

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: 313/2017

Андрија В. Вељовић

Претпројекат самоходног минобацача 120 mm
отворене уградње
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1.
- 2.
3. доц. др Александар Кари – ментор

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, јул, 2018.

Извршити анализу интеграције минобацача калибра 120 mm на мобилну борбену платформу типа лакооклопљеног борбеног гусеничног возила у виду отворене уградње. Анализу извршити кроз следеће фазе и прорачуне:

1. Извршити унутрашње балистички прорачун минобацача 120 mm M75.
2. Извршити прорачун противтрзајућег уређаја на основу унутрашње 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 анализу сила које делују на мобилну платформу са интегрисаним минобацачем као и упоредну анализу добијених резултата симулације и прорачуна осцилација мобилне платформе изазваних опаљењем.

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] Љ. Танчић: Збирка решених задатака из унутрашње балистике, ВА Београд, 2000. године
- [4] Љ. Танчић: Унутрашње балистичко пројектовање, Министарство одбране, Универзитет одбране, Војна академија, Београд, 2014. год.
- [5] Н. Антић: Предпројекат самоходног минобацача 120 mm - дипломски рад, Војна академија, Београд, 2013. године

Крагујевац, Јун 2018

Ментор:
Доцент др Александар Кари дипл.инж.

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	3
УВОД	4
1. МИНОБАЦАЧИ.....	5
1.1. Историјски развој минобацача	5
1.2. Намена и карактеристике савремених минобацача	5
1.3. Подела минобацача.....	5
1.4. Самоходни минобацачи.....	8
1.5. Преглед савремених минобацача отворене уградње	11
1.5.1. Самоходни минобацач M1129 Stryker 120mm.....	11
1.5.2. Самоходни минобацач Floks 120mm.....	13
1.5.3. Самоходни минобацач LePzMrs 120mm.....	15
1.5.4. Самоходни минобацач 2S4 Tyulpan 240mm.....	17
1.5.5. Самоходни минобацач GMM-120 120mm.....	19
1.5.6. Самоходни минобацач Dragon Fire 120mm.....	20
1.6. Минобацач 120 mm M75.....	21
1.7. Борбено возило пешадије M80-A	24
2. УНУТРАШЊЕ БАЛИСТИЧКИ ПРОРАЧУН МИНОБАЦАЧА 120 mm.....	26
3. ПРОТИВТРЗАЈУЋИ УРЕЂАЈ (ПТУ)	30
3.1. Карактеристике хидрауличне кочнице	31
3.2. Повратници.....	34
3.3. Прорачун ПТУ у програмском пакету MATLAB	36
3.4. Анализа података добијених прорачуном у програмском пакету MATLAB.....	38
4. ПРЕДЛОГ КОНСТРУКЦИЈСКОГ РЕШЕЊА.....	40
5. СИЛЕ КОЈЕ ДЕЛУЈУ НА МОБИЛНУ ПЛАТФОРМУ СА ИНТЕГРИСАНИМ МИНОБАЦАЧЕМ 120mm M75.....	47
6. ПРОРАЧУН ОСЦИЛАЦИЈА МОБИЛНЕ ПЛАТФОРМЕ УСЛЕД ОПАЉЕЊА	52
6.1. Симулација осцилација мобилне платформе и анализа резултата.....	59
ЗАКЉУЧАК	68
ЛИТЕРАТУРА.....	70
ПРИЛОГ 1.....	71
ПРИЛОГ 2.....	73
ПРИЛОГ 3.....	78

РЕЗИМЕ

Овим радом је представљена могућа 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 отворене уградње обухвата уклањање куполе са наоружањем и интегрисања минобацача 120 mm M75 који се налази на обртној платформи. У раду је такође извршен прорачун оптерећења ПТУ уређаја као и прорачун осцилација изазваних процесом опаљења.

Кључне речи: **минобацач, трзање, сила, самоходно оруђе, артиљерија.**

ABSTRACT

This paper presents the possible 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 proposal for a construction solution for open installation includes the removal of the dome with the armament and integration of the 120 mm M75 mortar located on the rotary platform. The work also carried out the load calculation of the PTU device as well as the oscillation calculation caused by the incineration process.

Key words: **mortar, recoil, force, self-propelled weapons, artillery.**

УВОД

У првом поглављу овог рада дат је кратак опис о минобацачима, затим подела минобацача и нешто више о самоходним минобацачима и примерима отворене уградње, такође описан је минобацач домаће производње М75 120 mm, као и борбено возило пешадије М80-А на које ће бити извршена отворена уградња поменутог минобацача.

Методом „Серебрјакова за минобацаче“ у програмском пакету FORTRAN, у другом поглављу, за минобацач М75 120 mm, дат је УБ прорачун са потребним подацима за улазну датотеку. Прорачун поменутом методом је дат у прилогу 1, који се даље надовезује на прилог 2, који се односи на прорачун противтрзајућег уређаја (ПТУ). Као излаз из прилога 1 добијају се графици зависности који су приказани сликама.

У трећем поглављу дат је опис и улога ПТУ, као и прорачун, који је дат у прилогу 2, затим и анализа података добијених прилогом 2, као излаз добијени су дијаграми зависности, који 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 возилом. Поред тога описана је и улога поменутих делова склопа.

У петом поглављу реализована је теоријска анализа сила ради увида у начине редукције силе трзања.

У шестом поглављу дат је прорачун осцилација изазваних услед опађења, резултати су дати на сликама а такође и опис добијених резултата. У поменутој анализи дат је и детаљан аналитички прорачун на основу литературе.

Циљ рада је отворена уградња минобацача 120 mm М75, на борбено возило пешадије М80-А.

1. МИНОБАЦАЧИ

1.1 Историјски развој минобацача

Минобацач је оруђе за посредно гађање које испаљује 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. 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 развој минобацача, насупрот, није улагано [1].

1.2 Намена и карактеристике савремених минобацача

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. Осим тога, сукоби се често дешавају у насељеним местима, где је многе циљеве тешко погодити артиљеријском ватром са малим угловима елевације (непосредним гађањем).

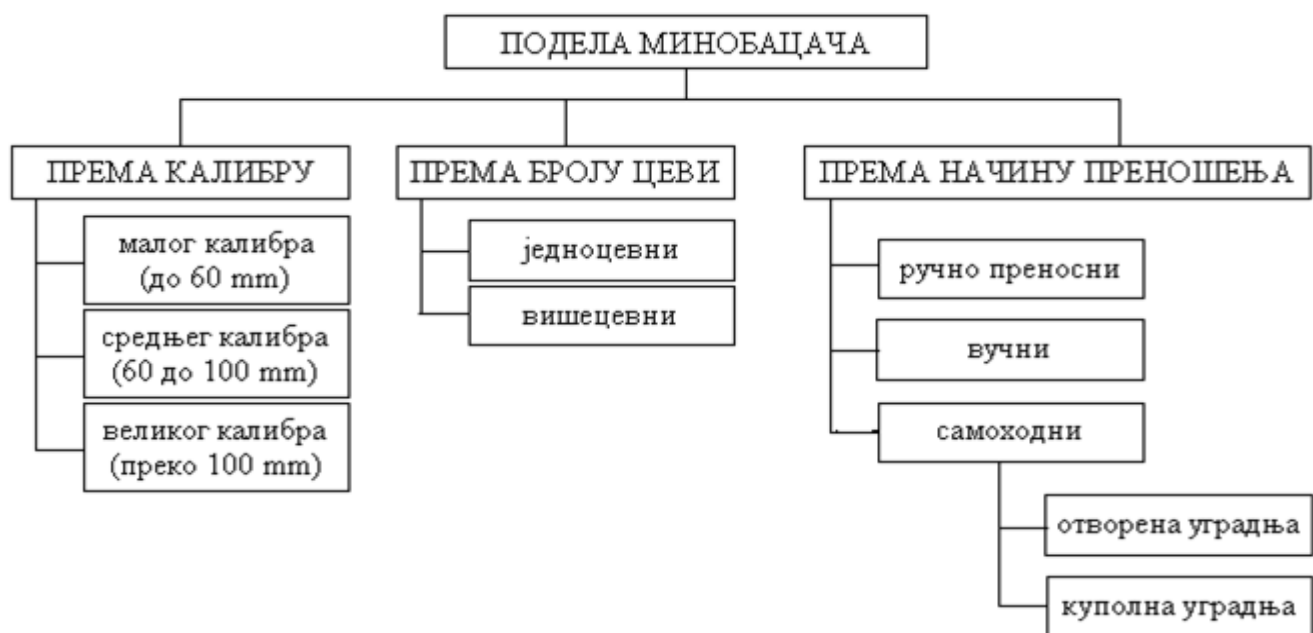
Данас се у копненој војсци настављају промене у области концепције боја. Те промене повукле су за собом измене програма у области пројектовања система наоружања, осматрања и праћења циљева с акцентом на куповину лаких, мобилних система који се могу транспортовати авионом, на бази средњег (по маси) оклопног возила.

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 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):

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



Слика 1: Подела минобацача [1]

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 2) и системи код којих се гађање врши ослањањем минобацача преко подлоге на тло (слика 3).



Слика 2: TDA 120 mm 2R2M минобацачки систем



Слика 3: Самоходни минобацач 240 mm Тулипан [1]

У почетку, минобацачи су искључиво конструисани као једноцевни, али пред крај двадесетог века у употребу су уведени и као вишецевни системи, који могу бити чак и куполно уграђени (слика 4).



Слика 4: AMOS 120 mm на CV-90 [1]

Калибар 120 mm представља најчешћи и најмањи калибар тешких минобацача. У оквиру ове категорије постоје велике разлике у моделима, где су неки већи и тежи док су други модели лакши и покретљивији. У овој групи постоје минобацачи са глатком и са ожљебљеном цеви, мада су модели са ожљебљеном цеви ограничени на Француски TDA. Разлика постоји и у томе за какву су тактичку употребу минобацачи калибра 120 mm предвиђени. Неке војске их и даље сматрају пешадијским наоружањем, док их друге разматрају као потенцијалну ватрену моћ и додељују им место у сектору артиљерије.

Ове три категорије минобацача, лака, средња и тешка су основне, али може се рећи да постоје и нека одступања. Једна од њих је то што је неколико земаља има склоности ка прављењу већих калибара него што је калибар 120 mm, то јест минобацача 160 и 240 mm. Ова огромна и тешка специјализована оруђа намењена су за прелазак са гађања тачкастих циљева на гађање утврђених објеката. Као што се очекује њихова величина их сврстава у ред артиљерије.

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 TDA 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 Vammass-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.

Првенствена верзија AMOS минобацачког система је уграђена на гусеничар CV-90 и точкаш XA-185 Pasi и касније је предложено 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 5).

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



Слика 5: Самоходни минобацач 120 mm AMS [1]

И руске оружане снаге имају три оваква система. Лаки минобацач СО-120 (2С9) Нона-С (слика 8) својом ватреном моћи обезбеђује подршку падобранским јединицама, док 2С23 Нона-СВК (слика 7) представља систем постављен на модификовани точкаш БТР-80. Минобацач 2С31 Вена (слика 6) 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 ватрени положај, пре него јединица буде откривена од стране радара и на њу узвраћено ватром.



Слика 6: 2С31 Вена [1]



Слика 7: 2С23 Нона-СВК [1]



Слика 8: СО-120 (2С9) Нона-С [1]

Табела 1: Основне карактеристике самоходних минобацача

Назив и ознака оруђа	Тулипан	2С23 Нона-СВК	М66	МО-120 LT	АМОS	АМS	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-om 2, лако оклопљеним возилом (слика 9). 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.



Слика 9: Минобацач 120 mm на Wiesel-y 2 [1]

1.5 Преглед савремених минобацача отворене уградње

У даљем тексту дат је преглед неких значајнијих минобацача отворене уградње.

Минобацачи иако запостављени у великим операцијама последњих година двадесетог века нису изгубили свој значај. Напротив, њихово место у борбеном распореду постаје све значајније. Употреба таблица гађања и ручно заузимање елемената гађања замењени су уређајима за управљање ватром. Интелигентна муниција, ГПС навођени пројектили и поткалибарна муниција дају минобацачима нову улогу и већу прецизност. До повећања маневарских способности, заштите послуге, повећања брзине гађања и скраћивања времена реаговања дошло се уградњом минобацача на оклопна возила са интегрисаним системима за управљање ватром и аутоматским механизмима за пуњење.

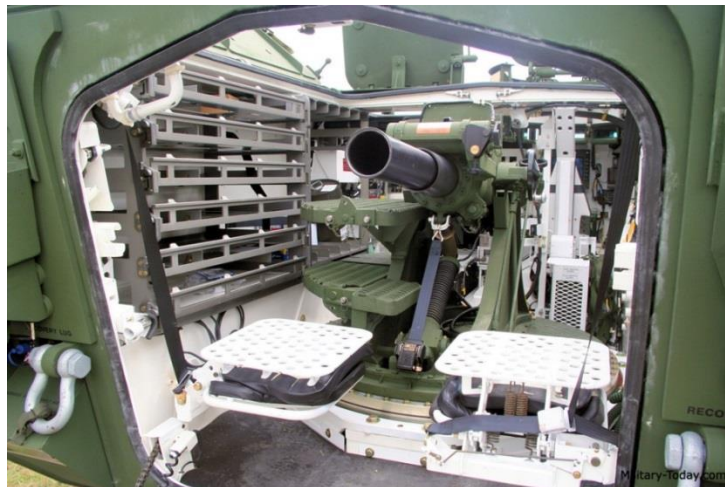
1.5.1 Самоходни минобацач M1129 Stryker 120mm



Слика 10: M1129 Stryker самоходни минобацач пружа индиректну ватрену подршку пешадијским јединицама [9]

Табела 2 : Основне карактеристике

Посада	5 чланова
Тежина	19.4 t
Дужина	6.95 m
Ширина	2.72 m
Висина	2.64 m
Максимални домет	6.8 km
Максимална брзина гађања	16 граната/min
Мотор/снага	Caterpillar 3126 diesel/350 KC
Максимална брзина	100 km/h



Слика 11 : Унутрашњост самоходног минобацача M1129 Stryker [9]

Самоходни минобацач M1129 је члан породице оклопних возила Stryker. Подржава операције пешадије како у сложеним теренима тако и у урбаним срединама. Прва произведена возила ушла су у службу америчке војске 2005. године. Тренутно је америчка војска једини оператер овог артиљеријског система.

M1129 је опремљен са 120 mm минобацачем Soltam Cardom, који испаљује читав спектар муниције, укључујући тренутно-фугасне, прецизно вођене, гранате двоструке улоге, димне, осветљавајуће и ИЦ осветљавајуће. Овај минобацач гађа са постављене позиције унутар возила. Пуца кроз кровне заштите које се отварају на врху возила приликом гађања. Уколико је неопходно минобацач се такође може и демонтирати. Максимални домет је 6800 m. Брзина брзе паљбе је 16 граната у минути. Први хитац се може испалити у року од једног минута од заузимања ватреног положаја. Борбени комплет чини 60 граната.

Возила на нивоу батаљона додатно носе и други 81 mm минобацач док возила на нивоу чете имају 60 mm минобацаче. Оба лака минобацача могу се користити и демонтирана са возила. Само један, или 120 mm или 81/60 mm могу се користити у одређено време.

Секундарно наоружање се састоји од митраљеза 7.62 mm монтираног на крову који се користи за самоодбрану од пешадијске ватре. Основни оклоп M1129 пружа заштиту до калибра 7.62 mm. Додатна заштита у виду керамичких плочица може се додати за повећавање заштите. Са примењеном додатном заштитом возило је обезбеђено и до калибра 14.5 mm. Подвозје овог самоходног минобацача дизајнирано је да преживи експлозије мина. Унутрашњост је обложена кевларом који штити посаду. Возило је опремљено системом НХБ заштите и аутоматским системом за гашење пожара. M1129 Stryker који се налазе у борбеним зонама опремљени су заштитним оклопом који пружа заштиту од ручних бацача ракета.

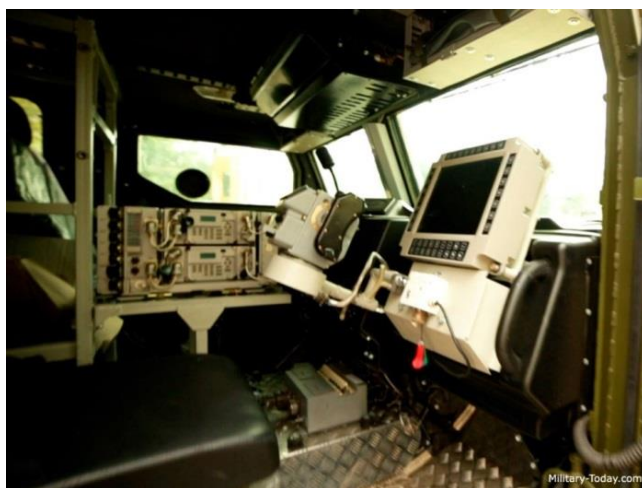
Овај артиљеријски систем је опремљен системом за управљање информацијама на бојном пољу, који се повезује са другим слично опремљеним возилима и командним положајима. Такође поседује и дигитални систем за контролу ватре са интегрисаним навигационим системима, системе за позиционирање и нишањење. Овај систем за контролу ватре може да ради у аутоматском режиму постављања, када прима циљане податке из позиције посматрања.

Возило има посаду од пет чланова, укључујући команданта, возача, стрелца, асистента стрелца и носача муниције.

Самоходни минобацач M1129 Stryker монтиран је на модификовану верзију шасије Stryker. Возило покреће Caterpillar 3126 турбопуњени дизел мотор развијајући 350 КС. Мотор и пренос могу бити уклоњени и поново инсталирани за мање од сат времена. Погонски точкови могу се пребацивати између 8x4 и 8x8 конфигурације. Обично се користи 8x4 конфигурација, док се 8x8 укључује за вожњу ван путева. Возило је такође опремљено централним системом за гуме. Овај минобацач није амфибијски.

M1129 Stryker може се превозити помоћу авиона C-130 Hercules или већим транспортним авионима. Сваки Stryker пешадијски батаљон има укупно 10 минобацача.

1.5.2 Самоходни минобацач Floks 120mm



Слика 12: Унутрашњост кабине Флокса [10]



Слика 13 : Спољашњи изглед самоходног минобацача Флокс 120mm [10]

Floks је нови руски самоходни минобацачки систем. Први пут је јавно објављен 2016. године. Изгледа да је овај нови артиљеријски систем усмерен и на могућност потребе Руске војске. Предложено је да Флокс замени вучене артиљеријске системе сличног калибра у руској војсци. Такође се нуди и за извоз.

Камионски артиљеријски систем комбинује карактеристике минобацача и хаубица. Може пружити директну и индиректну ватрену подршку. Русија је једна од ретких земаља која послује са јединственим артиљеријским системима. Осим тога, ово возило је ново у концепту, јер је то први систем овог типа.

Floks је монтиран на шасији камиона Ural-4320 6x6. Овај камион се широко користи у Русији. Његово наоружање користи неке компоненте 2S31 Вена самоходног минобацача.

Овај артиљеријски систем од 120 mm је компатибилан са свим пројектиlima, развијеним за совјетско-руске комбиноване системе оруђа / минобацача од 120 mm, као што је 2С9 Нона-С. Може да гађа различитом муницијом, укључујући кумулативне, парчадно-разорне и димне. Максимални домет са овом муницијом износи 13 km. Такође овај артиљеријски систем може испаљивати било које минобацачке гранате калибра 120 mm. Максимални домет у том случају јесте 7.5 km.

За прецизне нападе на оклопне циљеве, Флокс може користити прецизну вођену муницију Китолов-2М. Оне имају домет од 10 km. Дакле, у целини то је вишенаменско оруђе, које се може користити као хаубица или минобацач. Борбени комплет се превози и чини га укупно 80 граната. 28 граната су спремне за употребу. Више граната може носити пратилац камиона, одговарајуће логистичко возило.

Максимална брзина гађања је до 8 граната у минути када се гађа артиљеријским гранатама и до 10 минобацачких граната у минути.

Флокс поседује савремени систем управљања ватром, који обећава добру тачност гађања. Овај артиљеријски систем може размењивати податке о паљби с припадајућим командним возилом. Такође, може одабрати циљеве и деловати потпуно независно.

Овај артиљеријски систем је намењен да дејствује близу линије фронта. Дакле, возило има оклопну кабину за посаду. Она штити посаду од ватреног оружја и парчади артиљеријске муниције. Под кабине издржава експлозије еквивалентне 2 kg ТНТ-а. Возило је, такође, опремљено НБХ заштитним системом.

Возило је опремљено даљинском управљивом борбеном станицом, наоружаном митраљезом од 12,7 mm. Користи се за самоодбрану. Такође постоје и пушкарнице како би посада дејствовала својим индивидуалним оружјем.

Овим артиљеријским системом управља посада од 4 члана. Потребно је неколико минута да се припреми Флокс за паљбу. Овај артиљеријски систем може за кратко време напустити ватрени положај како би се избегла ватра непријатеља.

Флокс је погоњен дизелским мотором са турбо пуњењем, развијајући 300 КС. Упарен је са петостепеним мануелним мењачем. Возило поседује пун погон на свим точковима и опремљен је централним системом за гуме. Последње поменуто побољшава мобилност на терену преко тешког терена, као што су песак, снег и блато. Са припремом, возилом је могуће савладати водене препреке до дубине 1,75 m.

Табела 3 : Основне карактеристике

Посада	4 члана
Тежина	~13 t
Дужина	~8 m
Ширина	2.5 m
Висина	~3 m
Максимални домет	13 km
Максимална брзина гађања	до 10 граната/min
Мотор/снага	diesel/300 KC
Максимална брзина	85 km/h

1.5.3 Самоходни минобацач LePzMrs 120mm



Слика 14 : *The Leichter Panzer Morser 120 mm - немачки минобацач, заснован на Wiesel 2 [11]*

Табела 4 : Основне карактеристике

Посада	3 члана
Тежина	4.78 t
Дужина	4.78 m
Ширина	1.87 m
Висина	~2.11 m
Максимални домет	6 km
Максимална брзина гађања	6 граната/min
Мотор/снага	Volkswagen diesel/109 KC
Максимална брзина	70 km/h



Слика 15 : Изглед самоходног минобацача *Leichter Panzer Morser 120 mm* [11]

MaK Systems (сада Rheinmetall) развио је породицу оклопних возила Wiesel 2 која су преносива транспортним авионима. Разне верзије овог вишенаменског оклопног возила су у служби у Немачкој војсци. Постоји и варијанта модела Wiesel 2 конфигурисана као самоходни минобацач од 120 mm. Први прототип минобацача је завршен 1997. године. Године 2002. немачко министарство одбране је доделило уговор Rheinmetall-у за снабдевање два минобацача за испитивање и процену. Они су испоручени 2004. године. Током 2005. године ова два минобацача су тестирана у САД на испитивање врућег времена и у Шведској на испитивање на хладном времену. У 2009. години немачко МО је доделило уговор о производњи за 8 јединица. Подразумева се да су та возила испоручена до 2011. године. Од 2015. године, Немачка војска је наручила укупно 20 ових минобацача са самоходним погоном. Ознака немачке војске за овај минобацач је Leichter PanzerMörser 120 mm или LePzMrs 120 mm кратко. Овај минобацач је употребљаван у Авганистану. Самоходни минобацач Wiesel 2 никада није био извезен. Вероватно зато што друге земље немају потребе за овом класом јединствених ваздухом преносивих возила.

