

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Интеграција наоружања на мобилне платформе

Број индекса: 308/2016

Ненад З. Вранић

**Интеграција минобацача на мобилну
платформу
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. проф. др Богдан Недић – председник комисије**
- 2. проф. др Бранко Тадић – члан комисије**
- 3. доц. др Александар Кари – ментор**

**Датум
одбране: _____**

Оцена: _____

Крагујевац, новембар, 2017.

Извршити анализу интеграције минобацача калибра 120 mm у куполу мобилне борбене платформе типа лакооклопљеног борбеног гусеничног возила. Анализу извршити кроз следеће фазе и прорачуне:

1. Извршити унутрашње балистички прорачун минобацача 120 mm M75.
2. Извршити прорачун противтрзајућег уређаја на основу унуташње балистичког прорачуна, тако да се сила трзања смањи и испуне услови чврстоће и стабилности конструкције.
3. Предложити идејно конструкцијско решење уградње минобацача на мобилну платформу.
4. Извршити упоредну анализу добијених резултата симулације и прорачуна оптерећења лежаја куполе.

Препоручена литература:

- [1] З. Ристић, М. Јаковљевић: Основи наоружања (артиљеријска оруђа), ВА Београд, 2003. године
- [2] А. Кари, М. Бајевић: Минобацачи данас, Нови гласник, бр. 1/2007., стр. 97-106.
- [3] Александар Кари: Проблеми куполне уградње оруђа, презентација Бг. – Кг. 2015. године
- [4] Љ. Танчић: Збирка решених задатака из унутрашње балистике, ВА Београд, 2000. године
- [5] Љ. Танчић: Унутрашње балистичко пројектовање, Министарство одбране, Универзитет одбране, Војна академија, Београд, 2014. год.
- [6] Н. Антић: Предпројекат самоходног минобацача 120 mm - дипломски рад, Војна академија, Београд, 2013. године

Крагујевац, Новембар 2017

Ментор:
Доцент др Александар Кари дипл. инж.

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	4
УВОД	5
1. МИНОБАЦАЧИ КАО АРТИЉЕРИЈСКО ОРУЂЕ.....	6
1.1. Историјски развој минобацача	6
1.2. Намена и карактеристике савремених минобацача	6
1.3. Подела минобацача	7
1.4. Самоходни минобацачи.....	9
1.5. Минобацач 120 mm M75	12
1.6. Борбено возило пешадије M80-A.....	15
2. УНУТРАШЊЕ БАЛИСТИЧКИ ПРОРАЧУН ЗА МИНОБАЦАЧ 120 mm.....	17
3. ПРОТИВТРЗАЈУЋИ УРЕЂАЈ (ПТУ).....	22
3.1. Карактеристике хидрауличне кочнице	23
3.2. Повратници.....	26
3.3. Прорачун ПТУ у програмском пакету MATLAB	28
3.4. Анализа података добијених прорачуном у програмском пакету MATLAB... ..	33
4. ПРЕДЛОГ КОНСТРУКЦИЈСКОГ РЕШЕЊА.....	38
5. ПРОРАЧУН ОПТЕРЕЋЕЊА ЛЕЖАЈА КУПОЛЕ	48
5.1. Прорачун лежаја куполе за минобацач 120 mm M75	50
ЗАКЉУЧАК.....	59
ЛИТЕРАТУРА.....	62
ПРИЛОГ 1.....	63
ПРИЛОГ 2.....	65

РЕЗИМЕ

Овим радом је обухваћена интеграција минобацача 120 mm M75 на мобилну борбену платформу. УБ прорачуном добијен је максимални притисак барутних гасова, на основу кога се добија сила притиска барутних гасова. Ова сила дефинише силу трзања, од које зависи отпорност оруђа и његова стабилност при опаљењу. На основу силе трзања дефинисана је сила отпора трзању. На основу добијених вредности дати су дијаграми зависности. Предлог конструкцијског решења уградње обухвата смештање склопа минобацача у куполу. На крају је урађен прорачун оптерећења лежаја куполе, израчунат контактни напон на површински притисак и упоредна анализа резултата.

Кључне речи: **минобацач, трзање, сила, напрезање, лежај куполе.**

ABSTRACT

This paper deals with the integration of mortars 120 mm M75 on a mobile combat platform. The IB analysis obtained the maximum pressure of the powder gases, based on which the force of the powder gases is obtained. This force defines the recoil force, on which depends the resistance of the weapon and its stability when firing. On the basis of recoil force, the force of the drag force recoil is defined. On the basis of the obtained values, additive diagrams are given. The technical solution for installation includes the installation of a mortar assembly in the dome. In the end, the load calculation of the bearing of the dome was calculated, the calculated contact stress on the surface pressure and a comparative analysis of the results.

Key words: **mortar, recoil, force, stress, bearing of turret.**

УВОД

У првом поглављу, овог рада, приказан је кратак опис о минобацачима као артиљеријским оруђима. Укратко је описан историјски развој минобацача, затим подела минобацача и нешто више о самоходним минобацачима. Описан је минобацач Југословенске производње 120 mm M75, као и борбено возило пешадије M80-A на које ће бити извршена куполна уградња поменутог минобацача.

Методом „Серебрјакова за минобацаче“ у програмском пакету FORTRAN, у другом поглављу, за минобацач 120 mm M75, дат је УБ прорачун са потребним подацима за улазну датотеку. Улазни и излазни подаци поменутом методом приказани су у прилогу 1. Излазни подаци се надовезују на прилог 2, који се односи на прорачун противтрзајућег уређаја (ПТУ). Као излаз из прилога 1 добијају се графици зависности притиска и брзине у односу на пређени пута пројектила и у односу на време кретања пројектила у цеви, који су приказани сликама.

У трећем поглављу дат је опис и улога ПТУ-а, као и прорачун. Прорачун је приказан у прилогу 2. Такође, ово поглавље обухвата и анализу података добијених прилогом 2. Као излаз добијени су дијаграми зависности силе хидрауличне кочнице, силе повратника и силе отпора трзању у односу на дужину и време трзања. Поред поменутих дијаграма дати су и дијаграми промене површине проточних отвора хидрауличне кочнице у односу на пут и време трзања. Дијаграми су приказани сликама, како за минимални (45°) тако и за максимални угао елевације (85°).

Четврто поглавље обухвата предлог конструкцијског решења склопа минобацача. Дати су CAD модели добијени у програму CATIA, засебно свих делова склопа као и склопа минобацача заједно са куполом. Како за максимални тако и за минимални угао елевације. Поред тога описана је и улога поменутих делова склопа.

У петом поглављу приказан је прорачун оптерећења лежаја куполе. У првом делу је приказан кратак опис куполне уградње, а затим прорачун анализе оптерећења у програму FEMAP. Резултати су приказани сликама, након чега се може видети опис добијених резултата. Следи аналитички прорачун на основу литературе, ради упоређивања резултата.

Циљ рада је прелиминарна анализа могућности уградње минобацача на мобилну платформу и анализа оптерећења платформе при опаљењу.

1. МИНОБАЦАЧИ КАО АРТИЉЕРИЈСКО ОРУЂЕ

1.1 Историјски развој минобацача

Минобацач је оружје за посредно гађање које испалјује минобацачке гранате убацним путањама (полазни и падни углови су преко 45 степени), малим почетним брзинама (мањим од 400 m/s) на релативно мале домете (до 13 km). Први пут, минобацачи су приказали своју бојеву ефикасност у току Првог светског рата. Немачка артиљерија је у првим данима сукоба била толико ефикасна да је 20. октобра 1914. године главнокомандујући британских снага генерал сер George French захтевао, да његова војска буде на било који начин наоружана „посебним средствима артиљерије“ која се могу са великом ефикасношћу користити на малим удаљеностима из заклона“. У току Првог светског рата као и у многим каснијим конфликтима минобацачи су пружали ватрену подршку пешадији и што је најважније, та ватра је била ефикасна.

Без обзира на високу ефикасност примене у блиској борби, минобацачи се као врста оруђа традиционално запостављају. Посебан велики сукоб у 20. веку, у којем минобацачи готово да нису ни коришћени је свакако рат у Персијском заливу.

Тенкови и друга оклопна борбена возила, класична артиљерија, противоклопне вођене и невођене ракете, ракете класе земља-ваздух итд. – сви су имали свој део буџета за развој средстава наоружања копнене војске до деведесетих година 20. века. У развоју минобацача, насупрот, није улагано [1].

1.2 Намена и карактеристике савремених минобацача

Садашње и очекиване будуће војне операције усмерене на задатке очувања мира условљене су потребом за лаким и брзим распоређивањем пешадијских јединица намењених за испуњавање разноврсних борбених задатака. Такође, за савремене операције неопходна је ватрена подршка коју је у прошлом веку могла обезбедити артиљерија. Како је артиљерија у већини армија опремљена тешким 152/155-милиметарским системима великог домета, она се све мање може користити за снаге за брзе интервенције и савремене операције због својих димензија и маса. Одустајање од примене самоходног система САД „Crusader“ у снагама за брзе интервенције показује јасну индикацију ових питања, која могу само делимично бити разрешена пројектовањем и развијањем лаких вучних и самоходних артиљеријских система. Осим тога, сукоби се често дешавају у насељеним местима, где је многе циљеве тешко погодити артиљеријском ватром са малим угловима елевације (непосредним гађањем).

Данас се у копненој војсци првенствено САД, а такође, и у мањем или већем степену и у копненим војскама других земаља, настављају промене у области концепције боја. Те промене повукле су за собом измене програма у области пројектовања система наоружања, осматрања и праћења циљева с акцентом на

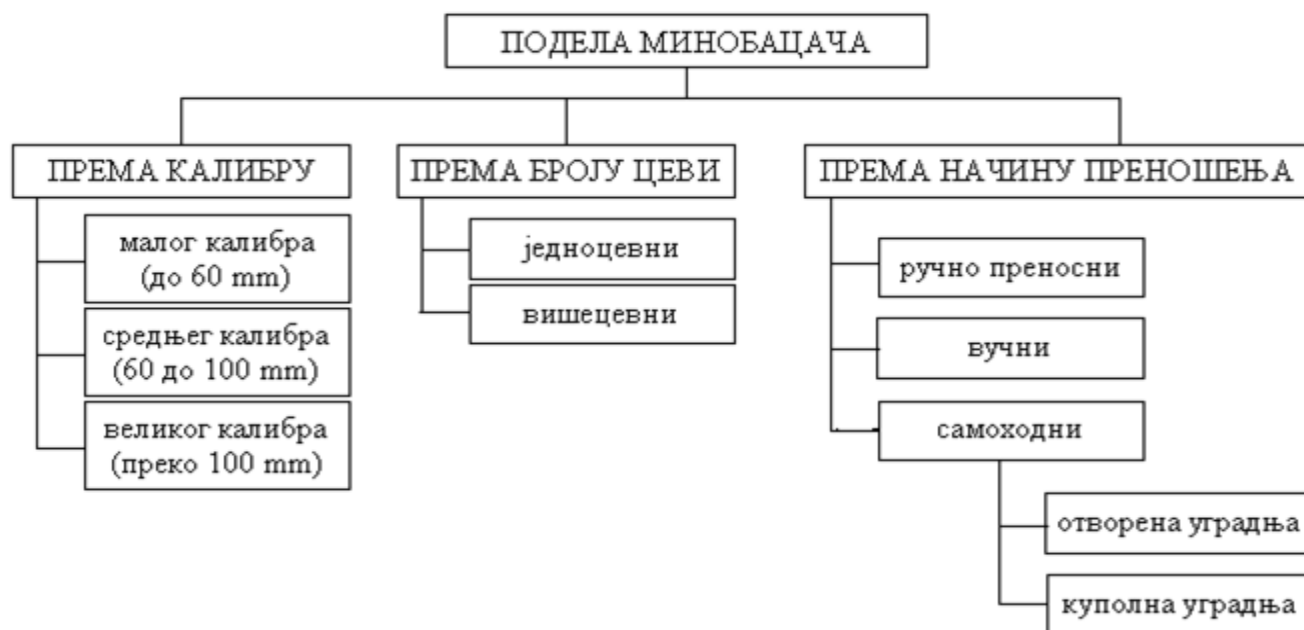
куповину лаких, мобилних система који се могу транспортовати авионом, на бази средњег (по маси) оклопног возила „Striker“ 8x8. Лако, тачније средње возило „Striker“ треба да буде искоришћено у бојевим бригадним групама (IBCTs, раније означаваних као SBCTs) копнене војске САД. Очекује се да ће те формације имати борбену ефикасност као постојећи борбени системи развијени у последњих 30 година.

У последње време, потенцијални циљеви које треба неутралисати новим формацијама и саставима, такође су претрпели измене. Створене су нове формације ојачане оклопним возилима и јавила се неопходност гађања тачкастих оклопљених и других циљева, који су уочљиви само у кратким временским интервалима. Те промене условиле су неопходност употребе, у оквиру ватрене подршке, оруђа која морају имати кратко време реакције уз високе тактичке могућности [1].

1.3 Подела минобацача

Узимајући у обзир покретљивост минобацача која је повезана са масом и калибром, минобацачи се могу сврстати у три групе (слика 1.1.):

- преносни (ручно),
- вучни и
- самоходни.



Слика 1.1. Подела минобацача

У пројектовању самоходних минобацача постоје две концепције које се ослањају на постојеће или нове шасије гусеничних и точкашких лакооклопљених возила:

- концепција отворене уградње и
- концепција куполне уградње.

Код отворене уградње постоје системи код којих се гађање врши са шасије возила (слика 1.2.) и системи код којих се гађање врши ослањањем минобацача преко подлоге на тло (слика 1.3.).



Слика 1.2. *TDA 120 mm 2R2M минобацачки систем постављен на MOWAG Piranha*



Слика 1.3. *Самоходни минобацач 240 mm Тулпан*

1.4 Самоходни минобацачи

Као што је већ речено, две су основне концепције уградње минобацача на возило: отворена и куполна (Табела 1). Конструкциона решења минобацача отворене уградње обезбеђују већу покретљивост, могућност брзе промене ватреног положаја и погодан смештај борбеног комплета, као и бољу заштиту послуге у односу на вучне варијанте минобацача. За постављање у борбени положај вучених или преносивих минобацача је потребно доста времена, тако да су они доста рањиви.

Недостаци решења отворене уградње су свакако потпуно одсуство НХБ заштите, недовољна балистичка заштита послуге од дејства из ваздуха и најчешће пуњење преко уста цеви.

Већина различитих оперативних и техничких тенденција у модернизацији минобацача састоји се у томе да 120-милиметарски самоходни систем, постављен на возило, има у потпуности заклоњену цев и аутоматски или, у крајњем, механички систем пуњења, што неспорно представља идеално решење за савремене минобацаче – уз услове очувања стабилности оруђа при гађању, тачности ватре, мобилности и могућности транспорта.

Постављање минобацача у куполи изгледа ће заменити тренд по којем је систем са четири или више цеви био постављен на задњем делу возила, точкаша или гусеничара. Ризик приликом пуњења споља не постоји код минобацача куполне уградње, а и њихова ватрена моћ, покретљивост и брзина напуштања ватреног положаја по завршеном гађању, могу бити веома солидни.

У данашње време већи акценат се ставља на развој минобацача куполне уградње, калибра 120 mm, остављајући по страни минобацаче за блиску подршку као што је француски ТДА 60 mm постављен на неко од лаких оклопних возила. Типичан пример представља Advanced Mortar System, или AMOS, који је заједнички пројекат Шведског Hägglunds-а и Финског Patria Vammis-а. AMOS има две минобацачке цеви калибра 120 mm, које се пуне отпозади (постоји и варијанта краћих, са уста пуњених цеви), максималног домета око 13000 m.

AMOS је демонстриран уграђен на гусеничар CV-90 и точкаш ХА-185 Pasi и предложено је да се угради на BMP-3 и MT-LB носач. Прва комплетна на Pasi монтирана надградња (ниске куполе, са аутоматским пуњачем и системом за управљање ватром) је предата Финској Армији октобра 2000. Још једна предност система AMOS је та што цеви могу да се оборе и гађају положеним путањама током уличних борби или других ситуација.

AMOS може да испали шест пројектила, први са максималном елевацијом, а последњи скоро са нултом елевацијом, тако брзо да сви пројектили падну у исту тачку истовремено.

Слична предност је представљена и на британском 120 mm оклопљеном минобацачком систему (AMS) са једном цевљу која се пуни отпозади (слика 1.4.).

Укупно 73 AMS-а је испоручено Националној гарди Саудијске Арабије где су постављени на возило 8x8 LAV-3. Белгијска фирма Месаг производи муницију и тренутно развија mine са близинским упаљачем како би се што више искористиле стварне могућности AMS-а.



Слика 1.4. Самоходни минобацач 120 mm AMS

И руске оружане снаге имају три оваква система. Лаки минобацач СО-120 (2С9) Нона-С (слика 1.7.) својом ватреном моћи обезбеђује подршку падобранским јединицама, док 2С23 Нона-СВК (слика 1.6.) представља систем постављен на модификовани точкаш БТР-80. Минобацач 2С31 Вена (слика 1.5.) носи дужу цев али очигледно тек треба да достигне одређене карактеристике. Сви ови системи могу да испаљују ласерски навођене пројектиле на циљеве на максималним даљинама.

Сва три Руска минобацачка система са куполном уградњом се пуне отпозади и сви поседују основне предности самоходних минобацачких система. Овим системима може да се испаљује велики број пројектила узастопно, а да се за кратко време промени ватени положај, пре него јединица буде откривена од стране радара и на њу узвраћено ватром.



Слика 1.5. 2С31 Вена



Слика 1.6. 2C23 Нона-СВК



Слика 1.7. СО-120 (2С9) Нона-С



Слика 1.8. Минобацач 120 мм на Wiesel-у 2

Табела 1. Основне карактеристике самоходних минобацача

Назив и ознака оруђа	Тулпан	2С23 Нона-СВК	М66	МО-120 LT	АМОС	АМС	Mobile Dragon TDA 2R2М
Земља произвођач	Русија	Русија	Израел	Француска	Финска/Шведска	Велика Британија	Француска
Калибар (mm)	240	120	160	120	120	120	120
Врста уградње	Отворена	Куполна	Отворена	Отворена	Куполна	Куполна	Отворена
Возило	ГМЗ	БТР-80	Sherman	АМХ-13	CV-90/ХА-203	LAV-3	Piranha
Дужина цеви (mm)	6350	3000	2850	3000	2x3000	3000	3000
Максимални домет (m)	9800/18000	8800/12800	9600	9000	13000	10000	8200/13000
Брзина гађања (мет/мин)	1	8-10	5-8	12	26	13	10
Број послужилаца	9	4	6-8	6	2+1	2	4

Још један заштићени покретни минобацачки систем је онај са MaK/Rheinmetall DeTech Wiesel-ом 2, лако оклопљеним возилом (слика 1.8). Минобацач 120 mm на овом возилу може да се аутоматски пуни и да се нишани из заштићеног дела за посаду, мада цев има ограничен спектар гађања. Цело возило тешко је око четири тоне тако да може да буде преношено хеликоптерима и постојећом авијацијом. Познато је да Немачка војска има велику потражњу за самоходним минобацачким системима 120 mm, тако да ће Wiesel 2 вероватно да буде даље развијан, као и друга и возила која су кандидати за монтирање RO Defence 120 mm AMS. У табели 1. приказане су основне карактеристике минобацача.

1.5 Минобацач 120 mm M75

Минобацач 120 mm M75 је пратеће оруђе пешадије, намењено за: неутралисање и уништење живе силе и ватрених средстава, стварање димних завеса, заслепљивање осматрачница и ватрених тачака, осветљавање бојишта, отварање пролаза кроз жичане препреке и минска поља и рушење објеката лаког типа [2].

Минобацач има следеће главне делове:

- цев са задњаком,
- двоножни лафет,
- подлогу,
- нишанску справу,
- подвозак и
- резервне делове, алат и прибор.

