

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Предмет: Конструкција пројектила и упаљача
Број индекса: 518/2015

Урош С. Предић

Анализа параметара конструкције и дејства тренутно-запаљиво-обележавајућег пројектила 20 mm M57

Дипломски рад

Комисија за преглед о одбрану:

1. потпуковник др Јовица Богданов, доцент– ментор
2. _____
3. _____

Датум

одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основне студије: Војноиндустријско инжењерство

Студијско подручје (усмерење):

Име и презиме: Урош Предић

Број индекса: 518/2015

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: Анализа параметара конструкције и дејства тренутно-запаљиво-обележавајућег пројектила 20 mm M57

Задатак: Први задатак завршног рада је објашњење намене, конструкције и најзначајнијих особина метка 20 mm са тренутно-запаљиво-обележавајућим пројектилом M57. Податке о разматраном метку одредити мерењем делова и преузети из одговарајуће литературе. Други задатак је објашњење методе и анализа резултата прорачуна параметара кретања разматраног пројектила у цеви аутоматског топа калибра 20 mm. Трећи задатак је објашњење методе прорачуна и анализа резултата прорачуна параметара кретања разматраног пројектила током лета од оруђа до циља. У анализи извршити и поређење резултата прорачуна са одговарајућим подацима из таблица гађања. Четврти задатак је одређивање параметара парчадног дејства пројектила на циљу на основу експерименталних података и одговарајућих метода прорачуна. Студенту ће бити доступни потребна мерна опрема, инертни делови и експериментални резултати фрагментације кошуљице разматраног пројектила.

Ментор:

потпуковник др Јовица Богданов, доцент



Крагујевац, 04.07.2019. године

Садржај:

Резиме:	3
1. УВОД	4
2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО	6
2.1. Опис и намена метка 20 mm ТЗО М57	6
2.1.1. Конструкција тренутно-запаљиво-обележавајућег пројектила 20 mm М57	8
2.1.2. Армирање, активирање и самоликвидација упаљача УТ М57 СМ	9
2.1.3. Паковање муниције и чување	12
2.2. Методе прорачуна параметара конструкција и кретања пројектила кроз цев оруђа	12
2.2.1. Одређивање димензија кошуљице и експлозивног пуњења пројектила	12
2.2.2. Маса пројектила	13
2.2.3. Положај тежишта пројектила	13
2.2.4. Аксијални момент инерције пројектила	15
2.2.5. Екваторијални моменат инерције пројектила	15
2.2.6. Сила барутних гасова	17
2.2.7. Сила отпора ваздуха	18
2.2.8. Сила урезавања водећег прстена	18
2.2.9. Напрезање зида кошуљице пројектила	19
2.2.10. Напрезање дна кошуљице пројектила	20
2.2.11. Напрезање експлозивног пуњења пројектила	22
2.2.12. Стабилност пројектила и корак увијања жлебова	22
2.3. Методе прорачуна параметра кретања пројектила током лета од оруђа до циља	25
2.3.1. Аеродинамички коефицијенти при несиметричном опструјавању пројектила	25
2.3.2. Аеродинамички коефицијенти при симетричном опструјавању пројектила	26
2.3.3. Путања пројектила у ваздушном простору	27
2.3.4. Путања пројектила са три степена слободе кретања	28
2.3.5. Балистички коефицијент	29
2.3.6. Угаона брзина	30
2.3.7. Путања пројектила са шест степени слободе кретања	30
2.3.8. Растурање поготака и вероватноћа погађања	31
2.4. Методе прорачуна и експерименталних истраживања парчадног дејства на циљу	32
2.4.1. Парчадно дејство	32
2.4.2. Изглед и правац снопа парчади	35
2.4.3. Ефикасност парчадног дејства разорних пројектила	36
2.4.4. Одређивање броја, појединачне масе и облика парчади	37
2.4.5. Стварна ефикасност парчадног дејства	39
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО	41
3.1. Одређивање димензија пројектила 20 mm ТЗО М57	41

3.2.Прорачун и анализа резултата прорачуна параметара кретања пројектила 20 mm ТЗО М57 кроз цев оруђа	49
3.2.1. Прорачун димензија кошуљице и експлозивног пуњења пројектила 20 mm ТЗО М57.....	49
3.2.2. Прорачун масе пројектила 20 mm ТЗО М57.....	50
3.2.3. Прорачун положаја тежишта пројектила 20 mm ТЗО М57	51
3.2.4. Прорачун аксијалног момента инерције пројектила 20 mm ТЗО М57.....	52
3.2.5. Прорачун екваторијалних момента инерције пројектила 20 mm ТЗО М57.....	52
3.2.6. Прорачун силе барутних гасова.....	57
3.2.7. Прорачун силе отпора ваздуха.....	57
3.2.8. Прорачун ила урезавања водећег прстена	57
3.2.9. Прорачун напрезања зида кошуљице и одређивање дијаграма напрезања пројектила 20 mm ТЗО М57	58
3.2.10. Прорачун напрезања дна кошуљице пројектила 20 mm ТЗО М57	59
3.2.11. Прорачун напрезања експлозивног пуњења (ЕП) пројектила 20 mm ТЗО М57 ...	60
3.2.12. Прорачун стабилности пројектила 20 mm ТЗО М57 и корак увијања жлебова....	61
3.3.Прорачун и анализа резултата прорачуна параметра лета пројектила 20 mm ТЗО М57 од оруђа до циља.....	62
3.3.1. Прорачун аеродинамичких коефицијента при несиметричном опструјавању.....	62
3.3.2. Прорачун аеродинамичких кеофицијента при симетричном опструјавању.....	67
3.3.3. Прорачун путање пројектила у ваздушном простору.....	71
3.3.4. Прорачун балистичког коефицијента.....	78
3.3.5. Прорачун путања пројектила са три степена слободе кретања	79
3.3.6. Прорачун угаоне брзине	82
3.3.7. Прорачун путање пројектила пројектила са шест степени слободе кретања	82
3.3.8. Прорачун растурања поготка у вероватноћа погађања	94
3.3.9. Анализа резултата	97
3.4.Прорачун параметра парчадног дејства на циљу.....	99
3.4.1. Прорачун броја парчади	100
3.4.2. Дијаграм расподеле парчади у масеним групама.....	101
4. ЗАКЉУЧАК.....	102
Списак скраћеница.....	103
Списак слика.....	104
Списак табела	106
Литература	107

Summary:

The topic of this work is the analysis of HEI projectiles 20mm M57 from the Hispano family. In the theoretical part, using the appropriate literature, a description, purpose and construction of the projectile 20 mm HEI M57 are given. All methods for calculating the movement of the projectile through the barrel of the weapon, the flight of the projectile from the weapon to the target, and the calculation of the parameters of fragments' effects are explained. In the experimental part, first the projectile 20 mm HEI M57 was modeled using the program CATIA-V5, and then, on the basis of the mentioned methods and ways of solving, calculations for the mentioned projectile were performed. The obtained values were analyzed and compared with tabular values.

Keywords: projectile 20 mm HEI M57, CATIA-V5, calculations, tabular values.

Резиме:

Тема овог рада је анализа пројектила 20 mm ТЗО М57 из породице Хиспано. У теоријском делу, коришћењем одговарајуће литературе, дат је опис, намена и конструкција датог пројектила. Објашњене су све методе за прорачун кретања пројектила кроз цев оруђа, лет пројектила од оруђа до циља и прорачун параметра парчадног дејства. У екперименталном делу најпре је моделиран пројектил 20 mm ТЗО М57 коришћењем програма САТИА-V5, а затим на основу споменутих метода и начина решавања, извршени су прорачуни за споменути пројектил. Добијене вредности у одређеним поглављима су анализиране и упоређене са табличним вредностима.

Кључне речи: пројектил 20 mm ТЗО М57, САТИА-V5, прорачуни, табличне вредности.

1. УВОД

Муниција калибра 20x110 mm „Хиспано“ има дуг период употребе. Првенствено ову врсту муниције користили су противавионски топови који су били намењени у борби против ваздушних циљева, може се рећи да је врхунац употребе противавионских топова био у Другом светском рату у периоду од 1939. до 1945. године. Након Другог светског рата долази до великих модификација и напредка у војној индустрији, самом чињеницом да нпр. данашњи савремени борбени авиони лете и на висинама од 10 *km*, ефикасност ових топова знато се смањила. У данашњим конструкцијама примена противавионских топова се нашла на борбеним возилима пешадије и ратним бродовима као и конструкцијама намењим за објекте са ниском висином летења. Чињеницом да се и данас лафетирају противавионски топови долази до веће потребе за коришћењем Хиспано муниција калибра 20 mm.

Рад представља комплетну анализу пројектила 20 mm ТЗО М57 из породице Хиспано, домаће производње. Најпре је у теоријском делу описан споменути метак, објашњена је његова конструкција и намена. Затим су описане све методе прорачуна кретања пројектила кроз цев оруђа, лет пројектила и начин прорачуна параметра парчадног дејства на циљу. У експерименталном делу, пројектил 20 mm ТЗО М57 је на основу димензија школског убојног средства моделиран је у програму CATIA-V5, након моделирања израђени су технички цртежи свих делова споменутог пројектила и одређене динамичке карактеристике. На основу техничких цртежа у наставку коришћењем споменутих метода извршен је прорачун кретања пројектила кроз цев оруђа где је анализирано да ли ће доћи до нежељених ефекта током кретања пројектила, односно да ли резултати прорачуна задовољавају тражене критеријуме. За лет пројектила од оруђа до циља уз помоћ кодова и одређених програма који су споменути у теоријском делу урађен је прорачун који нам даје увид у понашање пројектила током лета. Поред аеродинамичких коефицијента, лет пројектила у зависности од врсте путање прорачунат је на више начина. На крају урађен је и прорачун растурања погодака и вероватноће погађања на циљу. Добијени резултати спољнобалистичког прорачуна су у посебном делу упоређени са табличним. У последњем поглављу, на основу података из експерименталних истраживања, прорачунато је парчадно дејство на циљу за пројектил 20 mm ТЗО М57. Најпре је парчад класификована на основу масе и броја, затим израчунавањем формуле Јустрова

(Justrow) добијени резултати упоређени са експерименталним. У последњем делу израђен је дијаграм броја парчади по масеним групама.

2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО

2.1. Опис и намена метка 20 mm ТЗО М57

Метак 20 mm са тренутно-обележавајућим-запаљивим пројектилом М57(20 mm ТЗО М57) део је једне од најчешће употребљиве муниције 20 mm. У Војсци Србије користи се на свим противавионских топова 20/3 mm М55 и 20/1 mm М75, као и бродских топова 20/1 mm М71 и 20/4 mm М75(слика 1). Овај метак спада у муницију калибра 20 x 110 mm који има широки спектар коришћења [1].

Намена овог метка првенствено је била у борби против ваздушних циљева, међутим поред овога данас се користити и на следећим циљевима:

1. Летећи циљеви са ниском висином летења (беспилотне летелице, крстареће ракете..)
2. Циљеви на земљи
3. Коректура ватре и маркирање циљева



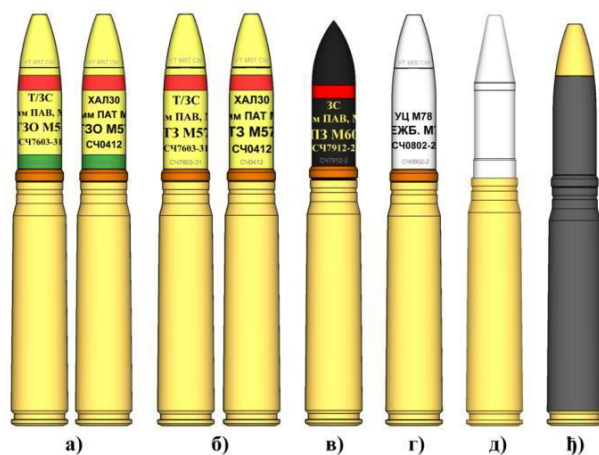
Слика 1. Артиљеријска оруђа калибра 20×110 mm у наоружању ВС [1]: аутоматски (противавионски) топ 20 mm М55 на БВП М80А (горе лево), бродски топ 20/1 mm М71 (горе десно) и бродски топ 20/4 mm М75 (доле).

Основне тактичко – техничке карактеристике:

1. Ефективан домет против циљева у ваздуху до 1500m
2. Ефективан домет против циљева на земљи до 2000m
3. Пуњење пројектила са разорним и запаљивим дејством
4. Упаљач са системом за самоликвидацију
5. Трасери за обележавање путање лета пројектила
6. Флексибилност употребе
7. Широки домен циљева
8. Висока поузданост
9. Ниска цена производње у односу на ефикасност
10. Лакше манипулисање због малих димензија и тежине [2].

У Војсци Србије поред метка 20 mm са тренутно-запаљиво-обележавајућим пројектилом М57 користи се и следећа муниција калибра 20 mm (слика 2.) [1]:

1. Метак 20 mm са тренутно-запаљивим пројектилом М57 (20 mm ТЗ М57);
2. Метак 20 mm са панцирно-запаљивим зрном М60 (20 mm ПЗ М57),
3. Вежбовни метак 20 mm са обележавајућим пројектилом М79 (20 mm ВО М79);
4. Маневарски метак 20 mm М71;
5. Школски метак 20 mm М68

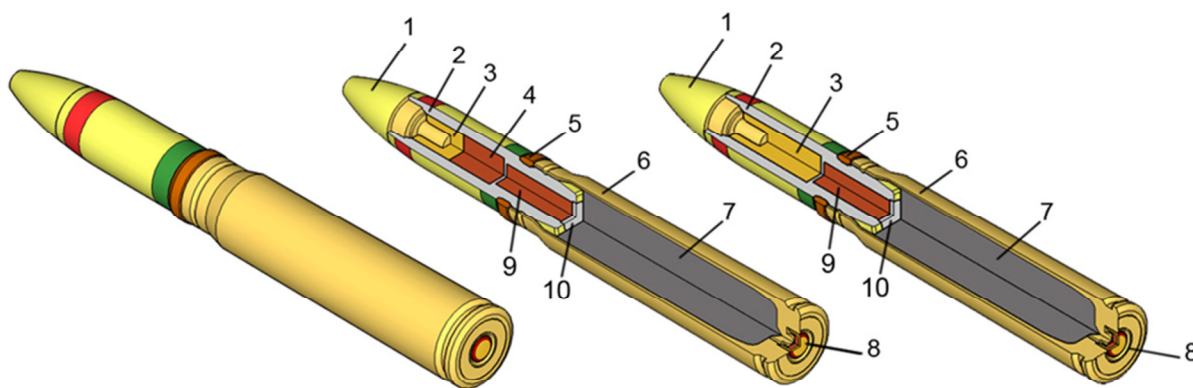


Слика 2. Спољни изглед муниције калибра 20 mm „Хиспано“ у ВС [1]:

а) метци 20 mm са ТЗО пројектилом М57 старије и новије производње; б) метци 20 mm са ТЗ пројектилом М57 старије и новије производње; в) метак 20 mm са ПЗ пројектилом М60; г) вежбовни метак 20 mm М79; д) маневарски метак 20 mm М71; е) школски метак 20 mm М68

2.1.1. Конструкција тренутно-запаљиво-обележавајућег пројектила 20 mm M57

Метак 20 mm са тренутно-запаљиво-обележавајућим пројектилом M57 (слика 3) првенствено намењен је за уништавање циљева у ваздуху а према потреби на земљи и води. Метак се састоји из два дела: пројектил и чаура [1].



Слика 3. Метак 20 mm са тренутно-запаљиво-обележавајућим пројектилом M57 [1]:

1- упаљач УТ M57 CM; 2- кошуљица; 3- експлозивно пуњење; 4- запаљива смеша; 5- водећи прстен; 6- чаура; 7- барутно пуњење; 8- иницијална каписла (КИ); 9- обележавајућа пиротехничка смеша; 10- покривка.

Пројектил се састоји од: кошуљице са трасером, експлозивно – запаљиво пуњење, барутно пуњење. У чаури се налази барутно пуњење и иницијална каписла.

Кошуљица је израђена од челика која има преграду која раздваја експлозивно и запаљиво пуњење од трасера. На врху кошуљице налази се унутрашњи навој намењен за смештај упаљача. На кошуљци са спољне стране налази се место за водећи и центрирајући прстен. Водећи прстен израђен је од бакра. Након пресовања обележавајуће смеше дно кошуљице (трасер) покрива се покривком како би се спречила могућа оштећења [1].

Пуњење пројектила израђено је од пресованог тротила масе око 2,5 грама. Испод пуњења пројектила налази се запаљива смеша масе око 3,5 грама од магнезијума и алуминијума уз додатак баријум нитрата са калуфонијумом као везивом. Пројектили, који су произведени након 1986. године, напуњени су експлозивном смешом од 70% флегматизованог хексогена и 30% алуминијума у праху(ХАл30) [1].

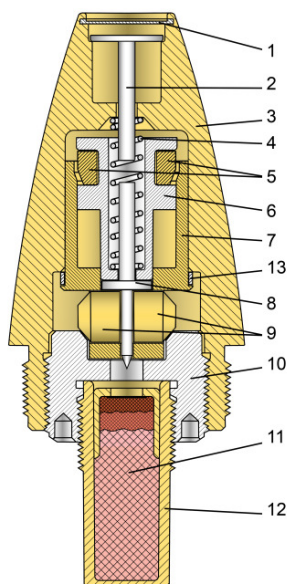
Упаљач је саставни део пројектила и намењен је за његово активирања услед удара у циљ или да изврши самоликвидацију ако не дође до удара у циљ. Пројектил 20 mm ТЗО М57 наоружан је упаљачем који носи ознаку М57 (УТ М57 СМ).

Чаура са барутним пуњењем и капислом. Чаура служи да обједини све елементе метка у једну целину. Израђена је од месинга у облику цилиндра са ободом на данцету ради лакшег извлачења из цеви оруђа након опаљења. Каписла се налази на дну чауре која има задатак да након померања ударне игле оруђа и удара у исту активира припалу од црног барута а затим и цело барутно пуњење. Барутно пуњење израђено је од нитроцелулозног барута масе око 30 грама. Главни задатак барутног пуњења јесте да након опаљења и сагоревања истог створи одређен притисак помоћу барутних гасова како би пројектил почео да се креће и напустио цев [3].

Ударни упаљач М57 (УТ М57 СМ) тренутног дејства увек је састављен са пројектилом и не захтева никакву припрему пре почетка гађања. Поред ударног механизма снадбевен је и механичким самоликвидатором који после истека времена од 4,5 до 8 секунди услед смањења дејства центрифугалне силе доводи до самоликвидације упаљача тиме и пуњења пројектила. Упаљач може се поделити на три целине: тело (3), уређај за ударно активирање (8, 2 и 11) и уређај за самоликвидацију (4, 5, 6 и 8)(Слика 4) [3].

2.1.2. Армирање, активирање и самоликвидација упаљача УТ М57 СМ

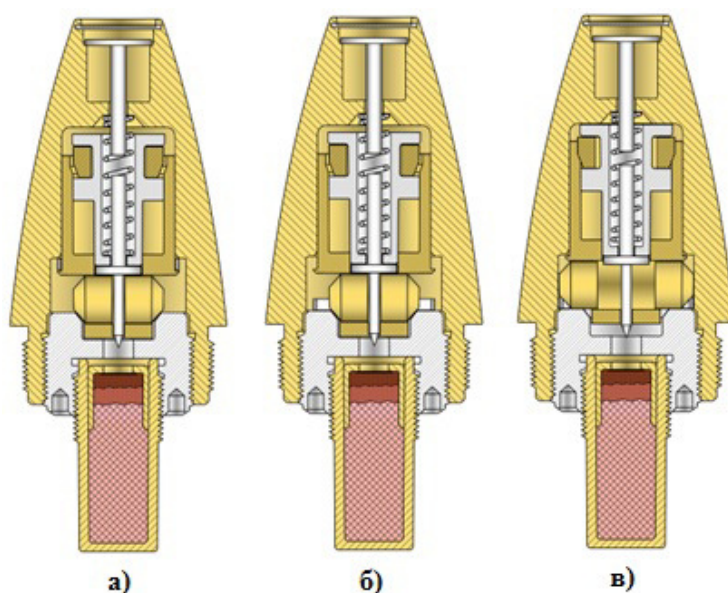
Након опаљења и почетка кретања пројектила кроз цев долази до појаве центрифугалне и инерцијалне силе. Инерцијалне силе спречавају померање центрифугалних ваљчића у току кретања пројектила кроз цев оруђа. Достицањем брзине од 900 обртаја у секунди, под дејством центрифугалне силе долази до размицања осигуравајућих сегмената (5) и ослобађања ударне игле (8). Померањем осигуравајућих сегмената (5) у страну долази до стварања притиска на кућиште (7) уређаја за самоликвидацију чиме се опруга (4) још више сабија. У истом тренутку под дејством центрифугалне силе долази до размицања сегмената (5) уређаја за самоликвидацију и ослањајући се на кућиште (7) држе ударач (2) уређаја за опаљење под дејством сабијене опруге на удар ударном иглом (8) у детонаторску капислу (11). На овај начин је извршено армирање упаљача (слика 4) [3].



Слика 4. Упаљач УТ М57 СМ у осигураном стању делова [1]:

1 – мембрана; 2 – ударач; 3 – тело упаљача; 4 – ударна опруга; 5 – сегменти; 6 – носач сегмената; 7 – вођица; 8 – ударна игла; 9 – центрифугални осигурачи; 10 – носач иницијално-детонаторске каписле; 11 – иницијално-детонаторска каписла (КИД); 12 – кошуљица КИД; 13 – транспортни осигурач.

На слици 5 приказан је детаљнији поступак армирања упаљача услед дејства сила приликом кретања пројектила, које доводе до померања одређених делова упаљача, чиме упаљач прелази из осигураног стања у армирано стање.