Овај артиљеријски систем је опремљен минобацачем од 120 mm. Има систем аутоматског управљања оруђа. Минобацач се ручно пуни, посредством стрелца. Када се напуни, 120 mm минобацач се спушта у хоризонтални положај. Затим се аутоматски враћа на одређени положај гађања. LePzMrs гађа стандардном минобацачком муницијом од 120 mm, укључујући и експлозивне, димне и осветљавајуће гранате. Такође је компатибилан са вођеном муницијом, као што је Stryx паметна вођена граната. Максимални домет је до 6000 m. Укупни борбени комплет од 27 граната укључује 25 обичних граната и 2 вођене гранате. Максимална брзина гађања је 6 граната у минути. Таква ватра може се одржати 3 минута.

Овај минобацач је такође наоружан митраљезом од 7,62 mm постављеним на крову за самоодбрану. Минобацач Wiesel 2 има напредни систем за контролу ватре.

Возило има заварени челични труп. Међутим, оклоп овог минобацача је танак и нуди прилично ограничену заштиту. Оклоп штити посаду само од ватреног оружја и артиљеријских парчади. Возило је опремљено НБХ заштитним системом. Штавише, читав процес пуњења минобацача има потпуну заштиту НБХ.

Две стабилизацијске стопе са задње стране спуштене су на земљу пре гађања. Важно је напоменути да се LePzMrs 120 mm може учинити много бржим од стандардног вучног минобацача. Може отворити ватру у року од 60 секунди од заузимања ватреног положаја. Такође, може за кратко време да напусти положај гађања како би избегли непријатељску ватру. Овај минобацач има посаду од три члана, укључујући командира, пуниоца и возача.

Шасија LePzMrs 120 mm је готово идентична оној код модела Wiesel 2. Возило покреће Volkswagen 1.9 литарски турбопуњени дизел мотор, развијајући 109 КС. Мотор и мењач се могу заменити у условима на терену у року од 15 минута. Возило има добру мобилност због мале тежине, праћења конфигурације и последично ниског притиска на земљи. Могуће је поставити опрему како би се савладавале водене препреке.

Возило је у потпуности транспортабилно хеликоптером СН-53. Овим хеликоптером се може носити и испод. Важно је напоменути да се хеликоптери СН-53G широко користе у немачкој војсци. Самоходни минобацач Wiesel 2 може се, такође, превозити ваздухопловима за војни транспорт.

Типична немачка војна јединица LePzMrs састоји се од два водова минобацача, свака са 4 минобацача, плус командно возило на бази Мунго 4x4 оклопног возила и центра за управљање ватром. Циљне информације се добијају од официра за навођење. Ако је потребно, сваки минобацач може самостално да ради.

1.5.4 Самоходни минобацач 2S4 Тулипан 240mm



Слика 16: Тренутно 2С4 Тулипан је највећи калибар минобацача који постоји [12]

Табела 5 : Основне карактеристике

Посада	5 чланова
Тежина	27.5 t
Дужина	6.45 m
Ширина	3.25 m
Висина	3.2 m
Максимални домет	9.6/19 km
Максимална брзина гађања	1 граната/min
Мотор/снага	V59 diesel/520 KC
Максимална брзина	62 km/h

Самоходни минобацач 2С4 Тулипан развијен је крајем 60-их година. Први прототип је завршен 1969.године. Уведен је у оперативну употребу армије Совјетског савеза 1971.године. Направљено је преко 400 оваквих самохотки. Примењиван је у Афганистану и Чеченији.

Возило је опремљено са екстерно уграђеним минобацачом од 240 mm. Израђен је на бази вучне варијанте минобацача М-240 2С4 и гађа свим врстама мина, развијеним за М-240 укључујући високоексплозивне, противоклопне и хемијске мине. Стандарна високо-експлозивна мина има масу од 130kg и домет од 9.6km. Максимални домет од 19 km остварује са активно реактивним гранатама(минама). Минобацач 2С4 може гађати и ласерски навођеном муницијом. Постоје тврдње да је Тулипан такође у могућности да гађа минама са нуклеарном бојевом главом.

Муниција је распоређена у два аутоматска простора за складиштење муниције у облику добоша. Борбени комплет чине 40 обичних мина или 20 мина са ракетним погоном. Због велике величине оружја и тежине муниције, максимална брзина ватре је само један пројектил у минути.

Оклоп овог возила пружа заштиту од ватреног оружја и артиљеријских парчади. Митраљез од 7,62 mm постављен је изнад командантове туреле за одбрану. Дизелски мотор V59, развијајући 520 KC, налази се у предњем делу возила.

1.5.5 Самоходни минобацач GMM-120 120mm

Самоходни минобацач ГММ-120 је грузијски предложени концепт оклопних минобацача са аутоматизованим пуњењем. Систем развија STC DELTA.



Слика 17: Спољашњи изглед ГММ-120 [13]

Возило је конструисано око шасије 6x6 транспортних возила MAN KAT1 који се првенствено користе у војне сврхе. Састоји се од две главне компоненте и три независне секције са кабином за посаду која се налази у центру која нуди простор за четири путника или артиљеријско особље и велики задњи део који обухвата аутоматизовану артиљеријску станицу. Оружје се чува и остаје скривено унутар носача све док се не отворе велики кровови у припреми за дејство ватре.

Табела 6 : Основне карактеристике

Посада	5(6) чланова
Тежина	
Дужина	8.4m
Ширина	2.8m
Висина	2.8m
Максимални домет	7100 m
Максимална брзина гађања	15граната/min
Мотор/снага	
Максимална брзина	

Возило је опремљено са неколико слојева оклопа који пружају свеобухватну заштиту у складу са STANAG 4569 нивоом 2.

Примарно оружје ГММ-120 је аутоматизована оружана станица опремљена дигиталном контролом ватре и навигацијом са ГПС-ом. Подржан је најсавременијим комуникационим системом. Брзина гађања је 15 мина у минути са дометом од 480 до 7,100m. Возило може носити укупно 60 мина и муницију различитог типа са самим модулом који носи 10 мина док два одвојена контејнера носе по 25 мина. Оружје има дејство по правцу од 360 степени и угао елевације скоро 90 степени. Током транспорта оружје остаје прикривено и неће радити. Међутим, потребно је мање од минута да систем оружја буде спреман да гађа или да се пресели.

За самоодбрану, возило је наоружано са тешким митраљезом типа НСВ постављеним на врху кабине возача. Ово, међутим, пружа стрелцу само ограничени угао правца, тако да се возило мора суочити са претњом.

1.5.6 Самоходни минобацач Dragon Fire 120mm



Слика 18: *Mobile Dragon Fire 120mm [14]*

Тешки самоходни минобацач Dragon Fire 120 mm дизајниран је и произведен у француској компанији TDA Armaments чији је развој платио US Marine Corps. Потпуно је аутоматизован минобацач. Као и сви минобацачи дејствује под високим углом елевације и пружа индиректну подршку. Напредни систем за контролу ватре је у потпуности компатибилан са системом америчке војске, како би се смањио ризик од инцидентата пријатељске ватре.

Систем Dragon Fire је дизајниран тако да може да користи све врсте НАТО муниције како за глатке тако и за ожлебљене цеви од 120 mm. Максимални домет са класичним пројектилима износи 8.2km док са пројектилима са реактивним погоном износи 13km.

Још неки од примера приказани су на наредним сликама:



Слика 19: Самоходни минобацач 120mm PRAM-S на модификованој шасији BMP-1



Слика 20: Самоходни минобацач Type 96 120mm

1.6 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].



Слика 21: 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 мине је 17 m, а са близинским упаљачем 60-75 m.

Код димне мине 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].

Цев је глатка и тврдо хромирана, са константним пречником дуж целе дужине. На врху има ојачање, које служи да би се цев одвила од задњака. На задњем делу цеви налази се механизам за забрављење и окидање.

Обарач има 3 положаја (режима паљбе) појединачно, брзом ватром и укочено. Када стоји на јединачном режиму паљбе, пуниоц врши опаљење повлачењем канапа за опаљење, што је и уједно и најчешћи режим паљбе, а на минобацачу је означен словом Ј. При брзој паљби нишанџија окреће ручицу окидача у положај са нацртаном стрелицом на горе. У том случају мина ће се сама активирати при спуштању у цев. Трећи положај је укочено (У).

На слици 22 приказана је мина 120 mm лака ТФ М62П3 са упаљачем УТУ М78 [2].



Слика 22: Мина 120 mm лака ТФ М62П3 са упаљачем УТУ М78

Главни делови мине 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 мине М62П6 и М62П7 наоружавају савременијим упаљачем УТУ М93 [2].

Неки од битних конструкцијских података о минобацачу јесу следећи:

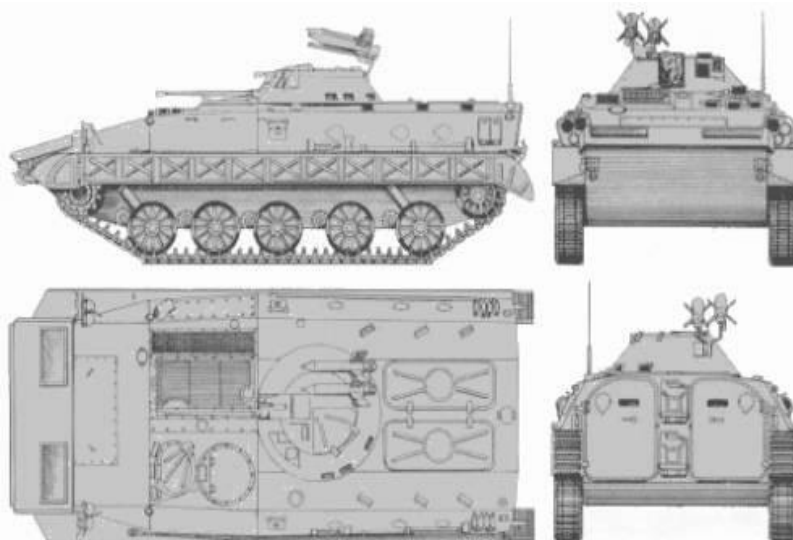
- ❖ маса минобацача у маршевском положају 261 kg,
- ❖ маса минобацача у борбеном положају 178 kg,
- ❖ маса цеви са задњаком 66 kg,
- ❖ маса двоножног лафета (бипода) 25 kg,
- ❖ маса подлоге 87 kg и
- ❖ укупна дужина цеви 1690 mm

док су подаци о мини(гранати) лака ТФ М62П3:

- ❖ маса мине 12.6 kg,
- ❖ маса експлозивног пуњења 2250 g тротила (тринитротолуен),
- ❖ маса барута у ПгПО 36 g,
- ❖ маса барута у ПгПД 75 g,
- ❖ површина попречног пресека мине 0.011183 m²,
- ❖ основно барутно пуњење НГБ (балистит)-161 трака (0.36x1.5x95) и
- ❖ допунско барутно пуњење НГБ-213 плочица (0.58x3.0x3.0)

1.7 Борбено возило пешадије М80-А

На слици 23 приказан је општи изглед борбеног возила пешадије М-80А.



Слика 23: Изглед БВП-а М-80А у различитим погледима [15]

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 артиљеријских 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 64mm или ручним бацачем кумулативних мина калибра 90mm, 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

Од свог настанка БВП-М80 претрпело је низ модификација које су резултат непрекидног истраживања и развоја у области борбених возила. Концепција возила слична је као код руског БМП-1.



Слика 24: Изглед борбеног возила пешадије М-80А

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 7.

Табела 7: Подаци за прорачун

Половина дебљине барутног зрна	0,00029 m
Запреминска маса 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	0,00278 m ³
Површина попречног пресека зазора	0,000132 m ²
Укупни пут пројектила у цеви	1,555 m
Однос специфичних топлота	1,2

Површина попречног пресека цеви се рачуна, [4]:

$$S_c = d^2 \pi / 4 \quad (1)$$

$$d = 120 \text{ mm}$$

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

Специфичан рад барутних гасова основног пуњења, [4]:

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

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

Коволумен барутних гасова, [4]:

$$\alpha = (1456 - 0,1103 \cdot Q_w) \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

$$\alpha = 0,00091$$

Јединична брзина сагоревања барута, [4]:

$$u_{z0} = (-76,6 + 0,0417 \cdot Q_w) \cdot 10^{-11} \quad (4)$$

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

Специфичан рад барутних гасова допунског пуњења [4]:

$$f_b = (6546 + 0,88 \cdot Q_w) \cdot 10^2 \quad (5)$$

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

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

Односи димензија барутног зрна, [4]:

$$\beta = \frac{2r_0}{2c} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{2r_0}{2b} \quad (7)$$

$$2c = L = 95 \text{ mm} \quad (8)$$

$$2b = D = 1,5 \text{ mm} \quad (9)$$

$$\beta = 0,0061$$

$$\gamma = 0,387$$

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

$$k = 1 + \gamma + \beta \quad (10)$$

$$k = 1,3931$$

$$\lambda = -\frac{\beta + \gamma + \gamma\beta}{k} \quad (11)$$

$$\lambda = -0,284$$

$$\mu = \frac{\gamma\beta}{k} \quad (12)$$

$$\mu = 0,00169$$

Коефицијенти облика k_1 и λ_1 , [4]:

$$k_1 = k \left(1 - \frac{\mu}{2}\right) \quad (13)$$

$$k_1 = 1,3679$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{k_1} - 1 \quad (14)$$

$$\lambda_1 = -0,26895$$

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

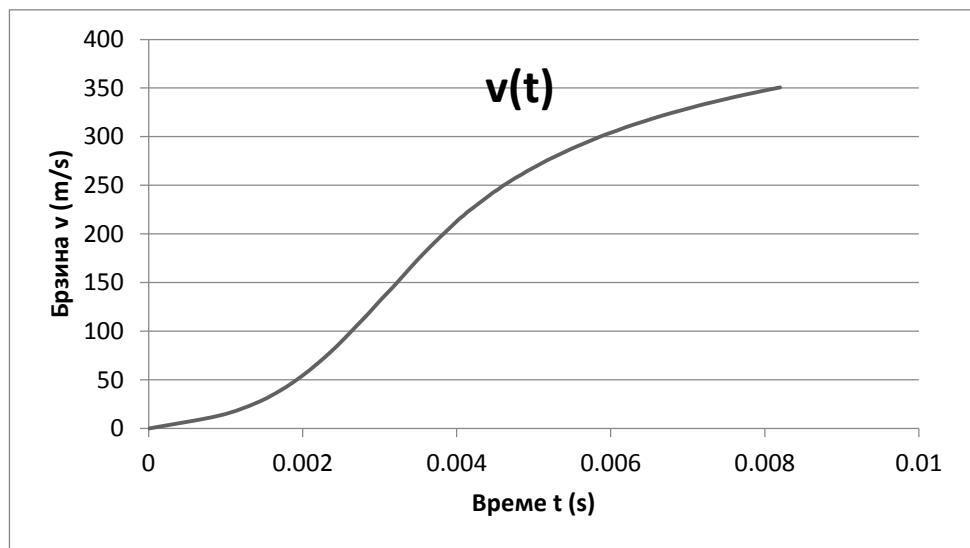
У табели 8 приказани су улазни подаци за унутрашње балистички прорачун.

Табела 8: 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	0,00278	m ³
Укупни пут пројектила у цеви	x_u	1,555	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
Јединична брзина 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	1,3679	/
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

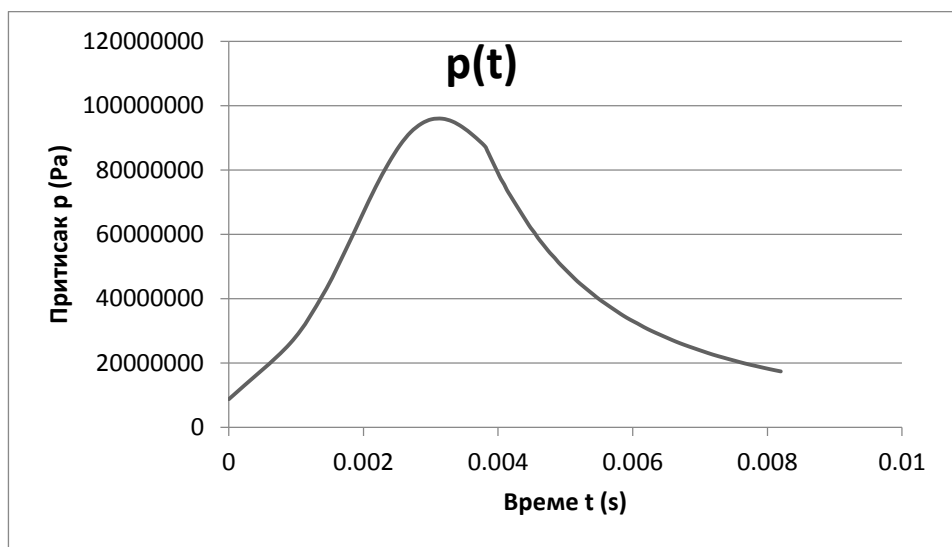
Прорачун је извршен методом Серебрјакова за минобацаче. На сликама 25,26,27 и 28 приказани су резултати, односно графичке зависности једног од другог параметра. Улазни и излазни подаци су дати у прилогу 2, а програмско решење из литературе, [5].

На слици 25 приказана је зависност промене брзине у јединици времена.



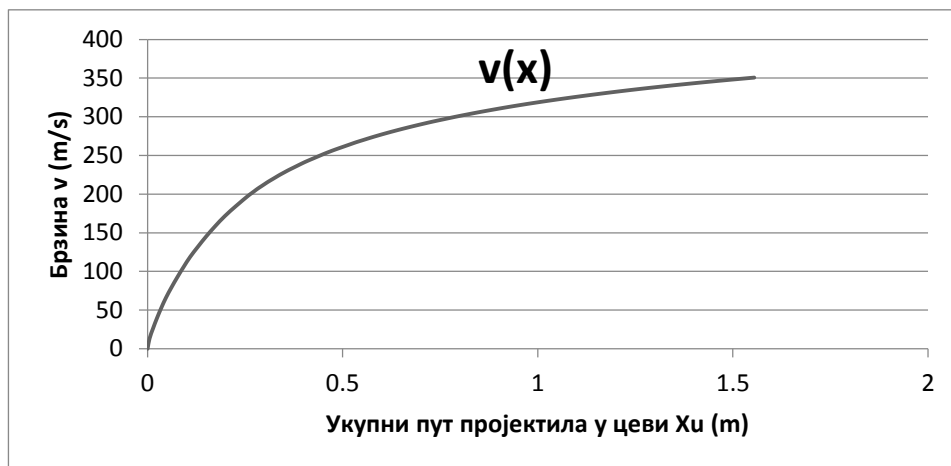
Слика 25: Промена брзине у јединици времена

На слици 26 приказана зависност промене притиска барутних гасова у јединици времена.



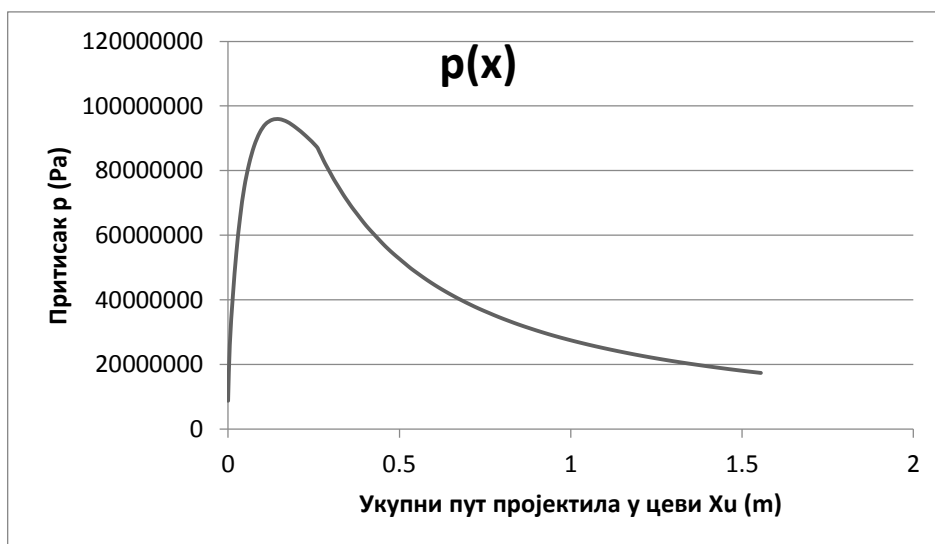
Слика 26: Промена притиска барутних гасова у јединици времена

На слици 27 приказана је зависност промене брзине пројектила од пређеног пута.



Слика 27: Зависност промене брзине пројектила од пређеног пута

На слици 28 приказана је зависност притиска барутних гасова у односу на пређени пут пројектила.



Слика 28: Зависност притиска барутних гасова у односу на пређени пут пројектила

Карактеристични подаци добијени прорачуном битни за даљи рад јесу максимални притисак барутних гасова $p_m = 95.93$ MPa и почетна брзина пројектила $v_0 = 350.5$ m/s.

