kuna tegemist on väga vastutusrikka konstruktsiooniga tuleb seina paksuse valimisesse väga hoolikalt suhtuda. Sarnased suure rõhu all töötavad seadmed läbivad peale valmistamist nn. survetesti protseduuri. Survetesti käigus seadet täidetakse hüdraulilise vedelikuga (õli, vesi j.t.) ning tekitatakse sinna

ülerõhu. Töörõhk peab olema mitte vähem kui 300 at, kontrollrõhk survetestil aga peab olema 1,5-2 korda suurem.

Ligikaudse arvutuse tarbeks kasutan Barlow valemit, mis kirjeldab talutava sisemise rõhu sõltuvust toru või teise silindrilise anuma mõõtudest ja tugevusest.

$$P = \frac{2 \times S \times t}{D}$$

Kus:

P — rõhk;

S — lubatav pinge (nt. voolavuspiir);

t — anuma seinapaksus;

D — toru välisläbimõõt;

Meie parameetrid:

$$P = 300 \text{ Bar} = 30\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$S = 460 \text{ MPa} = 460\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$D = 38 \text{ mm}$$

Analoogsed reservuaarid läbivad kohustusliku survetesti rõhuga mis on töörõhust 1.5 korda kõrgem. Seepärast lisan 1.5 koeffitsendi valemi lugejasse.

$$P = \frac{2 \times S \times t}{1.5 \times D}; \quad 2 \times S \times t = P \times 1.5 \times D;$$

$$t = \frac{P \times 1.5 \times D}{2 \times S} = \frac{30\,000\,000 \times 1.5 \times 38}{2 \times 460\,000\,000} \approx 1.86 \text{ mm}$$

Seega toru seinte minimaalne paksus on 1.86 mm, kuid esi- ja tagakaanete paigaldamiseks peab toru otsadele lõikama sisemist keeret. See tähendab et keerme kohal sein õheneb ning tekivad pingekontsentraatorid. Sellel põhjusel valin lisavaruga seinapaksust – 4 mm.

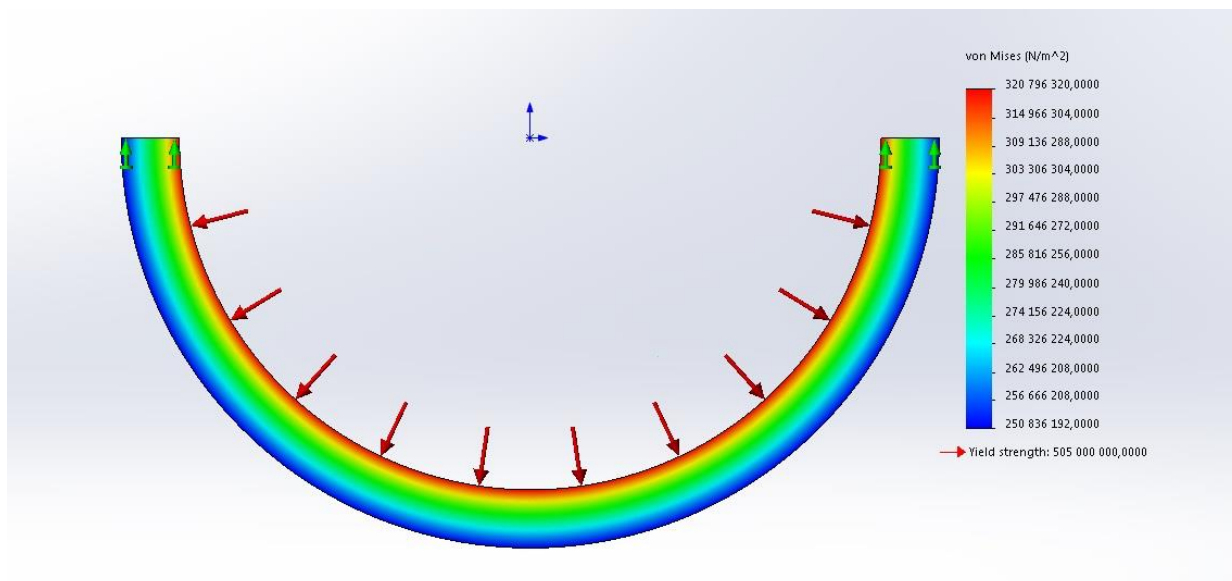
Barlow valemist tulenevalt arvutan välja maksimaalse rõhu seina paksusega 2.7 mm:

$$P = \frac{2 \times S \times t}{D} = \frac{2 \times 460\,000\,000 \times 2.7}{38} = 65\,368\,421 \text{ Pa}$$

Tugevusvaru plastilise deformatsiooni tekkimise hetkeni tulenevalt Barlow valemist:

$$\frac{65\,368\,421}{45\,000\,000} = 1.45$$

Toru usaldusväärsuses täieliku kindlustunde saamiseks sooritan „Solidworks 2014“ tarkvara abil lihtsustatud mudeli 2D analüüsi. Loon kaarekujulise mudeli ning lisan selle otstele liugfikseeringu toru laienemise imiteerimiseks. Seinte paksus – 2.7 mm. Kaare sisemisele pinnale avaldub surve 450 bar (45 000 000 Pa).



Sele 6.5. Solidworks simulatsioon

(Solidworks tarkvara kataloogides oleval 7075 T6 alumiiniumsulamil on paika pandud erinev voolavuspiir. Kasutan toru tarnija andmeid.)

Põhinedes analüüsi tulemustele teame et sisemisel surve 45 000 000 Pa on maksimaalne pinge metallis 320 796 320 Pa. On võimalik välja arvutada teoreetilist tugevusvaru plastilise deformatsiooni tekkimise hetkeni.

$$\frac{460000000}{320796320} \approx 1.43$$

Arvutame teoreetiliste arvutuste ja simuleerimise teel saadud tulemuse erinevuse protsendi:

$$\frac{1.45 - 1.43}{1.43} \times 100\% = 1.4\%$$

Tulemuses on ainult 1.4 % , see vahe on lubatavates piirides.

Tugevusarvutuste ja simulatsiooni tulemustena selgus, et toru võib vabalt hoida vajalikud koormust.

6.3.4 Esikaas

Esikaas on paigutatud reservuaari otsa raua otsa poolt. Kaane külge paigaldatakse manomeetrit ja täiteventiili. Mina arvan et korgi materjal peab olema sama mis ülejäänud reservuaari osal - «AW 7075».

Manomeeter

Kõige sagedamini manomeetrit paigutatakse reservuaari esikaane otspinnale. See tähendab et vajalik on manomeeter, mis on varustatud keermega ühendusotsakuga selle tagapinnal (center back mount).



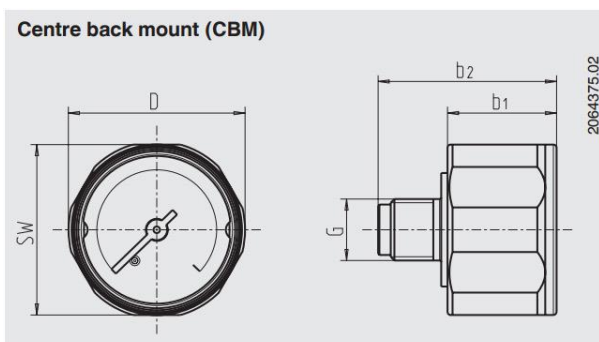
Sele 6.6. Reservuaar manomeetriga (näidis)

Antud projekti tarbeks sobib ideaalselt manomeeter välise läbimõõduga 38 mm ning skaalaga 0...300-400 bar. Mina leidsin 2 oma omadustelt sobivat manomeetrit firma “Wika“ toodangust. Kahjuks ei olnud sellel tootjal 38 mm läbimõõduga seadet. Olema s on manomeetrid läbimõõduga 27 mm (Miniature Bourdon tube pressure gauge), ning samuti, läbimõõduga 40, 50, 63, 80 ja 100 mm (Bourdon tube pressure gauge). Kõik need seadmed on saadaval skaalaga 0...400 bar ja ühendusega tagapinnal (center back mount).

Mina valin miniatuurset variandi läbimõõduga 27 mm. See ei ületa reservuaari toru välist läbimõõtu (38 mm) ja ei riku sellega välimust. Vajadusel võib valmistada manomeetrile katet, mis peidab 38 – 27 mm läbimõõtude vahest tekkivat astet.



Sele 6.7. Manomeeter „Wika“ 0-315 bar

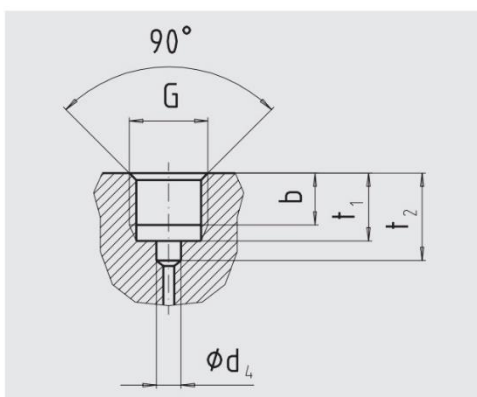


NS	Design	Dimensions in mm			G	SW	Weight in kg
		$b_1 \pm 0.5$	$b_2 \pm 1$	D			
27	Low pressure	18.5	30.5	28	G 1/8 B	27	0.033
27	High pressure	17.5	28.5	28	G 1/8 B	27	0.033

Sele 6.8. Manomeeter "Wika" skeem

Manomeetri ühenduspesa projekteerimisel kasutan firma „Wika“ poolt pakutavat informatsiooni.

Parallel threaded tapped hole

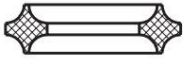


Parallel female thread	Dimensions in mm			
	b min.	d_4	t_1	t_2 min.
G 1/8 ¹⁾	7.5	4.4 ²⁾	10	13
M10 x 1 ³⁾	7.5	4.5 ²⁾	10	13
G 1/4 ¹⁾	10	5.5	13	16.5
M12 x 1.5 ³⁾	9.5	5.5	13	16.5
G 3/8	12	6.5	16	19.5
G 1/2 ¹⁾	15	7	19	24.5
M20 x 1.5 ³⁾	15.5	7	19	24.5

- 1) WIKA's preferred standard versions.
- 2) Now obsolete on standard connectors supplied by WIKA.
- 3) Metric ISO threads were based on DIN 16 288: 1987, now withdrawn. These threads are no longer standardised within EN 837.





Sele 6.9. Manomeetri pesa

Gaasi lekete ennetamiseks on tarvis kasutada tihendit. G1/8 keermega soovitab „Wika“ kasutada neljaotsalise tähekujulise profiiliga vaskrõngast.

Design	Thread size	Material	Dimensions in mm			Form	Order no.
			D +0.2	d -0.2	s		
	G 1/8	Cu	8 + 0.1	4.1 + 0.1	2.7	1	9090789
	G 1/4, M12 x 1.5	Al	9.3	5.4	3.2	1	9090797
	G 1/4, M12 x 1.5	Cu	9.3	5.4	3.2	1	9090800
	G 1/4, M12 x 1.5	1.4571	9.3	5.4	3.2	1	9092161
	G 3/8, G 1/2, M20 x 1.5	Cu	14.8	8	4.2	1	9090819
	G 3/8, G 1/2, M20 x 1.5	1.4571	14.8	8	4.2	1	9092099
	G 1/4	Al	11	5.5	3.2	2	9092269
	G 1/4	Cu	11	5.5	3.2	2	9092277
	M12 x 1.5	Cu	9.8	5.5	3.2	2	9092285
	G 1/2	Cu	18.2	11	4.2	2	9092293

Täitmisport

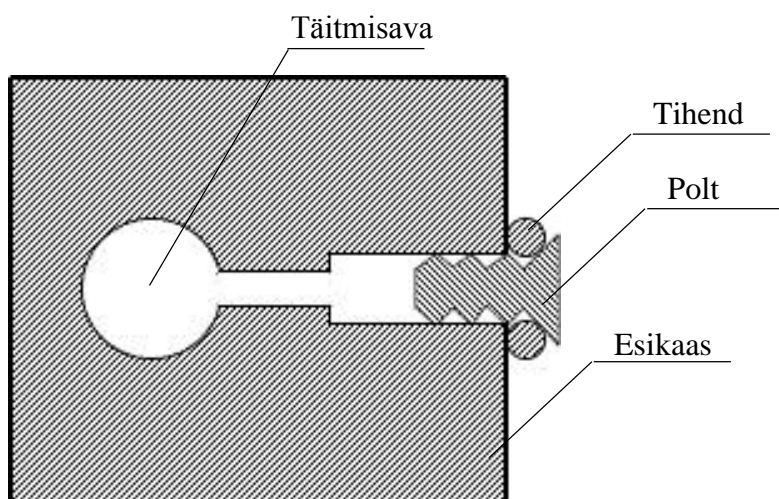
Gaasiga täitmiseks reservuaaris peab asetsema täitmisport. Enamjaolt seda paigutatakse esikaande. Saadaval on hulgaliselt adaptereid reservuaaride täitmiseks. Kaalume mõned neist ja valime kõige sobivamat. Olenevalt valitud adapterist saab valitud ka vastav täitepordi konstruktsioon.

Täitmisadapter	Plussid	Miinused
 <p><i>Sele 6.10. Kiirliitmikuga täitmistoruliitmik (male)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Kiire ühendus 2) Lihtne täitepordi ehitus 	---
 <p><i>Sele 6.11. Kiirliitmikuga täitmistoruliitmik (female)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Kiire ühendus 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Keerulisem täitepordi ehitus 2) Väljaulatuvad osad reservuaaril
 <p><i>Sele 6.12. 1/8 BSP ühendus (male)</i></p>	---	<ol style="list-style-type: none"> 1) Aeglane ühendus 2) Probleemid tihendamisega
 <p><i>Sele 6.13. 1/8 BSP ühendus (female)</i></p>	---	<ol style="list-style-type: none"> 1) Aeglane ühendus 2) Probleemid tihendamisega 3) Keerulisem täitepordi ehitus 4) Väljaulatuvad osad reservuaaril

Peale täiteadapterite põhivariantide omaduste uurimist peatun kiirliitmikuga täitectoruliitmikul (male) kuna minul ei õnnestunud antud ühenduse tüübil puudusi leida.

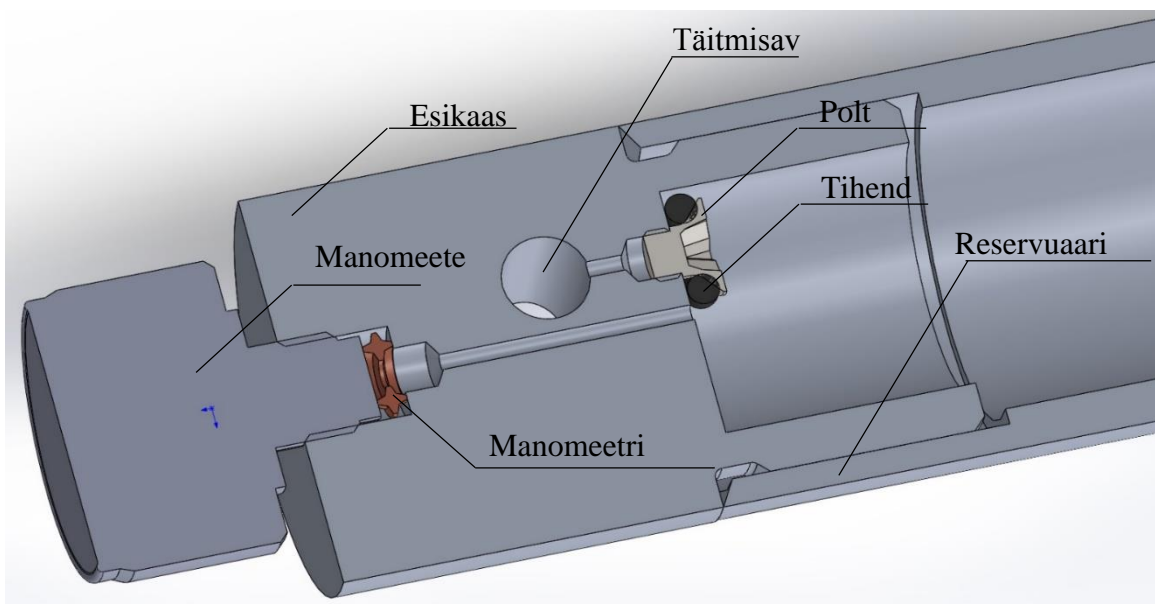
Eduka täitmise ning järgneva rõhu kinnihoidmise jaoks täitepordi konstruktsioonis peab olema ettenähtud tagasilöögiklapp. Antud klapp võimaldab gaasi liikumist reservuaari ning ennetab selle lekete tagasi atmosfääri. Kuna tegemist on väga kitsa ruumiga, tagasilöögiklapp peab olema väga lihtne ja kompaktne.