Слика 5. Изглед пресека упаљача УТ М57 СМ током армирања [1]:

**а) осигурано стање; б) померање транспортног осигурача;
в) армирано стање.**

Активирање упаљача може се извршити на два начина:

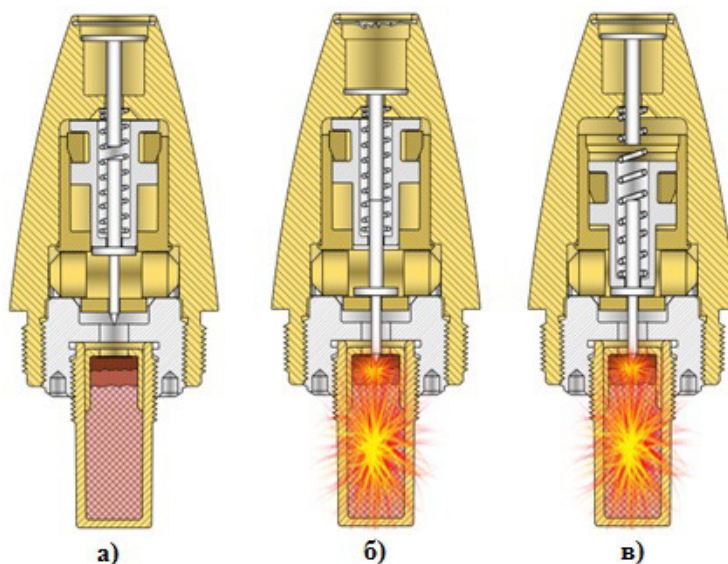
1. Ударом врха упаљача у циљ
2. Услед самоликвидације упаљача (слика 6).

-Активирање упаљача услед удара у циљ

Услед удара пројектила у циљ долази до кидања мембране (1), помера се ударач (2) уређаја за опаљење и потискивањем ударне игле (8), долази до убода њеног врха у детонаторску капислу (11) и активирања пуњења пројектила (слика 4). [3]

-Активирање упаљача помоћу уређаја за самоликвидацију

Уколико на путањи лета пројектила не дође до активирања пуњења на даљини од 2800 m од места лансирања њена обртна брзина на путањи се смањује на око 750 обртаја у секунди. При тој брзини долази до промена односа центрифугалне и инерцијалне силе односно инерцијална сила има већи интензитет од центрифугалне што доводи да ударач (6) самоликвидатора, који је ослобођен од центрифугалних сегмената (5) омогућује да ударна игла (8) под дејством сабијене опруге њеним врхом убодне и пали детонаторску капислу која изазива активирање пуњења пројектила и његову детонацију (слика 4). [3]



Слика 6. Изглед пресека упаљача УТ М57 СМ током активирања [1]:

- а) армирано стање; б) активирање услед удара у циљ;
в) активирање услед самоликвидације.

2.1.3. Паковање муниције и чување

Меткови 20 mm ТЗО М57 пакују се и чувају у дрвеним сандуцима. Сваки метак се налази у картонску футролу. У сандуку се налази 100 метака који су смештени у лимене кутије које се постављају у сандук. Сандуци су обојени сивомаслинастом бојом на којима су утиснуте ознаке ради лакшег распознавања, правилног коришћења и одржавања (слика 7) [3].

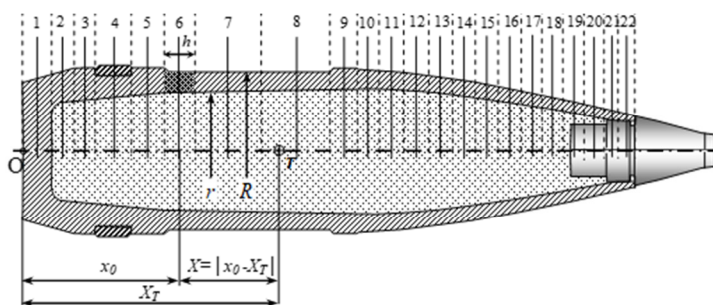


Слика 7. Изглед муниције 20×110 mm у микроамбалажи (лево) и у макроамбалажи (десно) [3]

2.2. Методе прорачуна параметара конструкција и кретања пројектила кроз цев оруђа

2.2.1. Одређивање димензија кошуљице и експлозивног пуњења пројектила

Подела пројектила на сегменте извршена је према слици 8 на основу које се одређују унутрашњи и спољашњи радијуси (r и R). Прорачун је урађен према елементарној табличној методи код које је корак h променљив ($h \neq \text{const.}$). Пресеци се одређују на местима код којих долази до промене геометрије спољашње и унутрашње трасе кошуљице [4].



Слика 8. Подела пројектила на сегменте [3]

2.2.2. Маса пројектила

Маса кошуљице и маса експлозиног пуњења (ЕП) израчунавају се табличном методом. За упаљач користи се задата вредност масе док се маса водећег прстена одређује помоћу израза (1):

$$m_{vp} = \pi \sum \left((R^2 - r^2) H_{vp} \right) \cdot \rho_{vp} \quad (1)$$

Где су:

M_{vp} - маса водећег прстена

R - спољашњи полупречник

r - унутрашњи полупречник

H_{vp} - висина водећег прстена

ρ_{vp} - густина материјала водећег прстена

Укупна маса пројектила израчунава се као збир маса делова пројектила, израз (2)

$$m = m_k + m_e + m_{vp} + m_u \quad (2)$$

Где су :

m - укупна маса пројектила

m_k - маса кошуљице

m_e - маса ЕП

m_{vp} - маса водећег прстена

m_u - маса упаљача

2.2.3. Положај тежишта пројектила

Положај центра масе пројектила израчунава се на основу моментне једначине око тачке О, смештене на оси пројектила. Из услова равнотеже момената тежине пројектила са једне и момената његових делова са друге стране моментна једначина гласи (3):

$$mgX_T = M_k + M_e + M_{vp} + M_u \quad (3)$$

Где су:

mg – тежина пројектила

X_t – положај тежишта пројектила

M_k – маса кошуљице

M_e – маса ЕП

M_{vp} – маса водећег прстена

M_u – маса упаљача

Моменти тежине кошуљице и експлозивног пуњења израчунати су таблично, док за водећи прстен и упаљач важе изрази (4,5):

За водећи прстен:

$$M_{vp} = m_{vp} g x_{Tvp} \quad (4)$$

Где је:

M_{vp} – момент тежине водећег прстена

m_{vp} – маса водећег прстена

g – убрзање земљине теже ($9,81m/s^2$)

X_{Tvp} – положај тежишта водећег прстена

$$M_u = m_u g x_{Tu} \quad (5)$$

Где је:

M_u – момент тежине упаљача

m_u – маса упаљача

g – убрзање земљине теже ($9,81m/s^2$)

X_{Tu} – положај тежишта упаљача

Положај тежишта пројектила X_T се израчунава на основу израза (6):

$$X_t = (M_k + M_e + M_u + M_{vp}) / mg \quad (6)$$

Тежина пројектила(q) израчунава се на основу израза (7):

$$q = m \cdot g \quad (7)$$

Где је:

m – маса пројеткила

g – убрзање земљине теже ($9,81m/s^2$)

2.2.4. Аксијални момент инерције пројектила

Аксијални момент инерције кошуљице (J_{xk}) и аксијални момент инерције ЕП (J_{xe}) израчунавају се табличном методом. Аксијални момент инерције водећег прстена (J_{xvp}) и упаљача(J_{xu}) израчунавају се преко израза (8,9):

За водећи прстен:

$$J_{xvp} = m/2 \cdot (R_{vp}^2 + r_{vp}^2) \quad (8)$$

За упаљач:

$$J_{xu} = m/2 \cdot R_u^2 \quad (9)$$

Акисијали момент инеријције пројектила J_x израчунава се као збир аксијалних момената делова пројектила (кошуљица, ЕП, водећег прстена, и упаљача) помоћу израза (10):

$$J_x = J_{xk} + J_{xe} + J_{xu} + J_{xvp} \quad (10)$$

2.2.5. Екваторијални моменат инерције пројектила

Екватиројални моменти инерције J_y и J_z су једнаки због осне симетрије пројектила. Одређивање екватиројалних момената инерције пројектила за тежишни координатни систем израчунава се на следећи начин.

За кошуљицу пројектила и за ЕП пројектила екваторијални моменти инерције израчунавају се табличном методом. Екваторијални моменти инерције водећег прстена и упаљача израчунавају се преко израза (11, 12,13):

За водећи прстен:

$$J_{vp} = \frac{m_{vp}}{12} [12X_{vp}^2 + H_{vp}^2 + 3(R_{vp}^2 + r_{vp}^2)] \quad (11)$$

Где је:

m_{vp} – маса водећег прстена

X_{vp} – висина водећег прстена

H_{vp} – положај тежишта водећег прстена

R_{vp} – спољашњи полупречник

r_{vp} – унутрашњи полупречник

За упаљач:

$$J_{yu} = \frac{m_u}{12} [12X_u^2 + H_u^2 + 3R_u^2] \quad (12)$$

Где је :

m_u – маса упаљача

X_u – положај тежишта упаљача

H_u – висина упаљача

R_u – полупречник упаљача

$$X_u = X_{Tu} - X_T \quad (13)$$

Где је:

X_u – положај тежишта упаљача

X_{Tu} – дужина пројектила

X_T – положај тежишта пројектила

Главни екваторијални момент инерције пројектила J_y и J_z израчунавају се као збир екваторијалних момента инерције делова пројектила (кошуљица, ЕП, водећи прстен и упаљач) преко израза (14):

$$J_y = J_z = J_{zk} + J_{ye} + J_{yu} + J_{yvp} \quad (14)$$

2.2.6. Сила барутних гасова

Дејство барутних гасова настао сагоревањем барутног погонског пуњења напада равномерно унутрушњу површину цеви уједно и део површине пројектила. Резултат дејства притиска на пројектил јесте сила означена са F_b која је колинеарна са уздужном осом симетрије пројектила, односно цеви оруђа и смером у правцу кретања пројектила [5]. Сила F_b израчунава се помоћу израза (15):

$$F_b = P \left[\frac{d^2 \pi}{4} + \frac{en}{2} (d_0 - d) \right] \quad (15)$$

P – притисак барутних гасова

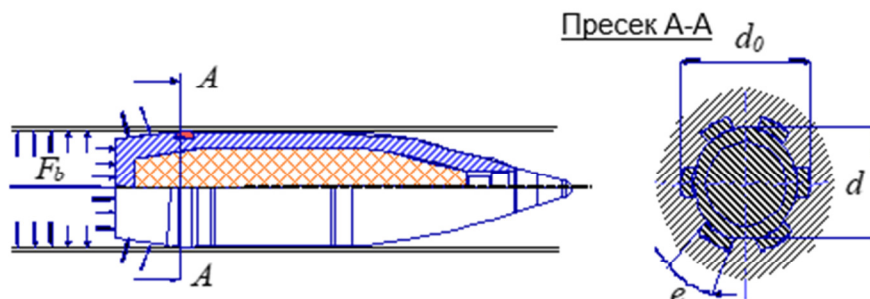
d – минимални унутрашњи пречник цеви

e – ширина жлеба цеви

n – број жлебова

d_0 – максимални унутрашњи пречник цеви

На слици 9 приказано је деловање силе на пројектил настале као последица сагоревања барута.



Слика 9. Дејство силе F_b на пројектил

2.2.7. Сила отпора ваздуха

Утицај отпора ваздуха. Кретање пројектила у цеви оруђа може се упоредити са кретањем клипа у једном цилиндру, при чему се усваја адијабацка промена стања ваздуха испред пројектила. За овакав случај притисак ваздуха испред пројектила израчунава се изразом (16) [5].

$$p = p_0 \left(\frac{k-1}{2a} V + 1 \right)^{\frac{2k}{k-1}} \quad (16)$$

p_0 – атмосферски притисак;

a – брзина звука у ваздуху;

V – брзина пројектила;

k – однос специфичних топлота за ваздух

Сила отпора ваздуха која на пројектила делује у току кретања кроз цев оруђа израчунава се изразом:

$$F_v = p_0 \left(\frac{d^2 \pi}{4} + \frac{en}{2} (d_0 - d) \right) \left(\frac{k-1}{2a} V - 1 \right)^{\frac{2k}{k-1}} \quad (17)$$

2.2.8. Сила урезивања водећег прстена

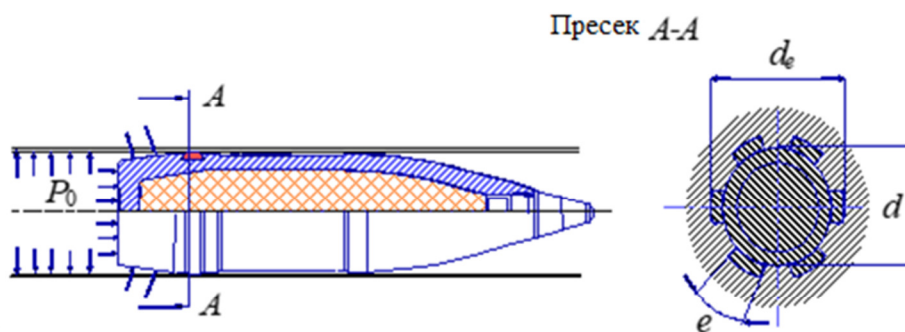
Преко водећег прстена на пројектил делује сила урезивања, односно отпор урезивању, чија аксијална компонента је колинеарна са уздужном осом симетрије пројектила [5]. Сила урезивања водећег прстена израчунава се помоћу израза (18):

$$F_u = P_0 \left[\frac{d^2 \pi}{4} + \frac{en}{2} (d_0 - d) \right] \quad (18)$$

F_u – сила урезивања

p_0 – притисак урезивања (400 bar)

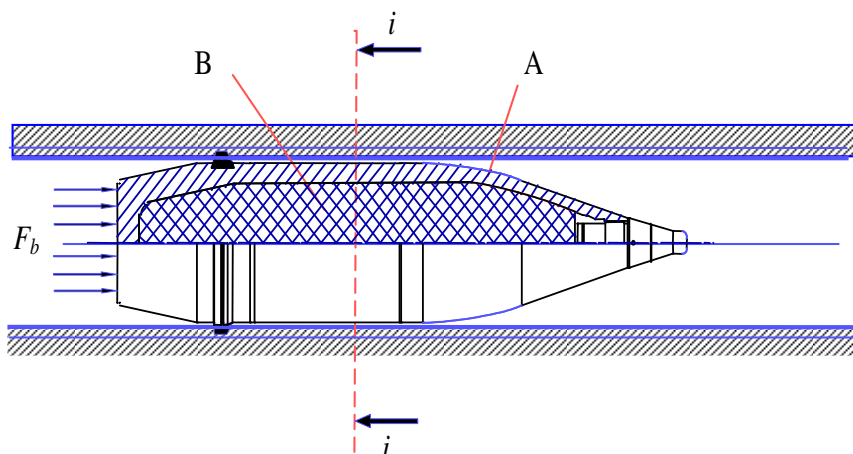
Услед деловања притиска на дно пројектила долази до његовог покретања и урезавања водећег прстена у жлебове приказаног на слици 10.



Слика 10. Урезавања водећег прстена

2.2.9. Напрезање зида кошуљице пројектила

Произвољним пресеком $i-i$ кошуљица пројектила је подељена на два дела: А и В. слика 11 [4].



Слика 11. Приказ напрезања у бочном зиду кошуљице пројектиала [7]

Напрезање зида кошуљице у попречном пресеку $i-i$ може се одредити једначином (19):

$$(\sigma_{i-i})_{\max} = \frac{m_A}{S_{i-i}} \left(\frac{dV}{dt} \right)_{\max} \quad (19)$$

Где је:

m_A – маса дела пројектила испред посматраног пресека $i-i$

S_{i-i} – површина попречног пресека $i-i$ зида

$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\max}$ - максимално убрзање пројеткила у цеви оруђа током кретања

Максимално убрзање пројеткила постиже се у тренутку максималног притиска. Због сигурности пројеткила максимални притисак увећава се за коефицијент колебања притиска κ ($\kappa=1,10 - 1,15$) [4].

Прорачунски притисак могуће је израчунати преко израза (20):

$$p_{pr} = k \cdot p_m \quad (20)$$

Где је:

k – коефицијент колебања

p_m – максимални притисак

Максимално убрзање пројеткила у фази кретања кроз цев оруђа може се израчунати преко израза (21):

$$a_{\max} = \left(\frac{dv}{dt}\right)_{\max} = \frac{1}{m} p_{pr} \left[\frac{d^2 \pi}{4} + \frac{n \cdot e}{2} (d_0 - d) \right] \quad (21)$$

Добијањем вредности максималног убрзања могуће је коришћењем израза (22) израчунати напрезање у одређеном делу пројеткила:

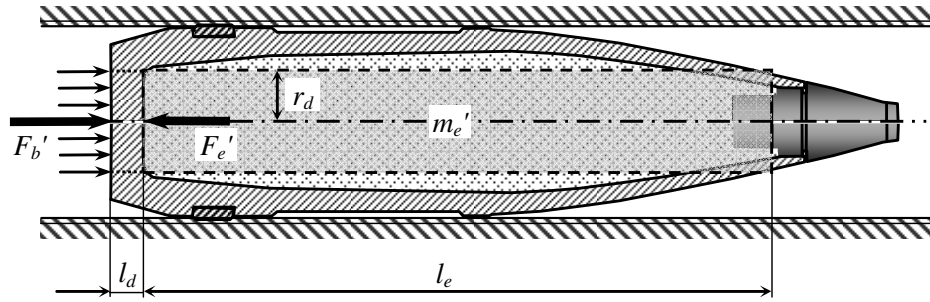
$$(\sigma_{i-i})_{\max} = a_{\max} \frac{m_A}{S_{i-i}} \quad (22)$$

2.2.10. Напрезање дна кошуљице пројеткила

На дно кошуљице пројеткила са слике 12 јасно се може видети да на пројектил делује две силе супротног смера током кретања пројеткила кроз цев оруђа. Силе које делују на пројектил су:

1. Сила барутних гасова F_b
2. Сила инерције експлозивног пуњења F_e

Резултајућа сила оптерећује дно пројеткила на смицање по цилиндричној површини пречника $d_d = 2r_d$ и ширине l_d [4].



Слика 12. Дејство сила на дно разорног пројектила [8]

Коришћењем услова једнакости збира спољашњих сила које дејствују на дно и напрезања на смицање добија се једначина (23) [4]:

$$\pi d_d l_d \tau = F_b' - F_e' \quad (23)$$

Сила барутних гасова F_b и сила инерције ЕП F_e при максималном притиску у цеви оруђа могу се одредити преко израза (24,25) [4]:

$$F_b' = p_{pr} \frac{d_d^2 \pi}{4} \quad (24)$$

$$F_e' = \frac{m_e'}{m} p_{pr} \left[\frac{d_d^2 \pi}{4} + \frac{ne}{2} (d_0 - d) \right] \quad (25)$$

Маса ЕП одређена је једначином (26):

$$m_e' = l_e S_d \rho_e \quad (26)$$

Коришћењем горњих једначина могуће је извести израз (27) који омогућује прорачун напрезања дна пројектила на смицање [4].

$$\tau_{pr} \frac{d_d}{4l_d} p_{pr} \left\{ 1 - \frac{l_e \rho_e}{m} \left[\frac{d_d^2 \pi}{4} + \frac{ne}{2} (d_0 - d) \right] \right\} \quad (27)$$

За познату вредност дозвољеног напрезања материјала кошуљице израђене од гранитног челика оптерећену на силу истезања може се одредити максимално дозвољено напрезање на смицање преко емпиријске формуле [4]:

$$\tau_{doz} < 0,8 \sigma_{doz} = 0,8 \cdot 4000 = 3200 \text{ bar}$$

Услов механичке издржљивости дна кошуљице на смицање исказан је релацијом:

$$\tau_{pr} \leq \tau_{doz}$$

2.2.11. Напрезање експлозивног пуњења пројектила

У току опаљења и почетка кретања пројектила кроз цев оруђа због дејства барутних гасова насталим сагоревањем долази до контакта између дна и ЕП пројектила. Притисак на контактної површини у теренутку највећег притиска барутних гасова могуће је израчунати преко израза 6 [5]:

$$(\sigma_p)_{\max} = \frac{l_e \rho_e}{m} p_{pr} \left[\frac{d^2 \pi}{4} + \frac{ne}{2} (d_0 - d) \right] \quad (28)$$

Решавањем израза добијена вредност упоређује се са критичним напоном и мора да испуни следећи услов:

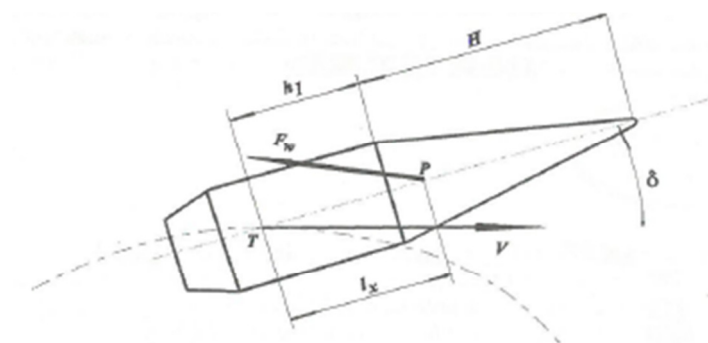
$$(\sigma_p)_{pe} < (\sigma_p)_{kr}$$

Уколико је стварни напон већи од критичног постоји вероватноћа да ће доћи до активирања ЕП у цеви оруђа [5].

2.2.12. Стабилност пројектила и корак увијања жлебова

Под стабилношћу пројектила подразумева се да пројектил задржи своје почетне карактеристике и да савлада поремећаје који се јављају приликом кретања кроз цев оруђа или у фази лета пројектила. Резултанта поремећаја преставља сила F_w (слика 13) која делује на пројектил и која није колинеарна са уздужном осом пројектила ни са вектором брзине. Сила F_w повећава нападни угао и тежи да заокрене пројектил у фази лета. Како би се ови поремећаји одстранили јавља се потреба за стабилизацијом пројектила што се може постићи на два начина:

1. Стабилизацијом пројектила помоћу стабилишућих елемената
2. Коришћењем жирокопског момента који се остварује обртањем око своје осе



Слика 13. Обртање пројектила око тежишта [6]

Почетни услов за стабилност пројектила представља најмања ротација око осе пројектила. Потреба да се пројектил ротира око своје осе у току кретања кроз ижлебљену цев оруђа како би могао да неутралише поремећаје који ће се јавити (жироскопски стабилисати) доводи се у везу са кораком увијања жлебова. Корак увијања жлебова представља дужину пута коју пројектил пређе у цев оруђа и изврши један обрт око своје осе.

