

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: 328/2019

Милан В. Вучковић

Анализа могућности интеграције
минобацача калибра 120 mm на
точкашку платформу
Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Александар Кари - ментор
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

Анализира могућност интеграције минобацача калибра 120 mm M75 на возило Застава НТВ. Потребно је да опише минобацач калибра 120 mm M75 као и да опише страна решења самоходних минобацача калибра 120 mm. У даљем раду је неопходно да изврши УБ прорачун минобацача, затим одреди силу трзања и силу отпора трзању и на самом крају изврши FEM анализу рама возила. Резултате добијене FEM анализом који приказују напонско стање рама возила при опаљењу потребно је да прокоментарише и да да свој закључак о могућности интеграције.

Препоручена литература:

др Љубиша Танчић, *Збирка задатака из унутрашње балистике*, Београд 1999.

З. Ристић, М. Јаковљевић, *Основи наоружања (артиљеријска оруђа)*, ВА Београд, 2013.

Новак Митровић, *Кумулативна научно – техничка информација „Самоходни минобацачи“*, Београд 1992.

Крагујевац, 2020.

Ментор:

др Александар Кари, доцент

Садржај:

Увод	2
1. Минобацач као артиљеријско оруђе	3
1.1 Појам и подела минобацача	3
1.2 Историјски развој минобацача	4
1.3 Савремени самоходни минобацачи калибра 120 mm	8
1.3.1 Самоходни минобацач 120 mm 2С9 Нона – С (СО – 120)	8
1.3.2 Самоходни минобацач 120 mm 2С23 – Нона СВК	9
1.3.3 Самоходни топ / минобацач 120 mm 2С31 – Вена	10
1.3.4 Самоходни минобацач 120 mm Wiesel 2	11
1.3.5 Самоходни минобацач 120 mm AMOS	12
1.3.6 Самоходни минобацач 120 mm M1129 Stryker	13
1.3.7 Самоходни минобацач 120 mm Флокс	15
1.4 Минобацач домаће производње 120 mm M75	15
1.4.1 Цев са задњаком	16
1.4.2 Подлога	16
1.4.3 Двоножни лафет	17
1.4.3.1 Огрлица са амортизерима	17
1.4.3.2 Механизам за покретање по висини	17
1.4.3.3 Механизам за покретање по правцу	17
1.4.3.4 Справа за отклањање косине	17
1.4.4 Подвозак	18
1.4.5 Комплет нишанске справе NSB – 4	18
1.4.6 Врста и режим гађања	18
2. Балистички прорачун минобацача	20
2.1 Теоријски осврт на методу Серебрјакова	20
2.1.1 Претходни период	21
2.1.2 Први период	21
2.1.3 Други период	23
2.2 Резултати УБ прорачуна добијени методом Серебрјакова за минобацач 120 mm M75	27
3. Сила трзања и сила отпора трзању самоходног минобацача калибра 120 mm	29
3.1 Сила трзања	29
3.2 Сила отпора трзању	30
4. Противтрзајући уређај (ПТУ)	33

4.1 Хидраулична кочница једноставне конструкције	34
4.2 Опружни повратник.....	37
5. Прорачун ПТУ-а у програмском пакету MATLAB и анализа добијених резултата....	42
5.1 Прорачун слободног и коченог трзања.....	42
5.1.1 Прорачун слободног трзања	42
5.1.2 Прорачун коченог трзања	43
5.2 Прорачун опружног повратника	45
5.3 Прорачун силе трења.....	46
5.4 Прорачун хидрауличне кочнице	46
5.5 Анализа добијених резултата	46
6. Опис теренског возила Застава НТВ и FEM анализа рама возила	50
6.1 Опис теренског возила Застава НТВ.....	50
6.2 FEM анализа рама возила	53
7. Закључак	63
Литература.....	64
Прилог 1.....	65
Прилог 1.1 Програмско решење за УБ прорачун	65
Прилог 1.2 Улазни подаци за УБ прорачун	68
Прилог 1.3 Датотека са улазним подацима	69
Прилог 1.4 Резултати УБ прорачуна.....	69
Прилог 2. Прорачун ПТУ-а за минобацач 120 mm M75 у програмском пакету MATLAB	71

РЕЗИМЕ

У оквиру мастер рада „Анализа могућности интеграције минобацача калибра 120 mm на точкашку платформу“ дата је уопштена дефиниција минобацача, описан је минобацач домаће производње калибра 120 mm M75, а такође су описани и савремени самоходни минобацачи калибра 120 mm. Поред овога, извршен је УБ прорачун минобацача, а посебна пажња је посвећена сили трзања, сили отпора трзању, као и противтрзајућем уређају. На самом крају рада је извршена FEM анализа рама возила, приказани су резултати добијени анализом напонског стања и дат је закључак о могућности интеграције минобацача M75 на возило Застава НТВ.

Кључне речи: *минобацач, интеграција, точкашка платформа, трзање, противтрзајући уређај, FEM анализа, напонско стање.*

ABSTRACT

Within the master's thesis “Analysis of the possibilities of integration 120mm mortar on a mobile wheel platform“ is shown general definition of mortar, a description of domestic mortar 120mm M75, and a write-up of a modern mobile mortar 120mm caliber. Further, there is an IB analysis of a mortar, with an accent to recoil force, force of resistance recoil, and anti – recoil device. At the end, an FEM analysis of the frame of the vehicle is done. There is a summary of results given by the analysis of the stress state and a conclusion regarding possibilities of integration of mortars on a Zastava NTV (New terrain vehicle).

Keywords: *mortar, integration, wheel platform, recoil, anti – recoil device, FEM analysis, stress state.*

Увод

У овом мастер раду је извршена анализа могућности интеграције минобацача калибра 120 mm M75 на возило Застава НТВ. У циљу смањења вероватноће уништења минобацача услед откривања ватреног положаја радаром за откривање минобацача, неопходно је било да се повећа њихова покретљивост, и то уградњом на лакооклопљене шасије точкашких или гусеничних возила.

У првој тачки мастер рада је описан минобацач као артиљеријско оруђе и дата је основна подела минобацача. Поред овога, описан је историјски развој минобацача, дат је преглед страних решења самоходних минобацача калибра 120 mm и описан је минобацач домаће производње 120 mm M75.

У другој тачки је извршен унутрашње – балистички (УБ) прорачун минобацача. Најпре је дат теоријски осврт на методу Серебрјакова којом је и извршен УБ прорачун, а затим су приказани резултати прорачуна у виду дијаграма. Програмско решење за УБ прорачун, улазни подаци као и резултати УБ прорачуна у виду табеле су приказани у прилогу 1.

Трећа тачка обухвата теоријско разматрање силе трзања и силе отпора трзању. Силу трзања је било неопходно прорачунати како би се извршила FEM анализа рама возила на које је минобацач интегрисан, зато што сила отпора трзању представља силу која се преноси на мобилну платформу при опаљењу. Дијаграм промене силе трзања у зависности од времена је такође приказан у тачки 3.

Противтрзајући уређај (ПТУ) који обухвата хидрауличну кочницу једноставне конструкције и опружни повратник је описан у четвртој тачки овог рада. Хидраулична кочница једноставне конструкције и опружни повратник су изабрани због једноставности њихове конструкције и самим тим високе поузданости. Поред описа делова ПТУ-а, приказани су и поступци за добијање израза који су неопходни за прорачунавање силе хидрауличне кочнице и силе опружног повратника.

У петој тачки је приказан поступак прорачуна ПТУ-а и извршена је анализа добијених резултата. Резултати прорачуна су приказани у виду дијаграма (промена силе опружног повратника у зависности од пута трзања, промена силе хидрауличне кочнице у зависности од пута трзања, промена укупне силе отпора трзању у зависности од пута трзања, као и потребна површина проточних отвора у хидрауличној кочници у зависности од пута трзања). Програмско решење за прорачун ПТУ-а је приказано у прилогу 2.

У шестој тачки је извршен опис возила Застава НТВ као и FEM анализа рама возила. Пре извршења FEM анализе било је неопходно упростити делове рама, како би анализа била лакше и брже извршена, па су оригинални делови као и упрошћени делови рама возила приказани у овој тачки. Такође, дати су и резултати FEM анализе који приказују напонско стање које се јавља у раму возила приликом опаљења. На добијене резултате су дати коментари.

У последњој тачки је написан закључак о могућности интеграције минобацача M75 на возило Застава НТВ.

1. Минобацач као артиљеријско оруђе

1.1 Појам и подела минобацача

Минобацач (енг. MORTAR, фр. MORTIER, рус. MINOMET, нем. MINENWERFER – MORSER, итал. MORTARIO) представља врсту артиљеријског оруђа које је намењено за извршавање задатака непосредне до опште ватрене подршке. По правилу се користи за гађање горњом групом углова, и то од $+45^\circ$ до око $+85^\circ$. Представља оруђе са глатком, ређе олученом цеви. Због убацне путање мине овим оруђем је могуће дејствовати по заштићеном непријатељу у планинским и брдским пределима, где би коришћење артиљеријских оруђа било недовољно тачно и опасно због близине сопствених јединица. Велика кривина путање омогућује да могу да воде борбу из дубоких заклона (ров, јаруга, итд.) и преко сопствених јединица. [1]

Са тактичко – техничког становишта, минобацачи се одликују [1]:

- малом масом, због једноставности њихове конструкције,
- лаким транспортовањем и могућношћу разноврсног транспорта,
- једноставним руковањем и одржавањем,
- високим процентом ефикасности мине на циљу (за исти калибар, у поређењу са артиљеријским пројектилом, минобацачка мина остварује боље парчадно дејство што се објашњава већим падним углом мине, чиме се повећава површина тучења парчадима; мина има боље рушеће дејство од артиљеријског пројектила истог или блиског калибра будући да је коефицијент експлозивног пуњења већи),
- великом брзином гађања,
- кратким временом израде и ниском ценом,
- једноставношћу и др.

Најбитнији недостаци минобацача су [1]:

- веома изражена осетљивост на промену метеоролошких услова,
- неефикасност против оклопљених циљева (овај недостатак се елиминише развојем касетних, кумулативних, поткалибарних и мина са самонавођењем на завршном делу путање за дејство на лакооклопљене циљеве).

Развој радара за откривање минобацача условио је да су честе промене ватреног положаја једини начин да се обезбеди непрекидна и ефикасна ватра из минобацача, мада њихове мање димензије, посебно код малих и средњих калибара минобацача, чине њихово откривање тешким.

У циљу смањења вероватноће уништења минобацача услед откривања ватреног положаја радаром за откривање минобацача, неопходно је било да се повећа њихова покретљивост, и то уградњом на лакооклопљене шасије точкашких или гусеничних возила.

У наоружању или развоју у свету налазе се самоходни минобацачи калибра од 60 до 240 mm. Најмасовније су у употреби самоходни минобацачи калибра 120 mm.

Класификација (преносних, вучних и самоходних) минобацача по калибру је [1]:

- лаки, калибра 51 до 60 mm (намењени за непосредну ватрену подршку сопствених јединица на даљинама до 5000 m),
- средњи, калибра 60 до 100 mm (намењени за непосредну ватрену подршку сопствених јединица на даљинама до 7600 m),
- тешки минобацачи калибра преко 100 mm (намењени за општу ватрену подршку сопствених јединица на даљинама до 13000 m).

По начину пуњења цеви постоје два конструкцијска решења самоходних минобацача [1]:

- минобацачи који се пуне кроз уста цеви,
- минобацачи који се пуне са стране задњака.

У пројектовању самоходних минобацача постоје две концепције [1]:

- оруђа отворене уградње (без куполе) на шасију гусеничног или точкашког лакооклопљеног возила,
- оруђа куполне уградње на шасију гусеничног или точкашког лакооклопљеног возила.

Иако имају одређене предности у односу на преносне и вучне минобацаче (већа покретљивост, бржа промена ватреног положаја и др.) оруђа са отвореном уградњом наоружања не пружају никакву НБХ и балистичку заштиту послуги. Велики број овако конципираних оруђа у свету се може објаснити једноставношћу конструкције, ниском ценом модификације лакооклопљених шасија, као и великим бројем расположивих шасија за уградњу минобацача.

Због свих недостатака оруђа са отвореном уградњом наоружања, развој савремених самоходних минобацача усмерен је ка реализацији оруђа са куполном уградњом наоружања (балистичка и НБХ заштита послуге, аутоматизација пуњења и др.). [1]

1.2 Историјски развој минобацача

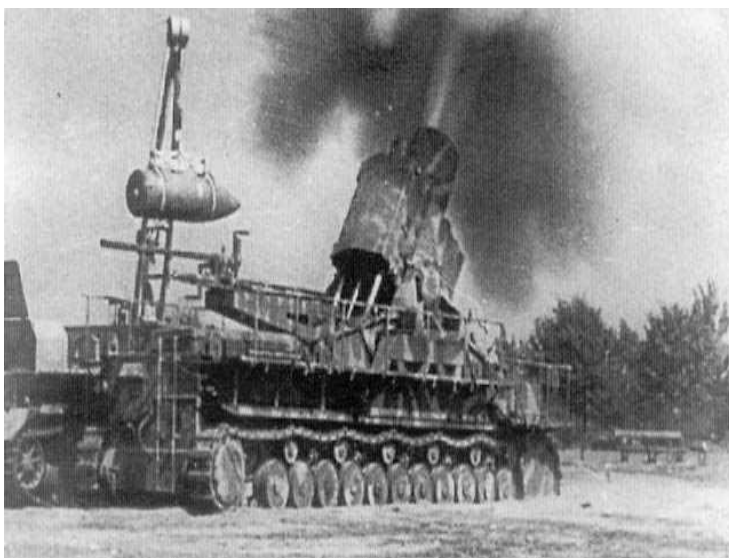
За време руско – јапанског рата (1904. – 1905. год.) јавила се потреба за новим оруђем, када су и настали први минобацачи. За време опсаде Порт Артура, када су зараћене стране биле толико близу да топови нису могли гађати непријатеља без опасности по сопствену послугу, долази до изражаја идеја да се из сопствених ровова убаци пројектил у противнички ров без излагања послуге непосредној опасности. Руси су конструисали посебан пројектил за чије испаливање су користили прилагођени брдски топ калибра 47 mm. Главни захтев који се постављао пред то оруђе је било гађање горњом групом углова и конструисано је тако да је гађало под полазним угловима од 45° до 65°, чиме је створен први минобацач. [2]



Слика 1.1 *Први руски минобацач* [2]

Такође, треба нагласити да минобацачи нису прва оруђа која су гађала горњом групом углова. Пре минобацача су се користила масивна оруђа, олучених, као и глатких цеви и великих калибра који су се називали мерзери.

Мерзери свој процват доживљавају током Другог Светског рата. Немци, на захтев немачког артиљеријског генерала Карла Бекера конструишу тешко средство калибра 600 mm које се користило у дејствима на Мажино линији, у нападима на Севастопољ, Варшаву и Брест – Литовск. Први пут је, због великих габарита, направљено самоходно борбено средство, при чему је један од главних проблема био тај што возило није могло да у потпуности апсорбује трзај оруђа тог калибра. Поред тога превођење оруђа из маршевог у борбени положај и обрнуто је трајало изузетно дуго, а оруђе је имало изузетно малу брзину гађања. [2]



Слика 1.2 *Мерзер Карл калибра 600 mm* [2]



Слика 1.3 Ефекат дејства пројектила калибра 600 mm [2]

Почетком 1944. године Американци су направили средство највећег калибра икада. Калибар мерзера "Мали Давид" је био 914 mm и био је намењен за напад на јапанску фортификацију.



Слика 1.4 Мали Давид у борбеном положају [2]

У борбени комплет овог средства су улазила два вучна транспортера на којима је цев била ослоњена. Поред тога, у борбени комплет су улазили булдожер и кран који су били намењени за укопавање средства. Време које је било потребно за прелазак из маршевог у борбени положај је износило око 12 сати, док је код немачког Карла то време износило око 3 недеље. [2]

Немци током Првог светског рата конструишу своје прве минобацаче који подсећају на хаубице, али са том разликом да су цеви са задње стране биле затворене и пуниле су се кроз уста цеви.

Такође, 1918. године Британци уводе у наоружање први савремени минобацач Штокс – Бранд. Минобацач је имао глатку цев, допунска стабилизација се постизала помоћу крилаца, имао је релативно велику брзину гађања и крајњи домет. [2]



Слика 1.5 Штокс – Бранд калибра 81 mm [4]



Слика 1.6 Немачки минобацач из 1918. године [2]

Минобацачи су током Другог светског рата доживели експанзију и ушли у наоружање свих земаља учесника рата. Временом, долази до развоја минобацача у правцу повећања максималног домета, смањења масе и побољшања маневарских карактеристика. На домет је утицала појава реактивних мина са додатним барутним пуњењем које се активирало у одређеном делу путање и на тај начин се повећавао домет. [2]

Табела 1.1 Најзначајнији минобацачи и мерзери конструисани до 1944. године [2]

Р.Б.	Назив средства	Година производње	Земља порекла	Калибар [mm]	Маса оруђа [kg]	Маса пројектила [kg]	Почетна брзина [m/s]	Максимални домет [m]
1.	Рекон. брдски топ	1904.–1905.	Русија	47	/	11.5	/	370
2.	Минобацач М 193	1913.	Немачка	250	628	92	200	2600
3.	Минобацач М 1914	1914.	Немачка	170	450	17	250	850
4.	Мерзер М 1915	1915.-1916.	Аустро – Угарска	305	20830	384	448	12200
5.	Штокс – Бранд М 1918	1918.	Енглеска	81	52.5	16.4	210	1900
6.	Мерзер Карл	1940.	Немачка	600	/	2200	200	6800
7.	Мерзер Мали Давид	1944.	Америка	914	40000	1656	381	9700

1.3 Савремени самоходни минобацачи калибра 120 mm

1.3.1 Самоходни минобацач 120 mm 2С9 Нона – С (СО – 120)

Самоходни минобацач 120 mm 2С9 Нона – С је уведен у оперативну употребу 1981. године и представља хибрид минобацача и оруђа за директну ватрену подршку. Тело самог возила је конструисано на бази оклопног транспортера БТР – Д. Оклоп возила је израђен од легуре алуминијума која послужи пружа заштиту од стрељачког наоружања и парчади граната. [5]

**Слика 1.7** Самоходни минобацач 120 mm 2С9 Нона – С [6]

Минобацач 120 mm је постављен у куполу која се може покретати у сектору од 70° , а поље дејства по елевацији је од -4° до $+80^\circ$. Систем Нона користи широк спектар муниције и то [5]:

- разорно – парчадне mine које се испаљују почетном брзином од 367 m/s са дометом од 8700 m,
- димне, осветљавајуће и запаљиве максималног домета 7100 m,
- активно – реактивне пројектиле домета 13000 m,
- кумулативне пројектиле пробојности 600 mm, којима је могуће водити противоклопну борбу на даљинама до 1000 m и
- ласерски вођене разорно – парчадне пројектиле Китолов – 2, домета 9000 m.

Самоходни минобацач 2С9 Нона – С се може, уз помоћ падобрана, избацити из авиона са висина од 300 до 1100 m.

Погонска група се састоји од дизел мотора са шест цилиндара 5D20 снаге 184 kW, и механичке трансмисије. На возилу је могуће подешавати клиренс и то од 100 до 450 mm јер је примењен систем независног хидропнеуматског ослањања.

У стандардну опрему возила се убрајају ИС рефлектори за осматрање и ноћну вожњу, систем за НБХ заштиту и средства везе. [5]

1.3.2 Самоходни минобацач 120 mm 2С23 – Нона СВК

Самоходни минобацач 120 mm 2С23 – Нона СВК је уведен у оперативну употребу 1990. године као трећи члан фамилије минобацача Нона.