Цев је намењена да се у њој изврши паљење барутних пуњења, да се мини да почетна брзина и правац лета. Унутрашњост цеви је глатка, са константним пречником (калибром) по целој дужини. Спољашња површина је цилиндрична, константног пречника на целој дужини код МБ М75. На устима цеви изведено је прстенасто ојачање са изрезима за кључ, помоћу којег се врши увијање цеви у задњак [2].

На слици 1.9. приказан је минобацач 120 mm M75.



Слика 1.9. Минобацач 120 mm M75

Минобацач 120 mm M75 гађа убацном путањом, те је погодан за гађање циљева на задњим нагибима, у јаругама и другим земљишним удубљењима.

За извршавање ових задатака употребљава тренутно-фугасну (ТФ), димну и осветљавајућу мину.

Највећи домет (шестим пуњењем) лаком ТФ и димном мином је 6340 m. Успешно дејство лаком ТФ мином, на живу силу и ватрена средства ван заклона је до 5700 m, а у заклонима и при отварању пролаза кроз жичане препреке и минска поља до 4800 m.

Полупречник успешног дејства лаке ТФ mine је 17 m, а са близинским упаљачем 60-75 m.

Код димне mine, бели фосфор се распршује у пречнику око 40 m.

Највећи (активни) домет осветљавајућом мином је 5600 m. Најбољи резултати постижу се када се бакља активира на висини око 400 m, пречник осветљавања је око 1200 m, а време осветљавања око 60 s [2].

На слици 1.10. приказана је мина 120 mm лака ТФ М62П3 са упаљчем УТУ М78 [2].



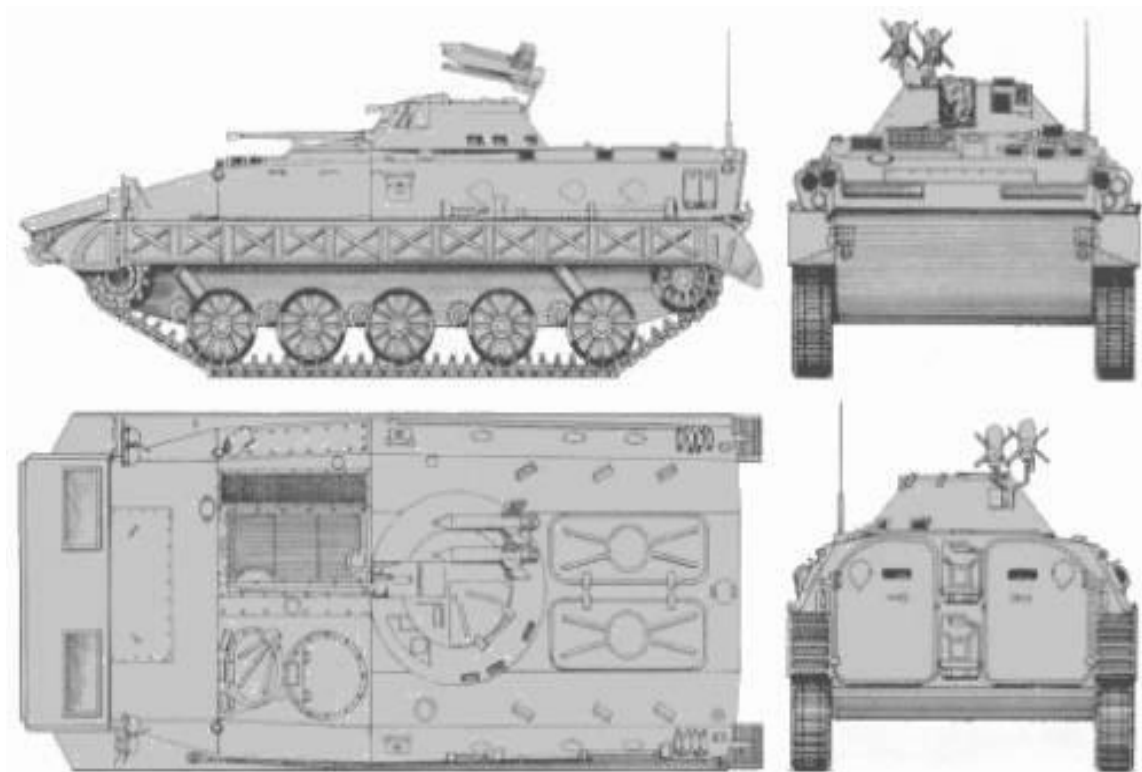
Слика 1.10. Мина 120 mm лака ТФ М62П3 са упаљачем УТУ М78

Главни делови mine су: кошуљица са експлозивним пуњењем (тротил), адаптер, упаљач, стабилизатор са крилцима, основно погонско пуњење и допунска погонска пуњења (укупно 6 ком).

Мина може бити наоружана ударним (УТУ М78 или УТУ М93) или близинским упаљачем (БУ-120 М80, одн. норвешки НИТ-22441): Мине 120 mm ЛТФ М62П2, М62П3, М62П4 и М62П5 наоружавају се упаљачем УТУ М78, док се mine М62П6 и М62П7 наоружавају савременијим упаљачем УТУ М93 [2].

1.6 Борбено возило пешадије М80-А

На слици 1.11. приказан је општи изглед борбеног возила пешадије М-80А.



Слика 1.11. Изглед БВП-а М-80А

Борбено возило пешадије М-80А је основно борбено возило механизованог одељења. Намењено је за уништавање и неутралисање живе силе, оклопних и других борбених средстава на земљи и циљева у ваздушном простору и на даљинама ефективног дејства формацијског, куполног и личног наоружања механизованог одељења. Борбено возило пешадије успешно прати и ефикасно садејствује са свим савременим тенковима и другим оклопним возилима.

Борбено возило пешадије М-80А омогућује кретање и дању и ноћу, при температурама од 45 °С до - 30°С на брдско-планинском, равничарском или пустињском земљишту.

Може да савлада водене препреке мирних и текућих вода, брзине тока воде до 1,5 m/s и висине таласа до 0,5m газом и пловљењем. За савлађивање водених препрека потребно је припремити возило.

Возило може савладати земљиште контаминирано бојним отровима, радиоактивном прашином и бактериолошким агенсима при херметизираним

управним и борбеним одељењем и укљученим филтро-вентилационим уређајем. Возило штити својим оклопом механизовано одељење од заосталог γ зрачења, од зрна пешадијског наоружања и парчади артиљериских зрна. Израчунати фактор заштите од заосталог γ зрачења без заштитног доприноса унете опреме, муниције и наоружања и заштитног доприноса точкова и гусеница је 3.

Механизовано одељење БВП-а М-80А изводи борбена дејства, начелно из возила. Укрцни део одељења може се брзо искрцати и водити борбу ван борбеног возила, при чему борбено возило, на одређеном одстојању, прати одељење и подржава га ватром из свог наоружања.

БВП-а М-80А је наоружан аутоматским топом 20 mm са спрегнутим митраљезом 7,62 mm, лансером противоклопних ракета са два усмеривача, са четири ручна бацача ракета 64 mm или ручним бацачем кумулативних мина калибра 90 mm, пушкомитраљезима 7,62 mm, аутоматским пушкама 7,62 mm, и сигналним пиштољем 26 mm [3].

Тактичко-технички подаци борбеног возила пешадије М-80А:

- борбена маса	13 850 kg+1.5%
- број чланова механизованог одељења	10
- дужина	6 420 mm
- висина	2 995 mm
- клиренс	400 mm
- максимална брзина на путу са савременом подлогом	65 km/h
- максимална брзина при пловљењу	7,8 km/h
- највећа транспортна могућност на води	3 850 kg
- заштитна моћ на 100 m са предње стране од панцирног зрна	20 mm
- заштитна моћ на 100 m са осталих страна од панцирног зрна	7,9 mm

2. УНУТРАШЊЕ БАЛИСТИЧКИ ПРОРАЧУН МИНОБАЦАЧА 120 mm

Унутрашње балистички прорачун, добијен методом Серебрјакова за минобацач 120 mm, у програмском пакету FORTRAN, организован је тако да се прорачун проводи по периодима процеса опаљења. Прво се учитавају полазни подаци, а затим се рачунају константе и карактеристике претходног периода.

Први период дефинише почетне услове и интервале независних променљивих. На основу интервала независне променљиве и броја тачака у првом периоду дефинише се корак прорачуна. У програму за сваки корак се рачунају карактеристике: $p(y)$, $X(y)$, $V(y)$ и $t(y)$, [4].

Други период има исти поступак. Дефинише почетне услове, интервал и корак независне променљиве и рачунају $p(X)$, $V(X)$ и $t(X)$, [4].

Додатни подаци на основу којих се израчунавају остале вредности потребне за формирање улазне датотеке у програму за израчунавање притиска барутних гасова у цеви приказани су у табели 2.1.

Табела 2.1. Подаци за прорачун

Половина дебљине барутног зрна	0,00029 mm
Запремина масе барута	1600kg/m ³
Количина топлоте при константој запремини ОП	4948 J/g
Количина топлоте при константој запремини ДП	5057 J/g
Почетна запремина барутне коморе	0,00281 m ³
Површина попречног пресека зазора	0,000132 m ²
Укупни пут пројектила у цеви	1,155 m
Однос специфичних топлота	1,2

Површина попречног пресека цеви се рачуна, [4]:

$$S_c = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad (2.1)$$

$$S_c = 0,011315 \text{ m}^2$$

Специфичан рад барутних гасова основног пуњења, [4]:

$$f_{b0} = (6546 - 0,1103 - Q_{w0}) \cdot 10^2 \quad (2.2)$$

$$f_{b0} = 6 \cdot 10^5$$

Коволумен барутних гасова, [4]:

$$\alpha = (1456 - 0,1103 \cdot Q_w) \cdot 10^{-6} \quad (2.3)$$

$$\alpha = 0,00091$$

Јединична брзина сагоревања барута, [4]:

$$u_{z0} = (-76,6 + 0,0417 \cdot Q_w) \cdot 10^{-11} \quad (2.4)$$

$$u_{z0} = 1,3 \cdot 10^{-9}$$

Специфичан рад барутних гасова допунског пуњења [4]:

$$f_b = (6546 + 0,88 \cdot Q_w) \cdot 10^2 \quad (2.5)$$

$$f_b = 1,1 \cdot 10^6$$

Коефицијент облика одређује се на основу облика и димензија барутног зрна.

Односи димензија барутног зрна, [4]:

$$\beta = \frac{2r_0}{2c} \quad (2.6)$$

$$\gamma = \frac{2r_0}{2b} \quad (2.7)$$

$$2c = L = 95 \text{ mm} \quad (2.8)$$

$$2b = D = 1,5 \text{ mm} \quad (2.9)$$

$$\beta = 0,0061$$

$$\gamma = 0,387$$

Коефицијент облика за трочлану формулу за израчунавање релативне сагореле масе и релативне сагоревајуће површине, [4]:

$$k = 1 + \gamma + \beta \quad (2.10)$$

$$k = 1,3931$$

$$\lambda = -\frac{\beta + \gamma + \gamma\beta}{k} \quad (2.11)$$

$$\lambda = -0,284$$

$$\mu = \frac{\gamma\beta}{k} \quad (2.12)$$

$$\mu = 0,00169$$

Коефицијенти облика k_1 и λ_1 , [4]:

$$k_1 = k \left(1 - \frac{\mu}{2}\right) \quad (2.13)$$

$$k_1 = 1,3679$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{k_1} - 1 \quad (5.14)$$

$$\lambda_1 = -0,26895$$

Након завршеног прорачуна можемо формирати датотеку са улазним подацима за прорачун унутрашње балистике.

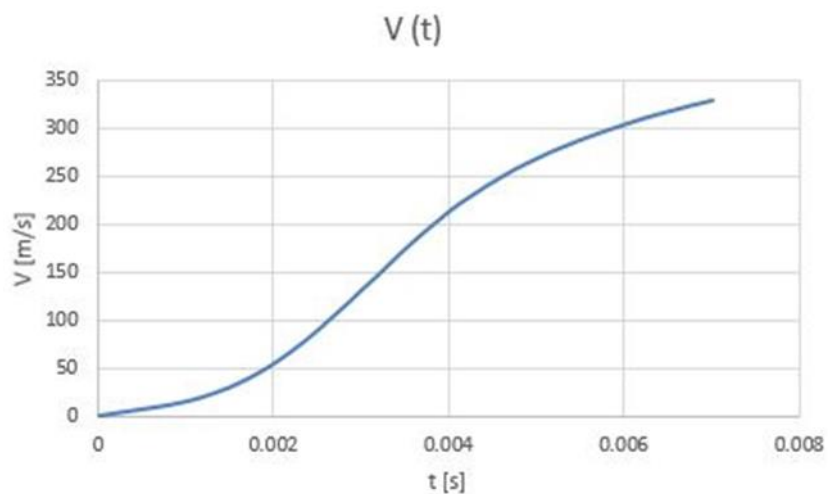
У табели 2.2 приказани су улазни подаци за унутрашње балистички прорачун.

Табела 2.2. Улазни подаци за унутрашње балистички прорачун

Назив	Ознака	Вредност	Јединица
Површина попречног пресека цеви	S_c	0,011315	m ²
Површина попречног пресека зазора	S_z	0,000132	m ²
Почетна запремина барутне коморе	W_0	0,00281	m ³
Укупни пут пројектила у цеви	x_u	1,155	m
Коефицијент облика зазора	ξ	0,61	/
Маса пројектила	m	12,6	kg
Површина попречног пресека пројектила	S_{pr}	0,011183	m ²
Специфичан рад барутних гасова допунског пуњења	f_b	$1,1 \cdot 10^6$	J/kg
Коволумен барутних гасова допунског пуњења	α	0,00091	m ³ /kg
Запреминска маса барута	ρ_b	1600	kg/m ³
Једначина брзине сагоревања барута	u_{z0}	$1,3 \cdot 10^{-9}$	m/sPa
Однос специфичних топлота	θ	1,2	/
Половина дебљине барутног зрна	r_0	0,00029	m
Коефицијент облика	k_1	3,6790	/
Коефицијент облика	λ_1	-0,26895	/
Специфичан рад барутних гасова основног пуњења	f_{b0}	$6 \cdot 10^5$	J/kg
Коволумен барутних гасова основног пуњења	α_0	0,00091	m ³ /kg
Маса барута допунског пуњења	m_b	0,456	kg
Маса барута основног пуњења	m_{b0}	0,036	kg

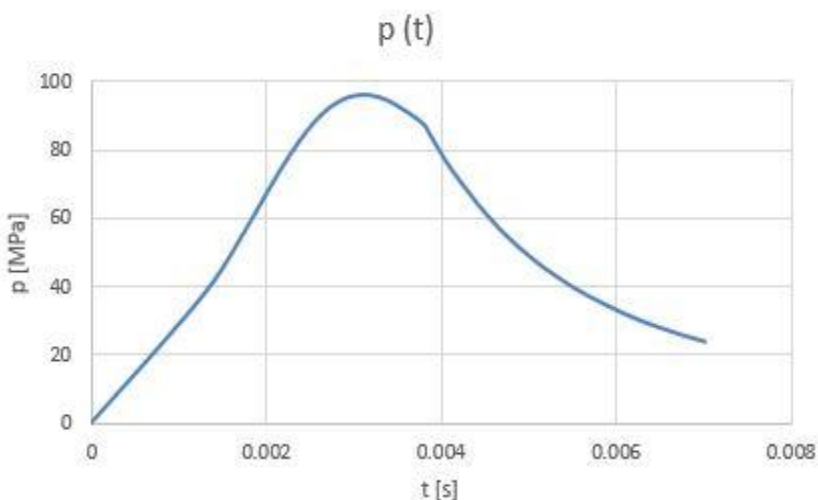
Прорачун је извршен методом Серебрјакова за минобацаче. На сликама 2.1, 2.2, 2.3 и 2.4 приказане су графичке зависности брзине и притиска у односу на време и пут пројектила. Улазни и излазни подаци су дати у прилогу 1, а програмско решење преузето из литературе, [5].

На слици 2.1. приказана је зависност промене брзине у јединици времена.



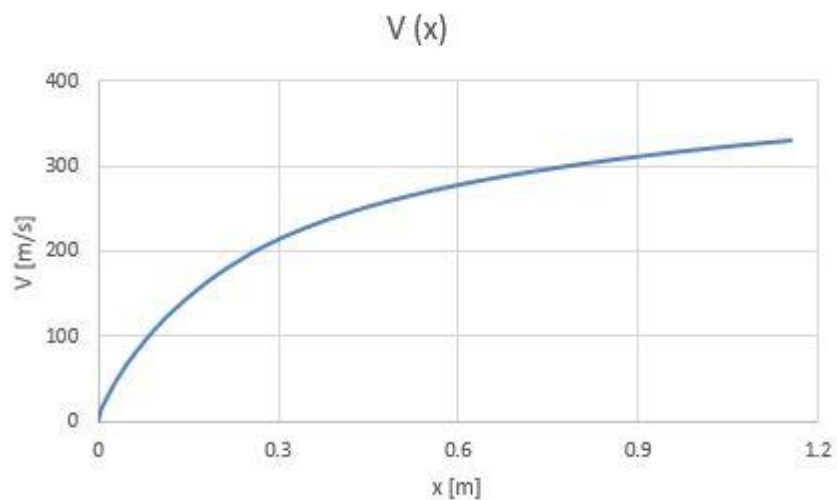
Слика 2.1. Промена брзине у једници времена

На слици 2.2. приказана зависност промене притиска барутних гасова у јединици времена.



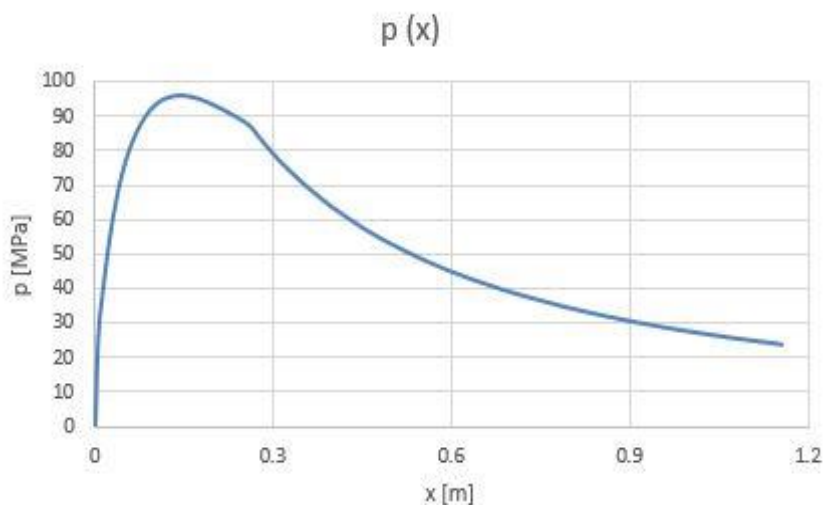
Слика 2.2. Промена притиска барутних гасова у јединици времена.

На слици 2.3. приказана је зависност промене брзине пројектила од пређеног пута.



Слика 2.3. Зависност промене брзине пројектила од пређеног пута.

На слици 2.4 приказана је зависност притиска барутних гасова у односу на пређени пут пројектила.



Слика 2.4. Зависност притиска барутних гасова у односу на пређени пут пројектила.

3. ПРОТИВТРЗАЈУЋИ УРЕЂАЈ (ПТУ)

Противтрзајући уређај оруђа (ПТУ) омогућује еластичну везу између цеви и лафета чиме смањује оптерећење лафета услед дејства опаљења. Рад ПТУ своди се на:

- апсорбовање неког дела енергије трзајућих делова при трзању и враћању,
- акумулирање дела енергије трзајућих делова за њихово враћање у почетни положај (извршење враћања) и
- држање трзајућих делова у почетном положају при свим угловима елевације цеви.

Противтрзајући уређај се састоји од следећих главних делова: хидрауличне кочнице трзања (ХК), хидрауличне кочнице враћања (модератора) и хидропнеуматског повратника (П). Сваки од ових делова може бити конструкцијски изведен посебно мада се у пракси најчешће среће случај када је кочница трзања и кочница враћања конструкцијски један уређај, а повратник посебан. За везу ПТУ са цеви највише се користи задњак цеви а за везу са лафетом користи се колевка. Веза се конструкцијски остварује преко клипа са клипњачом који се везује за склоп цеви или у другом случају за колевку [6].