Изразом (29) се може одредити потребан корак увијања жлебова:

$$\eta = a \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\mu \cdot c_m}{l_x \frac{J_y}{J_x} K_M(v_0)}} \quad (29)$$

Где је:

a – фактор стабилности

c_m – коефицијент масе пројектила

J_x – аксијални момент инерције пројектила

J_y – екваторијални момент инерције пројектила

K_M – Вентцелова функција

μ – фактор распореда масе пројектила дуж осе симетрије.

Да би се израчунао потребан корак увијања жлебова потребно је израчунати параметре који се појављују у претходном изразу (c_m , l_x и μ).

Коефицијент масе пројектила c_m једнак је (30):

$$c_m = \frac{m}{d^3} \quad (30)$$

Где је:

m – маса пројектила

d – калибар пројектила

Положај нападне тачке, односно центра притиска израчунава се на основу израза (31):

$$l_x = \frac{h_1}{d} + 0,57 \frac{H}{d} - 0,16 \quad (31)$$

Где је:

h_1 – положај тежишта пројектила

d – калибар пројектила

H – дужина оживала

Фактор који карактерише распоред масе израчунава се на основу израза (32):

$$\mu = \frac{4J_x}{md^2} \quad (32)$$

Где је:

J_x – аксијални момент инерције пројектила

m – маса пројектила

d – калибар пројектила

Стварни корак увијања жлебова одређен је углом увијања жлебова у цеви оруђа, уколико није познат податак у карактеристикама за дато оруђе и једнак је (33):

$$\eta' = \frac{\pi}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (33)$$

φ – Угао увијања жлебова

Услов стабилности биће испуњен ако следећи услов буде испуњен:

$$\eta' \leq \eta$$

Да би се могло одредити стварни корак увијања жлебова поред горе наведених израза поребни су и следећи подаци за одређен пројектил:

1. Калибар пројектила: d
2. Маса пројектила: m
3. Угао увијања: φ
4. Аксијални момент инерције пројектила: J_x
5. Екваторијални момент инерције пројектила: J_y
6. Почетна брзина пројектила: V_o
7. Положај тежишта пројектила: h_l
8. Дужина оживала: H

2.3. Методе прорачуна параметра кретања пројектила током лета од оруђа до циља

2.3.1. Аеродинамички коефицијенти при несиметричном опструјавању пројектила

Кретање сваког осносиметричног пројектила у простору састоји се од translације центра масе и ротације око сопственог центра масе. За лет ових пројектила везује се и чињеница да на њих делују услови малих поремећаја при чему нападни углови не прелазе неколико степени што омогућује примену линеарне аеродинамике при прорачуну. Пројектил је обично сложене геометрије што се манифестује на познавање конфигурације његових делова како би прорачун био могућ [6].

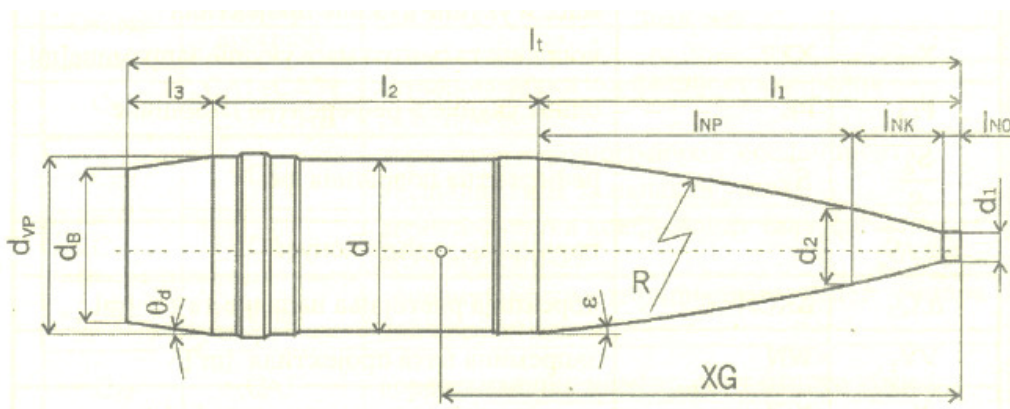
- Концепција програмског решења

Програмско решење OTPOR1 намењено је за решавање аеродинамичких прорачуна приликом осносиметричног или несиметричног опструјавања. Програм је направљен у програмском језику FORTRAN. Састоји се од три целине:

1. Програм OTPOR1 – главни програм
2. Датотека TELO – улазни подаци
3. Датотека KOEFIC1, KOEFIC2, KOEFIC3, KOEFIC4 – излазни подаци

Програм ОТПОР1 је направљен тако да за сваки аеродинамички коефицијент прорачун изводи по целинама. Корак прорачуна се дефинише на основу Маховог броја. Датотека ТЕЛО садржи полазне податке које се учитавају за време трајања прорачуна. Након завршетка прорачуна формирају се излазне датотеке (КОЕФИC1, КОЕФИC2, КОЕФИC3, КОЕФИC4) у коме се налазе резултати прорачуна [6].

На слици 14 приказан је начин означавања димензија пројектила који се јављају у улазној датотеци.



Слика 14. Димензије пројектила дате у програмском решењу [6]

2.3.2. Аеродинамички коефицијенти при симетричном опструјавању пројектила

Симетрично опструјавање пројектила наступа при нападном углу $\sigma=0^\circ$. Метода АЕРОДР је полуемпиријска. Овом методом основни систем једначина решава се одговарајућим математичким поступком и у свом коначном облику даје међусобни однос компонената аксијалног аеродинамичког коефицијената за осносиметрично опструјавање [6].

Укупни аеродинамички коефицијент отпора аксијалне силе по методи АЕРОДР износи (34):

$$C_x = C_{x1} + C_{xsF} + C_{xvp} + C_{x3} + C_{xD} \quad (34)$$

Где је :

C_{x1} – коефицијент таласног отпора врха пројектила,

C_{xsF} – коефицијент отпора трења,

C_{xvp} – коефицијент отпора водећег прстена,

C_{xz} – коефицијент таласног отпора задњег конуса и

C_{xD} – коефицијент отпора дна пројектила.

-Концепција програмског решења

Програмско решење AERODR методе за аеродинамички прорачун направљен је у програмским језику FORTRAN на рачунару [6].

Састоји се од три датотеке:

1. Програм AERODR – главни програм
2. Датотека ULAZ10 – улазна подаци
3. Датотека IZLAZ10 – резултати прорачуна

Програм AERODR организован је тако да се прорачун изводи по целинама аеродинамичког коефицијената аксијалног отпора. На почетку прорачуна одређеном наредбом учитавају се улазни подаци који се налазе у датотеци ULAZ10. Затим се врши прорачун аеродинамичких коефицијената отпора за различите вредности Маховог броја. Након прорачуна резултати истих смештени су у датотеци IZLAZ10 одређеном наредбом. У датотеци IZLAZ10 смештени су табеларни резултати за укупни аеродинамички коефицијент аксијалне силе и њених компоненти у функцији Маховог броја [6].

2.3.3. Путања пројектила у ваздушном простору

Кретање пројектила у ваздушном простору одвија се под утицајем Земљине теже и силе отпора ваздуха. Ојелер је поставио класични балистички модел путање дефинисан следећим претпоставкама [6]:

1. Пројектил се разматра као материјална тачка;
2. Координатни почетак везан је за Земљу која је равна и непокретна;
3. На пројектил делује тежина G и сила отпора ваздуха D , чији се правац поклапа са тангентом на путању;
4. Пројектил се креће у статичкој и термодинамичкој стабилној атмосфери;
5. Пројектил излази из уста цеви почетном брзином V_0 и под полазним углом Θ_0 , а координатни почетак је на устима цеви. [6]

- Концепција програмског решења

Програмско решење „SB2.FOR“ за рачунар, направљено је у програмском језику FORTRAN који се састоји од три целине:

1. Датотека SBU2.DAT., SBK.DAT– улазни подаци
2. Програм SB2.DAT– главни програм
3. Датотека SB2I.DAT– резултати прорачуна.

У главном програму SB2.FOR налази се потпрограм DJ за систем диференцијалних једначина и потпрограм RUNKUT за решавање система диференцијалних једначина применом методе Рунге – Кута [6].

Датотека SBU2.DAT садржи полазне податке за прорачун. Датотека SBK2.DAT садржи полазне податке за вредност Маховог броја M и аксијалног аеродинамичког коефицијента C_x .

2.3.4. Путања пројектила са три степена слободе кретања

Класификација путање извршена је према сложености диференцијалних једначина кретања и према типу пројектила. Систем диференцијалних једначина кретања који се користе у спољнобалистичким прорачунима описују кретање пројектила као материјалне тачке са три степена слободе кретања, пројектила као крутог тела са шест степени слободе кретања и као модификоване материјалне тачке [6].

- Систем диференцијалних једначина за прорачун лета пројектила са три степена слободе кретања

Интеграциона метода служи за прорачун путање пројектила у условима када помисамо: утицај ветра, Кориолисовог убрзања због ротације Земље, реактивне силе и убрзања Земљине теже. Када се пројектил креће у атмосфери са ветром, брзину струјања ваздуха неће одређивати само брзина кретања пројектила већ и ветар. Мерења показју да су могућа и таква стања атмосфере кад ветар има један правац при земљи, а на висини од неколико километра сасвим обрнут [6].

Векторска диференцијална једначина апсолутног кретања тежишта пројектила износи (35):

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{P} + \vec{X} + \vec{G} + \vec{F}_c \quad (35)$$

- Концепција програмског решења

Програмско решење OJL3SSK.FOR за рачунар направљено је програмском језику и састоји се од три целине:

1. Датотека OJL3SSK.DAT – улазни подаци
2. Програм OJL3SSK.FOR – главни програм
3. Датотека OJL3SSR.DAT – резултати прорачуна.

Програм OJL3SSK.DAT састоји се из четири потпрограма. Применом методе Рунге – Кута систем диференцијалних једначина интегрише се на основу почетних вредности и одређују се нове које одговарају новој вредности независне променљиве. Независна променљива је у овом систему диференцијалних једначина време t а почетни услови за $t=0$ су V_0, θ_0, x_0 и y_0 . Величина која дефинише путању за дате почетне услове је балистички коефицијент C . Карактеристичне тачке на путањи: теме и падна тачка се одређују методом интерполације за задате вредности толеранције [6].

2.3.5. Балистички коефицијент

Представља вредност која нам указује како се пројектил креће кроз ваздух. Са порастом балистичког коефицијента расте и отпор ваздуха.

Вредност балистичког коефицијента може се израчунати преко израза (36):

$$C = (i \cdot d^2) / m \cdot 10^3 \quad (36)$$

C – балистички коефицијент

i – однос коефицијента аксијалне силе и еталона аеродинамичких коефицијената

d – калибар пројектила

m – маса пројектила

2.3.6. Угаона брзина

Угаона брзина је физичка величина која описује брзину ротације крутог тела. Правац угаоне брзине поклапа се са правцем осе око које се тело ротира. Смер је одређен правилом десног завртња [7].

Угаона брзина може се израчунати преко израза (37):

$$p_0 = \frac{2V_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_n}{d} \quad (37)$$

Где је:

V_0 – почетна брзина

φ – корак увијања жлебова

d – калибар пројектила

2.3.7. Путања пројектила са шест степени слободе кретања

Модел кретања пројектила са шест степени слободе чине четири векторске једначине (38-41):

- Извод вектора положаја пројектила

$$\frac{d_r \vec{r}}{dt} = \vec{V}_k \quad (38)$$

- Векторска једначина релативног кретања центра маса

$$m \frac{d_r \vec{V}_k}{dt} = \sum \vec{R} \quad (39)$$

- Кретање око центра масе

$$\frac{d \vec{H}_g}{dt} = \vec{M} \quad (40)$$

- Везе између угаоних брзина и извода углова

$$\vec{\Omega} = \vec{\Omega}_E + \vec{\lambda} + \vec{\varphi} + \vec{\psi} + \vec{\theta} + \vec{\Phi} \quad (41)$$

- Концепција програмског решења

Програмско решење SB06.FOR за рачунар направљено је програмском језику FORTRAN и састоји се од четири дела:

1. Датотека SB06.DAT – улазни подаци
2. Програм SBO6.FOR – главни програм
3. Датотека SB061.DAT – излазни подаци
4. Датотека SB062.DAT – излазни подаци

Програм SB06.FOR намењен је за детаљан спољнобалистички прорачун и симулацију лета ротирајућег пројектила са реактивном силом и без ње. Једна од опција јесте и програм рачуна параметре стабилности лета пројектила. Интеграција диференцијалних једначина врши се методом Рунге – Кута са четири приближења. Тачност добијених резултата зависи од: корака интеграције, тачности и броја деривата аеродинамичких коефицијената, брзине ветра и реактивне силе [6].

2.3.8. Растурање погодака и вероватноћа погађања

Растурање погодака представља неотклоњиву појаву насталу током гађања. Вероватноћа погађања представља бројну меру објективне могућности да се у одређеним условима гађања циљ погоди.

Вероватноћа погађања зависи од:

1. Положаја средњег погодака у односу на средину циља
2. Димензије циља
3. Величине елипсе растурања
4. Правца гађања

За свако гађање немогуће је мењати правац гађања и димензије циља али је могуће утицати на вероватноћу погађања довођењем средњег погодака у средину циља и избором оног пуњења које на конкретној даљини има мању слику растурања.

Програмско решење TVERP користи се за прорачун основних елемената, поправки, растурања и вероватноће погађања. Програмским решењем се основни систем једначина са три степена слободе кретања решава одговарајућим математичким системом и у свом коначном облику даје међусобна зависност елемената путање, поправки, растурања и вероватноће погађања [6].

- Концепција програмског решења

Програмско решење TVERP садржи потпрограм који служи за прорачун путање пројектила са три степена слободе кретања, поправки, растурања и вероватноће погађања. Програмско решење направљено је програмском језику FORTRAN и састоји се од три датотеке:

1. Програм TVERP.FOR– главни програм
2. Датотека VERP.DAT– улазни подаци
3. Датотеке VERP.IZL VERPDK.IZL– излазни подаци

Приликом прорачуна програм за решавање елемената путање врши инграцијом диференцијалних једначина методом Рунге – Кута. Програм израчунава елементе путање, диференцијалне коефицијенте, растурање и вероватноћу погађања при гађању на вертикалну мету или домет.

2.4. Методе прорачуна и експерименталних истраживања парчадног дејства на циљу

2.4.1. Парчадно дејство

У зависности од конструкције пројектила зависе следећи фактори парчадног дејства:

1. Број, појединачна тежина и облик парчади
2. Изглед и правац снопа парчади
3. Ефикасност парчади

- Број, појединачна маса и облик парчади

Након активирања ЕП пројектила долази до разарања кошуљице исте и стварања парчади који зависе од калибра пројектила као и од конструкционих параметара k_e , k_p , k и σ . Изменом параметара k_e , k и σ могуће је утврдити оптималне вредности како би се добио највећи број парчади за одређену врсту експлозива и масу пројектила унутар граница. Појединачна маса пројектила зависи од коефицијента пуњења k_e односно релативне масе експлозивног пуњења. Уколико су k_e и k већи за дати пројектил као резултат могуће је очекивати ситнију парчад мање појединачне масе. Како би се

утврдила моћ дејства парчади на циљу уведена је минимална маса парчади односно минимална убитачна енергија. Потреба за минималном кинетичком енергијом доводи до појма минималне масе ефикасности парчади. Теоријски гледано највећа ефикасност може се постићи ако се кошуљица пројектила разори на два дела или на мањи број парчади веће појединачне масе како би имали највећу ефикасност и највећу кинетичку енергију парчади али са знато мањим бројем парчади вероватноћа погађања циља знатно се смањује. У пракси разарањем кошуљице пројектила добијају се парчади различите масе при чему се 80% од укупног броја парчади сматра ефикасним [5].

Захтевом за минимални убитачни дomet парчади који зависе од калибра пројектила, намене, врсте упаљача...Чињеницом да је немогуће постићи разарање кошуљице и добити парчаде исте масе усвојена је граница појединачних маса парчади за одређене пројектиле:

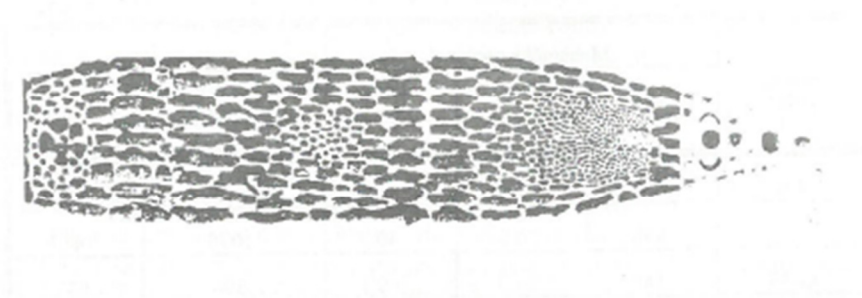
1. За неротирајуће пројектиле бацачких оруђа калибра до $60mm$ - 0,5 до 15g.
2. За неротирајуће пројектиле бацачких оруђа калибра од 60 до $120mm$ - 1,0 до 50g.
3. За ротирајуће артиљеријске пројектиле - 1,5 до 100g.

Разарањем кошуљице добијају се парчади неправилног геометријског облика и оштрих ивица. Узевши у обзир оштре ивице парчади, ефикасност на циљу се повећава, међутим због неправилног облика парчади током лета нагло се смањује брзина парчади због лошијих спољнобалистичких карактеристика. На облик парчади може се утицати применом одређене методе израде кошуљице пројектила [5]. Број и појединачна маса парчади зависе и од:

1. Хемијских и механичких карактеристика материјала кошуљице пројектила
2. Врсте експлозива и начина иницирања

Кошуљице се најчешће израђују методом ливења или ковања. Одабиром методе за израду кошуљице може се знатно утицати на облик и број парчади. Током израде кошуљица разорних пројектила након основне израде користи се и термичка обрада метала. Правилним избором технолошког поступка и методе израде добија се оптималан број парчади. Да би се добио највећи број економичних парчади за дати пројектил поред израде потребна су додатна експериментална истраживања ради утврђивања методе израде и термичке обраде [5].

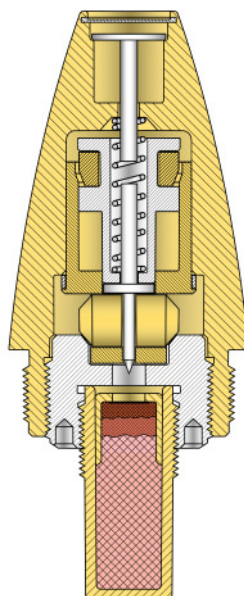
На слици 15. приказана су парчад разорног пројектила након детонације и слагања.



Слика 15. Парчад кошуљице разорног пројектила [5]

На парчад утиче и брзина детонације која је директно сразмерна детонацији експлозива. Правилним одабиром ЕП пројектила и начина иницирања могуће је повећати број парчади. У току иницирања ЕП мора се одабрати само један детонатор који омогућује да за дати пројектил обезбеди довољан почетни импулс ради постизања пуне брзине детонације. Детонатор се најчешће израђује од истог експлозива као и ЕП али са мањом густином, одређивање величине детонатора врши се искључиво експерименталним путем [5].

На слици 16 приказан је пресек упаљача М57 (УТ М57 СМ) на коме се може видети начин постављања детонатора и спајање детонатора са упаљачем.



Слика 16. Упаљач М57 (УТ М57 СМ) [1]

Почетком истраживања проблематике парчади довело је до покушаја стварања методе прорачуна броја парчади у које се распрскава кошуљица пројектила . Узевши у обзир све факторе који утичу на број парчади може се рећи да није могуће проналажења методе која би довела до резултата и сматрала се прихватљивом. Поред овога постоји емпиријска формула Јустрова (Justrow) која обухвата основне факторе који утичу на карактер разарања кошуљице и број парчади (42) [5]:

$$N = K \frac{m_e}{d} \frac{R_{eH}}{R_m A_{gt}} \frac{\xi + 0,5}{\xi - 1,0} \quad (42)$$

K -коэффициент који зависи од врсте примењеног експлозива (на пример, $K=46$ за тротил и $K=30$ за аматол);

m_e - маса експлозивног пуњења (g);

d - калибар пројектила (cm);

R_{eH} - горњи напон течења материјала кошуљице;

R_m - затезна чврстоћа материјала кошуљице;

A_{gt} - релативно издужење у процентима при R_m ;

ξ -коэффициент који зависи од конструкционих параметара пројектила (на пример, за $k=m_e/m=0,07; 0,10; \text{ и } 0,15$ биће $\xi=1,8; 1,5; \text{ и } 1,4$).

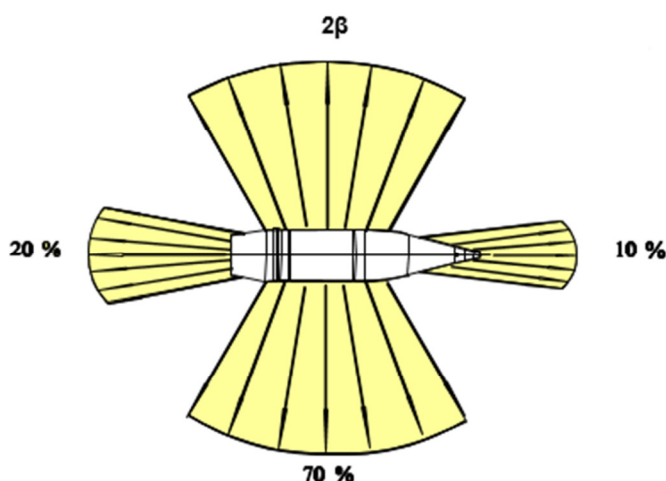
Треба споменути да експериментална истраживања и резултати у већини случајева дају одступања од Јустрове (Justrow) формуле.