Слика 1.8 Самоходни минобацач 120 mm 2С23 – Нона СВК [7]

Купола са минобацачем 120 mm је интегрисана на шасију оклопног транспортера БТР – 80. Тело возила је скоро идентично као код оклопног транспортера БТР – 80, са том разликом да су уклоњени пушкарница и командиров ИС рефлектор. Такође, другачији је распоред кровних и бочних врата.

На централни део оклопног тела постављена је купола са минобацачем 120 mm. Поље дејства по правцу је 70° , а по елевацији је од -4° до $+80^\circ$.

На кров куполе је постављен митраљез ПКТ калибра 7,62 mm, којим даљински управља командир возила. Маскирање обезбеђују 6 бацача димних кутија, који су монтирани на бокове куполе (по три са леве и десне стране).

Нона се може користити и као оруђе за директну ватрену подршку. [3]

1.3.3 Самоходни топ / минобацач 120 mm 2С31 – Вена

Руски артиљеријски систем 2С31 – Вена представља комбинацију минобацача и оруђа за директну ватрену подршку. Јавности је први пут приказан 1996. године, а у серијску производњу је уведен 2014. године.

Купола са системом Вена је интегрисана на шасију борбеног возила пешадије БМП – 3, али је могућа уградња и на друга возила. Оклопна заштита је на нивоу основног возила БМП – 3.

У куполи је смештено наоружање и три члана посаде. Нишанција седи лево, а командир и послужилац са десне стране топа. Поље дејства по правцу је 360°, док је по елевацији од -4° до 80°. [3]



Слика 1.9 Самоходни топ / минобацач 120 mm 2С31 – Вена [8]

Оруђе 120 mm има ојљабљену цев из које се могу испаљивати руски пројектили који су развијени за самоходне минобацаче 2С9 Нона - С и 2С23 – Нона СВК, као и минобацачке мине француске производње и ласерски вођени пројектили Китолов 2М.

Брзина гађања је од 8 – 10 мина у минути, а борбени комплет чини 70 мина. Вена је опремљена савременим системом за управљање ватром који након сваке испаљене мине омогућује аутоматско поновно заузимање елемената за гађање.

Помоћно наоружање чини митраљез калибра 7,62 mm интегрисан на турелу командира. На бокове куполе су постављени бацачи димних кутија калибра 81 mm (по 6 са леве и десне стране). [3]

Табела 1.2 Тактичко – техничке карактеристике руских самоходних минобацача 120 mm 2С9 Нона, 2С23 – Нона СВК, 2С31 – Вена [3]

Тактичко – техничке карактеристике	2С9 Нона	2С23 – Нона СВК	2С31 – Вена
Калибар минобацача [mm]	120	120	120
Калибар митраљеца [mm]	/	7,62	7,62
Борбени комплет минобацача	25	30	70
Борбени комплет митраљеца	/	500	/
Дужина [m]	6,02	7,4	6,75
Висина [m]	2,3	2,9	3,15
Ширина [m]	2,63	2,495	3
Клиренс [m]	0,45	0,475	0,48
Снага мотора [kW]	176	191	330
Специфична снага [kW/t]	20,23	13,17	19,11
Радијус кретања [km]	500	500	600
Капацитет резервоара за гориво [l]	400	290	420
Максимална брзина на путу [km/h]	60	80	70
Брзина пловљења [km/h]	9	10	10
Савлађује вертикалну препреку [m]	0,8	0,5	0,6
Савлађује ров [m]	1,8	2	1,8
Савлађује успон [%]	60	60	60
Савлађује нагиб [%]	30	30	30

1.3.4 Самоходни минобацач 120 mm Wiesel 2

На изложби Eurosatory 2006. године, немачка фирма Rheinmetall Defense представила је свој нови самоходни минобацачки систем. Ради се о извидничко – минобацачком систему, за чију је основу употребљено лако гусенично оклопно возило Wiesel 2.

Упркос ограниченој величини лаког гусеничног оклопног возила Wiesel 2 конструктори су нашли довољно места да се уз минобацач, унутар возила, смести и трочлана посада која током деловања остаје унутар возила.

Минобацач је постављен на задњи део возила, али, због ограниченог простора, није било могуће уградити полуаутоматски или аутоматски пуњач. Пуњење минобацача је решено на оригиналан начин, где се непосредно пре опаљења, минобацач спушта у водоравни положај, како би послужилац, кроз посебна враташца, из предњег дела возила убацио мину у цев.

Поред трочлане посаде, у Wiesel 2 стане и 25 класичних мина и 2 навођена пројектила. Укупна маса износи 4100 kg, што је још унутар дозвољених граница за превоз тешким транспортним хеликоптерима. [9]



Слика 1.10 Самоходни минобацач 120 mm Wiesel 2 [9]

1.3.5 Самоходни минобацач 120 mm AMOS

Шведска фирма Hägglunds Vehicle AB и финска фирма Vammias Oy су 1995. године склопиле споразум о заједничком развоју минобацачког система AMOS (Advanced MOrtar System). Систем AMOS се састоји од два минобацача калибра 120 mm постављена у оклопљену куполу. [3]



Слика 1.11 Минобацач 120 mm AMOS интегрисан на возило Patria AMV [10]

Конструисан је у две верзије [3]:

- AMOS Model A намењен је за наоружавање лаких оклопљених возила. Пуни се полуаутоматски кроз уста цеви,
- AMOS Model B представља сложенију, тежу и скупљу варијанту. Пуни се полуаутоматски кроз задњак цеви.

Навођење по елевацији и правцу је електрично, а по потреби може бити и ручно. Систем је спреман за отварање ватре 30 секунди након стицања на ватрени положај.

Време потребно за превођење из маршевог у борбени положај је око 15 секунди. Брзина гађања је 20 мина у минути (AMOS Model A), односно 24 мине у минути (AMOS Model B). Првих 6 мина се може испалити за 8 секунди (11 секунди код Model-a A).

Систем AMOS користи све стандардне мине калибра 120 mm, као и посебно развијене разорне мине масе 17 kg са максималним дометом од 10 km (AMOS Model A), односно 13 km (AMOS Model B). Поред стандардних мина, могу се испаљивати и вођене као и самонавођене мине, као што је шведска Strix. У борбеном комплексу се налази 6 вођених и 40 класичних разорних мина. [3]

Минобацачки систем AMOS може бити интегрисан на шасије различитих возила [3]:

- CV90,
- Sisu XA – 185 i Sisu XA – 203,
- Piranha III,
- MT – LB,
- M113,
- BMP – 1 / 2 / 3,
- Patria AMV.

Предности AMOS-а над класичним вучним минобацачима истог калибра су многобројне [3]:

- домет је већи између 30 и 40 %,
- практична брзина гађања је два до три пута већа,
- посада AMOS-а је заштићена од ватре стрељачког наоружања,
- ватрени положај је могуће напустити брже,
- поље дејства по правцу је 360°, док је код вучног свега неколико степени,
- поље дејства по елевацији је од -5° до +85°, итд.

1.3.6 Самоходни минобацач 120 mm M1129 Stryker

Самоходни минобацач M1129 подржава операције пешадије у сложеним теренима и урбаним срединама. У службену употребу америчке војске улази 2005. године. Тренутно се користи једино у америчкој војсци.

M1129 опремљен је минобацачем калибра 120 mm Soltam Cardom. Овај минобацач користи широк спектар муниције и то [11]:

- тренутно – фугасне,
- прецизно вођене,
- димне,
- осветљавајуће и IC осветљавајуће.

Борбени комплект овог минобацача чини 60 мина, максимални домет је 6800 m, а брзина паљбе је 16 мина у минути. Минобацач гађа са постављене позиције унутар возила, кроз кровне заштите које се отварају приликом гађања.

Такође, возила се наоружавају и додатно минобацачем калибра 81 mm или 60 mm. Секундарно наоружање чини митраљез калибра 7,62 mm.

Основни оклоп M1129 пружа заштиту посади до стрељачког наоружања до калибра 7,62 mm, док додатна заштита у виду керамичких плочица може посади да пружи додатну заштиту и на тај начин заштити посаду од зрна калибра до 14,5 mm. Такође, возило је опремљено системом НБХ заштите и аутоматским системом за гашење пожара.



Слика 1.12 Самоходни минобацач 120 mm M1129 Stryker [11]

Самоходни минобацач M1129 Stryker је монтиран на модификовану верзију шасије Stryker. Возило покреће турбо дизел мотор Caterpillar 3126 који развија 350 коњских снага. Погонски точкови се могу пребацивати између 8x4 и 8x8 конфигурације. Углавном се користи конфигурација 8x4 док се конфигурација 8x8 укључује за возњу ван путева. Возило нема амфибијске карактеристике. M1129 Stryker се може превозити помоћу авиона C – 130 Hercules или већим транспортним авионима. [11]



Слика 1.13 Унутрашњост самоходног минобацача 120 mm M1129 Stryker [11]

1.3.7 Самоходни минобацач 120 mm Флокс

Флокс је руски самоходни минобацачки систем први пут јавно приказан 2016. године. Камионски артиљеријски систем комбинује карактеристике минобацача и хаубица, па тако може пружити директну и индиректну ватрену подршку.

Флокс је монтиран на шасији камиона Урал – 4320 6х6. Компатибилан је са свом муницијом развијеном за руске самоходне минобацаче калибра 120 mm као што је 2С9 Нона – С. Може да гађа различитом муницијом, парчадно – разорним, кумулативним, димним минама. Максимални домет овом муницијом је 13 km. Поред овога, може користити и ласерски вођене разорно – парчадне пројектиле Китолов – 2, домета 9000 m. Максимална брзина гађања када се гађа парчадно – разорним минама је до 10 мина у минути. [12]



Слика 1.14 Самоходни минобацач 120 mm Флокс [13]

Возило је опремљено и даљински управљивом борбеном станицом, наоружаном митраљезом калибра 12,7 mm. Оклоп возила штити посаду од стрељачких зрна, док под возила може да издржи експлозије еквивалентне експлозији 2 kg ТНТ-а.

Такође, возило је опремљено НБХ системом заштите, и уз одређене припреме може савладати водене препреке дубине до 1,75 m. [12]

1.4 Минобацач домаће производње 120 mm M75

Минобацач 120 mm M75 је лако артиљеријско оруђе намењено за дејство по живој сили и уништење ватрених тачака. Гађање извршава убацном путањом па његово дејство нарочито долази до изражаја на испресецаном и планинском земљишту, на коме је противник заклоњен дубоко на задњем нагибу. Дејство минобацача је ефикасно за отварање пролаза кроз жичане препреке и минска поља, за рушење фортификацијских објеката лаког типа итд.

Одликује се малом масом, великом брзином гађања, добром покретљивошћу захваљујући разноврсним могућностима транспорта. M75 је оруђе стандардног минобацачког дизајна са двоножцем и подлогом округлог типа. [14]

Лаки минобацач 120 mm M75 сачињавају следећи делови и склопови [14]:

- цев са задњаком,
- подлога,
- двоножни лафет,
- подвозак и
- комплет нишанске справе NSB – 4.

За одржавање и употребу оруђа у трупним условима служе оруђни и батеријски РАП.



Слика 1.15 Лаки минобацач 120 mm M75 [15]

1.4.1 Цев са задњаком

Цев и задњак, укупне дужине 1692 mm чине раздвојиву функцију која обезбеђује сигурну и правилну функцију. Задњак и цев су израђени од висококвалитетног челика.

Механизам за опаљивање омогућава јединачну и брзу паљбу, па полуга механизма за запињање и окидање може да се постави у три положаја и то [14]:

- јединачна паљба,
- брза паљба,
- укочено.

1.4.2 Подлога

Својим обликом и тежином подлога обезбеђује оруђу потребну стабилност и отпорност при гађању при елевацијама од 45 до 85°.

Облик подлоге и покретљива полукугла у лежишту пете задњака обезбеђује минобацачу кружно дејство али уз померање двоножног лафета.

Облик подлоге и дебљина зида цеви обезбеђују гађање употребом свих врста мина калибра 120 mm. Користи лаке тренутно – фугасне, димне, осветљавајуће мине. Највећи домет са ЛТФ и димном мином је 6340 m (шестим пуњењем). Успешно дејство ЛТФ 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 убојног дејства ЛТФ мине са контактним упаљачем износи 17 m, а са близинским између 60 и 75 m.

Код димне мине се бели фосфор распршује у пречнику од око 40 m.

Највећи активни домет осветљавајућом мином је 5700 m, а најбоље резултате постиже када се бакља упали на 400 m висине, гори око 60 секунди и осветљава пречник од око 1200 m. [14]

1.4.3 Двоножни лафет

На тело двоножног лафета су уграђени [14]:

- огрлица са амортизерима,
- механизам за покретање по висини,
- механизам за покретање по правцу,
- справа за отклањање косине тла.

1.4.3.1 Огрлица са амортизерима

Огрлица је дводелна и омогућује брзо везивање цеви за двоножац и смештај амортизера који обезбеђује еластичну везу цеви и двоношца при опаљењу. [14]

Стезање огрлице на цеви се врши помоћу ручице, која има два положаја, тако да огрлица и цев могу бити у полустегнутом и потпуно стегнутом стању. [14]

1.4.3.2 Механизам за покретање по висини

Покретањем ручице механизма помоћу пара коничних зупчаника кретање се преноси на вретено механизма за покретање по висини, који је за цев везан преко навртке на вретену механизма за покретање по правцу. Угао нагиба цеви се промени за око шест хиљадитих за један обрт ручице механизма. [14]

1.4.3.3 Механизам за покретање по правцу

Ручним покретањем точкића механизма покреће се навртка правца по вретену механизма и обезбеђује се закретање цеви минобацача по правцу до 6° (укупно у леву и десну страну) без премештања двоножног лафета. Носач вретена механизма представља и носач нишанске справе. [14]

1.4.3.4 Справа за отклањање косине

Справа за отклањање косине је постављена између леве ножице двоношца и вођице вретена механизма за покретање по висини.

Приликом постављања ножица двоношца на нагнутом земљишту, покретањем навртке справе, цев се доводи у вертикалну раван гађања, што се контролише помоћу попречне либеле на нишанској справи. [14]

1.4.4 Подвозак

Подвозак представља независну целину на коју се поставља минобацач за транспорт запрежним грлом или вучним возилом. Помоћу подешавајућих затега и помоћу две огрлице цев и подлога минобацача се чврсто везују за подвозак. Превожење минобацача се може вршити брзином вучног возила. [14]

1.4.5 Комплет нишанске справе NSB – 4

Комплет нишанске справе NSB – 4 служи за усмеравање лаког минобацача 120 mm M75 по висини и правцу. По конструкцији представља комбинацију лактастог дурбина и нишанске справе NSB – 3. Дурбин је покретљив у две равни тако да омогућује лакши избор нишанске тачке на ватреном положају и погодан положај главе нишанције при нишањењу по правцу.

Либеле као и кончаница дурбина су осветљене трицијумским ампулама, па је у ноћним или у условима смањене видљивости непотребан класичан прибор за осветљавање. За читавање скала нишанске справе као и за читање карата у ноћним условима и у условима смањене видљивости у комплекту постоји и трицијумска светиљка TS – 2.

Уместо класичног прибора за осветљавање пикета користе се две трицијумске светиљке нишанске тачке TS – 3 (наранџаста и зелена боја). Вредност подеока справе је 1/6000. [14]

1.4.6 Врста и режим гађања

Ако се окидање врши помоћу механизма за опаљивање онда се полуга постави у положај за јединачну паљбу, а у случају да се гађа брзом паљбом, полуга се постави у положај за брзу паљбу.

Брзина гађања брзом паљбом је [14]:

- без поправке елемената нишањења 15 мина/минути;
- са поправком елемената нишањења:
 - a. 1 минут 9 мина
 - b. 3 минута 25 мина
 - c. 10 минута 35 мина
 - d. 1 сат 70 мина

У случају да не дође до опаљења поново се извршава окидање и у случају да не дође до опаљивања приступа се вађењу мине.

Табела 1.3 Тактичко – техничке карактеристике лаког минобацача 120 mm M75 [14]

Калибар [mm]	120
Максимални домет [m]	6270 (са ЛТФ мином) 5500 (са ТТФ мином) 8500 (са АР мином)
Минимални домет [m]	220 (са ЛТФ мином) 190 (са ТТФ мином)
Максимална почетна брзина [m/s]	318 (са ЛТФ мином) 274 (са ТТФ мином)
Поље дејства по правцу [°]	6 (без премештања двоношца лево – десно) 360 (са премештањем двоношца кружно)
Поље дејства по висини [°]	45 – 85
Тежина на ватреном положају [kg]	163
Тежина у маршевском положају [kg]	248
Висина уста цеви без уколавања подлоге при елевацији од 85° [mm]	1810
Димензије оруђа у маршевском положају [mm]	2205 (дужина) 1450 (ширина) 1060 (висина) 260 (клиренс)
Максимална брзина гађања (мина/минути)	15
Број послужилаца	4

2. Балистички прорачун минобацача

2.1 Теоријски осврт на методу Серебрјакова

У циљу решавања основног задатка унутрашње балистике, односно одређивања законитости развоја притиска барутних гасова и кретања пројектила у цеви оруђа – оружја, потребно је развити одређену теорију, односно дефинисати неопходне зависности између карактеристичних величина.

За проблем унутрашње балистичког прорачуна минобацача у овом раду се користи метода Серебрјакова, која се може користити и за унутрашње балистички прорачун бестрзајних оруђа. [16]

Пре дефинисања система једначина и методе, а ради решавања проблема у математичком смислу усвајају се следеће претпоставке [16]:

1. У запремини елементарне дужине и јединичног попречног пресека важи геометријски закон сагоревања;
2. Пре опаљења, барутна зрна су равномерно распоређена дуж барутне коморе;
3. Пре покретања пројектила, смеша барутних зрна и барутних гасова је непокретна и равномерно распоређена дуж барутне коморе;
4. Занемарује се кретање цеви, већ се само посматра релативно кретање пројектила у односу на цев;
5. Занемарује се отпор ваздуха испред пројектила;
6. Занемарује се губитак енергије услед загревања цеви;
7. Барутни гасови и барутна зрна се крећу различитим брзинама;
8. Координатни систем се везује за дно цеви;
9. Почетак решавања проблема је момент покретања пројектила, а почетни услови се одређују на основу решења класичне теорије.

За унутрашње балистички прорачун методом Серебрјакова код минобацача користи се следећи систем једначина [16]:

Једначина енергије:

$$pS_c (X'_\psi + X) = f_{b0}m_{b0} + f_b (m_b\psi - Y) - \frac{\Theta}{2} mV^2 \quad (2.1)$$

где је:

$$X'_\psi = \frac{1}{S_c} \left[W_0 - \frac{m_b}{\rho_b} (1 - \psi) - \alpha (m_b\psi - Y) - \alpha_0 m_{b0} \right] \quad (2.2)$$

а количина гасова која истиче из цеви:

$$Y = m_b\eta = \xi' AS_z \int p dt = \xi' AS_z I_k y \quad (2.3)$$

Једначина кретања пројектила:

$$m \frac{dV}{dt} = pS' \quad (2.4)$$

Релативна сагорела маса барута:

$$\psi = k_1 y (1 + \lambda_1 y) \quad (2.5)$$

Промена релативне сагореле дебљине барутног зрна:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{u_{z0}}{r_0} p \quad (2.6)$$

Процес који се дешава у цеви оруђа можемо поделити на три периода [16]:

- претходни,
- први и
- други.