Без обзира на врсту и тип конструкције, ПТУ мора да задовољи следеће опште захтеве:

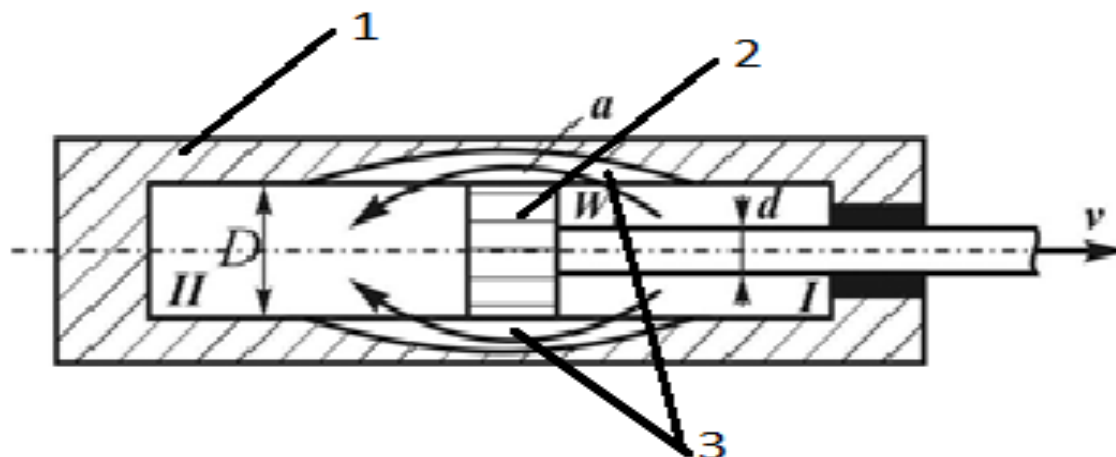
- апсорбовање кинетичке енергије трзајуће масе тј. кочење кретања цеви мора се извршити на задатој дужини трзања,
- при нормалним условима експлоатације ПТУ мора да функционише аутоматски, без застоја и удара,
- враћање цеви у почетни положај мора бити континуирано, мирно и да се обави за што краће време,
- силе отпора кочнице и повратника не смеју да ремете стабилност оруђа при опаљењу и при враћању цеви,
- конструкција ПТУ треба да буде што једноставнија за одржавање и експлоатацију у свим условима употребе оруђа,
- заптивни елементи кочнице и повратника морају да функционишу поуздано при различитим условима и режимима употребе и
- ПТУ мора да омогући једноставно извођење „вештачког трзања“ (трзања без опаљења) ради кондицирања уређаја, провере и контроле [6].

3.1. Карактеристике хидрауличне кочнице

Хидраулична кочница служи да апсорбује кинетичку енергију трзајуће масе на задатој дужини трзања, односно изврши кочење кретања цеви.

Енергија трзања троши се на савлађивање отпора хидрауличне течности у кочници и том приликом долази до загревања те течности. Тако се, у ствари, енергија трзања претвара у топлотну енергију која се на крају преко зидова уређаја предаје спољашњој средини.

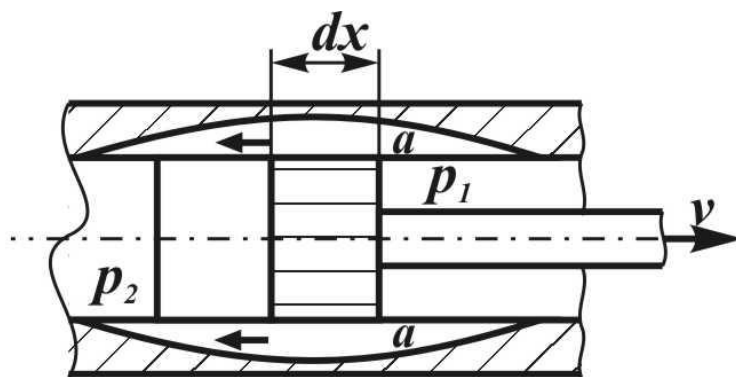
За потребе овог завршног рада коришћена је кочница трзања једноставне конструкције која је приказана на слици 3.1.



Слика 3.1. Приказ конструкције кочнице трзања једноставног типа [6].

Кочница се састоји од цилиндра 1, клипњаче са клипом 2 и проточних отвора 3. Цилиндар је напуњен са хидрауличном течношћу. Клип са клипњачом је везан за цев тј. за трзајућу масу. Приликом трзања долази до кретања клипа са клипњачом ка напред. При том кретању долази до повећања притиска у простору I цилиндра. Услед тога хидраулична течност почиње да прави отпор кретању клипа са клипњачом. Уједно почиње да пролази кроз проточне отворе у простор II. Пошто је површина проточних канала мала створиће се у простору I довољно велики притисак који ће правити отпор кретању клипа са клипњачом. Величина тог притиска, тј. његова зависност у односу на дужину трзања може се контролисати преко величине и облика проточних отвора [6].

Да би извели прорачунске формуле потребне за конструисање кочнице трзања користи се Бернулијева једначина и Закон о очувању масе и једнакости количине кретања. За временски интервал dt , клип ће остварити елементарни помак dx према слици 3.2.



Слика 3.2. Приказ јединичне дужине и притисака код кочнице једноставног типа [8].

Усвојене претпоставке за модел кочнице су:

- процеђивање течности из простора I у простор II је преко проточних отвора (a) у једном правцу;
- за време протицања нема противпритиска течности;
- канали за протицање су променљиве дубине на унутрашњој површини цилиндра;
- брзина струјања течности је једнака брзини трзања $W_1 \cong V$;
- притисак течности у простору II је $p_2 = 0$;
- клипача је везана за цев, а цилиндар је непомичан и везан за колевку.

Ознаке важнијих величина за дату шему хидрауличне кочнице су:

- $A_k = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ - радна површина клипа,
- $\alpha = \psi\varphi$ - коефицијент истицања течности (ψ - коефицијент трења, φ - коефицијент контракције млаза течности),
- p_1, p_2 - притисак течности у радном делу цилиндра и простору испред клипа,
- w_1, w_2 - средње брзине течности на улазу у регулирајући отвор a и на изласку из отвора,
- a_x - укупна површина попречног пресека канала (отвора) за протицање.

Елементарна запремина течности иза клипа (шрафирано) за време dt пребаци се у простор испред клипа, па је:

$$\alpha a w_2 dt = (A_k + a_x) dx, \quad (3.1)$$

одакле је:

$$w_2 = \frac{A_k + a_x}{\alpha a_x} \frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha} \frac{A_k + a_x}{a_x} v \quad (3.2)$$

За добро заобљене отворе за протицање течности може се узети $\mu \cong 1$. Елементарна маса у датој запремини процеђене течности је:

$$dm = \rho (A_k + a_x) dx \quad (3.3)$$

После изласка из отвора за протицање, кинетичка енергија елементарне масе течности је:

$$dE_k = \frac{dm W_2^2}{2} = \rho \left(\frac{A_k + a_x}{a_x} \right)^2 v^2 (A_k + a_x) dx \quad (3.4)$$

За стварање ове енергије утроши се први део рада силе кочнице $F_{k1} V dt$, па је:

$$F_{k1} v dt = p_1 (A_k + a_x) dx = dE_k \quad (3.5)$$

Други део рада силе кочнице $F_{k2} V dt$ утроши се на савладавање вискозних отпора течности и он је пропорционалан првом делу рада, тј. важи релација:

$$F_{k2} v dt = \xi F_{k1} v dt \quad (3.6)$$

где је ξ - коефицијент губитка енергије или коефицијент отпора хидрауличног система.

Према томе, укупан рад силе хидрауличне кочнице на путу трзања dx биће:

$$p_1 (A_k + a_x) dx = (1 + \xi) F_{k1} v dt \quad (3.7)$$

$$p_1 = \frac{k \rho}{2} \left(\frac{A_k + a_x}{a_x} \right)^2 v^2 \quad (3.8)$$

где су:

$k = (1 + \xi) / \alpha^2$ - коефицијент отпора протицању течности,

$k = (1.4 \div 1.6)$

ρ - густина хидрауличне течности.

Пошто је сила отпора трзању хидрауличне кочнице:

$$F_k = p_1 A_k$$

Коначно се добија:

$$F_k = \frac{k\rho}{2} A_k \left(\frac{A_k + a_x}{a_x} \right)^2 v^2 \quad (3.9)$$

Ако се узме да је, с обзиром на ред величина, $(A_k + a_x) \cong A_k$, онда предходна релација постаје:

$$F_k = \frac{k\rho}{2} \frac{A_k^3}{a_x^2} v^2 \quad (3.10)$$

За познату врсту хидрауличне течности ρ , површину клипа A_k , закон промене F_k и брзине трзања v , површина проточног отвора према предходној износи:

$$a_x = \sqrt{\frac{k\rho}{2} A_k^3 \left(\frac{v^2}{F_k} \right)} \quad (3.11)$$

3.2 Повратници

Основна намена повратника је враћање трзајућих делова оруђа, после опаљења, у почетни положај и њихово држање у предњем положају при свим угловима елевације цеви. При трзању повратник учествује у кочењу кретања трзајућих делова тако што акумулира део њихове кинетичке енергије у облику потенцијелне енергије еластичног средства повратника, опруге или гаса. Акумулирана потенцијална енергија повратника омогућује враћање делова у предњи положај. Трзајући делови тј. цев се држи у предњем положају при свим угловима елевације и при убрзањима која се јављају при кретању оруђа, почетном силом која је остварена у повратнику [8].

Повратници могу бити: опружни, хидропнеуматски, пнеуматски, а конструкционо и функционално везани са хидрауличном кочницом. У овом раду усвојен је опружни тип повратника. Опруге које се примењују код опружних повратника су завојне – цилиндричне, а израђене су од високо квалитетног челика. Опружни повратник може бити са обичним и телескопским распоредом опруга. Опруга може бити израђена из једне или више секција, краћих опруга. Секције имају наизменично различит смер увијања завојака - десни па леви. На овај начин се смањује извијање опруге и опруга потпуније належе на ослоне површине. Свака од ових опруга има 10 до 20 радних завојака. Између крајева опруга постављају се прстенасте плоче, које служе као вођица опруге по клипњачи [8].

Једна од основних карактеристика повратника (слика 3.3.) је почетна сила повратника F_{p0} (којом повратник делује на трзајуће делове у предњем положају), која мора задовољавати услов:

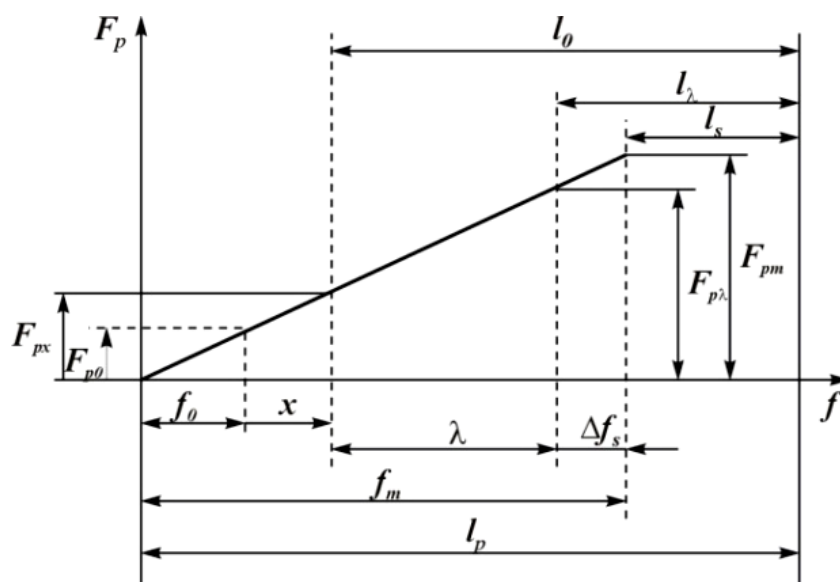
$$F_{p0} \geq M_t g \left(\sin \phi_m + f \cos \phi_m + \nu + \frac{F_0}{M_{tg}} \right) \quad (3.12)$$

Ако се усвоји да је:

$$\beta_1 = \sin \phi_{\max} + f \cos \phi_{\max} + \nu + F_0 / M_t g , \quad (3.13)$$

онда је:

$$F_{p0} \geq M_t g \left(\sin \phi_m + f \cos \phi_m + \nu + \frac{F_0}{M_{tg}} \right) . \quad (3.14)$$



Слика 3.3. Дијаграм карактеристика опружног повратника [8].

Ознаке датих величина на слици 3.3 су:

f_0 - монтажни угиб (преднапон) опруге,

f_m - максимални могући угиб опруге,

X, λ – пут и дужина трзања,

l_p - слободна дужина опруге,

l_0 - монтажна дужина,

l_λ - дужина опруге на крају трзања,

l_s - дужина опруге у потпуно сабијеном стању,

F_{px} - тренутна вредност силе повратника,

F_{pm} - максимална сила у опрузи,

$l_{\lambda} \geq l_s + \Delta f_s$ (због сигурности функције повратника),

Δf_s - резерва угиба опруге (до наседања навојака на навојак).

Тренутна вредност силе у повратнику је:

$$F_p = F_{p0} + CX \quad (3.14)$$

Крутост опруге је константна и износи:

$$C = \frac{F_{p\lambda} - F_{p0}}{\lambda} \quad (3.15)$$

Највећа могућа сила у повратнику (при $X = \lambda + \Delta f_s$), меродавна за проверу отпорности опруге је:

$$F_{pm} = F_{p0} + C(\lambda + \Delta f_s) \quad (3.16)$$

Резерва угиба опруге је:

$$\Delta f_s = 0,1 d_z (n_r - 1) \quad (3.17)$$

где су:

d_z - пречник жице опруге (или дужина странице правоугаоника за правоугаони попречни пресек жице),

n_r - број радних навојака опруге.

3.3 Прорачун ПТУ у програмском пакету MATLAB

Кочница једноставне конструкције узета је као модел који ће бити једноставан и у исто време поуздан, изабран је програмски пакет MATLAB као погодан за нумеричко решавање једначина [8].

За израчунавање силе отпора трзању потребно је знати величину и начин промене силе притиска у времену. Као што се могло видети УБ прорачун је извршен у претходном поглављу (поглавље 2., прилог 1). Прорачун ПТУ је дат у прилогу 2 [8].

За израчунавање силе притиска барутних гасова користи се метода Серебрјакова за минобацаче, која је убачена у програмски пакет MATLAB. Коришћене формуле и метода прорачуна налази се у прилогу 2.

Следећа ставка јесте прорачунавање вредности за случај слободног трзања, тј. трзања при коме нема силе отпора трзању, да би се касније те вредности

искористиле за прорачун потребне силе отпора. Прорачуни су рађени по литератури [7]. Величине које су коришћене:

- маса пројектила	m
- маса барутног пуњења	μ
- максимални притисак барутних гасова	p_m
- почетна брзина пројектила	v_0
- маса и сила тежине	M_t, Q_t
- маса и сила тежине оруђа у почетном положају	M_0, Q_0
- дужина водишта цеви	ℓ_u
- притисак на устима цеви	p_u
- коефицијент трења по клизачима колевке	μ_1
- површина попречног пресека дна цеви	S
- коефицијент накнадног дејства барутних гасова	$\beta = \frac{1300}{V_0}$
- сила притиска барутних гасова у тренутку $t = t_u$	$P_{knu} = p_u \cdot S$

Коришћени су следећи изрази:

- за брзину трзања на крају првог периода трзања (када је пројектил на устима цеви):

$$W_u = \frac{m + 0,5\mu}{M_t + m + \mu} V_0 \quad (3.18)$$

- за дужину трзања на крају првог периода трзања

$$L_u = \frac{m + 0,5\mu}{M_t + m + \mu} \ell_u \quad (3.19)$$

- за брзину слободног трзања на крају другог периода (када престане накнадно дејство барутних гасова)

$$W_\tau = W_u + \frac{\chi b \cdot P_{knu}}{M_t} \quad (3.20)$$

а како је коефицијент дејства гасне кочнице χ једнак нули, добија се $W_\tau = W_u$.

- за дужину слободног трзања на крају другог периода

$$L_\tau = L_u + W_u \cdot \tau + \frac{\chi \cdot b}{M_t} \cdot P_{knu} (\tau - b) \Rightarrow L_\tau = L_u + W_u \cdot \tau \quad (3.21)$$

Прорачун коченог трзања се састоји из три периода:

- први период у коме се сила отпора повећава до неке максималне вредности,
- други период у коме сила отпора има константну максималну вредност и
- трећи период у коме сила отпора лагано опада.

У делу програма који одређује параметре слободног трзања одређена је и максимална сила отпора трзању. То је урађено преко једначине одржања импулса по којој је импулс силе притиска барутних гасова једнак збиру импулса силе отпора и импулсу кретања трзајуће масе:

$$I_{Rm} = It(P) - Mt \cdot V_m \quad (3.22)$$

Према томе, максимална вредност силе отпора је:

$$R_m = 2 \cdot I_{Rm} / t - 2 \cdot R_0 \quad (3.23)$$

Интеграцијом диференцијалне једначине кретања трзајућих делова:

$$m_t \frac{dV}{dt} = P_{kn}(t) - R(t) \quad (3.24)$$

Уз одговарајуће граничне услове добијају се једначине за прорачун елемената кретања у првом и другом периоду.

За први период :

- брзина трзања:

$$V = W - \frac{1}{m_t} \int_0^t R(t) dt \quad (3.25)$$

- дужина трзања:

$$X = L - \frac{1}{m_t} \int_0^t \int_0^t R(t) dt dt \quad (3.26)$$

За други период:

- брзина трзања:

$$V = W - (W_u - V_u) - \frac{1}{m_t} \int_0^t R(t) dt \quad (3.27)$$

- дужина трзања:

$$X = L - (L_u - X_u) - (W_u - V_u)t - \frac{1}{m_t} \int_0^t \int_0^t R(t) dt dt \quad (3.28)$$

За трећи период:

- сила трзања у зависности од дужине трзања:

$$R(x) = R_\lambda + \frac{R_m - R_\lambda}{\lambda - x_\tau} \cdot (\lambda - x_\tau) \quad (3.29)$$

- брзина трзања:

$$V_\tau = \sqrt{\frac{1}{m_t} \cdot (R_m + R_\lambda) \cdot (\lambda - x)} \quad (3.30)$$

- средње успорење услед отпора трзању:

$$a_{sr} = \frac{R_m + R_\lambda}{2 \cdot m_t} \quad (3.31)$$

- време трајања трећег периода коченог трзања:

$$t = \frac{V_\tau - V}{a_{sr}} \quad (3.32)$$

У прорачуну повратника користе се следеће величине:

$F_{p0}, F_p, F_{p\lambda}$ – почетна, тренутна и крајња сила повратника,

$sk = F_{p\lambda} / F_{p0}$ – степен компресије повратника,

C – коефицијент крутости опруге,

f_0, f_m – почетни и највећи угиб опруге,

l_p – слободна дужина опруге,

l_s – дужина опруге у потпуно сабијеном стању,

Повратник је опружног типа. Без обзира на тип повратника он мора имати почетну вредност силе да би држао све елементе трзајуће масе у предњем положају при свим уговима елевације.

Вредност почетне силе мора бити већа од:

$$F_{p0} \geq M_t g (\sin \phi_m + f \cos \phi_m + \nu) \quad (3.33)$$

Усвојено је да је:

$$\beta_1 = \sin \phi_{\max} + f \cos \phi_{\max} + \nu \quad (3.34)$$

По препорукама из литературе [4] β_1 узима вредност за:

$$\begin{aligned} \varphi_{\max} &= (0,34 \div 0,5) \text{ rad} & \beta_1 &= 0,9 \div 1,1 \\ \varphi_{\max} &= (0,5 \div 0,785) \text{ rad} & \beta_1 &= 1,1 \div 1,4 \\ \varphi_{\max} &> 0,785 \text{ rad} & \beta_1 &= 1,5 \div 2,0 \end{aligned}$$

Па је за конкретан случај изабрана вредност од $\beta_1 = 1.8$ због угла елевације од 85° на основу усвојених препорука се добија вредност F_{p0} . Након тога рачуна се максимална сила трења која је највећа при максималном углу елевације и она је једнака:

$$E_{tr} = \nu \cdot m_t \cdot g \cdot \sin(E_{\max}) \quad (3.35)$$

где је ν - коефицијент трења за који је усвојена вредност 0,2.