2.4.2. Изглед и правац снопа парчади

Као што је споменато у горњем тексту након детонације и разарања кошуљице добијају се парчади неправилног облика и димензија са оштрим ивицама. Испитивања су показала да приликом разарања кошуљице уобичајног унутрашњег облика добијају се парчади који се могу поделити у три снопа (слика 17) [5]:

1. Сноп од предњег оживалног дела
2. Бочни сноп од цилиндричног дела
3. Сноп од задњег дела дна кошуљице

Бављењем проблематике ефекта на циљу истраживања су показала да приликом активирања пројектила услед удара у циљ и разарања кошуљице пројектила сноп предњег дела и дна кошуљице немају ефекта из разлога што предњи део остаје у земљи док дно пројектила приликом разарања одлази на своју путању која не могу засигурно погодити циљ. Узевши у обзир да ове проблеме на које се не може утицати данашња истраживања ефекта на циљу и парчадима базирала су се на бочни део пројектила који има највећи број парчади током разарања кошуљице уједно и највећу вероватноћу погађања циља.



Слика 17. Правци разлетања парчади [4]

2.4.3. Ефикасност парчадног дејства разорних пројектила

Постматрајући изглед и сноп парчади настали разарањем кошуљице доводи се у питања стварна ефикасност пројектила. Под ефикасношћу пројектила подразумева се број погођених циљева при детонацији пројектила најмање са једним парчетом пројектила. Опште је познато да се ефикасност не може прорачунати, самим тим јавља се потреба за експериментална истраживања која могу показати и омогућити увид у стварну ефикасност пројектила. Експериментална истраживања базирана су на две методе [5]:

1. Испитивање у обору или арени
2. Испитивање симулацијом циљева

- Испитивање у обору или арени

Испитивање у арени или обору (слика 18) заснива се на постављању сувих чамових дасака одређених димезија по обиму круга на унапред одређеним растојањима.

Пројектил се поставља вертикално односно дно пројектила је усмерено ка тлу. Након активирања пројектила посматра се број погођених дасака (циљева) чиме се утврђује ефикасност пројектила.



Слика 18. Изглед обора или арене [8]

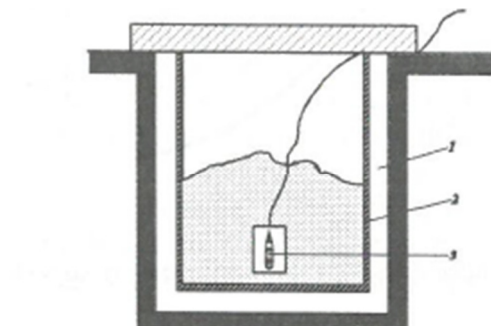
- Испитивање симулацијом циљева

У овом случају пројектил се на висини од једног метра поставља са врхом на горе односно дно пројектила усмерено је ка тлу подлоге. Око пројектила на сваких 100 m^2 поставља се по један циљ од сувих чамових дасака димензија $0.5 \times 2 \text{ m}$ или одговарајућих мета, који симулирају стојећи живи циљ. Након детонације утврђује се број погођених циљева најмање једним парчетом.

2.4.4. Одређивање броја, појединачне масе и облика парчади

Како би се одредили број, маса и облик парчади користи се експериментална метода разарање пројектила у песку или другим речима испитивање у јами (слика 19). Релаизација ове методе испитивања врши се на следећи начин. У рупу одређених димензија у зависности од величине (калибра) пројектила поставља се пројектил са врхом на горе, како би дошло до детонације пројектил се спаја са елементима за активирање истог. Око пројектила поставља се песак с тим да не сме бити до пројектила већ удаљен на одређеном растојању. Јама или рупа се затим затрпава песком и активира, у неким ситуацијама како би се околина заштитила постављају се и балвани на врху рупе. Након активирања врши се ископ песка, док се парчад одвајају и класификују по групама. Парчад се готово увек класификују по маси. Пример класификације парчади, добијених фрагментацијом кошуљице разорних пројектила

муниције средњег и великог калибра приказан је у табели 1. Код правилног извршеног испитивања укупна маса парчади пројектила не сме да прелази 5% од масе пројеткила пре разарања(кошуљица, водећи прстен и упаљач) уколико имамо већа одступања испитивање се понавља и сматра се да није правилно извршен [5].



Слика 19. Разарање пројектила у песку [5]

1- цилиндрична бетонска јама; 2- метална облога; 3- пројектил

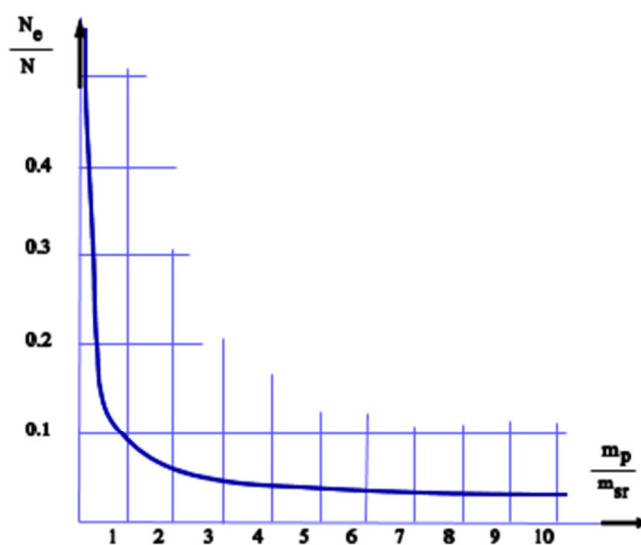
Табела 1. Класификација броја и масе парчади

Број и маса парчади

1,5 до 5g		5 до 10g		10 до 20g		20 до 30g		30 до 50g		50 до 100g		Преко 100g	
N_i	M_i	N_i	M_i	N_i	M_i	N_i	M_i	N_i	M_i	N_i	M_i	N_i	M_i

N_i, M_i – број и маса парчади у i – тој масеној групи

Подаци добијени испитивањем у јамама могу се искористити за утврђивање криве $N_e/N = f(m_p/m_{sr})$ слика 20 у сваком конкретном случају.



Слика 20. Крива $N_e/N = f(m_p/m_{sr})$ [4]

2.4.5. Стварна ефикасност парчадног дејства

Стварна ефикасност пројектила представља дејство парчадима разорног пројектила у реалним условима примене. Узевши у обзир широк спектар утицаја на ефикасност разорног пројектила доводи до не могућности опредељења за један модел који би могао да одреди стварну ефикасност. Истраживања су показала да у реалним условима примене стварна ефикасност највише зависи од падног угла и дубине продирања пројектила у тло пре експлозије у случају када је пројектил наоружан ударним упаљачем. У случају када пројектил наоружан другом врстом упаљача (темперни, близински) стварна ефикасност зависи од других фактора: висене активирања, положаја циља... [5]

Теоријски разматрано за постизање идеалне ефикасности падни угао пројектила износи ће 90° а активирање пројектила десиће се у тренутку, приликом удара врха упаљача у тло али без продирања у исто. У пракси постизање овакве ефикасности готово је немогуће међутим имајући у обзир ову препостваку доводи до тога да се данас овом проблематиком бави одређен број научника која кроз истраживања доводе до резултата на основу којих може се у неким случајевима повећати ефикасност у реалним условима.

У пракси могуће је повећати ефикасност разорних пројектила уколико се користи горња група углова односно већих од 45° и коришћењем барутног пуњења које ће дати највећи падни угао. У случају коришћења ударних упаљача тежи се да приликом контакта са тлом дође до што бржег активирања пројектила како би се постигла већа ефикасност на циљу и избегла појава продирања у тло, у стварним условима теже је постигнути овај циљ јер постији време које треба да прође од контакта упаљача са тлом до активирања пуњења пројектила. Поред времена јавља се и проблем са врстом земљишта, уколико су земљишта мекша односно мочварна или растресита доћи до већег продирања пројектила у тло у односу на земљишта чвршће структуре.

Повећање ефикасности на циљу могуће је и у одређеним конструкцијама додавањем куглица или префрагментацијом кошуљица пројектила.

У неким конструкцијама како би се повећао ефекат на циљу додају се најчешће куглице унутар кошуљице у зависности од конструкције и намене пројектила, пример овога случаја може се видети на слици 21 на коме је приказана ручна бомба М75 (црна кашикара) домаће производње. Кошуљица ордеђених пројектила може

префрагментисати и са спољне стране у зависности од могућности конструкције пројектила и његове намене. На слици 22 приказана је противпешадијска мина ПМР-2А на којој се може уочити пример префрагментације кошуљице са спољне стране.



Слика 21. Ручна бомба М75 (црна кашикара) [9]



Слика 22. Противпешадијска мина ПМР-2А [9]

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

3.1. Одређивање димензија пројектила 20 mm ТЗО М57

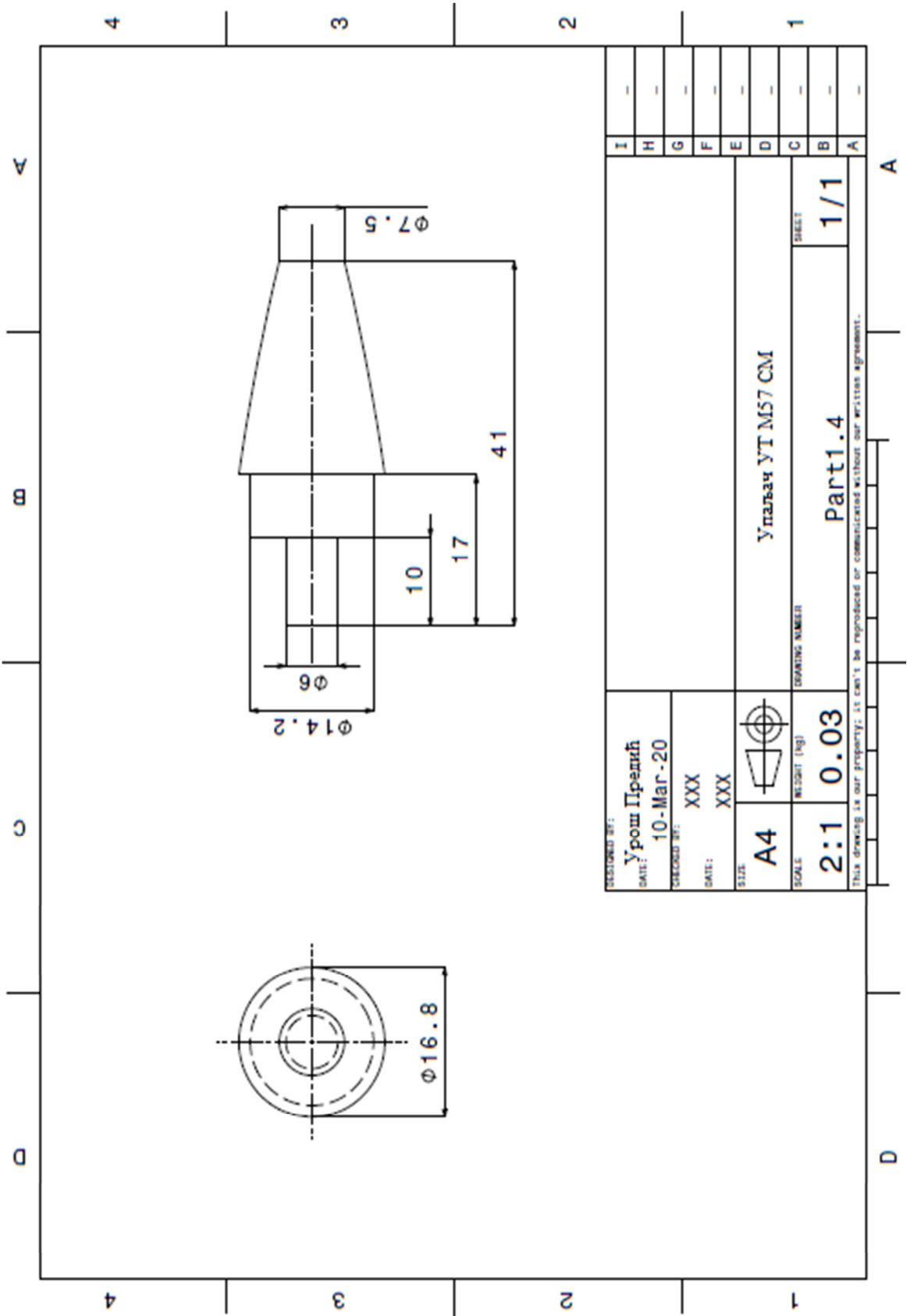
Димензије пројектила 20 mm ТЗО М57 измерене су коришћењем помичног кљунастог мерила са пресека пројектила. Након преузимања димензија делова пројектила 20 mm ТЗО М57 моделиран је у програму CATIA V5. Најпре су моделирани делови пројектила: кошуљица, ЕП, водећи прстен... Коришћењем свих делова модела пројектила 20 mm ТЗО М57 у потпрограму CATIA V5 Assembly design спојени су помоћу посебних опција, као резултат спајања свих делова добија се моделиран пројектил слика 23. Програм CATIA V5 такође даје могућност одређивања основних динамичних вредности које се могу видети у табели 2. које ће се касније користити у спољнобалистичком прорачуну. Коришћењем и потпрограма CATIA Drafting израђени су технички цртежи свих делова модела пројектила 20 mm ТЗО М57 као и склопни цртеж. Технички цртежи делова модела пројектила поред спољнобалистичког прорачуна користи ће се и у прорачуна напрезања током кретања пројектила кроз цев оруђа. Сви технички цртежи приказани су на сликама 24-30.

На слици 23 приказан је моделиран пројектила 20 mm ТЗО М57 у изометрији, у програму CATIA V5.



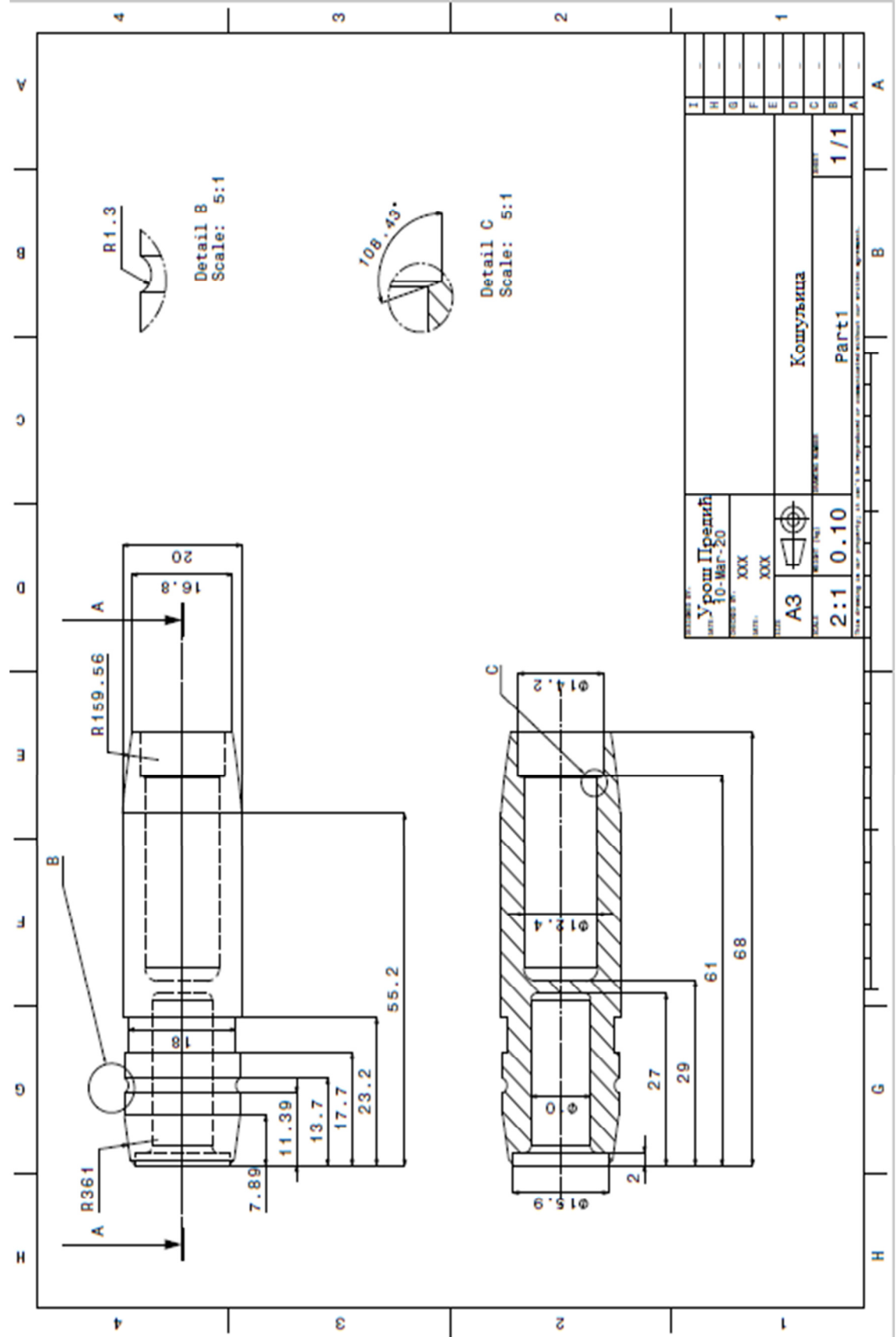
Слика 23. Пројектил 20 mm ТЗО М57

На слици 24 приказан је технички цртеж упаљача УТ М57 СМ.



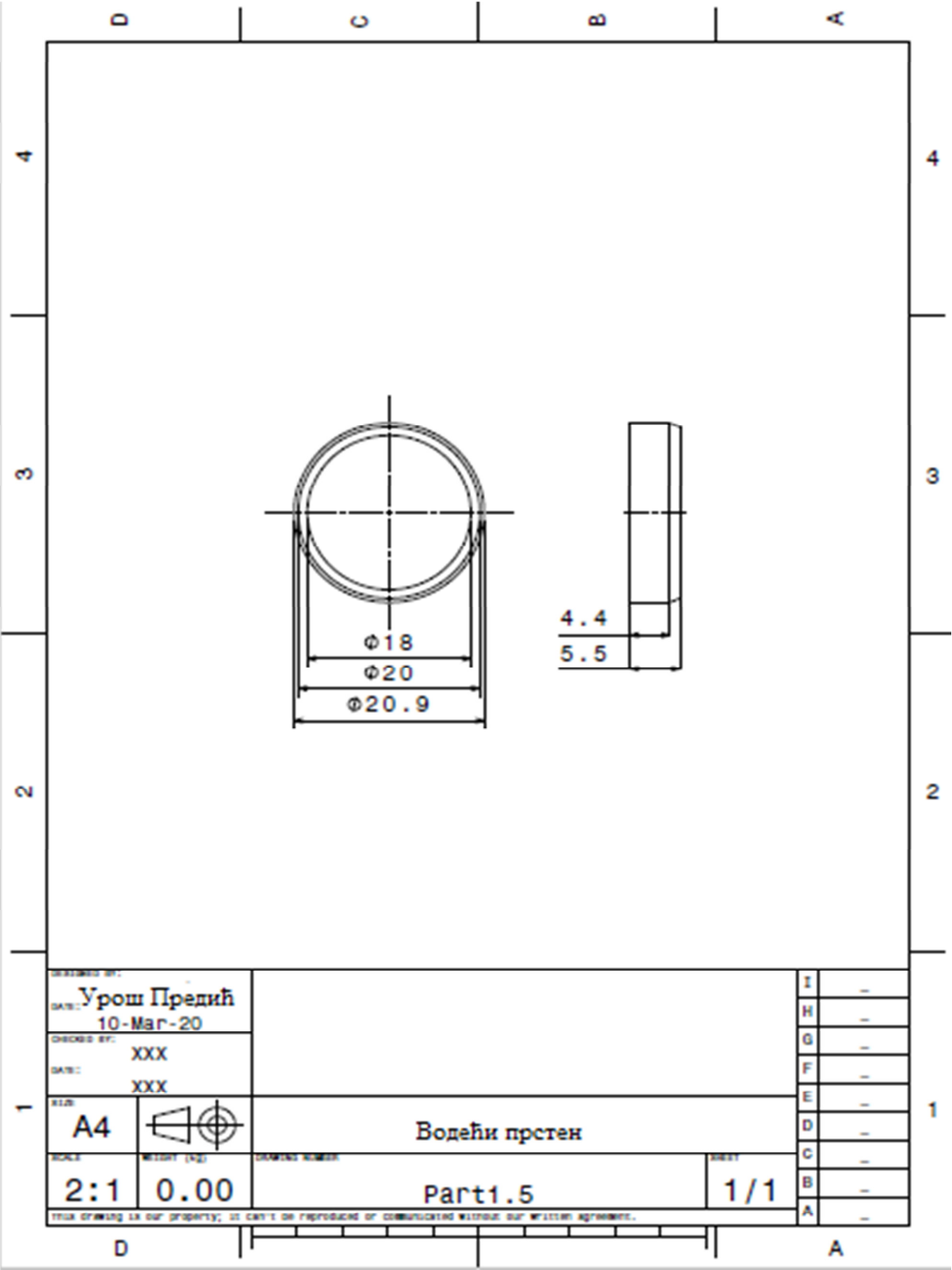
Слика 24. Упаљач УТ М57 СМ

На слици 25 приказан је технички цтеж кошуљице пројектила 20 mm ТЗО М57.