2.1.1 Претходни период

Према претпоставци, кретање пројектила почиње када сагори основно пуњење, и створени гасови тренутно припале допунска пуњења. Притисак барутних гасова расте од притиска припале p_p до притиска форсирања p_0 .

Прорачун тока претходног периода се не изводи, а врши се прорачун вредности одговарајућих карактеристика на крају претходног периода, које представљају полазне податке за први период. [16]

Почетни притисак p_0 при коме започиње кретање пројектила у цеви добија се на основу једначине енергије уз услов $y = \psi = X = V = 0$ за крај претходног периода:

$$p_0 = \frac{f_{b0} m_{b0}}{W_0 - \frac{m_b}{\rho_b} \alpha_0 m_{b0}} \quad (2.7)$$

2.1.2 Први период

Први период траје од почетка кретања пројектила до краја сагоревања барута. У току првог периода сагорева допунско пуњење, пројектил се креће, и долази до истицања гасова кроз зазор између пројектила и зидова цеви. Независна променљива је y и креће се у интервалу од нула до један. [16]

На основу једначина кретања пројектила и промена релативне сагореле дебљине барутног зрна следи:

$$V = \frac{SI_k}{m} y \quad (2.8)$$

Из једначине количине гасова који истичу из цеви добија се релативни проток гасова:

$$\eta = \frac{Y}{m_b} = \frac{\xi' AS_z I_k}{m_b} y = \eta_k y \quad (2.9)$$

где је:

$$\eta_k = \frac{\xi' AS_z I_k}{m_b} \quad (2.10)$$

Узимајући за X'_ν средњу вредност, а уз помоћ претходних израза добија се диференцијална једначина где су променљиве X и y . Током интеграљења једначине уводе се следеће ознаке:

$$B = \frac{S_c^2 I_k^2}{m f_b m_b} \quad (2.11)$$

$$B' = \left(\frac{S'}{S_c} \right)^2 B \quad (2.12)$$

$$\chi_0 = \frac{f_{b0} m_{b0}}{f_b m_b} \quad (2.13)$$

$$k_1' = \kappa_1 - \eta_k \quad (2.14)$$

$$B_1' = \frac{B' \Theta}{2} - \kappa_1 \lambda_1 \quad (2.15)$$

$$A_s = \frac{S_c}{S'} \frac{B'}{B_1'} \quad (2.16)$$

$$\gamma = \frac{B_1'}{k_1'^2} \chi_0 \quad (2.17)$$

$$b_1 = \sqrt{1 + 4\gamma} \quad (2.18)$$

$$\beta = \frac{B_1'}{k_1'} y \quad (2.19)$$

$$Z = \left(1 - \frac{2}{b_1 + 1} \beta\right) \frac{b_1 + 1}{2b_1} \left(1 + \frac{2}{b_1 - 1} \beta\right) \frac{b_1 - 1}{2b_1} \quad (2.20)$$

Тако се добија:

$$X = X'_{\psi sr} \left(Z^{-A_s} - 1\right) \quad (2.21)$$

Пошто су густине пуњења код минобацача мале обично се узима да је $X'_{\psi sr} = X'_{\psi}$.

Из претходних израза следи:

$$p = \frac{f_b m_b}{S_c} \frac{\chi_0 + k'_1 y - B'_1 y^2}{X'_{\psi} + X} \quad (2.22)$$

На крају првог периода добијају се за $y = \psi = 1$ величине V_k, X_k и p_k . Из услова $\frac{dp}{dt} = 0$ добија се услов за максимални притисак барутних гасова:

$$y_m = \frac{\kappa_1 \left(1 + \frac{p_m}{f_b \rho_b}\right) - \eta_k \left(1 + \frac{\alpha p_m}{f_b}\right)}{B' \left(\frac{S_c}{S'} + \Theta\right) - 2\kappa_1 \lambda_1 \left(1 + \frac{p_m}{f_b \rho_{b1}}\right)} \quad (2.23)$$

где је:

$$\frac{1}{\delta_1} = \alpha - \frac{1}{\rho_b} \quad (2.24)$$

2.1.3 Други период

У другом периоду је $y = \psi = 1$, па важи:

$$p S_c (X'_1 + X) = f_{b0} m_{b0} + f_b m_b (1 - \eta_k Y') - \frac{\Theta}{2} m V^2 \quad (2.25)$$

где је:

$$X'_1 = (X'_{\psi})_{\psi=1} = \frac{1}{S_c} [W_0 - \alpha (m_b - Y_k) - \alpha_0 m_{b0}] \quad (2.26)$$

$$Y' = \frac{I}{I_k} = \frac{V}{V_k} \quad (2.27)$$

Диференцијална једначина са променљивим X и V добија се из претходних једначина уз израз:

$$\frac{dX}{dt} = V \quad (2.28)$$

Током интеграљења једначине уводе се ознаке:

$$\eta_k' = \frac{\eta_k}{V_k} \quad (2.29)$$

$$V_{\text{lim}}^2 = \frac{2 f_b m_b}{m \Theta} \quad (2.30)$$

$$\eta_2 = \eta_k' V_{\text{lim}}^2 \quad (2.31)$$

$$\eta_3 = (1 + \chi_0) V_{\text{lim}}^2 \quad (2.32)$$

$$b_2 = \sqrt{1 + 4 \frac{\eta_3}{\eta_2^2}} \quad (2.33)$$

$$V_1 = -\frac{\eta_2}{2} (b_2 + 1) \quad (2.34)$$

$$V_2 = \frac{\eta_2}{2} (b_2 + 1) \quad (2.35)$$

$$\Gamma = \left(\frac{V - V_1}{V_k - V_1} \right) \frac{b_2 + 1}{2b_2} \left(\frac{V - V_2}{V_k - V_2} \right) \frac{b_2 - 1}{2b_2} \quad (2.36)$$

на крају се добија:

$$X = \frac{X_1' + X_k}{\frac{2S_c}{\Gamma S' \Theta}} - X_1' \quad (2.37)$$

За притисак барутних гасова се добија следећи израз:

$$p = \frac{f_b m_b}{S_c} \frac{1 + \chi_0 - \eta_k' V - V^2 / V_{\text{lim}}^2}{X_1' + X} \quad (2.38)$$

Прорачун у другом периоду се добија повећањем брзине као независне променљиве до $X > X_u$. У том тренутку се прорачун зауставља и поступним приближењем се одреде p_u и V_0 за услов $X = X_u$. [16]

Коришћене ознаке у систему једначина са јединицама и значењем су дате у табели на следећој страни.

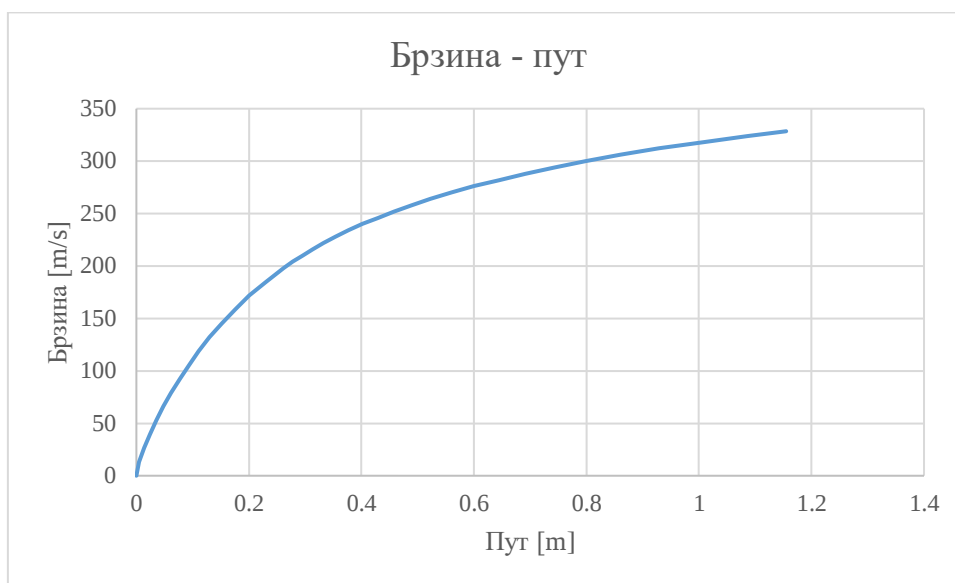
Табела 2.1 Ознаке, њихово значење и јединице

Редни број	Ознака	Јединица	Значење
1.	P	Pa	Притисак барутних гасова
2.	S_c	m^2	Попречни пресек цеви
3.	X'_ψ	m	Сведена дужина слободне запремине код минобацача
4.	X	m	Пут пројектила
5.	f_{b0}	$\frac{J}{kg}$	Специфичан рад барутних гасова насталих сагоревањем основног пуњења минобацача
6.	m_{b0}	kg	Маса барута основног пуњења минобацача
7.	f_b	$\frac{J}{kg}$	Специфичан рад барутних гасова
8.	m_b	kg	Маса допунског пуњења код минобацача
9.	Y	kg	Количина гасова истеклих кроз зазор
10.	Θ	/	Однос специфичних топлота умањен за један
11.	m	kg	Маса пројектила
12.	V	$\frac{m}{s}$	Брзина пројектила
13.	W_0	m^3	Запремина барутне коморе
14.	ρ_b	$\frac{kg}{m^3}$	Запреминска маса барута
15.	ψ	/	Релативна сагорела маса барута
16.	α	$\frac{m^3}{kg}$	Коволумен барутних гасова
17.	α_0	$\frac{m^3}{kg}$	Коволумен барутних гасова основног барутног пуњења код минобацача
18.	η	/	Релативна маса истеклих барутних гасова
19.	A	$\frac{gr-at}{kg}$	Ознака за атомски састав (са одговарајућим индексом)
20.	S_z	m^2	Површина зазора између пројектила и цеви
21.	I_k	$Pa \cdot s$	Укупан импулс притиска барутних гасова
22.	y	/	Релативна сагорела дебљина барутног зрна
23.	S'	m^2	Површина попречног пресека пројектила
24.	$\kappa_1 \lambda_1$	/	Коефицијенти облика
25.	u_{z0}	$\frac{m}{sPa}$	Константа у закону сагоревања барута
26.	r_0	m	Половина дебљине барутног зрна
27.	ξ'	/	Коефицијент облика зазора
28.	B, B'	/	Бездимензионални параметри
29.	χ_0, A_s, k_1	/	Константе
30.	γ	/	Константа и однос димензија барутног зрна
31.	β	/	Однос димензија барутног зрна

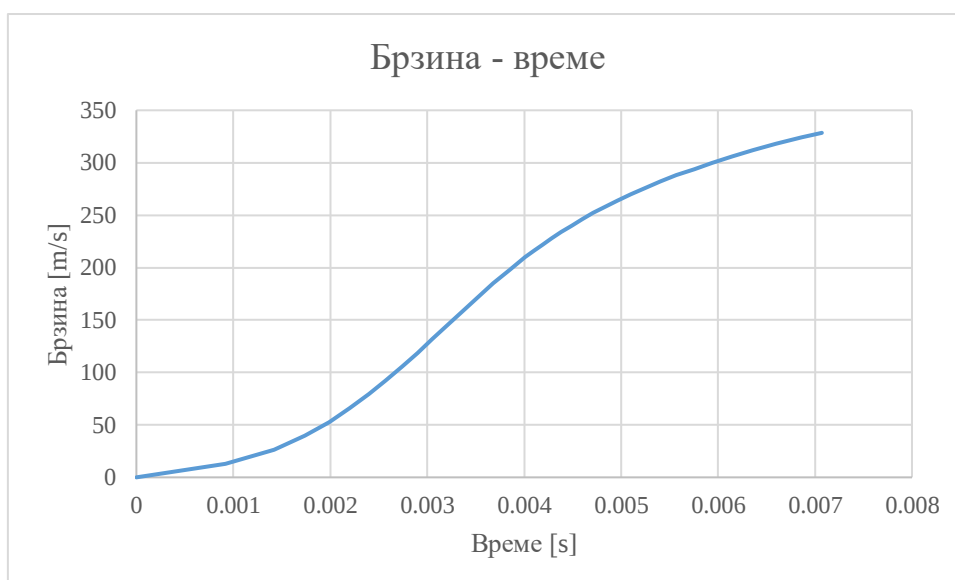
32.	Z	/	Функција зависна од β
33.	V_{lim}	$\frac{m}{s}$	Теоријска максимална брзина пројектила
34.	η_2, η_3	/	Константе
35.	Γ	/	Функција зависна од V

2.2 Резултати УБ прорачуна добијени методом Серебрјакова за минобацач 120 mm M75

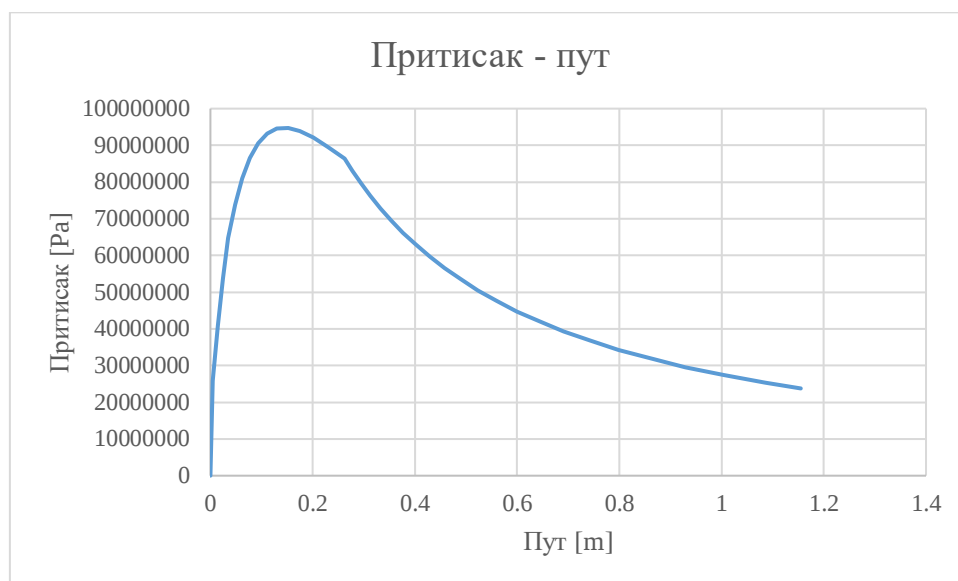
УБ прорачун минобацача 120 mm M75 је извршен применом методе Серебрјакова помоћу програмског пакета FORTRAN. Резултати УБ прорачуна у виду дијаграма (брзина – пут, брзина – време, притисак – пут, притисак – време) су приказани испод. Програмско решење, улазни подаци, датотека са улазним подацима и резултати УБ прорачуна у виду табеле су приказани у прилогу 1.



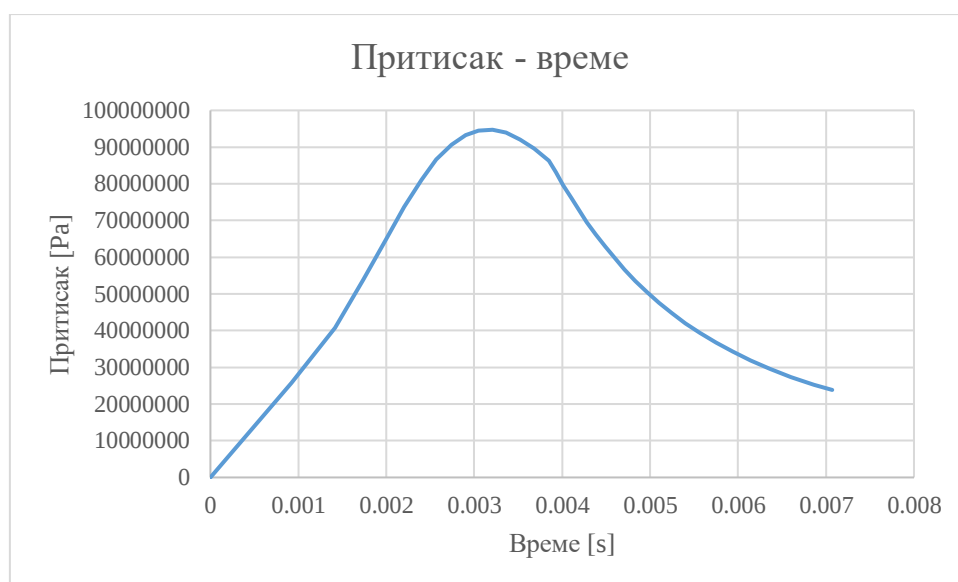
Дијаграм 2.2.1 Зависност брзине од пређеног пута пројектила



Дијаграм 2.2.2 Зависност брзине пројектила од времена



Дијаграм 2.2.3 Зависност притиска барутних гасова од пређеног пута пројектила



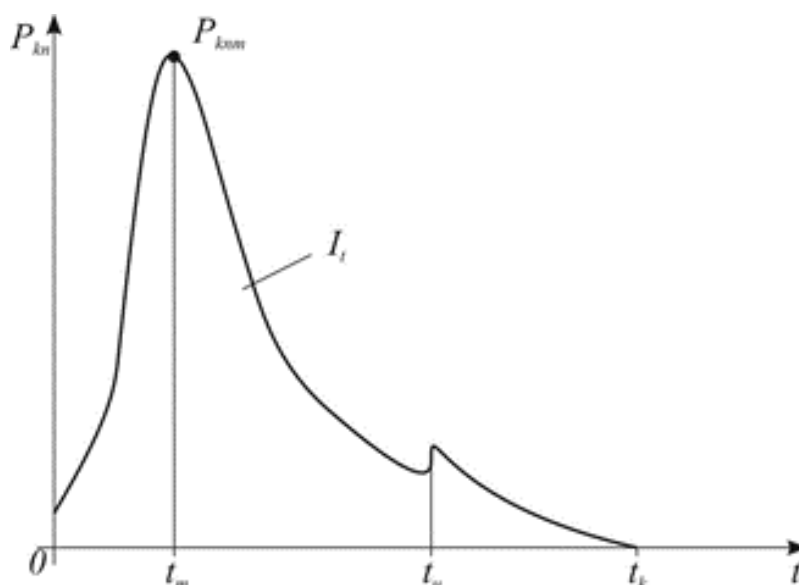
Дијаграм 2.2.4 Зависност притиска барутних гасова од времена

3. Сила трзања и сила отпора трзању самоходног минобацача калибра 120 mm

3.1 Сила трзања

У току процеса опаљења, на артиљеријско оруђе делује реактивна сила притиска барутних гасова P_{kn} која представља силу трзања. Ова сила настаје као последица убрзаног кретања пројектила у цеви, као и барутних гасова у смеру према дну цеви. Величина ове силе, сагласно закону о количини кретања, расте са порастом масе пројектила као и брзине његовог кретања. Од величине ове силе зависи отпорност оруђа као и његова стабилност при опаљењу.