Kõige lihtsam ja edukaim tagasilöögiklapi konstruktsioon, mida mul on õnnestunud leida, kujutab endast tavalist kaande sisse reservuaari seestpoolt keeratud kruvi. Kruvile on eelnevalt paigaldatud kummist tihendusrõngas.



Sele 6.14. Täiteport tagasilöögiklappiga (skeem)

Niisuguse konstruktsiooni puhul reservuaari laetav surugaas pääseb vabalt kruvi keerdest ja tihendist kuid pärast täitmist reservuaaris tekkinud rõhk surub tihendi kokku reservuaari hermetiseerides. Kanali kitsendus pärast kruuvi on vajalik selleks et vältida täitmisliitmiku tihendite vigastamist.



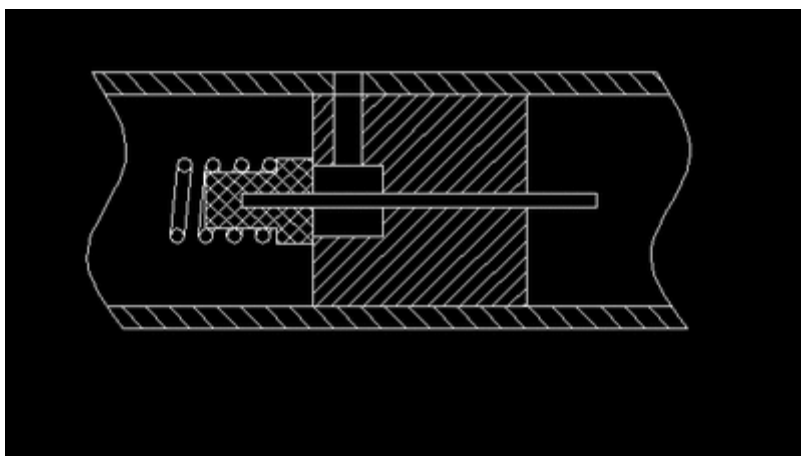
Sele 6.15. Rreservuaari esiosa mudel läbilõikes

6.3.5 Tagakaas

Tagakaane all pean silmas reservuaari konstruktsiooni löökurmehhanismipoolset osa. Nagu oli juba konstruktsiooni erisustes ettenähtud, tagakaas peab olema korpuseks väljalaskeklapile. Tagakaane materjal peab, minu nägemise järgi, olema sama mis ülejäänud reservuaari konstruktsioonil - «AW 7075».

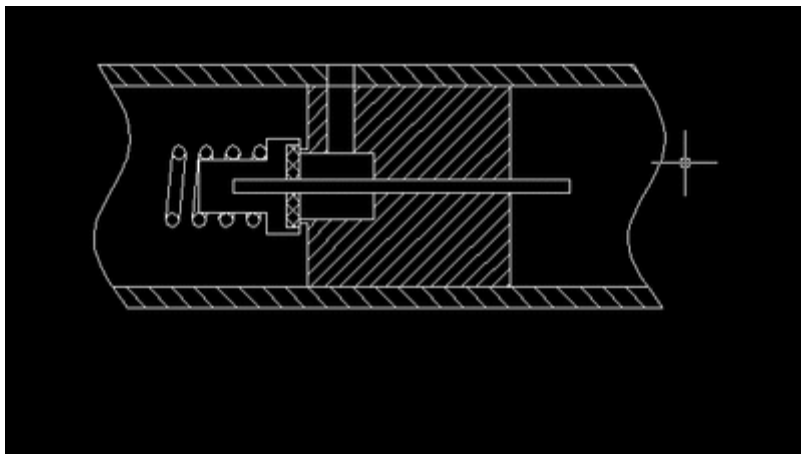
Väljalaskeklapp

Väljalaskeklapp ise koosneb vardast ja selle otsas paiknevast peast. Varrast valmistatakse karastatud tersest, selleks et löökurimehhanismi korduva mõju all see laiaks ei taguks. Olenevalt klapi tüübist pea võib olla valmistatud kas metallist, siis hermetiseerimine toimub klapisadulast, kuhu paigutatakse tihendusrõngast, või siis polüamiididest (tavaliselt kaproloon - PA 6), siis tihendiks on pea ise. Saadaval on palju väljalaskeklappide tüüpe, mida kasutatakse PCP pneumorelvades. Tavis on valida sobivaim.



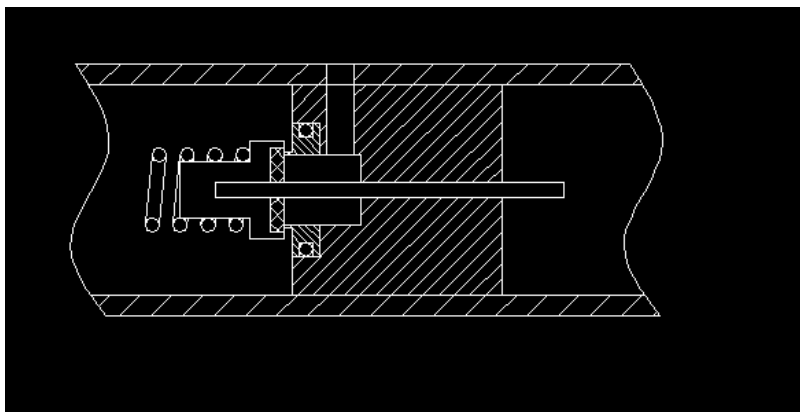
Sele 6.16. Väljalaskeklapp 1

Antud variandis hermetiseerimine toimub pind-pinnal printsiibil. Pea on valmistatud kaproloonist. Selliseid klappe kasutatakse „BAM B50“ relvades.



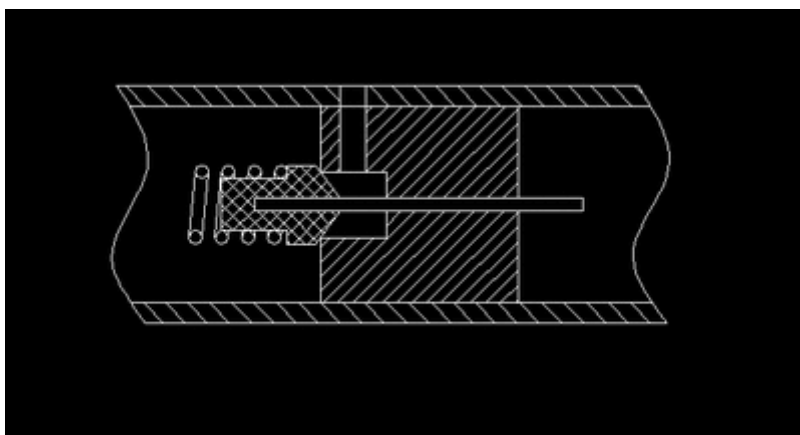
Sele 6.17. Väljalaskeklapp 2

Pind-pinnal hermetiseerimine. Tihend paikneb klapipea korpuses. Pea ise on valmistatud metallist. Selliseid klappe kasutatakse „Carrier“ relvades.



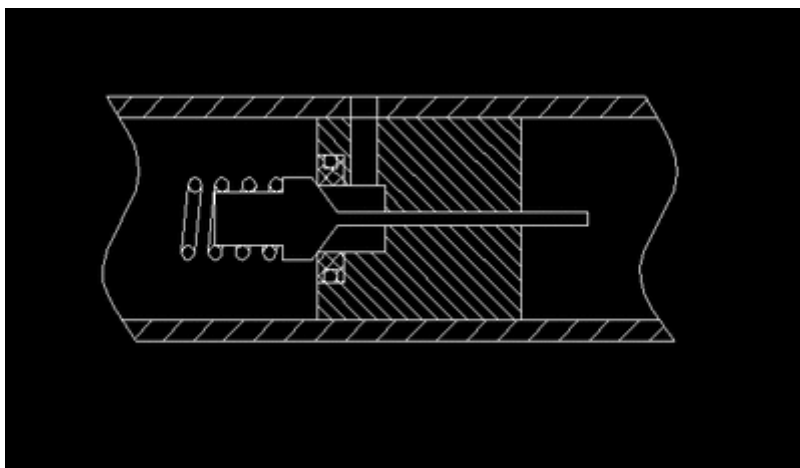
Sele 6.18. Väljalaskeklapp 3

Pind-pinnal hermetiseerimine. Tihendid on olemas nii klapipeas kui ka sadulas. Selliseid klappe kasutatakse „Webley FX“ relvades.

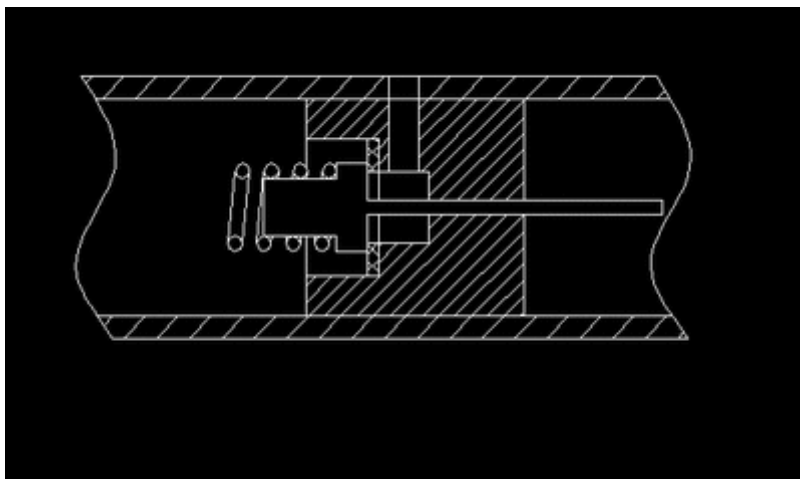


Sele 6.19. Väljalaskeklapp 4

Koonus-pind hermetiseerimine. Koonus on valmistatud kaprolooonist, sadul – metallist. Selliseid klappe kasutatakse „Carrier“ relvades.



Koonus-pind hermetiseerimine. Koonus metallist, sadulasse paigaldatud kaproloonist tihend.



Sele 6.21. Väljalaskeklapp 6

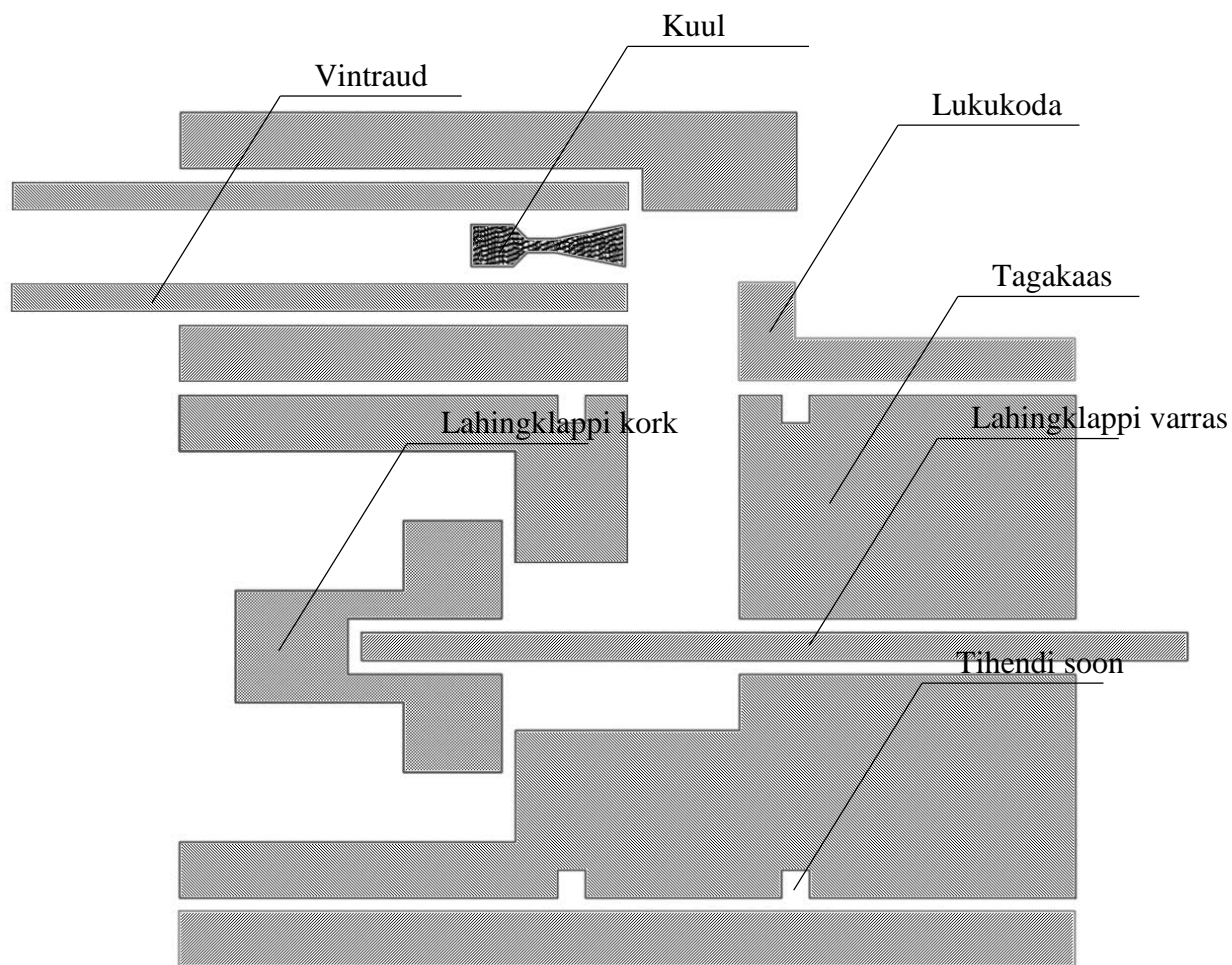
Pind-pinnal hermetiseerimine. Kaproloonist tihend paikneb klapisadulas. Selliseid klappe kasutatakse „Horhe-Jager“ relvades.

Mina arvan, et väljalaskeklapi valimisel tuleb arvesse pidada esiteks seda, kui lihtne on seda valmistada ja eksploateerida. Uurides ülaltoodud väljalaskeklappide konstruktsioonide variante otsustasin, et sobivaimad on järgmised tüübid: „Polüpropüleenist koonus metallpinnal“ (väljalaskeklapp 4) ja pind-pinnal variant, kus pea on valmistatud polüpropüleenist (väljalaskeklapp 1). Käesolevad klappide tüübid ei nõua keerulise kujuga tihendi valmistamist, nagu ei vaja ka klapisadula lisatöötlemist sinna tihendi paigaldamiseks.

Eelistan siiski klappi Nr. 1 selle lihtsama ehituse pärast.