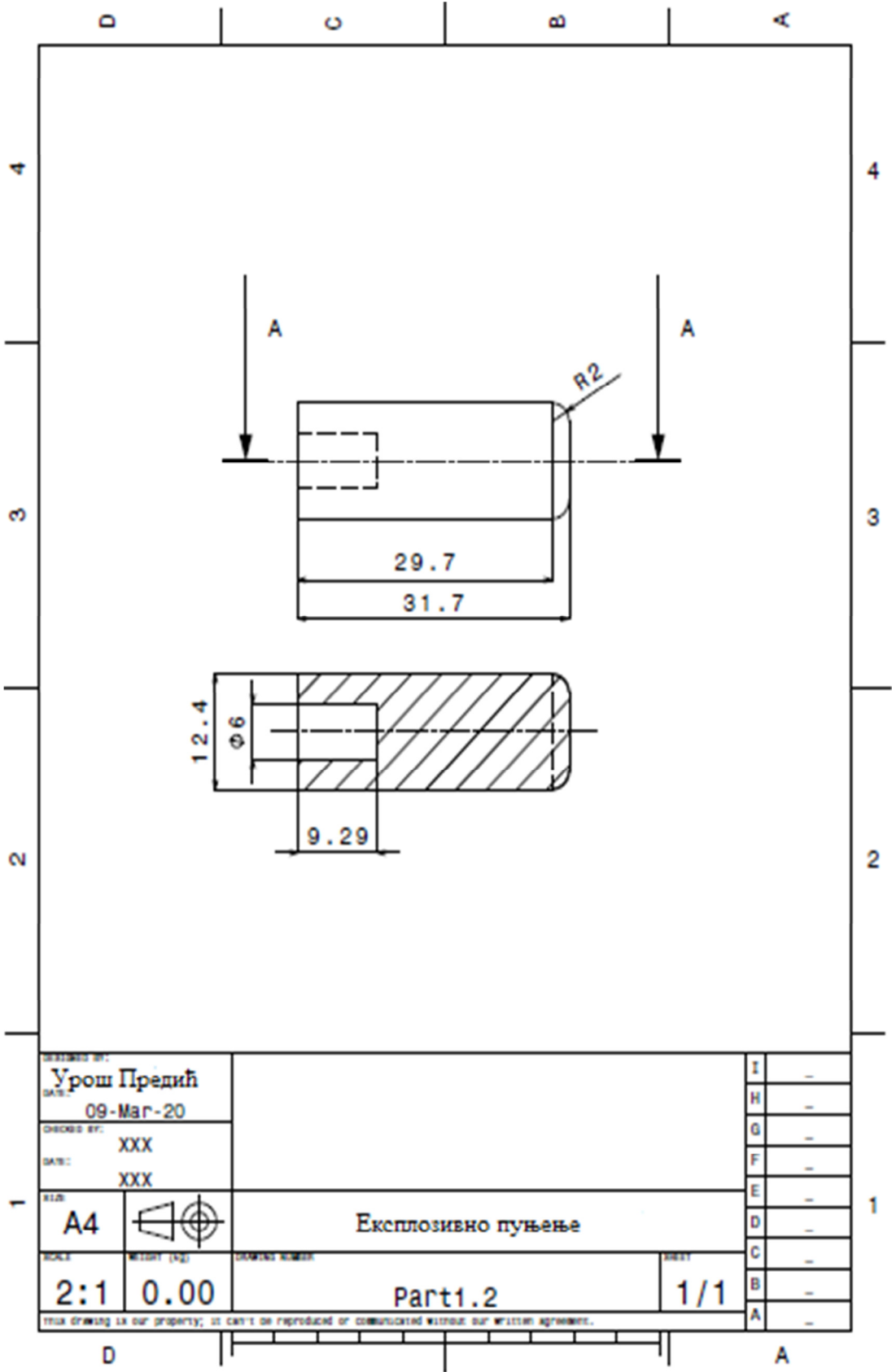
Слика 25. Кошуљица

На слици 26 приказан је технички цртеж водећег прстена пројектила 20 mm ТЗО М57.



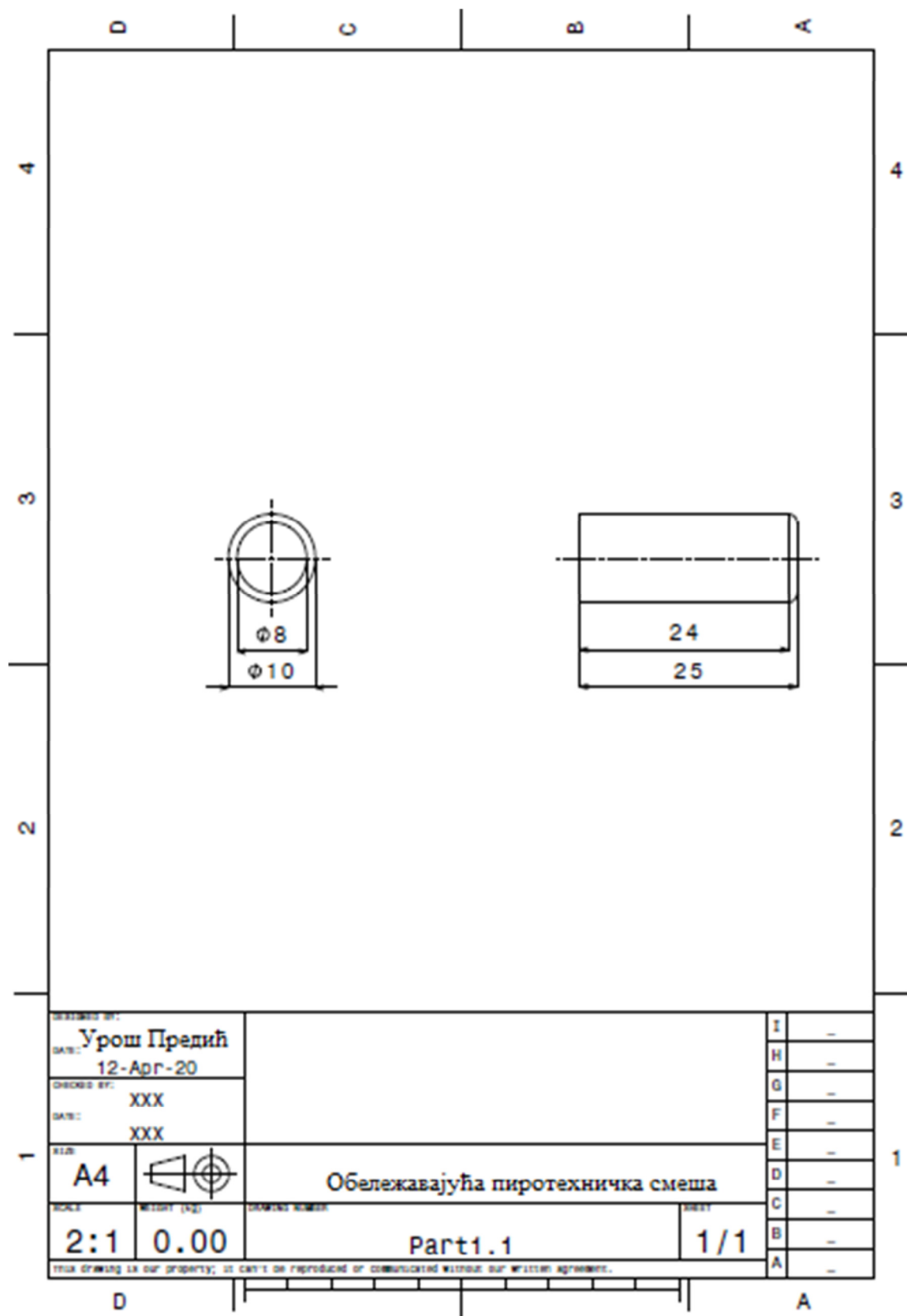
Слика 26. Водећи прстен

На слици 27 приказан је технички цртеж експлозивног пуњења пројектила 20 mm ТЗО М57.



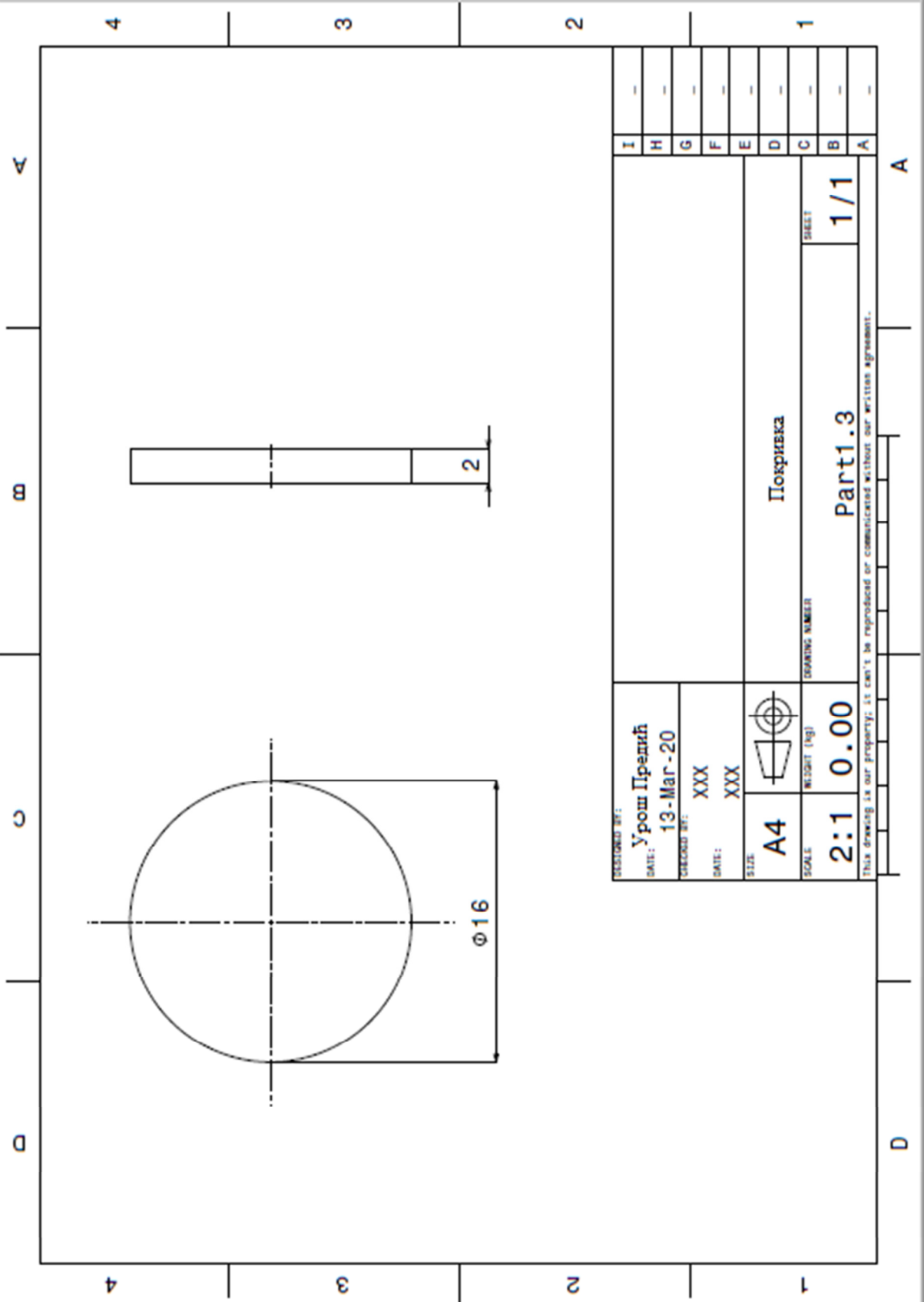
Слика 27. Експлозивно пуњење

На слици 28 приказан је технички цртеж обележавајуће пиротехничке смеше пројектила 20 mm ТЗО М57.



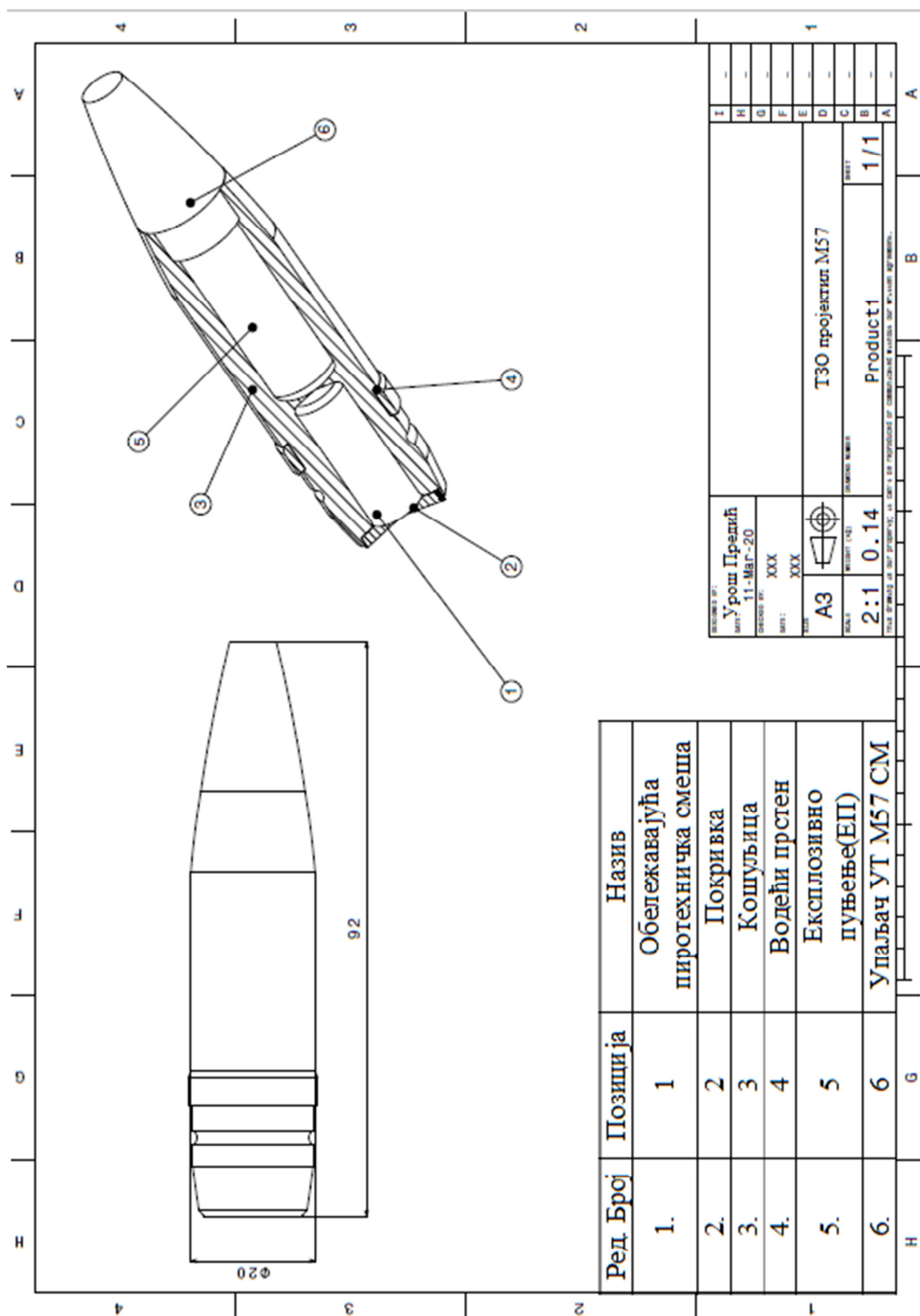
Слика 28. Обележавајућа пиротехничка смеша

На слици 29 приказан је технички цртеж покривке пројектила 20 mm ТЗО М57.



Слика 29. Покривка

На слици 30 Приказан је склопни цртеж пројектила 20 mm ТЗО М57.



Слика 30. пројектил 20 mm ТЗО М57

У табели 2 налазе се основне динамичке вредности пројектила које ће се користити у даљим прорачунима.

Табела 2. Динамичке вредности пројектила 20 mm ТЗО М57

Ред. број	Карактеристика	Ознака	Вредност	Јединица мере
1.	Референтни пречник – калибар	d	20	mm
2.	Маса пројектила	m	142	g
3.	Положај центра масе од врха	x_{cm}	52,26	mm
4.	Уздужни момент инерције	I_{xx}	$7,6965e^{-006}$	kgm^2
5.	Попречни момент инерције	I_{yy}	$7,9458e^{-005}$	kgm^2

3.2.Прорачун и анализа резултата прорачуна параметара кретања пројектила 20 mm ТЗО М57 кроз цев оруђа

Циљ прорачуна напрезања јесте да се уз коришћењем одређених израза као и метода добију оговарајуће вредности како би се могло на основу истих закључити да ли у овом случају пројектил 20 mm ТЗО М57 задовољава критеријуме које налажу захтеви за безбедну употребу. Због сложености прорачуна и обима он је урађен у програму MS Office Excel.

Да би прорачун био започет потребни су следећи неопходни подаци:

1. Склопни цртеж пројектила и технички цртежи његових делова
2. Материјал кошуљице: челик
3. Густина материјала кошуљице: $\rho=7,8g/cm^3$
4. Материјал и густина ВП: бакар
5. Маса упаљача

3.2.1. Прорачун димензија кошуљице и експлозивног пуњења пројектила 20 mm ТЗО М57

Коришћењем елементарне табличне методе као и што је наведено у уводном делу пројектил 20 mm ТЗО М57 подељен је на 22 сегмента. Поделом на сегменте извршено је читавање вредности унутрашњег и спољашњег радијуса кошуљице као и корак. Очитане вредности приказане су у табели 3.

Табела 3. Приказ вредности радијуса и корака за сваки сегмент

Елеменат	Спољашњи радијус $R [cm]$	Унутрашњи радијус $r [cm]$	$R^2 [cm^2]$	$r^2 [cm^2]$	$R^2 - r^2 [cm^2]$	Корак $h [cm]$
1	0,8716	0,795	0,76	0,63	0,13	0,2
2	0,9296	0,5	0,86	0,25	0,61	0,5893
3	0,97	0,5	0,94	0,25	0,69	0,9807
4	1,045	0,5	1,09	0,25	0,84	0,53
5	1	0,5	1,00	0,25	0,75	0,4
6	1	0	1,00	0,00	1,00	0,2
7	1	0,62	1,00	0,38	0,62	0,873
8	1	0,62	1,00	0,38	0,62	0,873
9	1	0,62	1,00	0,38	0,62	0,873
10	0,9958	0,62	0,99	0,38	0,61	0,0985
11	0,9869	0,62	0,97	0,38	0,59	0,0985
12	0,9774	0,62	0,96	0,38	0,57	0,0985
13	0,9672	0,62	0,94	0,38	0,55	0,0985
14	0,9565	0,62	0,91	0,38	0,53	0,0985
15	0,9451	0,62	0,89	0,38	0,51	0,0985
16	0,9331	0,71	0,87	0,50	0,37	0,0985
17	0,9205	0,71	0,85	0,50	0,34	0,0985
18	0,9073	0,71	0,82	0,50	0,32	0,0985
19	0,8934	0,71	0,80	0,50	0,29	0,0985
20	0,8789	0,71	0,77	0,50	0,27	0,0985
21	0,8638	0,71	0,75	0,50	0,24	0,0985
22	0,848	0,71	0,72	0,50	0,22	0,0985

3.2.2. Прорачун масе пројектила 20 mm ТЗО М57

Маса кошуљице пројектила израчуната је табличном методом чија је вредност:

$$m_k = 0,1018kg$$

Маса ЕП, израчуната је табличном методом чија је вредност:

$$m_e = 0,0046 kg$$

Маса упаљача је задата:

$$M_u = 0,026 kg$$

Из израза (1) маса водећег прстена има следећу вредност:

$$m_{vp} = (3,14 \cdot (1,045^2 - 0,9^2) \cdot 0,53 \cdot 8,9) / 1000$$

$$m_{vp} = 0,0042 kg$$

Решавањем израза (2) укупна маса пројектила износи:

$$m = 0,1018 + 0,0046 + 0,0042 + 0,026$$

$$m = 0,1366 kg$$

3.2.3. Прорачун положаја тежишта пројектила 20 mm ТЗО М57

Момент тежине кошуљице пројектила израчунат је табличном методом чија је вредност:

$$M_k = 0,3190 daNcm$$

Момент ЕП пројектила израчунат је табличном методом чија је вредност:

$$M_e = 0,0290 daNcm$$

Решавањем израза (4) момент тежине водећег прстена има вредност.

$$M_{vp} = 9,81 \cdot 0,0042 \cdot 2,04 / 10$$

$$M_{vp} = 0,0083 daNcm$$

Решавањем израза (5) момент тежине упаљача има вредност:

$$M_u = 9,81 \cdot 13,66 \cdot 0,026 / 10$$

$$M_u = 0,3484 daNcm$$

Након решавања момента делова пројектила коришћењем израза (6) могуће је одредити положај тежишта пројектил:

$$X_t = (0,3190 + 0,0209 + 0,0083 + 0,3484)$$

$$X_t = 5,1965 \text{ cm}$$

3.2.4. Прорачун аксијалног момента инерције пројектила 20 mm ТЗО М57

Коришћењем табличне методе прорачунати су аксијални моменти инерције кошуљице и ЕП пројектила, за водећи прстен и упаљач коришћени су одговарајући изрази.