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

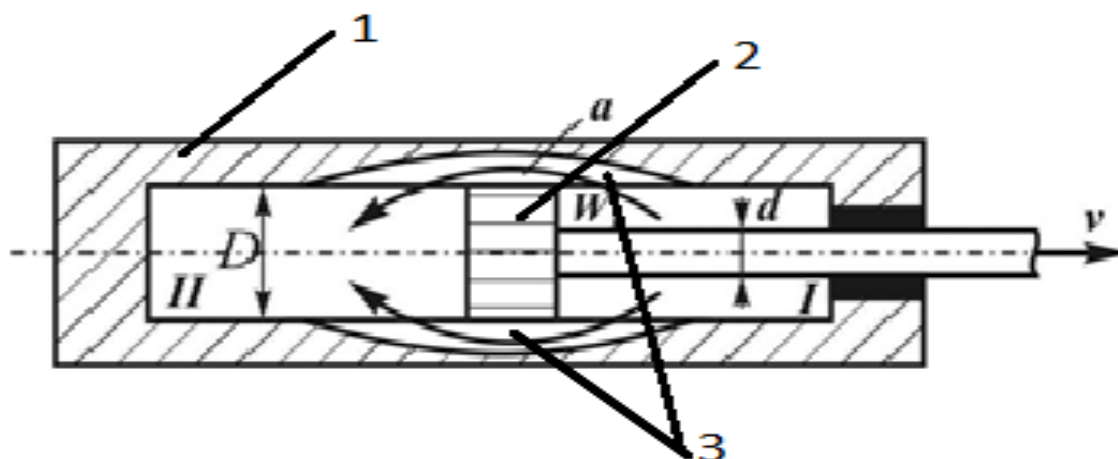
Најважнији део ПТУ је хидраулична кочница трзања јер се радом силе кочнице апсорбује до 80% кинетичке енергије трзања цеви, око 15% радом силе повратника и око 5% утроши се на механичка и хидрауличка трења на клизачима колевке и заптивним елементима ПТУ.

Прорачун ПТУ се састоји из кочнице трзања и повратника који би био опружног типа. Ове конструкције су релативно једноставне, поуздане и јефтине, што су битне карактеристике сваког новог уређаја.

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 рада коришћена је кочница трзања која је приказана на слици 29.

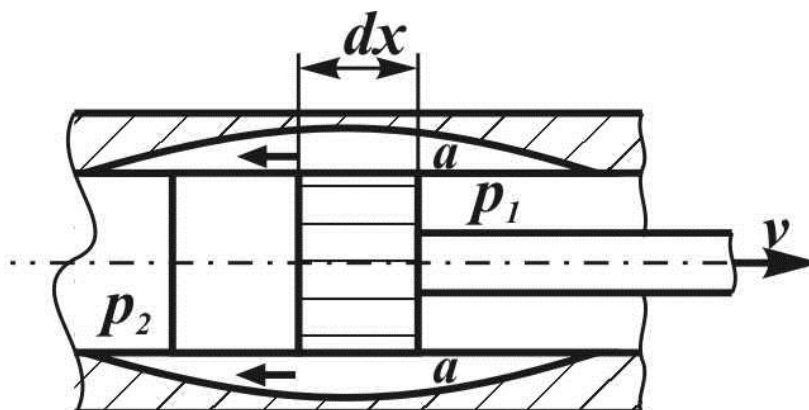


Слика 29: Приказ конструкције кочнице трзања једноставног типа [6]

Кочница се састоји од цилиндра 1, клипњаче са клипом 2 и проточних отвора 3. Цилиндар је напуњен са хидрауличном течностима. 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 30.



Слика 30: 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 (а) 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 $W=v$;
- притисак течности у простору II је $p_2=0$;
- клипњача 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 (φ - коефицијент трења, Ψ - 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 а и на изласку из отвора,
- a_x - укупна површина попречног пресека канала (отвора) за протицање.

За стварање кинетичке енергије елементарне масе утроши се први део рада силе кочнице $F_{k1}vdt$, па је:

$$F_{k1}vdt = p_1(A_k + a_x)dx = dE_k \quad (15)$$

Други део рада силе кочнице $F_{k1}vdt$ утроши се на савладавање вискозних отпора течности и он је пропорционалан првом делу рада, тј. важи релација:

$$F_{k2}vdt = \xi F_{k1}vdt \quad (16)$$

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

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

$$p_1(A_k + a_x)dx = (1 + \xi)F_{k1}vdt \quad (17)$$

$$p_1 = \frac{k\rho}{2} \left(\frac{A_k + a_x}{a_x} \right)^2 \cdot v^2 \quad (18)$$

где су:

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

$k = 1.4 - 1.6$

ρ - густина хидрауличне течности, за ХУНТ-С уље 900 kg/m^3 .

Пошто је сила отпора трзању хидрауличне кочнице:

$$F_k = p_1 A_k$$

Коначно се добија:

$$F_k = \frac{k\rho}{2} A_k \left(\frac{A_k + a_x}{a_x} \right)^2 \cdot v^2 \quad (19)$$

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

$$F_k = \frac{k\rho}{2} \frac{A_k^3}{a_x^2} v^2 - \text{Формула Канеа} \quad (20)$$

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

$$a_x = \sqrt{\frac{k\rho}{2} A_k^3 \left(\frac{v^2}{F_k} \right)} \quad (21)$$

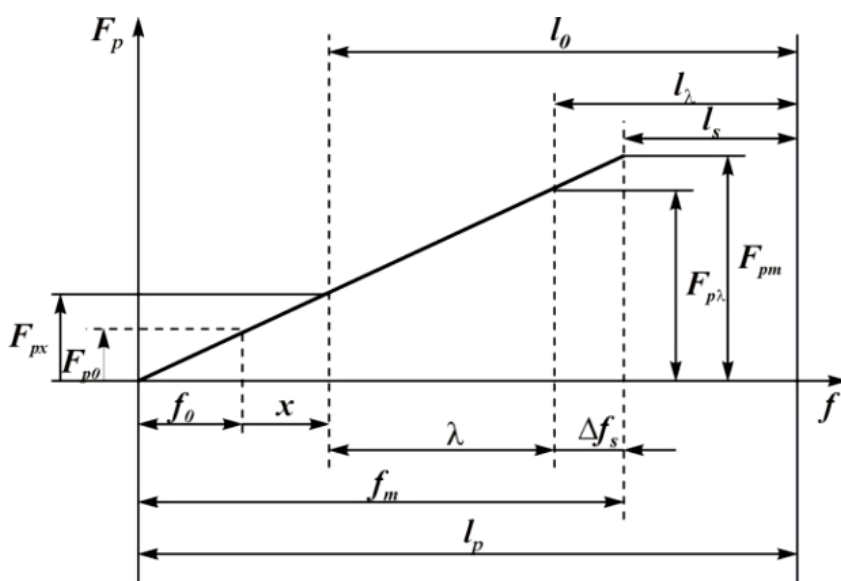
3.2 Повратници

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 потенцијалне енергије еластичног средства повратника, опруге или гаса. Акумулирана потенцијална енергија повратника омогућује враћање делова у предњи положај. Трзајући делови тј.цев се држе 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 належа 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 32) је почетна сила повратника F_{p0} (којом повратник делује на трзајуће делове у предњем положају), која мора задовољавати услов:

$$F_{p0} \geq M_t g (\sin \varphi_m + f \cos \varphi_m + v + \frac{F_0}{M_t g}) = (0.9 - 2.0) M_t g \quad (22)$$



Слика 31: Дијаграм карактеристика опружног повратника [8]

Ознаке датих величина на слици 31 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,

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

Тренутна вредност силе у повратнику је:

$$F_p = F_{p0} + CX \quad (23)$$

Крутост опруге је константна и износи:

$$C = \frac{F_{p\lambda} - F_{p0}}{\lambda} \quad (24)$$

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

$$F_{pm} = F_{p0} + C(\lambda + \Delta f_s) \quad (25)$$

Резерва угиба опруге је:

$$\Delta f_s = 0,1 d_z (n_r - 1) \quad (26)$$

где су:

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

n_r - број радних навојака опруге.

Противтрзајући уређај је неопходан код интеграције на мобилне платформе, зато што би се оптерећење изазвано опаљењем, односно трзањем склопа цеви пренело 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.

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.

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.

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 накладног дејства барутних гасова	
- сила притиска барутних гасова у тренутку $t = t_u$	$P_{knu} = p_u \cdot S_c$

Улазна датотека за извршење прорачуна ПТУ представља излазну датотеку УБ прорачуна.

Пошто је коефицијент дејства гасне кочнице једнак нули добија се да је брзина слободног трзања на крају другог периода (када престане накнадно дејство барутних гасова) једнака брзини трзања на крају првог периода трзања (када је пројектил на устима цеви).

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:

Интеграцијом диференцијалне једначине кретања трзајућих делова:

$$m_t \frac{dv}{dt} = P_{kn}(t) - R(t) \quad (27)$$

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

У прорачуну повратника користе се следеће величине:

– почетна, тренутна и крајња сила повратника,

– 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:

$$F_{p0} \geq (0.9 - 2.0) M_t g \quad (28)$$

Максимална сила трења која је највећа при максималном углу елевације је једнака:

$$F_{tr} = \mu \cdot m_t \cdot g \cdot \sin(E_{max}) \quad (29)$$

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

Највећа вредност силе повратника се може се рачунати по изразу

$$F_{plam} = s_k \cdot F_{p0} \quad (30)$$

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 и изабрана је вредност $s_k = 2$.

Крутост опруге се рачуна као:

$$C = \frac{F_{p\lambda} - F_{p0}}{\lambda} \quad (31)$$

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

$$F_p = F_{p0} + C \cdot x \quad (32)$$

Остаје још да се одреде величине проточних отвора како би били познати сви параметри ПТУ-а . Како је сила отпора трзању једнака:

$$R = F_k + F_p + F_{tr} - Q_t \cdot \sin(E_{max}) \quad (33)$$

добиа се да је сила кочнице:

$$F_k = R - F_p - F_{tr} + Q_t \cdot \sin(E_{max})$$

Израз за прорачун величине проточних отвора је:

$$a_x = \sqrt{\frac{k\rho}{2} A_k^3 \left(\frac{v^2}{F_k}\right)} \quad (34)$$

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

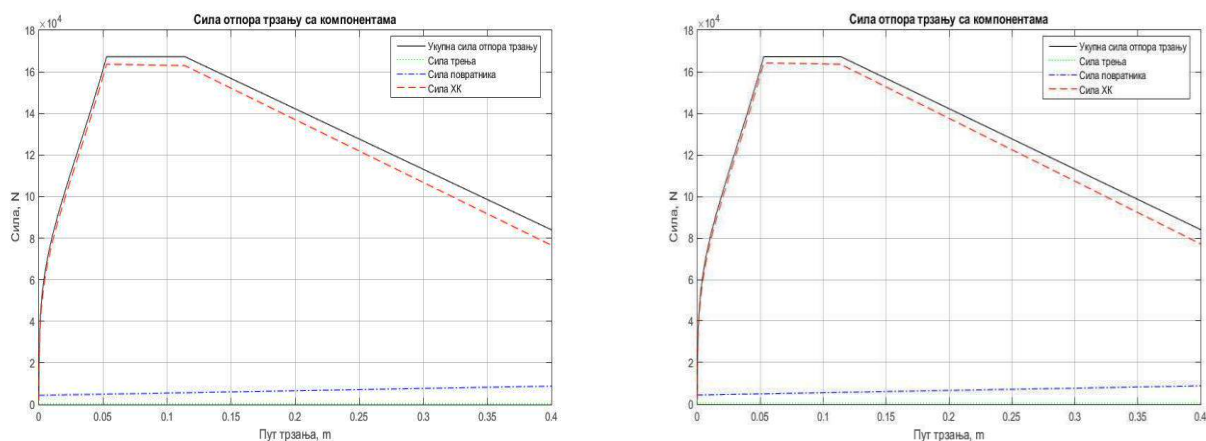
A_k - активна површина клипа (површина на коју делује сила) .

3.4 Анализа података добијених прорачуном у програмском пакету MATLAB

Код вучне варијанте минобацача је веома мала трзајућа маса од 66 kg, која је око 5 пута већа од масе пројектила (12.6 kg), који напушта уста цеви, брзином од 350m/s. У складу са тим, повећана је трзајућа маса на 250 kg и тиме су вредности брзине трзања на крају првог периода и дужина трзања доведене до прихватљивих вредности од 15 m/s брзине трзања и дужине трзања од 0.4 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 линеарно расте да би на крају првог и почетку другог периода трзања достигла максимум. Други период представља константну вредност, а када престане дејство барутних гасова и почне трећи период трзања сила линеарно опада. Тиме се обезбеђује правилно кретање трзајуће масе и њених делова током опађења. Слика 32 показује промену силе отпора трзању у зависности од дужине трзања.

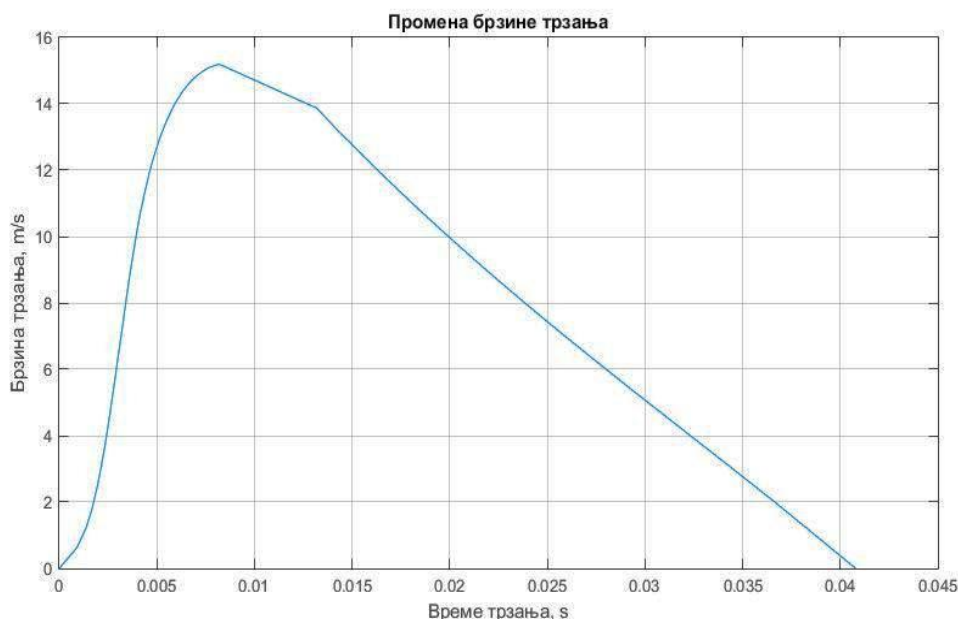


Слика 32: Зависност силе отпора трзању од пута трзања, за угао елевације 45° и 85°

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 преднапон, да би могла држати трзајућу масу у предњем положају при свим угловима елевације. Сила F_p је у константном порасту. Почетна вредност силе повратника $F_{p0} = 4414.5 \text{ N}$. Сила коју ствара преднапрегнута опруга је 8829 N . На сликама се види и промена силе отпора трзању од почетне вредности од 5000 N како расте до 167280 N , затим одржава ту вредност да би након тога линеарно опадала до вредности од 84020 N .

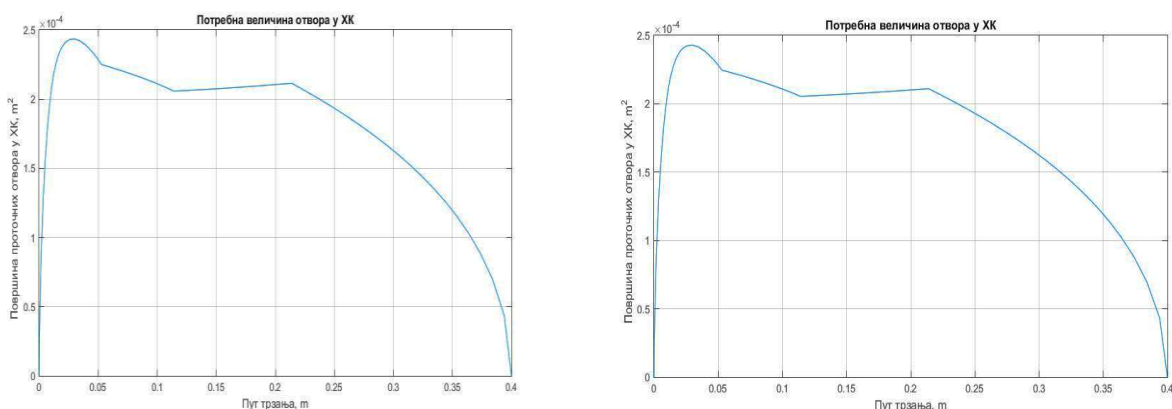
Ове промене су исте како за максимални тако и за минимални угао елевације док се једино разликују вредности силе ХК. За максимални угао елевације од 85° почетна вредност силе износи 2540 N а за минимални 1970 N . Максималне вредности силе ХК износе 164240 N и 163670 N за максималну и минималну елевацију, респективно. Након тога вредности силе линеарно опадају све до вредности од 77140 N за максимални угао и до 76580 N за минимални угао елевације.

Промена брзине трзања са променом времена трзања дата је на слици 33.



Слика 33: Зависност брзине трзања од времена трзања

Циљ прорачуна је био одређивање 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 34 се може видети константно повећање, до приближно 2.45×10^{-4} m, што одговара вредности 0.03m пута трзања, а затим се може видети пад вредности до 0 све до краја трзања. Такође при углу од 45° приметна је незнатна разлика у максималној величини проточних отвора. То значи да се може усвојити средња вредност добијених профила проточних отвора за више испитаних елевација.



Слика 34: Зависност површине проточних отвора од пута трзања

4. ПРЕДЛОГ КОНСТРУКЦИЈСКОГ РЕШЕЊА

Борбена возила су веома често опремљена куполама. Куполе представљају носач (горњи лафет) основног наоружања. У оквиру овог рада постојећа купола са припадајућим наоружањем са возила БВП М80А се уклања како би се извршила отворена уградња минобацача 120mm М75.

На следећим сликама по корацима је приказан процес формирања конструкцијског решења.

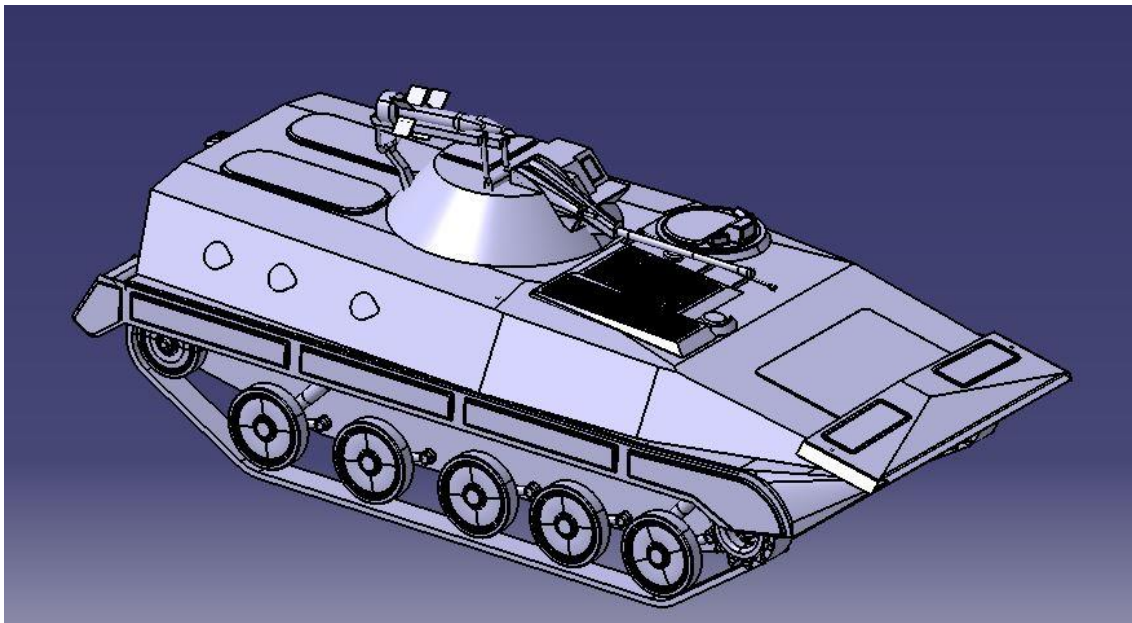
Склоп минобацача састоји се од:

- цеви минобацача са задњаком,
- противтрзајућег уређаја (хидрауличне кочнице и повратника),
- колевке,
- аутоматског пуњача,
- горњег лафета,
- обртне платформе и
- цилиндара који служе за заузимање елевације.

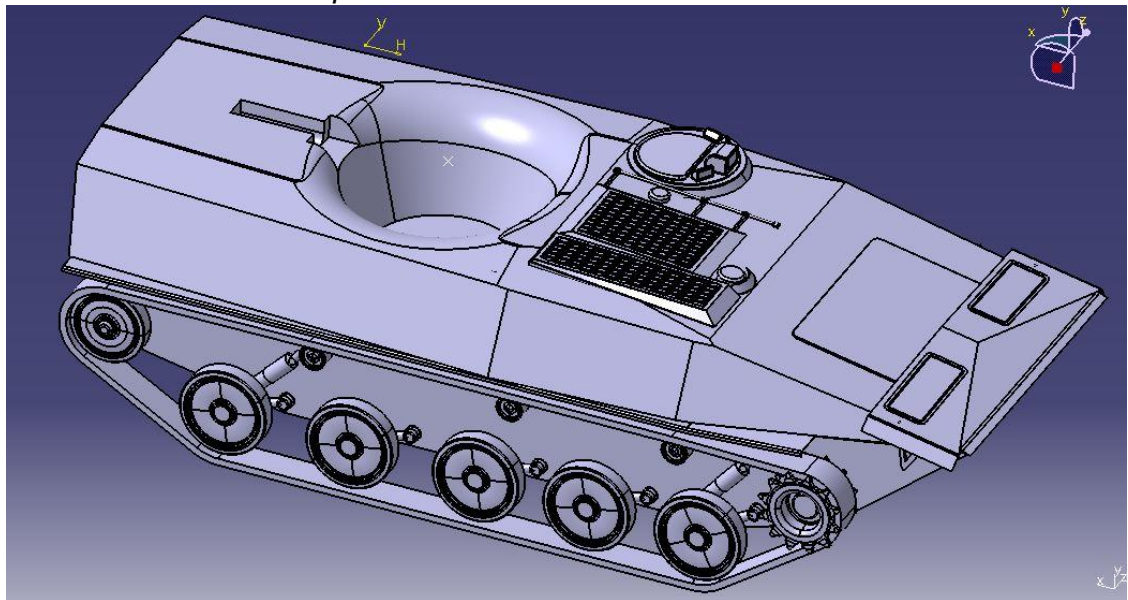
На постојећем тродимензионалном моделу борбеног возила пешадије БВП М80А у стварним величинама извршена је промена у виду уклањања куполе са наоружањем и формирање конусног отвора између простора који заузима кабина возила и резервоар.

На слици 35 приказан је модел БВП М80А а на следећој слици 36 модел са формираним отвором.

За формирање идејног решења коришћен је инжењерски софтвер Catia V5.