Највећа вредност силе повратника се може рачунати по изразу

$$F_{p\lambda} = s_k \cdot F_{p0} \quad (3.36)$$

где је s_k -коефицијент компресије повратника од чије вредности зависи брзина враћања трзајуће масе у предњи положај па се према литератури [4] његова препоручена вредност налази у границама од 1,7 до 2,3, а изабрана је вредност $s_k=4$.

Крутост опруге се рачуна као:

$$C = \frac{F_{p\lambda} - F_{p0}}{\lambda} \quad (3.37)$$

и онда је позната вредност силе повратника у сваком тренутку преко једначине:

$$F_p = F_{p0} + CX \quad (3.38)$$

Остаје још да се одреде величине проточних отвора како би били познати сви параметри ПТУ-а .

Како је сила отпора трзању једнака:

$$R(t) = F_k + F_p + F_{tr} - Q_t \sin \varphi \quad (3.39)$$

добија се да је сила кочнице:

$$F_k(x) = R(t) - F_p(t) - F_{tr} + Q_t \sin \varphi \quad (3.40)$$

Израз за прорачун величине проточних отвора је:

$$a_x = \sqrt{\frac{k\rho}{2} A_k^3 \left(\frac{v^2}{F_k} \right)} \quad (3.41)$$

где су:

k - коефицијент отпора протицању течности који се креће од $k = (1.4 \div 1.6)$, а усвојена је вредност $k = 1.4$,

ρ - густина течности, која је за HUNT-S уље 900 kg/m^3 и

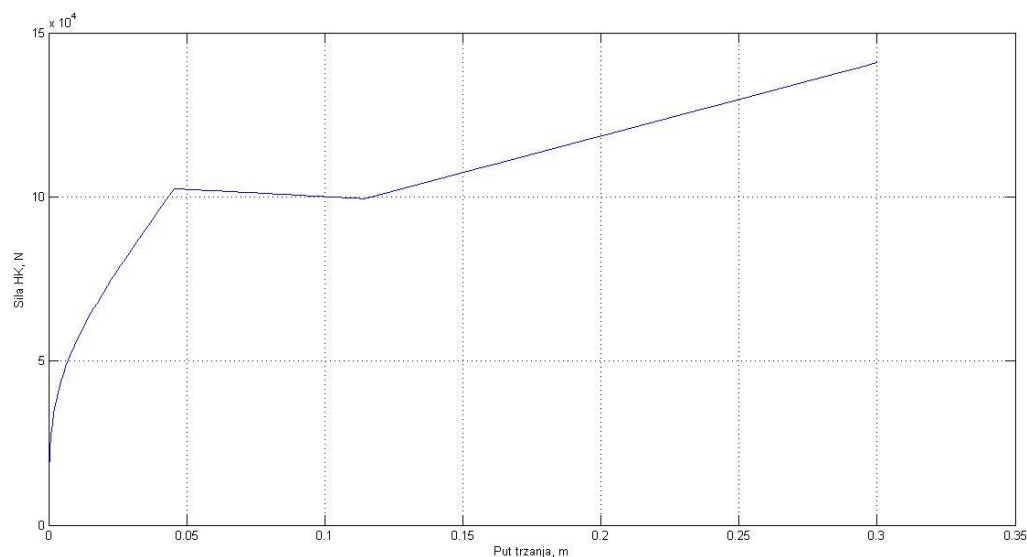
A_k - активна површина клипа (површина на коју делује сила) .

3.4 Анализа података добијених прорачуном у програмском пакету MATLAB

У првом делу извршен је прорачун параметара слободног трзања. Том приликом добијене су вредности брзине трзања 74 m/s и дужине трзања $0,46 \text{ m}$, које су превелике и не могу послужити даљем прорачуну коченог трзања. Ово је донекле и очекивано због веома мале трзајуће масе од 66 kg , која је око 5 пута већа од масе пројектила (12 kg), који напушта уста цеви, брзином од 330 m/s [8]. У складу с тим, повећана је трзајућа маса на 250 kg и тиме су вредности предходних параметара доведене до прихватљивих вредности 15 m/s брзине трзања и дужине трзања од $0,30 \text{ m}$.

Прорачун ПТУ се састоји из кочнице трзања (за коју је изабрана кочница једноставног типа) и повратника који би био опружног типа. Ове конструкције су релативно једноставне, поуздане и јефтине, што су битне карактеристике сваког новог уређаја.

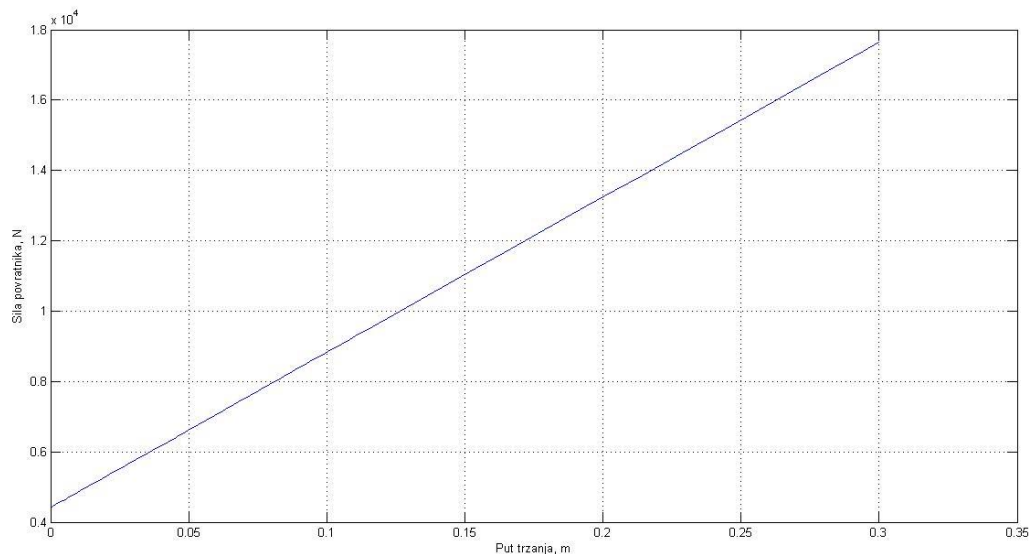
Сила отпора коју ствара кочница добијена овим прорачуном у првом периоду трзања расте да би на крају првог периода њена вредност почела постепено да опада до краја другог периода, а када престане дејство барутних гасова и почне трећи период трзања сила линеарно расте. Тиме се обезбеђује правилно кретање трзајуће масе и њених делова током опаљења. Слика 3.4 показује промену силе кочнице трзања у зависности од пута трзања.



Слика 3.4. Зависност силе хидрауличне кочнице од пута трзања, за угао елевације 85° .

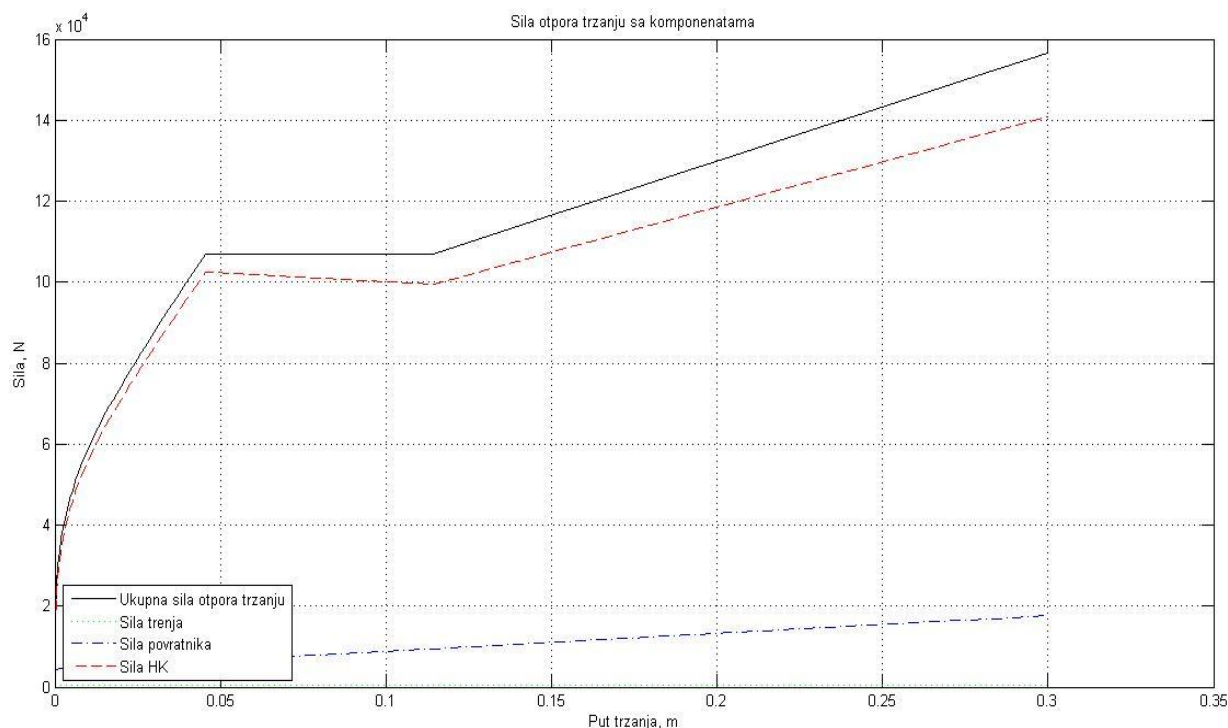
Са слике 3.4. може се видети да максималну вредност сила хидрауличне кочнице остварује на крају трзања и износи $F_{kt}=137,5 \text{ kN}$.

Као што је наглашено да је повратник опружног типа, то значи да је промена еластичне силе линеарна и пропорционална дужини трзања. Опруга повратника је морала да има неки дати преднапон, да би могла држати трзајућу масу у предњем положају при свим угловима елевације. Сила коју ствара преднапрегнута опруга за угао елевације 85° је $R_0=2590 \text{ N}$, док је сила код угла од 45° $R_0=2454 \text{ N}$. Промена силе са променом пута трзања дата је на слици 3.5.



Слика 3.5. Зависност силе повратника од пута трзања, за угао елевације 85°

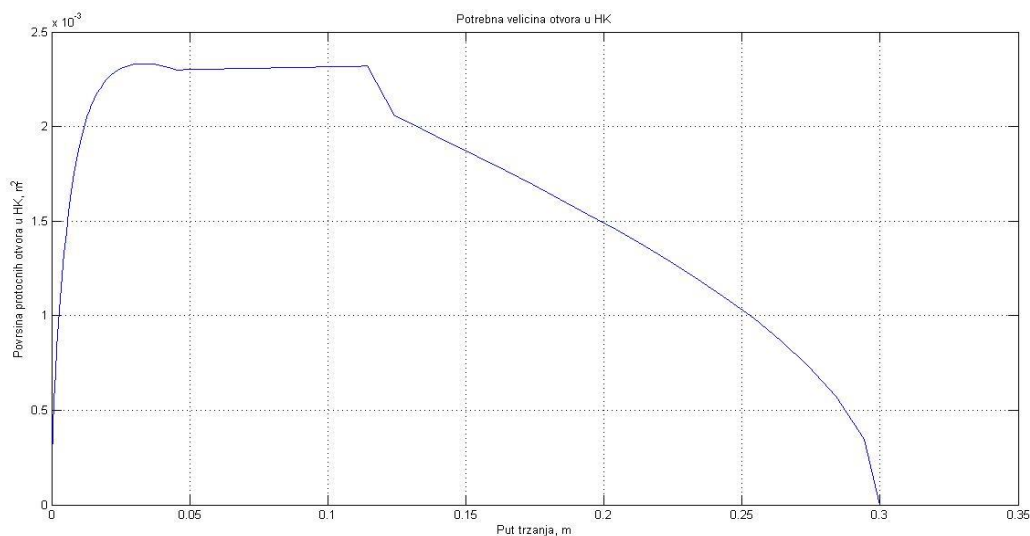
На слици 3.6. приказана је зависност укупне силе отпора трзању, силе хидрауличне кочнице, силе повратника и силе трења у односу на пут трзања.



Слика 3.6. Зависност сила отпора трзању са компонентама од пута трзања, за угао елевације 85°.

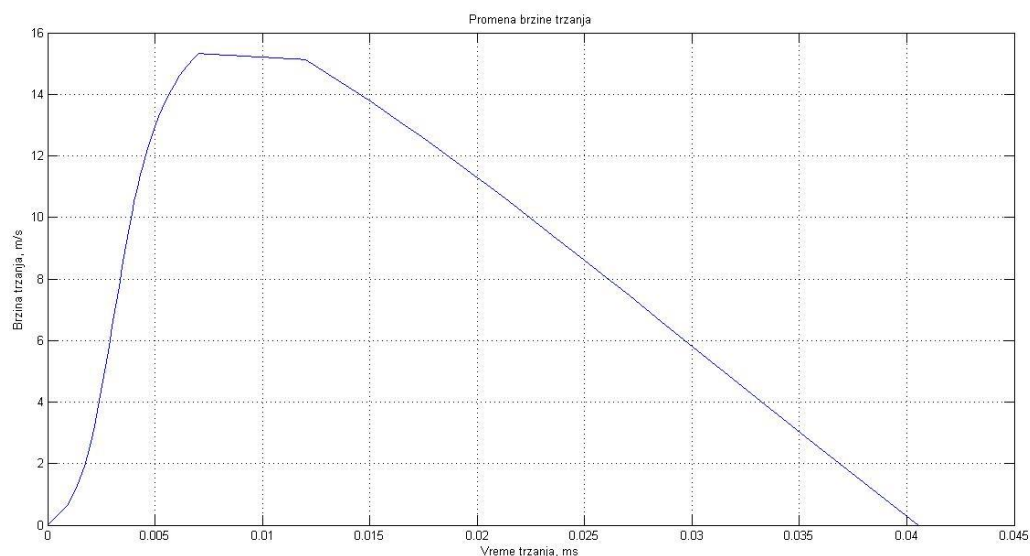
Са слике 3.6. може се видети да укупна сила отпора трзању линеарно расте у првом периоду трзања до вредности $R=109\text{ kN}$, која одговара путу трзања од $0,04\text{ m}$, затим има константу вредност у току другог периода, а у трећем периоду линеарно се повећава и достиже максималну вредност на крају трзања $R_{\text{max}}=153\text{ kN}$.

Циљ прорачуна је био одређивање, односно добијање вредности проточних отвора унутар кочнице трзања, да би се ти подаци искористили за израду ове кочнице. Због великог притиска отвори би били највећи на самом почетку, са слике 3.7. се може видети константно повећање, до приближно $2,3 \times 10^{-3}\text{ m}$, што одговара вредности $0,035\text{ m}$ пута трзања, а затим се може видети да након другог периода трзања та вредност опада до 0.



Слика 3.7. Зависност површине проточних отвора од пута трзања, за угао елевације 85°

На слици 3.8. приказана је зависност брзине трзања од пута трзања.

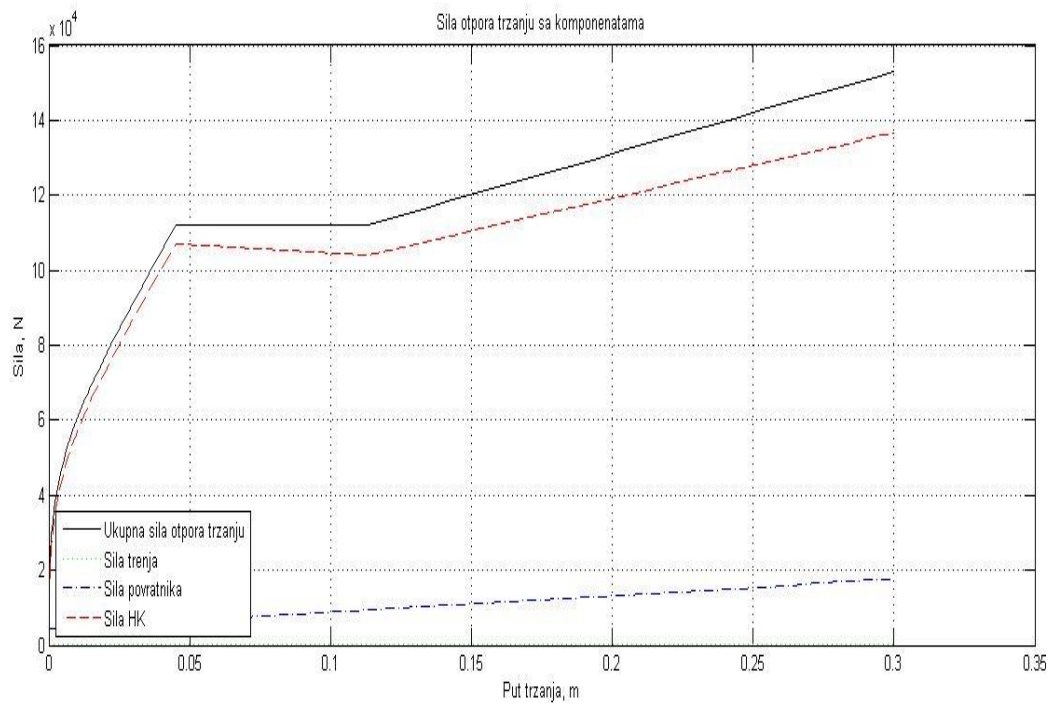


Слика 3.8. Промена брзине трзања у односу на време трзања.

Са слике 3.8. може се видети да брзина трзања расте током целог првог периода трзања и достиже максималну вредност од 15 m/s . У другом периоду може се видети благи пад брзине, да би на почетку трећег периода па све до краја трзања добијен линеарни пад до 0.

Претходни графици као што је наглашено у називу слика односе се на максимални угао елевације (85°), а слика 3.9. се односи на минимални угао елевације (45°).

На слици 3.9. приказана је зависност укупне силе отпора трзању, силе хидрауличне кочнице, силе повратника и силе трења у односу на пут трзања, за угао елевације 45° .



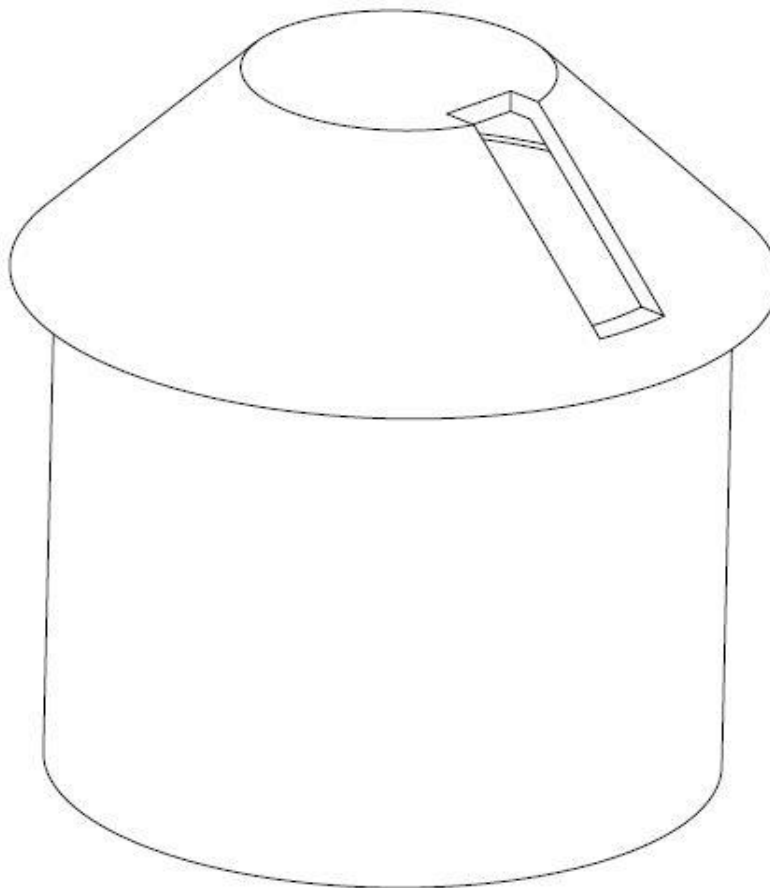
Слика 3.9. Зависност сила отпора трзању са компонентама од пута трзања, за угао елевације 45° .