Аксијални момент инерције кошуљице има следећу вредност:

$$J_{xk} = 6,5621 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Аксијални момент инерције ЕП има следећу вредност:

$$J_{xe} = 8,01299 \cdot 10^{-8} \text{ kgm}^2$$

Решавањем израза (8) аксијални момент инерције водећег прстена износи:

$$J_{xvp} = 0,0042 / 2 \cdot (1,045^2 + 0,9^2) / 1000$$

$$J_{xvp} = 3,9745 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2$$

Решавањем израза (9) аксијални момент инерције упаљача износи:

$$J_{xi} = 0,026 / 2 \cdot 0,0071^2$$

$$J_{xi} = 6,5533 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2$$

Из израза (10) укупан аксијални момент инерције пројектила износи:

$$J_x = 6,5621 \cdot 10^{-6} + 8,1299 \cdot 10^{-8} + 3,9745 \cdot 10^{-7} + 6,5533 \cdot 10^{-7}$$

$$J_x = 7,6969 \cdot 10^{-6}$$

3.2.5. Прорачун екваторијалних момента инерције пројектила 20 mm ТЗО М57

Прорачун екваторијалних момената за кошуљицу (табела 4) и ЕП (табела 5) пројектила 20 mm ТЗО М57 извршен је коришћењем наведене табличне методе, за

водећи прстен коришћени су изрази који су наведени у уводном делу. Резултати прорачуна су следећи:

Екваторијални моменат за кошуљицу:

$$J_{xk} = 7,6463 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

Екваторијални моменат за ЕП:

$$J_{xe} = 5,0066 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2$$

Из израза (11) екваторијални момент инерције за водећи прстен има вредност:

$$J_{vp} = 0,0042 / 12 \cdot (119,94 + 0,53^2 + 3 \cdot (1,045^2 - 0,9^2)) / 10000$$

$$J_{vp} = 4,2166 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

Из израза (12) екваторијални момент инерције за упаљач има вредност:

$$J_{yu} = 0,026 / 12 \cdot (12 \cdot 8,4635^2 + 4,1^2 + 3 \cdot 0,71^2) / 10000$$

$$J_{yu} = 1,9020 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

Из израза (13) положај тежишта упаљача има вредност:

$$X_u = 13,66 - 5,1965$$

$$X_u = 8,4635 \text{ cm}$$

Након прорачуна екваторијалних момената инерције делова пројектила коришћењем израза (14) добија се главни екваторијални момент који има вредност:

$$J_y = J_z = 7,6463 \cdot 10^{-5} + 5,0066 \cdot 10^{-7} + 4,2166 \cdot 10^{-5} + 1,9020 \cdot 10^{-4}$$

$$J_y = J_z = 2,7138 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

Табела 4. Прорачун масе, центра масе и главних момената инерције кошуљице ТЗО пројектила 20mm М57 табличном методом

Елемент	R	r	R ²	r ²	R ² -r ²	h	Запремина V _{k,i}	Маса сегмената i	Укупна маса,	x ₀	Момент инерције сегмената
i	cm	cm	cm ²	cm ²	cm ²	cm	cm ³	kg	kg	cm	daNcm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,872	0,795	0,760	0,632	0,128	0,2	8,02E-02	6,26E-04	0,001	0,100	6,14E-05
2	0,930	0,500	0,864	0,250	0,614	0,589	1,14E+00	8,87E-03	0,009	0,495	4,30E-03
3	0,970	0,500	0,941	0,250	0,691	0,981	2,13E+00	1,66E-02	0,026	1,280	2,08E-02
4	1,045	0,500	1,092	0,250	0,842	0,53	1,40E+00	1,09E-02	0,037	2,035	2,18E-02
5	1,000	0,500	1,000	0,250	0,750	0,4	9,42E-01	7,35E-03	0,044	2,500	1,80E-02
6	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,2	6,28E-01	4,90E-03	0,049	2,800	1,35E-02
7	1,000	0,620	1,000	0,384	0,616	0,873	1,69E+00	1,32E-02	0,062	3,337	4,31E-02
8	1,000	0,620	1,000	0,384	0,616	0,873	1,69E+00	1,32E-02	0,076	4,210	5,44E-02
9	1,000	0,620	1,000	0,384	0,616	0,873	1,69E+00	1,32E-02	0,089	5,083	6,57E-02
10	0,996	0,620	0,992	0,384	0,607	0,099	1,88E-01	1,47E-03	0,090	5,568	8,01E-03
11	0,987	0,620	0,974	0,384	0,590	0,099	1,82E-01	1,42E-03	0,092	5,667	7,91E-03
12	0,977	0,620	0,955	0,384	0,571	0,099	1,77E-01	1,38E-03	0,093	5,765	7,79E-03
13	0,967	0,620	0,935	0,384	0,551	0,099	1,71E-01	1,33E-03	0,094	5,864	7,65E-03
14	0,957	0,620	0,915	0,384	0,530	0,099	1,64E-01	1,28E-03	0,096	5,962	7,49E-03
15	0,945	0,620	0,893	0,384	0,509	0,099	1,57E-01	1,23E-03	0,097	6,061	7,30E-03
16	0,933	0,710	0,871	0,504	0,367	0,099	1,13E-01	8,85E-04	0,098	6,159	5,35E-03
17	0,921	0,710	0,847	0,504	0,343	0,099	1,06E-01	8,28E-04	0,099	6,258	5,09E-03
18	0,907	0,710	0,823	0,504	0,319	0,099	9,87E-02	7,70E-04	0,099	6,356	4,80E-03
19	0,893	0,710	0,798	0,504	0,294	0,099	9,10E-02	7,10E-04	0,100	6,455	4,49E-03
20	0,879	0,710	0,772	0,504	0,268	0,099	8,30E-02	6,48E-04	0,101	6,553	4,16E-03
21	0,864	0,710	0,746	0,504	0,242	0,099	7,49E-02	5,84E-04	0,101	6,652	3,81E-03
22	0,848	0,710	0,719	0,504	0,215	0,099	6,65E-02	5,19E-04	0,102	6,750	3,44E-03
						6,799		1,02E-01			3,19E-01

Наставак таблице

$Y = R^2 + r^2$	$m/2 = p \cdot V/2$	$J_{sk} = Y \cdot m/2$	X_i	$X_{k,i} = x_0 \cdot X_i$	X^2	$12X^2$	h^2	$3Y$	Z	$m/12$	$J_y = J_z$
cm^2	kg	$kgcm^2$	cm	cm	cm^2	mm^2	mm^2	mm^2	mm^2	kg	$kgmm^2$
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1,392	3,13E-04	4,35E-04	5,197	5,097	25,975	311,698	4,00E-02	4,175	315,913	5,21E-05	1,65E-02
1,114	4,43E-03	4,94E-03	5,197	4,702	22,108	265,294	3,47E-01	3,342	268,984	7,39E-04	1,99E-01
1,191	8,30E-03	9,89E-03	5,197	3,917	15,342	184,105	9,62E-01	3,573	188,640	1,38E-03	2,61E-01
1,342	5,47E-03	7,34E-03	5,197	3,162	9,995	119,945	2,81E-01	4,026	124,252	9,11E-04	1,13E-01
1,250	3,68E-03	4,59E-03	5,197	2,697	7,271	87,257	1,60E-01	3,750	91,167	6,13E-04	5,58E-02
1,000	2,45E-03	2,45E-03	5,197	2,397	5,743	68,921	4,00E-02	3,000	71,961	4,08E-04	2,94E-02
1,384	6,58E-03	9,12E-03	5,197	1,860	3,460	41,517	7,62E-01	4,153	46,433	1,10E-03	5,10E-02
1,384	6,58E-03	9,12E-03	5,197	0,987	0,974	11,691	7,62E-01	4,153	16,607	1,10E-03	1,82E-02
1,384	6,58E-03	9,12E-03	5,197	0,114	0,013	0,156	7,62E-01	4,153	5,071	1,10E-03	5,57E-03
1,376	7,33E-04	1,01E-03	5,197	0,372	0,138	1,658	9,70E-03	4,128	5,796	1,22E-04	7,08E-04
1,358	7,12E-04	9,67E-04	5,197	0,470	0,221	2,653	9,70E-03	4,075	6,738	1,19E-04	7,99E-04
1,340	6,89E-04	9,23E-04	5,197	0,569	0,323	3,881	9,70E-03	4,019	7,910	1,15E-04	9,08E-04
1,320	6,65E-04	8,78E-04	5,197	0,667	0,445	5,342	9,70E-03	3,960	9,311	1,11E-04	1,03E-03
1,299	6,40E-04	8,32E-04	5,197	0,766	0,586	7,036	9,70E-03	3,898	10,943	1,07E-04	1,17E-03
1,278	6,14E-04	7,85E-04	5,197	0,864	0,747	8,962	9,70E-03	3,833	12,805	1,02E-04	1,31E-03
1,375	4,42E-04	6,08E-04	5,197	0,963	0,927	11,122	9,70E-03	4,124	15,256	7,37E-05	1,12E-03
1,351	4,14E-04	5,60E-04	5,197	1,061	1,126	13,514	9,70E-03	4,054	17,578	6,90E-05	1,21E-03
1,327	3,85E-04	5,11E-04	5,197	1,160	1,345	16,139	9,70E-03	3,982	20,130	6,42E-05	1,29E-03
1,302	3,55E-04	4,62E-04	5,197	1,258	1,583	18,997	9,70E-03	3,907	22,913	5,91E-05	1,36E-03
1,277	3,24E-04	4,13E-04	5,197	1,357	1,841	22,088	9,70E-03	3,830	25,927	5,40E-05	1,40E-03
1,250	2,92E-04	3,65E-04	5,197	1,455	2,118	25,411	9,70E-03	3,751	29,172	4,87E-05	1,42E-03
1,223	2,59E-04	3,17E-04	5,197	1,554	2,414	28,968	9,70E-03	3,670	32,647	4,32E-05	1,41E-03
		6,56E-02									7,65E-01

**Табела 5. Прорачун масе, центра масе и главних момената инерције ЕП ТЗО
пројектила 20mm М57 табличном методом**

Елемент	R	r	R ²	r ²	h	Запремина сегмената, V _{e,i}	Маса сегмената, m _{e,i}	Укупна маса, m _e	x _i	Момент инерције сегмената, M _{e,i} = m _{e,i} ·g·x _i	Y = R ² + r ²
i	cm	cm	cm ²	cm ²	cm	cm ³	kg	kg	cm	daNcm	cm ²
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13
7	0,00	0,6200	0,00	0,384	1,1000	1,328	0,002	2,02E-03	3,58	0,01	0,38
8	0,00	0,6200	0,00	0,384	1,1000	1,328	0,002	4,04E-03	4,95	0,01	0,38
9	0,00	0,3551	0,00	0,126	0,1617	0,064	0,000	4,14E-03	5,58	0,00	0,13
10	0,00	0,3551	0,00	0,126	0,1617	0,064	0,000	4,23E-03	5,74	0,00	0,13
11	0,00	0,3551	0,00	0,126	0,1617	0,064	0,000	4,33E-03	5,90	0,00	0,13
12	0,00	0,3551	0,00	0,126	0,1617	0,064	0,000	4,43E-03	6,07	0,00	0,13
13	0,00	0,3551	0,00	0,126	0,1617	0,064	0,000	4,53E-03	6,23	0,00	0,13
14	0,00	0,3551	0,00	0,126	0,1617	0,064	0,000	4,62E-03	6,39	0,00	0,13
					3,1702		0,005			0,02	

m/2=p·V/2	J _x =Y·m/2	X = x _i - X _T	X ²	12X ²	h ²	3Y	Z	m _{e,i} /12	J _y =J _z =Z·m _{e,i} /12	X _T
kg	kgcm ²	cm	cm ²	cm ²	cm ²	cm ²	cm ²	kg	kgcm ²	cm
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0,00	0,00	1,62	2,61	31,36	1,21	1,15	33,72	0,00	0,01	5,20
0,00	0,00	0,25	0,06	0,73	1,21	1,15	3,09	0,00	0,00	5,20
0,00	0,00	0,38	0,15	1,77	0,03	0,38	2,18	0,00	0,00	5,20
0,00	0,00	0,55	0,30	3,58	0,03	0,38	3,98	0,00	0,00	5,20
0,00	0,00	0,71	0,50	6,01	0,03	0,38	6,41	0,00	0,00	5,20
0,00	0,00	0,87	0,76	9,07	0,03	0,38	9,47	0,00	0,00	5,20
0,00	0,00	1,03	1,06	12,76	0,03	0,38	13,16	0,00	0,00	5,20
0,00	0,00	1,19	1,42	17,07	0,03	0,38	17,48	0,00	0,00	5,20
	0,00								0,01	

3.2.6. Прорачун силе барутних гасова

Решавањем израза (15) добија се вредност силе барутних гасова износи:

$$F_b = 3040 \cdot \left((20^2 \cdot 3,14) / 4 + (3,5 \cdot 12) / 2 \cdot (20,9 - 20) \right)$$

$$F_b = 10125 \text{ daN}$$

3.2.7. Прорачун силе отпора ваздуха

Решавањем израза (16) добија се вредност силе притиска ваздуха испред пројектила која има вредност:

$$p = 400 \cdot \left((1,4 - 1 \cdot 192) / (2 \cdot 344) + 1 \right)^{(2 \cdot 1,4 / (1,4 - 1))}$$

$$p = 839 \text{ bar}$$

Решавањем израза (17) и коришћењем вредности силе притиска ваздуха испред пројектила, добија се вредност силе отпора ваздуха која износи:

$$F_v = 839 \cdot 3,1416 \cdot 0,189$$

$$F_v = 2794 \text{ daN}$$

3.2.8. Прорачун ила урезивања водећег прстена

Решавањем израза (18) добија се вредност силе урезивања водећег прстена при притиску форсирања од $P_o = 400 \text{ bar}$ чија је вредност:

$$F_u = 400 \cdot 3,1416 \cdot 0,189$$

$$F_u = 1332 \text{ daN}$$

Коришћењем односа силе урезивања водећег прстена и максималног притиска добија се следећа вредност:

$$F_u / F_{bmx} = 1332 / 10125 = 13,158 \%$$

На основу вредности односа сила може се закључити да сила урезивања водећег прстена представља 13,158 % од максималне силе барутних гасова.

3.2.9. Прорачун напрезања зида кошуљице и одређивање дијаграма напрезања пројектила 20 mm ТЗО М57

Како би се изрчунало напрезање зида кошуљице најпре се мора одредити вредност прорачунског притиска. Решавањем израза (20) добија се следећа вредност:

$$P_{pr} = 1,1 \cdot 3040$$

$$P_{pr} = 3344 \text{ bar}$$

За фактор k усваја се вредност:

$$k = 1,1$$

Уношењем вредности добијеног прорачунског притиска у израз (21), максимално убрзање има вредност:

$$a_{\max} = (3344 \cdot (3,1415 + 0,189) / 0,137) \cdot 10$$

$$a_{\max} = 815073 \text{ m/s}^2$$

Добијањем вредности максималног убрзања, за познату вредност масе и попречног пресека преко израза . могуће је одредити напрезање зида кошуљице у посматраном попречном пресеку [8].

Прорачун је извршен табеларно и приказан је у табели 6. Максимална вредност напрезања у зиду кошуљице износи:

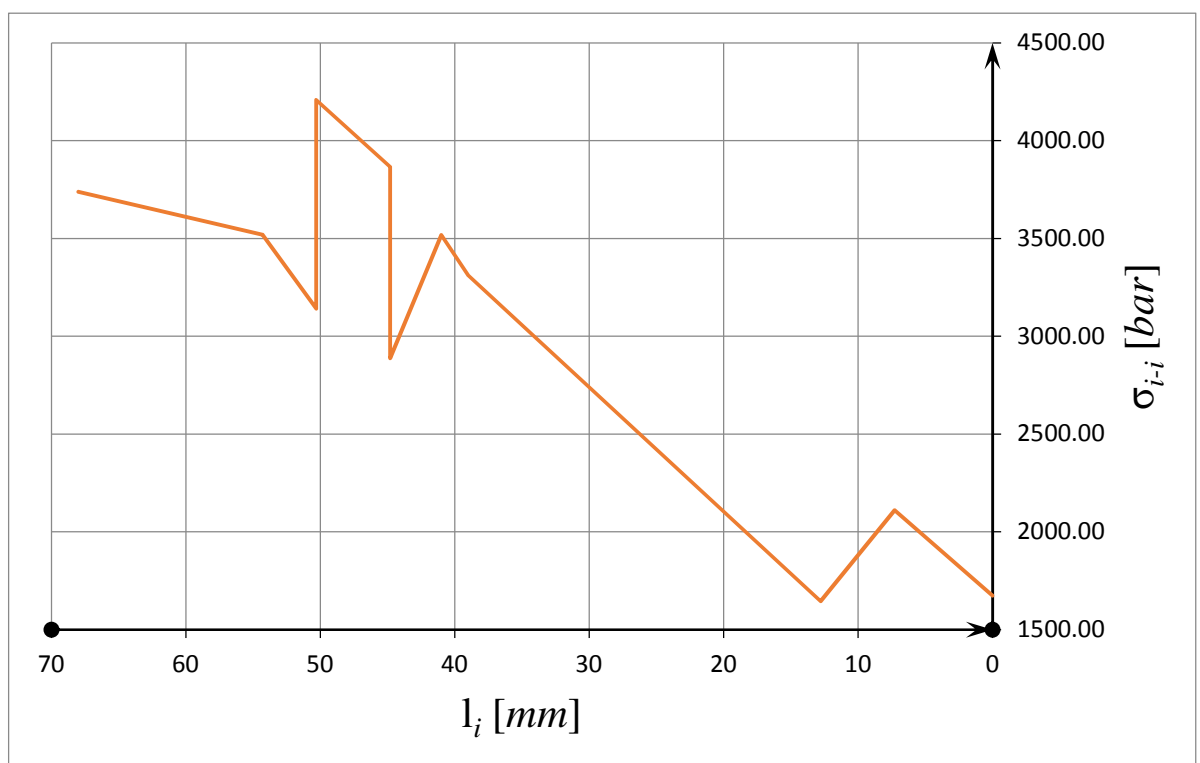
$$\sigma_{\max} = 5121,58 \text{ bar}$$

Табела 6. Прорачун напрезања зида кошуљице пројектила 20 mm ТЗО М57

Пресек $i-i$	Растојање $l_i [\text{mm}]$	Спољашњи радијус $R_i [\text{cm}]$	Унутрашњи радијус $r_i [\text{cm}]$	Попречни пресек $\pi(R_i^2 - r_i^2)$ $[\text{cm}^2]$	Маса пресека $m_A [\text{kg}]$	Напрезање зида $\sigma_{i-i} [\text{bar}]$
1.	0	0,84	0,71	0,63	0,01300	1673,84
2.	7,3	0,94	0,71	1,20	0,03094	2110,27
3.	12,8	1,00	0,62	1,93	0,03905	1645,75
4.	39	1,00	0,62	1,93	0,07856	3310,79

5.	41	1,00	0,62	1,93	0,08346	3517,34
6.	44,8	1,00	0,50	2,36	0,08346	2887,03
6'.	44,8	0,90	0,50	1,76	0,08346	3866,56
7'.	50,3	0,90	0,50	1,76	0,09081	4207,15
7.	50,3	1,00	0,50	2,36	0,09081	3141,34
8.	54,3	1,00	0,50	2,36	0,10174	3519,63
9.	68	0,87	0,00	2,38	0,10906	3738,46

Добијањем вредности напрезања зида кошуљице за сваки пресек, на основу истих вредности могуће је добити дијаграм напрезања (слика 31) .



Слика 31. Напрезање зида кошуљице пројектила 20 mm ТЗО М57

3.2.10. Прорачун напрезања дна кошуљице пројектила 20 mm ТЗО М57

Решавањем израза (27) добија се вредност притиска којом је дно пројектила изражено на смицање током кретања пројектила.

$$\tau_{pr} = (0,8/(4 \cdot 0,2)) \cdot 3344 \cdot (1 - (5,26 \cdot 1,52/1000/0,1366 \cdot (3,1416 + 0,189)))$$

$$\tau_{pr} = 2692,53 \text{ bar}$$

Преко емпиријске формуле $\tau_{doz} < 0,8\sigma_{doz} = 0,8 \cdot 4000 = 3200 \text{ bar}$ коришћењем добијеног резултата максималног напрезања на смицање уношењем вредности у израз и коришћењем реалације $\tau_{pr} \leq \tau_{doz}$ могуће је закључити да ли ће дно пројектила 20 mm ТЗО М57 испунити услов механичке издржљивости.

$$\tau_{doz} < 0,8\sigma_{doz} = 0,8 \cdot 4000 = 3200 \text{ bar}$$

$$\tau_{pr} = 2692,53 \text{ bar} < \tau_{doz} = 3200 \text{ bar}$$

На основу добијених вредности и коришћењем услова мекеаничке издржљивости закључује се да ће исти бити испуњен. Односно дно кошуљице пројектила може издржати напрезање на смицање током кретања пројектила кроз цев оруђа.

3.2.11. Прорачун напрезања експлозивног пуњења (ЕП) пројектила 20 mm ТЗО М57

Уношењем вредности у израз (28) добија се вредност притиска на контактној површини.

$$(\sigma_p)_{\max} = 0,0040176 / ((3,14 \cdot 0,8^2 / 4) \cdot 0,1366) \cdot 3344 \cdot (3,1416 + 0,189)$$

$$(\sigma_p)_{\max} = 651,47 \text{ bar}$$

Уношењем вредности притиска на контактну површину у израз добија се релација $(\sigma_p)_{pe} < (\sigma_p)_{kr}$ која нам показује да ли ће доћи до активирања ЕП.

Пројектил 20 mm ТЗО М57 садржи ЕП које је од ТНТ (Тротил). Критична вредност напона за тротил износи:

$$(\sigma_p)_{kr} \text{ TNT} = 1800 \text{ bar}$$

Како је $(\sigma_p)_{\max} = 651,47 \text{ bar} < (\sigma_p)_{kr} \text{ (TNT)} = 1800 \text{ bar}$ закључује се да услов испуњен и да током кретања пројектила кроз цев оруђа неће доћи до активирања ЕП.