Слика 35: Тродимензионални модел возила БВП М80А

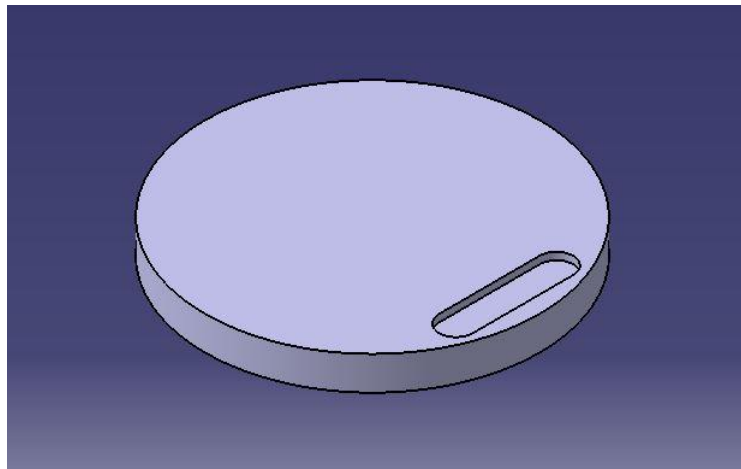


Слика 36: Уклоњена купола са наоружањем и формиран отвор у тродимензионалном погледу

На слици је поред конусног отвора приказан и прорез који има улогу утврђивача цеви при маршу.

Даље се приступа формирању минобацачког склопа.

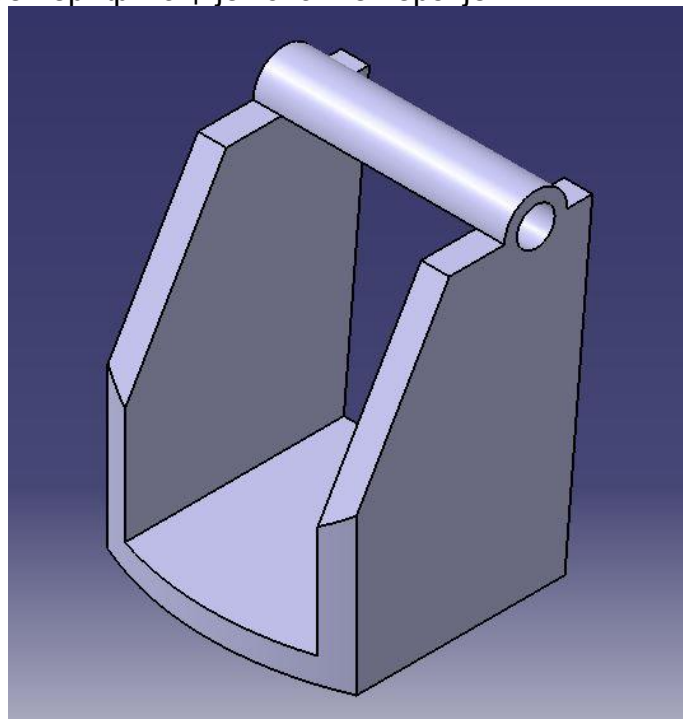
При дну отвора пречник износи 1m тако да обртна платформа која омогућава гађање у свим угловима правца има поменућу вредност пречника. Модел обртне платформе приказан је на слици 37.



Слика 37: Изглед обртне платформе

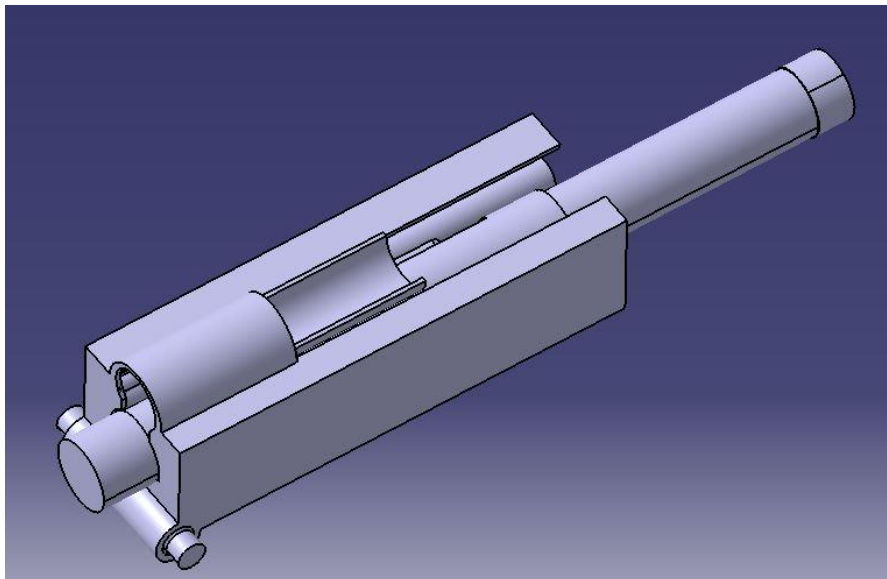
Клинасти отвор приказан на слици служи за везивање елевационих цилиндара који ће бити приказани у даљем раду.

Горњи лафет је намењен за повезивање делова оруђа покретних по елевацији. Он обезбеђује уграђеном наоружању и опреми потребну стабилност и прихватање вибрација при гађању и маршевању. Горњи лафет има карактеристичан облик који је у највећем броју случајева унифициран због своје доказане ефикасности приликом полигонских гађања. Наравно, ово је само груба претпоставка изгледа горњег лафета. Оптимизација облика, масе, дебљине страница лафета и евентуална ојачања би била извршена и испитана пре верификације коначне верзије.



Слика 38: Карактеристичан изглед горњег лафета

Даље је приказан изглед склопа цеви који ће бити детаљније објашњен.



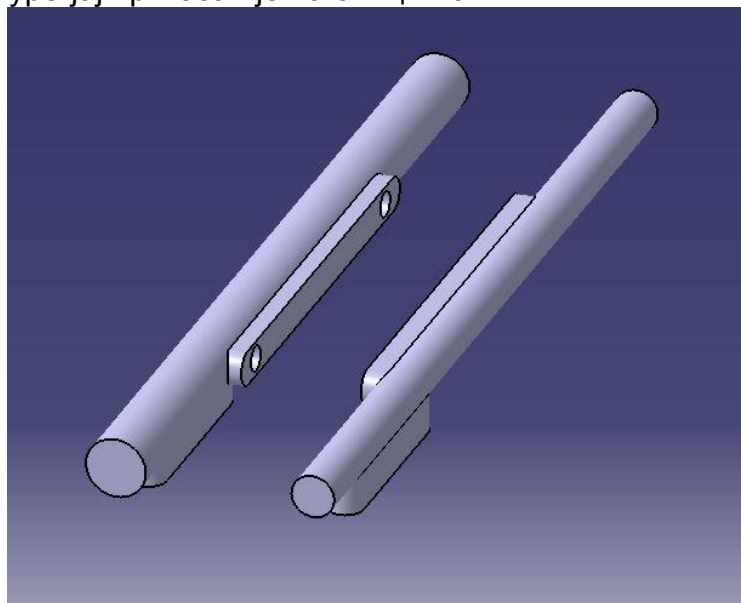
Слика 39: Склоп цеви минобацача

Приказан склоп цеви чини колевка, противтрзајући уређај (хидраулична кочница и повратник), цев као и аутоматски пуњач.

Идеја аутоматског пуњача јесте ограничено кретање по дужинској оси цеви изнад цеви клизним механизмом све док се пуњач не нађе на устима цеви када мења кретање и заузима само кретање по попречној оси довољно да се поклопи уздужна оса мине са уздужном осом цеви како би мина без икаквих проблема склизнула до ударне игле и покренула процес опаљења.

Коришћењем аутоматског пуњача значајно се повећава каденца и напор посаде своди на најмању меру. Пуњач се поред клизног механизма састоји и од касете која носи минобацачку гранату која се преузима са задње стране возила у делу у којем је на прошлом решењу била смештена посада коју у овом случају чине само три члана (возач, командир и оператер).

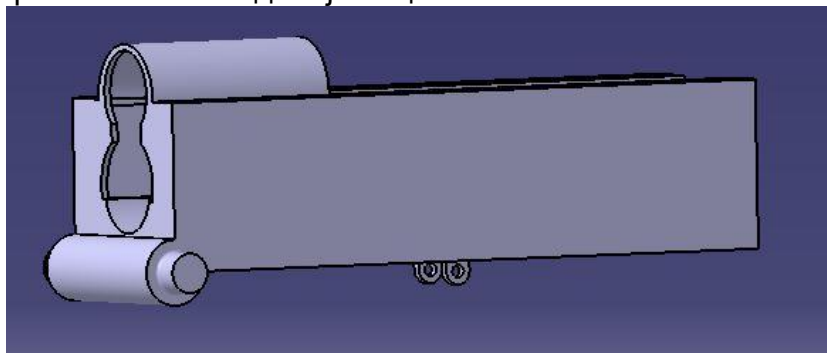
Противтрзајући уређај приказан је на слици 40.



Слика 40: Хидраулична кочница и повратник

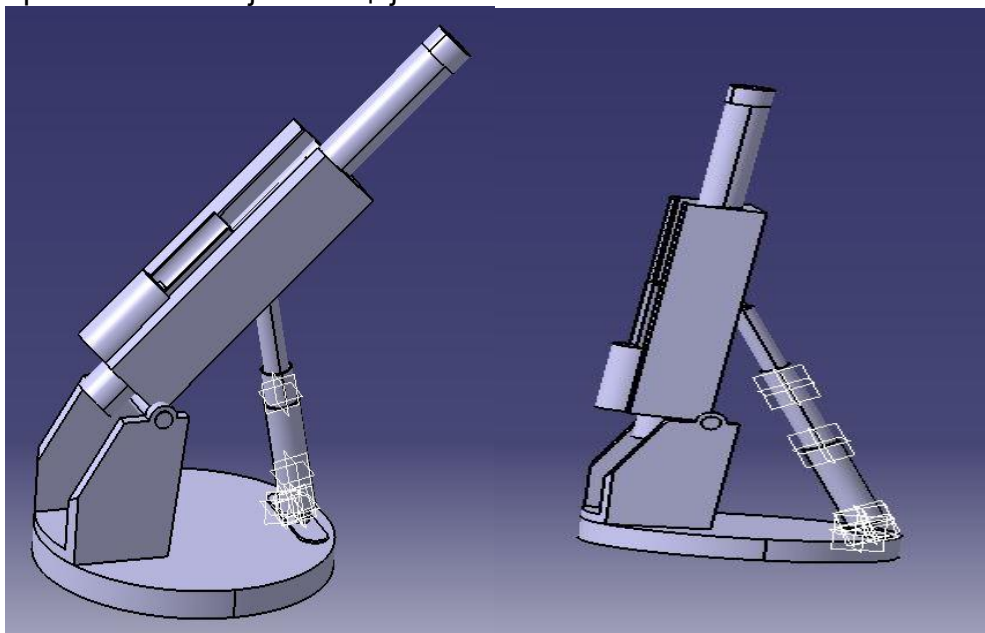
Као што је познато, хидраулична кочница има већи пречник цилиндра од повратника што је и видљиво са претходне слике. На слици је видљива и веза ПТУ-а са цеви као и са конструкцијом колевке. Пречник кочнице износи 70mm док пречник повратника износи 50mm.

Колевка, поред тога што служи за ослањање цеви и ПТУ-а, има и заштитни поклопац који омогућава лакше позиционирање минобацачке гранате приликом пуњења касете као и везе са горњим лафетом и елевационим системом двоструких цилиндара, што је приказано на следећој слици.



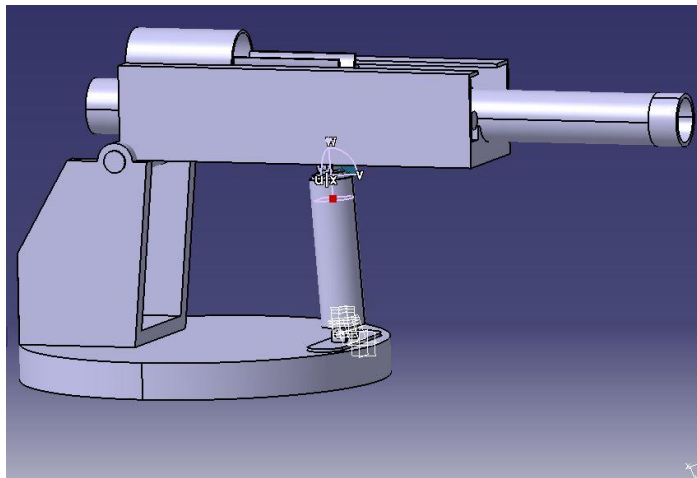
Слика 41: Изглед колевке

Коначан изглед склопа минобацача приказан је на слици 42. Приказан је и при минималној и при максималној елевацији.



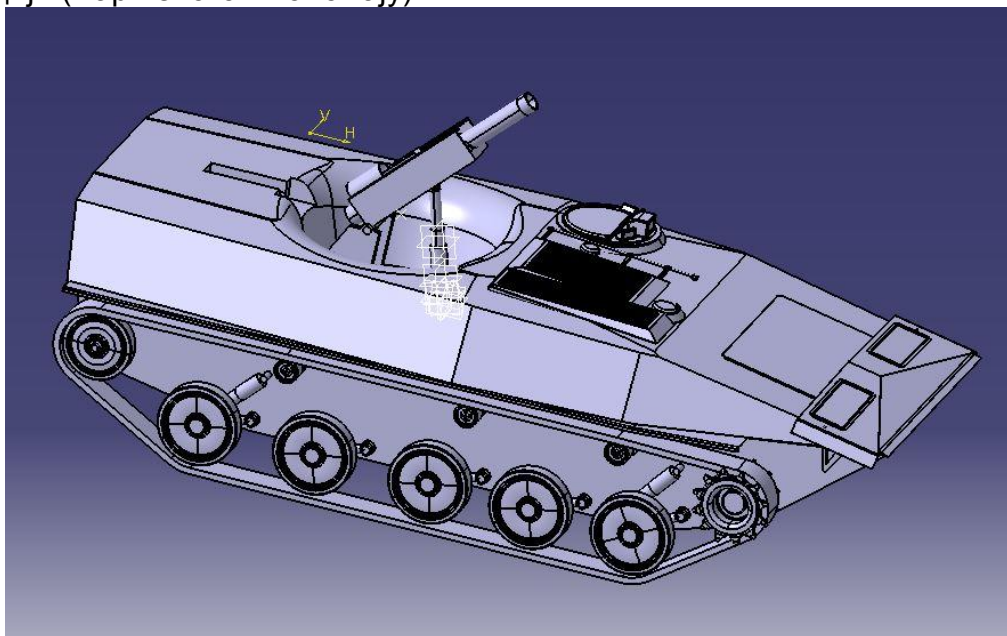
Слика 42: Склоп минобацача при минималној и максималној елевацији

Помоћу елевационог механизма у виду двоструких цилиндара могуће је и при маршевском положају заузети и нулту елевацију максималним увлачењем оба цилиндра што је приказано на следећој слици. Свакако, пре коначне верзије предложеног решења били би прорачунати и конструисани изравњачи ради уједначавања момената силе тежине при различитим елевационим уговима.

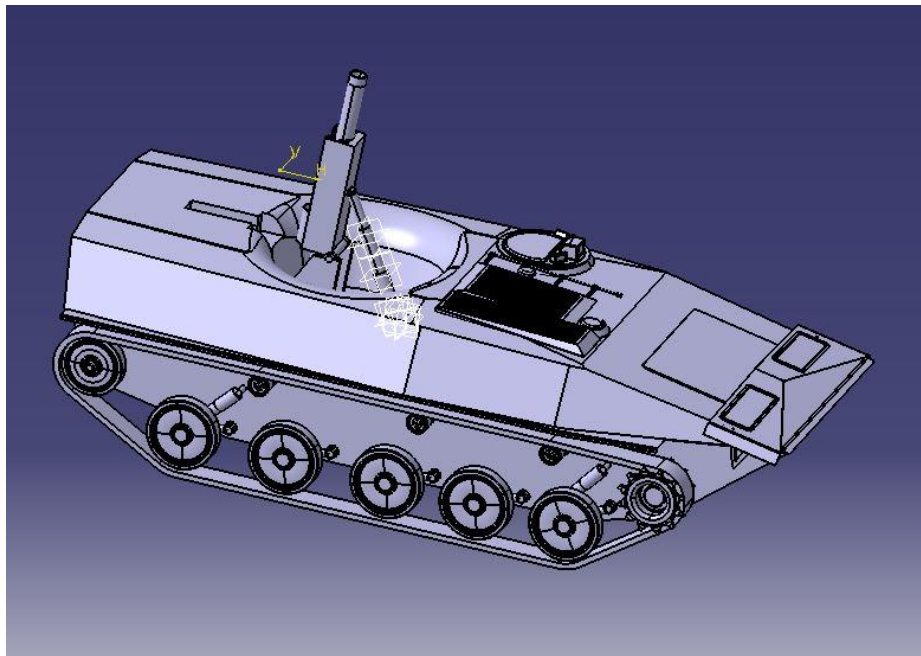


Слика 43: Нулта елевација минобацачког система 120mm

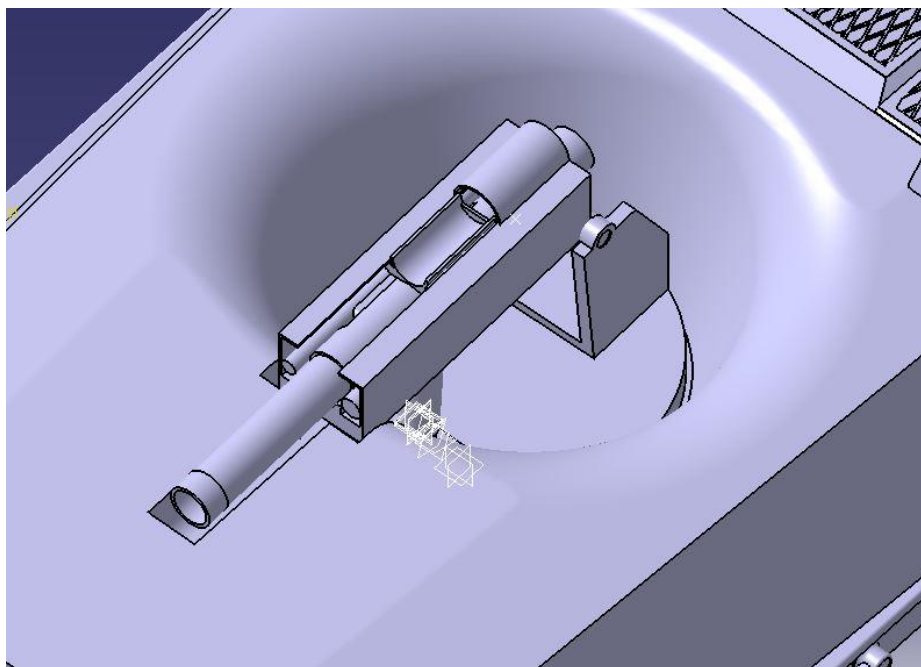
На крају су приказани и коначни, 3D модели самоходног минобацача 120mm M75 отворене уградње, минобацача интегрисаног на модификовану верзију борбеног возила пешадије БВП М80А. Приказани су 3D модели при максималној, минималној и нултој елевацији (маршевском положају).



Слика 44: Самоходни минобацач при минималној елевацији



Слика 45: Самоходни минобацач при максималној елевацији



Слика 46: Изглед минобацачког система при маршевском положају

Неке од даљих идеја јесу додатна уградња бацача димних кутија који су намењени за маскирање оруђа или живе силе помоћу дима из димних кутија које се лансирају на даљине до 130m. Такође, сврсисходно је уградити и додатно оружје у виду даљински управљиве борбене станице калибра 12.7mm како би се дејствовало по непријатељу непосредно на даљинама до 2000m таквим системом а не минобацачким гранатама. Тиме се постиже рационализација муниције.

У последње време се истражује и о примени дифузора који би био навијен на уста цеви и осигуран од самоодвијања, слично гасној кочници. Његова функција јесте да смањи притисак барутних гасова и на тај начин заштити систем од штетног дејства надпритиска око оруђа.