Са слике 3.9. може се видети да нема великих разлика у односу на слику 3.6. која се односи на максимални угао елевације.

4. ПРЕДЛОГ КОНСТРУКЦИЈСКОГ РЕШЕЊА

Борбена возила су веома често опремљена куполама. Куполе представљају носач (горњи лафет) основног наоружања. То је, по правилу, присутно код тенкова, борбених возила пешадије и самоходних артиљеријских оруђа, док је могуће и код лансирних оруђа и других борбених система. Купола се на оклопно тело ослања преко специјалног ослонца у виду котрљајног лежаја који омогућава њену ротацију за 360° , уз поуздан пренос свих оптерећења која се јављају током дејства система и током вожње. Поред лежаја, важне компоненте ослањања куполе су и механизми за њено блокирање, као и механизам за обртање.

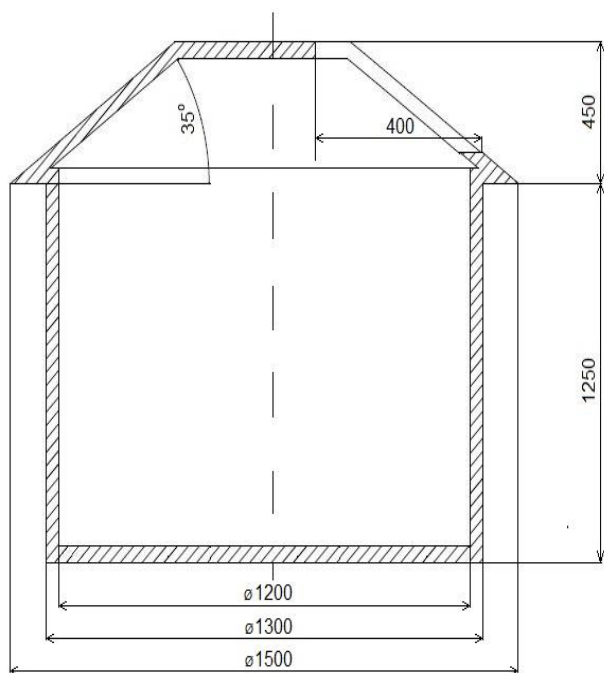
Једна од најбитнијих ставки јесте прорачун лежаја куполе, прорачуном лежаја куполе неопходно је одредити напрезање котрљајних стаза и куглица на површински притисак, као и чврстоћу ослонца куполе. Прорачун је дат у поглављу 5.



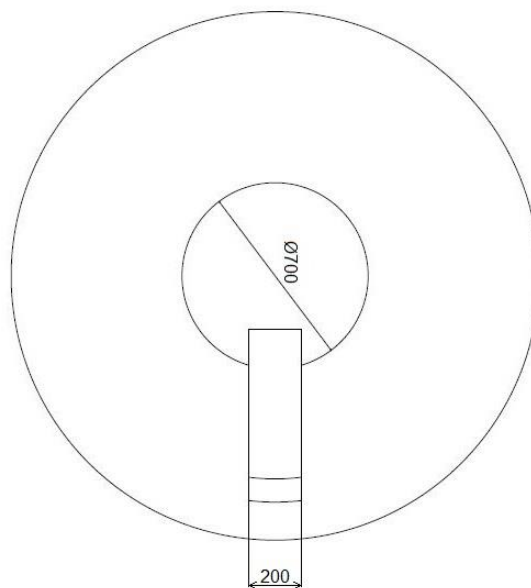
Слика 4.1. Изометријски приказ упрошћеног модела куполе

На слици 4.1. је изометријски приказ упрошћеног модела куполе, који је коришћен у програму FEMAP, ради лакшег одређивања оптерећења куполе и лежаја при опаљењу.

На слици 4.2. приказан је бочни поглед упрошћеног модела куполе у пресеку, а на слици 4.3. поглед одозго.

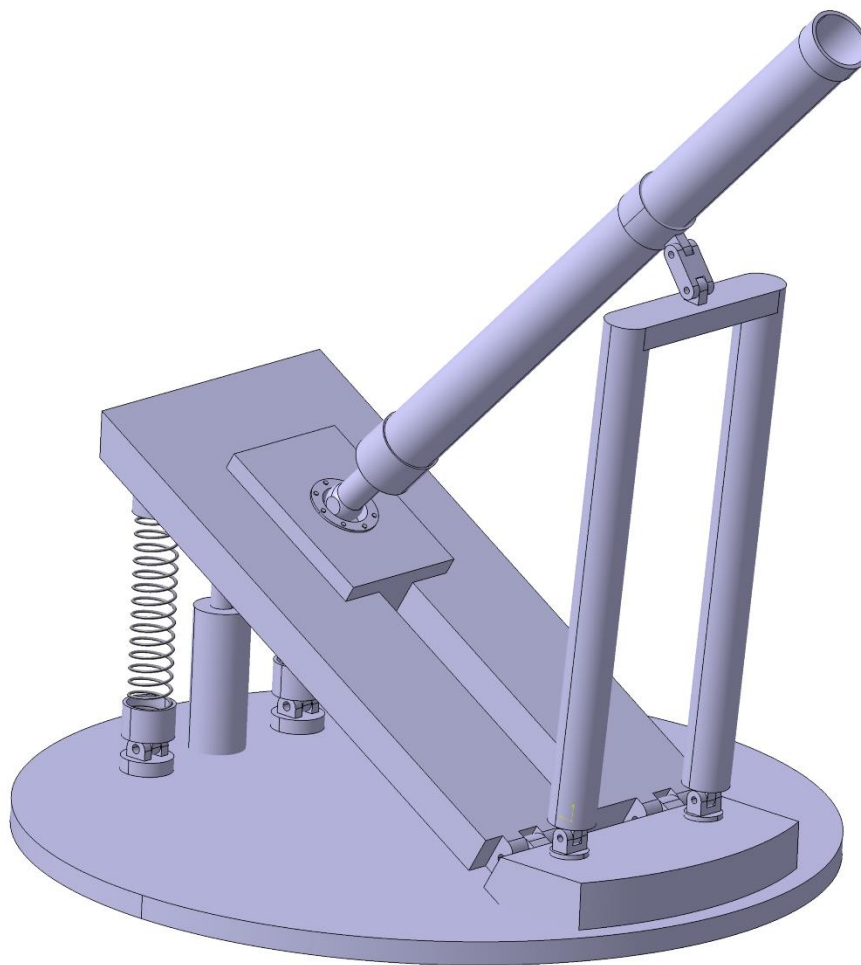


Слика 4.2. Бочни поглед куполе у пресеку.



Слика 4.3. Поглед куполе одозго.

На слици 4.4. приказан је CAD минобацач са ослањањем на подлогу.

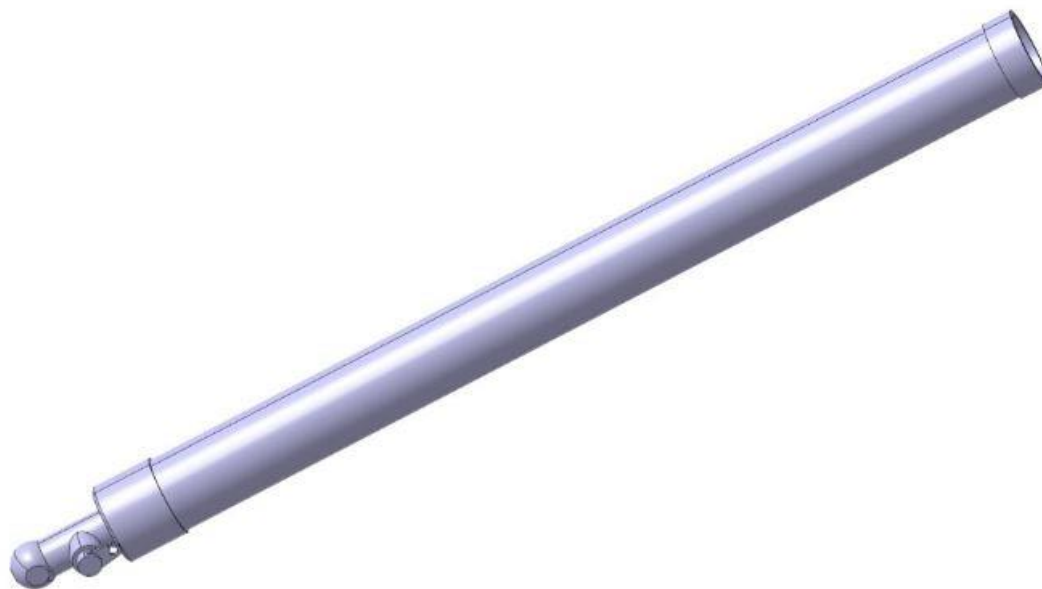


Слика 4.4. CAD модел склопа минобацача 120 mm M75 угао елевације 45°, измоделиран у програму CATIA P3 V5R21.

Склоп минобацача састоји се од:

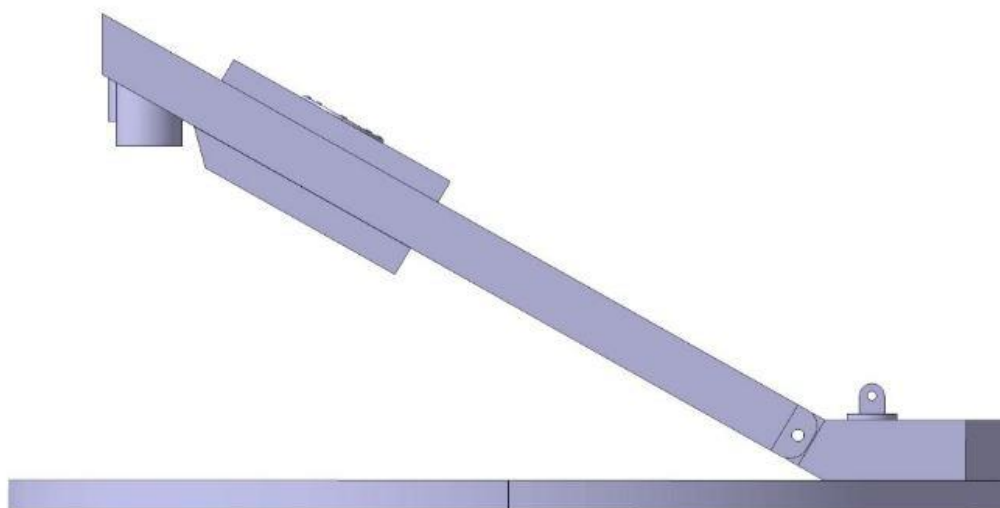
- цеви минобацача,
- копча која је веза између двоношца и цеви, преко зглобне везе,
- двоножац,
- постоље двоношца који је зглобно везан са двоношцем и шином,
- постоље минобацача,
- шина,
- две опруге (повратници) и
- хидраулична кочница.

На слици 4.5. приказан је CAD модел цеви минобацача 120 mm M75.

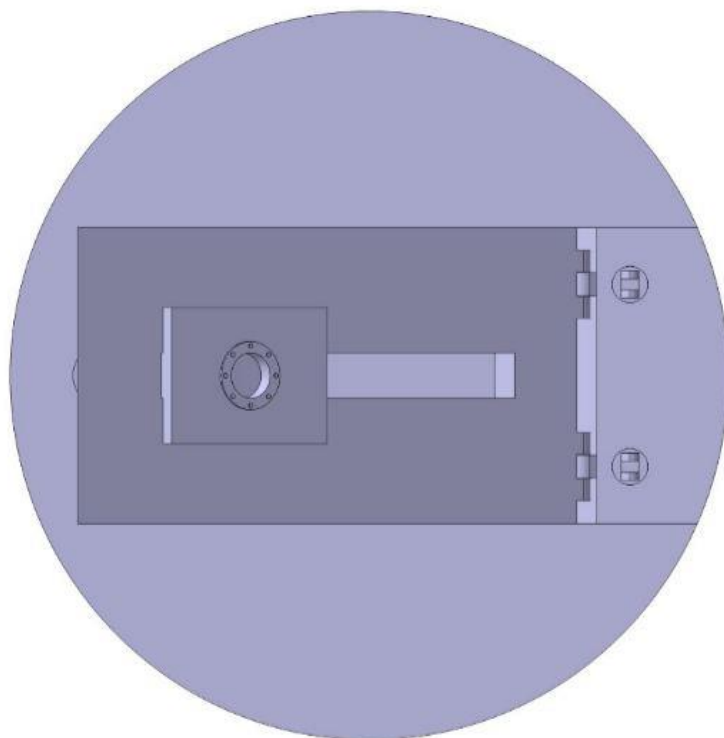


Слика 4.5. CAD модел цеви минобацача 120 mm M75.

На слици 4.6. и 4.7. приказан је CAD модел шине која је зглобно везана са постољем двоношца, а постољем минобацача је ластиним репом везано са шином.

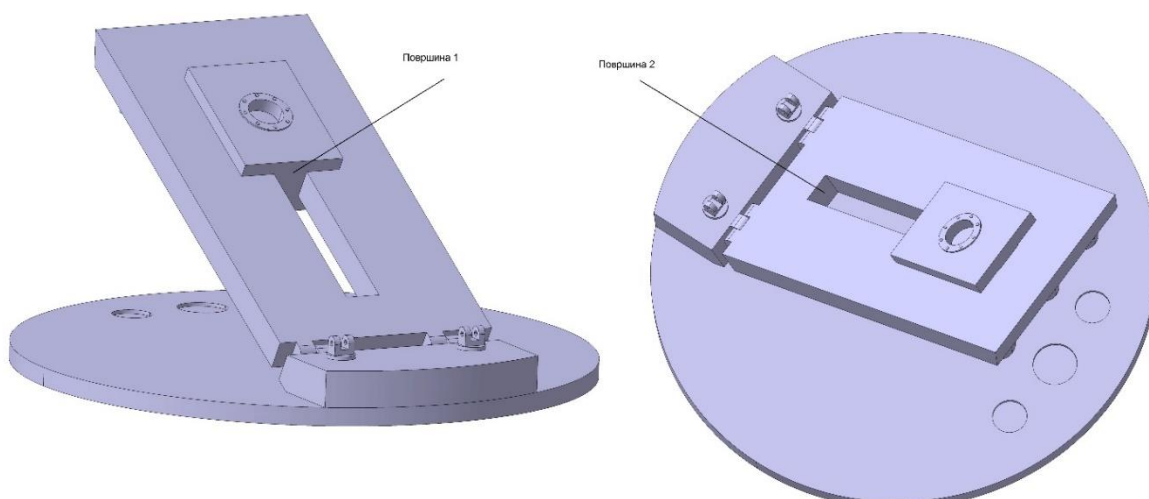


Слика 4.6. CAD модел везе шине са постољем минобацача и постољем двоношца, бочни поглед.



Слика 4.7. CAD модел везе шине са постољем минобадача и постољем двоношца, поглед одозго.

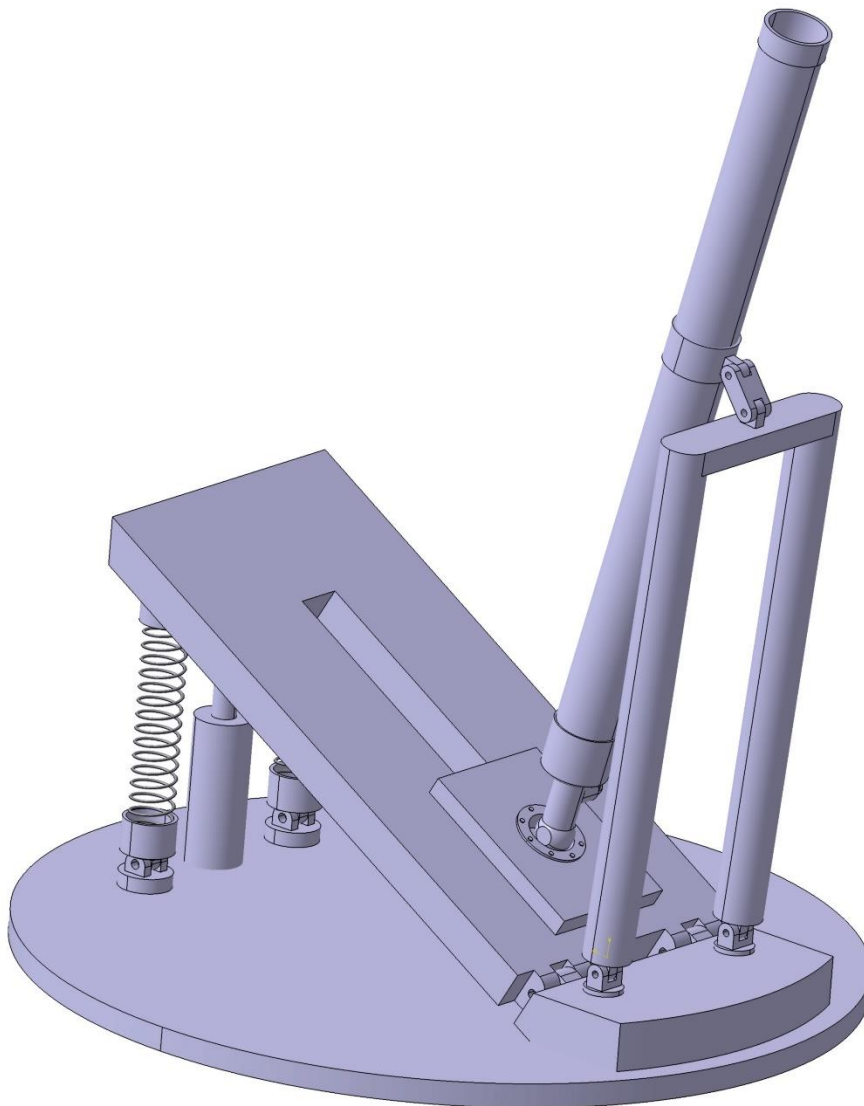
На слици 4.8. приказане су површи на основу којих се одређује угао елевације.



Слика 4.8. Одређивање угла елевације на основу растојања означених површина.

Када је положај површине 1 у односу на површину 2 као на слици, тада минобацач захвата угао елевације од 45° , односно растојање између две површине је 506 mm. Када се растојање смањи на 6 mm тада се оставрује угао елевације од 85° , ако се узме у обзир да је аутоматизовано кретање постоља по шини добија се да је за повећање угла од 1° потребно померање од 12,5 mm.

На слици 4.9. је приказан склоп минобацача са углом елевације од 85° .



Слика 4.9. CAD модел минобацача 120 mm M75, угао елевације 85° .

Као повратник су узете две опруге добијене прорачуном у програму AUTODESK INVENTOR, за прорачун су изабране притисне опруге, прорачун се врши по DIN стандарду за притисне опруге, као улазни подаци узети су:

- дужина опруге у монтажном стању (620 mm)
- дужина опруге у сабијеном стању (320 mm)
- средњи пречник опуге (86,5 mm)
- крутост (2210 N/m)

Крутост је добијена из прилога 2 и износи 4420 N/m, међутим, пошто је узета паралелна веза опруга, односно, две опруге. Крутост сваке износи 2210 N/m.