3.2.12. Прорачун стабилности пројектила 20 mm ТЗО М57 и корак увијања жлебова

Решавањем израза (29-33) добијају се вредности које омогућавају да се процени да ли ће услов стабилности бити испуњен. Да би се услов стабилности прорачунао неопходни су следећи подаци:

1. Калибар пројектила : $d=20mm$
2. Маса пројектила: $m=0,1366kg$
3. Угао увијања: $\varphi=0,25605rad$
4. Аксијални момент инерције пројектила: $J_x=7,6963 \cdot 10^{-6}kgm^2$
5. Екваторијални момент инерције пројектила: $J_y=2,7139 \cdot 10^{-4}kgm^2$
6. Почетна брзина пројектила: $V_o=850m/s$
7. Положај тежишта пројектила: $h_I=5,1965cm$
8. Дужина оживала: $H=10,92cm$

Решавањем израза (30), коефицијент центра масе има вредност:

$$C_m = 0,1366 / (2/10)^3$$

$$C_m = 17,081 kg / dm^3$$

Из израза (31) центар притиска има вредност:

$$l_x = 0,32/2 + 0,57 \cdot 10,92/2 - 0,16$$

$$l_x = 3,114 kal$$

Фактор распореда масе из израза (32) има вредност:

$$\mu = 4 \cdot 6,6521 \cdot 10^{-6} / 0,1366 / (2/100)^2 = 0,48024$$

$$K_m = (850m/s) = 1,314 \cdot 10^{-3}$$

Ставрни корак увијања жлебова (33) из карактеристика за топ „М55“ има вредност:

$$\eta' = 12kal$$

Вредности добијене решавањем предходних израза неопходне су за решавање израза (29) који нам одређује потребан корак увијања жлебова:

Фактор стабилности износи $a = 0,98$ док:

$$\eta = 0,98 \cdot \pi / 2 \cdot \sqrt{((0,48025 \cdot 17,081) / (3,114 \cdot 0,00027 / 0,00001) \cdot 0,00131)} = 11,608 \text{ kal}$$

Након добијања вредности потребног корака увијања жлебова и коришћењем релације $\eta' \leq \eta$ може се константовати да је услов стабилности испуњен, уколико је неједнакост испуњена.

$$12 \text{ kal} \leq 11,608 \text{ kal}$$

Стварни корак увијања жлебова је приближно једнак потребном кораку увијању жлебова и може се закључити да је испуњен онсвни услов стабилности

3.3. Прорачун и анализа резултата прорачуна параметра лета пројектила 20 mm ТЗО М57 од оруђа до циља

У спољнобалистичком прорачуну коришћењем наведених програма(кодова) описаних у теоријском делу, биће извршен комплетан прорачун пројектила 20 mm ТЗО М57 у фази лета. Најпре биће израчунати аеродинамички кофицијенти при несиметричном и симетричном опструјавању. Након њих извршиће се прорачун лета пројектила са три различита полазна угла како би се добио већи број резултата. Полазни углови су одређени избором тако да имају приближну вредност табличних углова [10] како би се на крају свих прорачуна резултати упоредили и закључили који програм даје најтачнија решења. Сваки програм који користи полазне углове биће праорачунат онолико пута колико има полазних углова, у овом случају три. Након свих прорачуна у последњем делу биће урађен и прорачун вероватноће погађања на циљу.

3.3.1. Прорачун аеродинамичких коефицијента при несиметричном опструјавању

На основу слике 14 и техничких цртежа за пројектил 20 mm ТЗО М57 урађен је прорачун аеродинамичких коефицијента при несиметричном опструјавању. Са техничких цртежа очитане су вредности димензија пројектила и искоришћене као улазни подаци (табела 7). У улазним подацима користи се и тежиште пројектила које је предходно израчунато и налази се у табели 7. у поглављу димензије пројектила. Због карактеристика прорачуна он је извршен у програму DOSBox. Добијени резултати, на

онсову којих су урађени дијаграми дејства аеродинамичких коефицијента у функцији Маховог броја, смештени су у табелу 8.

Табела 7. Улазни подаци(датотека TELO)

Ред. Број	Улазни параметар	Ознака у програму	Вредност	Јединица мере
1.	Референти пречник	D	0,02	<i>m</i>
2.	Дужина оживала	LB	0,092	<i>m</i>
3.	Дужина предњег дела	LNK+LNP+LNO	0,037	<i>m</i>
4.	Угао нагиба тангенте оживала	EPSS	0	°
5.	Полупречник оживала	RO	0,16	<i>m</i>
6.	Пречник цилиндричног врха	DO	0,002	<i>m</i>
7.	Дужина цилиндричног врха	LO	0,002	<i>m</i>
8.	Пречник дна пројектила	DB	0,016	<i>m</i>
9.	Дужина задњег конуса	LA	0,008	<i>m</i>
10.	Положај центра масе од врха пројектила	XV	0,052	<i>m</i>

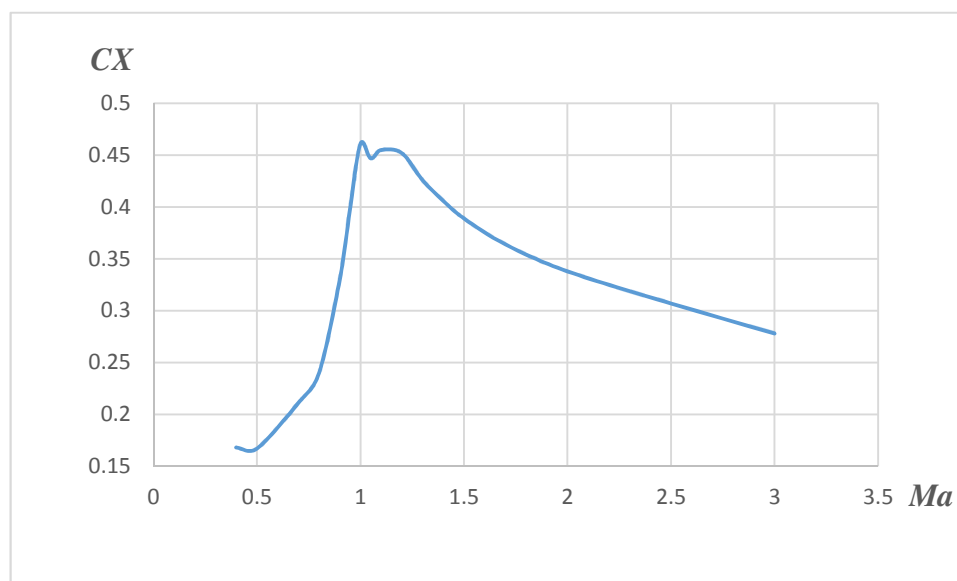
Табела 8. Резултати прорачуна(датотека KOEFIC1)

Ред. Број	MACH	CAO	CNS	XCE	CMS	CLP	CMST+C MQ	CYPS	XKE	CNPS	CZS
1.	0,4	0,168	1,929	1,915	1,322	-0,038	-3,786	-0,604	2,588	-0,007	-1,93
2.	0,5	0,167	1,935	1,904	1,346	-0,038	-4,155	-0,604	2,588	-0,007	-1,93
3.	0,7	0,211	1,95	1,865	1,432	-0,038	-5,234	-0,674	2,595	-0,003	-1,95
4.	0,8	0,24	1,959	1,825	1,519	-0,038	-5,979	-0,709	2,598	-0,001	-1,96
5.	0,9	0,33	1,965	1,743	1,684	-0,038	-6,893	-0,728	2,612	0,009	-1,96
6.	0,95	0,398	1,975	1,657	1,863	-0,038	-7,42	-1,067	1,343	-1,342	-1,98
7.	1	0,461	2,056	1,483	2,297	-0,038	-8	-0,872	2,298	-0,263	-2,06

8.	1,05	0,447	2,278	1,538	2,419	-0,038	-10,33	-0,866	2,319	-0,244	-2,28
9.	1,1	0,455	2,393	1,611	2,365	-0,038	-10,33	-0,86	2,34	-0,224	-2,39
10.	1,2	0,452	2,558	1,744	2,191	-0,038	-10,33	-0,849	2,383	-0,184	-2,56
11.	1,3	0,426	2,678	1,867	1,964	-0,038	-10,33	-0,837	2,428	-0,144	-2,68
12.	1,4	0,406	2,772	1,98	1,718	-0,038	-10,33	-0,825	2,474	-0,104	-2,77
13.	1,5	0,389	2,858	2,084	1,476	-0,038	-10,33	-0,813	2,521	-0,064	-2,86
14.	1,7	0,364	2,934	2,301	0,877	-0,038	-10,33	-0,795	2,383	-0,173	-2,93
15.	2	0,338	2,978	2,429	0,51	-0,038	-10,33	-0,767	2,162	-0,336	-2,98
16.	2,5	0,307	2,932	2,477	0,361	-0,038	-10,33	-0,691	2,176	-0,293	-2,93
17.	3	0,278	2,876	2,497	0,297	-0,038	-10,33	-0,691	2,176	-0,293	-2,88

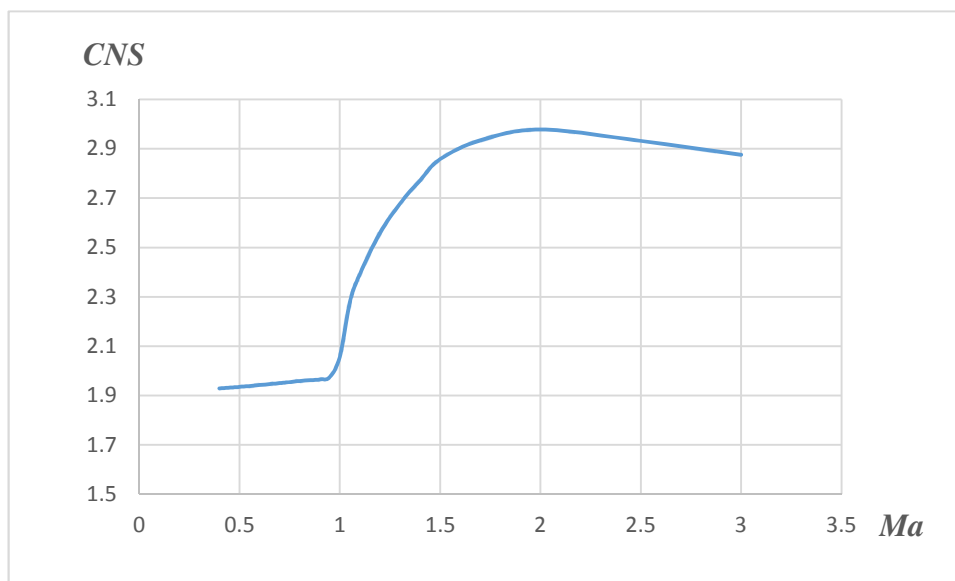
МАСН-Махов број ; CAO- Коефицијент аксијалне силе; CNS- Коефицијент момента скретања; ХСЕ- Дериват аеродинамичког коефицијетна ХСЕ за дати пројектил ; CMS- Коефицијент момента пропињања; CLP- Дериват аеродинамичког коефицијетна момента ваљања; CMST+CMQ- Дериват аеродинамичког коефицијетна CMST+CMQ за дати пројектил; CYPS- Дериват коефицијента бочне силе; ХКЕ- Дериват аеродинамичког коефицијетна ХКЕ за дати пројектил ; CNPS-Коефицијент момента скретања ; CZS- Коефицијент нормалне силе.

На слици 32 приказан је аеродинамички коефицијент аксијалне силе у функцији Маховог броја.



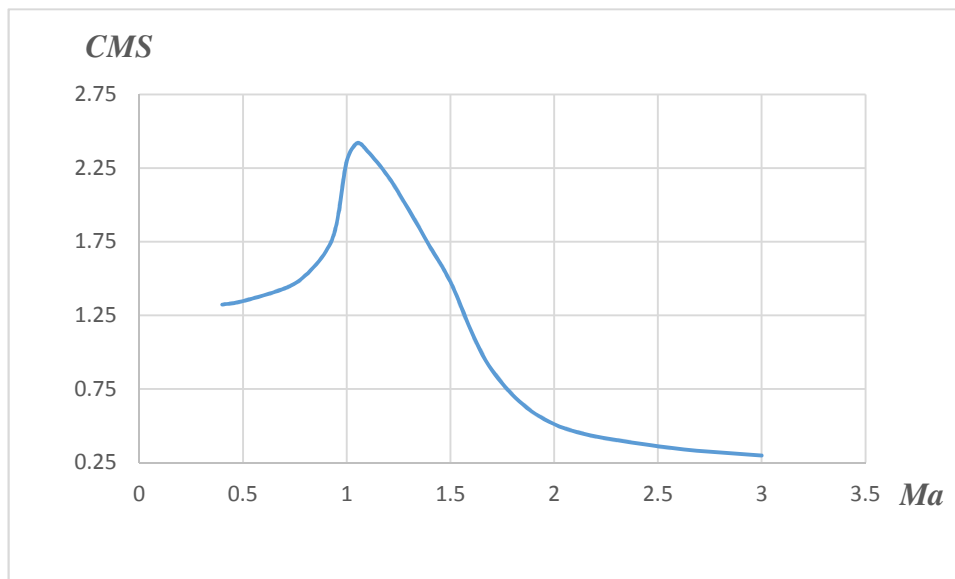
Слика 32. Аеродинамички коефицијент аксијалне силе

На слици 33 приказан је аеродинамички коефицијент момента скретања у функцији Маховог броја.



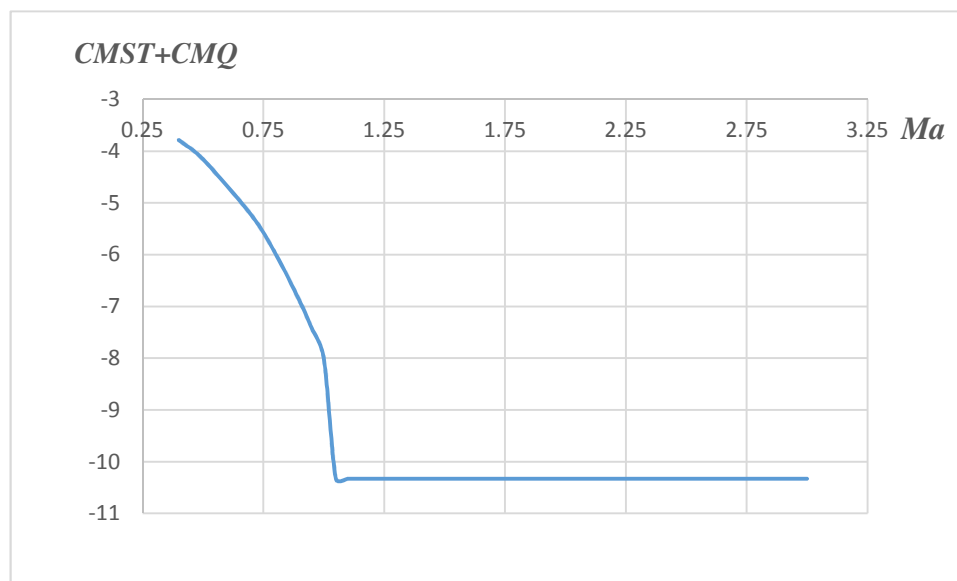
Слика 33. Аеродинамички коефицијент момента скретања

На слици 34 приказан је аеродинамички коефицијент момента пропињања у функцији Маховог броја.



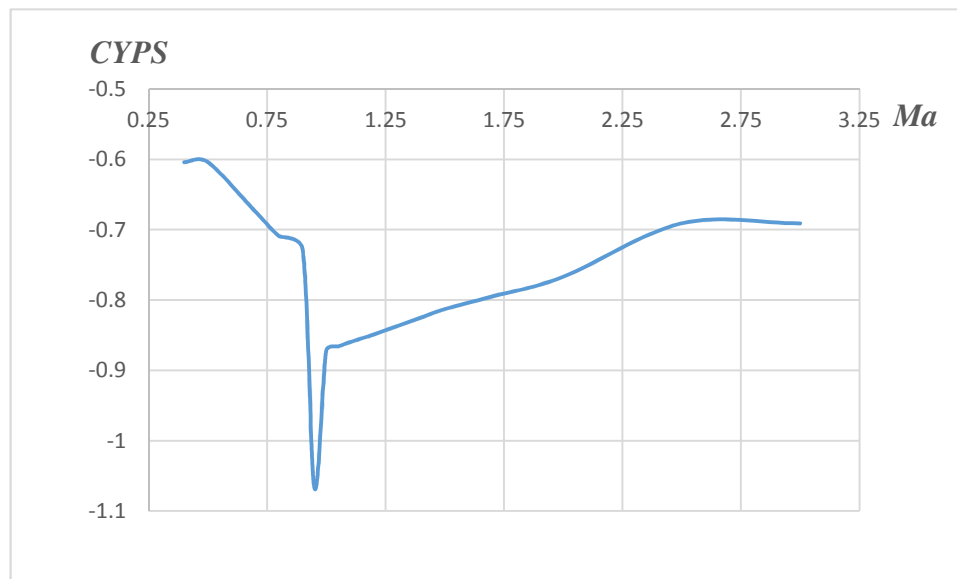
Слика 34. Аеродинамички коефицијент момента пропињања

На слици 35 приказано је дериват аеродинамичког коефицијента $CMST+CMQ$ у функцији Маховог броја.



Слика 35. Дериват аеродинамичког коефицијента $CMST+CMQ$

На слици 36 приказано је дериват коефицијета бочне силе у функцији Маховог броја.



Слика 36. Дериват коефицијета бочне силе

3.3.2. Прорачун аеродинамичких коефицијента при симетричном опструјавању

На основу слике 14 и техничких цртежа димензије пројектила 20 mm ТЗО М57 су унете у улазним подацима (табела 9). Програм AERODR користи само димензије пројектила и на основу њих одређује аеродинамички коефицијент аксијалне силе и његових делова приликом симетричног опструјавања пројектила.

Табела 9. Улазни подаци (датотека ULAZ10)

Ред. Број	Улазни параметар	Ознака	Вредност	Јединица мере	Вредност у калибрима
1.	Референти пречник	d	20	mm	1
2.	Дужина пројектила	l	92	mm	4,6
3.	Дужина предњег дела	l_1	36,8	mm	1,84
4.	Однос полупречника оживала	R_f/R	1	-	1
5.	Дужина задњег конуса	l_3	7,89	mm	0,3945
6.	Пречник дна пројектила	d_d	16	mm	0,8
7.	Пречник врха пројектила	d_m	7,5	mm	0,375
8.	Пречник водећег прстена	d_4	20,9	mm	1,045
9.	Положај центра масе	x_{cm}	52,26	mm	2,613

У табели 10 приказани су резултати прорачуна (датотека IZLAZ10) при симетричном опструјавању односно приказ аксијалног аеродинамичког коефицијента и његових компонената за пројектил 20mm ТЗО М57 у функцији Маховог броја.

Табела 10. Резултати прорачуна(датотека IZLAZ10)

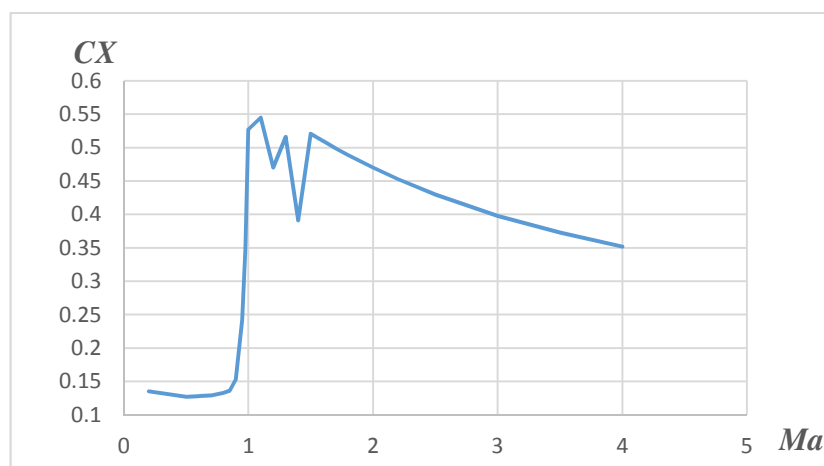
Ред. Број	М	CX	CX1	CXSF	CXVP	CX3	CXD	PB/P1
1.	0,2	0,135	0	0,085	0	0	0,05	0,998
2.	0,5	0,127	0	0,07	0	0	0,057	0,984
3.	0,6	0,128	0	0,067	0	0	0,06	0,976
4.	0,7	0,129	0	0,065	0,001	0	0,064	0,966
5.	0,8	0,133	0	0,063	0,003	0	0,068	0,953
6.	0,85	0,136	0	0,062	0,004	0	0,07	0,945
7.	0,9	0,153	0	0,061	0,009	0,012	0,071	0,937
8.	0,95	0,242	0,044	0,06	0,018	0,047	0,073	0,928

9.	0,975	0,348	0,066	0,06	0,023	0,126	0,074	0,923
10.	1	0,527	0,087	0,059	0,022	0,256	0,102	0,888
11.	1,1	0,545	0,207	0,057	0,02	0,159	0,102	0,866
12.	1,2	0,47	0,226	0,056	0,018	0,07	0,101	0,842
13.	1,3	0,516	0,241	0,054	0,017	0,104	0,099	0,817
14.	1,4	0,391	0,118	0,053	0,016	0,106	0,098	0,791
15.	1,5	0,521	0,258	0,052	0,015	0,101	0,096	0,764
16.	1,6	0,51	0,258	0,05	0,014	0,094	0,094	0,737
17.	1,7	0,499	0,257	0,049	0,014	0,087	0,092	0,71
18.	1,8	0,489	0,257	0,048	0,013	0,081	0,089	0,683
19.	2	0,47	0,257	0,046	0,013	0,07	0,084	0,631
20.	2,2	0,453	0,256	0,044	0,012	0,061	0,079	0,582
21.	2,5	0,43	0,255	0,041	0,011	0,051	0,071	0,514
22.	3	0,398	0,254	0,037	0,011	0,038	0,059	0,423
23.	3,5	0,373	0,252	0,034	0,01	0,029	0,048	0,356
24.	4	0,352	0,25	0,031	0,01	0,022	0,04	0,306

М- Махов број; CX- Укупни коефицијент аксијалне силе; CX1- Коефицијент таласног отпора врха пројектила; CXSF- Коефицијент отпора трења; CXVP- Коефицијент отпора водећег прстена; CX3- Коефицијенти таласног отпора задњег конуса; CXD- Коефицијент отпора дна пројектила; PB/P1- однос PB/P1

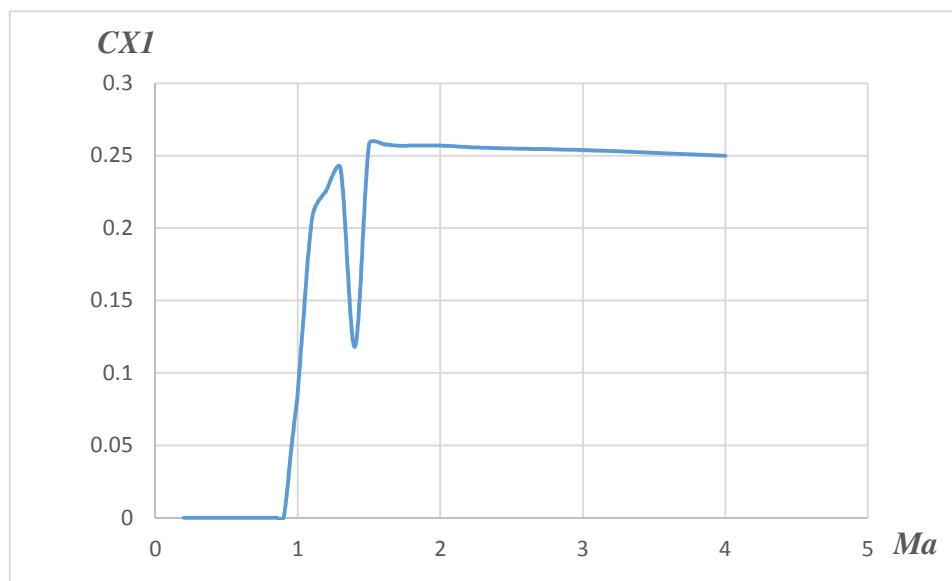
На основу резултата прорачуна израђени су дијаграми аксијалног аеродинамичког коефицијента и његових компонената приказаних на следећим сликама за пројектил 20 mm ТЗО М57.