Сила P_{kn} се може одредити одговарајућим унутрашњемобалистичким и гасодинамичким прорачунима или коришћењем резултата мерења притиска барутних гасова $p(t)$ на дно барутне коморе, односно затварач. Промена силе притиска барутних гасова P_{kn} је у динамичком смислу скоковита и нагла са изразитим пиком који се постиже за релативно кратко време ($t_m \leq 5ms$). [17]



Слика 3.1 Промена силе притиска барутних гасова $P_{kn}(t)$ [17]

У општем случају ова сила се дефинише релацијом:

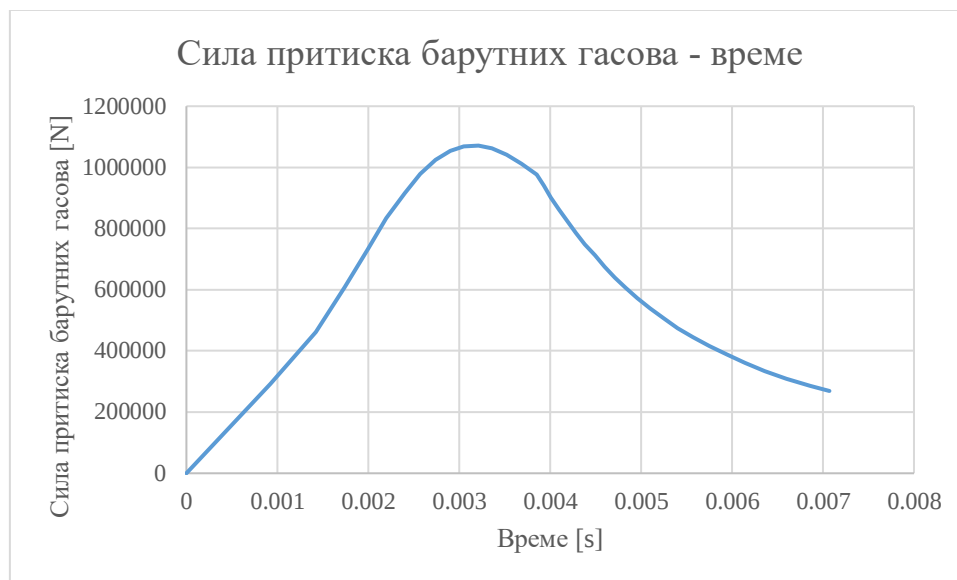
$$P_{kn} = p(t)S_c \quad (3.1)$$

где је S_c површина пресека дна канала цеви.

Промена ове силе са временом (површина испод криве на слици 16) представља импулс трзања:

$$I_t = \int_0^{t_k} P_{kn}(t) dt \quad (3.2)$$

На дијаграму испод је приказана промена силе притиска барутних гасова (силе трзања) у зависности од времена за минобацач М75.



Дијаграм 3.1.1 Зависност силе притиска барутних гасова од времена код минобацача калибра 120 mm М75

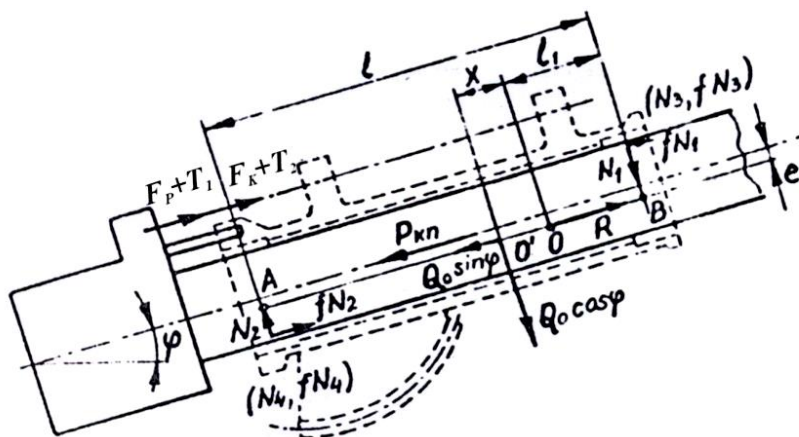
3.2 Сила отпора трзању

Приликом опаљења метка у цеви оруђа развија се укупна енергија која је дефинисана балистичким карактеристикама оруђа. Ова енергија се највећим делом утروши на кинетичку енергију за покретање пројектила и кинетичку енергију за покретање барутних гасова, а мањим делом на енергију трзања цеви и делова оруђа.

Уколико је цев круто везана за лафет (крути лафет), сила трзања се у целости преноси на лафет. Оваква веза цеви са лафетом има низ непогодности, од оптерећења самог лафета, па до стабилности оруђа. [17]

Да би се избегле наведене мане круте везе цеви са лафетом оруђа, енергију трзања је у потпуности потребно трансформисати у [17]:

- хидраулични отпор делова ПТУ-а (кочница трзања и враћања),
- енергију компресије радног тела у повратнику,
- трење на клизним површинама и у заптивачима ПТУ-а и
- енергију деформације делова оруђа и осцилације лафета.



Слика 3.2 Силе на трзајућу масу оруђа [17]

У правцу канала цеви на трзајуће делове делују силе [17]:

- F_k - сила хидрауличне кочнице трзања,
- F_p - сила повратника,
- F_{t1} - сила трења делова ПТУ-а,
- fN_1, fN_2 - силе механичког трења на клизачима колевке,
- $Q_t \sin \varphi = m_t g \sin \varphi$ - компонента силе тежине трзајуће масе,
- P_{kn} - сила трзања,
- $I_t = m_t a$ - инерцијална сила трзања,
- N_1, N_2 - сила реакције вођице клизача цеви.

На основу Даламберовог принципа, додавањем инерцијалних сила динамички проблем се своди на једначине статичке равнотеже. За време кочења трзања сила $I_t = m_t a_t$ делује у центру трзајуће масе у правцу трзања, где је a_t успорење услед кочења. Ова сила је по апсолутној вредности једнака сили отпора трзању R . [17]

Из услова равнотеже сила у правцу осе канала цеви, уколико се изостави сила трзања P_{kn} следи да је сила укупног отпора трзању:

$$R = F_k + F_p + F_T - Q_t \sin \varphi \quad (3.3)$$

где је: $F_T = F_{t1} + F_{t2}$ - укупна сила трења.

Укупну силу трења сачињавају:

- F_{t1} - трење клипњаче са клипом кроз заптивне елементе хидрауличне кочнице,
- F_{t2} - трење клизања цеви по клизачима колевке.

$$F_{t2} = f (|N_1| + |N_2|) \quad (3.4)$$

где је:

– f - коефицијент трења.

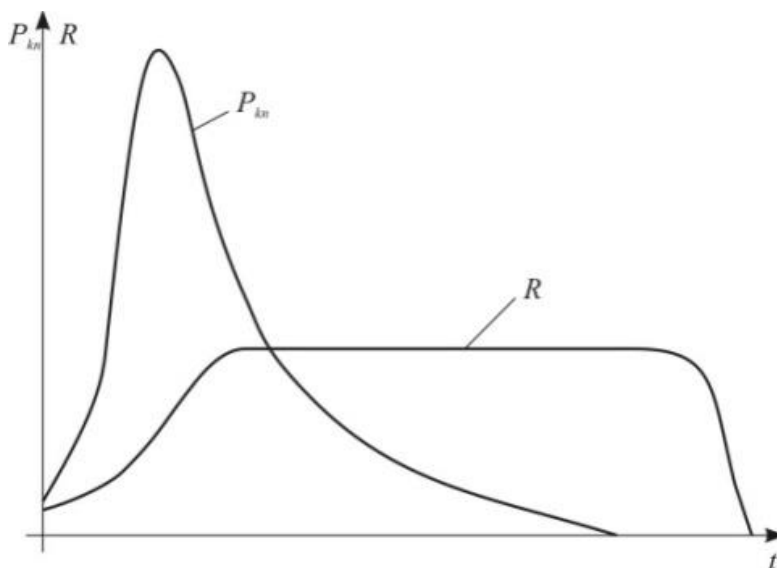
У највећем броју случајева радом силе хидрауличне кочнице F_k се утроши 80 % кинетичке енергије трзајућих делова. Преостала енергија трзања се утроши радом силе повратника F_p до 15 % и радом силе трења F_T до 5 %. [17]

4. Противтрзајући уређај (ПТУ)

ПТУ представља еластичну везу између цеви и лафета оруђа. Намењен је да импулс огромне реактивне силе гасова на трзајућу масу неутралише, односно трансформише у импулс много мање силе, тј. силе отпора трзању $R(x)$. [17]

ПТУ се састоји од [17]:

- хидрауличне кочнице трзања и враћања и
- повратника.



Слика 4.1 Дијаграм једнакости импулса [17]

Хидраулична кочница трзања представља најважнији део ПТУ-а помоћу које може да се регулише укупна величина силе отпора трзању цеви до њеног заустављања на одређеној дужини трзања.

За везу ПТУ-а са цеви, као покретног дела оруђа при трзању (трзајућа маса), и непокретних делова оруђа (лафета) користе се задњак цеви и колевка. Ова веза се може остварити преко цилиндра кочнице који је чврсто везан за задњак цеви, а клипњача за колевку или обрнуто, тако да су клипњаче везане за задњак цеви (покретне су), а цилиндри за колевку (непокретни су). [17]

Повратник служи да врати трзајуће делове у почетни положај ради извршења следећег опаљења као и да цев задржи у предњем положају при свим угловима елевације. Потребна енергија за извршење враћања се акумулира приликом опаљења и трзања, приликом чега долази до сабијања еластичног средства у повратнику (опруга или гас).

Захтеви које ПТУ мора да задовољи су [17]:

- апсорбовање кинетичке енергије трзајуће масе, тј. кочење кретања цеви мора да се изврши на задатој дужини трзања,
- силе отпора кочнице и повратника не смеју да ремете стабилност оруђа при опаљењу и при враћању цеви,

- враћање цеви у почетни положај мора бити мирно, континуирано и да се обави за што краће време,
- у нормалним условима експлоатације ПТУ мора да функционише нормално, без застоја и удара,
- заптивни елементи кочнице морају да функционишу у различитим условима и режимима употребе.

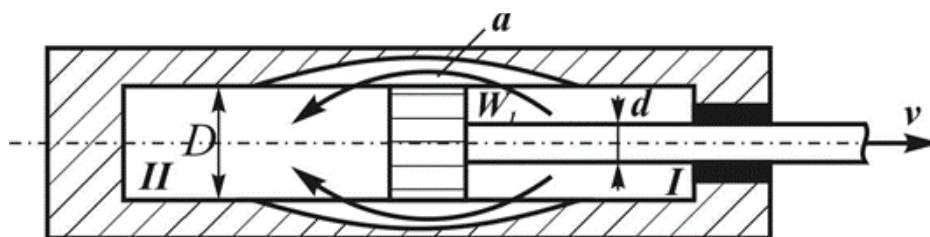
4.1 Хидраулична кочница једноставне конструкције

Као што је већ речено, хидраулична кочница трзања представља најважнији део ПТУ-а помоћу које може да се регулише укупна величина силе отпора трзању цеви до њеног заустављања на одређеној дужини трзања.

Енергија трзања се троши на савлађивање отпора хидрауличне течности у кочници, при чему долази до загревања те течности. На тај начин се енергија трзања претвара у топлотну енергију, која се даље преко зидова уређаја предаје спољашњој средини.

У овом раду је за тип кочнице изабрана хидраулична кочница једноставне конструкције.

Сагласно литератури [17] приказан је поступак добијања израза за израчунавање силе хидрауличне кочнице једноставне конструкције.

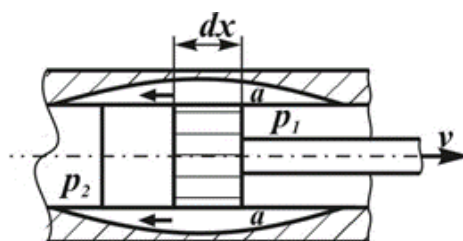


Слика 4.2 Хидраулична кочница једноставне конструкције [17]

Усвојене претпоставке за овај модел кочнице су [17]:

- протицање течности из простора I у простор II се врши кроз отвор (a) у једном правцу,
- за време протицања нема противпритиска течности,
- канали за протицање су променљиве дубине на унутрашњој површини цилиндра,
- притисак течности у простору II је једнак нули,
- брзина протицања течности је једнака брзини трзања,
- клипњача је везана за цев, а цилиндар је непомичан и везан за колевку.

За временски интервал dt клип ће прећи елементарни пут dx .



Слика 4.3 Шема рада хидрауличне кочнице [17]

Ознаке важних величина за дату шему хидрауличне кочнице су:

- $A_k = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ - радна површина клипа,
- $\alpha = \psi\varphi$ - коефицијент истицања течности (ψ - коефицијент контракције млаза течности, φ - коефицијент трења),
- p_1, p_2 - притисак течности у радном делу цилиндра и простору испред клипа,
- W_1, W_2 - средње брзине течности на улазу у регулишући отвор и на излазу из отвора,
- a_x - укупна површина попречног пресека канала (отвора) за протицање.

Елементарна запремина течности се за време dt пребаци из простора иза клипа у простор испред клипа, па је:

$$\alpha a W_2 dt = (A_k + a_x) dx \quad (4.1)$$

одавде је:

$$W_2 = \frac{A_k + a_x}{\alpha a_x} \frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha} \frac{A_k + a_x}{a_x} V \quad (4.2)$$

Елементарна маса у датој запремини процеђене течности је:

$$dm = \rho (A_k + a_x) dx \quad (4.3)$$

Кинетичка енергија елементарне масе течности након изласка из отвора за протицање је:

$$dE_k = \frac{dm W_2^2}{2} = \rho \left(\frac{A_k + a_x}{a_x} \right)^2 V^2 (A_k + a_x) dx \quad (4.4)$$

Први део рада силе кочнице $F_{k1} V dt$ утроси се за стварање ове енергије:

$$F_{k1} V dt = p_1 (A_k + a_x) dx = dE_k \quad (4.5)$$

Други део рада силе кочнице $F_{k2} V dt$ се утроси на савладавање вискозних отпора течности и он је пропорционалном првом делу рада:

$$F_{k2} V dt = \xi F_{k1} V dt \quad (4.6)$$

где је:

- ξ - коефицијент губитка енергије, тј. коефицијент отпора хидрауличног система.

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

$$(1 + \xi) p_1 (A_k + a_x) dx = (1 + \xi) F_{k1} V dt \quad (4.7)$$

На крају, притисак p_1 се добија у облику:

$$p_1 = \frac{k\rho}{2} \left(\frac{A_k + a_x}{a_x} \right)^2 V^2 \quad (4.8)$$

где су:

- $k = (1 + \xi) / \alpha^2$ - коефицијент отпора протицању течности, $k = (1, 4 \div 1, 6)$,
- ρ - густина хидрауличне течности.

Сила отпора трзању хидрауличне кочнице се израчунава по обрасцу:

$$F_k = p_1 A_k \quad (4.9)$$

Заменом израза за притисак p_1 добија се:

$$F_k = \frac{k\rho}{2} A_k \left(\frac{A_k + a_x}{a_x} \right)^2 V^2 \quad (4.10)$$

Уколико се усвоји с обзиром на ред величина да је $(A_k + a_x) \cong A_k$, онда се претходни израз може написати у облику:

$$F_k = \frac{k\rho}{2} \frac{A_k^3}{a_x^2} V^2 \quad (4.11)$$

На основу претходног израза се може израчунати сила хидрауличне кочнице једноставне конструкције, док уз одређена проширења чланова израза зависно од типа хидрауличне кочнице, овај израз је могуће применити и на хидрауличне кочнице сложеније конструкције.

Према изразу 4.11 за познате вредности k , ρ и A_k на целој дужини трзања сила отпора трзању је функција $F_k = f(a_x) V^2$, закона промене проточних површина и брзине трзања.

За познате вредности густине хидрауличне течности ρ , површине клипа A_k као и познат закон промене силе хидрауличне кочнице F_k и брзине трзања V , површина проточног отвора износи:

$$a_x = \sqrt{\frac{k\rho}{2} A_k^3 \left(\frac{V^2}{F_k} \right)} \quad (4.12)$$

4.2 Опружни повратник

Као што је већ речено основна намена повратника је враћање трзајућих делова након опаљења у почетни положај и њихово држање у предњем положају при свим угловим елевације. Поред тога, повратник има улогу у кочењу кретања трзајућих делова тако што акумулира део њихове кинетичке енергије у облику потенцијалне енергије еластичног средства повратника, гаса уколико се ради о хидропнеуматском или пнеуматском повратнику, или опруге у случају опружног повратника. Акумулирана потенцијална енергија повратника омогућује враћање трзајућих делова у почетни положај. Почетном силом повратника се сви трзајући делови држе у предњем положају. [17]

Постоје разни типови повратника и то [17]:

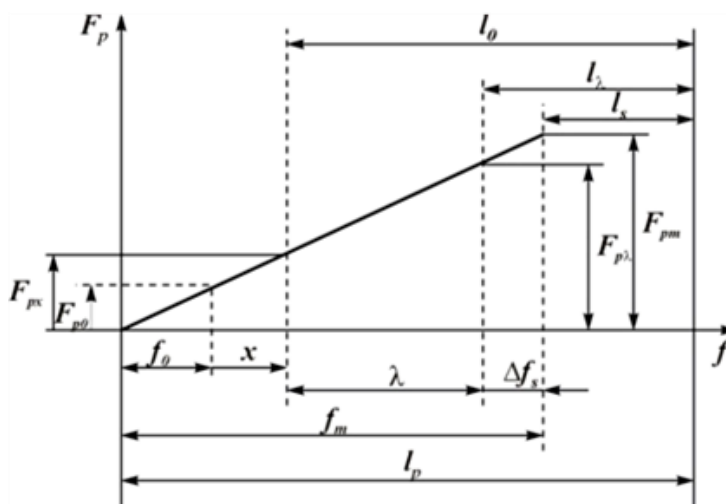
- опружни,
- пнеуматски,
- хидропнеуматски.

Најчешће употребљавани повратник је хидропнеуматски, и то за оруђа средњег и великог калибра, док се код оруђа малог калибра најчешће употребљава опружни повратник.

У овом раду је за тип повратника одабран опружни повратник.

Сагласно литератури [17] приказан је поступак добијања израза за израчунавање силе опружног повратника, као и поступак димензионисања опруте повратника.

Промена силе опружног повратника је дата на слици испод.



Слика 4.4 *Сила опружног повратника [17]*

Величине на слици представљају:

- 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 навојка на навојак),
- $l_\lambda \geq l_s + \Delta f_s$ (због сигурности функције повратника).

Основне карактеристике повратника су [17]:

- почетна сила повратника F_{p0} (којом повратник држи трзајуће делове у предњем положају при свим угловима елевације),
- степен компресије $\frac{F_{p\lambda}}{F_{p0}}$ (однос највеће и почетне вредности силе повратника).

Почетна сила повратника се одређује из услова да се трзајући делови држе у предњем положају при свим угловима елевације цеви и чине је компоненте сила које су пропорционалне сили тежине трзајућих делова у правцу осе канала цеви:

$$F_{p0} = Q_t (\sin \varphi_m + f \cos \varphi_m + \nu) + R_p \quad (4.13)$$

где је:

- R_p - сила отпора механизма који за своју функцију користи енергију повратника (полуаутомат затварача, уређај за пуњење оруђа итд.).

Уколико се стави да је:

$$\beta = \sin \varphi_m + f \cos \varphi_m + \nu + \frac{R_p}{Q_t} \quad (4.14)$$

тада се се у прорачунима могу усвојити следеће вредности коефицијента β :

$$\text{за } \varphi_m = (0,34 \div 0,5) \text{ rad} \quad \beta = 0,9 \div 1,1,$$

$$\text{за } \varphi_m = (0,5 \div 0,785) \text{ rad} \quad \beta = 1,1 \div 1,4,$$

$$\text{за } \varphi_m > 0,785 \text{ rad} \quad \beta = 1,5 \div 2.$$

Тренутна вредност силе повратника је:

$$F_p = F_{p0} + cx \quad (4.15)$$

где је:

- c - крутост опруге.