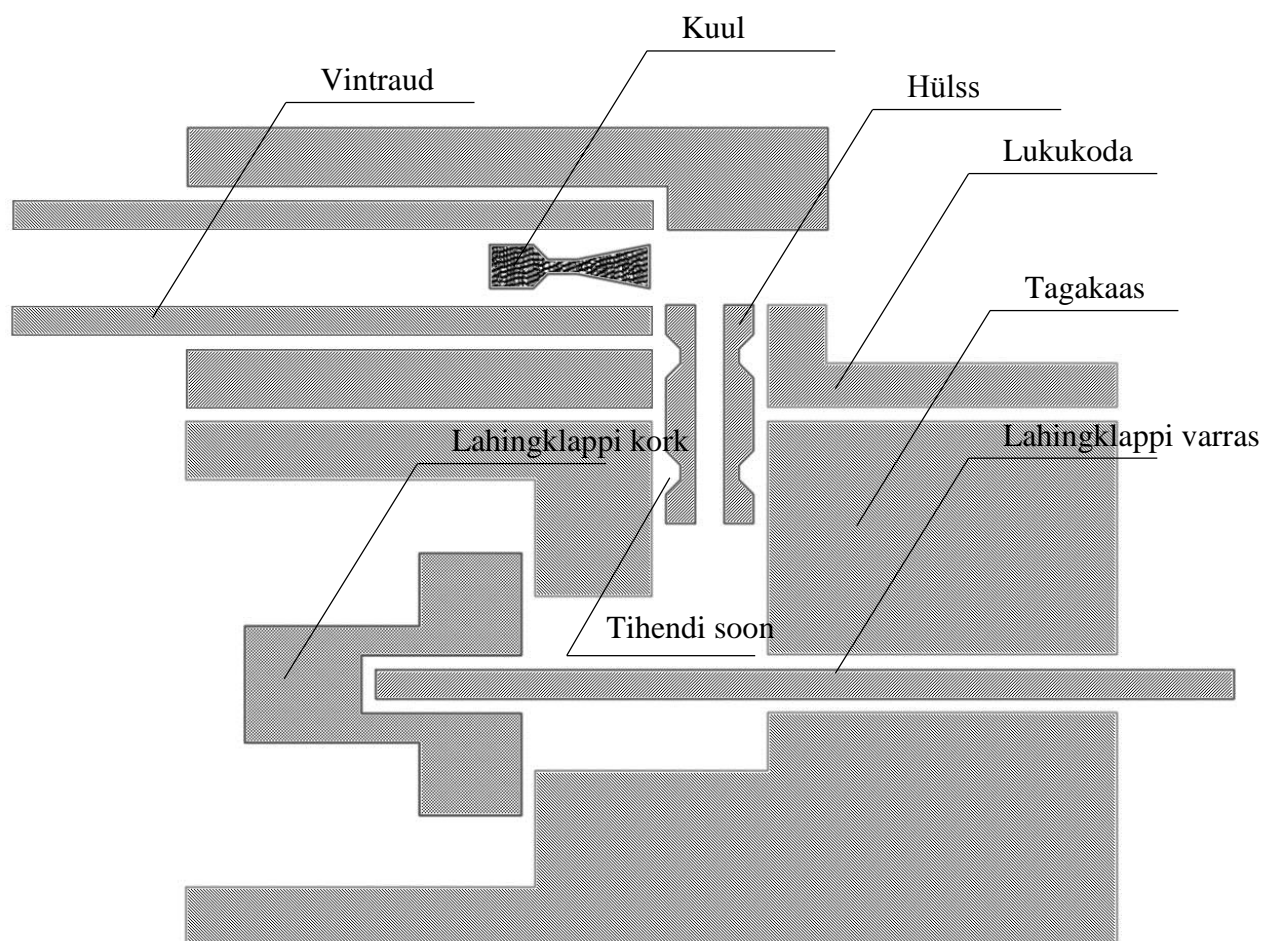
Läbipääsukanal

Läbipääsukanal on kanal mis ühendab tagakaant lukukojaga. Urime selle sõlme konstruktsiooni kahte varianti.



Sele 6.22. Tagakaas-lukukoda v.1

Esimene variant eeldab, et korgile endale on lõigatud tihendi paigaldamiseks sooned. Lukukoda sellisel juhul kujutab endast terviktüki milles paiknevad nii vintluku süsteem kui ka löökurimehhanism. Sellise ehitusega tekib probleem korgis ja lukukojas asuvate avade koaksiaalsusega. Probleemi võib lahendada vähemalt 2 moodi. Võib lõigata keeret väikese sammuga ning projekteerida nii et takakaane täielikult lukukotta kinni keerates avad satuksid kokku. Samuti võib lõigata soone tagakaande tihendisoonete vahele siis avade koaksiaalsus ei oma enam tähtsust.



Sele 6.23. Tagakaas-lukukoda v.2

Teises variandis tagakaas-lukukoda sõlme hermetiseerimine toimub hülsi abil. Lukukojas saab siis asetseda ainult vintlukusüsteem, löökurimehhanism saab aga asetseda korpuses, mis on valmistatud reservuaari torule analoogselt torust. Siis võib lukukoda valmistada alt kaarekujulisena, ühendada hülsi abil reservuaari ja löökurimehhanismi koostega ning kinnitada poltidega.

Mina arvan et odavam ja praktilisem on teine (hülsiga) meetod. See ei vaja keerulist freesimist lukukoja valmistamisel, ei vaja ka lisasoone lõikamist ja spetsiaalseid arvutusi kerme valmistamiseks.

Lisaplussiks on see, et tulemuseks on moodulkonstruktsioon. Vajadusel võib välja vahetada väikest odavat detaili (näiteks, löökurimehhanismi korpust tervest lukukojast eraldi).

Läbipääsukanali hüls

Vältimaks soovimatut galvaanilist korrosiooni hülsi materjal peab olema sama või sarnane lukukoja ja kaane materjaliga. Vastavalt, hülsi on soovitatav valmistada „AW 7075“ alumiiniumsulamist. Tihendisoonetega ning hülsi mõõtude tolerantsid peavad olema vastavuses tihendusseadmete standartidega.

Üheks olulistest aspektidest tulevastest pneumorelva omadustest on läbipääsukanali läbimõõt, s.t. hülsi sisemine läbimõõt. See i tohi olla liiga suur, et vintluku rakendamisel ei kukuks see kanalisse, Samuti ei tohi läbipääsukanal olla ka liiga väike et kindlustada piisavat kanali jõudlust. Tavaliselt 4,5mm kaliibri puhul läbipääsu läbimõõduks on 3,2-3,7 mm. Vastavalt sellele arvule arvutatakse ristlõigete pindalaid ümber väljalaskeklapi varda tagakaanes ning ümber vintluku otsik. Valin läbipääsukanali läbimõõduks 3,5 mm.

Ühenduse tihendamiseks kasutan tabelit „Radiaal tihendite istekohad“ konstruktori kasiraamatust (V.I. Anuriev). Tuleb kasutada tihendit koodiga 009-013-25.

Väljalaskeklapi pea

Nagu oli varem mainitud, klapipea materjaliks on polüpropüleen (PA6). Meile sobib polüpropüleenvarras. Lai valik sarnast toodangut on saadaval „EEMELI AS“ veebilehel <http://www.eemeli.ee/>.



Sele 6.24. Polüamiidvarras

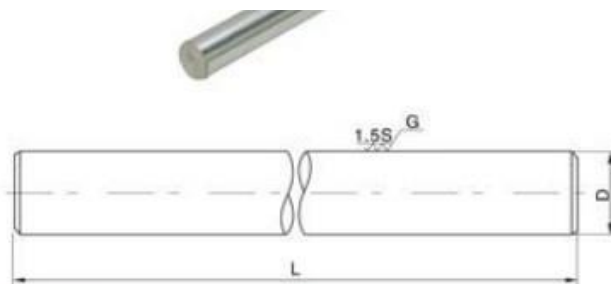
Saadaval on erinevate mõõtudega toorikuid. Nendest klapipea valmistamine ei osutu probleemiks.

Väljalaskeklapi varras.

Väljalaskeklapi varras peab olema valmistatud süsinikterasest ning peab kalestusele vastu pidama. Puutusin kokku suurema probleemiga 2-3 mm varre otsimisel. Igaljuhul on olemas võimalus varrast välja treida suuremast toorikust, kuid see toob kaasa üleliigset materjalikulu ning tootmiskulude suurenemist.

Lõpuks leidsin varraste tootjat Hiinast Aliexpress internetipoe vahendusel.

材料: GCr15 SUS440C
 硬度: HRC62±2(SUS440C: HRC58)
 精度: g6 h6
 粗糙度: 不低于0.8mm(Rmax)
 硬带: 0.8~3mm
 外径: 3~120(GCr15) 3~40(SUS440C)
 等级长度: 100mm~3010mm (6000mm is available)
 直度: 100mm不超过5mm
 圆度: 不超过3.0mm(Rmax)



直径 (mm)	型号		精度(μm)	标准长度(mm)																	有效条 件硬带	重量 (kgf/m)				
	WC (WCAS)	WCS	g6	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500	1800	2000	2500	3000	3500			4000	5000	6000	
3	WC3	WCS3	-2~-8																						不多于 1.0	0.06
4	WC4	WCS4																								0.10
5	WC5	WCS5	-4~-12																							0.15

Sele 6.25. Varred hiinast

Tablist on näha et varred on valmistatud GCr15 terasest. Tegemist on laagriterasega deklareeritud tugevusega $HRC 62 \pm 2$. Lähimaks Euroopa analoogiks on 100Cr6 teras. Valmistatakse G6 ja H6 istudele, mis sobib hästi minu projektiga. Varreava tagakaanes peab vastama H7 istule, varras ise – G6. H7/g6 istu kasutamine, vastavalt infole masinaehitja-konstruktori kasiraamatust (V.I. Anuriev), on soovitatav „Lühikeste töökaikudega ühendustele, näiteks, vedruklappide otsakutele juhthülsides“.

Väljalaskeklapi eelsurve

Selleks et väljalaskeklapp annaks vastavat tihendust on tarvis et see oleks eelnevalt sadula külge surutud. Ühest otsast vedru toetub klapipea vastu, teisest – kaane sisse keeratava survemutri vastu. Survemutter on valmistatud nii, et see ei takistaks gaasi liikumist.

Läbipääsukanali läbimõõduga seotud avad

Tulenevalt läbipääsukanali läbimõõdust on tarvis välja arvutada minimaalsed avade ristlõigete pindalad ümber klapivarre tagakaanes ning ümber vintlukuotsiku lukukojas. Nii me saame teada nende avade miinimumläbimõõdud. See on vajalik suruõhureservuaari- ja rauavahelise kanali jõudluse säilitamiseks.

Läbipääsukanali läbimõõt on 3,5 mm. Sellest tulenevalt on võimalik välja arvutada gaasikanalite ristlõike miinimumpindalad jõudluse säilitamiseks.

$$S_{min.läbip.kan.} = \frac{\pi \times d_{läbip.kanali}^2}{4} = \frac{3.14 \times 3.5^2}{4} = 9.6 \text{ mm}^2$$

Arvutame välja klapivarre ristlõike pindala (selle läbimõõt on 3 mm)

$$S_{Lahingkl.varras} = \frac{3.14 \times 3^2}{4} = 7 \text{ mm}^2$$

Nüüd on võimalik välja arvutada nõutav varreava ristlõike miinimumpindala võttes arvesse varrega hõivatud pinda.

$$S = S_{min.läbip.kan.} - S_{Lahingkl.varras} = 9.6 + 7 = 16,6 \text{ mm}^2$$

Arvutame välja varreava miinimumläbimõõdu (klapisadulaava läbimõõt).

$$d_{Lahingkl.ava} = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 16.6}{\pi}} = 4.6 \text{ mm}$$

Valmistamise lihtsustamise ja jõudluse lisavaru saavutamiseks paneme selle mõõduks 5 mm.

Nüüd on tarvis välja arvutada vintlukuotsiku maksimumläbimõõtu, kuna see saates kuuli soontele jääb raua kanali sisse istuma ning võib piirata laskmise ajal gaasi liikumist. Sarnaselt varreava arvutamisega, on tarvis saavutada ava ristlõike miinimumpindala võrdsena 9.6 mm^2 .

Esiteks on tarvis arvutada välja raua ristlõike pindala tingimusel, et raua sisemine läbimõõt on võrdne 4,46 mm.

$$S_{vintraua kanal} = \frac{\pi \times d_{vintraua kanal}^2}{4} = \frac{3.14 \times 4.46^2}{4} = 15.6 \text{ mm}^2$$

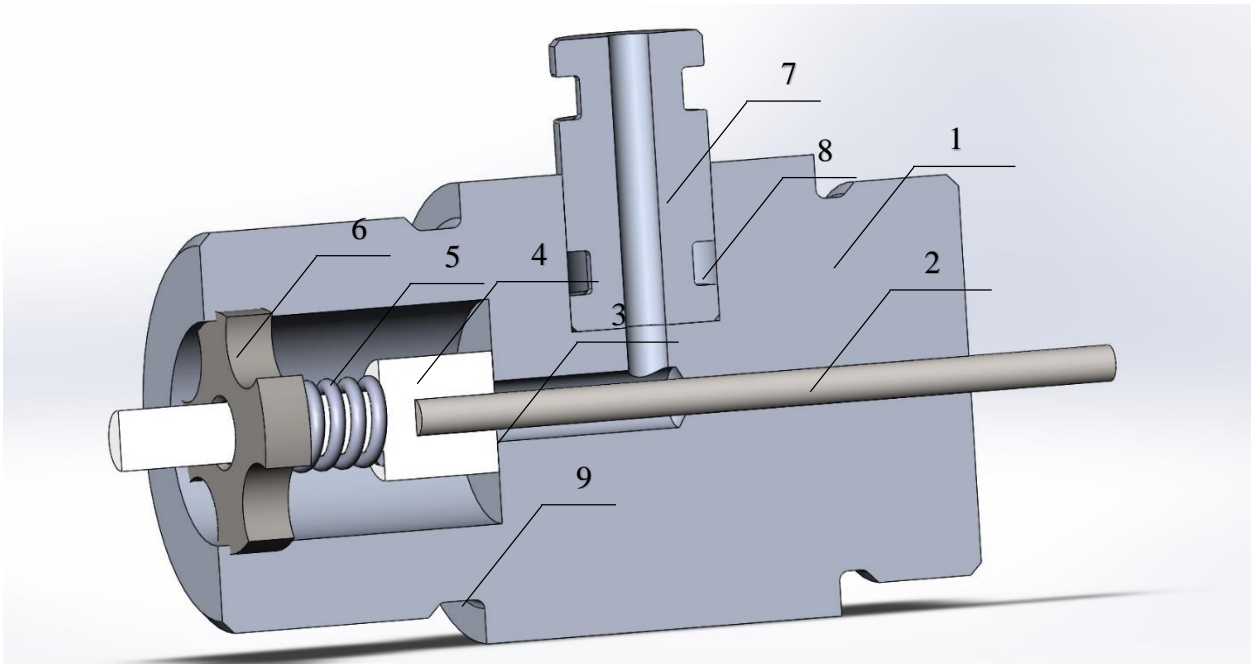
Nüüd arvutame välja maksimaalset lubatud vitnlukuotsiku ristlõike pindala.

$$S_{max} = S_{vintraua kanal} - S_{min.läbip.kan.} = 15.6 - 9.6 = 6 \text{ mm}^2$$

Nüüd on võimalik välja arvutada maksimaalset lubatud vitnlukuotsiku läbimõõdu.

$$d_{max} = \sqrt{\frac{4 \times S_{max}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 6}{\pi}} = 2.8 \text{ mm}$$

Kanalijõudluse lisavaru saavutamiseks paneme vitnlukuotsiku läbimõõduks 2 mm.