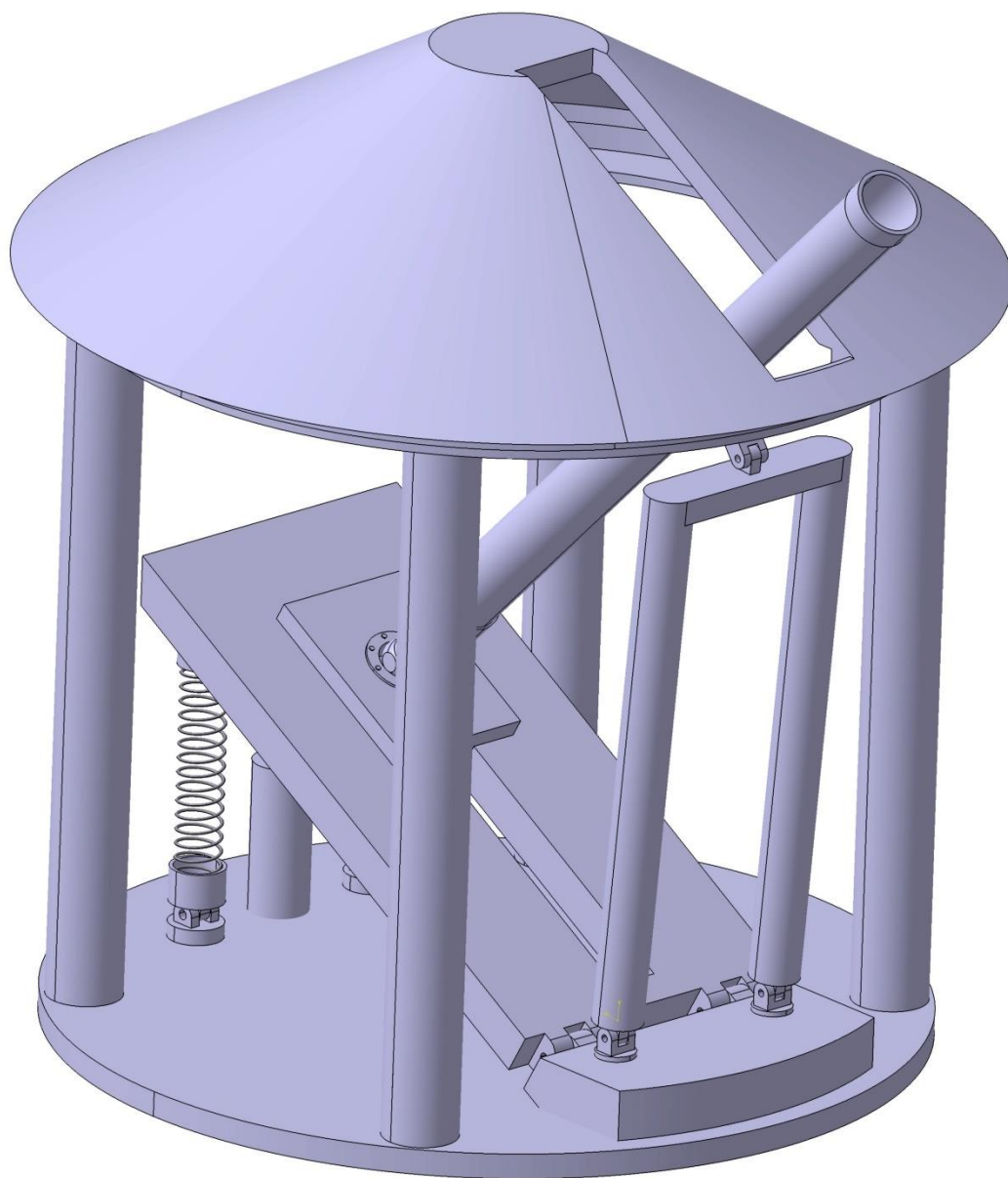
Опруга (модел) добијена прорачуном, сачувана је као STP фаил, а затим увезена у програм CATIA.

На слици 4.10. приказана је притисна опруга.

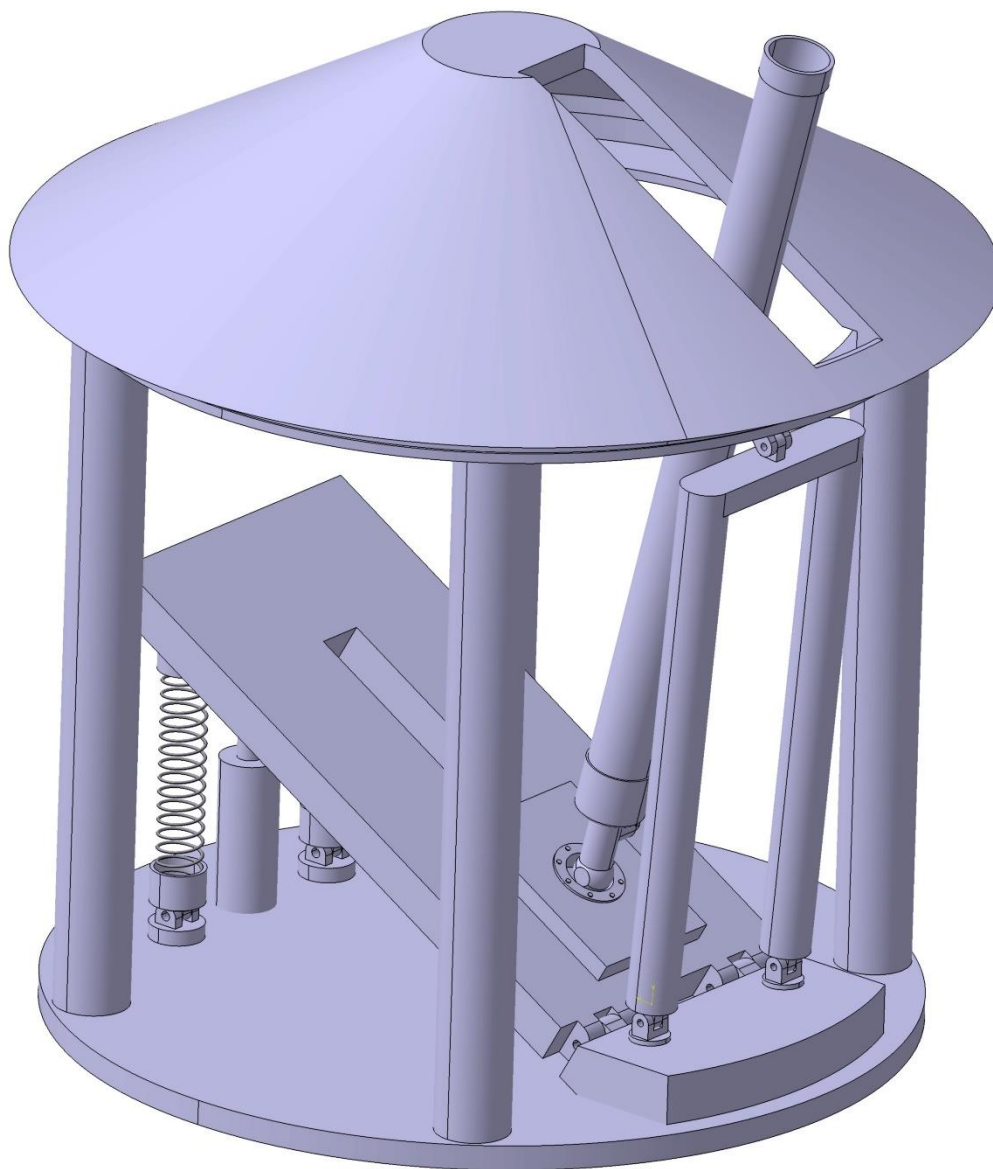


Слика 4.10. CAD модел опруге.

На сликама 4.11. и 4.12. приказани су CAD модели склопа минобацача са стварним изгледом модела куполе, која се уграђује на БВП, за минимални (45°) и максимални угао елевације (85°).

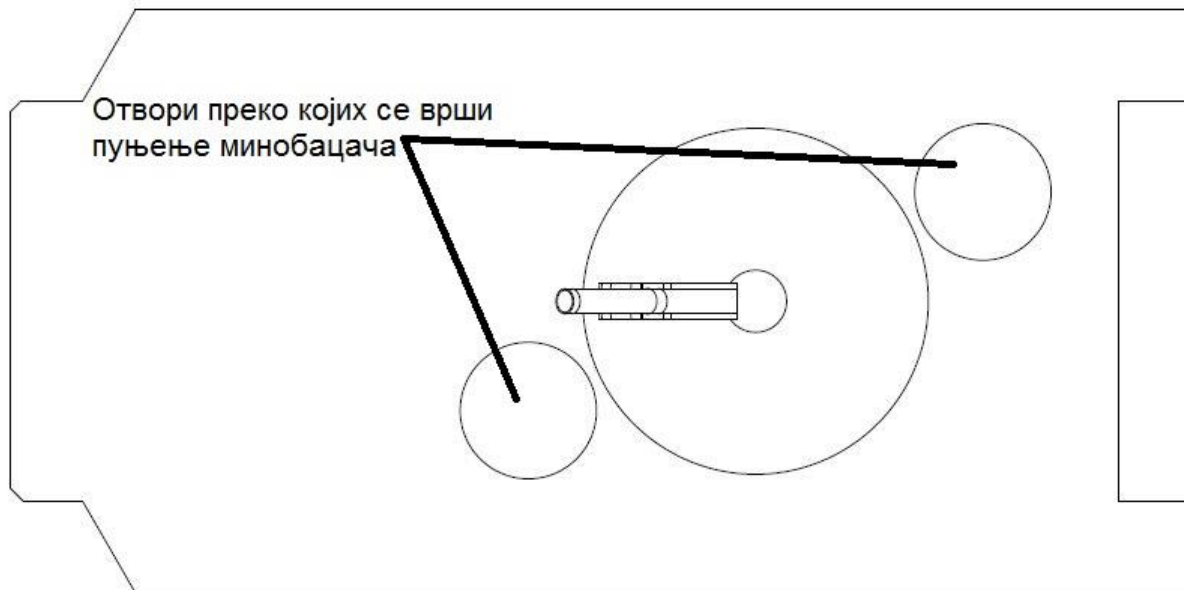


Слика 4.11. CAD модел склопа минобацача са куполом, угао елевације 45° .



Слика 4.12. CAD модел склопа минобацача са куполом, угао елевације 85°.

На слици 4.13. приказан је упрошћен модел борбеног возила пешадије M80-A са погледом одозго.



Слика 4.13. Борбено возило пешадије M80-A, поглед одозго.

На слици 4.13. назначена су места, са којих се врши пуњење минобацача. За пуњење су изабрана ово места, зато што су најједноставнија за приступ пуњењу. Пуњење се врши са уста цеви. Отвори из којих се врши пуњење заштићени су челичним поклопцима. Одабир са ког отвора ће се извршити пуњење, врши се на основу положаја цеви у том тренутку (који отвор је ближи). Пуњење се врши тако што члан посаде (пунилац) излази кроз један од отвора (након подизања поклопца) и у кратком временском периоду изврши спуштање мине низ цев оруђа. Опаљење се врши тако што мина својом тежином активира ударну иглу (која се налази на дну цеви) и долази до опаљења.

Растојање врха цеви, при углу елевације од 45° , у односу на хоризонталну раван на којој се налази отвор износи 450 mm. Ово растојање за угао од 85° износи 600 mm.

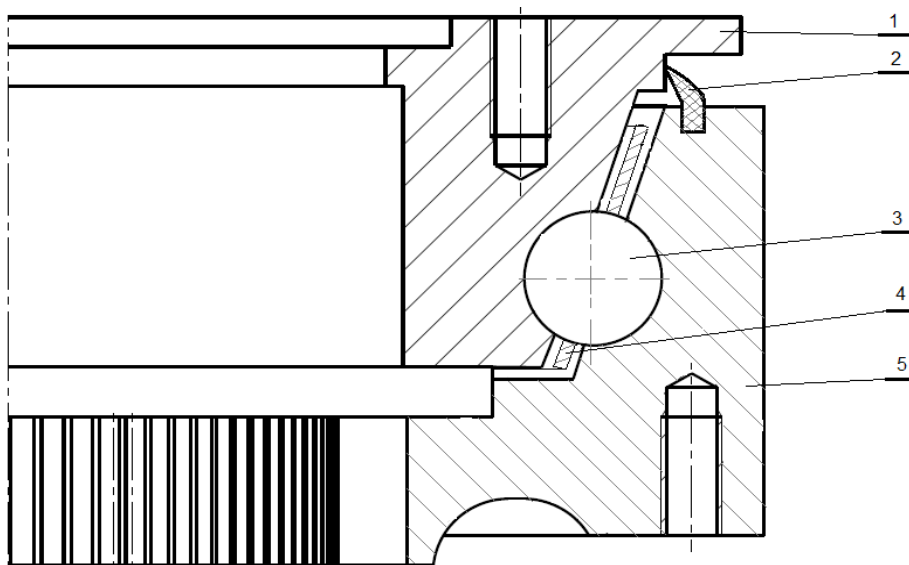
5. ПРОРАЧУН ОПТЕРЕЋЕЊА ЛЕЖАЈА КУПОЛЕ

Купола служи за смештај и заштиту наоружања, уређаја за опслуживање и руковање наоружањем и за заштиту нишанције.

На БВП-у се, тренутно, налазе митраљез и остали уређаји. Међутим, у овом раду се у обзир узима утицај минобацача 120 mm M75, односно, како његова сила отпора трзању делује на лежај куполе.

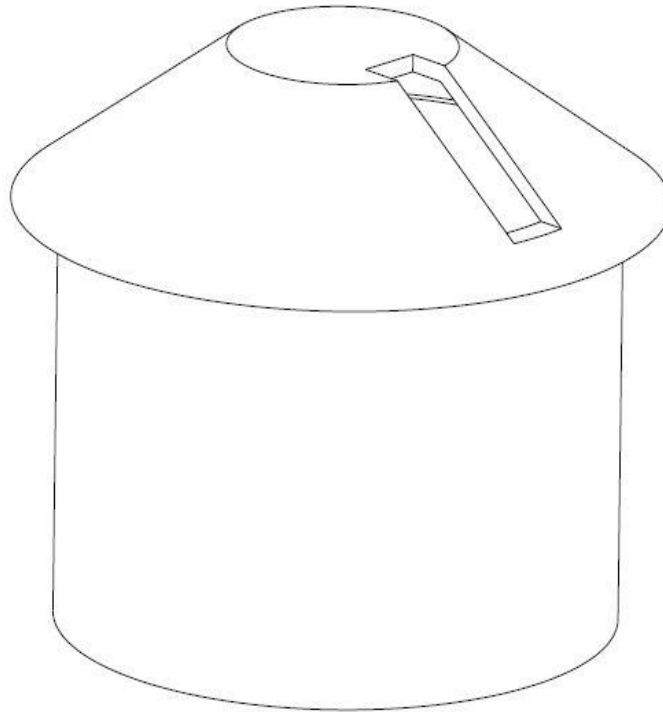
Купола представља носач (горњи лафет) основног наоружања и она се на оклопно тело ослања преко специјалног ослонаца у виду котрљајног лежаја који омогућава њену ротацију за 360° , уз поуздан пренос свих оптерећења која се јављају током дејства система и током вожње. Тело куполе има облик зарубљене купе. Са предње стране штити од дејства панцирног зрна калибра 20 mm – са растојања од 100 m, а са осталих страна од дејства тешког зрна 7,9 mm – са растојања 100 m [10].

Ослонац куполе је специјални радијално – аксијални котрљајни лежај који мора да обезбеди поуздану ротацију и пренос свих оптерећења између куполе и оклопног возила. Котрљајни лежај мора да испуни следеће основне захтеве: висока чврстоћа, минимални отпор ротацији куполе, минималан радијални зазор, компактност и поуздано унутрашње и спољашње заптивање. Висока чврстоћа котрљајног лежаја куполе обезбеђује преношење оптерећења од масе куполе и од сила трзања оруђа, удара пројектила, ударног таласа, као и сила удара о препреку [10].



Слика 5.1. Котрљача куполе: 1 – унутрашњи прстен, 2 – гумени заптивач, 3 – куглица, 4 – кавез, 5 – спољашњи прстен [10].

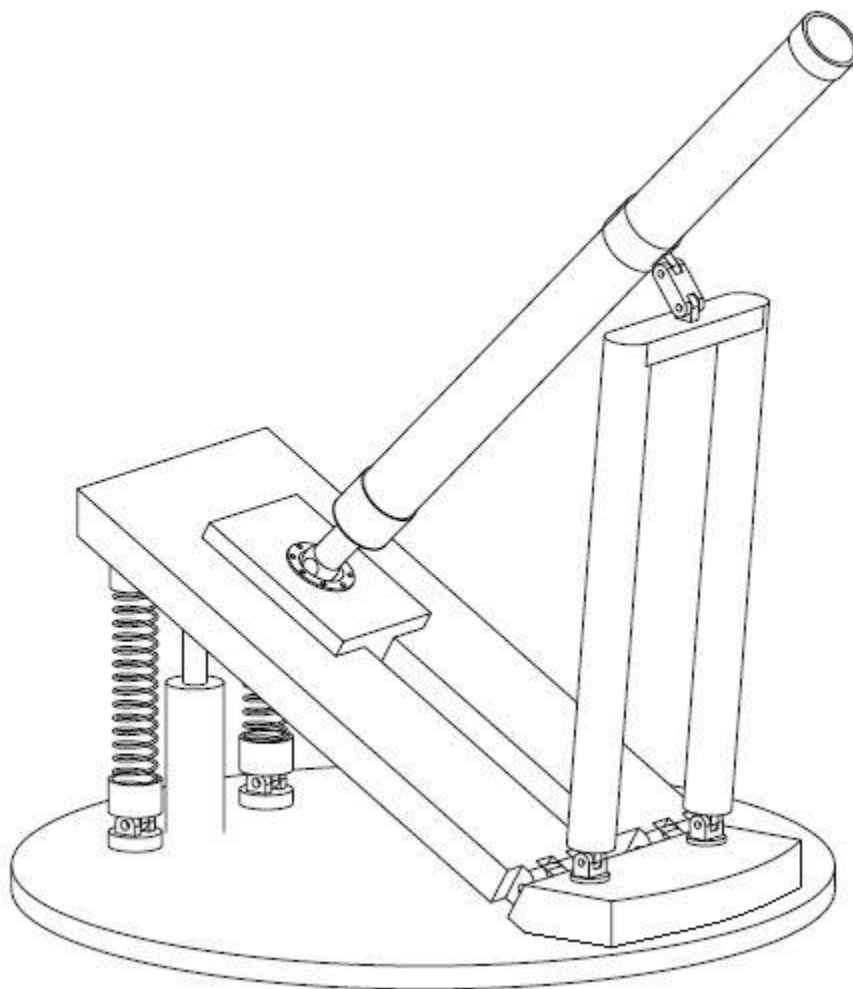
На слици 5.1. приказана је котрљача куполе, која омогућава окретање куполе, неограничено, по правцу, а састоји се од спољашњег и унутрашњег прстена, кавеза и куглица. Унутрашњи прстен је назубљен, па се преко њега остварује окретање куполе по правцу.



Слика 5.2. *Изометријски приказ упрошћеног модела куполе.*

На слици 5.2. приказан је упрошћени модел куполе, који се користи за прорачун оптерећења куполе и лежаја при опаљењу. За прорачун је узет овакав модел због тачнијих резултата прорачуна.

На слици 5.3. приказан је модел минобацача 120 mm M75, модел је измоделиран у програму CATIA P3 V5R21.