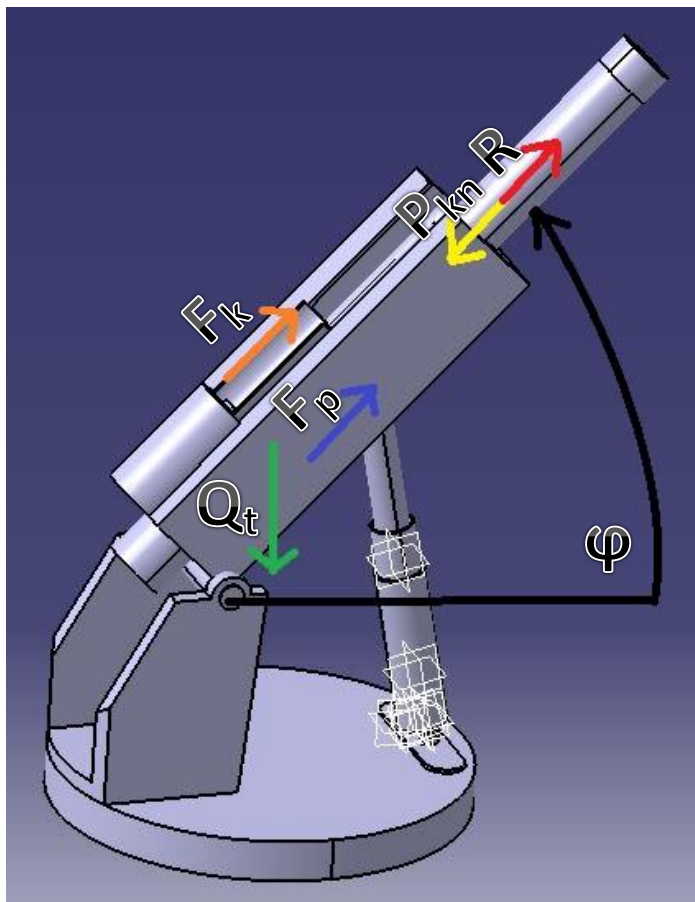
5. СИЛЕ КОЈЕ ДЕЛУЈУ НА МОБИЛНУ ПЛАТФОРМУ СА ИНТЕГРИСАНИМ МИНОБАЦАЧЕМ 120mm M75

Приликом опаљења, иза пројектила се стварају барутни гасови и одређена количина енергије која се делом троши на покретање пројектила, а делом на трзање делова оружја. Сила притиска створених барутних гасова покреће пројектил и дејствује на зидове цеви и дно чауре, а тиме и на чело затварача тежећи да га покрене уназад. Ова сила P_{kn} [N] се рачуна преко притиска p [Pa] који делује иза пројектила, добијеног као резултат унутрашње-балистичких прорачуна [5]. Притисак p [Pa] у току времена t [s] је добијен методом Серебрјакова, а следећом једначином се добија сила притиска б/г у току времена:

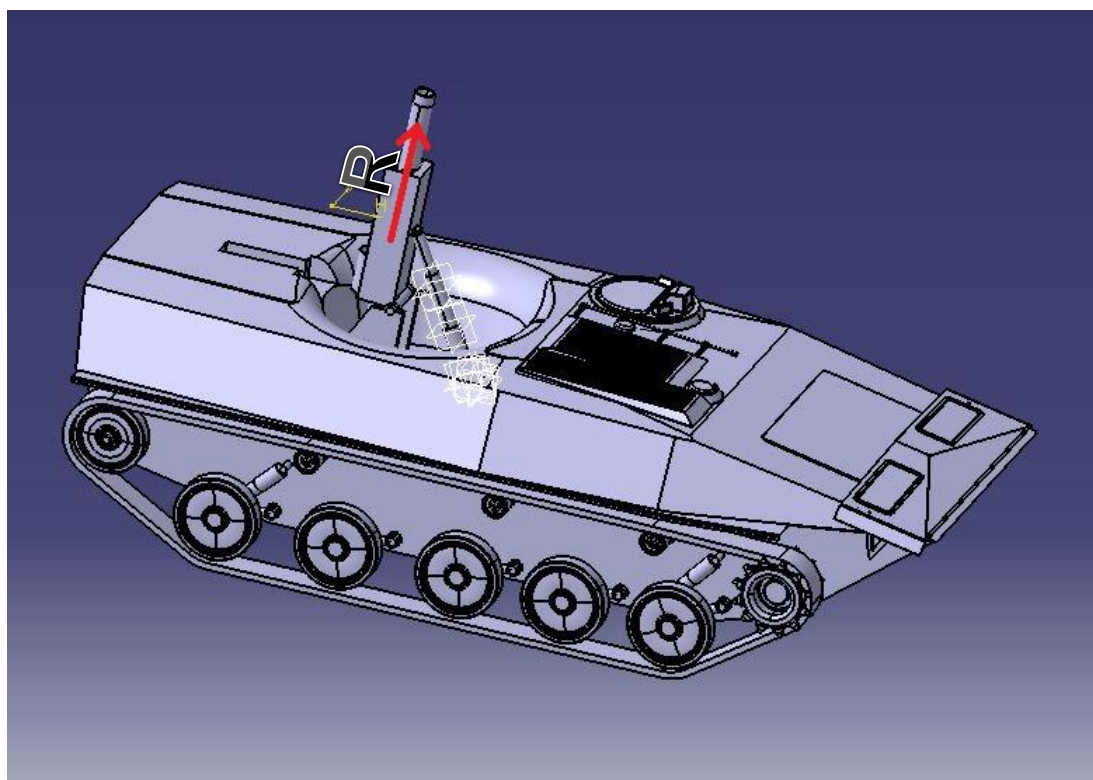
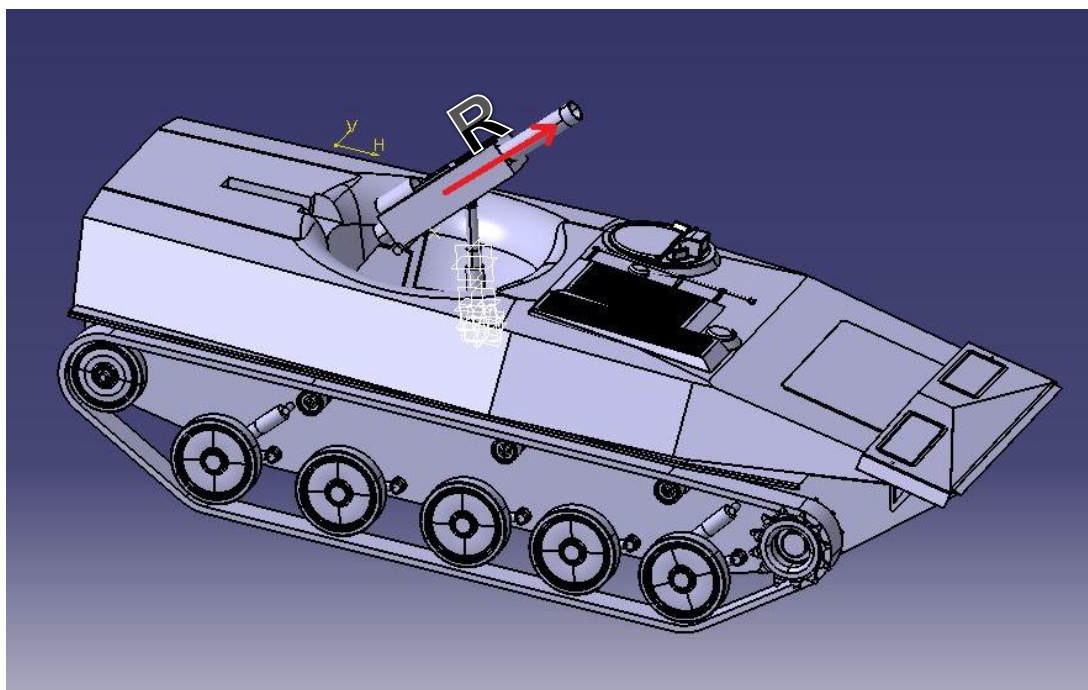
$$P_{kn}(t)=p(t) \cdot S_c \quad (35)$$

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

У изразу (35) S_c [m²] је површина попречног пресека дна канала цеви, а максимална вредност силе притиска износи $P_{kn} = 1085447.95$ N односно **1.085 mN**. Процедура нишањења код самоходних минобацача може се спроводити и са ватреног положаја непосредно, а гађање вршити убацном путањом посредно. То је онда полупосредно гађање.



Слика 47: Изометријски приказ деловања сила код минобацачког система



Слика 48: Изометријски приказ деловања силе отпора трзања која изазива осцилације код минобацачког система при 45 и 85°

При процесу опаљења на дно коморе и зидове цеви делују следеће силе:

1. силе притиска барутних гасова
2. силе међусобног дејства пројектила и цеви
3. силе реакције колевке, противтрзајућег уређаја и гасне кочнице
4. сила инерције при трзању – враћању.

У силе притиска, које настају услед притиска барутних гасова у цеви, спадају:

1. резултанта силе притиска на дно цеви, P_d ,
2. силе притиска на зидове цеви P_{st} нормалне у односу на осу

канала цеви.

$$P_d = p_d \cdot \frac{D_k^2}{4} \pi \quad (36)$$

У силе међусобног дејства пројектила и цеви спадају:

1. сила дејства пројектила због статичке и динамичке неуравнотежености пројектила,
2. сила тежине пројектила и
3. центрифугална сила због закривљености цеви.

Центрифугална сила : Јавља се у случају постојања кривине цеви (угиб услед сопствене тежине) и делује у правцу радијуса кривине ρ_c .

$$F_{cf} = \frac{mV^2}{\rho_c} \quad (37)$$

Максимална вредност центрифугалне силе је на устима цеви.

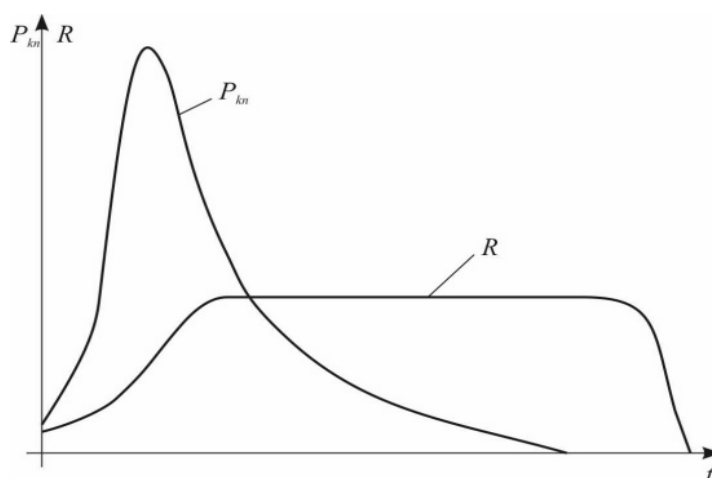
Под дејством центрифугалне силе мења се угао под којим пројектил напушта цев, што се одражава на тачност и прецизност гађања. Код минобацачких цеви ова сила је занемарљиво мала.

$$F_{cf} \approx 0 \text{ за } \rho_c \geq 6000 \text{ m}$$

Сила трзања : У току процеса опаљења на артиљеријско оруђе делује реактивна сила притиска барутних гасова P_{kn} , тј. сила трзања. Ова сила настаје као последица убрзаног кретања пројектила у каналу цеви и барутних гасова у смеру према задњем пресеку цеви. Сагласно закону о количини кретања, величина ове силе расте са порастом масе пројектила и брзине њеног кретања. Од величине силе трзања зависе отпорност оруђа и његова стабилност при опаљењу.

Код анализе сила на трзајући склоп оруђа разматрају се сви делови и елементи оруђа који се закрећу у вертикалној равни око рамена колевке, укључујући колевку са цеви која се по њој креће, кочницу трзања и повратник.

Наведени склопови представљају нагибни (осцилујући) склоп.



Слика 49: Дијаграм једнакости импулса

Сила укупног отпора трзању : Према Даламберовом принципу, додавањем инерцијалних сила динамички проблем се своди на једначине статичке равнотеже. То значи да је за време кочења трзања, инерцијална сила $I_t = m_t a$ делује у центру трзајуће масе у правцу трзања, где је a успорење услед кочења. Ова сила у смеру уназад је по апсолутној величини једнака сили кочења R , насталој од укупног успорења кочењем кретања цеви. Из услова равнотеже сила у правцу осе канала цеви, ако се изостави сила трзања P_{kn} , следи да је сила укупног отпора трзању: $R = F_k + F_p + F_T - Q_t \sin \varphi$ где је $F_T = F_{t1} + F_{t2}$ -укупна сила трења.

- F_{t1} - трење клипњаче са клипом кроз заптивне елементе хидрауличне кочнице и повратника

- F_{t2} - трење клизања цеви по клизачима

$$F_{t2} = f(|N_1| + |N_2|), \text{ где је } f - \text{коэффициент трења.}$$

- Код већине оруђа укупна сила трења F_T креће се у границама од 3% до 9% од силе укупног отпора трзања.

- У прорачунима се обично узима њена просечна вредност од 5% и сматра се константном на целој дужини трзања током кретања трзајуће масе.

СИЛЕ НА СКЛОП ЦЕВ-КОЛЕВКА:

Активне силе на склоп цеви F_k, F_p, F_T, N_1 и N_2 су унутрашње силе за цео систем цев - колевка и не узимају се код разматрања равнотеже сила.

- Спољне силе на склоп цев – колевка су:

- сила укупног отпора трзању R ,
- сила тежине трзајућих делова Q_t ,
- сила тежине колевке Q_k ,
- сила механизма елевације F_e ,
- сила изравњача F_{iz} и
- сила рамена колевке F_k .

- У периоду деловања силе барутних гасова на дно цеви овим силама треба додати и момент силе трзања $P_{kn} \cdot e$.

Сила изравњача F_{iz} служи да “изравна” тј. неутралише, колико год је могуће, момент силе тежине трзајућих делова око рамена колевке, у дијапазону углова елевације φ , када сила отпора трзању R и динамички момент $P_{kn} \cdot e$ не делују, односно само када је сила механизма елевације цеви F_e мала.

Сила механизма елевације : За потпуну компензацију тежине нагибног склопа пре опаљења, сила механизма елевације F_e мора да изједначи и држи у равнотежи моменте сила за време опаљења:

- момент силе отпора око рамена колевке $R \cdot d$,
- динамички момент силе трзања $P_{kn} \cdot e$ и
- момент силе тежине трзајуће масе за време трзања $Q_t \cdot x \cos \varphi$.

Сила рамена колевке F_k је резултујућа сила и представља суму сила на оба рамена.

- Одређује се из услова статичке равнотеже са преосталим спољним силама: Q_t , Q_k , R , F_e и F_{iz} .

ЗАКЉУЧАК О СИЛАМА: Све наведене силе могу се применити и у случају даље надградње оруђа, на пример горњег и доњег лафета, односно оруђа у целини (вучно оруђе, самоходно оруђе и сл.).

- У складу са тим, за било коју конструкцију оруђа са трзањем цеви, само сила укупног отпора трзању R и динамички момент $P_{kn} \cdot e$ се могу узети као спољашње силе услед опаљења.

- Додавањем осталих сила, тежине покретних делова и њиховом динамичком променом за време трзања, могу се објаснити све значајне силе које оптерећују оруђе за време опаљења.

Услед еластичности колевке за време периода кочења покретних делова могу настати осцилације које могу повећати делујуће силе и напрезања материјала.

- Статички прорачунате силе и напрезања услед утицаја осцилација, могу се повећати са динамичким фактором у границама (1,5 до 2).

- Такође, због ударног оптерећења неких делова колевке у току кретања цеви (нпр. задњег пресека) оптерећење се мора рачунати са ударним фактором око 3.

6. ПРОРАЧУН ОСЦИЛАЦИЈА МОБИЛНЕ ПЛАТФОРМЕ УСЛЕД ОПАЉЕЊА

Осцилације система изазива сила отпора трзања R која се преноси од оружја приликом опаљења на еластично ослоњену платформу. Ова сила представља побуду (поремећај) система изводећи га из равнотежног стања и изазивајући принудне осцилације еластичних ослонаца које се пригушују помоћу амортизера. Реакција система се разлаже на шест основних померања – транслације у правцима уздужне, попречне и вертикалне осе (T_x , T_y , T_z) и ротације око тих оса (R_x , R_y , R_z).

Могу се занемарити транслације платформе у правцу уздужне осе (T_x) због мировања возила и активних кочница и оне у бочном правцу (T_y) због отпора који се јављају услед контакта точкова са подлогом. Ротација око вертикалне осе (R_z) се такође не разматра, тј. може се сматрати немогућом ако се не улази у проучавање деформација платформе, због тога што ову ротацију спречавају реакције тла, сила тежине конструкције и карактеристике материјала. Систем остаје са три степена слободе – транслацијом тежишта у правцу вертикалне z осе (T_z) и ротацијама око уздужне x и бочне y осе (ваљање R_x и галопирање R_y).

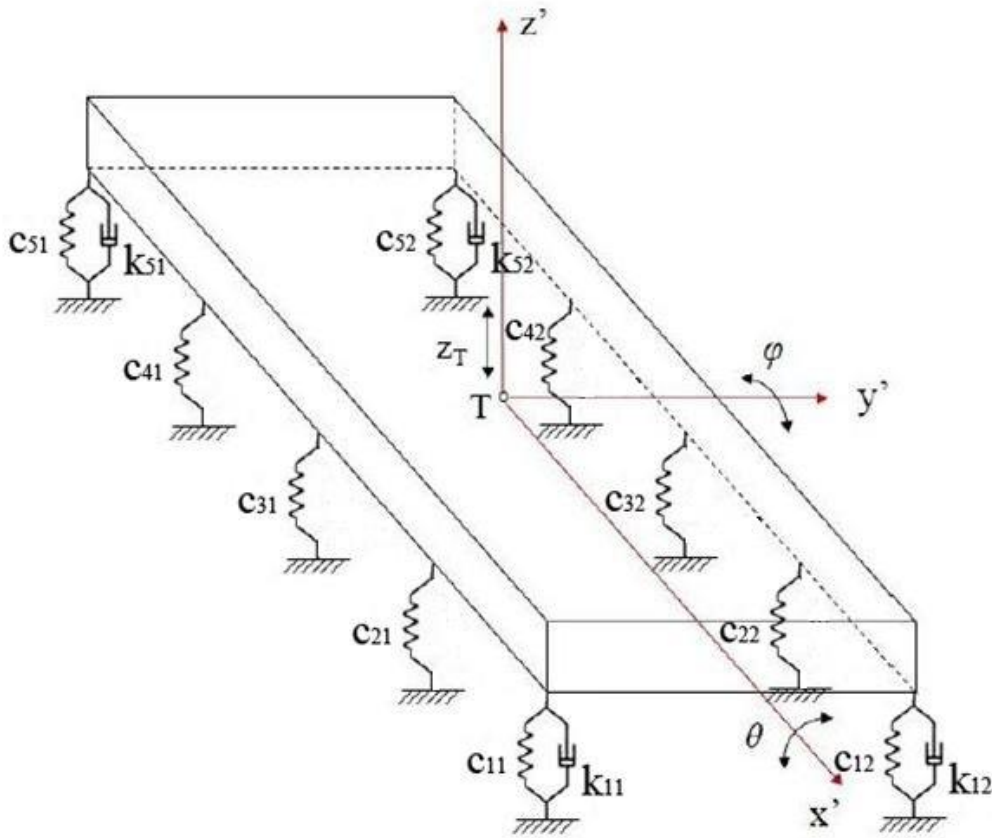
Математичко-механички модел служи да математички представи кретање физичког система обухватајући све утицајне параметре, задржавајући једноставност применом упрошћења.

Уз усвојена упрошћења, систем са бесконачно много степени слободе је сведен на систем са три степена слободе (слика 50), а као генералисане координате су изабране следеће величине:

z_T – вертикални положај тежишта система T (растојање од подлоге),

φ – ротација око попречне осе y' (галопирање),

θ – ротација око уздужне осе x' (ваљање).



Слика 50: Тродимензионални приказ динамичког модела платформе

Лагранжевим једначинама друге врсте ће бити описано кретање модела платформе БВП М80А са интегрисаним наоружањем у виду минобацача, изазване силом услед опаљења:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} = - \frac{\partial E_p}{\partial q_i} - \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} + Q'_{q_i} \quad (38)$$

Где је $i = 1, n$, а n је број степени слободе кретања система (у овом случају $n = 3$),

E_k – кинетичка енергија система,

E_p – потенцијална енергија система,

Φ – функција дисипације,

$\left(- \frac{\partial E_p}{\partial q_i} \right)$ – генералисана конзервативна сила (негативни парцијални извод потенцијалне енергије по i -тој генералисаној координати),

$\left(- \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} \right)$ генералисана дисипативна сила (негативни парцијални извод функције дисипације по i -тој генералисаној брзини),

Q'_{q_i} - произвољна неконзервативна генералисана сила.

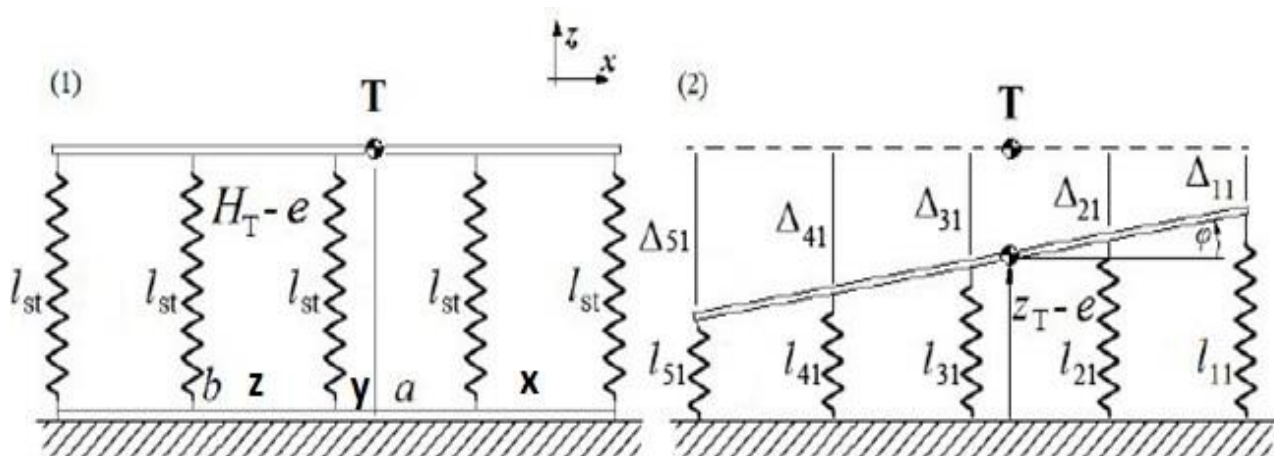
Пошто се посматра систем као целина, укупна кинетичка енергија модела се састоји од кинетичких енергија translације центра масе и ротације око центра масе система:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{z}_T^2 + \frac{1}{2} \cdot J_y \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} \cdot J_x \cdot \dot{\theta}^2 \quad (39)$$

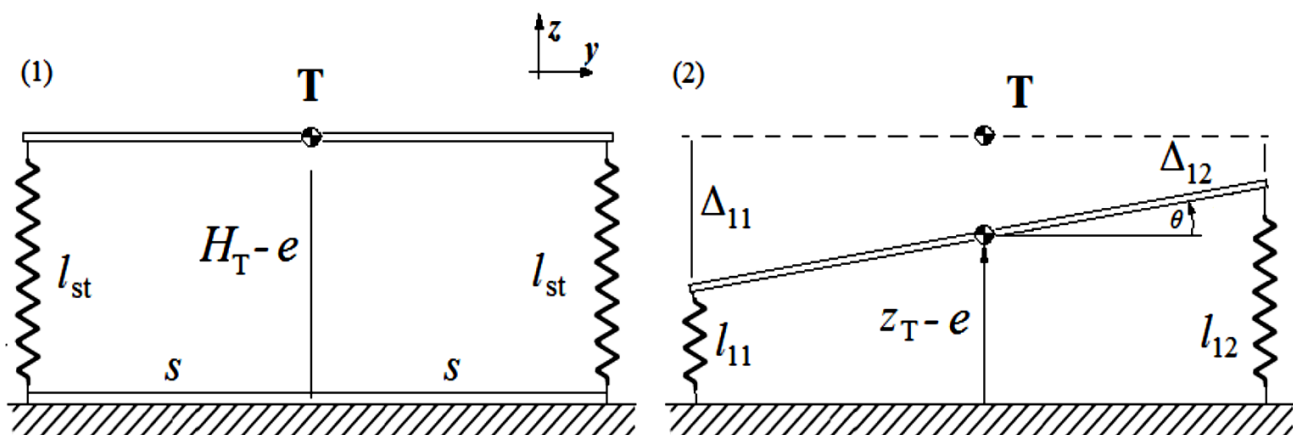
У претходној једначини J_y је момент инерције масе система у односу на уздужну осу y' , а J_x је момент инерције масе система у односу на попречну осу x' .