При нормалном раду ПТУ-а, опруга повратника се не сабија до налегања навојка на навојак опруге. Међутим, због низа узрока у пракси је могуће одступање у дужини трзања.

Највећа могућа сила у повратнику при $x = \lambda + \Delta f_s$ односно $f_m = f_0 + \lambda + \Delta f_s$, на основу које се врши провера отпорности опруге, одређује се изразом:

$$F_{pm} = F_{p0} + c(\lambda + \Delta f_s) \quad (4.16)$$

Да би се обезбедила праволинијска промена силе у опрузи, потребно је да резерва угиба Δf_s буде:

$$\Delta f_s = 0,1d(n_r - 1) \quad (4.17)$$

где су:

- d - пречник жице,
- n_r - број радних завојака опруге.

Величина оптерећења за сабијање опруге до наседања завојка на завојак је:

$$F_{pm} = F_{p0} \frac{f_m}{f_0} \quad (4.18)$$

Однос крајње и почетне силе повратника представља степен сабијања повратника које се добија помоћу израза:

$$\frac{F_{p\lambda}}{F_{p0}} = \frac{f_0 + \lambda}{f_0} = m \quad (4.19)$$

Степен компресије повратника се обично креће у границама $m = (1,4 \div 4,4)$. Величина степена компресије утиче на карактер враћања трзајућих делова, а вишак енергије у повратнику је већи уколико је већи степен компресије.

За познати степен компресије, величина преднапона се одређује помоћу израза:

$$f_0 = \frac{\lambda}{m - 1} \quad (4.20)$$

Провера отпорности опруге израђена од жице кружног попречног пресека врши се помоћу следећих израза:

- Напрезање на смицање

$$\sigma = \frac{8kF_{pm}D}{\pi d^3} \quad (4.21)$$

где су:

– $k = \frac{4c_1 + 2}{4c_1 - 3}$ - коефицијент који зависи од облика попречног пресека и пречника

навојака и

– $c_1 = \frac{D}{d}$ - однос средњег пречника опруге D и пречника жице d .

- Потребни пречник жице је:

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{kF_{pm} c_1}{\tau_d}} \quad (4.22)$$

где је:

– τ_d - дозвољено напрезање на смицање материјала жице.

Број завојака жице се добија по изразу:

$$n_r = \frac{Gd(\lambda + \Delta f_s)}{8F_{pm} c_1^3} \quad (4.23)$$

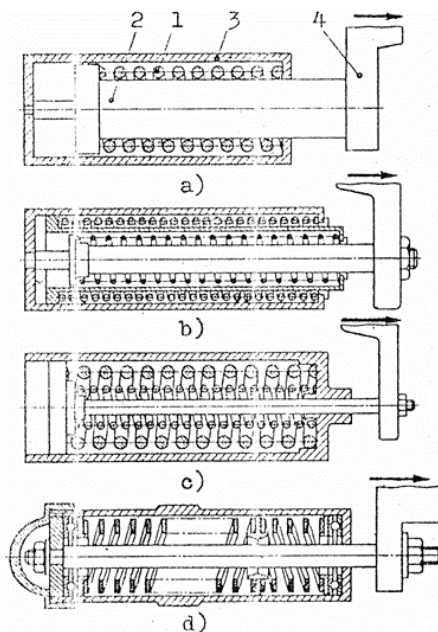
где је:

– G - модул смицања материјала жице.

Укупан број завојака жице се добија по изразу:

$$n = n_r + (1,5 \div 2) \quad (4.24)$$

На слици испод су приказане варијанте решења повратника опружног типа.



Слика 4.5 Шеме опружних повратника [17]

Код опружних повратника се користе завојне – цилиндричне опруге које су израђене од високо квалитетног челика. 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 од 10 до 20 радних завојака.

При трзању опруга се сабија, акумулирајући енергију трзајуће масе која се касније користи за враћање трзајуће масе у почетни положај. Приликом трзања, сила опруге се преко ослоног прстена преноси на цев и на тај начин кочи трзање. Други крај опруге преноси силу опруге на колевку, а преко ње на лафет, тежећи на тај начин да помери оруђе у смеру трзања. [17]

Основне предности опружних повратника су [17]:

- једноставна конструкција и одржавање,
- сила повратника не зависи од услова промене температуре околине,
- поуздана функција због мале осетљивости од дејства пројектила,
- могућност дејства без претходне провере повратника.

Основни недостаци опружних повратника су [17]:

- велика маса и димензије (посебно код оруђа великог калибра),
- промена силе, тј. њено смањивање због пада крутости после дуже употребе.

5. Прорачун ПТУ-а у програмском пакету MATLAB и анализа добијених резултата

5.1 Прорачун слободног и коченог трзања

5.1.1 Прорачун слободног трзања

Као што је већ речено, приликом опаљења метка у цеви оруђа развија се укупна енергија која је дефинисана балистичким карактеристикама самог оруђа. Највећи део ове енергије се утрати на кинетичку енергију за покретање пројектила и кинетичку енергију за покретање барутних гасова, док се мањи део ове енергије потроши на енергију трзања цеви и делова оруђа. [17]

Енергију трзања је потребно трансформисати у [17]:

- хидраулични отпор делова ПТУ-а (кочница трзања и враћања),
- енергију компресије радног тела у повратнику,
- трење на клизним површинама и у заптивачима ПТУ-а и
- енергију деформације оруђа и осцилације лафета.

За израчунавање силе отпора трзању најпре је потребно знати закон промене силе притиска барутних гасова (силе трзања) у времену. Сила трзања се добија, као што је и приказано у тачки 3 овог рада множењем притиска барутних гасова и површине попречног пресека цеви.

Након што добијемо закон промене силе трзања потребно је извршити прорачун слободног трзања цеви. Слободно трзање цеви представља кретање цеви уназад за време опаљења услед реактивне силе притиска барутних гасова на дно цеви. Током кретања цев „слободно клизи“ без икаквих отпора кретању, а по престанку дејства силе барутних гасова, цев наставља кретање по инерцији. Притисак барутних гасова на дно цеви саопштава цеви брзину кретања која почиње у истом тренутку када започиње и кретање пројектила у цеви.

Брзина цеви не престаје да расте приликом изласка пројектила из цеви, јер барутни гасови након што пројектил напусти цев слободно истичу продужавајући још неко време реактивно дејство у каналу цеви (период накнадног дејства гасова на цев). [17]

Изрази који су коришћени за прорачун слободног трзања су:

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

$$W_u = \frac{m + 0,5\mu}{m_t + m + \mu} V_0 \quad (5.1)$$

где су:

- m - маса пројектила,
- μ - маса барутног пуњења,
- m_t - маса трзајућих делова,
- V_0 - почетна брзина пројектила.

- Дужина трзања на крају првог периода:

$$L_u = \frac{m + 0,5\mu}{m_t + m + \mu} l_u \quad (5.2)$$

где је:

- l_u - дужина водишта цеви.

- Брзина слободног трзања на крају другог периода (након престанка дејства барутних гасова):

$$W_\tau = W_u + \frac{\chi b P_{knu}}{m_t} \quad (5.3)$$

где су:

- χ - коефицијент дејства гасне кочнице,
- b - параметар истицања гасова.

За случај да оруђе нема гасну кочницу што је случај код минобацача, онда је коефицијент дејства гасне кочнице χ једнак нули, па је $W_\tau = W_u$.

- Време трајања другог периода се рачуна на основу израза:

$$\tau = \frac{0,5(\beta - 0,5)\mu V_0}{P_{kn}(h)} \quad (5.4)$$

где су:

- $\beta = \frac{1300}{V_0}$ - коефицијент накнадног дејства барутног гасова,
- $P_{kn}(h)$ - тренутна вредност силе трзања.

- Дужина слободног трзања на крају другог периода:

$$L_\tau = L_u + W_u \tau + \frac{\chi b}{M_t} P_{knu} (\tau - b) = L_u + W_u \tau \quad (5.5)$$

5.1.2 Прорачун коченог трзања

Након прорачунавања слободног трзања, прорачунава се кочено трзање (уводи се сила отпора трзању R). Прорачун слободног трзања се састоји из три периода [17]:

- први период, у коме сила отпора трзању расте до одређене максималне вредности,
- други период, у коме сила отпора трзању има константну максималну вредност и
- трећи период, у коме сила отпора трзању опада.

Максимална сила отпора трзању је одређена на основу једначине одржања импулса по којој је импулс силе притиска барутних гасова једнак збиру импулса силе отпора трзању и импулсу кретања трзајуће масе:

$$I_{Rm} = I_t(P) - m_t V_m \quad (5.6)$$

На основу овог израза добија се израз за максималну вредност силе отпора трзању:

$$R_m = \frac{2I_{Rm}}{t} - 2R_0 \quad (5.7)$$

Интеграцијом диференцијалне једначине кретања трзајућих делова:

$$m_t \frac{dV}{dt} = P_{kn}(t) - R(t) \quad (5.8)$$

уз одговарајуће граничне услове добијају се изрази за прорачун елемената кретања у првом и другом периоду.

У првом периоду се брзина трзања и дужина трзања израчунава на основу израза испод, респективно:

$$V = W - \frac{1}{m_t} \int_0^t R(t) dt \quad (5.9)$$

$$X = L - \frac{1}{m_t} \int_0^t \int_0^t R(t) dt dt \quad (5.10)$$

У другом периоду се брзина трзања и дужина трзања израчунава на основу израза испод, респективно:

$$V = W - (W_u - V_u) - \frac{1}{m_t} \int_0^t R(t) dt \quad (5.11)$$

$$X = L - (L_u - X_u) - (W_u - V_u)t - \frac{1}{m_t} \int_0^t \int_0^t R(t) dt dt \quad (5.12)$$

У трећем периоду се сила трзања у зависности од дужине трзања, брзина трзања, средње успорење услед отпора трзању и време трајања трећег периода коченог трзања рачунају на основу израза испод респективно:

$$R(x) = R_\lambda + \frac{R_m - R_\lambda}{\lambda - x_\tau} (\lambda - x_\tau) \quad (5.13)$$

$$V_\tau = \sqrt{\frac{1}{m_\tau} (R_m + R_\lambda) (\lambda - x)} \quad (5.14)$$

$$a_{sr} = \frac{R_m + R_\lambda}{2m_t} \quad (5.15)$$

$$t = \frac{V_\tau - V}{a_{sr}} \quad (5.16)$$

5.2 Прорачун опружног повратника

Као што је већ речено, основна намена повратника је држање трзајућих делова у почетном положају при свим угловима елевације, и враћање трзајућих делова у почетни положај након опаљења. Најпре је потребно израчунати почетну силу повратника. Почетна сила повратника се одређује из услова да се трзајући делови држе у предњем положају при свим условима елевације и одређује се на основу израза:

$$F_{p0} = \beta_1 m_t g \quad (5.17)$$

где је:

- g - убрзање земљине теже.

Због угла елевације којим гађа минобацач усвојена је вредност коефицијента $\beta_1 = 2$.

Такође је усвојена вредност степена компресије повратника $s_k = 4$.

Након усвојеног степена компресије повратника, могуће је прорачунати највећу вредност силе повратника помоћу израза:

$$F_{p\lambda} = s_k F_{p0} \quad (5.18)$$

На крају је прорачуната крутост опруге опружног повратника на основу израза:

$$c = \frac{F_{p\lambda} - F_{p0}}{x_\lambda} \quad (5.19)$$

где је:

- x_λ - максимална дужина трзања.

За максималну дужину трзања је усвојена вредност од $x_\lambda = 0,35$ m.

На основу претходних израза могуће је знати силу повратника у сваком тренутку на основу израза 4.15.

5.3 Прорачун силе трења

У силу отпора трзању се убраја, као што је већ речено и сила трења, и она обично чини 5% укупне силе отпора трзању. Прорачунава се на основу израза:

$$F_T = \mu m_t g \sin(E_{\max}) \quad (5.20)$$

где су:

- μ - коефицијент трења,
- $(E_{\max})$ - максимални угао елевације.

За коефицијент трења је усвојена вредност $\mu = 2$, док је за максимални угао елевације усвојена вредност од $(E_{\max}) = 85^\circ$.

5.4 Прорачун хидрауличне кочнице

На самом крају је потребно прорачунати и величине проточних отвора како би били познати сви параметри противтрзајућег уређаја.

На основу израза 3.3 добија се израз за прорачун силе кочнице:

$$F_k = R - F_p - F_T + Q_t \sin \varphi \quad (5.21)$$

па се величина проточних отвора може прорачунати на основу израза 4.12.

Вредност коефицијента отпора протицању течности се креће у границама од 1,4 – 1,6, а усвојена је вредност $k = 1,4$.

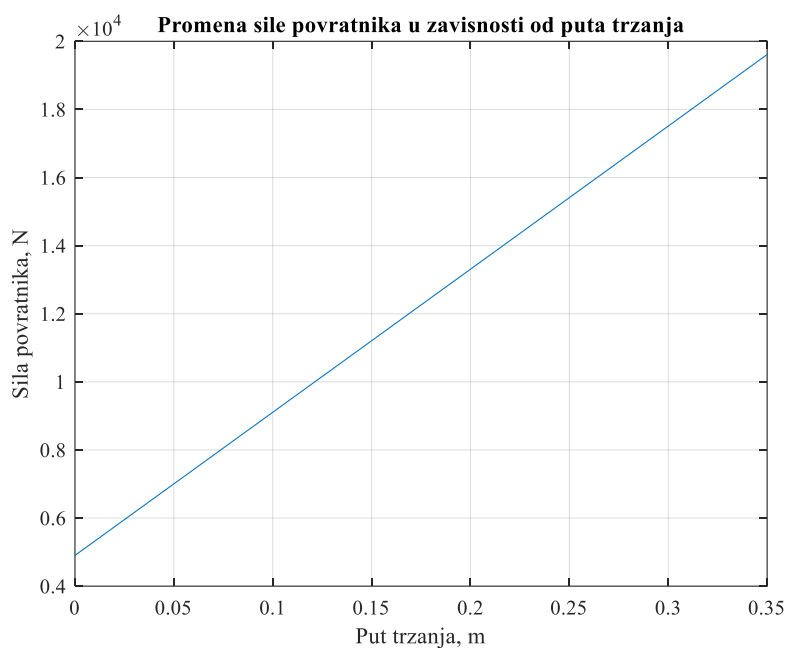
За кочницу трзања се као хидраулична течност користи HUNT – S, чија је густина 900 kg/m³.

5.5 Анализа добијених резултата

На самом почетку, при прорачуну параметара слободног трзања, добијене су нереалне вредности брзине и пута слободног трзања због мале масе трзајућих делова минобацача М75 (66 kg). Да би се испунио постављени захтев да дужина трзања не прелази 350 mm, сила отпора трзању мора имати екстремно велику вредност како би се трзајућа маса зауставила на задатом путу трзања. Пошто се сила отпора трзању преноси на платформу на коју је сам минобацач интегрисан било је неопходно повећати масу трзајућих делова, јер би, у супротном, сила отпора трзању имала превелику вредност и минобацач не би било могуће поставити на теренско возило Застава НТВ. Маса трзајућих делова је, због описаног проблема повећана на 250 kg чиме су добијене прихватљиве вредности параметара слободног трзања као и прихватљива максимална вредност силе отпора трзању.

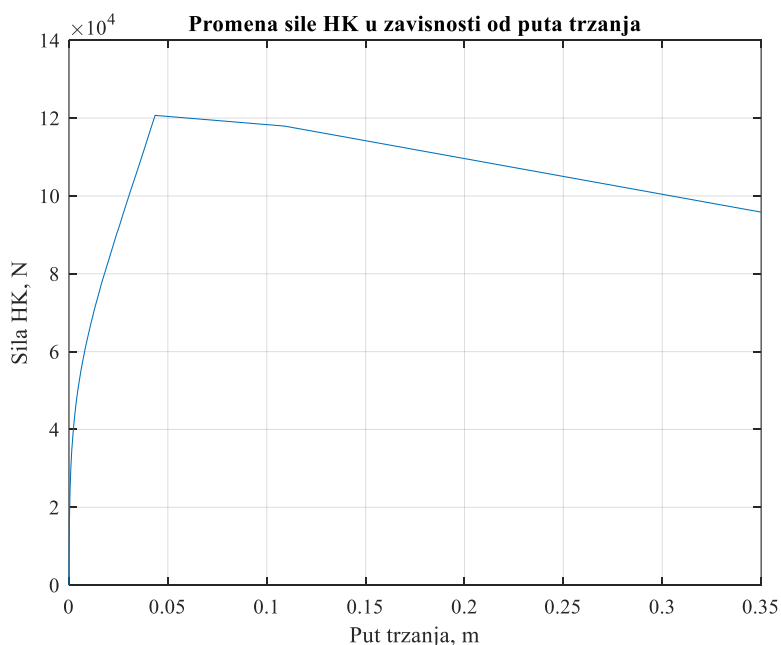
На наредном дијаграму је приказана промена силе повратника у зависности од пута трзања. Са дијаграма се види да сила повратника не расте од нуле, зато што је опруга повратника преднапрегнута како би се трзајући делови задржали у предњем положају

при свим угловима елевације. Почетна сила повратника, која је неопходна да би се трзајући делови задржали у предњем положају при свим угловима елевације износи приближно 4900 N, док је вредност максималне силе повратника приближно 19500 N.



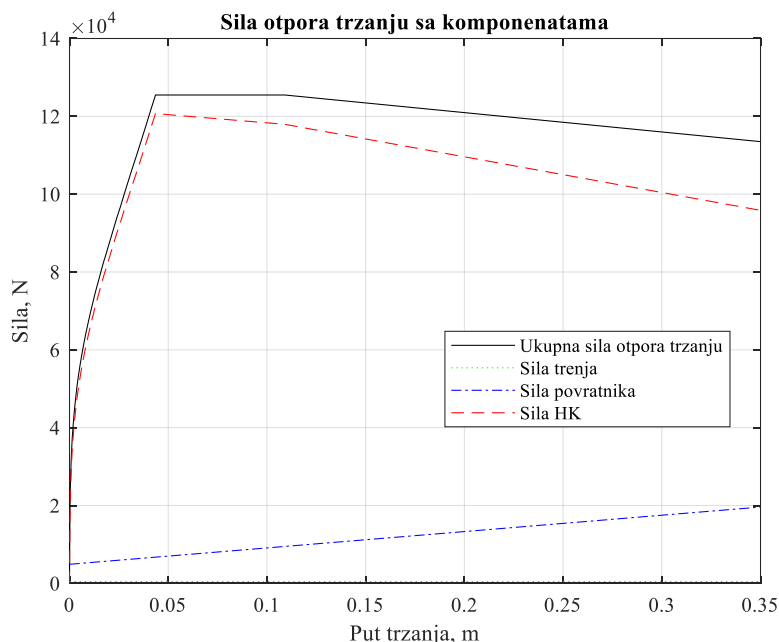
Дијаграм 5.5.1 Зависност силе повратника од пута трзања

На следећем дијаграму је приказана промена силе хидрауличне кочнице од пута трзања. Са дијаграма се види да сила хидрауличне кочнице расте до максималне вредности која износи приближно 120000 N и која одговара путу трзања од приближно 0,04 m. Након тога долази до пада вредности силе хидрауличне кочнице.