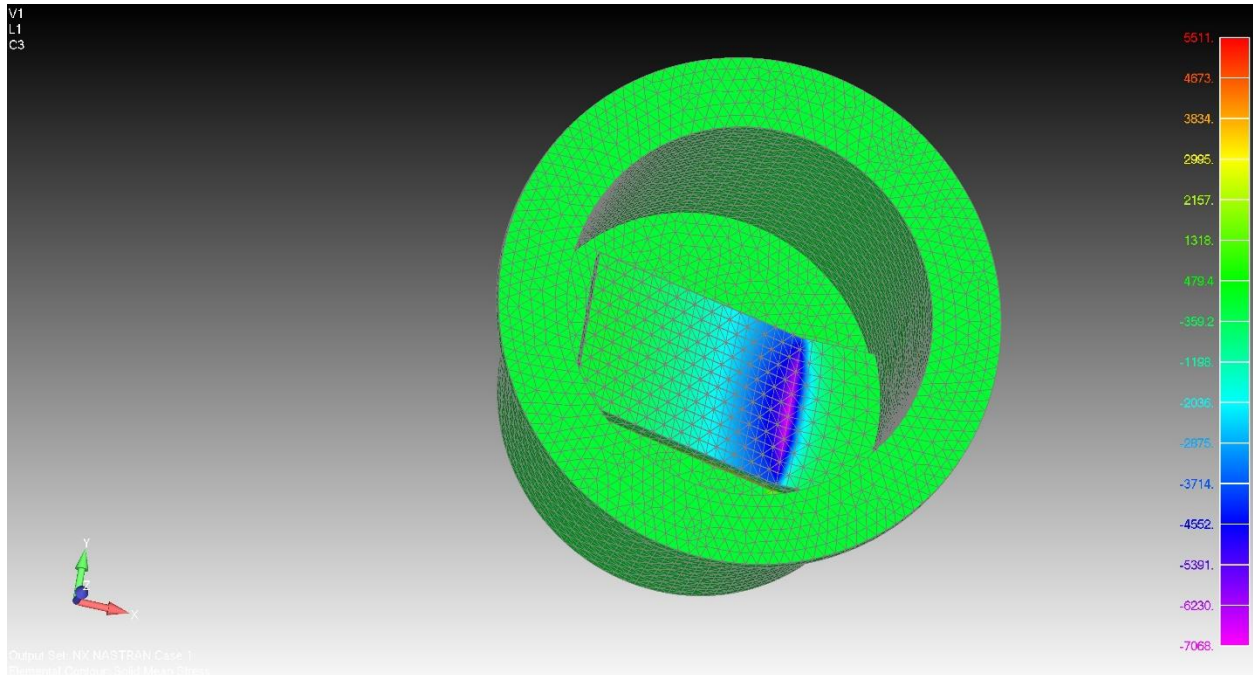
Слика 5.3. *Минобацач 120 mm M75.*

5.1. Прорачун лежаја куполе за минобацач 120 mm M75

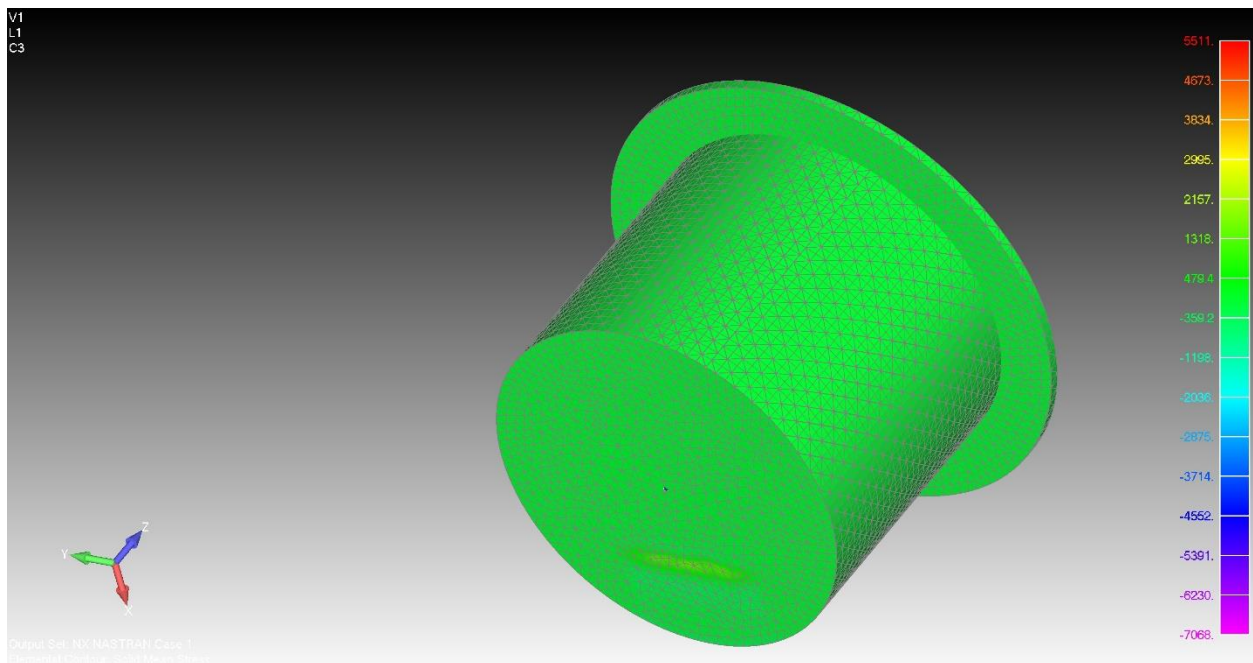
Сила отпора трзању изазива одређена оптерећења и напрезања лежаја. За њихову симулацију користи се метода коначних елемената. Циљ ове методе је да се стварни физички домен проблема изабраним коначним елементима што боље прикаже у рачунском домену приказаном преко усвојене мреже коначних елемената. Због тачније анализе коришћен је упрошћени модел. Дејство силе земљине теже се уноси као негативно убрзање које делује на цело тело, док се дејство силе отпора трзања поставља да делује у централном делу плоче по којој

се креће минобацач при задавању угла елевације. Сила која делује на плочу је добијена прорачуном, у програмском пакету MATLAB (прилог 2) и износи $R = 153 \text{ kN}$. Као ограничење узима се да је доња (контактна) површина лежаја непокретна.

На сликама 5.4 и 5.5 приказана су напрезања куполе и лежаја куполе.



Слика 5.4. Напрезања у МПа поглед одозго.



Слика 5.5. Напрезање у МПа поглед одоздо.

Слике 5.4. и 5.5. су добијене из програма FEMAP v 11.0. У програму је коришћен упрошћени модел склопа куполе са минобацачем. Као материјал је узет челик са модулом еластичности $2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$. Плоча, односно, шина по којој се креће минобацач и тако постиже одговарајући угао елевације, је оптерећена силом отпора трзању $R=153 \text{ kN}$, сила је фокусирана да делује у средишту плоче. Осим силе отпора трзању, на склоп делује и сила Земљине теже, супротно од осе z .

Са слике 5.4 може се видети да је у односу на реални модел, узета апсолутно крута веза, између постоља за двоножац и саме шине, код реалног модела то је омогућено зглобном везом. Тако да се може видети да су се управо у тој зони јавила највећа напрезања.

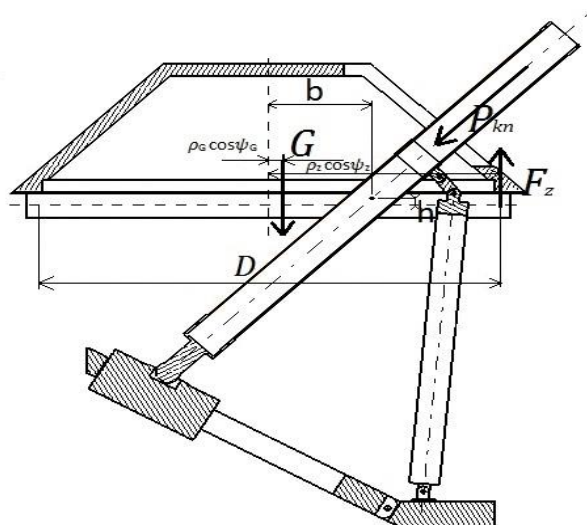
Са слике 5.5 може се видети да се напрезања лежаја налазе у границама и да се крећу у опсегу од 479 до 1318 MPa.

Прорачуном лежаја куполе неопходно је одредити напрезање котрљајних стаза и куглица на површински притисак, као и чврстоћу ослонца куполе [9].

- возило се налази на хоризонталној подлози,
- распоред допунског вертикалног оптерећења на куглицу је синусни,
- хоризонталне силе распоређују се по куглицама као и код радијалних кугличних лежаја.

За одређивање напрезања котрљајних стаза неопходно је одредити прорачунско оптерећење на куглицу и котрљајну стазу, а затим проверити напрезање на површински притисак [9].

На слици 5.6. приказано је дејство сила на склоп минобацача, у равни xz .



Слика 5.6. Дејство сила на склоп у равни xz : P_{kn} – сила трзања, F_z – вертикална реакција лежаја, G – тежина, D – средњи пречник лежаја, ρ_G , ψ_G – поларне координате силе земљине теже, ρ_z , ψ_z – поларне координате вертикалне реакције

Вертикална реакција лежаја добија се из услова равнотеже, према слици 5.6.:

$$\Sigma F_z = 0 \Rightarrow F_z - G - F_R \sin \varphi = 0 \quad (5.1)$$

где су:

φ – угао елевације,

F_R – сила отпора трзању.

Сила F_R из једначине (5.1) представља силу отпора трзању 153 000 N. Угао елевације φ може да се мења, а самим тим мења се и интензитет вертикалне реакције лежаја F_z . За угао елевације од 45° добија се минимална вредност ове силе:

$$\begin{aligned} F_z &= G + F_R \sin 45^\circ \\ G &= m_u \cdot g \\ (F_z)_{\min} &= 110\,318 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Максимална вредност силе F_z добија са максималним углом елевације ($\varphi = 85^\circ$):

$$\begin{aligned} F_z &= G + F_R \sin 85^\circ \\ (F_z)_{\max} &= 153\,922 \text{ N} \end{aligned}$$

Поларне координате вертикалне реакције одређују се из моментних једначина:

$$\Sigma M_x = 0 \Rightarrow F_z \rho_z \sin \Psi_z + G \rho_G \sin \Psi_G - F_R \cdot a \cdot \sin \varphi \quad (5.3)$$

$$\Sigma M_y = 0 \Rightarrow F_z \rho_z \cos \Psi_z - G \rho_G \cos \Psi_G - F_R \cdot b \cdot \sin \varphi + F_R \cdot h \cdot \cos \varphi \quad (5.4)$$

Геометријске величине узимају се из CAD модела:

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$h = 25 \text{ mm}$$

$$\rho_z = 700 \text{ mm}$$

Пошто је $a = 0$ (оса топа у равни осе ротације лежаја) и $y = 0$ (тежина у уздужној осној равни куполе) и читав склоп је симетричан у односу на раван xz , па се и тежиште налази у овој равни, угаона координата Ψ_G има вредност 0° , тако да је:

$$\rho_z = \frac{G\rho_G \cos\Psi_G + F_R b \sin\varphi - F_R h \cos\varphi}{G + F_R \sin\varphi} \quad (5.5)$$

За најнеповољнији случај моментног оптерећења лежаја, када је угао елевације 45° , према слици 5.6, тада је:

$$\rho_z = 318,63 \text{ mm}$$

Ако је $|\rho_z| > \frac{D}{2}$, то значи да оптерећење настоји да преврне склоп и да мора да делује заштита од превртања. За конкретан случај ($D = 1400 \text{ mm}$) је:

$$318,63 \text{ mm} < 700 \text{ mm}$$

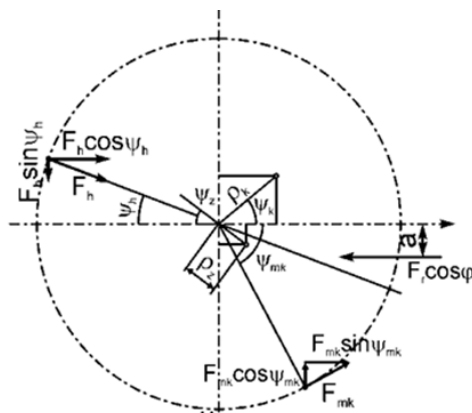
што значи да је ова конструкција стабилна у смислу превртања и није потребно користити заштиту од превртања.

Координате резултантне хоризонталне реакције F_h су у општем случају ($D/2$, Ψ_h), а координате реакције механизма за окретање куполе F_{mk} су конструкцијски одређене ($a = D/2$, $\Psi_{mk} = 45^\circ$). Непознате величине (F_h , F_{mk} и Ψ_h) се одређују из услова равнотеже:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow F_{mk} \sin\Psi_{mk} + F_h \cos\Psi_h - F_R \cos\varphi = 0 \quad (5.6)$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_h \sin\Psi_h - F_{mk} \cos\Psi_{mk} = 0 \quad (5.7)$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow F_R \cdot a \cdot \cos\varphi - F_{mk} \frac{D}{2} \quad (5.8)$$



Слика 5.7. Дејство сила на склоп у равни ху: F_h – хоризонтална реакција лежаја, F_{mk} – реакција механизма за окретање, ψ_h - угаона координата хоризонталне реакције, ψ_{mk} –угаона координата реакције механизма за окретање [9]

$$F_{mk} = \frac{2F_R a \cos\varphi}{D} \quad (5.9)$$

Величина a представља померање осе топа 20 mm M55 од геометријског средишта. Како се оса налази у хz равни, a има вредност 0 mm, па према једначини 5.9, не постоји реакција механизма за окретање.

Хоризонтална реакција F_h , као и ψ_h такође, добијају се из услова равнотеже:

$$F_h = F_R \cos\varphi \sqrt{1 - \frac{4a}{d} \sin\psi_{mk} + \frac{4a^2}{D^2}} \quad (5.10)$$

$$F_h = 107\,865 \text{ N}$$

$$\operatorname{tg}\psi_h = \frac{2a \cos\psi_{mk}}{D(1 - \frac{2a}{d} \sin\psi_{mk})} \quad (5.11)$$

$$\psi_h = 0^\circ$$

Оптерећење котрљајне стазе једнако је суми оптерећења која су последица вертикалне реакције F_z и момента $M_0 = F_z \rho_z$. Специфично оптерећење на јединицу дужине котрљајне стазе које је резултат деловања силе F_z је:

$$\rho = \frac{F_z}{D\pi} \quad (5.12)$$

$$\rho = 34\,997 \text{ N/m}$$

Максимально специфично линейное оптереждение котрляжной стазе које је последица деловања резултујућег момента M_0 је:

$$\rho_m = \frac{4F_z\rho_z}{D^2\pi} \quad (5.13)$$

$$\rho_m = 69\,995 \text{ N/m}$$

Резултујући момент је:

$$M_0 = \rho_m \frac{D^2\pi}{4} \quad (5.14)$$

$$M_0 = 107\,746 \text{ Nm}$$

Да би се одредило максимално вертикално оптереждение куглице неопходно је ово оптереждение поделити на део котрляжной стазе који отпада на једну куглицу ($d\pi/z$), тако да се добија:

$$F_{kzm} = \rho_m \frac{D\pi}{z} = \frac{4F_z\rho_z}{Dz} \quad (5.15)$$

где је z - број куглица лежaja.

$$F_{kzm} = 9\,620,125 \text{ N}$$

Максимально вертикальное оптереждение куглице F_{kzmax} једнако је суми оптереждения које је последица деловања силе F_k , и оптереждения које је последица деловања момента M_0 :

$$F_{kz\max} = \frac{F_z}{z} + \frac{4F_z\rho_z}{Dz} = \frac{F_z}{z} \left(1 + \frac{4\rho_z}{D}\right) \quad (5.16)$$

$$F_{kz\max} = 14\,430,19 \text{ N}$$

Насупрот овоме, минимално вертикално оптереждение куглице једнако је разлици ова два оптереждения:

$$F_{kz\min} = \frac{F_z}{z} - \frac{4F_z\rho_z}{Dz} = \frac{F_z}{z} \left(1 - \frac{4\rho_z}{D}\right) \quad (5.17)$$

$$F_{kz\min} = -4\,810,06 \text{ N}$$

Максимална хоризонтална сила која делује на куглице котрљајног лежаја ослонца куполе за случај раванског деловања силе тежине куполе и силе трзања оптерећује:

- предњу куглицу за случај покретног обухватног прстена, односно
- задњу куглицу за случај непокретног обухватног прстена.

У општем случају просторног деловања сила F_R и G_k максимално је оптерећена куглица која се налази на правцу деловања хорзонталне реакције F_h , у предњем делу куполе за случај покретног обухватног прстена, односно у задњем делу куполе за случај непокретног обухватног прстена. Експериментално је утврђено да је:

$$F_{kh \max} = 5 \frac{F_h}{z} \quad (5.18)$$

$$F_{kh \max} = 16\,853,9 \text{ N}$$

Максимално оптерећење куглице је:

$$F_{k \max} = \sqrt{F_{kz \max}^2 + F_{kh \max}^2} \quad (5.19)$$

$$F_{k \max} = 22\,187,47 \text{ N}$$

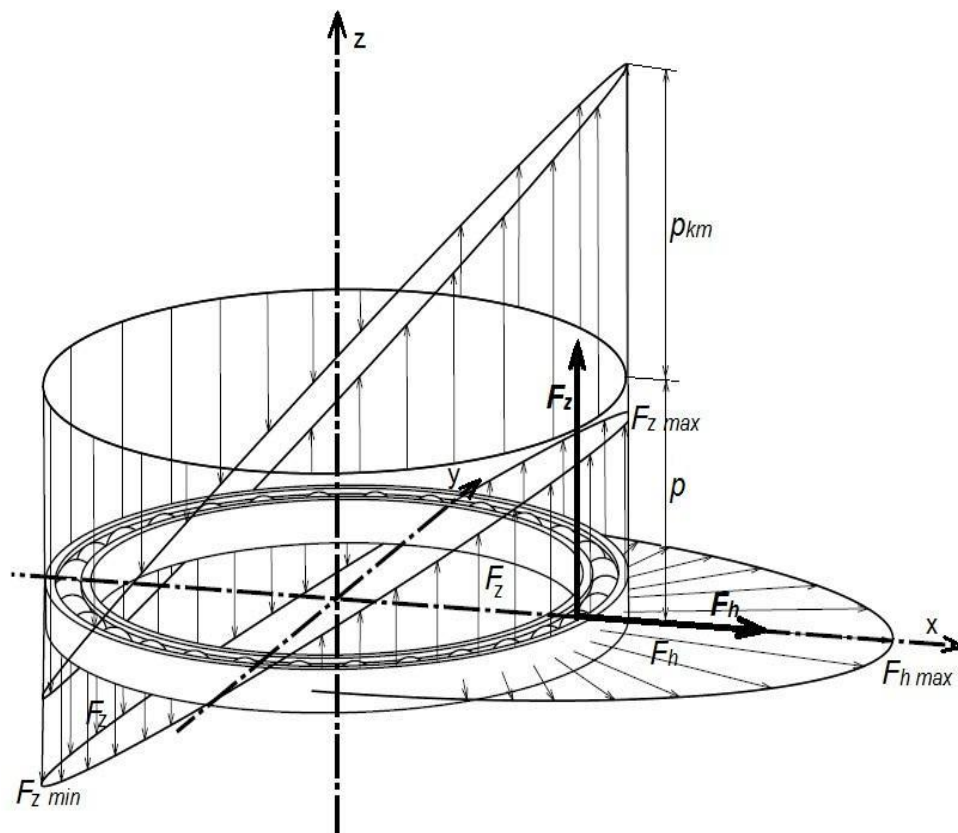
Контактни напон на површински притисак (дробљење) најоптерећеније куглице израчунава се према:

$$\sigma_k = 0,388 \sqrt[3]{\frac{F_{k \max} E_{ekv}^2}{r_{ekv}^2}} \quad (5.20)$$

где су:

$E_{ekv} = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ – еквивалентни модул еластичности (E_1 – модул еластичности материјала куглице, E_2 – модул еластичности материјала стазе),

$r_{ekv} = \frac{r_s r_k}{r_s + r_k}$ – еквивалентни полупречник кривине (r_s , r_k – полупречник кривине стазе и куглице).



Слика 5.8. 3D дијаграм сила и оптерећења који делују на лежај [11].

Ако се усвоји да су куглица и стаза од истог материјала, онда је:

$$E_1 = E_2 = E_{ekv} = 210 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

Код изведених конструкција је $r_s = (1.01 - 1.2)r_k$.