За дефинисање потенцијалне енергије потребно је геометријски одредити изразе за релативне деформације опруга, пнеуматика и померања клипова амортизера.

Једно од упрошћења еластичног система ослањања је коришћење еквивалентне крутости ослањања која урачунава крутост пнеуматика. Сматра се и да су померања опруга и амортизера једнака. На слици је приказана скица ослањања платформе у равнотежном (1) и произвољном положају (2) за систем посматран са бочне стране, а на слици са предње стране. Ознака l_{st} представља дужину ослонаца који се деформише у почетном тренутку, а l_{kj} у произвољном тренутку ($k=1,5$ за предњу и задњу осовину, респективно; $j=1,2$ за десни и леви точак, респективно).



Слика 51: (1) – равнотежни положај еластичног ослањања и (2) – произвољни положај након дејства силе, поглед са бочне стране



Слика 52: (1) – равнотежни положај еластичног ослањања и (2) – произвољни положај након дејства силе, поглед са предње стране

На основу представљених скица, крајње деформације се могу написати као разлике дужина ослонаца у почетном и крајњем положају, узимајући у обзир померања у обе равни ($H_T = z_{Tst} = \text{const}$):

$$\Delta_{11} = l_{st} - l_{11} = (H_T - e) - (z_T - e + a \cdot \varphi - s \cdot \theta) = H_T - z_T - a \cdot \varphi + s \cdot \theta$$

$$\Delta_{12} = l_{st} - l_{12} = (H_T - e) - (z_T - e + a \cdot \varphi + s \cdot \theta) = H_T - z_T - a \cdot \varphi - s \cdot \theta$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{21} &= l_{st} - l_{21} = (H_T - e) - (z_T - e + (a - x) \cdot \varphi - s \cdot \theta) = H_T - z_T - (a - x) \cdot \varphi + s \cdot \theta \\
\Delta_{22} &= l_{st} - l_{22} = (H_T - e) - (z_T - e + (a - x) \cdot \varphi + s \cdot \theta) = H_T - z_T - (a - x) \cdot \varphi - s \cdot \theta \\
\Delta_{31} &= l_{st} - l_{31} = (H_T - e) - (z_T - e - y \cdot \varphi - s \cdot \theta) = H_T - z_T + y \cdot \varphi + s \cdot \theta \\
\Delta_{32} &= l_{st} - l_{32} = (H_T - e) - (z_T - e - y \cdot \varphi - s \cdot \theta) = H_T - z_T + y \cdot \varphi - s \cdot \theta \\
\Delta_{41} &= l_{st} - l_{41} = (H_T - e) - (z_T - e - (y + z) \cdot \varphi - s \cdot \theta) = H_T - z_T + (y + z) \cdot \varphi + s \cdot \theta \\
\Delta_{42} &= l_{st} - l_{42} = (H_T - e) - (z_T - e - (y + z) \cdot \varphi - s \cdot \theta) = H_T - z_T + (y + z) \cdot \varphi - s \cdot \theta \\
\Delta_{51} &= l_{st} - l_{51} = (H_T - e) - (z_T - e - b \cdot \varphi - s \cdot \theta) = H_T - z_T + b \cdot \varphi + s \cdot \theta \\
\Delta_{52} &= l_{st} - l_{52} = (H_T - e) - (z_T - e - b \cdot \varphi - s \cdot \theta) = H_T - z_T + b \cdot \varphi - s \cdot \theta
\end{aligned}$$

Израз за потенцијалну енергију система гласи:

$$E_P = \frac{1}{2} \cdot c_{11} \cdot \Delta_{11}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{12} \cdot \Delta_{12}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{21} \cdot \Delta_{21}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{22} \cdot \Delta_{22}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{31} \cdot \Delta_{31}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{32} \cdot \Delta_{32}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{41} \cdot \Delta_{41}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{42} \cdot \Delta_{42}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{51} \cdot \Delta_{51}^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{52} \cdot \Delta_{52}^2 \quad (40)$$

На крају, за исте вредности крутости левих и десних еластичних елемената исте осовине, следи: $c_{11}=c_{12}=c_1$, $c_{21}=c_{22}=c_2$, $c_{31}=c_{32}=c_3$, $c_{41}=c_{42}=c_4$, $c_{51}=c_{52}=c_5$

$$E_P = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot (\Delta_{11}^2 + \Delta_{12}^2) + \frac{1}{2} \cdot c_2 \cdot (\Delta_{21}^2 + \Delta_{22}^2) + \frac{1}{2} \cdot c_3 \cdot (\Delta_{31}^2 + \Delta_{32}^2) + \frac{1}{2} \cdot c_4 \cdot (\Delta_{41}^2 + \Delta_{42}^2) + \frac{1}{2} \cdot c_5 \cdot (\Delta_{51}^2 + \Delta_{52}^2) \quad (41)$$

Изводи релативних померања (релативне брзине клипова у односу на цилиндричне амортизера) и дисипативна функција имају следеће изразе:

$$\begin{aligned}
\dot{\Delta}_{11} &= -\dot{z}_T - a \cdot \dot{\varphi} + s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{12} &= -\dot{z}_T - a \cdot \dot{\varphi} - s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{21} &= -\dot{z}_T - (a - x) \cdot \dot{\varphi} + s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{22} &= -\dot{z}_T - (a - x) \cdot \dot{\varphi} - s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{31} &= -\dot{z}_T + y \cdot \dot{\varphi} + s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{32} &= -\dot{z}_T + y \cdot \dot{\varphi} - s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{41} &= -\dot{z}_T + (y + z) \cdot \dot{\varphi} + s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{42} &= -\dot{z}_T + (y + z) \cdot \dot{\varphi} - s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{51} &= -\dot{z}_T + b \cdot \dot{\varphi} + s \cdot \dot{\theta} \\
\dot{\Delta}_{52} &= -\dot{z}_T + b \cdot \dot{\varphi} - s \cdot \dot{\theta}
\end{aligned}$$

$$\Phi = \frac{1}{2} \cdot k_{11} \cdot \dot{\Delta}_{11}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{12} \cdot \dot{\Delta}_{12}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{21} \cdot \dot{\Delta}_{21}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{22} \cdot \dot{\Delta}_{22}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{31} \cdot \dot{\Delta}_{31}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{32} \cdot \dot{\Delta}_{32}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{41} \cdot \dot{\Delta}_{41}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{42} \cdot \dot{\Delta}_{42}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{51} \cdot \dot{\Delta}_{51}^2 + \frac{1}{2} \cdot k_{52} \cdot \dot{\Delta}_{52}^2 \quad (42)$$

За исте вредности пригушења левих и десних амортизера исте осовине, следи:

$$\begin{aligned}
k_{11} &= k_{12} = k_1, \\
k_{21} &= k_{22} = k_2 = 0, \\
k_{31} &= k_{32} = k_3 = 0, \\
k_{41} &= k_{42} = k_4 = 0, \\
k_{51} &= k_{52} = k_5
\end{aligned}$$

Једначина (41) се трансформише у:

$$\Phi = \frac{1}{2} \cdot k_1 \cdot (\dot{\Delta}_{11}^2 + \dot{\Delta}_{12}^2) + \frac{1}{2} \cdot k_5 \cdot (\dot{\Delta}_{51}^2 + \dot{\Delta}_{52}^2)$$

За писање Лагранжевих једначина потребно је одредити изводе постављених израза за кинетичку и потенцијалну енергију, као и за дисипативну функцију. За кинетичку енергију, важи:

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{z}_T} = m \cdot \dot{z}_T \quad \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} = J_y \cdot \dot{\varphi} \quad \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} = J_x \cdot \dot{\theta}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial E_k}{\partial z_T} &= 0 & \frac{\partial E_k}{\partial \varphi} &= 0 & \frac{\partial E_k}{\partial \theta} &= 0 \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{z}_T} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial z_T} &= m \cdot \ddot{z}_T \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi} &= J_y \cdot \ddot{\varphi} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \theta} &= J_x \cdot \ddot{\theta}\end{aligned}$$

Генералисане конзервативне силе се добијају као парцијални изводи израза за потенцијалну енергију по генералисаним координатама:

$$-\frac{\partial E_p}{\partial z_T} = -(2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + 2 \cdot c_3 + 2 \cdot c_4 + 2 \cdot c_5) \cdot z_T - (2 \cdot c_1 \cdot a + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x) - 2 \cdot c_3 \cdot y - 2 \cdot c_4 \cdot (y + z) - 2 \cdot c_5 \cdot b) \cdot \varphi + 2 \cdot H_T \cdot (c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5) \quad (43)$$

$$-\frac{\partial E_p}{\partial \varphi} = -(2 \cdot c_1 \cdot a^2 + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x)^2 + 2 \cdot c_3 \cdot y^2 + 2 \cdot c_4 \cdot (y + z)^2 + 2 \cdot c_5 \cdot b^2) \cdot \varphi - (2 \cdot c_1 \cdot a + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x) - 2 \cdot c_3 \cdot y - 2 \cdot c_4 \cdot (y + z) - 2 \cdot c_5 \cdot b) \cdot z_T - 2 \cdot H_T \cdot (-c_1 \cdot a - c_2 \cdot (a - x) + c_3 \cdot y + c_4 \cdot (y + z) + c_5 \cdot b) \quad (44)$$

$$-\frac{\partial E_p}{\partial \theta} = -(2 \cdot c_1 \cdot s^2 + 2 \cdot c_2 \cdot s^2 + 2 \cdot c_3 \cdot s^2 + 2 \cdot c_4 \cdot s^2 + 2 \cdot c_5 \cdot s^2) \cdot \theta \quad (45)$$

Генералисане дисипативне силе се добијају као парцијални изводи функције дисипације по генералисаним координатама:

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_T} = -(2 \cdot k_1 + 2 \cdot k_5) \cdot \dot{z}_T - (2 \cdot k_1 \cdot a - 2 \cdot k_5 \cdot b) \cdot \dot{\varphi} \quad (46)$$

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}} = -(2 \cdot k_1 \cdot a^2 + 2 \cdot k_5 \cdot b^2) \cdot \dot{\varphi} - (2 \cdot k_1 \cdot a - 2 \cdot k_5 \cdot b) \cdot \dot{z}_T \quad (47)$$

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\theta}} = -(2 \cdot k_1 \cdot s^2 + 2 \cdot k_5 \cdot s^2) \cdot \dot{\theta} \quad (48)$$

У цеви оружја се за време процеса опаљења образују барутни гасови који стварају велики притисак а уједно и силу $P_{kn}(t)$.

Међутим, овој сили се супротстављају сила хидрауличног отпора, сила отпора повратних опруга и сила трења које чине силу отпора трзању $R(t)$, па на возило и његов систем еластичног ослањања делује та сила. Пошто су оруђу задати углови елевације и азимута, компоненте ове силе у правцу три осе су:

$$\begin{aligned}R_x(t) &= R \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot h + R \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot d - 2H_T \cdot c \cdot (-l_1 - l_2 - l_3 + l_4 + l_5) \\ R_y(t) &= R \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot h \\ R_z(t) &= R \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha + 10H_T \cdot c\end{aligned} \quad (49)$$

Генералисане неконзервативне силе које дејствују на систем се могу добити помоћу принципа виртуалног померања тачке D у којој делује спољашња побудна сила. Израз за виртуални рад је следећи:

$$\delta A = (R_x(t) \cdot h + R_z(t) \cdot d) \cdot \delta \varphi + (R_y(t) \cdot h) \cdot \delta \theta + (-R_z(t)) \cdot \delta z_T \quad (50)$$

Генералисане неконзервативне силе сада су:

$$\begin{aligned} Q'_{z_T} &= -R_Z(t) \\ Q'_\varphi &= R_x(t) \cdot h + R_Z(t) \cdot d \\ Q'_\theta &= R_y(t) \cdot h \end{aligned} \quad (51)$$

Диференцијалне једначине кретања система се постављају користећи претходне изразе за сваку од генералисаних координата.

За вертикално померање тежишта система T , z_T :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{z}_T} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial z_T} = - \frac{\partial E_p}{\partial z_T} - \frac{\partial \Phi}{\partial z_T} + Q'_{z_T} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} m \cdot \ddot{z}_T + (2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + 2 \cdot c_3 + 2 \cdot c_4 + 2 \cdot c_5) \cdot z_T + (2 \cdot c_1 \cdot a + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x) - 2 \cdot c_3 \cdot y - 2 \cdot c_4 \cdot (y + z) - 2 \cdot c_5 \cdot b) \cdot \varphi - 2 \cdot H_T \cdot (c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5) + (2 \cdot k_1 + 2 \cdot k_5) \cdot \dot{z}_T + (2 \cdot k_1 \cdot a - 2 \cdot k_5 \cdot b) \cdot \dot{\varphi} = -R_Z(t) \end{aligned}$$

За ротацију око попречне осе y' (галомирање), φ :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi} = - \frac{\partial E_p}{\partial \varphi} - \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} + Q'_\varphi \quad (53)$$

$$\begin{aligned} J_y \cdot \ddot{\varphi} + (2 \cdot c_1 \cdot a^2 + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x)^2 + 2 \cdot c_3 \cdot y^2 + 2 \cdot c_4 \cdot (y + z)^2 + 2 \cdot c_5 \cdot b^2) \cdot \varphi + \\ (2 \cdot c_1 \cdot a + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x) - 2 \cdot c_3 \cdot y - 2 \cdot c_4 \cdot (y + z) - 2 \cdot c_5 \cdot b) \cdot z_T + 2 \cdot H_T \cdot (-c_1 \cdot a - c_2 \cdot (a - x) + c_3 \cdot y + c_4 \cdot (y + z) + c_5 \cdot b) + (2 \cdot k_1 \cdot a^2 + 2 \cdot k_5 \cdot b^2) \cdot \dot{\varphi} + (2 \cdot k_1 \cdot a - 2 \cdot k_5 \cdot b) \cdot \dot{z}_T = R_x(t) \cdot h + R_Z(t) \cdot d \end{aligned}$$

За ротацију око уздужне осе x' (ваљање), θ :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \theta} = - \frac{\partial E_p}{\partial \theta} - \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} + Q'_\theta \quad (54)$$

$$\begin{aligned} J_x \cdot \ddot{\theta} + (2 \cdot c_1 \cdot s^2 + 2 \cdot c_2 \cdot s^2 + 2 \cdot c_3 \cdot s^2 + 2 \cdot c_4 \cdot s^2 + 2 \cdot c_5 \cdot s^2) \cdot \theta + (2 \cdot k_1 \cdot s^2 + 2 \cdot k_5 \cdot s^2) \cdot \dot{\theta} = R_y(t) \cdot h \end{aligned}$$

Систем диференцијалних једначина се може написати у матричном облику:

$$[A]\{\ddot{q}\} + [B]\{\dot{q}\} + [C]\{q\} = \{Q\}$$

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & J_y & 0 \\ 0 & 0 & J_x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{z}_T \\ \ddot{\varphi} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 2 \cdot k_1 + 2 \cdot k_5 & 2 \cdot k_1 \cdot a - 2 \cdot k_5 \cdot b & 0 \\ 2 \cdot k_1 \cdot a - 2 \cdot k_5 \cdot b & 2 \cdot k_1 \cdot a^2 + 2 \cdot k_5 \cdot b^2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot k_1 \cdot s^2 + 2 \cdot k_5 \cdot s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{z}_T \\ \dot{\varphi} \\ \dot{\theta} \end{Bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + 2 \cdot c_3 + 2 \cdot c_4 + 2 \cdot c_5 & 2 \cdot c_1 \cdot a + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x) - 2 \cdot c_3 \cdot y - 2 \cdot c_4 \cdot (y + z) - 2 \cdot c_5 \cdot b & 0 \\ 2 \cdot c_1 \cdot a + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x) - 2 \cdot c_3 \cdot y - 2 \cdot c_4 \cdot (y + z) - 2 \cdot c_5 \cdot b & 2 \cdot c_1 \cdot a^2 + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x)^2 + 2 \cdot c_3 \cdot y^2 + 2 \cdot c_4 \cdot (y + z)^2 + 2 \cdot c_5 \cdot b^2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot c_1 \cdot s^2 + 2 \cdot c_2 \cdot s^2 + 2 \cdot c_3 \cdot s^2 + 2 \cdot c_4 \cdot s^2 + 2 \cdot c_5 \cdot s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} z_T \\ \varphi \\ \theta \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} z_T \\ \varphi \\ \theta \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -R_z(t) + 2 \cdot H_T \cdot (c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5) \\ R_x(t) \cdot h + R_z(t) \cdot d - 2 \cdot H_T \cdot (-c_1 \cdot a - c_2 \cdot (a - x) + c_3 \cdot y + c_4 \cdot (y + z) + c_5 \cdot b) \\ R_y(t) \cdot h \end{pmatrix} \quad (55)$$

Где је $[A]$ матрица инерције или матрица маса, $[B]$ матрица пригушења, $[C]$ матрица крутости, а $\{Q\}$ је вектор сила побуде. Постављена матрица (55) важи за период времена док делује побудна сила отпора трзања $R(t)$ и док је осцилаторно кретање платформе са наоружањем принудно-пригушеног карактера.

Након престанка деловања свих сила, систем наставља кретање које има карактер сопствених (слободних) пригушених осцилација све док се потпуно не заустави у равнотежном положају. Матрица слободног пригушеног осцилаторног кретања тачкашке платформе са интегрисаним наоружањем, са три степена слободе је:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & J_y & 0 \\ 0 & 0 & J_x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{z}_T \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} 2 \cdot k_1 + 2 \cdot k_5 & 2 \cdot k_1 \cdot a - 2 \cdot k_5 \cdot b & 0 \\ 2 \cdot k_1 \cdot a - 2 \cdot k_5 \cdot b & 2 \cdot k_1 \cdot a^2 + 2 \cdot k_5 \cdot b^2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot k_1 \cdot s^2 + 2 \cdot k_5 \cdot s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{z}_T \\ \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \end{Bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + 2 \cdot c_3 + 2 \cdot c_4 + 2 \cdot c_5 & 2 \cdot c_1 \cdot a + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x) - 2 \cdot c_3 \cdot y - 2 \cdot c_4 \cdot (y + z) - 2 \cdot c_5 \cdot b & 0 \\ 2 \cdot c_1 \cdot a + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x) - 2 \cdot c_3 \cdot y - 2 \cdot c_4 \cdot (y + z) - 2 \cdot c_5 \cdot b & 2 \cdot c_1 \cdot a^2 + 2 \cdot c_2 \cdot (a - x)^2 + 2 \cdot c_3 \cdot y^2 + 2 \cdot c_4 \cdot (y + z)^2 + 2 \cdot c_5 \cdot b^2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot c_1 \cdot s^2 + 2 \cdot c_2 \cdot s^2 + 2 \cdot c_3 \cdot s^2 + 2 \cdot c_4 \cdot s^2 + 2 \cdot c_5 \cdot s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} z_T \\ \phi \\ \theta \end{Bmatrix} \\ & = \begin{pmatrix} 2 \cdot H_T \cdot (c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5) \\ -2 \cdot H_T \cdot (-c_1 \cdot a - c_2 \cdot (a - x) + c_3 \cdot y + c_4 \cdot (y + z) + c_5 \cdot b) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (56) \end{aligned}$$

Решавањем диференцијалних једначина, за конкретне податке о условима паљбе (угао елевације, азимут, силу притиска барутних гасова и силу отпора трзања) и конструктивне податке о возилу/платформи (коефицијенте крутости и пригушења, координате тежишта и моменте инерција) могу се добити конкретне једначине осциловања платформе и за њих, у току времена, промена генералисаних координата и брзине тих промена.

6.1. СИМУЛАЦИЈА ОСЦИЛАЦИЈА МОБИЛНЕ ПЛАТФОРМЕ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Решавање претходно дефинисаног система диференцијалних једначина је извршено нумерички у програму МАТЛАБ, помоћу кода који је приказан у прилогу 3.

За место постављања оружја је изабрана позиција између кабине возила и дела у којем је смештен резервоар као што је већ приказано у претходном поглављу.

Улазни подаци могу бити разврстани у неколико група:

- подаци о возилу – технички подаци, положај тежишта возила, карактеристике система еластичног ослањања возила, моменти инерције;
- подаци о оружју – маса оружја, положај интеграције у односу на тежиште система, углови елевације и азимута;
- подаци о побудној сили – вредности прорачунате силе отпора R у току времена.

Прибављени подаци о возилу БВП М80А дати су редоследом:

- овешена маса возила, m_v [kg] – 10338
- висина возила, H_v [m] – 2.995
- дужина возила, L_v [m] – 6.42
- ширина трага гусеница, $2s$ [m] – 2.526
- вертикално растојање тежишта возила од подлоге, H_{TV} [m] – 1
- момент инерције ваљања, J_x [kg·m²] – 23264
- момент инерције галопирања, J_y [kg·m²] – 81281
- коефицијент пригушења, k [N·s/m²] – 18750
- коефицијент крутости опруга, c [N/m] – 85788

Такође, маса оружја и углови елевације α и азимута β се задају на почетку прорачуна. У наредним корацима приказане су вредности ових података за основну поставку система према којој се врши прорачун.

- маса оруђа са муницијом, m_0 [kg] – 500
- хоризонтално растојање до оруђа, d [m] – 0.350
- вертикално растојање до оруђа, h [m] – 0.715
- угао елевације, α [°] – 45-85
- угао азимута, β [°] – 90

Као побудна сила у прорачуну се узима вредност силе отпора трзању у зависности од времена која је формирана као улазна датотека програма у прилогу 3. У оквиру математичког модела су постављене две матрице које описују кретање система у току времена при извођењу система из равнотежног положаја побудном силом. Матрица (55) се односи на период док делује побудна сила R , а матрица (56) на период када је $R=0$ и систем слободно осцилује до заустављања.

Изабране вредности углова за које ће бити спроведени прорачуни обухватају граничне углове при којима може да се врши паљба из минобацача монтираног на изабрано возило као и један међуелевациони угао. Углови елевације су $\alpha = [45^\circ, 60^\circ \text{ и } 85^\circ]$, а угао азимута $\beta = [90^\circ]$.

На даљим сликама су приказане добијене промене генералисаних координата за различите комбинације ових углова под улазним датотекама које узимају у обзир промену силе трзања у зависности од времена као и промене укупне силе отпора трзању у зависности од времена.