Sele 6.26. Tagakaas osalises läbilõikes

Kus:

- 1) Tagakaas (korpus)
- 2) Läbipääsuklapivarras
- 3) Läbipääsuklapipea sadul (ava läbimõõt 5 mm)
- 4) Polüpropüleenist väljalaskeklapipea. Samuti täidab vedru suunaja rolli.
- 5) Väljalaskeklapi vedru
- 6) Väljalaskeklapi survemutter
- 7) Läbipääsukanali hülss
- 8) Läbipääsukanalihülsi tihendite sooned
- 9) Tagakaane tihendi soon.

Väljalaskeklapi vedru

Väljalaskeklapipea töötab suunajana vedrule. Vedru valimisel tuleb arvesse võtta suunaja läbimõõdu – 5 mm, klapipea küljes oleva vedruiste ja kaaneotsa vahekaugust ning survemutri paksust – 4 mm.

Lõplik vedru ja vedru eelsurve valik toimub empiiriliselt relva täpse seadistamise käigus. Minu töö raames ei ole võimalik täpselt välja selgitada mis vedru sobiks. Realva seadistamistoimingutesse kuulub ka löökuri vedru, selle eelsurve ning löökuri kaalu valimine.

Nii vedru valimine on esialgse iseloomuga ning on võimalik selle asendamine sobivaima vedruga.

Lai valik vedrusid on saadaval <http://www.alas-kuul.ee> veebilehel.

D_t	D_m	L_o	n_v	L_n	s_n	F_n	c	EN 10270-1-SH	F_n	c	Stainless steel
								Cat.no			EN 10270-3-1.4310
1,25	6,3	12	3,5	7,2	4,8	133	29	6006	124	27	6031
1,25	6,3	17	5,5	9,8	7,2	133	18	6007	124	16,7	6032
1,25	6,3	25	8,5	13,8	11,2	133	11,8	6008	124	11	6033
1,25	6,3	35,5	12,5	19,2	16,3	133	8,09	6009	124	7,5	6034
1,25	6,3	51,5*	18,5	27,1	24,4	133	5,39	6010	124	5	6035

All dimensions are in mm

D_t = Wire diameter

D_m = Mean diameter

D_i = Inner diameter ($D_m - D_t$)

L_o = Unloaded length

n_v = No of active coils

n_t = Total number of coils ($n_v + 2$)

L_n = Loaded length (minimum working length)

F_n = Spring force in Newtons at L_n

s_n = Deflection at L_n

c = Rate

L_{st} = Solid length = $\sim D_t \times n_t$

N_c = Number of load oscillations (life)

Sele 6.27. Verdu valik

Esialgseks vedruks valisin seda kujutatud ülalpool pildil.

6.4 Löökgripp

Lööksüsteem PCP relvades osaleb otseselt surugaasi doseerimises raua kanalisse. Peamisteks lööksüsteemi parameetrieks on: löökuri kaal, löökuri käik ning löökuri vedru jõud. Kõik need 3 parameetrid on vastupidised väljalaskeklapi vedru jõule ning varrekanali ristlõike pindalale, mida katab klapipea.

Löökuri korpus.

Selleks et valida löökuri korpust tuleb uurida ka lukukoja tüüpi. Vaatleme kahte löökurmehanismi korpuse varianti.

Korpuse variant	Kirjeldus	Plussid	Miinused
Terviklukukoda	Sellisel ehituse variandil lukukoda freesitakse ühest suuremast toorikust. See osa on korpuseks rauale, vintlukule ning löökurmehanismile	1) Vähem osi 2) Relv näeb tervikuna välja ning näeb parem välja.	1) Sellise osa freesimine on töömahukas ja kallis protsess 2) Kõrgem materjalikulu
Liitlukukoja osana	Sellisel ehitusel lukukoda on ainult raua ning vintluku korpuseks. Löökurmehanism aga paikneb eraldi, lukukoja külge kinnitatud korpuses. Selliseks korpuseks võib olla, näiteks toru, sarnane sellega, millest on valmistatud reservuaar.	1) Odav ja lihtne valmistada 2) Tagatud on litsa modifitseerimise ja remondi võimalus	1) Võimalik, et välimuselt vähem esteetiline

Sele 6.28. Löökuri korpuse variantid



Sele 6.29. FX Typhoon lukkukoda



Sele 6.30. Crosman lukkukoda

Hinnetes kõik plussid ja miinused, valisin liitkonstruktsiooni, kus lukukoda kinnitub ülevalt löökurmehanismi külge. Löökur paikneb siis eraldi korpuses.

Nii löökuri korpuseks on toru läbimõõduga 38 mm ning seinapaksusega 4 mm. Materjal - „AW 7075“ T6 alumiiniumsulam.

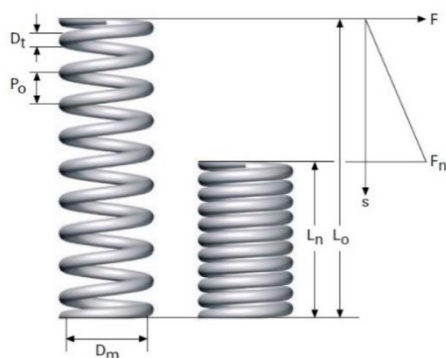
Löökuri käik

Löökuri käiguna mõistetakse vahet, mida löökur läbib lasku sooritamise ajal vedruga kiirendatuna. Teistes relvades see parameeter jääb 15 kuni 60 mm vahele. Oma konstruktsiooni tarbeks valin käiguks 30 mm. Sellest sõltub löökuri vedru valik. Valjalaske süsteemi stabiilse töö tagamiseks vedru laadimata seisundis ei tohi olla surutud klapivarre külge. Kui vedru jääb kokkusurutuks siis peale esimest klapi avanemist järgnevad ka teised ning see tõstab tunduvalt gaasitarbimist.

Löökuri vedru

Vedru valin „Alas-Kuul AS“ kataloogist. Kuna vedru koondparameetrid võivad sellgeks saadud olla ainult relva seadistamise käigus, siis tuleb valida vedru komfortse kuid maksimaalse jõuga. Sammuti oluliseks parameetrik on vedru töökäik. Vedru töökäik tulenevalt löökurikäigust ei tohi olla väiksem kui 30 mm. Samuti vedru reguleerimis võimaluse tagamiseks peab vedrul olema pikkuse varu 10 mm. Laadimis jõu valin 5 kuni 15 kg vahemikus.

D_t	D_m	L_o	n_v	L_n	s_n	F_n	c	EN 10270-1-SH	F_n	c	Stainless steel
								Cat.no			EN 10270-3-1.4310
2	20	41	3,5	13,6	27,4	159	5,83	6120	148	5,42	6145
2	20	62*	5,5	19,2	42,8	159	3,71	6121	148	3,45	6146
2	20	94*	8,5	27,6	66,4	159	2,39	6122	148	2,22	6147
2	20	135*	12,5	38,8	96,2	159	1,63	6123	148	1,52	6148
2	20	200*	18,5	55,6	144	159	1,10	6124	148	1,02	6149



Sele 6.31. Löökuri vedru [30]

Valitud vedrul on tugevuskoeffitsent 3.71 N/mm Ning töökäik 42.8 mm. Nii reguleerimiseks on 12.m mm varu.

Antud vedru jõud ning vastavalt ka laadimisjõud võrdub tugevuskoeffitsendi ja kokkusurumise kauguse korrutisega. Meie juhul on kokkusurumise distant 30 mm.

$$F_{vedru} = 30 \times 3.71 = 111.3 \text{ N}$$

Löökuri mass

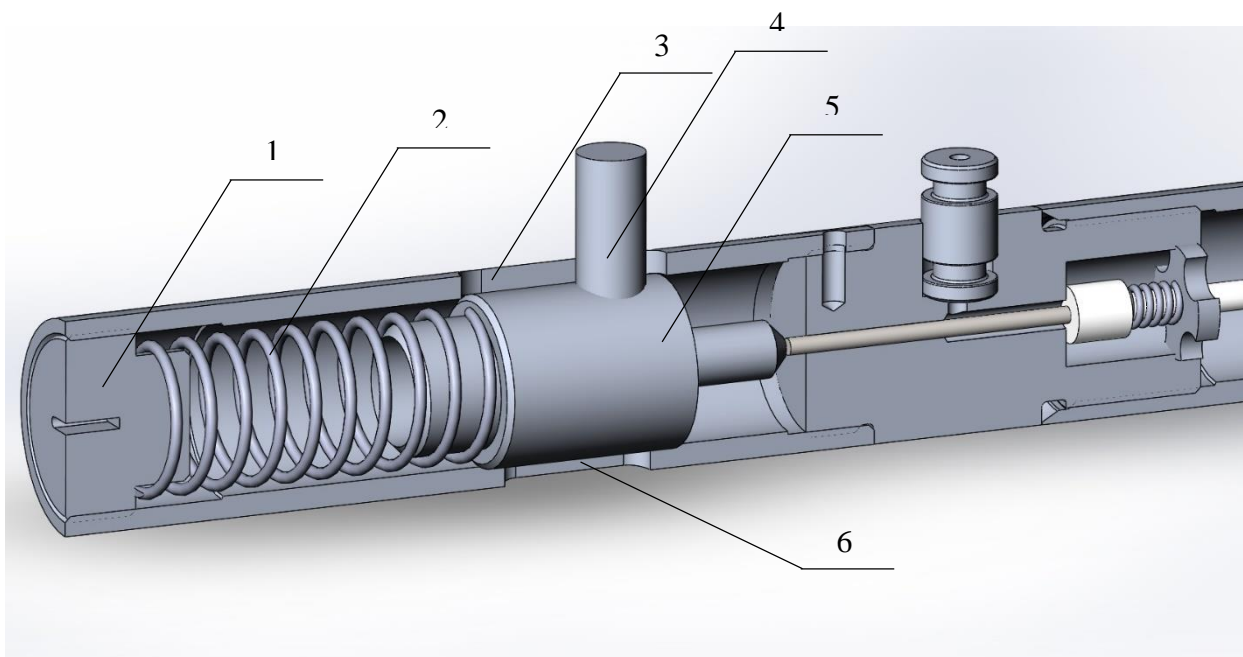
Löökuri mass on veel üheks väärtustest mida valitakse seadistamise käigus. Mass toodangust relvades löökuri mass jääb 10 kuni 100 grammi vahele. Konstruktsiooni eripärad mõjutavad esialgsi löökuri massi.

Löökuri vannastamine

Löökuri vannastamise süsteemi võib proekteerida mitmet moodi.

Esimene meetod on lihtsam ning eeldab eraldi hoovade olemasolu löökuri ja vintluku jaoks. See on kasutamisel ebamugav kuid seda on lihtsam valmistada.

Teine meetod – klassikalne. Vinnastamine toimub ühest hoovast. See vajab lisakanalite freesimist nii löökuri kormusesse kui ka lukukotta. Kasutusmugavuse tagamiseks eelistan seda varianti.



Sele 6.32. Löökuri disain

- 1) Löökuri vedru survemutter
- 2) Löökuri vedru
- 3) Löökuri vinnastamishoova soon
- 4) Vinnastamishoob. Peab ulatuma lukukotta ning vintlukuuga kokku haarduma. Läbimõõt 10 mm. Keermiga M10x1.5. Täpne pikkus saab selgeks pärast lukukoja modelleerimist
- 5) löökur
- 6) Soon, kuhu siseneb päästehoob löökuri vikseerimiseks vinnastatud asendis

Löökuri vinnastamishoovale mõjuvad vinnastamisel suhteliselt suured jõud. Selleks, et veenduda et hoob peab meie vedru maksimaalsele jõule vastu ja sellel on piisavat varu sooritame simulatsiooni. See on kirjeldatud eraldi peatükis.

Materjal

Konstruktsiooni kaalu alandamiseks lukukoja materjaliks valin „AW 7075“ T6.

Vintluku suune

Selleks et vintlukk laskmisel ei pörkaks tagasi suruõhu jõul tuleb seda fikseerida selle lõpppositsioonis. Selleks tuleb valmistada suune ja väljaulatuvat tihvti mis jääb mööda suunajat liikuma.

6.4.1 Vintlukk

Materjal

Sarjaselt ülejaanud konstruktsioonile kasutan „AW 7075“ T6

Löökuriga haardumine

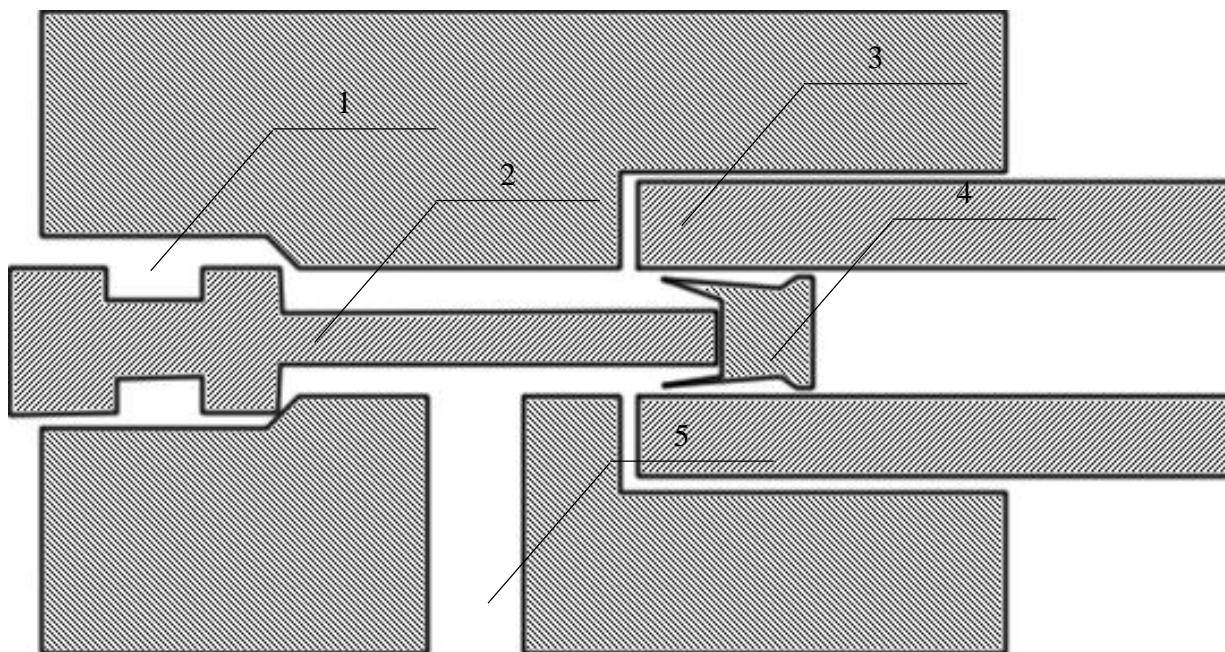
Proekteerimisel tuleb ettenäha sellist vintluku kuju et see haarduks löökuri tihvtiga selle vinnastamiseks.

Vintlukku tihendamine

Kuna vintlukk katab lasmise ajal raua tagumist otsa, vältimaks gaasi lekkeid tuleb tihendada vintlukku osa mis läheb kanalisse. Sadula projekteerimisel juhitud masinaehitja-konstruktori kasiraamatust (V.I. Anuriev).