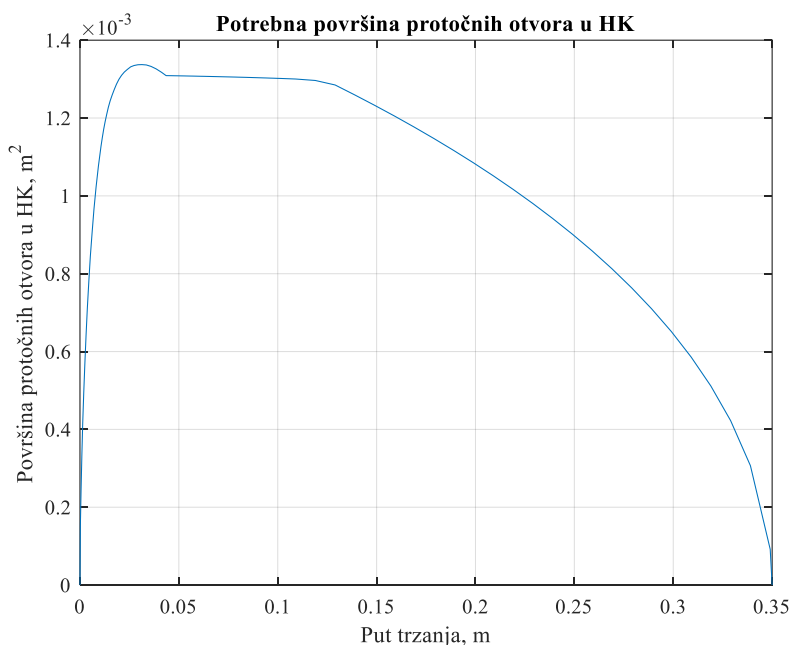


Дијаграм 5.5.2 Зависност силе хидрауличне кочнице од пута трзања

На дијаграму 5.5.3 је приказана промена укупне силе отпора трзању као и промена њених компоненти у зависности од пута трзања. На дијаграму се може уочити да сила отпора трзању у првом периоду расте до њене максималне вредности од приближно 125000 N, затим у другом периоду има константну максималну вредност, и на крају, у трећем периоду долази до пада њене вредности. На дијаграму је такође могуће уочити да сила трења има константну вредност од приближно 490 N.



Дијаграм 5.5.3 Зависност укупне силе отпора трзању од пута трзања



Дијаграм 5.5.4. Зависност површине проточних отвора хидрауличне кочнице од пута трзања

На дијаграму 5.5.4 је приказана промена површине проточних отвора у зависности од пута трзања. Са дијаграма се види да површина проточних отвора током првог периода расте, затим у другом периоду има приближно константну вредност, док у трећем периоду опада до нуле.

6. Опис теренског возила Застава НТВ и FEM анализа рама возила

6.1 Опис теренског возила Застава НТВ

Ново теренско возило представља вишенаменско возило са погоном на сва четири точка, пројектовано по свим светским стандардима.

Возило се одликује екстремно издржљивом, робусном шасијом, која је отпорна на увијање, која обезбеђује висок степен сигурности чак и при пуном оптерећењу.

Превасходна намена оваквих возила је да као неборбено војно возило буде коришћено за превоз војних лица и опреме. Захваљујући погону на сва четири точка и великом клиренсу ова возила могу наћи своју примену, поред војног, и у цивилном сектору за различите намене које подразумевају тешке услове експлоатације као што су [18]:

- непроходни брдско – планински путеви обрастли ниским растињем и шумом,
- пустињски услови експлоатације,
- температуре ваздуха од -30° до $+50^{\circ}$ C,
- савладавање водених препрека до 700 mm дубине,
- савладавање насипа висине 1500 mm са нагибом од 35° ,
- савладавање рова ширине 530 mm,
- савладавање праговите препреке висине 420 mm.

У циљу заштите путника, возило је могуће лако оклопити. Поред овога, дорадом или демонтажом товарног сандука и уградњом одговарајуће надградње, уз примену извода снаге на мењачу (ПТО), возило је могуће трансформисати у специјално вишенаменско радно возило.

Ово возило има три верзије и то [18]:

- са кратком кабином и товарним сандуком,
- са дугом кабином и товарним сандуком,
- са металном каросеријом за превоз најмање 1+8 лица.

Свака од наведених верзија се израђује у две варијанте [18]:

- са независним вешањем и аутоматским мењачем која је развијена у сарадњи са Војнотехничким институтом и
- са крутом осовином (зависно вешање) и механичким мењачем.

На наредним сликама су приказане верзије возила.



Слика 6.1 *Возило са кратком кабином и товарним сандуком [18]*



Слика 6.2 *Возило са дугом кабином и товарним сандуком [18]*



Слика 6.3 Возило са металном каросеријом за превоз најмање 1+8 лица [18]

Табела 6.1 Техничке карактеристике возила са крутом осовином и механичким мењачем [18]

Техничке карактеристике	Теренско возило – сингл кабина (1+2)	Теренско возило – продужена кабина (1+5)	Теренско возило – комби (1+8)
Мотор	SOFIM 8140.43S4 EURO 4, турбодизел, запремине 2800 cm ³	SOFIM 8140.43S4 EURO 4, турбодизел, запремине 2800 cm ³	SOFIM 8140.43S4 EURO 4, турбодизел, запремине 2800 cm ³
Максимална снага мотора [kW/KS при o/min]	98/130 при 3600	98/130 при 3600	98/130 при 3600
Мењач	2826.5	2826.5	2826.5
Дужина [mm]	5060	4830	5350
Ширина [mm]	2100	2140	2090
Висина [mm]	2495	2495	2495
Међуосовинско растојање [mm]	3000	3000	3000
Клиренс [mm]	365	365	365
Кочнице	Напред диск, позади диск (ABS + EBD + ABD)	Напред диск, позади диск (ABS + EBD + ABD)	Напред диск, позади диск (ABS + EBD + ABD)
Максимални успон (на сувој ледини) [%]	60	60	60
Најмањи пречник круга заокрета [mm]	14710	14480	15000

Водени газ [mm]	700	700	700
Дозвољена укупна маса [kg]	4200	4880	4900
Корисна носивост [kg]	1400	1400	1400
Пнеуматици	255/100 R16	255/100 R16	255/100 R16
Максимална брзина [km/h]	110	110	110
Напон електро инсталације [V]	24	24	24
Систем за управљање	Хидраулички са серво уређајем	Хидраулички са серво уређајем	Хидраулички са серво уређајем
Клима уређај	Опционо	Опционо	Опционо
Запремина резервоара за гориво [l]	120	120	120
Аутономија [km]	610	600	600

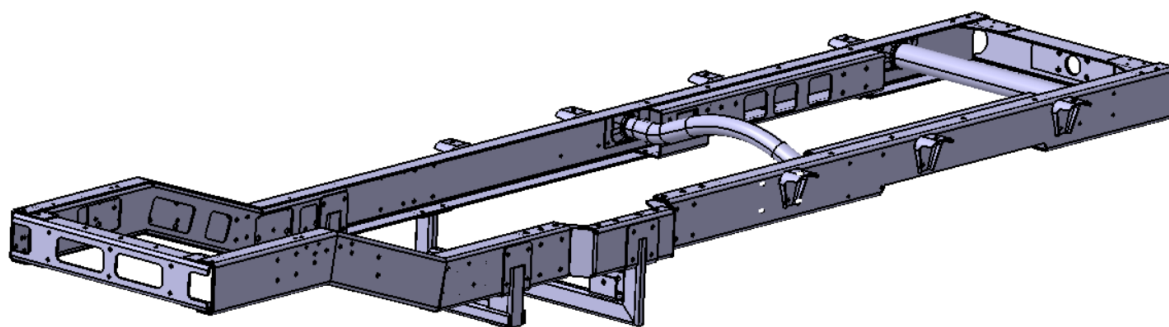
6.2 FEM анализа рама возила

Овај део мастер рада се односи на анализу расподеле напона који се јавља у раму возила приликом опаљења. Као што је већ речено, приликом опаљења минобацача долази до кретања трзајућих делова услед дејства силе трзања. Задатак противтрзајућег уређаја је да импулс огромне реактивне силе гасова на трзајућу масу неутралише, односно трансформише у импулс много мање силе, тј. силе отпора трзању $R(x)$. Сила отпора трзању представља силу која се у потпуности преноси на мобилну платформу, у овом случају возило Застава НТВ. За анализу напонског стања рама возила одабран је програмски пакет FEMAP/NX NASTRAN.

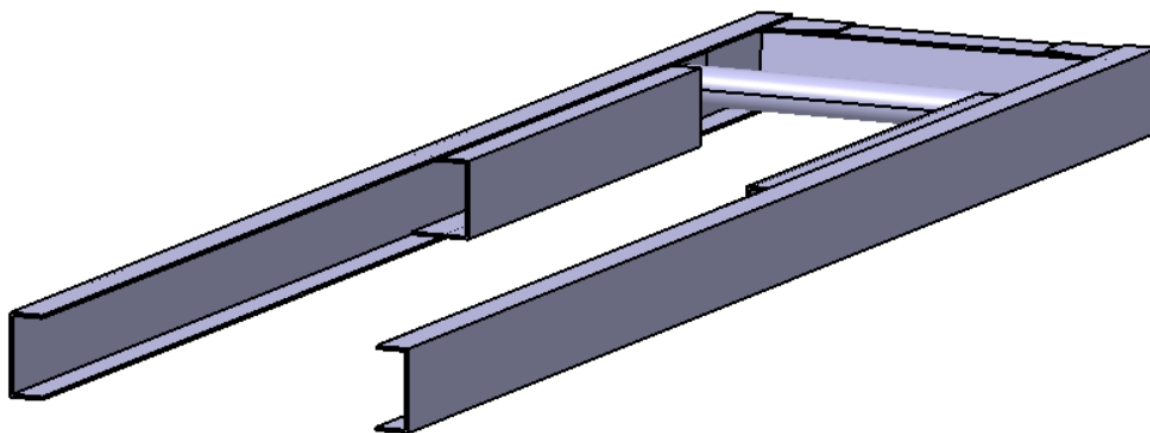
Пре саме анализе рама возила било је неопходно извршити одређене модификације на раму возила, како би се прорачун додатно упростио без великог утицаја на резултате:

1. Било је неопходно уклонити све непотребне делове на раму возила, односно делове који немају утицај на коначан резултат анализе;
2. Извршена је модификација делова рама који нису уклоњени, односно делова чије је присуство неопходно како би добили реалне резултате анализе. Ова модификација обухвата уклањање непотребних отвора, радијуса итд., односно врши се упрошћавање геометрије рама;
3. Такође, било је неопходно уклонити све зазоре између делова рама који су остављени са намером да се на том месту делови рама споје заваривањем;

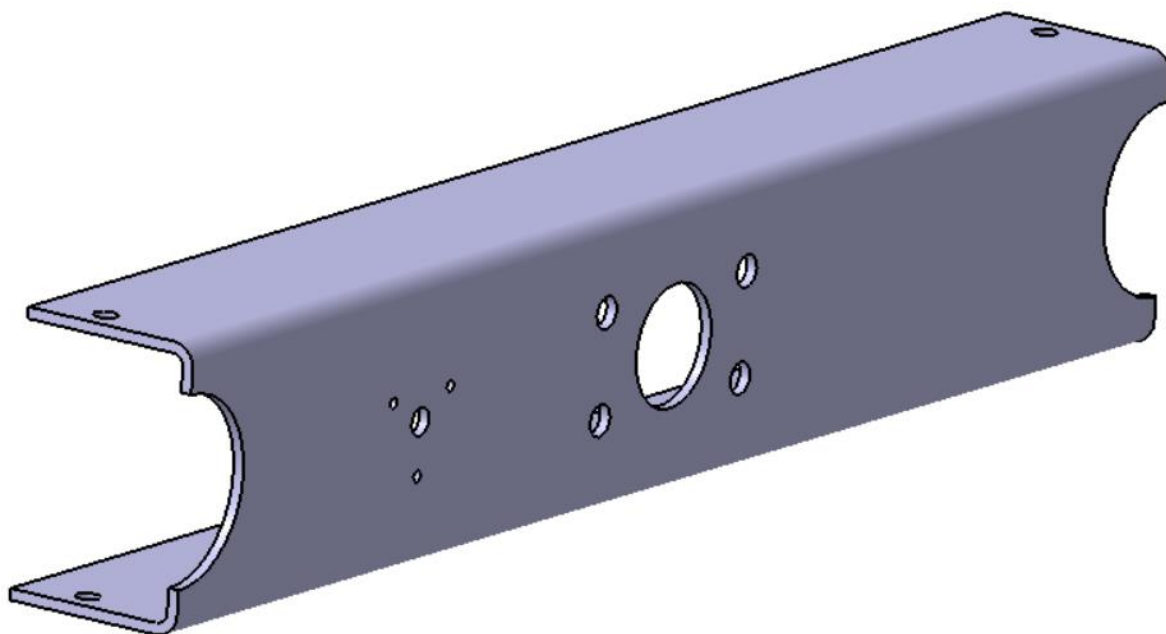
На следећим сликама ће бити приказан рам без уклоњених делова, затим упрошћена верзија рама (верзија која се користила за анализу), као и одређени делови који су модификовани.



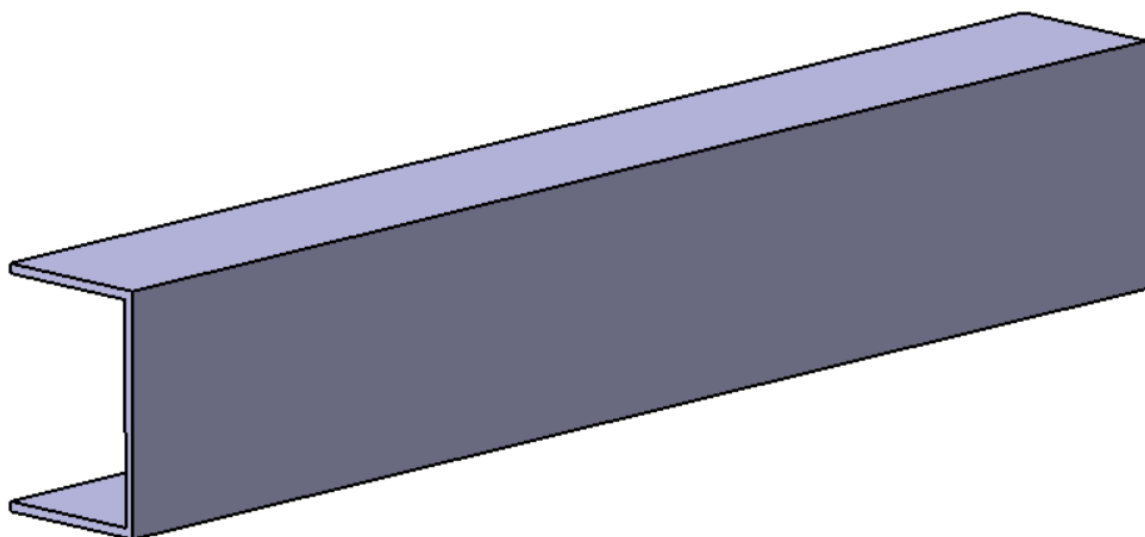
Слика 6.4 Модел рама возила у програму CATIA



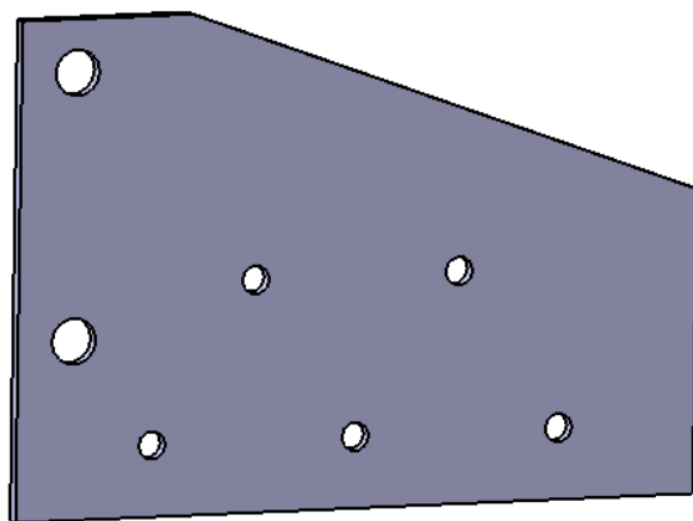
Слика 6.5 Модел рама возила у програму CATIA који је коришћен за анализу



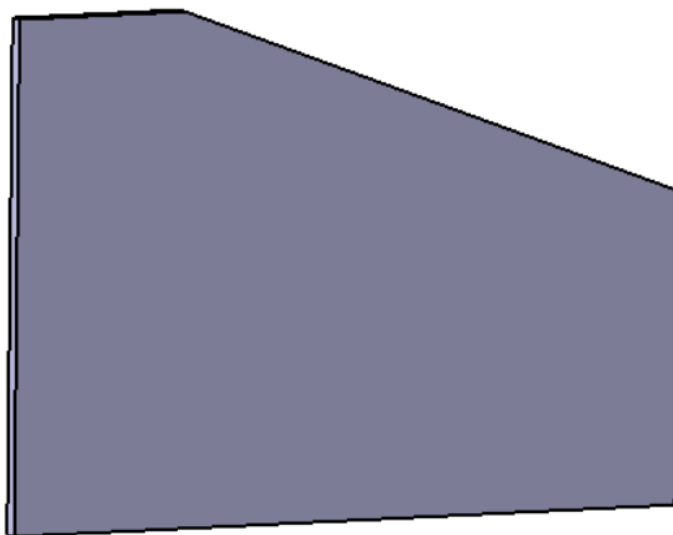
Слика 6.6 Модел носача вучне куке у програму CATIA



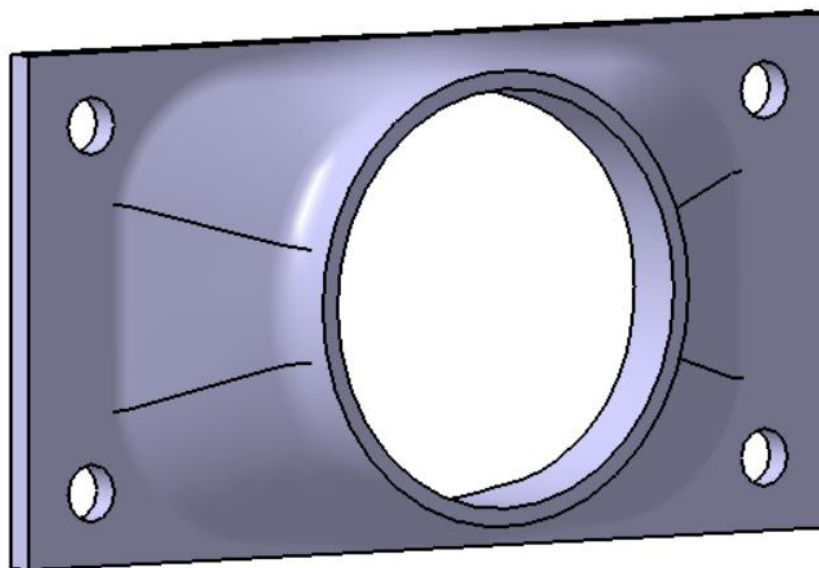
Слика 6.7 Модел носача вучне куке у програму CATIA који је коришћен за анализу