Почетне вредности генералисаних координата су:

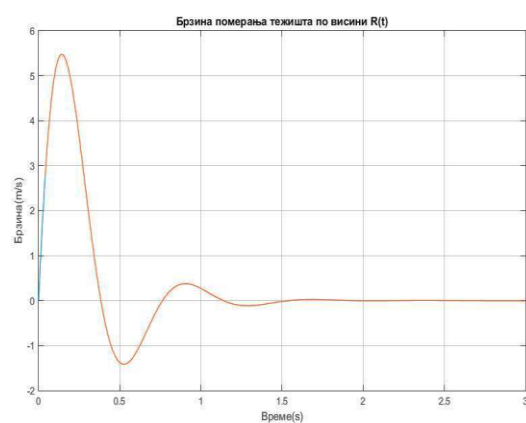
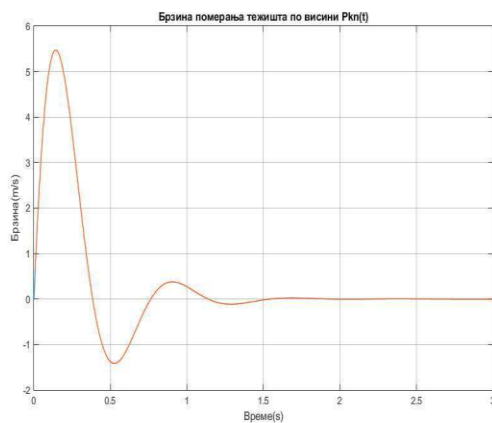
$$(0)=H_T=1.0161 \text{ [m]}$$

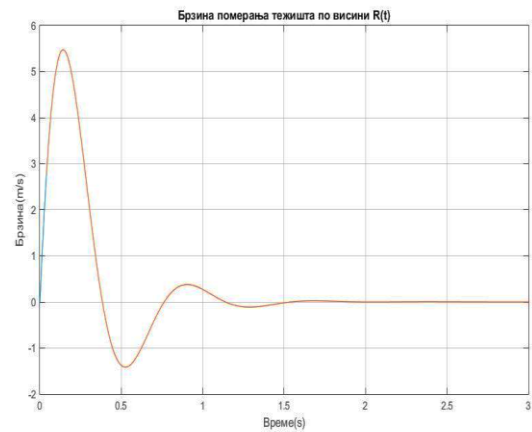
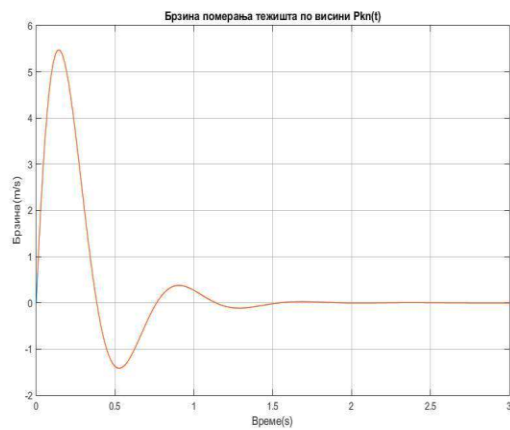
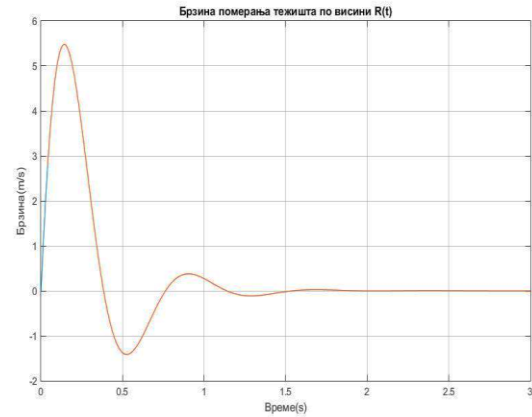
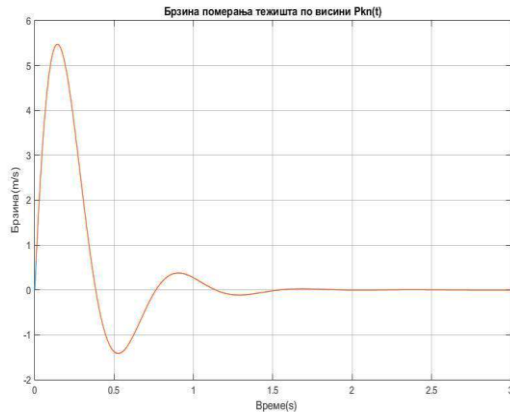
$$- (0)=0^\circ$$

$$- (0)=0^\circ$$

Вредност H_T односи на вертикално растојање тежишта система од подлоге, тј. резултати $z_T(t)$ приказују промену ове висине, а не чисто померање. Податак нам говори да се тежиште борбеног возила померило навише за 16.1mm након уградње аутоматског минобацачког система.

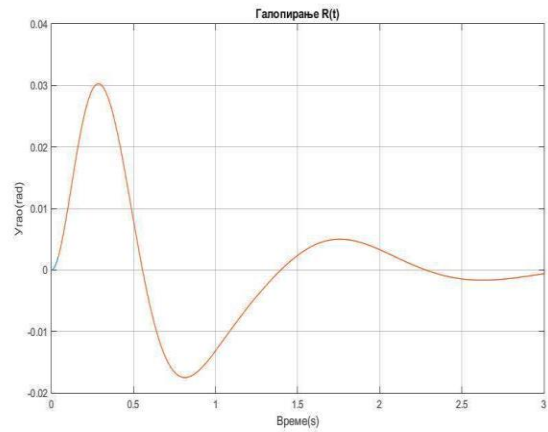
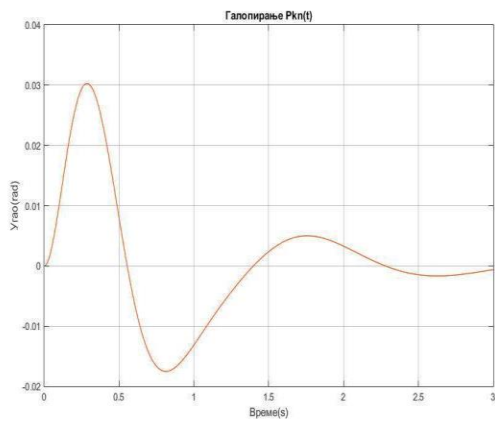
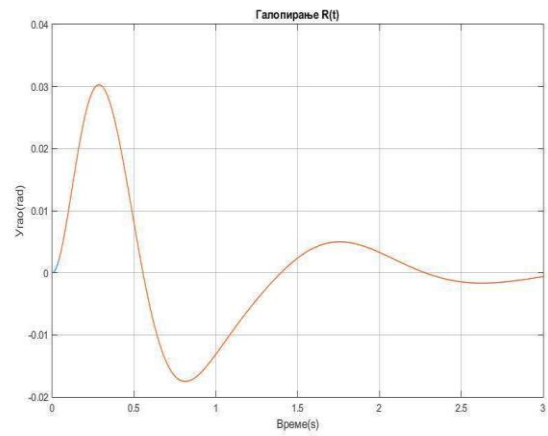
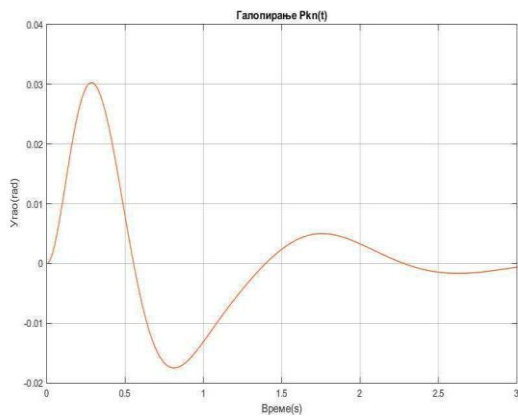
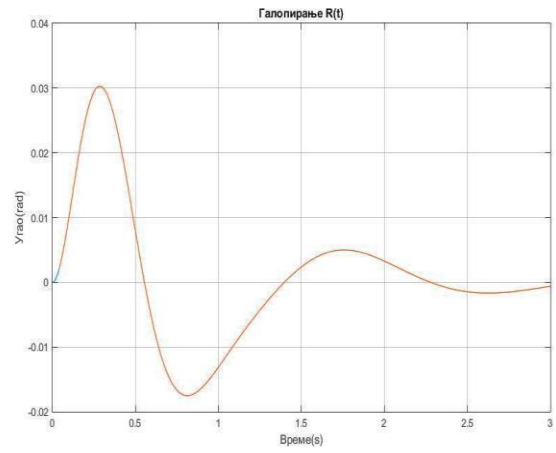
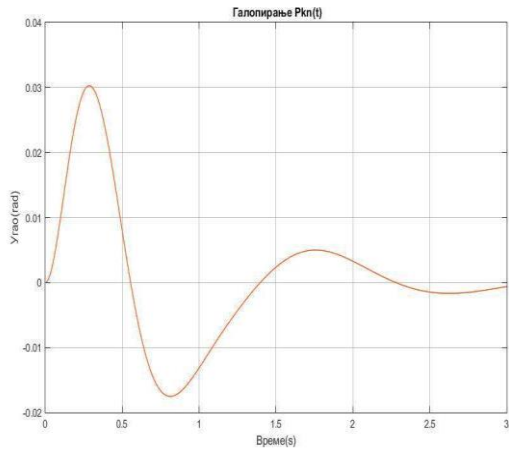
На сликама које предстоје на левој страни редом су приказани дијаграми за минимални, међуелевациони и максимални угао елевације за датотеку која узима у обзир силу трзања P_{kn} а са десне стране резултати од датотеке која узима у обзир укупну силу отпора трзању R .





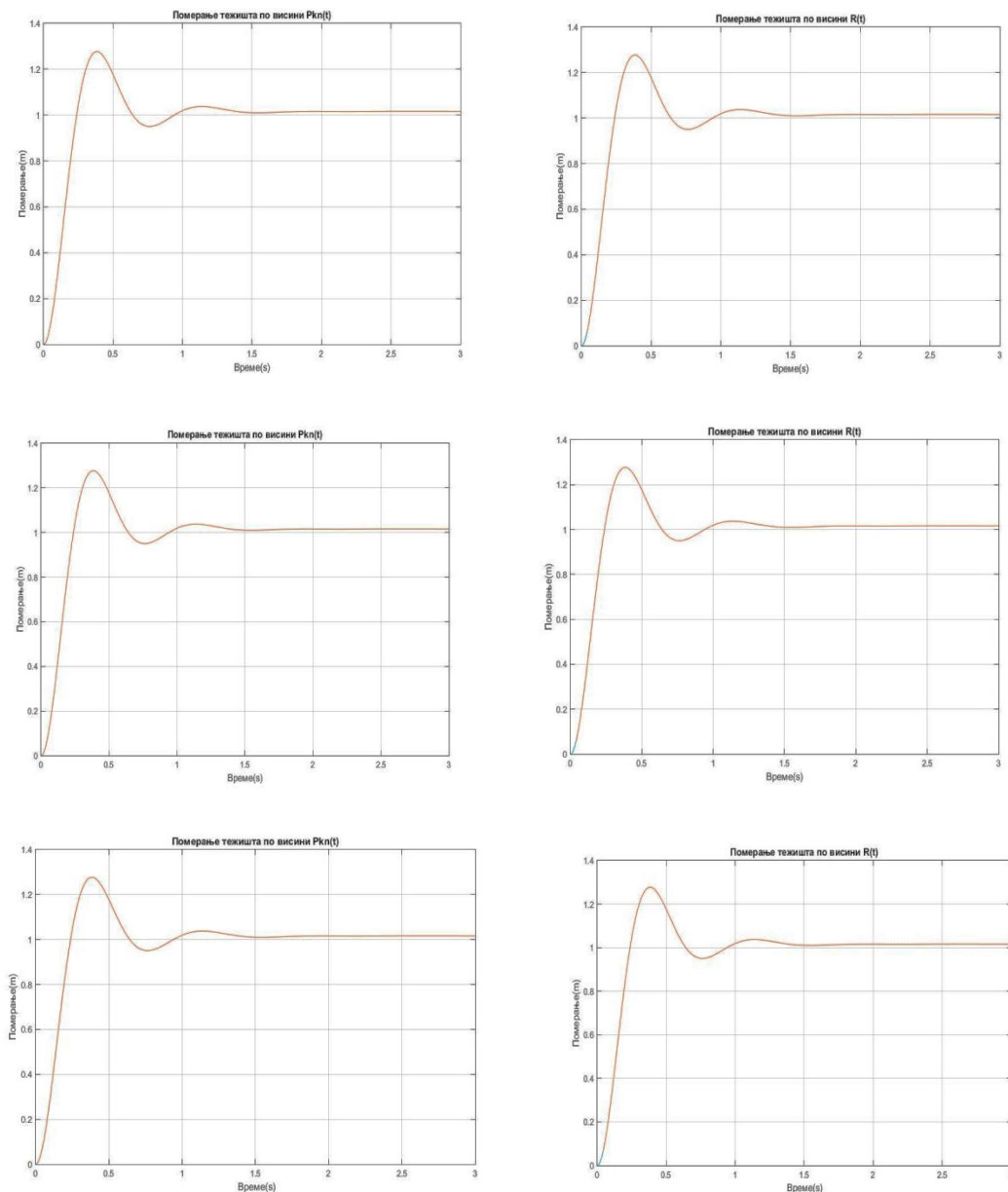
Слика 53: Брзина померања тежишта по висини за 45, 60 и 85°,респективно за датотеку која узима вредности силе трзања и укупне силе отпора трзању у зависности од времена

Са слике је приметна вредност максималне вредности амплитуде од 5.5m/s импулсног карактера која је непромењена за друге углове елевације како при сили трзања тако и при укупној сили отпора трзању. Вредност за угао 45° иста је са вредностима за углове 60° и 85°. Такође са слика је приметно да систем почиње да улази у стабилно стање након 1.5 s да би већ након 2 s био у стабилној фази.



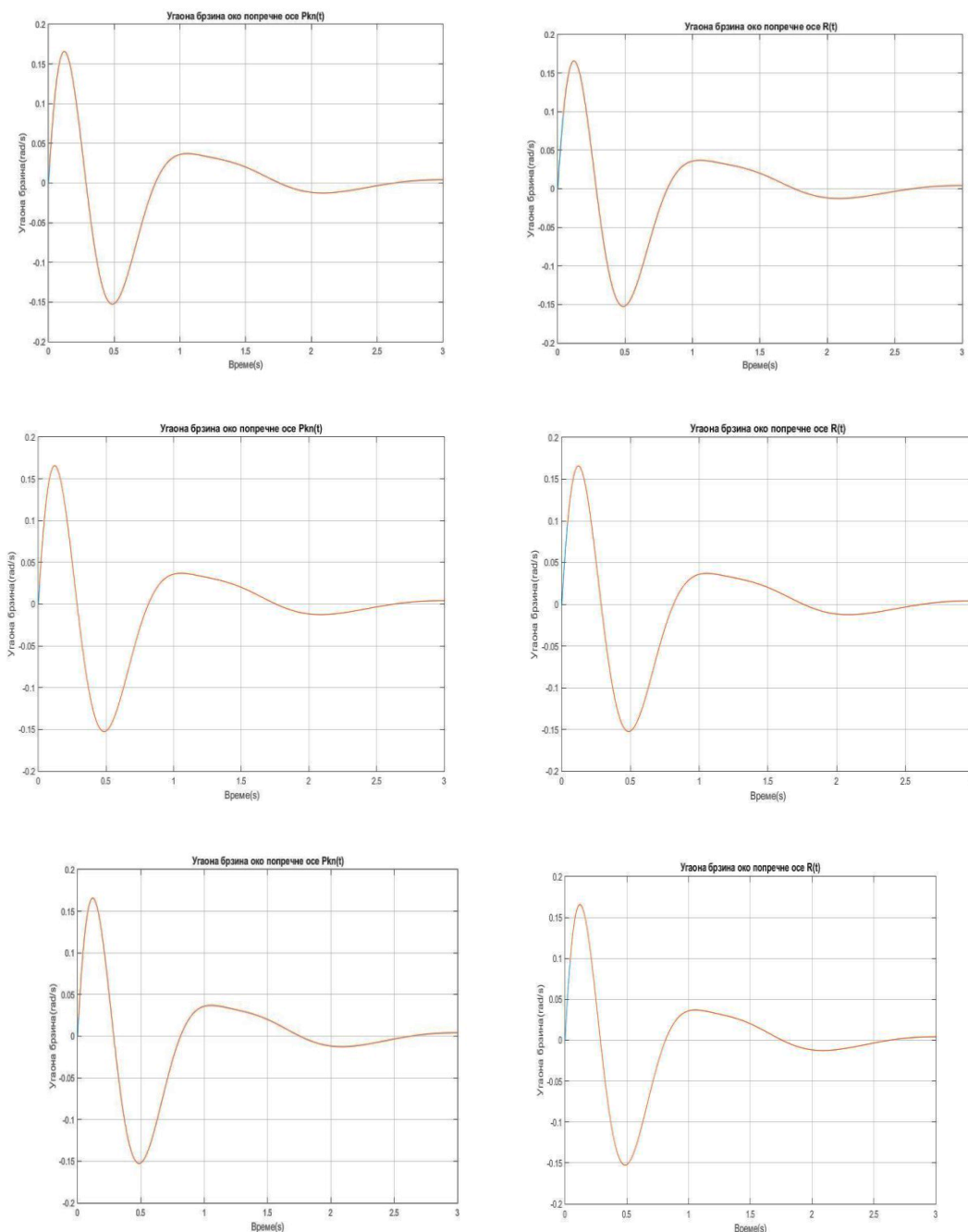
Слика 54: Галопирање за угао од 45, 60 и 85°, респективно за датотеку која узима вредности силе трзања и укупне силе отпора трзању у зависности од времена

Код галопирања вредности максималне амплитуде за углове 45, 60 и 85°, редом износе такође исто, 0.03 rad, што представља промену од 30 mrad. Ради поједностављања вредности угао од 30 mrad који изазива галопирање на даљини од 1000m изазваће одступање од нанишањеног циља за 30m што представља значајно одступање које треба кориговати, односно редуковати. Такође потребно је навести да систем и након 3 s још није ушао у финално стабилно стање мада конвергира ка стабилној фази што је коректно.



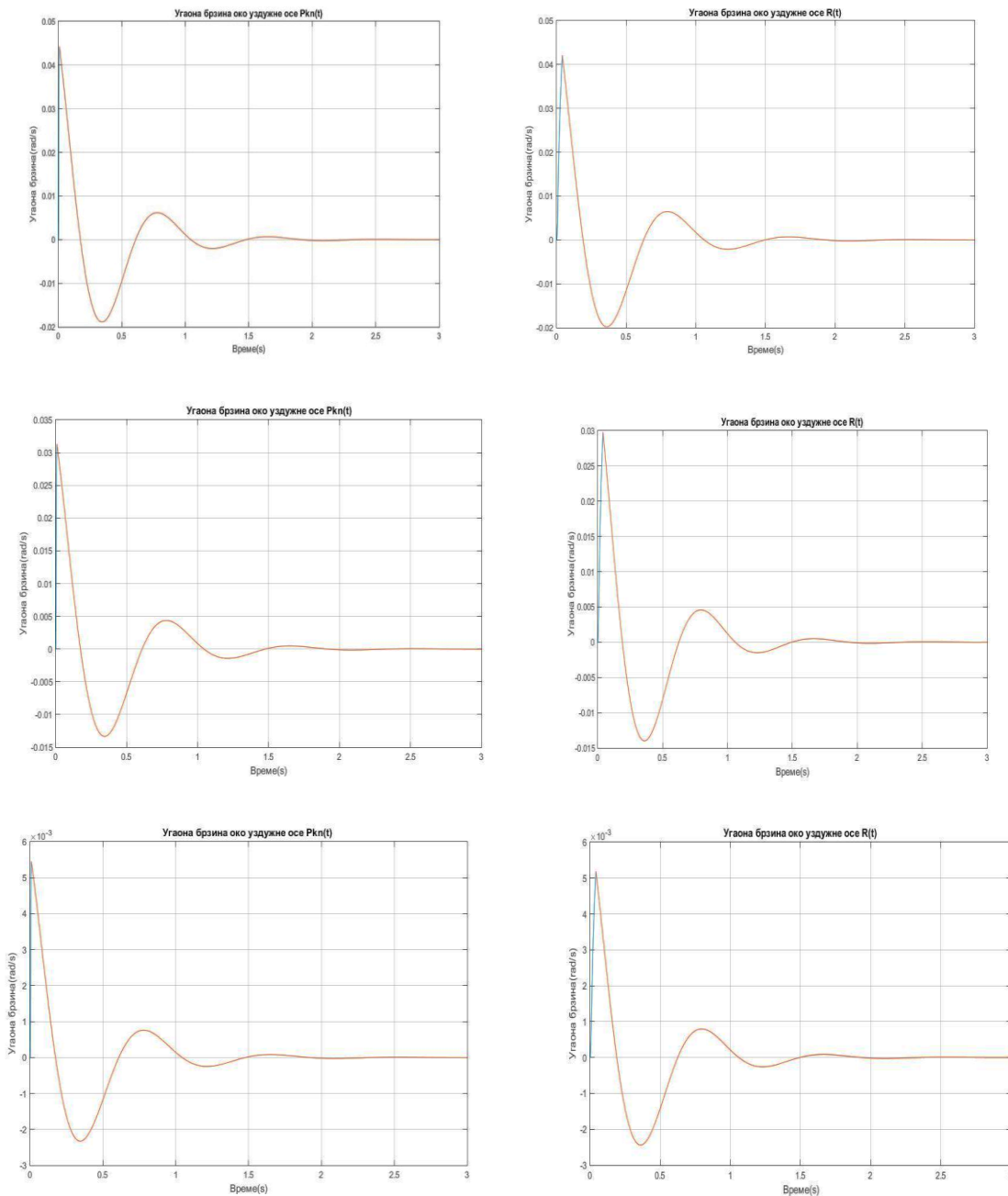
Слика 55: Померање тежишта по висини за 45, 60 и 85°, респективно за датотеку која узима вредности силе трзања и укупне силе отпора трзању у зависности од времена

Вредности померања тежишта по висини упоређују се са вредношћу $H_T = 1.0161$ m и износе исто за све углове елевације како при узимању силе трзања тако и при узимању укупне силе отпора трзању, приближно до 1.27 m што значи да померање тежишта износи 25.4 cm. Са дијаграма је приметно да систем улази у стање равнотеже након 1.5 s што је коректно.