Vintluku otsik

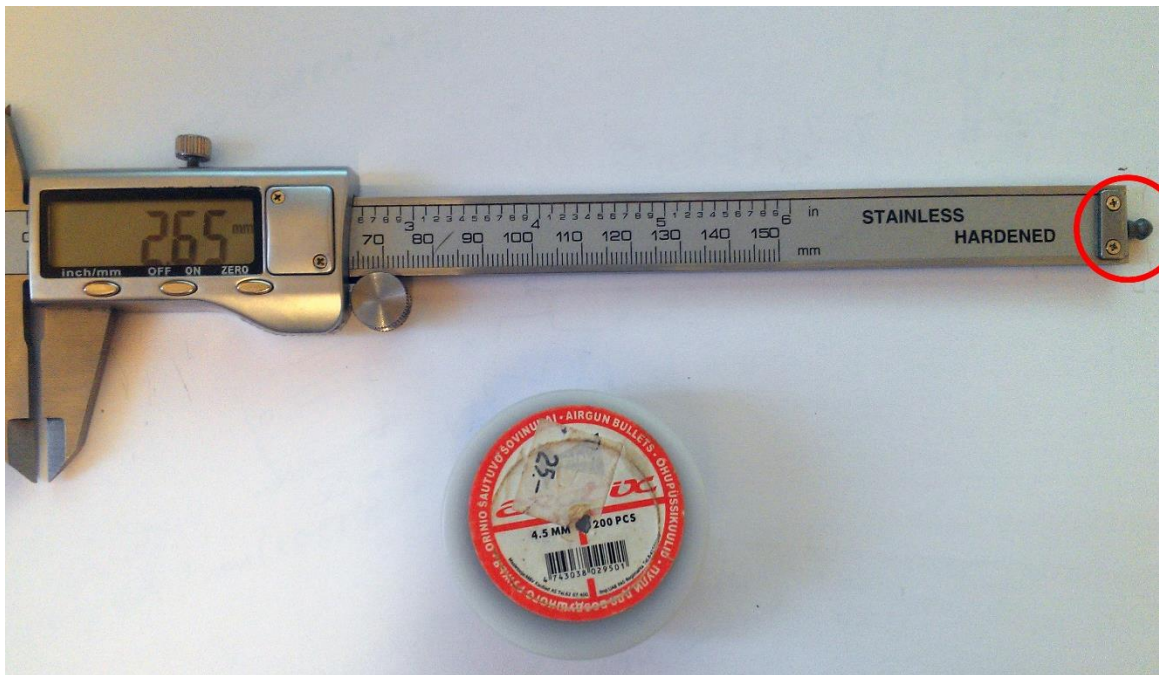
Selleks et saavutada maksimaalset lasketihedust on vaja et kuul lasmise ajal oleks paigutatud raua soontele. Seepärast lukuotsik peab olema piisavalt pikk et suunata kuuli piisavalt sügavale.



Sele 6.33. Kuuli sisestamine

- 1) Luku tihendi tsoon
- 2) Lukuotsik
- 3) Raud
- 4) Kuul raua soontel
- 5) Läbipääsukanal

Nii lukuotsiku pikkus sõltub kuuli põhjas oleva ava kujust, läbipääsukanali läbimõõdus ning tihendisoonte mõõtudest. See, kui sügavale ulatub lukuotsik raua sisse oleneb kuuli põhjas asuva ava sügasusest. Võrdlesin kahte tüüpi kuule erinevatelt tootjatelt.

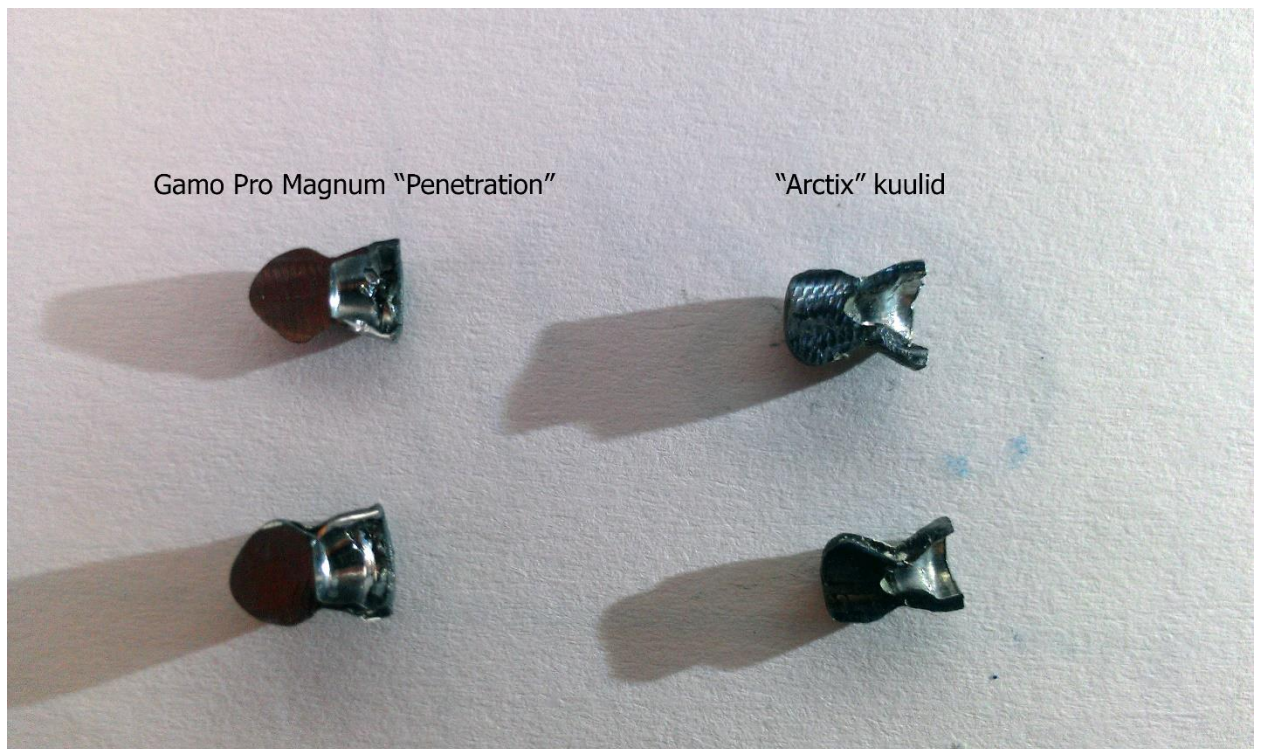


Sele 6.34. Arcix kuulid



Sele 6.35. Gamo kuulid

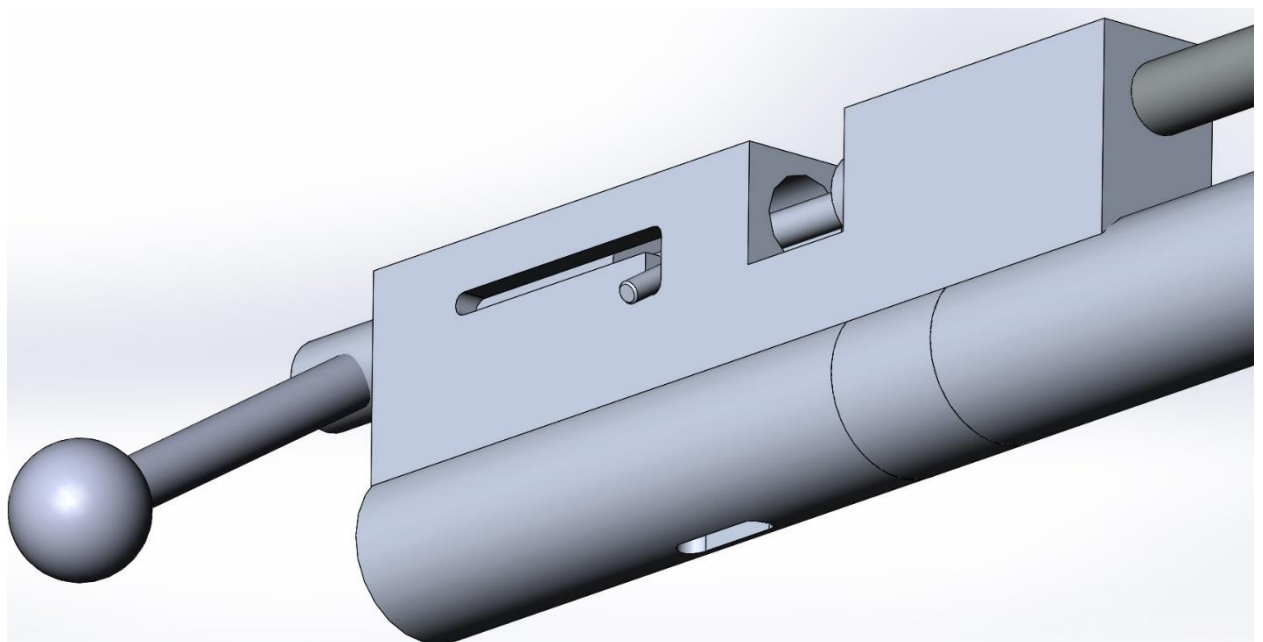
Saadud andmetest need järelduse t lukuotsik peab sisenema rauda vähemalt 2.75 mm sugavusele. Pidades arves raua algusese tehtud faasi ning teiste kuuli kasutamise võimalust valin selle väärtuseks 4 mm.



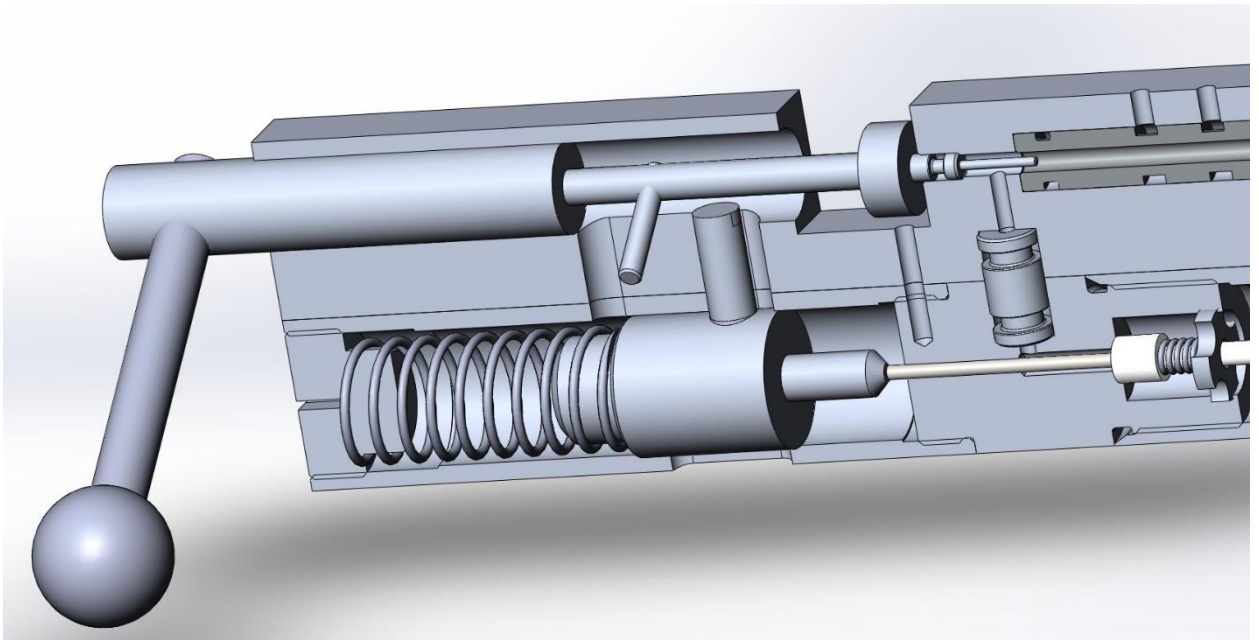
Sele 6.36. Gamo ja Arctix kuulid läbilõikes

Vaadeldud kaks kuuli tüübid erinevad nii kvaliteedi kui ka põhja ehituse poolest. GAMO“ kuulid istuvad ilusti soontele siis kui “Arctix” koonusekujulisuse ning tihti esineva defektide tõttu võivad seda mitte teha. See mõjutab lasketihedust.

Lame pind “GAMO” kuuli põhjas on läbimõõduga 2.5 mm. Nii lukuotsik 2mm läbimõõduga ning faasiga saab kindlalt asetada kuuli vastavale kohale.



Sele 6.37. löökur ja lukukoda 1



Sele 6.38. Löökur ja lukukoda 2

6.4.2 Pinges detailide analüüs

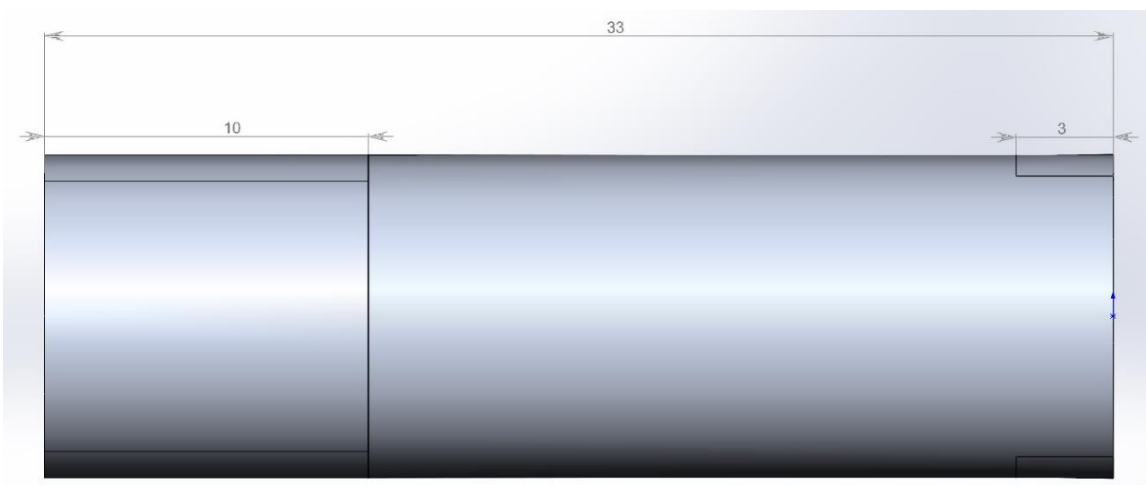
Löökuri vinnastamishoob

Kui vedru on maksimaalselt kokkusurutud löökuri vinnastamishoob läbimõõt 10 mm võttab enda peale 156 N jõud. Selles et selle töökindluses veenduda sooritan analüüsi „Solidworks“ tarkvaradel.