$r_k = 0,015 \text{ m}$ - полупречник куглице

$$r_s = 1,105 \cdot r_k$$

$$r_s = 0,016575 \text{ m}$$

$$r_{ekv} = 0,158 \text{ m}$$

Коначно, контактни напон на површински притисак σ_k износи:

$$\sigma_k = 1.317,98 \text{ MPa}$$

ЗАКЉУЧАК

У овом раду је извршена прелиминарна анализа могућности уградње минобацача на мобилну платформу и анализа оптерећења платформе при опаљењу. Минобацачи иако запостављени у великим операцијама последњих година двадесетог века, нису изгубили свој значај. Напротив, њихово место у борбеном распореду постаје све значајније.

Минобацач 120 mm M75 је пратеће оруђе пешадије, намењено за: неутралисање и уништење живе силе и ватрених средстава, стварање димних завеса, заслепљивање осматрачница и ватрених тачака, осветљавање бојишта, отварање пролаза кроз жичане препреке и минска поља и рушење објеката лаког типа.

Сила трзања, односно, реактивна сила притиска барутних гасова, у току процеса опаљења делује на оруђе и настаје као последица убрзаног кретања пројектила у каналу цеви и барутних гасова у смеру према задњем пресеку цеви. У зависности од величине силе трзања зависе отпорност оруђа и његова стабилност при опаљењу. Еластична веза цеви и лафета омогућава кретање цеви за време опаљења у правцу осе цеви. Померање цеви у току процеса опаљења назива се трзање цеви. Маса свих делова који се крећу са склопом цеви (цилиндри или клипњаче противтрзајућег уређаја) чине трзајућу масу, док укупан ход трзајућих делова представља дужину трзања.

Излазни подаци УБ прорачуна минобацача 120 mm M75, добијени методом Серебрякова за минобацаче ($P_{max} = 96 \text{ MPa}$, $V_0 = 329,5 \text{ m/s}$ и $x = 1,155 \text{ m}$), приказују дијаграме зависности притиска и брзине по времену и пређеном путу пројектила. Сви графици добијени овим прорачуном приказани су сликама у поглављу 2.

Противтрзајући уређај је неопходан код интеграције на мобилне платформе, зато што би се оптерећење изазвано опаљењем, односно трзањем склопа цеви пренелно на саму платформу, па би било потребно извршити реконструкцију самог возила, како би издржало оптерећење настало опаљењем, односно учврстити само возило за тло, зато је улога ПТУ веома битна. На основу горе наведеног прорачуна УБ за минобацач 120 mm, даље се врши прорачун ПТУ (прилог 2).

На основу прорачуна ПТУ добијају се графици зависности силе отпора трзању, силе хидрауличне кочнице и силе повратника, како од времена тако и од пута трзања.

Сила отпора коју ствара кочница добијена овим прорачуном у првом периоду трзања расте да би на крају првог периода њена вредност почела постепено да опада до краја другог периода, а када престане дејство барутних гасова и почне трећи период трзања сила линеарно расте. Тиме се обезбеђује правилно кретање трзајуће масе и њених делова током опаљења. Са слике 3.4. може се видети да

максималну вредност сила хидрауличне кочнице остварује на крају трзања и износи $F_{kt}=137,5 \text{ kN}$.

Са слике 3.6. може се видети да укупна сила отпора трзању линеарно расте у првом периоду трзања до вредности $R=109 \text{ kN}$, која одговара путу трзања од $0,04 \text{ m}$, затим има константну вредност у току другог периода, а у трећем периоду линеарно се повећава и достиже максималну вредност на крају трзања $R_{max}=153 \text{ kN}$. Како за максимални угао елевације тако и за минимални, може се видети да су добијени готово идентични дијаграми зависности. Као повратник је узета опруга, прорачуном у прилогу 2 добијена је њена крутост од 4420 N/m , на основу тога у програму AUTODESK INVENTOR је извршен прорачун и добијена опруга која има крутост 2210 N/m . Као повратник узета је паралелна веза две опруге, прорачун се врши по DIN стандарду за притисне опруге.

Циљ прорачуна је био одређивање, односно добијање вредности проточних отвора унутар кочнице трзања, да би се ти подаци искористили за израду ове кочнице. Због великог притиска отвори би били највећи на самом почетку, са слике 3.7. се може видети константно повећање, до приближно $2,3 \times 10^{-3} \text{ m}$, што одговара вредности $0,035 \text{ m}$ пута трзања, а затим се може видети да након другог периода трзања та вредност опада до 0.

На основу димензија БВП М80-А, може се видети да висина куполе која се уграђује на платформу не прави проблем с обзиром да је висина возила 2995 mm , а висина куполе 1250 mm .

ПТУ је смештен испод шине, која служи за кретање постоља минобацача, на основу чијег кретања се задаје угао елевације. Као што се може видети у поглављу 4., за свако померање постоља по шини од $12,5 \text{ mm}$, долази до промене угла елевације за 1° . Када је постоље у горњем положају, минобацач заузима угао елевације од 45° , у доњем положају постоља, минобацач заклапа са хоризонталом угао од 85° . Шина је зглобном везом спојена са постољем двоношца, а двоножац је зглобном везом спојен са копчом, која је чврсто везана за цев минобацача и тако је обезбеђен услов стабилности при опаљењу.

Симулација оптерећења склопа, као и лежаја куполе, дата је FEM анализом, која је урађена у програму FEMAP. За FEM анализу узет је упрошћен модел склопа минобацача са куполом. Сила која делује на склоп је сила отпора трзању, која је добијена прорачуном приказаним прилогом 2, та сила има вредност 153 kN , осим силе отпора трзању у обзир је узета и сила Земљине теже која делује супротно од осе z. За материјал је узет челик, чији модул еластичности износи $2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, Поасонов коефицијент 0,3 и специфична густина материјала $7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m}^3$. Са слике 5.4. се може видети да је једина зона увећаних напрезања у споју између шине и постоља двоношца, међутим као што је назначено, узет је упрошћен модел за FEM анализу и на том месту се код реалног модела налази зглобна веза која дозвољава кретање шине при трзању оруђа. Добијена напрезања у тој зони достижу вредност од 7000 MPa , што би свакако довело до деформација и лома у тој зони.

Циљ анализе је одређивање напрезања у самом лежају куполе. На слици 5.5. може се видети да нема критичних зона, односно да су напрезања у границама. Вредности напрезања у зони лежаја крећу се од 479 до 1318 MPa . На слици се може видети да цела конструкција куполе не прелази у зону критичног напрезања које може довести до деформација. Као дебљина зида куполе узета је вредност од 50 mm .

Након прорачуна FEM анализом, прорачун лежаја куполе је извршен аналитичком методом по литератури [9]. У обзир је узето да је пречник лежаја 700 mm , у коме су распоређене 32 куглице на једнаким растојањима, полупречник куглице износи 0,015 m . Усвојено је да су од истог материјала стаза и куглица, чији је модул еластичности $2,1 \cdot 10^5 MPa$. На крају се прорачуном добија контактни напон од 1318 MPa , па се може закључити да се прорачуни поклапају.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Кари, М. Бајевић: Минобацачи данас, Нови гласник, бр. 1/2007., стр. 97-106.
- [2] Лаки минобацач 120 mm M74 и M75 - Техничко упутство, књига 1
- [3] Борбено возило пешадије БВП М-80А - Техничко упутство, књига 1
- [4] Љ. Танчић: Збирка задатака из унутрашње балистике, Сектор за школство, обуку, научну и издавачку делатност, Војнотехничка академија Војске Југославије, Београд, 1999. године
- [5] Љ. Танчић: Унутрашње балистичко пројектовање, Министарство одбране, Универзитет одбране, Војна академија, Београд, 2014. године
- [6] З. Ристић, М. Јаковљевић: Основи наоружања (артиљеријска оруђа), ВА Београд, 2003. године
- [7] Љ. Танчић: Збирка решених задатака из унутрашње балистике, ВА Београд, 2000. године
- [8] Н. Антић: Предпројекат самоходног минобацача 120 mm - дипломски рад, Војна академија, Београд, 2013. године
- [9] А. Кари: Проблеми куполне уградње оруђа, презентација Бг. - Кг. 2015. године
- [10] В. Чукановић, Упоредна анализа интеграција аутоматских топова калибра 20 mm и 30 mm - мастер рад, Крагујевац, 2015. године
- [11] Д. Јовановић, Интеграција митраљеза 12,7 mm M87 на мобилну платформу - мастер рад, Крагујевац, 2015. године

ПРИЛОГ 1

УЛАЗНИ И ИЗЛАЗНИ ПОДАЦИ ПРОГРАМСКОГ РЕШЕЊА МЕТОДЕ СЕРЕБРЈАКОВА ЗА МИНОБАЦАЧЕ У FORTRANU

UB S
ORUDJE MB120
BARUT NGB
JEDINICE PO SI SISTEMU MERA

POLAZNI PODACI		
SC=0.011315	SZ=0.000132	W0=0.00281
XU=1.15	AKSI=0.61	EM=12.60
SPR=0.011183	FB=1100000.	ALFA=0.00091
ROB=1600.	UZ0= 0.130E-08	AK= 1.2
R0=0.000290	AKAPA1=1.3679	ALAMB1=-0.26895
FB0= 600000.	ALFA0=0.000910	MB=0.4560
MB0=0.0360		

PRETHODNI PERIOD
P0= 8772500.

PRVI PERIOD						
I	Y	PSI	V [m/s]	X [m]	P [Pa]	t [s]
1.	0.066667	0.089558	13.2	0.005	26109424	0.00091
2.	0.133333	0.175846	26.4	0.014	41348048	0.0014
3.	0.2	0.258864	39.6	0.024	54464436	0.00172
4.	0.266667	0.338612	52.8	0.035	65536992	0.00197
5.	0.333333	0.415089	66	0.047	74674432	0.00218
6	0.4	0.488297	79.2	0.061	81998272	0.00237
7.	0.466667	0.558234	92.4	0.076	87636024	0.00254
8.	0.533333	0.624901	105.59	0.092	91717728	0.0027
9.	0.6	0.688297	118.79	0.109	94373832	0.00286
10.	0.666667	0.748424	131.99	0.129	95733936	0.00301
11.	0.733333	0.80528	145.19	0.15	pm=95925920	0.00317
12.	0.8	0.858866	158.39	0.173	95074952	0.00332
13.	0.866667	0.909182	171.59	0.198	93303120	0.00347
14.	0.933333	0.956228	184.79	0.227	90728752	0.00363
15.	1	1.000003	197.99	0.258	87466136	0.0038

DRUGI PERIOD				
l	V [m/s]	x [m]	p [Pa]	t [s]
16.	203.99	0.274	84179264	0.00388
17.	209.99	0.291	80688096	0.00396
18.	215.99	0.309	77222248	0.00404
19.	221.99	0.329	73788768	0.00413
20.	227.99	0.35	70394168	0.00423
21.	233.99	0.373	67044916	0.00433
22.	239.99	0.397	63747184	0.00443
23.	245.99	0.424	60506776	0.00454
24.	251.99	0.452	57329184	0.00465
25.	257.99	0.483	54219648	0.00477
26.	263.99	0.517	51182904	0.0049
27.	269.99	0.553	48223464	0.00504
28.	275.99	0.592	45345504	0.00518
29.	281.99	0.635	42552668	0.00534
30.	287.99	0.682	39848332	0.0055
31.	293.99	0.733	37235456	0.00568
32.	299.99	0.789	34716544	0.00587
33.	305.99	0.85	32293756	0.00607
34.	311.99	0.917	29968836	0.00628
35.	317.99	0.991	27743070	0.00652
36.	323.99	1.073	25617430	0.00677
37.	V ₀ =329.479	1.155	23764788	0.00702

ПРИЛОГ 2

ПРОРАЧУН ПТУ-а У ПРОГРАМСКОМ ПАКЕТУ MATLAB

```
% *****
%
%      PRORACUN PTU ZA MINOBACAC 120 mm
%      uz poznate UB parametre
%      Autor: A. Kari, 2017.
% *****

clc;
clear all;
close all;

% *****
% *   UCITAVANJE I STAMPANJE UB PRORACUNA   *
% *****

UBMB=dlmread('UBMB120mm.txt');
vp=UBMB(:,2); %relativna brzina projektila po UB proracunu, m/s
xp=UBMB(:,3); %relativni put projektila po UB proracunu, m/s
pc=UBMB(:,4); %pritisak u cevi po UB proracunu, Pa
tp=UBMB(:,5); %vreme kretanja projektila po UB proracunu, s

n=length(tp);
vp0=max(vp); %pocetna brzina projektila, m/s
pm=max(pc); %maksimalni pritisak u cevi, Pa
pu=pc(n); %pritisak na ustima cevi, Pa
tu=max(tp); %vreme kad je projektil na ustima cevi, s

figure(1)
plot(tp*1000,pc/100000)
grid on
title('Promena pritiska u cevi')
xlabel('Vreme, ms')
ylabel('Pritisak, bar')

figure(2)
plot(tp*1000,vp)
grid on
title('Promena brzine projektila u cevi')
xlabel('Vreme, ms')
ylabel('Brzina projektila, m/s')

figure(3)
plot(xp,pc/100000)
grid on
title('Promena pritiska u cevi')
xlabel('Put projektila u cevi, m')
ylabel('Pritisak, bar')
```

```

UBMB=dlmread('UBMB120mm.txt');
vp=UBMB(:,2); %relativna brzina projektila po UB proračunu, m/s
xp=UBMB(:,3); %relativni put projektila po UB proračunu, m/s
pc=UBMB(:,4); %pritisak u cevi po UB proračunu, Pa
tp=UBMB(:,5); %vreme kretanja projektila po UB proračunu, s

d=0.120; %kalibar MB, m
Sc=d*d*pi/4; %Povrsina popreznog preseka cevi, m2
EM=12.6; %masa projektila, kg
AMB=0.456; %MASA BARUTA DOPUNSKOG PUNJENJA, kg
AMB0=0.0365; %MASA BARUTA OSNOVNOG PUNJENJA, kg

%*****
% PRORACUN TRZANJA
%*****

mt=250; %trzajuca masa, kg
xxx=38; %broj tacaka iz dijagrama za pritisak
vpmax=max(vp); %maks. brzina projektila, m/s

vmax=15; %brzina trzanja na kraju I perioda, m/s
xlam=0.30; %max. duzina trzanja,m
R0=2590; %pocetna sila otpora, N

Pknm=max(pc)*Sc; %max. sila trzanja, N

for h=1:xxx
    Pkn(h)=pc(h)*Sc;
    if h==1
        Pknt(h)=0;
        It(h)=Pknt(h);
    else
        deltat=(tp(h)-tp(h-1));
        Pknt(h)=abs((Pkn(h)+Pkn(h-1))/2)*deltat;
        It(h)=It(h-1)+Pknt(h);
    end
end

pu=pc(h);
Pkn(h);

%***** SLOBODNO TRZANJE*****

for i=1:xxx
    W1(i)=(EM+0.5*(AMB+AMB0))*vp(i)/mt;
    l(i)=(EM+0.5*(AMB+AMB0))*xp(i)/(mt+EM+(AMB+AMB0));
end
lu=l(xxx);

Wu=(EM+0.5*(AMB+AMB0))*vpmax/mt %brzina slobodnog trzanja na kraju I perioda,
m/s

```

```

IntRm=It(h)-mt*vmax;
Rm=2*IntRm/tp(h)-2*R0;
beta1=1200/vpmax;

Wtau=(EM+beta1*(AMB+AMB0))*vpmax/mt; %brzina slobodnog trzanja na kraju
perioda isticanja b/g, m/s

tau=5*(beta1-0.5)*(AMB+AMB0)*vpmax/Pkn(h); %vreme perioda naknadnog dejstva
b/g, s

xpr=lu+vpmax*tau;

ltau=(EM+0.5*(AMB+AMB0))*xpr/(mt+(AMB+AMB0));

%*****
%          KOCENO TRZANJE
%*****

%*****
%          1. period
%*****

n1=R0;
k1=(Rm-R0)/tp(h);

for jj=1:xxx
    R1(jj)=k1*tp(jj)+n1;
    if jj==1
        vtrz(jj)=W1(jj)-(R1(jj)-R0)/mt;
        x(jj)=l(jj)-(W1(jj)-vtrz(jj))*tp(jj);
    else
        vtrz(jj)=W1(jj)-(k1/(2*mt))*(tp(jj)^2)-(n1/mt)*tp(jj);
        x(jj)=l(jj)-(W1(jj)-vtrz(jj))*tp(jj);
    end
end

xtrzu=x(jj);

%*****
%          2. period
%*****

R2=R1(xxx);
Wu=W1(jj);
vtrzu=vtrz(jj);
ubrz=(Wtau-Wu)/tau;

for jj=(xxx+1):(xxx+50)
    tp(jj)=tp(jj-1)+0.0001;
    W1(jj)=W1(jj-1)+(Wtau-Wu)/50;
    R1(jj)=R2;
    vtrz(jj)=W1(jj)-(Wu-vtrzu)-(R2/mt)*(tp(jj)-tp(xxx));
    l(jj)=l(xxx)+Wu*(tp(jj)-tp(xxx))+ubrz*((tp(jj)-tp(xxx))^2)/2;
end

```

```

        x(jj)=l(jj)-(lu-xtrzu)-(Wu-vtrzu)*(tp(jj)-tp(xxx))-(R2/mt)*(tp(jj)-
tp(xxx))^2;

end
v2=vtrz(jj);
xtrz2=x(jj);
t12=tp(jj);

%*****
%           3. period
%*****

Rlam=mt*v2^2/(2*(xlam-xtrz2)); %potrebna sila otpora da se zaustavi na
xlambda, N

while x(jj)<xlam
    jj=jj+1;
    x(jj)=x(jj-1)+0.01;
    if x(jj)>xlam
        x(jj)=xlam;
    end
    R1(jj)=Rlam+((R2-Rlam)/(xlam-xtrz2))*(xlam-(x(jj)));
    vtrz(jj)=sqrt((R1(jj)+Rlam)*(xlam-x(jj))/mt);
    if vtrz(jj)>vtrz(jj-1)
        vtrz(jj)=vtrz(jj-1)-0.1;
    end
    asr3(jj)=(R2+R1(jj))/(2*mt);
    tp(jj)=t12+(v2-vtrz(jj))/asr3(jj);
end
bt=jj;

%*****
%           PRORACUN PTU
%*****

%*****
%           POCETNI PODACI
%*****
beta1=1.8; %koeficijent pocetne sile povratnika
g=9.806; %ubrzanje Zemljine teze, m/s2
Emax=85*pi/180; %max. ugao elevacije, rad
mi=0.2; %koeficijent trenja
sk=4; %stepen kompresije povratnika
k=1.4; %koeficijent proticanja tecnosti
rohu=900; %gustina HUNT-S, kg/m3

dt=0.14; %precnik klipa kocnice trzanja, m
At=dt^2*pi/4;

Fp0=beta1*mt*g;
Ftr=mi*mt*g*sin(Emax);
Fplam=sk*Fp0;
C=(Fplam-Fp0)/xlam;
Ct=(k*rohu*At^3)/2;

```

```

for f=1:bt
    Fp(f)=Fp0+C*x(f);
    T(f)=Ftr;
    Fkt(f)=R1(f)-Fp(f)-T(f)+mt*g*sin(Emax);
    ax(f)=vtrz(f)*sqrt(Ct/Fkt(f));
end

figure(4)
plot(tp,vtrz)
grid on
title('Promena brzine trzanja')
xlabel('Vreme trzanja, ms')
ylabel('Brzina trzanja, m/s')

figure(5)
plot(x,R1,'k',x,T,':g',x,Fp,'-.b',x,Fkt,'--r')
grid on
title('Sila otpora trzanju sa komponentama')
xlabel('Put trzanja, m')
ylabel('Sila, N')
legend('Ukupna sila otpora trzanju','Sila trenja','Sila povratnika','Sila HK','Location','Best','linewidth',3)

figure(6)
plot(x,ax)
grid on
title('Potrebna velicina otvora u HK')
xlabel('Put trzanja, m')
ylabel('Povrsina protocnih otvora u HK, m^2')

figure(7)
plot(x,Fkt)
grid on
xlabel('Put trzanja, m')
ylabel('Sila HK, N')

figure(8)
plot(x,Fp)
grid on
xlabel('Put trzanja, m')
ylabel('Sila povratnika, N')

```