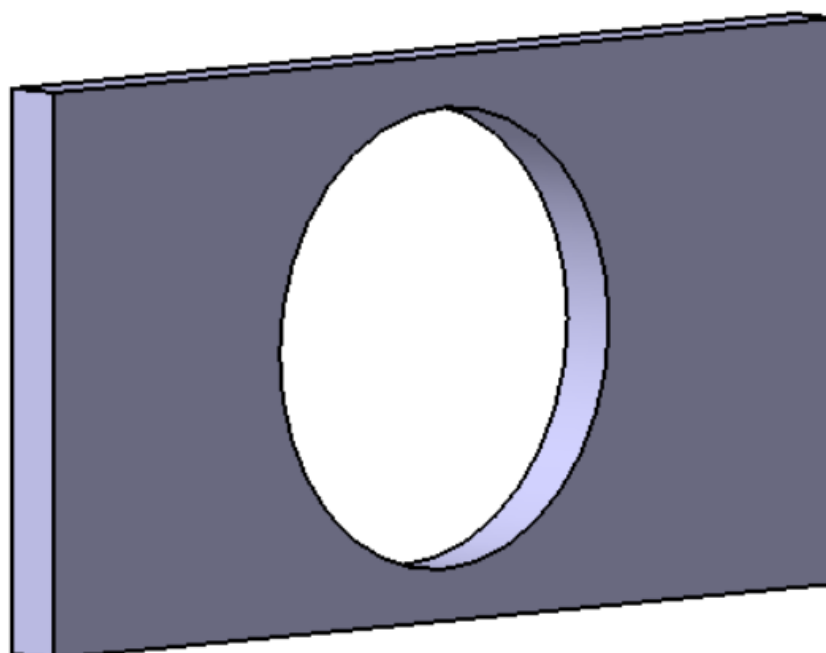
Слика 6.8 *Модел угаоног ојачања у програму CATIA*



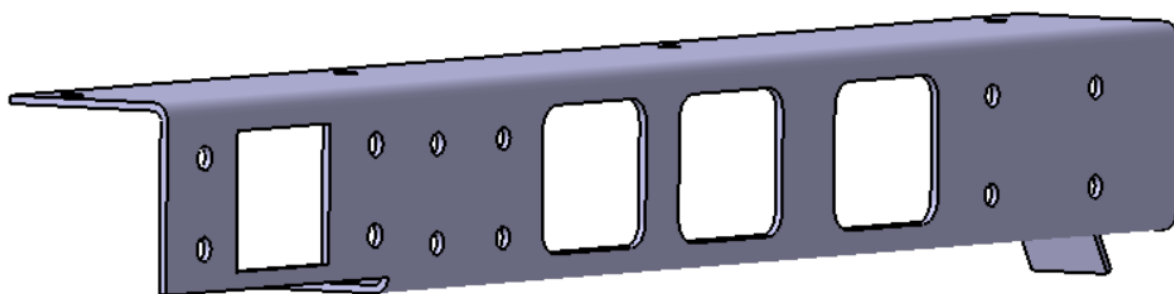
Слика 6.9 *Модел угаоног ојачања у програму CATIA који је коришћен за анализу*



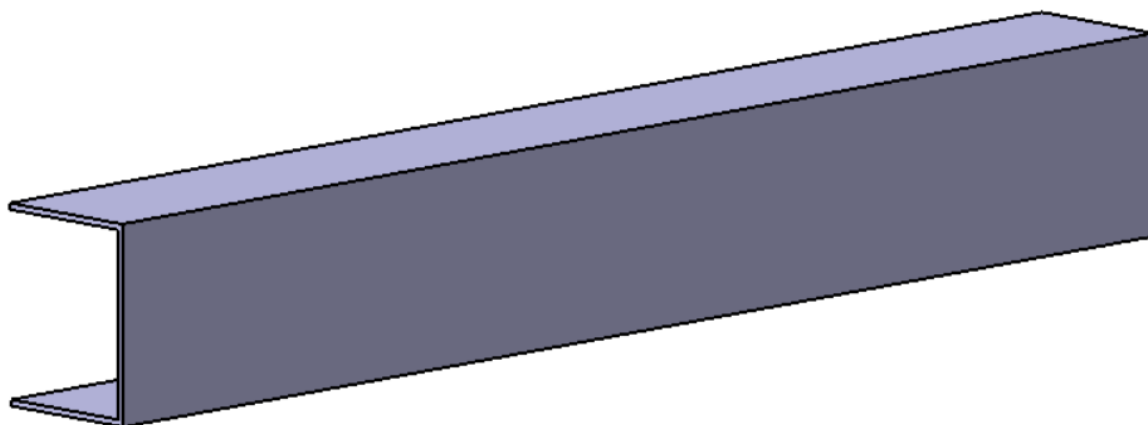
Слика 6.10 Модел прирубнице у програму CATIA



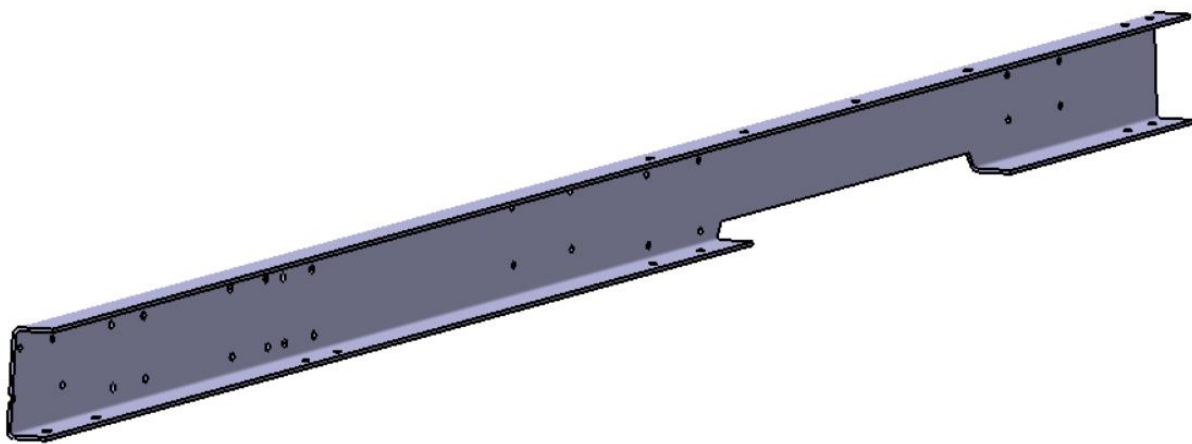
Слика 6.11 Модел прирубнице у програму CATIA који је коришћен за анализу



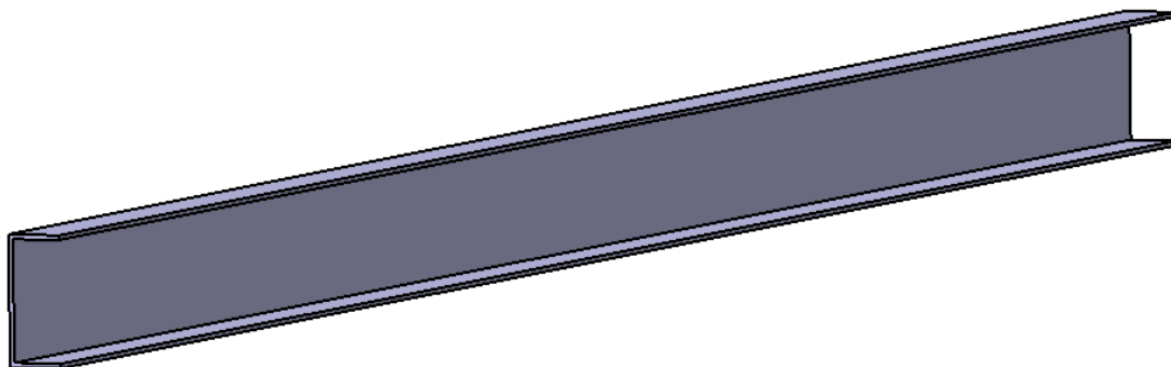
Слика 6.12 Модел задњег ојачања шасије у програму CATIA



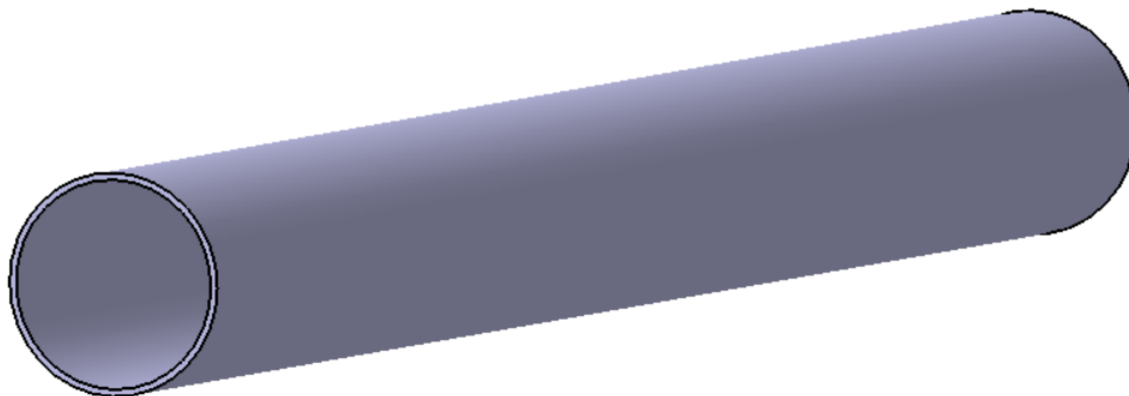
Слика 6.13 Модел задњег ојачања шасије у програму CATIA који је коришћен за анализу



Слика 6.14 Модел задњег дела шасије у програму CATIA



Слика 6.15 Модел задњег дела шасије у програму CATIA који је коришћен за анализу



Слика 6.16 Модел цеви задњег носача у програму CATIA

Након завршеног упрошћавања делова неопходно је модел рама возила импортовати у FEMAP како би се извршила анализа. Након импортовања модела из CATIA-е у FEMAP, неопходно је дефинисати карактеристике материјала рама, одабрати тип коначног елемента, дефинисати мрежу коначних елемената, као и дефинисати потребна ограничења и оптерећења која делују на рам.

Приликом дефинисања материјала рама унете су следеће карактеристике:

- модул еластичности (210000 МПа),
- Поасонов коефицијент (0,3),
- густина (7850 kg/m^3).

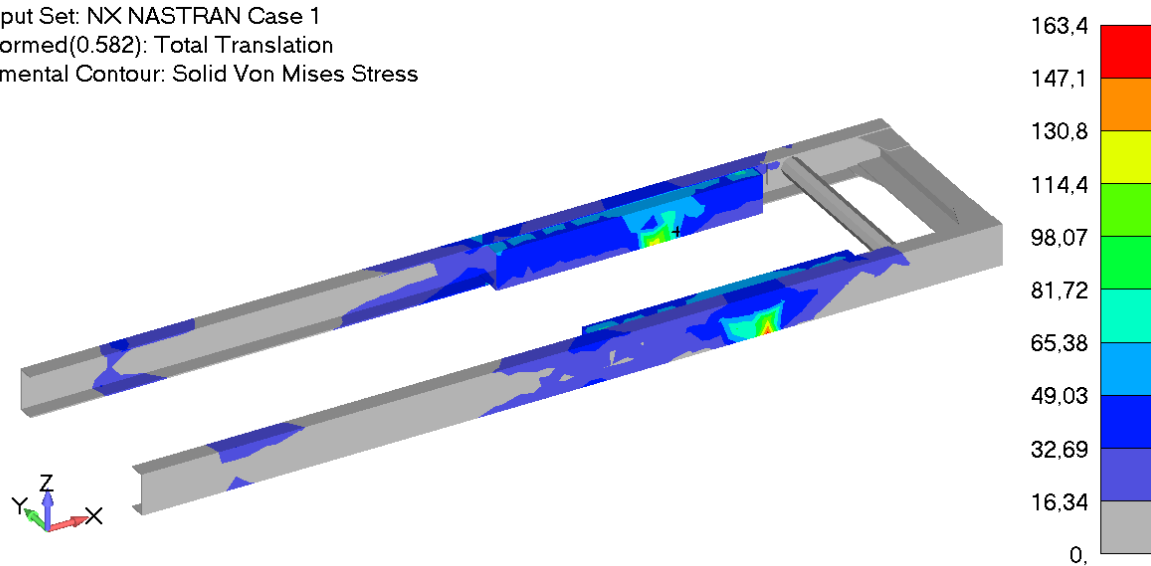
За тип коначног елемента је изабран тетраедар са међучворовима.

При дефинисању ограничења предњи део рама је у потпуности укљештен, односно ограничена је translација и ротација у свим правцима, док је на месту где се налази задња осовина возила ограничена једино translација у Z правцу. За силу којом је оптерећен рам узета је максимална вредност силе отпора трзању и постављена је да делује на рам изнад задње осовине.

На наредним сликама је приказана расподела напона (у МПа) који се јавља у раму возила приликом опаљења при различитим угловима елевације и правца. Са слика се може уочити да се на одређеним местима јављају концентрације напона које је могуће отклонити ојачањем рама на местима на којима долази до концентрације напона.

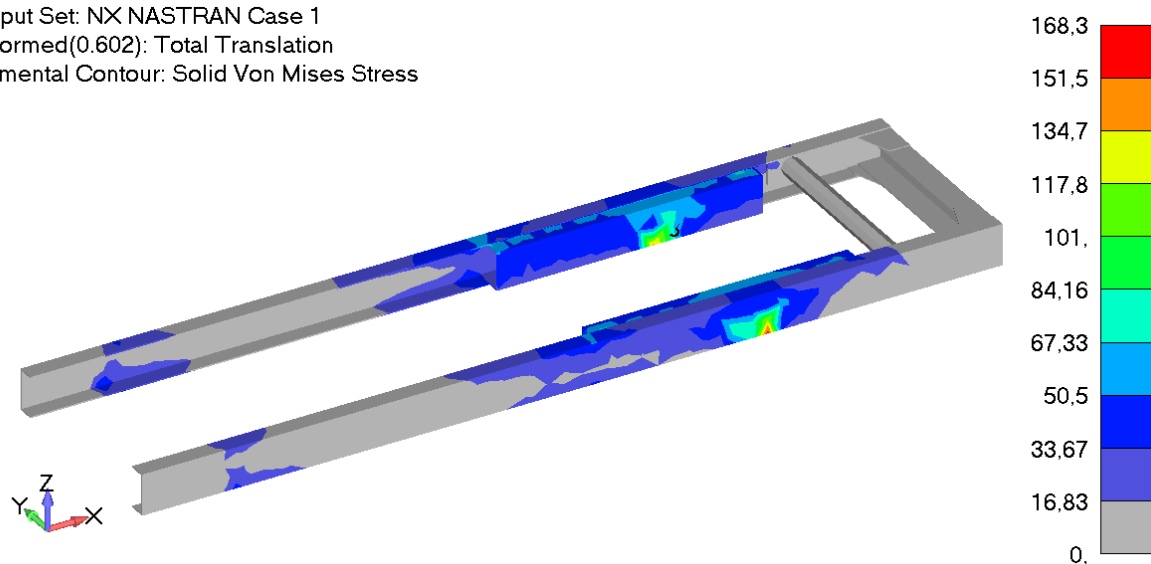
На основу приказаних слика, може се закључити да рам возила Застава НТВ може поднети оптерећење које настаје приликом опаљења.

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Deformed(0.582): Total Translation
 Elemental Contour: Solid Von Mises Stress



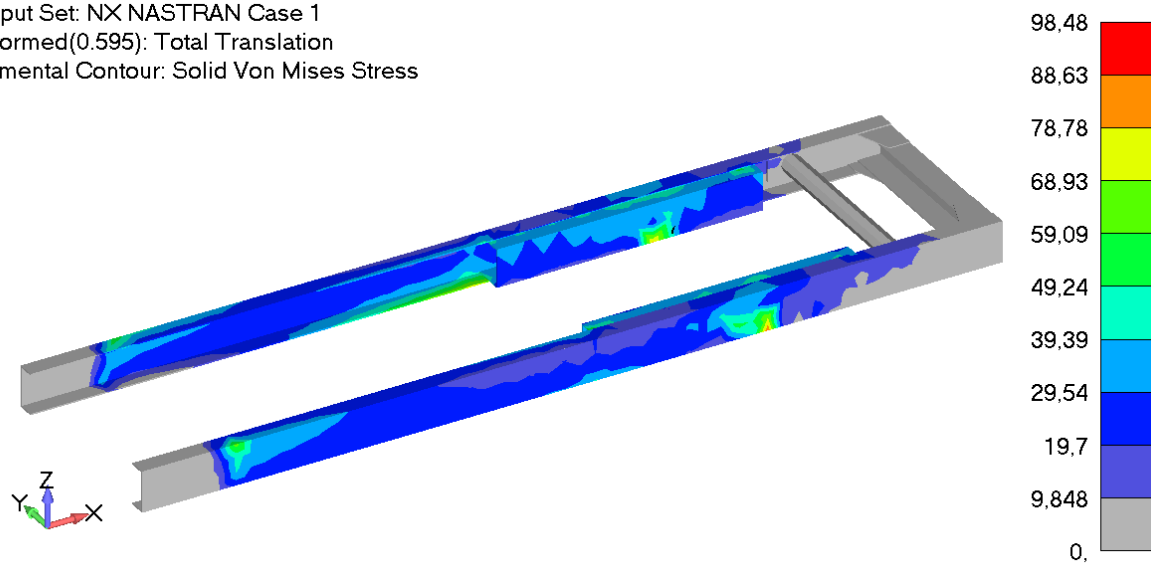
Слика 6.17 Расподела напона при опаљењу (елевација 85° , правац 0°)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Deformed(0.602): Total Translation
 Elemental Contour: Solid Von Mises Stress



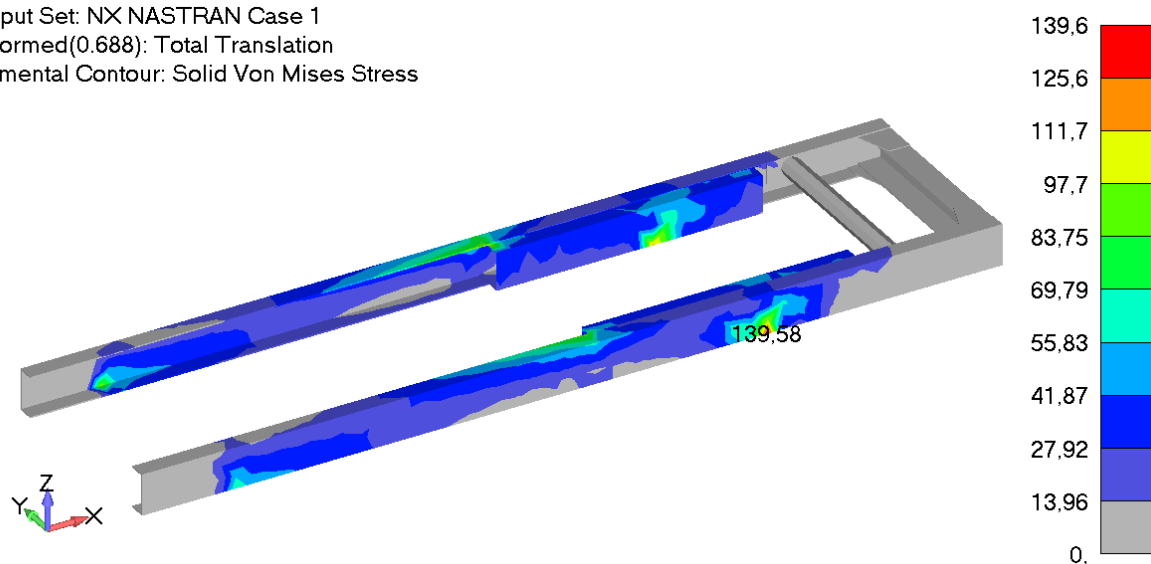
Слика 6.18 Расподела напона при опаљењу (елевација 85° , правац 180°)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Deformed(0.595): Total Translation
 Elemental Contour: Solid Von Mises Stress



Слика 6.19 Расподела напона при опаљењу (елевација 45° , правац 0°)

Output Set: NX NASTRAN Case 1
 Deformed(0.688): Total Translation
 Elemental Contour: Solid Von Mises Stress



Слика 6.20 Расподела напона при опаљењу (елевација 45° , правац 180°)

7. Закључак

Као што је већ речено, у циљу смањења вероватноће уништења минобацача услед откривања ватреног положаја радаром за откривање минобацача, неопходно је да се повећа њихова покретљивост, и то уградњом на лакооклопљене шасије точкашких или гусеничних возила.