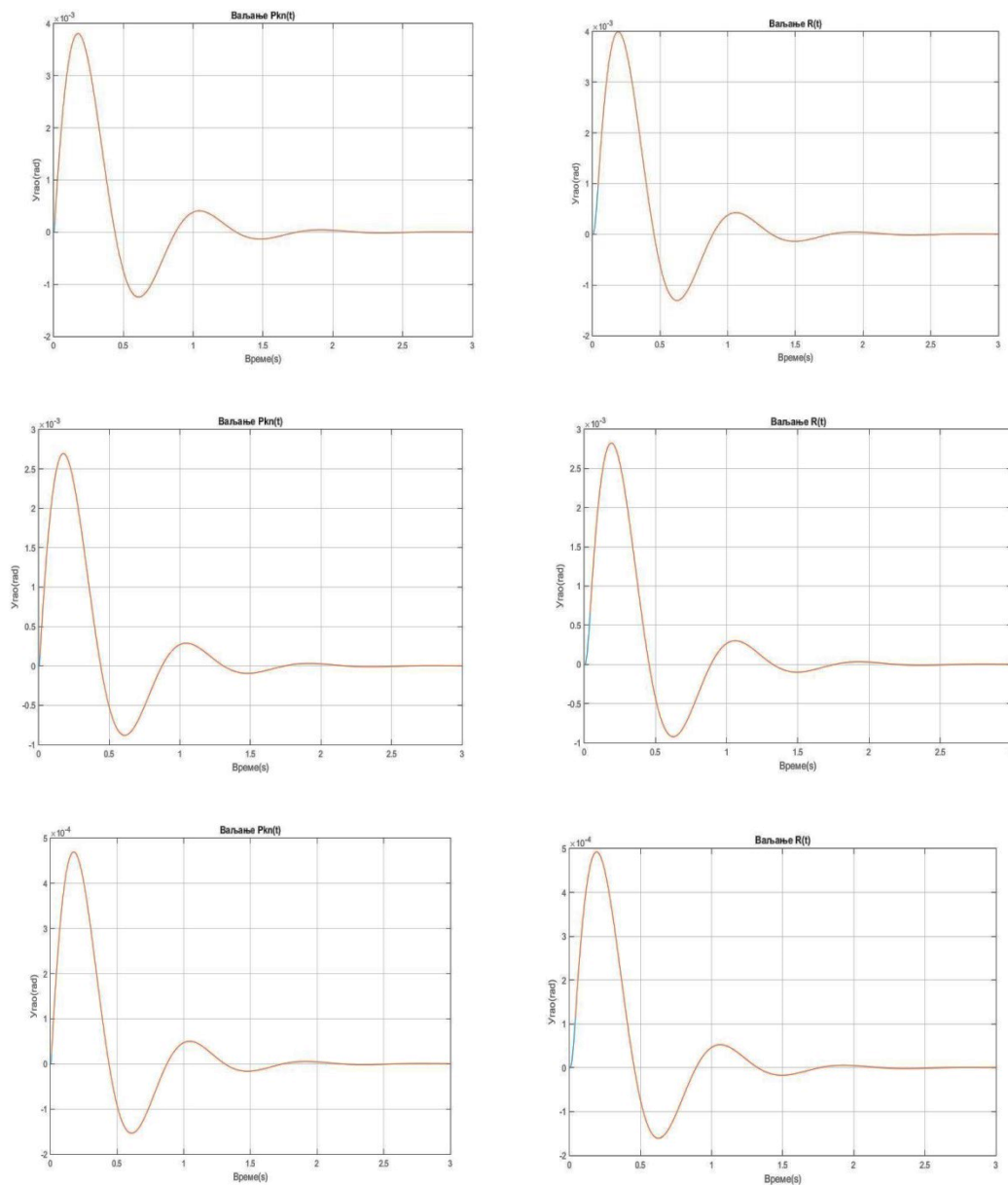
Слика 56: Угловна брзина око попречне осе за углове од 45, 60 и 85°, редом за датотеку која узима вредности силе трзања и укупне силе отпора трзању у зависности од времена

Максимална вредност угаоне брзине са дијаграма износи 0.165 rad/s и иста је за све углове елевације што такође представља значајну вредност коју је потребно смањити могућим поступцима. Такође са приказаних дијаграма видљиво је да систем конвергира ка стабилној фази али да и након 3 s није у потпуно стабилном стању. Резултати су идентични са датотеком која узима у обзир силу трзања и датотеком која узима у обзир укупну силу отпора трзању.



Слика 57: Угаона брзина око уздужне осе за углове 45° , 60° и 85° , редом редом за датотеку која узима вредности силе трзања и укупне силе отпора трзању у зависности од времена

Угаоне брзине око уздужне осе имају различит износ за различите углове. Приметно је да минимални угао елевације изазива максималну почетну вредност угаоне брзине 0.044 rad/s , угао међуелевације поседује средњу почетну вредност од 0.0315 rad/s док максимални угао елевације има занемарљиву почетну вредност у односу на остале од 0.0054 rad/s . Са дијаграма се види и да систем улази у стабилну фазу при свим угловима након 2 s што је коректно. Видљиво је и значење укупне силе отпора трзању при овом случају где код углова елевације 45° , 60° и 85° смањује амплитуде осциловања са 0.044 rad/s на 0.041 rad/s , са 0.0315 rad/s на 0.0295 rad/s и са 0.0054 rad/s на 0.0051 rad/s , респективно.



Слика 58: Ваљање за 45° , 60° и 85° , респективно за датотеку која узима вредности силе трзања и укупне силе отпора трзању у зависности од времена

Вредност ваљања за углове 45, 60 и 85° износе 3.8×10^{-3} , 2.65×10^{-3} и 4.75×10^{-4} rad, респективно. Из датотеке која узима у обзир укупну силу отпора трзању се вредности ваљања за углове повећавају на 4×10^{-3} , 2.8×10^{-3} и 4.95×10^{-4} rad. То представља очекиване резултате јер је изабран бочни положај гађања, азимут 90°.

Са дијаграма се види да систем почиње да улази у стање равнотеже након 2 s, односно да ваљање делује свега 2.5 s што је очекиван исход.

Са дијаграма се уочава да се за различите комбинације углова елевације добијају различите величине промена угаоне брзине око уздужне осе и ваљања као генералисаних координата, да се време достизања амплитуда, максималних отклона од равнотежног положаја, разликује.

Величина вертикалног померања и угаоног померања у хz равни (галомирање) значајно утиче на прецизност оружја. На 1000 m, цев оружја померена за 1 mrad доводи по одступања поготка на циљу за 1 m, грубо речено.

Из приказаних резултата, који узимају у обзир промену силу трзања у зависности од времена и промену укупне силе отпора трзању у зависности од времена, закључује се да је изабран релативно повољан положај за начин интеграције минобацачког система јер изазива очекиване вредности осцилација које у неким од случајева треба даље кориговати како би се дошло до повољније прецизности оруђа. Противтрзајући систем из наведених дијаграма нема значајну вредност код редукције осцилација јер је у већини случајева идентичан резултат осциловања код датотеке са силом трзања и датотеке са силом отпора трзања, што говори да силе дају једнаке импулсе притиска како је наведено у теорији сем код угаоне брзине око уздужне осе код које укупна сила отпора трзању смањује вредности, код углова елевације 45, 60 и 85°, амплитуде осциловања са 0.044 rad/s на 0.041 rad/s, са 0.0315 rad/s на 0.0295 rad/s и са 0.0054 rad/s на 0.0051 rad/s, респективно и код ваљања где се вредности повећавају за напоменуте углове са 3.8×10^{-3} на 4×10^{-3} , са 2.65×10^{-3} на 2.8×10^{-3} и са 4.75×10^{-4} rad на 4.95×10^{-4} rad.

Даља редукција приказаних осцилација могућа је погоднијим решењем уградње мада резултати који су добијени су очекивани јер је минобацач 120mm изузетно енергично оруђе.

ЗАКЉУЧАК

У овом раду је извршена отворена уградња минобацача 120 mm M75 на борбено возило пешадије М80-А. Минобацачи у борбеном распореду постају све значајнији.

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.

Изразни подаци УБ прорачуна минобацача 120 mm M75, методом Серебрјакова за минобацаче ($P_{\max} = 95.93 \text{ МПа}$, $V_0 = 350,5 \text{ m/s}$ и $x_u = 1,555 \text{ m}$), на основу којих су добијени дијаграми зависности притиска и брзине по времену и пређеном путу пројектила, као и пређеног пута у зависности од времена. Сви графици добијени овим прорачуном приказани су сликама.

Противтрзајући уређај је неопходан код интеграције на мобилне платформе, зато што би се оптерећење изазвано опаљењем, односно трзањем склопа цеви пренело 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 дужине трзања. Сила отпора коју ствара кочница добијена овим прорачуном у првом периоду трзања линеарно расте да би на крају првог и почетку другог периода трзања достигла максимум. Други период представља константну вредност, а када престане дејство барутних гасова и почне трећи период трзања сила линеарно опада. Тиме се обезбеђује правилно кретање трзајуће масе и њених делова током опаљења.

Како за максимални угао елевације тако и за минимални, може се видети да су добијени готово идентични дијаграми зависности.

Циљ прорачуна је био одређивање, односно добијање вредности проточних отвора унутар кочнице трзања, да би се ти подаци искористили за израду кочнице. Због великог притиска отвори би били највећи на самом почетку.

При различитим угловима приметна је незнатна разлика у максималној величини проточних отвора. То значи да се може усвојити средња вредност добијених профила проточних отвора за више испитаних елевација.

У раду представљена је и идеја конструкционог решења самоходног минобацача са аутоматским пуњачем и обртном платформом. Коришћен је инжењерски софтвер Catia V5. Коришћењем аутоматског пуњача значајно се повећава каденца и напор посаде своди на најмању меру. Неке од даљих идеја јесу додатна уградња бацача димних кутија који су намењени за маскирање оруђа или живе силе помоћу дима из димних кутија које се лансирају на даљине до 130m. Такође, сврсисходно је уградити и додатно оружје у виду даљински управљиве борбене станице калибра 12.7mm како би се дејствовало по непријатељу непосредно на даљинама до 2000m таквим системом а не минобацачким гранатама. Тиме се постиже рационализација муниције.

У последње време се истражује и о примени дифузора који би био навијен на уста цеви и осигуран од самоодвијања, слично гасној кочници. Његова функција јесте да смањи притисак барутних гасова и на тај начин заштити систем од штетног дејства надпритиска око оруђа.

Након тога, теоријски, анализиране су силе у процесу опаљења како би се закључило каквим поступцима је могуће редуковати силу трзања. Графички су приказане силе на моделу самоходног минобацача и главне силе отпора трзању на посебним сликама.

На крају рада приступило се прорачуну осцилација мобилне платформе изазваних опаљењем. Извршен је прорачун како за минимални тако и за максимални угао елевације и међуелевациони угао. Опаљење изазива очекиване осцилације, како је приказано на резултатима, које је потребно редуковати одређеним поступцима који би представљали једну од идеја даље надоградње рада. Из приказаних резултата, који узимају у обзир промену силу трзања у зависности од времена и промену укупне силе отпора трзању у зависности од времена, закључује се да је изабран релативно повољан положај за начин интеграције минобацачког система јер изазива очекиване вредности осцилација које у неким од случајева треба даље кориговати како би се дошло до повољније прецизности оруђа. ПТУ из наведених дијаграма нема значајну вредност код редукције осцилација јер је у већини случајева идентичан резултат осциловања код датотеке са силом трзања и датотеке са силом отпора трзања, што говори да силе дају једнаке импулсе притиска како је наведено у теорији сем код угаоне брзине око уздужне осе код које укупна сила отпора трзању смањује вредности и код ваљања где се вредности повећавају за напоменуте углове.

Даља редукција приказаних осцилација могућа је погоднијим решењем уградње мада резултати који су добијени су очекивани јер је минобацач 120mm изузетно енергично оруђе.

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] http://www.military-today.com/artillery/m1129_stryker_mortar.htm
- [10] <http://www.military-today.com/artillery/floks.htm>
- [11] http://www.military-today.com/artillery/wiesel_2_mortar.htm
- [12] http://www.military-today.com/artillery/2s4_tyulpan.htm
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/GMM-120_self-propelled_mortar
- [14] [https://en.wikipedia.org/wiki/Dragon_Fire_\(mortar\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dragon_Fire_(mortar))
- [15] <http://www.tanks-encyclopedia.com/Yugoslavia/BVP-M80.php>
- [16]

ПРИЛОГ 1

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

POLAZNI PODACI		
SC=0.011315	SZ=0.000132	W0=0.00278
XU=1.55	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	84179248	0.00388
17.	209.99	0.291	80688080	0.00396
18.	215.99	0.309	77222288	0.00404
19.	221.99	0.329	73788704	0.00413
20.	227.99	0.35	70394128	0.00423
21.	233.99	0.373	67044864	0.00433
22.	239.99	0.397	63747112	0.00443
23.	245.99	0.424	60506676	0.00454
24.	251.99	0.452	57329096	0.00465
25.	257.99	0.483	54219524	0.00477
26.	263.99	0.517	51182780	0.0049
27.	269.99	0.553	48223408	0.00504
28.	275.99	0.592	45345420	0.00518
29.	281.99	0.635	42552560	0.00534
30.	287.99	0.682	39848216	0.0055
31.	293.99	0.733	37235316	0.00568
32.	299.99	0.789	34716436	0.00586
33.	305.99	0.85	32293638	0.00607
34.	311.99	0.917	29968704	0.00628
35.	317.99	0.991	27742968	0.00652
36.	323.99	1.073	25617374	0.00677
37.	329.99	1.163	23592404	0.00705
38.	335.99	1.262	21668242	0.00735
39.	341.99	1.373	19844692	0.00767
40.	347.99	1.496	18121138	0.00803
41.	V ₀ =350.652	1.555	17389478	0.00820

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 - Veljovic.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 - Veljovic.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

d=0.120; %kalibar MB, m
Sc=d*d*pi/4; %Povrsina poprecnog 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=42; %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=0.40; %max. duzina trzanja,m
R0=5000; %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);
ubrzu=(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))+ubrzu*((tp(jj)-tp(xxx))^2)/2;
    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
xlamba, 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
%*****

%*****
%           PO CETNI PODACI
%*****
beta1=1.8; %koeficijent pocetne sile povratnika
g=9.81; %ubrzanje Zemljine teze, m/s2
Emax=45*pi/180; %max. ugao elevacije, rad
mi=0.2; %koeficijent trenja
sk=2; %stepen kompresije povratnika
k=1.4; %koeficijent proticanja tecnosti
rohu=900; %gustina HUNT-S, kg/m3

dt=0.07; %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
R1
Fkt
Fp

figure(4)
plot(tp,vtrz)
grid on
title('Promena brzine trzanja')
xlabel('Vreme trzanja, s')
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')

```

ПРИЛОГ 3

ПРОРАЧУН ОСЦИЛАЦИЈА МОБИЛНЕ ПЛАТФОРМЕ ИЗАЗВАНИХ ОПАЉЕЊЕМ У ПРОГРАМСКОМ ПАКЕТУ MATLAB

```
%pomeranje pod dejstvom opaljenja

clc;close all;clear all;

mv=10388; % ovesena masa vozila, kg
mo=500; % masa orudja, kg
m=mv+mo; % ukupna masa, kg
Jy=81281; % moment inercije, kg*m2
Jx=23264; % moment inercije, kg*m2
Htv=1; % visina tezista, m
alfa=85*pi/180; %ugao elevacije, rad
beta=90*pi/180; %azimut, rad
s=1.263; % polovina traga gusenica; m
c=85788; % koeficijent krutosti, N/m
k=18750; % koeficijent prigusenja, N*s/m
h=0.350; %vertikalno rastojanje do orudja, m
d=0.715; %horizontalno rastojanje do orudja, m

k1=k; % koeficijent prigusenja, N*s/m
k2=0; % koeficijent prigusenja,
k3=0; % koeficijent prigusenja,
k4=0; % koeficijent prigusenja,
k5=k; % koeficijent prigusenja, N*s/m

l1=1.865; % rastojanje od prvog (zadnjeg) tocka do tezista, m
l2=1.103; % rastojanje od drugog tocka do tezista, m
l3=0.333; % rastojanje od treceg tocka do tezista, m
l4=0.547; % rastojanje od cetvrtog tocka do tezista, m
l5=1.427; % rastojanje od petog (prednjeg) tocka do tezista, m

Ht=(mv*Htv+mo*(Htv+h))/m % visina tezista, m
%Ht=1.139; % visina tezista, m

k11=(2*k1+2*k2+2*k3+2*k4+2*k5);
k12=(2*l1*k1+2*l2*k2+2*l3*k3-2*l4*k4-2*l5*k5);
k21=(2*l1*k1+2*l2*k2+2*l3*k3-2*l4*k4-2*l5*k5);
k22=(2*(l1^2)*k1+2*(l2^2)*k2+2*(l3^2)*k3+2*(l4^2)*k4+2*(l5^2)*k5);
k33=(2*(s^2)*k1+2*(s^2)*k2+2*(s^2)*k3+2*(s^2)*k4+2*(s^2)*k5);
c11=10*c;
c12=2*c*(l1+l2+l3-l4-l5);
c21=2*c*(l1+l2+l3-l4-l5);
c22=2*c*((l1)^2+(l2)^2+(l3)^2+(l4)^2+(l5)^2);
c33=10*c*(s^2);

ulaznasila=importdata('MBR120mm.txt');
SILA=ulaznasila(:,1);
vreme=ulaznasila(:,2);
```

```

y0=[0;
    0;
    0;
    0;
    0;
    0];

y=y0';

y_izlaz(1,:)=y0';

for i=1:length(vreme)-1

tspan=[vreme(i) vreme(i+1)];

Q1=-SILA(i)*(cos(beta))*(sin(alfa))+10*Ht*c;
Q2=SILA(i)*(cos(beta))*(cos(alfa))*h+SILA(i)*(cos(beta))*(sin(alfa))*d-
2*Ht*c*(-l1-l2-l3+l4+l5);
Q3=SILA(i)*(sin(beta))*(cos(alfa))*h;

% Q1=-SILA(i)*(cos(beta))*(sin(alfa));
% Q2=SILA(i)*(cos(beta))*(cos(alfa))*h+SILA(i)*(cos(beta))*(sin(alfa))*d;
% Q3=SILA(i)*(sin(beta))*(cos(alfa))*h;

F=@(t,y) [y(4);
    y(5);
    y(6);
    -(k11/m)*y(4)-(k12/m)*y(5)-(c11/m)*y(1)-(c12/m)*y(2)+Q1/m;...
    -(k12/Jy)*y(4)-(k22/Jy)*y(5)-(c12/Jy)*y(1)-(c22/Jy)*y(2)+Q2/Jy;...
    -(k33/Jx)*y(6)-(c33/Jx)*y(3)+Q3/Jx];

[~,y_privremeno]=ode45(F,tspan,y0);
y=y_privremeno(end,:);
y_izlaz(i+1,:)=y_privremeno(end,:);
y0=y_privremeno(end,:);
end

y=y_izlaz;
t=vreme;

y1=y(:,1);
y1k=y1(end);
y2=y(:,2);
y2k=y2(end);
y3=y(:,3);
y3k=y3(end);
y4=y(:,4);
y4k=y4(end);
y5=y(:,5);
y5k=y5(end);
y6=y(:,6);
y6k=y6(end);

```

```

figure(1)
plot(t,y(:,1))
title('Pomeranje tezista po visini')
xlabel('Vreme(s) ')
ylabel('Pomeranje(m) ')
grid on
hold on

figure(2)
plot(t,y(:,2))
title('Galopiranje')
xlabel('Vreme(s) ')
ylabel('Ugao(rad) ')
grid on
hold on

figure(3)
plot(t,y(:,3))
title('Valjanje')
xlabel('Vreme(s) ')
ylabel('Ugao(rad) ')
grid on
hold on

figure(4)
plot(t,y(:,4))
title('Brzina pomeranja tezista po visini')
xlabel('Vreme(s) ')
ylabel('Brzina(m/s) ')
grid on
hold on

figure(5)
plot(t,y(:,5))
title('Ugaona brzina oko poprecne ose')
xlabel('Vreme(s) ')
ylabel('Ugaona brzina(rad/s) ')
grid on
hold on

figure(6)
plot(t,y(:,6))
title('Ugaona brzina oko uzduzne ose')
xlabel('Vreme(s) ')
ylabel('Ugaona brzina(rad/s) ')
grid on
hold on

R=0;
Q1=-R*(cos(beta))*(sin(alfa))+10*Ht*c;
Q2=R*(cos(beta))*(cos(alfa))*h+R*(cos(beta))*(sin(alfa))*d-2*Ht*c*(-l1-l2-
l3+l4+l5);
Q3=R*(sin(beta))*(cos(alfa))*h;

```

```

% Q1=-R*(cos(beta))*(sin(alfa));
% Q2=R*(cos(beta))*(cos(alfa))*h+R*(cos(beta))*(sin(alfa))*d;
% Q3=R*(sin(beta))*(cos(alfa))*h;

tspan=t(end):0.0001:3;

F=@(t,y) [y(4);
    y(5);
    y(6);
    -(k11/m)*y(4)-(k12/m)*y(5)-(c11/m)*y(1)-(c12/m)*y(2)+Q1/m;...
    -(k12/Jy)*y(4)-(k22/Jy)*y(5)-(c12/Jy)*y(1)-(c22/Jy)*y(2)+Q2/Jy;...
    -(k33/Jx)*y(6)-(c33/Jx)*y(3)+Q3/Jx];

y0=[y1k(end);
    y2k(end);
    y3k(end);
    y4k(end);
    y5k(end);
    y6k(end)];

[t,y]=ode45(F,tspan,y0);

figure(1)
plot(t,y(:,1))
title('Pomeranje tezista po visini')
xlabel('Vreme(s)')
ylabel('Pomeranje(m)')
grid on

figure(2)
plot(t,y(:,2))
title('Galopiranje')
xlabel('Vreme(s)')
ylabel('Ugao(rad)')
grid on

figure(3)
plot(t,y(:,3))
title('Valjanje')
xlabel('Vreme(s)')
ylabel('Ugao(rad)')
grid on

figure(4)
plot(t,y(:,4))
title('Brzina pomeranja tezista po visini')
xlabel('Vreme(s)')
ylabel('Brzina(m/s)')
grid on

figure(5)
plot(t,y(:,5))
title('Ugaona brzina oko poprecne ose')
xlabel('Vreme(s)')

```

```
ylabel('Ugaona brzina(rad/s)')  
grid on  
  
figure(6)  
plot(t,y(:,6))  
title('Ugaona brzina oko uzduzne ose')  
xlabel('Vreme(s)')  
ylabel('Ugaona brzina(rad/s)')  
grid on
```