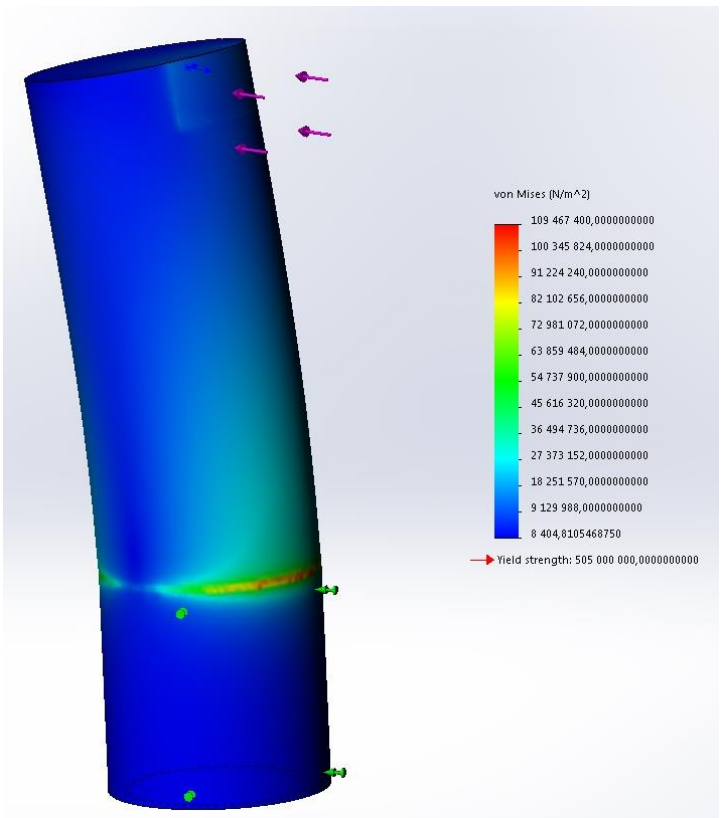
Andmed:

Materjal – AW 7075 T6

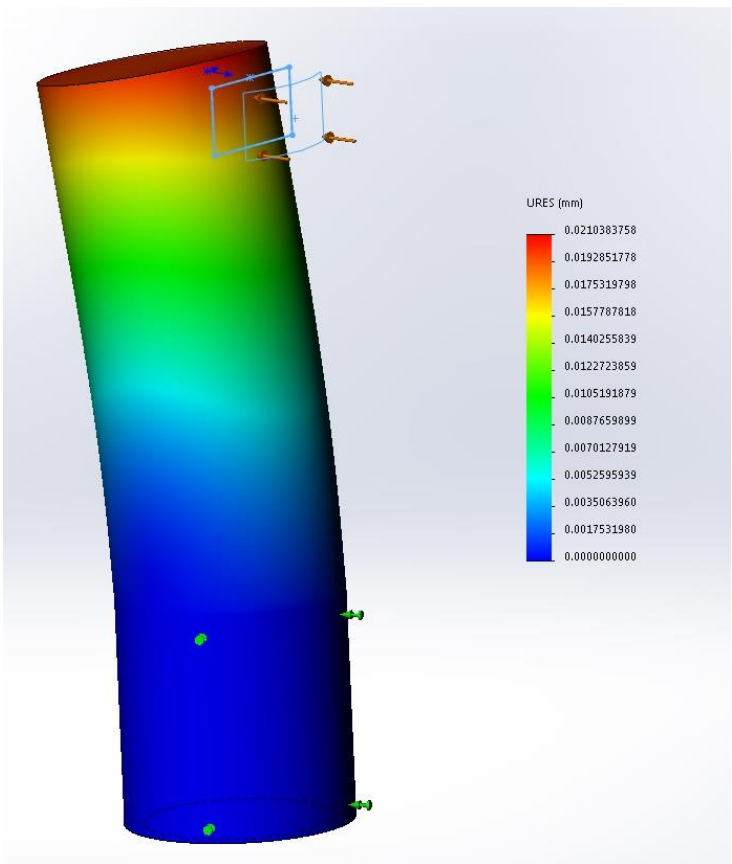
Diameeter – 10 mm



Sele 6.39. Hoova mõõtmed



Sele 6.40. hoova analüüs - stress



Sele 6.41. Hoova analüüs - displacement

Simulatsioonist tuleneb, et varras talub vabalt pinget ning on peaaegu viiekodse tugevusvaruga. Vintlukuhoob on läbimõõduga 12 mm ning võib järeltada et see on ka vajaliku tugevusega.

6.5 Päästesüsteem

Õigesti ehitatud ning täpselt seadistatud süsteem on kõrge täpsuse pandiks. Jõust mida oleks laskuril vaja päästikule edastada on lasku täpsus.

Kuna tegemist on „bullpup“ komponeeringuga, päästik ei saa olla kohe haardekoha all. Sellises komponeeringus puudub pikk pära ning päästik asub löökurmehhanismi ees. Klassikalises variandis pääste hoovast läheb päästiku külge sidevarras.



Sele 6.42. "EDgun" päästik [33]

Arvan siiski et lihtsam ja tehnoloogilisem päästemehhanism on elektromehaaniline. Selline variant võimaldab paigaldada päästik ükskõik mis kohta ning pakkub praktiliselt piiramatud võimalusi päästemehhanismi seadistamisel (programeerimisel).

6.5.1 Mehhaaniline osa

Mehhaanilistest komponentidest antud päästesüsteemi tüübis on ainult vedrustatud päästehoob. Sellel hetkel kui löökur jõuab kindlasse kohta päästehoob tõuseb vedru jõul püsti asendisse ning fikseerib löökurit.

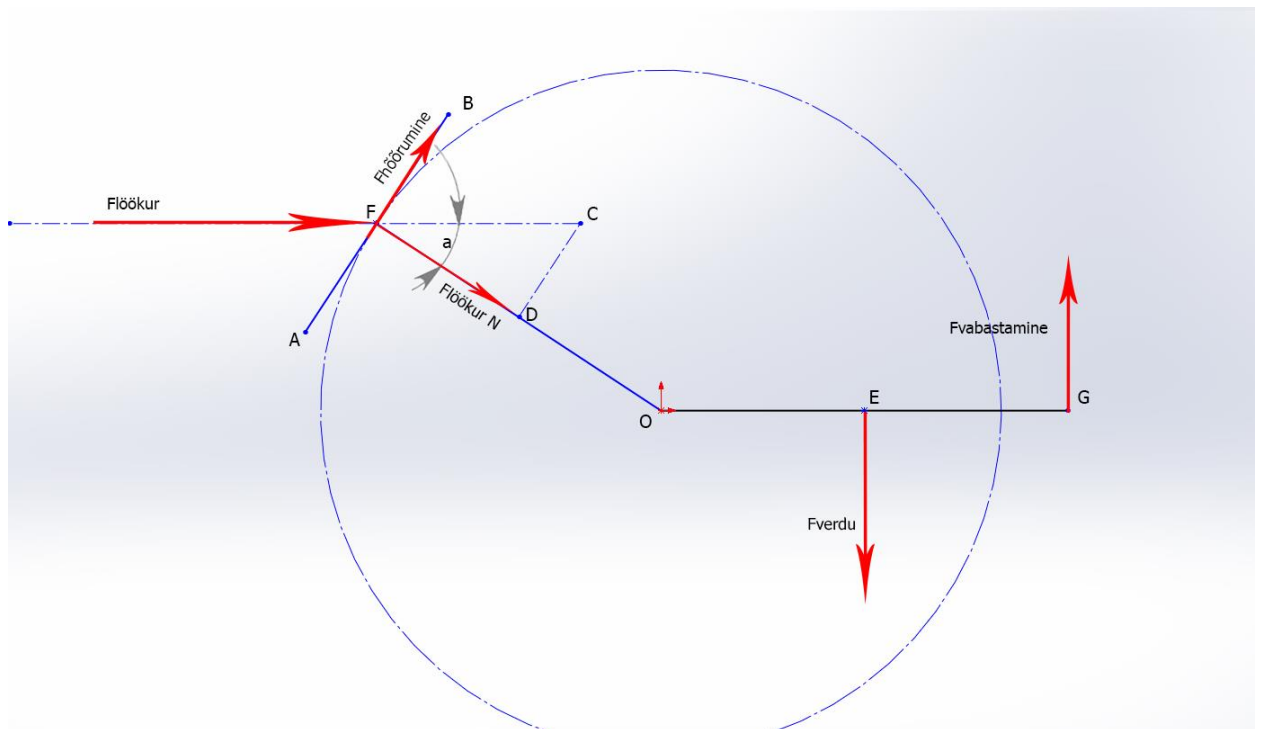
Kuna projektis on elektrooniline päästesüsteem siis puudub kasu keerulise päästemehhanismi ehitamisest ning võib piirduda ainult päästehoovaga.

Päästehoova vedru

D_t	D_m	L_o	n_v	L_n	s_n	F_n	c	EN 10270-1-SH		Stainless steel EN 10270-3-1.4310		
								F_n	c	F_n	c	Cat.no
0,8	5	8,3	3,5	5,6	2,7	26	9,53	5911	24,2	8,86	5936	
0,8	5	12	5,5	7,7	4,3	26	6,07	5912	24,2	5,65	5937	
0,8	5	17,5	8,5	10,9	6,6	26	3,92	5913	24,2	3,65	5938	
0,8	5	24,5	12,5	15,1	9,4	26	2,67	5914	24,2	2,48	5939	
0,8	5	36*	18,5	21,5	14,5	26	1,8	5915	24,2	1,67	5940	

Sele 6.43. Päästehoova vedru [30]

Päästehoova staatika



Sele 6.44. Päästehoova staatika

Punkt O on päästehoova pöörteljeks. Lõik AFB on löökuri jõu rakendamise tasandiks (Flöökur). Fvabastamine on jõud mida on vaja rakendada mehhanismi vabastamiseks. Leiame löökuri vedru jõu normaal osa - Flöökur N. Selleks meile oleks vaja teada „a“ nurka.

$$\cos(a) = \frac{FD}{FC} \rightarrow FD = FC \times \cos(a) \rightarrow$$

$$\text{Flöökur N} = \text{Flöökur} \times \cos(a)$$

Nüüd on tarvis leida hõrdejõu Fhõõrumine. Hõrdejõud on noormaaljõu ja hõrdekoefitsendi korrutis.

$$F_{hõõrumine} = \text{Flöökur } N \times k$$

Kus:

κ – Löökuri ja päästehoova vaheline hõrdekoefitsent

Koostame momentidele tasakaaluvõrrandi.

$$F_{vabastamine} \times OG - F_{verdu} \times OE - F_{hõõrdumine} \times OF = 0 \rightarrow$$

$$F_{vabastamine} \times OG - F_{verdu} \times OE - \text{Flöökur } N \times k \times OF = 0 \rightarrow$$

$$F_{vabastamine} \times OG - F_{verdu} \times OE - \text{Flöökur} \times \cos(a) \times k \times OF = 0 \rightarrow$$

$$F_{vabastamine} = \frac{F_{verdu} \times OE + \text{Flöökur} \times \cos(a) \times k \times OF}{OG}$$

Kus:

Flöökur – Löökuri verdu jõud

a – Löökuri jõu vektori ja kokkupuute kohast pöördetelje suunatud lõigu vaheline nurk

OF – Haardepunkti ja pöörtelje vaheline kaugus

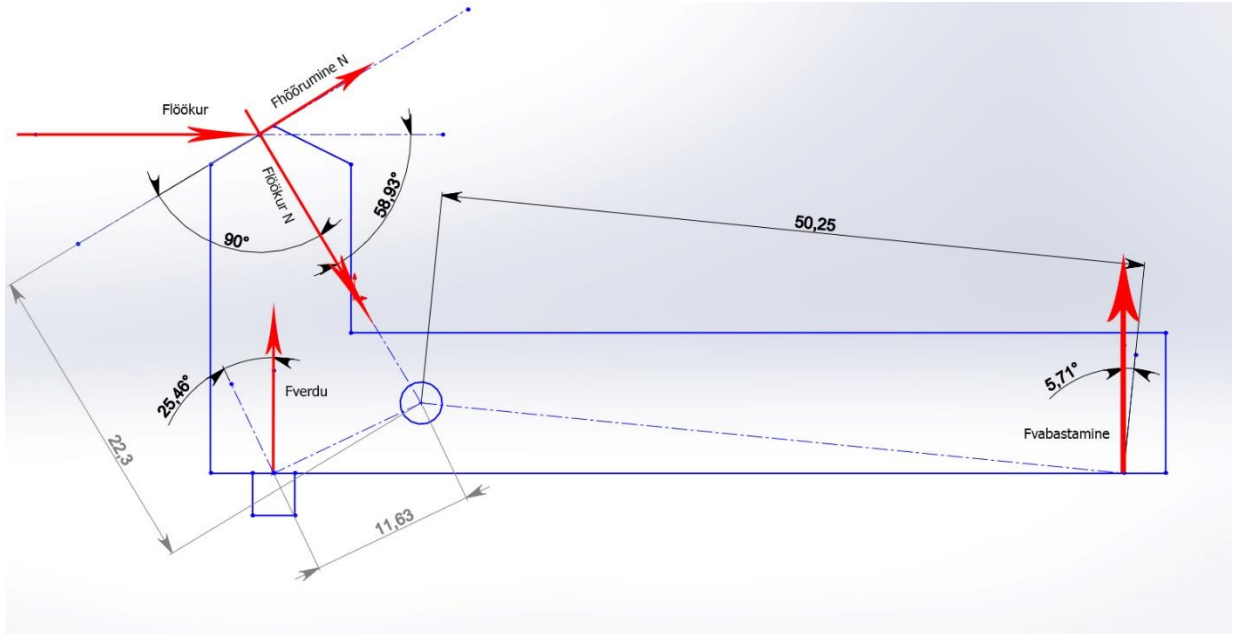
OE – Pöörtelje ja vedrujõu rakendamise punkti vaheline kaugus

OG – Pöörtelje ja päästejõu rakendamise kaugus

Reaalse päästehoova arvutamine

Reaalse päästehoova arvutamisel tuleb arvesse pidada et päästehoova vedru jõud ja päästejõud ei osutu puutujas suunatud ning tuleb arvestada nende rakendamise nurgaga.

Päästehoova staatika:



Sele 6.45. Päästehoova staatika 2

$$k = 0.22$$

$$Flöökur = 133 \text{ N}$$

$$Fverdu = 13 \text{ N}$$

$$Flöökur N = Flöökur \times \cos(58.93) = 133 \times \cos(58.93)$$

$$Fhõõrdumine = Flöökur N \times 0.22 = 133 \times \cos(58.93) \times 0.22$$

Teostan päästehoova õlgadele perependikuläärde proektsioon:

$$Fhõõrdumine õlas = Fhõõrdumine = 133 \times \cos(58.93) \times 0.22$$

$$Fverdu õlas = Fverdu \times \cos(25.46) = 13 \times \cos(25.46)$$

$$Fvabastamine õlas = Fvabastamine \times \cos(5.71) \times 50.25$$

Arvutan välja päästehoova teljele rakenduvate jõude momentide summad, liigun vastupäeva.

$$F_{\text{vabastamine}} \cdot \text{õlas} \times 50.25 - F_{\text{hõõrumine}} \cdot \text{õlas} \times 22.3 - F_{\text{verdu}} \cdot \text{õlas} \times 11.63 = 0 \rightarrow$$

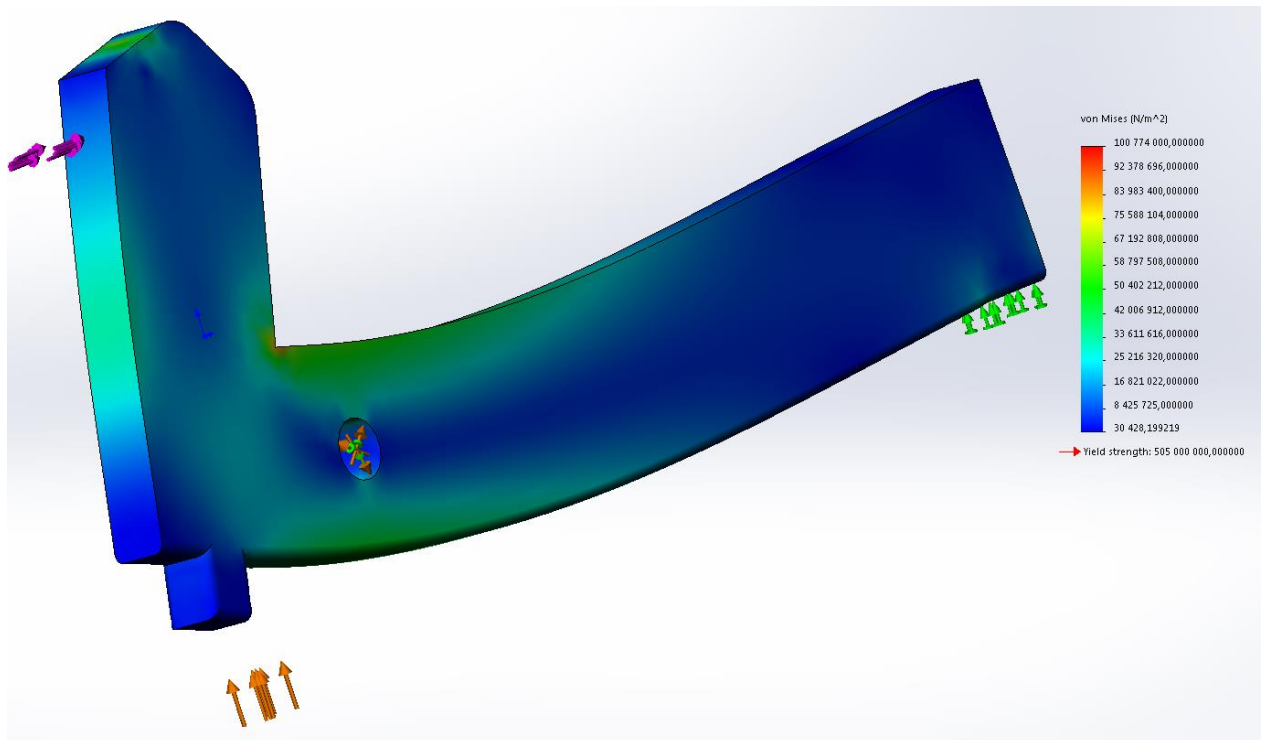
$$F_{\text{vabastamine}} \cdot \text{õlas} \times 50.25 = F_{\text{hõõrumine}} \cdot \text{õlas} \times 22.3 + F_{\text{verdu}} \cdot \text{õlas} \times 11.63$$

$$F_{\text{vabastamine}} \cdot \text{õlas} = \frac{133 \times \cos(58.93) \times 0.22 \times 22.3 + 13 \times \cos(25.46) \times 11.63}{50.25}$$