У овом мастер раду је извршена анализа могућности уградње минобацача калибра 120 mm M75 на возило Застава НТВ као и анализа оптерећења рама возила приликом опаљења.

Да би се извршиле претходно наведене анализе, неопходно је извршити УБ прорачун минобацача како би знали на који начин се мења сила трзања, која представља производ притиска барутних гасова и површине попречног пресека дна цеви. УБ прорачун је извршен применом методе Серебрјакова.

Потом се врши прорачун силе отпора трзању у коју се убрајају сила хидрауличне кочнице, сила повратника као и сила трења. Сила отпора трзању представља силу којом се мобилна платформа на коју је оруђе интегрисано оптерећује. Након добијања закона промене силе отпора трзању приступа се анализи напонског стања рама возила применом методе коначних елемената. У овом мастер раду је извршена статичка анализа, односно рам возила је оптерећен максималном вредношћу силе отпора трзању, а не силом која зависи од времена, што представља извесно упрошћење. Поред овог упрошћења, неопходно је било извршити упрошћења и на раму возила. Са рама возила је било потребно уклонити све радијусе, отворе, зазоре између делова који су спојени заваривањем и друге непотребне делове чије уклањање са модела који се анализира не утиче на резултате анализе. Треба нагласити да тачност добијених резултата зависи од квалитета упрошћеног модела.

Рам возила је, као што је већ речено, оптерећен максималном вредношћу силе отпора трзању, а минобацач је постављен тачно изнад задње осовине возила. Симулирано је да минобацач гађа са елевацијом цеви од 45° и 85° преко кабине, и у супротном смеру од смера кретања возила. У сва четири случаја максимална вредност напона који се јавља у раму возила није прелазила вредност од 170 МПа што је апсолутно прихватљива вредност, а концентрација напона се у сва четири случаја јављала на истим местима. Случајеви у којима би минобацач гађао под углом од 90° у односу на подужну осу возила нису разматрани јер би се с' обзиром на масу возила и максималну вредност силе отпора трзању сигурно угрозила стабилност возила.

Даљи рад би се могао базирати на развијању реалнијег модела, који би се користио за FEM анализу, што би нам дало још тачнији одговор на питање да ли је могуће извршити интеграцију минобацача M75 на возило Застава НТВ.

Литература

- [1] Новак Митровић, *Кумулативна научно – техничка информација „Самоходни минобацачи“*, Београд 1992.
- [2] пк. др Александар Кари, пк. др Дамир Јерковић, пп. др Небојша Христов, *Презентација о минобацачима из предмета борбена употреба наоружања*.
- [3] <https://archive.is/naoruzanje.paracin.co.yu>, посећено 05.07.
- [4] http://dunkirk1940.org/index.php?&p=1_39, посећено 03.07.
- [5] <http://bih-srb-hrv.blogspot.com/2015/12/2s9-nona-s-so-120-samohodni-minobacac.html>, посећено 05.07.
- [6] <https://www.net-maquettes.com/sr/pictures/2s9-nona-s-walkaround/>, посећено 05.07.
- [7] <https://www.army-technology.com/projects/2s23-nona-svk-120mm-self-propelled-gun-system/>, посећено 05.07.
- [8] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Self-propelled_120_mm_mortar_2S31_Vena.jpg, посећено 05.07.
- [9] http://www.military-today.com/artillery/wiesel_2_mortar.htm, посећено 06.07.
- [10] <http://fighting-vehicles.com/amos-mortar/>, посећено 05.07.
- [11] http://www.military-today.com/artillery/m1129_stryker_mortar.htm, посећено 07.07.
- [12] <http://www.military-today.com/artillery/floks.htm>, посећено 08.07.
- [13] <https://militaryleak.com/2019/02/21/phlox-floks-120-mm-self-propelled-mortar-system/>, посећено 07.07.
- [14] Лаки минобацач 120 mm M74 и M75 – Техничко упутство, књига 1.
- [15] [https://bs.wikipedia.org/wiki/M-75_\(minobaca%C4%8D\)](https://bs.wikipedia.org/wiki/M-75_(minobaca%C4%8D)), посећено 10.07.
- [16] др Љубиша Танчић, *Збирка задатака из унутрашње балистике*, Београд 1999.
- [17] З. Ристић, М. Јаковљевић, *Основи наоружања (артиљеријска оруђа)*, ВА Београд, 2013.
- [18] <http://www.zastavatervo.rs/images/Prezentacija-srp.ppsx>, посећено 25.08.

Прилог 1.

Прилог 1.1 Програмско решење за УБ прорачун

```

PROGRAM MB
IMPLICIT REAL(A-Z)
CHARACTER OR*16,BARUT*8
OPEN(60,FILE='UL120')
OPEN(61,FILE='IZ120')
READ(60,*)K1P,S,SZ,W0,XU,AKSI,EM,SPR
READ(60,*)F,ALFA,DELT,U1,AK,E0
READ(60,*)AKAPA1,ALAMB1
READ(60,*)F0,ALFA0,OMEG,OMEG0,DV
READ(60,*)OR,BARUT
WRITE(61,5)OR,BARUT
5 FORMAT(' ',///,' ',20X,
+'UB-PRORACUN SEREBRJA KOVLJEVOM METODOM',/,
+' ',30X,'ORUDJE',2X,A16,/,40X,'BARUT',2X,A8,///)
WRITE(61,6)S,SZ,W0,XU,AKSI,EM,SPR,F,ALFA,DELT,U1,AK,
+E0,AKAPA1,ALAMB1,F0,ALFA0,OMEG,OMEG0
6 FORMAT(' ',23X,'JEDINICE PO SI SISTEMU MERA'///32X,
+'POLAZNI PODACI'///15X,'S=',F8.6,6X,'SZ=',F8.6,6X,'W0='
+,F7.5/15X,'XU=',F4.2,9X,'AKSI=',F4.2,8X,'EM=',F5.2,/,
+15X,'SPR=',F8.6,4X,'F=',F8.0,7X,'ALFA=',F7.5,/,
+15X,'DELT=',F5.0,6X,'U1=',E10.3,4X,'AK=',F4.1,/,
+15X,'E0=',F8.6,5X,'AKAPA1=',F6.4,4X,'ALAMB1=',F8.5,/,
+15X,'F0=',F8.0,5X,'ALFA0=',F8.6,3X,'OMEG=',F6.4,/,
+31X,'OMEG0=',F6.4,///)
!
! PRORACUN KONSTANTI I PRETHODNOG PERIODA
!
P0=(F0*OMEG0)/(W0-OMEG/DELT-ALFA0*OMEG0)
AIKA=E0/U1
A=(2/(AK+1))**(1/(AK-1))*SQRT(2*AK/((AK+1)*F))
ETAK=AKSI*A*SZ*AIKA/OMEG
BE=S**2*AIKA**2/(EM*F*OMEG)
BEP=(SPR/S)**2*BE
HI0=F0*OMEG0/(F*OMEG)
AK1P=AKAPA1-ETAK
THETA=AK-1
BE1P=BE*THETA/2-AKAPA1*ALAMB1
AS=(S/SPR)*(BEP/BE1P)
GAMA=BE1P*HI0/AK1P**2
BE1=SQRT(1+4*GAMA)
T=0
X=0

```

```

V=0
WRITE(61,7) P0
7 FORMAT(' ',32X,'PRETHODNI PERIOD'//34X,'P0=',F10.0)
WRITE(61,8)
8 FORMAT(' ',//,35X,'PRVI PERIOD'//,7X,T,10X,'Y',
+12X,'PSI',9X,'V',8X,'X',9X,'P',10X,'T')
!
! PRVI PERIOD
!
H=1/K1P
XP=0
VP=0
TP=0
DO 9 I=1,K1P
AIPS=H*I
Y=AKSI*A*SZ*AIKA*AIPS
PSI=AKAPA1*AIPS*(1+ALAMB1*AIPS)
XPSIP=(W0-OMEG*(1-PSI)/DELT-ALFA*(OMEG*PSI-Y)-
+ALFA0*OMEG0)/S
BETA=BE1P*AIPS/AK1P
Z=(1-2*BETA/(BE1+1))**((BE1+1)/(2*BE1))*
+(1+2*BETA/(BE1-1))**((BE1-1)/(2*BE1))
V=SPR*AIKA*AIPS/EM
X=XPSIP*(1/(Z**AS)-1)
P=F*OMEG*(HI0+AK1P*AIPS-BE1P*AIPS**2)/((XPSIP+X)*S)
IF(I-1)12,12,13
12 T=3*X/V*(P0+P)/(2*P0+P)
GO TO 20
13 DELTA=(1/VP+1/V)/2*(X-XP)
T=TP+DELTA
IF(X.GE.XU) GO TO 80
20 WRITE(61,22)I,AIPS,PSI,V,X,P,T
22 FORMAT(' ',5X,F3.0,2F13.6,F10.2,F9.3,F13.0,F10.5)
YK=Y
TP=T
VP=V
PP=P
9 XP=X
IF(XP.GE.XU) GO TO 80
WRITE(61,30)
30 FORMAT(' ',///,30X,'DRUGI PERIOD'///,12X,T,
+9X,'V',14X,'X',13X,'P',12X,'T',/)
!
! DRUGI PERIOD
!
X1P=(W0-ALFA*(OMEG-YK)-ALFA0*OMEG0)/S
ETAPK=ETAK/VP

```

```
VLIM=SQRT(2*F*OMEG/(EM*THETA))
ETA2=ETAPK*VLIM**2
ETA3=(1+HI0)*VLIM**2
BE2=SQRT(1+4*ETA3/ETA2**2)
V1=-ETA2*(BE2+1)/2
V2=ETA2*(BE2-1)/2
I=K1P
70 V=VP+DV
I=I+1
GAM=((V-V1)/(VP-V1))**((BE2+1)/(2*BE2))*
+((V-V2)/(VP-V2))**((BE2-1)/(2*BE2))
X=((X1P+XP)/(GAM**(2*S/SPR/THETA)))-X1P
P=(F*OMEG/S)*(1+HI0-ETAPK*V-V**2/VLIM**2)/(X1P+X)
DELTO=(1/V+1/VP)/2*(X-XP)
T=T+DELTO
IF(X.GE.XU) GO TO 80
GO TO 95
80 DLI=(XU-XP)/(X-XP)
V=VP+(V-VP)*DLI
P=PP+(P-PP)*DLI
T=TP+(T-TP)*DLI
X=XU
95 WRITE(61,26)I,V,X,P,T
26 FORMAT(' ',10X,F3.0,F12.3,F14.3,F16.0,F11.5)
VP=V
XP=X
PP=P
TP=T
IF(X.LT.XU) GO TO 70
CLOSE(60)
CLOSE(61)
STOP
END PROGRAM MB
```

Прилог 1.2 Улазни подаци за УБ прорачун

Назив	Ознака	Вредност	Јединица
Површина попречног пресека цеви	S_c	0.011315	m^2
Површина попречног пресека зазора	S_z	0.000132	m^2
Почетна запремина барутне коморе	W_0	0.00281	m^3
Укупни пут пројектила у цеви	X_u	1.15	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	1100000	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}	1.3E-09	m / sPa
Однос специфичних топлота	Θ	1.2	/
Половина дебљине барутног зрна	r_0	0.000290	m
Коефицијент облика	κ_1	1.3679	/
Коефицијент облика	λ_1	-0.26895	/
Специфичан рад барутних гасова основног пуњења	f_{b0}	600000	J / kg
Коволумен барутних гасова основног пуњења	α_0	0.00091	m^3 / kg
Маса барута допунског пуњења	m_b	0.4560	kg
Маса барута основног пуњења	m_{b0}	0.0360	kg

Прилог 1.3 Датотека са улазним подацима

15,0.011315,0.000132,0.00281,1.155,0.61,12.6,0.011183

1.1E+6,9.1E-4,1600,1.3E-9,1.2,0.29E-3

1.3679,-0.26895

600000,9.1E-4,0.456,0.036,6

'MB 120 MM','NGB-XXX'

Прилог 1.4 Резултати УБ прорачуна

Претходни период					
P0=8666902 Pa					
Први период					
Y	PSI	V [m/s]	X [m]	P [Pa]	t [s]
0.066667	0.089558	13.2	0.005	25793746	0.00092
0.133333	0.175846	26.4	0.014	40845992	0.00142
0.2	0.258864	39.6	0.024	53800408	0.00174
0.266667	0.338612	52.8	0.035	64734804	0.00199
0.333333	0.415089	66	0.048	73756928	0.0022
0.4	0.488297	79.2	0.062	80987136	0.0024
0.466667	0.558234	92.4	0.077	86551600	0.00257
0.533333	0.624901	105.59	0.093	90579048	0.00274
0.6	0.688297	118.79	0.111	93198512	0.0029
0.666667	0.748424	131.99	0.13	94538120	0.00305
0.733333	0.80528	145.19	0.152	94724344	0.00321
0.8	0.858866	158.39	0.175	93880888	0.00336
0.866667	0.909182	171.59	0.201	92128432	0.00352
0.933333	0.956228	184.79	0.23	89583880	0.00368
1	1.000003	197.99	0.262	86360088	0.00385
Други период					
/	/	203.99	0.278	83114784	0.00393
/	/	209.99	0.295	79667760	0.00401
/	/	215.99	0.313	76245832	0.0041
/	/	221.99	0.333	72855760	0.00419
/	/	227.99	0.354	69504096	0.00428
/	/	233.99	0.377	66197180	0.00438
/	/	239.99	0.402	62941152	0.00449
/	/	245.99	0.429	59741644	0.0046
/	/	251.99	0.458	56604236	0.00471
/	/	257.99	0.489	53533956	0.00483
/	/	263.99	0.523	50535616	0.00496
/	/	269.99	0.56	47613600	0.0051
/	/	275.99	0.6	44772036	0.00525
/	/	281.99	0.644	42014520	0.0054
/	/	287.99	0.691	39344428	0.00557
/	/	293.99	0.743	36764616	0.00575

/	/	299.99	0.799	34277556	0.00594
/	/	305.99	0.861	31885406	0.00614
/	/	311.99	0.929	29589884	0.00636
/	/	317.99	1.004	27392260	0.0066
/	/	323.99	1.086	25293500	0.00686
/	/	328.505	1.155	23788970	0.00707

Прилог 2. Прорачун ПТУ-а за минобацач 120 mm М75 у програмском пакету MATLAB

```
% *****
% Proračun PTU-a za minobacač 120 mm uz poznate UB parametre
% Autor: A. Kari, 2017.
% *****

clc;
clear all;
close all;

% *****
% Učitavanje i štampanje UB proračuna
% *****

UBMB=dlmread ('UBMB120mm.txt');
vp=UBMB(:,1); % relativna brzina projektila po UB proračunu, m/s
xp=UBMB(:,2); % relativni put projektila po UB proračunu, m/s
pc=UBMB(:,3); % pritisak u cevi po UB proračunu, Pa
tp=UBMB(:,4); % vreme kretanja projektila po UB proračunu, s

n=length(tp);
vp0=max(vp); % početna 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')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')

figure(2)
plot(tp*1000,vp)
grid on
title('Promena brzine projektila u cevi')
xlabel('Vreme, ms')
ylabel('Brzina projektila, m/s')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')

figure(3)
plot(xp,pc/100000)
grid on
title('Promena pritiska u cevi')
xlabel('Put projektila u cevi, m')
ylabel('Pritisak, bar')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')
```

```

UBMB=dlmread('UBMB120mm.txt');
vp=UBMB(:,1); % relativna brzina projektila po UB proračunu, m/s
xp=UBMB(:,2); % relativni put projektila po UB proračunu, m/s
pc=UBMB(:,3); % pritisak u cevi po UB proračunu, Pa
tp=UBMB(:,4); % vreme kretanja projektila po UB proračunu, s

d=0.120; % kalibar MB, m
Sc=d*d*pi/4; % površina poprečnog 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

% *****
% Proračun trzanja
% *****

mt=250; % trzajuća masa, kg
xxx=38; % broj tačaka iz dijagrama za pritisak
vpmax=max(vp); % maksimalna brzina projektila, m/s

vmax=14.75; % brzina trzanja na kraju I perioda, m/s
xlam=0.35; % maksimalna dužina trzanja, m
R0=2951; % početna sila otpora, N
Pknm=max(pc)*Sc; % maksimalna 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;
beta=1300/vpmax;
Wtau=(EM+beta*(AMB+AMB0))*vpmax/mt; % brzina slobodnog trzanja na
kraju perioda isticanja b/g, m/s

```

```

tau=5*(beta-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));

% *****
%                               Kočeno trzanje
% *****

% *****
%                               I 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);

% *****
%                               II period
% *****

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

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

% *****
%                               III period
% *****

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

```

```

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

% *****
%                               Proračun PTU-a
% *****

% *****
%                               Početni podaci
% *****

beta1=2;           % koeficijent početne sile povratnika
g=9.806;           % ubrzanje Zemljine teže, m/s2
Emax=85*pi/180;    % maksimalni ugao elevacije, rad
mi=0.2;            % koeficijent trenja
sk=4;              % stepen kompresije povratnika
k=1.4;             % koeficijent proticanja tečnosti
rohu=900;          % gustina HUNT-S, kg/m3
dt=0.12;           % prečnik klipa kočnice trzanja, m

At=dt^2*pi/4;
Fp0=beta1*mt*g;
Ftr=mi*mt*g*sin(Emax);
Fplam=sk*Fp0;
C=(Fplam-Fp0)/xlam;
Ct=(k*rohu*At^3)/2;

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

figure(4)
plot(tp,vtrz)
grid on
title('Promena brzine trzanja')
xlabel('Vreme trzanja, s')
ylabel('Brzina trzanja, m/s')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')

```

```

figure(5)
plot(x,Rl,'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')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')

figure(6)
plot(x,ax)
grid on
title('Potrebna površina protočnih otvora u HK')
xlabel('Put trzanja, m')
ylabel('Površina protočnih otvora u HK, m^2')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')

figure (7)
plot (x,Fkt)
grid on
title('Promena sile HK u zavisnosti od puta trzanja')
xlabel('Put trzanja, m')
ylabel('Sila HK, N')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')

figure(8)
plot(x,Fp)
grid on
title('Promena sile povratnika u zavisnosti od puta trzanja')
xlabel('Put trzanja, m')
ylabel('Sila povratnika, N')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')

figure(9)
plot(tp,Rl,'k',tp,T,':g',tp,Fp,'-.b',tp,Fkt,'--r')
grid on
title('Sila otpora trzanju sa komponentama')
xlabel('Vreme trzanja, s')
ylabel('Sila, N')
legend('Ukupna sila otpora trzanju','Sila trenja','Sila
povratnika','Sila HK','Location','Best','linewidth')
set(gca,'FontSize',10,'FontName','Times New Roman')

```