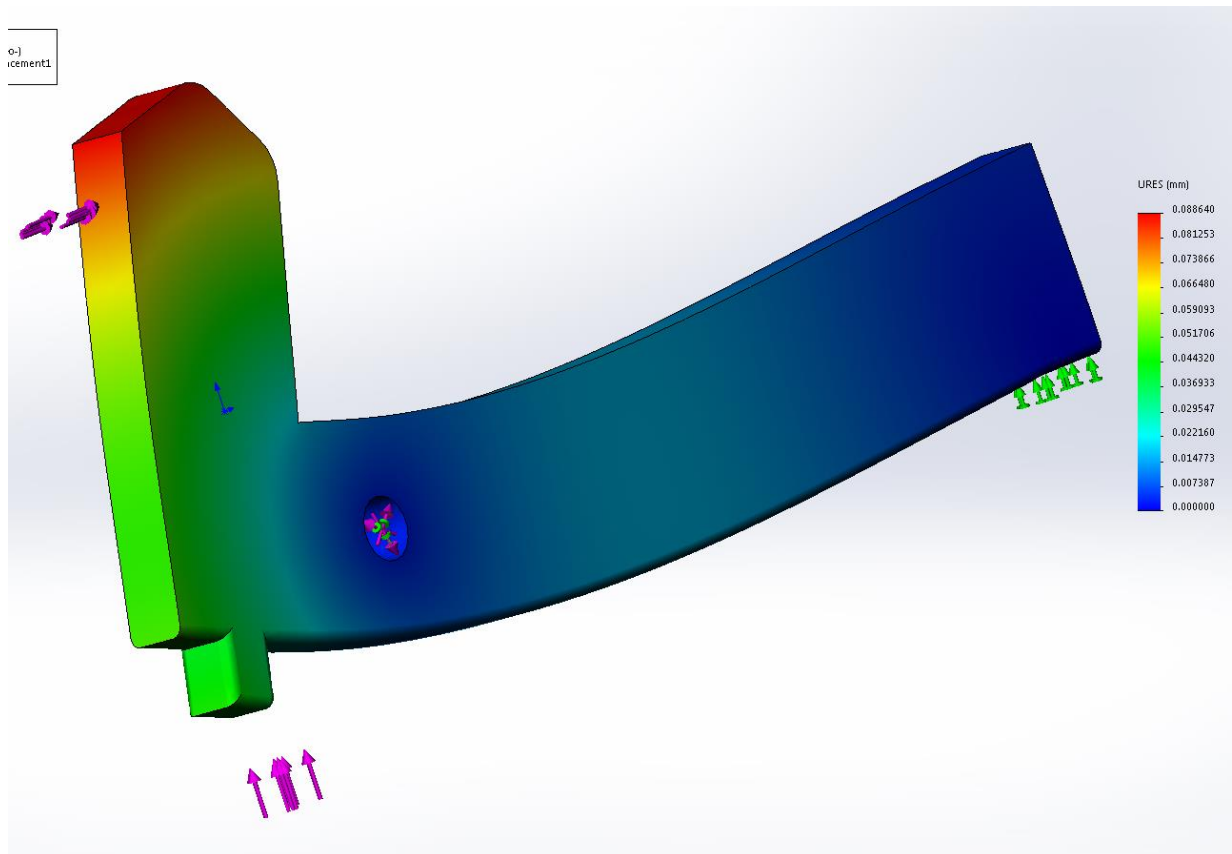
$$F_{\text{vabastamine}} = \frac{133 \times \cos(58.93) \times 0.22 \times 22.3 + 13 \times \cos(25.46) \times 11.63}{\cos(5.71) \times 50.25} = 9.5 \text{ N}$$

Tulemusest, arvestades valitud jõude suunadega, nähtub et päästehoova liigutamises ning töökuri vabastamiseks on vaja rakendada 9.5 N jõud. See väärtus on vajalik päästemehhanismi elektroonilise osa valimisel.

Päästehoova pingete analüüs



Sele 6.46. Päästehoova stress



Sele 6.47. Päästehoova displacement

Nii veendusime, et löökuri maksimaalse jõu rakendamisel päästehoov on viiekordse tugevusvaruga ning maksimaalne mõõtmete muutus moodustab 0.086 mm.

6.5.2 Elektrooniline osa

Päästehoova vabastamiseks võib kasutada mitmeid variante.

Esiteks võib kasutada lineaaraktuaatorit



Sele 6.48. Aktuaatorid [34]

Lineaaraktuaatoritega on aga mitmeid probleeme. Kõik need on suhtelised suure mõõtmelised, aeglased ning nende kuju ei võimalda paigutada neid päästemehhanismi korpuses.

Teiseks võib kasutada solenoidi.



Sele 6.49. Solenoid [35]

See võib olla heaks lahenduseks. Solenoid võib väga suure kiirusega varrast väljaulatama. Neid on erinevate mõõtmetega. Solenoidi võib paigutada suvalise nurga all ja suvalisse korpusesse.

Solenoididel on aga olemas suur puude. Tavaliselt on jõud varrel väga madal. On ka piisavalt jõukaid solenoide aga need on kallid ja suuremõõtmelised.

Sammuti võib ehitada kondensaator batareid. Siis isegi nõrk solenoid saab anda head impulsi, kuid see nõuab elektrilises skeemi keerulisemaks muutmist ning lisaruumi suhteliselt suurte kondensaatorite jaoks

Kolmandaks võib kasutada reduktoriga servomootorit.



Sele 6.50. Servo [36]

Servomotoreid on suvaliste mõõtmetega ning tõmbejõuga vahemikus 15 kuni 400 N ja rohkem. Neil on hea rakendumise kiirus 0.3-0.05 ms ja vähem. Hinnad varjeeruvad 10 kuni 200 euro. Meil on tarvis kiire ja keskmise jõuga servoajam. Meil on teada nõutav mootori jõu aga oleks vaja kindlaks teha mootori kiirust. Kuna inimese keskmine reaktsiooni kiirus jääb 0.2 kuni 0.25 sekundi vahemiku pean piisavaks mootorit mis sooritab päästehoova vabastamist kühema aja jooksul.

Nõuded:

Jõud – mitte vähem kui 9.5 N (peaaegu 1 kg jõudu)

Kiirus mitte vähem 0.2 sek/60°

Suur valik servoajameid on esitatud <http://www.springrc.com/> veebi lehel.

Peale kataloogi uurimist peatasin „SM-S4405S“ servomootril.

Antud mootor annab 4.4 kg jõudu 1 cm hoovaga. Samuti pöörleb see kuuekümnele kraadile 0.1 sekundiga.

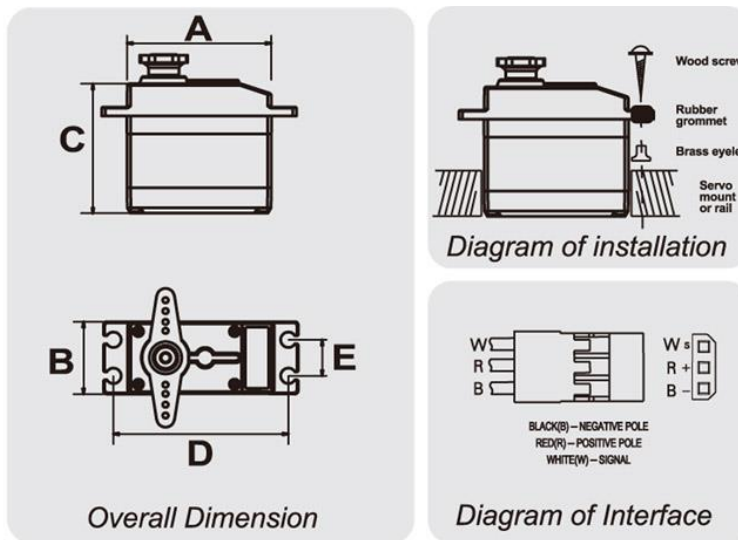


$\pm 60^\circ$

www.springrc.cn



Sele 6.52. Servo2 [37]



Products specification									Technical parameters					
Size (mm)					Weight		Wire	4.8V			6V			Rotation angle
A	B	C	D	E	g	oz	cm	Speed	Torque		Speed	Torque		
sec/60°	kg·cm	oz·in	sec/60°	kg·cm	oz·in									
40.3	20.2	36.0	48.7	10.0	39	1.38	30.0	0.13	3.5	48.69	0.10	4.4	61.21	$\pm 61^\circ$

Toite allikas

Sele 6.51. Servo parameetrid [38]

Servoajami toitmiseks oleks vaja akut.



Sele 6.53. aku [39]

Capacity(mAh)	460
Config (s)	2
Discharge (c)	20
Weight (g)	29
Max Charge Rate (C)	2
Length-A(mm)	52
Height-B(mm)	30
Width-C(mm)	8

Sele 6.54. aku

Kasutav 7.4 v “RHINO” akkut <http://www.hobbyking.com/> veebi lehelt.

Servomootori juhtimiseks kasutan Arduino Micro mikrokontrollerit



Sele 6.55. Arduino micro [40]

Microcontroller	ATmega32u4
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	20
PWM Channels	7
Analog Input Channels	12
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega32u4) of which 4 KB used by bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Clock Speed	16 MHz
Length	48 mm
Width	18 mm
Weight	13 g

Tabel 6.5. Arduino micro

Aktiveerimine

Süsteemi opereerimiseks on vaja: üldtoite lüliti, kaks nupplüliti mis täidavad päästiku ja kaitseriivi rolle ja indikaator valgusdiod.

1P, 100-SP-1-T1B1M1Q



Sele 6.56. Lüliti [41]

PCB 42 VAC/DC 100 mA, 96-323.837



Sele 6.57. Nupplüliti [44]

Kaitseriivi nupp tuleb vajutada enne päästikut vajutamist.

Antud komponendid on müügil www.elfa.se.

Seisundi indikaatorina sobib hästi kolmevärviline valgusdiod. See võib esitada kõik nähtava spektri värvid aga meile piisab kahest – rine kui kaitse on peal ja pupane kui kaitse vabastatud ja relv laskmiseks valmis.

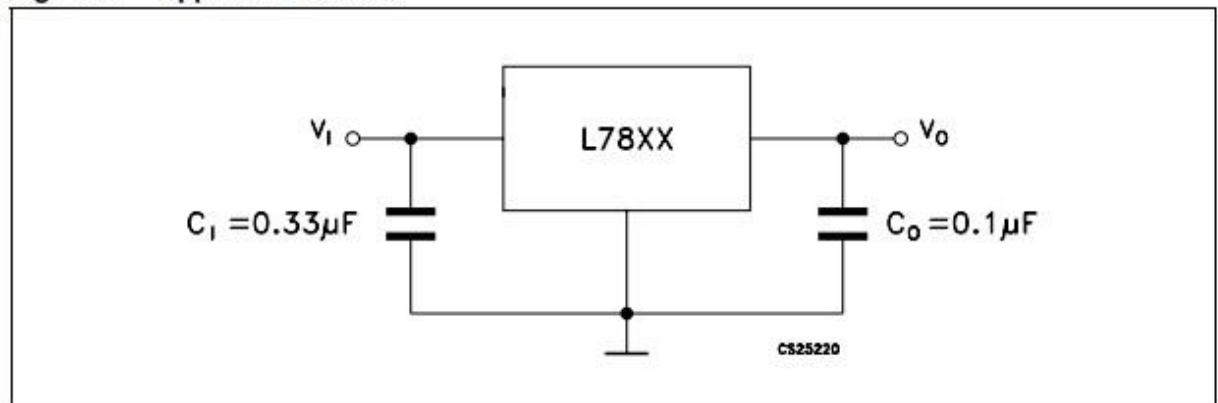
Juhendamise skeem

Nagu on näha kontrolleriit võib ühendada otse aku patareiga pingega 7.4 V kuid kõrgendatud pinge mootoril võib kaasa tuua selle enneaegset vananemist. Seda vältimaks ahelasse paigaldatakse pingeregulaatorit. Mina valin „L7806CV“ pingeregulaatorit.



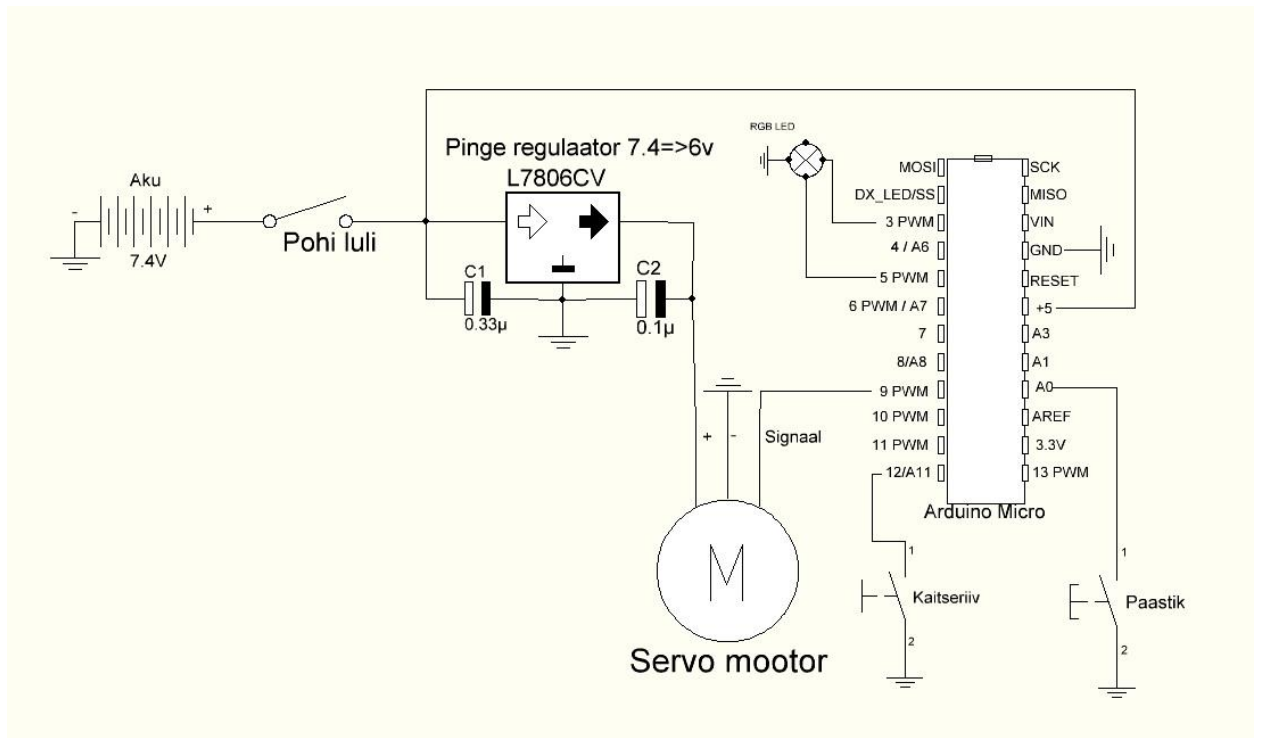
Sele 6.58. Pingeregulator [42]

Figure 4. Application circuits



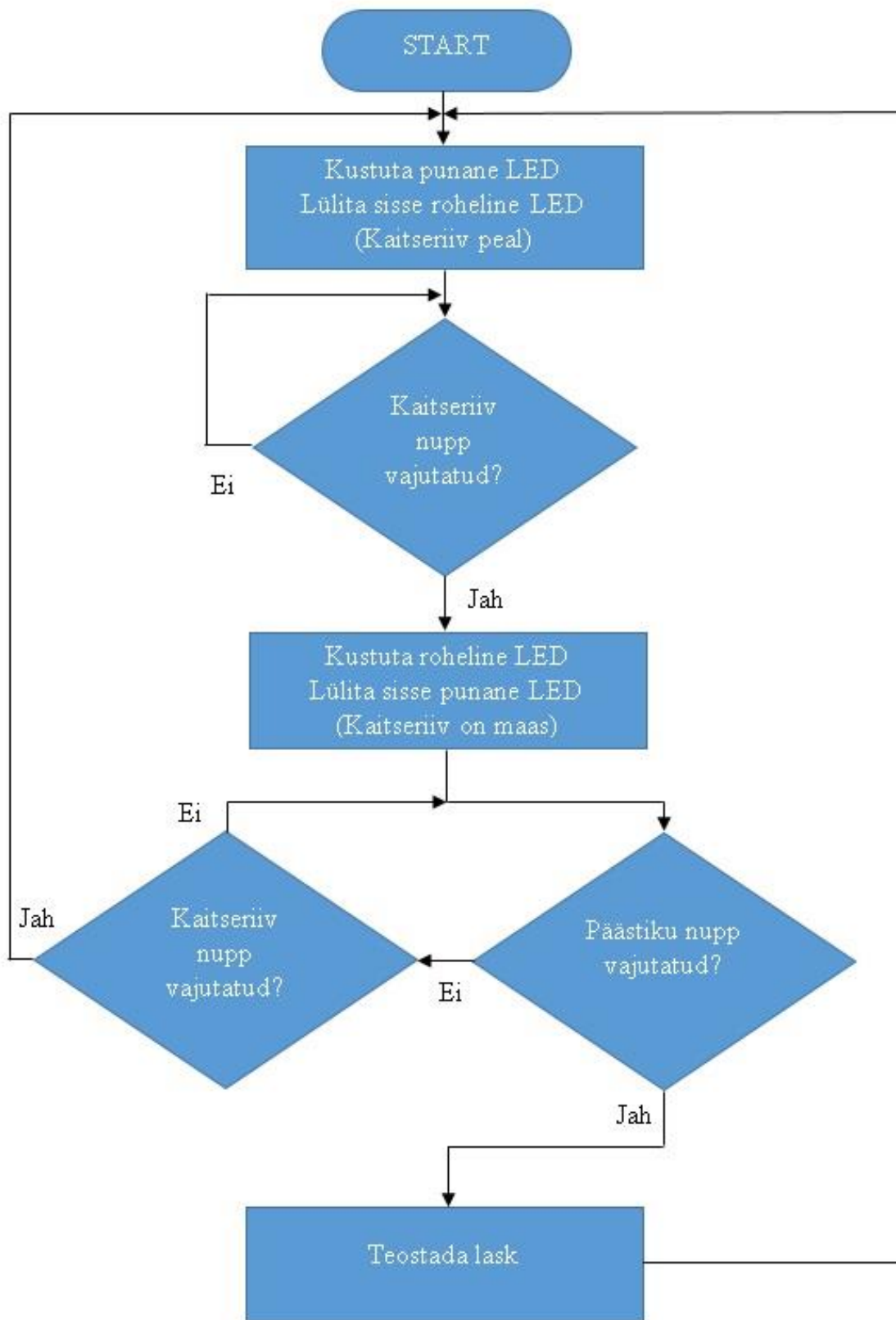
Sele 6.59. Pingeregulaatori skeem [43]

Samuti vältimaks häirete tekkimist ning stabiilsema regulaatori töö tagamiseks kahelasse tuleb lisada kahte kondensaatori nominaalidega 0.33 ja 0.1 mikrofaraad.



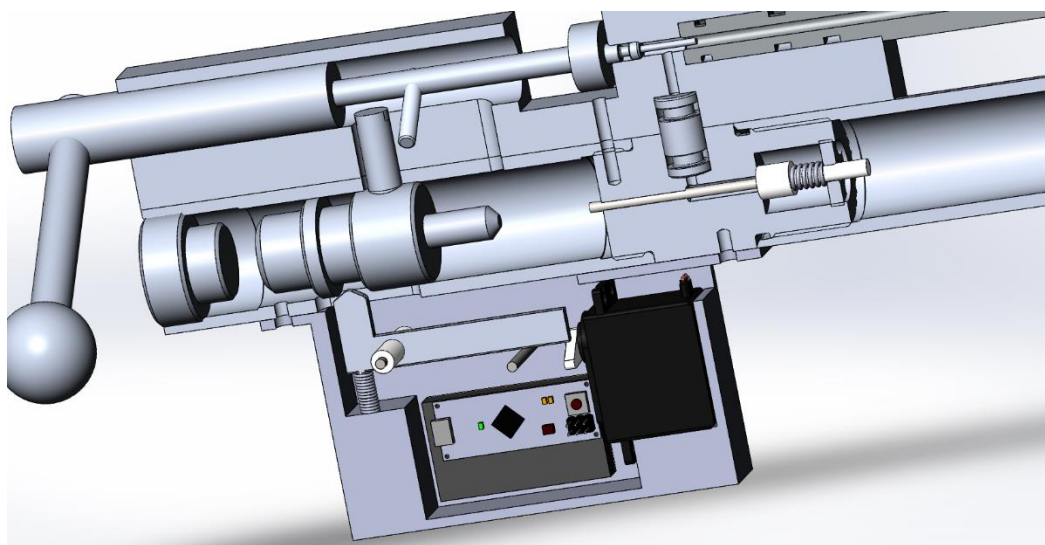
Sele 6.60. El.skeem

6.5.3 Algoritm



Sele 6.61. Päästiku algoritm

6.6 Mudel



Sele 6.62. Päästiku mehhanism läbilõikes



Sele 6.63. Relv mudel



Sele 6.64. Relv mudel2

7 Majanduslik arvutus

Osa	Materjali hind			Töö hind		
	tk	hind/tk	hind	töö tundi	hind/t	töö hind
Relva vintraud	1	€ 103,00	€ 103,00	1	25,00 €	25,00 €
Reservuaari toru	1	€ 25,00	€ 25,00	1	25,00 €	25,00 €
Esikaas	1	€ 5,00	€ 5,00	2	25,00 €	50,00 €
Tagakaas	1	€ 5,00	€ 5,00	2	25,00 €	50,00 €
Manomeeter	1	€ 5,00	€ 5,00	0	25,00 €	0,00 €
Polüamiid	1	€ 10,00	€ 10,00	0	25,00 €	0,00 €
Löökuri toru	1	€ 25,00	€ 25,00	1	25,00 €	25,00 €
Löökur	1	€ 10,00	€ 10,00	1	25,00 €	25,00 €
Löökuri osad	1	€ 5,00	€ 5,00	1	25,00 €	25,00 €
Päästiku kast	1	€ 25,00	€ 25,00	3	25,00 €	75,00 €
Servo	1	€ 15,00	€ 15,00	0	25,00 €	0,00 €
Akku	1	€ 7,00	€ 7,00	0	25,00 €	0,00 €
Arduino micro	1	€ 18,00	€ 18,00	0	25,00 €	0,00 €
Nuppud/lülitid	1	€ 10,00	€ 10,00	0	25,00 €	0,00 €
Puidust pära	1	€ 10	€ 10,00	2	25,00 €	50,00 €
Muud	1	€ 50	€ 50,00	0	25,00 €	0,00 €

Osade hind	€ 328,00		töö hind	350,00 €
------------	----------	--	----------	----------

Kokku	€ 678,00
--------------	-----------------

Tulemuseks saame relva keskmises hinna kategoorias aga unikaalsete omadustega. Reservuaari maht on umbes 350 cm³, bullpup komponeering ning laskude arv ühest täitmisest vastava seadistamise puhul ei tohi olla alla 60 mis on võrreldav Edgun Matador relvaga.

8 Kokkuvõte

Selle magistritöö ülesandeks oli odava ja töökindla eellaetava õhkrelva välja töötamine. Lõputöö tulemusena on valmis relva mudel. On hoolikalt valitud vajalikud standardsed komponendid. Relva mudel on projekteeritud kasutades „Solidworks” tarkvara. On tehtud vajalikud tugevusarvutused (survereservuaari ja mõne teise osa tugevusarvutused), mille tulemused olid võrreldud „Solidworks” tarkvara simulatsiooni tulemustega näitamaks autori simulatsioonide tegemise oskusi. On koostatud elektriline skeem, läbi mõeldud juhtimisprotsess ja arendatud programmi algoritm kontrolleri jaoks. Lisaks oli läbimõeldud relva ohutuse aspektid ja pakutud põhjalik valmislahenduse komponentide hinnakalkulatsioon.

Selle projekti põhjal saab kokku panna eellaetavat õhkrelva.

Minu arvates see lõputöö teema pakub suurepäraselt uurimis- ja leiutamiseruumi. Selle projekti tulemusena omandasin palju uusi teadmisi, laiendasin oma silmaringi ning sain rakendada olemasolevaid teadmisi praktikas.

Conclusion

The main task of this master's thesis was to develop the pre-charged pneumatic air gun. As a result of my thesis I have made the model of the air rifle. „Solidworks” design program was used for the 3D modeling of the air gun. The stress calculations for the weakest parts of the machine (pressure reservoir and other parts) were made and the results of stress calculations were compared with „Solidworks” software simulation results. Also electronic scheme was composed, the control process of machine was developed and the algorithm for the controller was made. In addition, safety problems were discussed during the machine development process and price calculation was offered.

Using this project the pre-charged air rifle can be built.

In my opinion, it was an excellent research and development work. This project has widened and strengthened my knowledge and gave me an opportunity to apply my designer knowledge in real-life.

9 Kirjanduse loetelu

1. <http://i3.jackgun.ru/1/1434/14337539/afacdb/pnevmaticheskaya-vintovka-umarex-walther-1250-dominator-ft-pcp-soshka-ricel-walther-ft-32x56-kalibr-4-5-mm.jpg> - WALTHER DOMINATOR FT 1250
2. <http://images.airgundepot.com/ay/airgundepot/hatsan-at44w-10-shot-pcp-air-rifle-22-cal-walnut-stock-3.gif> - Hatsan PCP AT44w-10
3. http://edgun.com/uploads/posts/2014-12/1419590382_matador_r3m_0.png - EDgun MATADOR R3M (long)
4. <http://recshop.ru/shop/pnevmatika/1382152910orig.jpg> - Reservuaar manomeetriga
5. http://www.wika.ru/upload/PIC_PR_111_12_27_de_de_18711.jpg - Manomeeter „Wika“ 0-315 bar
6. <http://www.alfun.eu/>
7. <http://www.ruukki.com>
8. <http://www.wikipedia.org>
9. <http://www.lothar-walther.com/>
10. <http://www.guns.ru> <http://www.guns.ru/>
11. <http://en-co.wika.de/>
12. http://www.wika.co.uk/upload/DS_PM0117_GB_16402.pdf Manomeetri andmeleht
13. http://www.wika.co.uk/upload/DS_IN0003_GB_1376.pdf Surve ühendused
14. http://www.wika.co.uk/upload/DS_AC0908_GB_827.pdf Tihendid manomeetritele
15. <http://new-cdn.pyramydair.com/aimage/probe.jpg/57> quick-disconnect fill probe
16. <http://new-cdn.pyramydair.com/aimage/qd-fitting.jpg/57> spring-loaded quick-disconnect fitting
17. <http://new-cdn.pyramydair.com/aimage/male-eighth-BSP.jpg/57> 1/8-inch BSP connection
18. <http://new-cdn.pyramydair.com/aimage/female-eighth-BSP.jpg/57> female 1/8-inch BSP
19. http://forum.guns.ru/forums/icons/forum_pictures/000182/thm/182319.gif Lahingklapp 1
20. http://forum.guns.ru/forums/icons/forum_pictures/000182/thm/182323.gif Lahingklapp 2
21. http://forum.guns.ru/forums/icons/forum_pictures/000182/thm/182325.gif Lahingklapp 3
22. http://forum.guns.ru/forums/icons/forum_pictures/000182/thm/182327.gif Lahingklapp 4
23. http://forum.guns.ru/forums/icons/forum_pictures/000182/thm/182329.gif Lahingklapp 5
24. http://forum.guns.ru/forums/icons/forum_pictures/000182/thm/182331.gif Lahingklapp 6
25. <http://www.eemeli.ee/>
26. <http://www.eemeli.ee/1138-2139-thickbox/poluamiid-toru-valge-pa-6.jpg> Polüamiid toru
27. <http://www.aliexpress.com/>
28. http://i01.i.aliimg.com/img/pb/145/001/832/832001145_247.jpg Ritvid Hiinast
29. <http://www.alas-kuul.ee/>
30. http://catalog.lesjoforsab.com/catalog/pdf/en/chapters/35-42_EN.pdf alas-kuul AS verdude kataloog
31. <http://www.airguns.budu.pl/arsenal/FX/fx/9.jpg> FX Typhoon lukkukoda
32. http://cdn.pyramydair.com/images/zoomed/Crosman-Silhouette-PCP-Match_CR-1701P_pistol_zm5.jpg - Crosman lukkukoda
33. http://www.airgungallery.com/data/media/1/edgun_open.jpg - "EDgun" päästik
34. <http://gohtsn.com/uploads/spal-linear-actuators.jpg> aktuaatorid

35. http://m4.sourcemap.com/photo_new/20120719/g/ux_a12071900ux0829_ux_g03.jpg
solenoid
36. <http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v0/547061643/RC-font-b-Servo-b-font-Hitec-H755MG-117g-14-4-kg-23-sec-Metal-Gear.jpg> - servo
37. <http://www.springrc.com/new/Upload/PicFiles/S4405S.jpg> - servo2
38. <http://www.springrc.com/new/en/ProductView.asp?ID=75> – servo parameetrid
39. <http://cdn.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/RH20-460-2.jpg> – akku
40. http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoFront_3_sm.jpg – Arduino micro
41. <https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/large/taiway-100-SP-1-T1B1M1Q.jpg> - lüliti
42. <https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/medium/TO-220-Photo.jpg> – Pinge regulator
43. https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/teL78xx-L78xxC_e.pdf - Pinge regulaator
44. <http://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/medium/3563707-02.jpg> – nupp
45. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/RGB_LED.jpg - RGB LED
46. Masinaehitja-konstruktori kasiraamat

10 Lisad