На слици 37 приказан је дијаграм укупног аеродинамичког коефицијента отпора аксијалне силе у функцији Маховог броја.



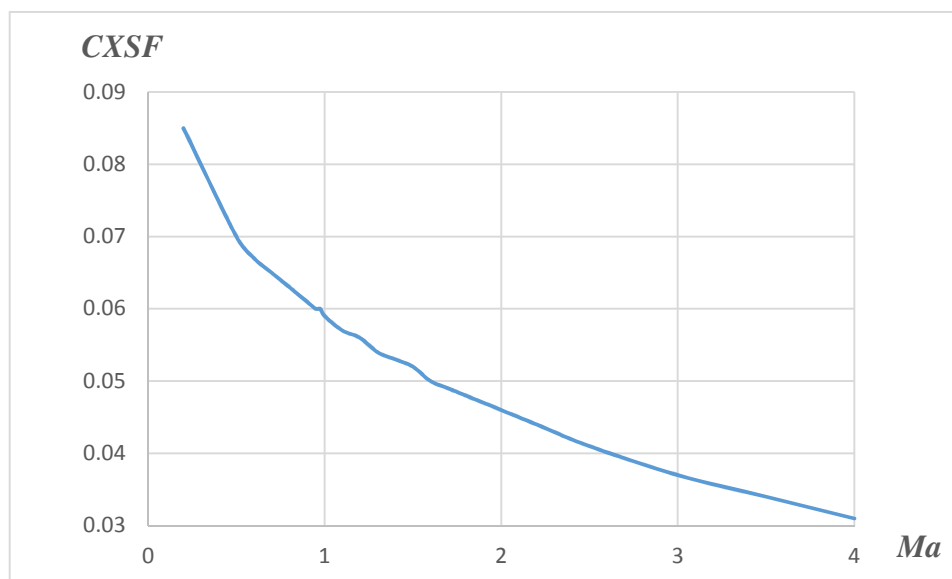
Слика 37. Аеродинамички коефицијент отпора аксијалне силе

На слици 38 приказан је дијаграм таласног отпора врха пројектила у зависности од Маховог броја.



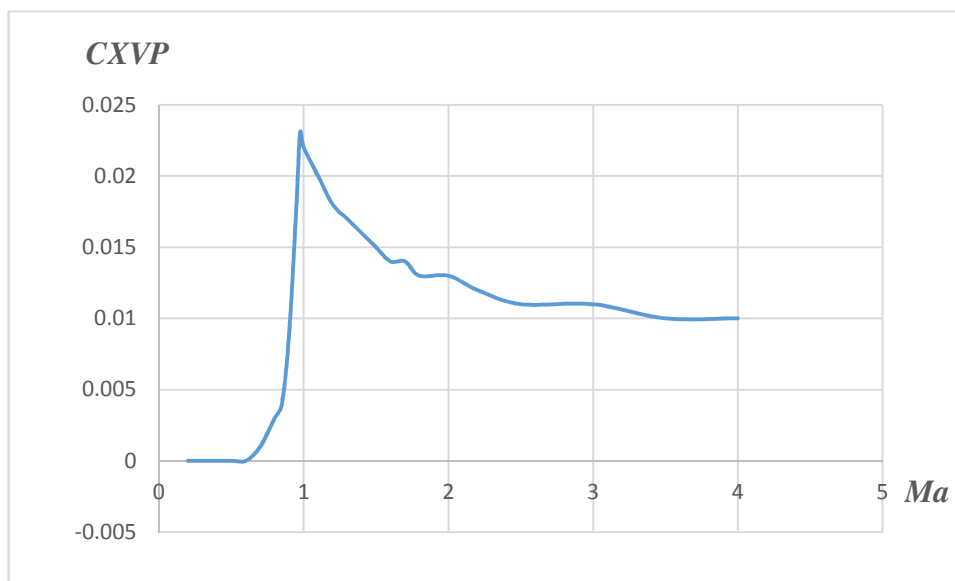
Слика 38. Таласни отпор врха пројектила

На слици 39 приказан је дијаграм отпора трења у зависности од Маховог броја.



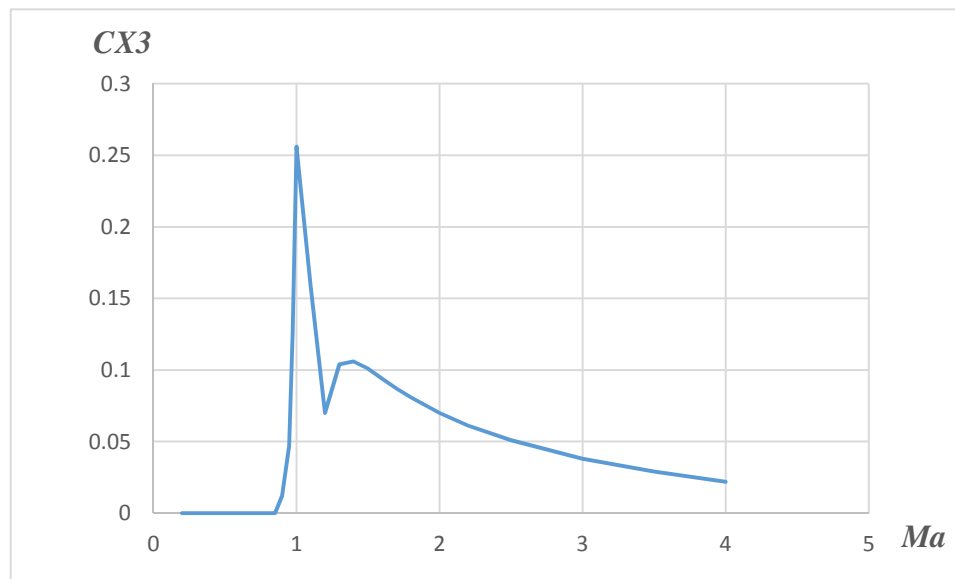
Слика 39. Отпор трења

На слици 40 приказан је дијаграм отпора водећег прстена у зависности од Маховог броја.



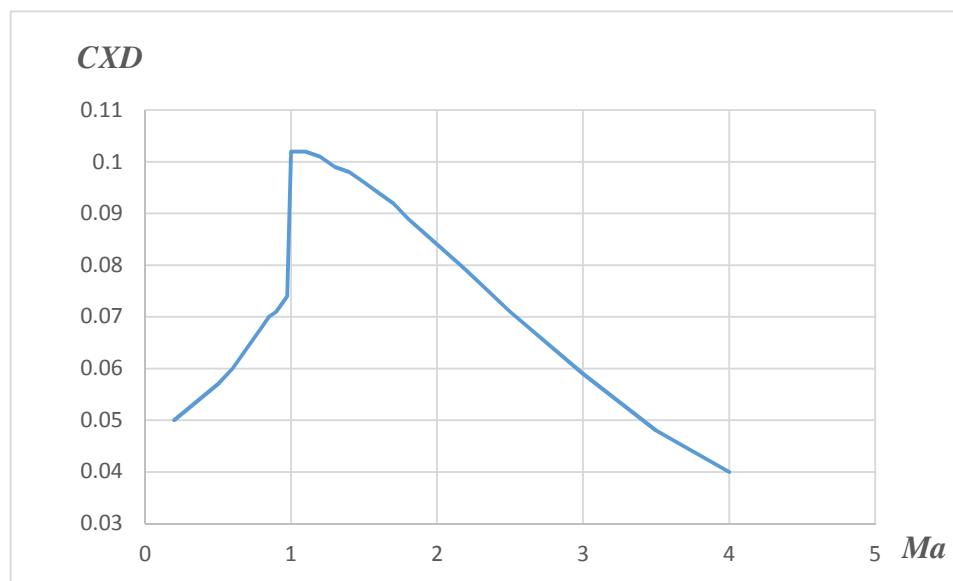
Слика 40. Отпор водећег прстена

На слици 41 приказан је дијаграм таласног отпора задњег конуса у зависности од Маховог броја.



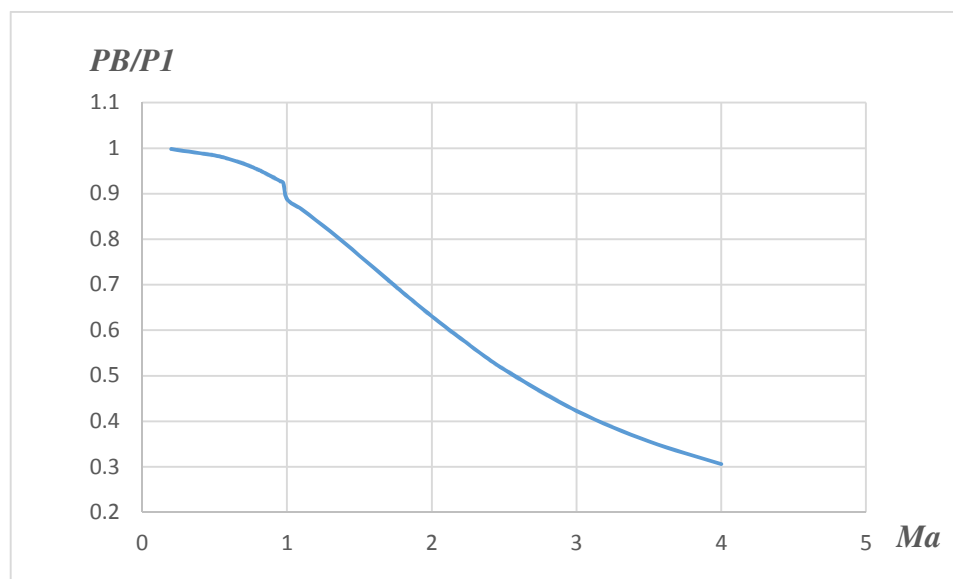
Слика 41. Таласни отпор задњег конуса

На слици 42 приказан је дијаграм отпора дна пројектила у зависности Маховог броја.



Слика 42. Отпор дна пројектила

На слици 43 приказан је дијаграм односа $PB/P1$.



Слика 43. Однос $PB/P1$

3.3.3. Прорачун путање пројектила у ваздушном простору

Путању пројектила у ваздушном простору могуће је одредити коришћењем програма SB2.FOR. Како би се одредила путања пројектила у улазној датотеци (табела 11) поред карактеристика пројектила уноси се и датотека са аеродинамичким

коефицијентима у функцији Маховог броја (табела 12) добијени решавањем програма AERODR. Начин тока прорачуна путање пројектила у ваздушном простору детаљније је објашњен у теоријском делу.

Табела 11. Улазни подаци(датотека SBU2.DAT)

Ред. Број	Улазни подаци	Ознака	Вредност	Јединица мере
1.	Референти пречник – калибар пројектила	D	0,02	<i>m</i>
2.	Маса пројектила	MASA	0,138	<i>kg</i>
3.	Полазна тачка – апциса	X0	0	<i>m</i>
4.	Полазна тачка – ордината	Y0	0	<i>m</i>
5.	Полазни угао	TETAS0	1°;3°;5°	°
6.	Почетно време	T	0	<i>s</i>
7.	Корак интеграције	H	0,001	<i>s</i>

Табела 12. Улазни подаци(датотека SBK.DAT)

Ред. Број	Махов број [M]	Аксијални аеродинамички коефицијнт [CX]
1.	0,2	0,135
2.	0,5	0,127
3.	0,6	0,128
4.	0,7	0,129
5.	0,8	0,133
6.	0,85	0,136
7.	0,9	0,153
8.	0,95	0,242
9.	0,975	0,348
10.	1	0,527
11.	1,1	0,545
12.	1,2	0,47
13.	1,3	0,516

14.	1,4	0,391
15.	1,5	0,521
16.	1,6	0,51
17.	1,7	0,499
18.	1,8	0,489
19.	2	0,47
20.	2,2	0,456
21.	2,5	0,43
22.	3	0,398
23.	3,5	0,373
24.	4	0,352

За прорачун путање пројектила коришћена су три полазна угла. Бројчана вредност полазних углова може се видети у табели 13.

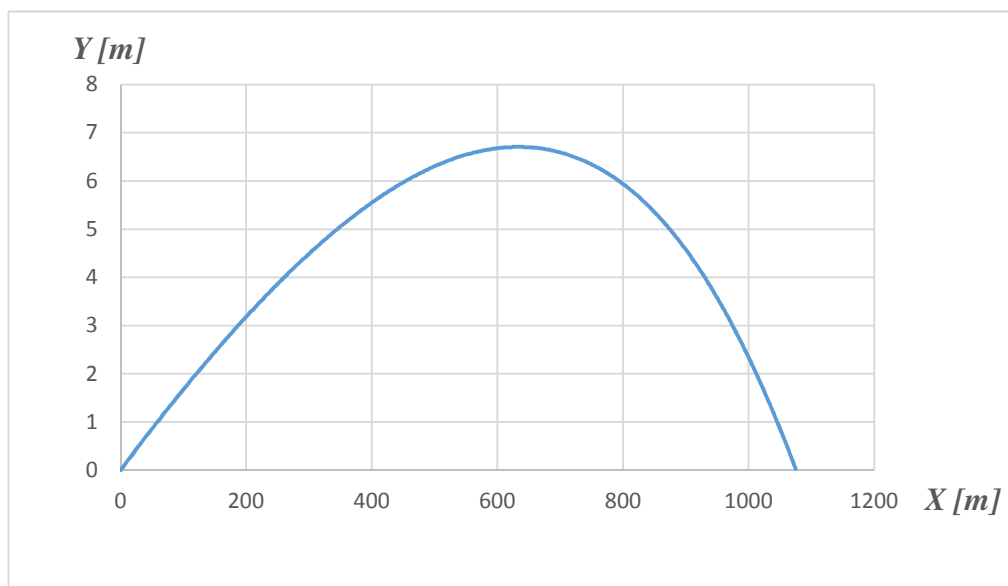
Табела 13. Резултати прорачуна(датотека SB2I.DAT)

Ред. Број	Полазни угао θ_0 [°]	Почетна брзина V_0 [m/s]	Укупно време лета $T=t_c$ [s]	Апциса падне тачке – домет $X=x_c$ [m]	Ордината падне тачке $Y=y_c$ [m]	Падни угао θ_c [°]
1.	1	850	2,285	1075,08	0,03	-1,99
2.	3	850	5,16	1857,6	0,08	-5,92
3.	5	850	7,581	2402,21	0,03	-9,87

Добијене резултате прорачуна и коришћењем програма MS Office Excel поред путање пројектила могуће је одредити дијаграме промена брзине на путањи као и промена угла на путањи. На доњим сликама налазе се дијаграми за сваки полазни угао.

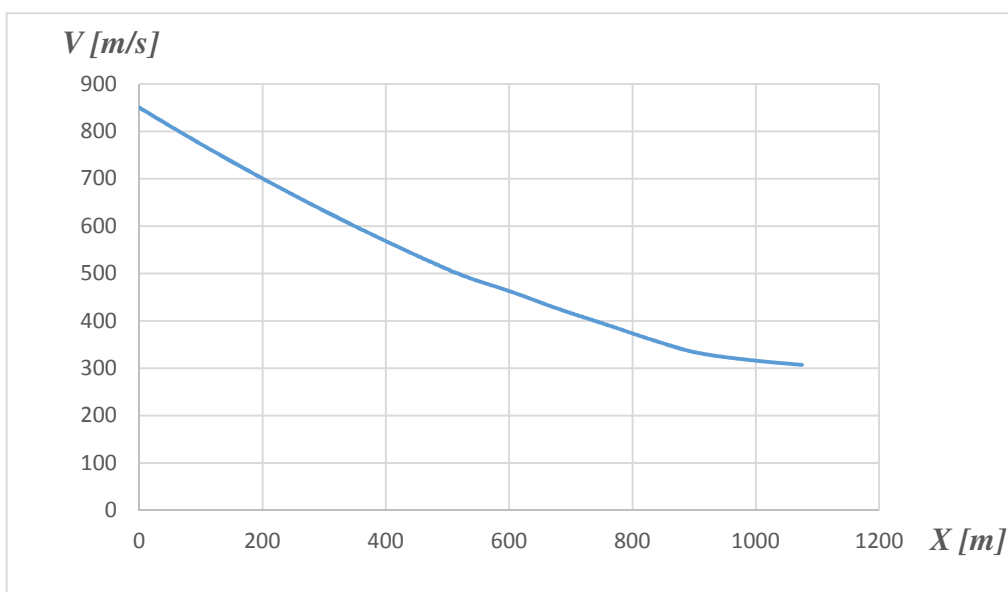
- Дијаграми елемената путање пројектила 20 mm ТЗО М57 при полазном углу $\Theta_0 = 1^\circ$.

На слици 44 приказана је путања пројектила у ваздушном простору као материјална тачка.



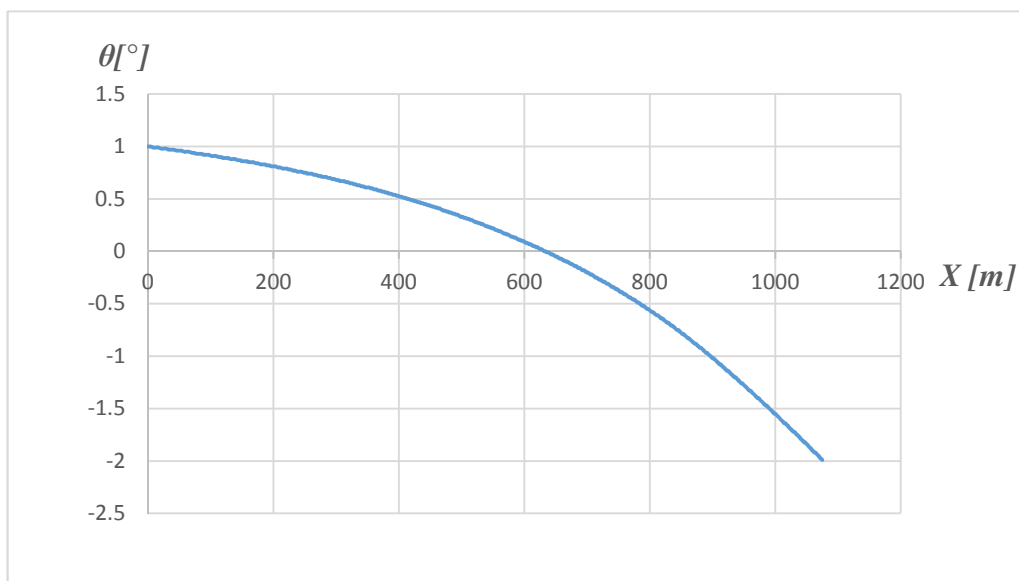
Слика 44. Путања пројектила у ваздушном простору

На слици 45 приказана је промена брзине лета на путањи пројектила у ваздушном простору.



Слика 45. Промена брзине на путањи у ваздушном простору

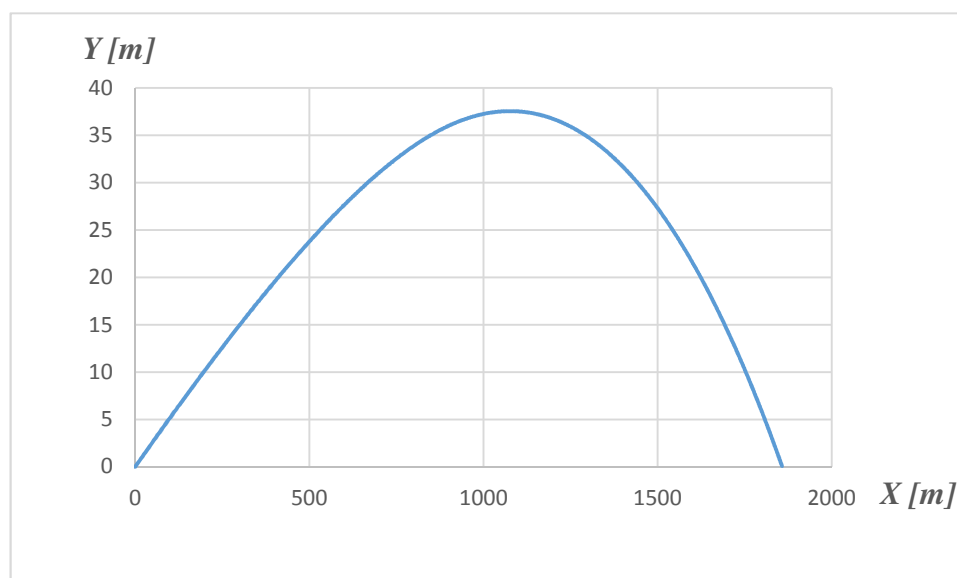
На слици 46 приказана је промена угла на путањи пројектила у ваздушном простору.



Слика 46. Промена угла на путањи у ваздушном простору

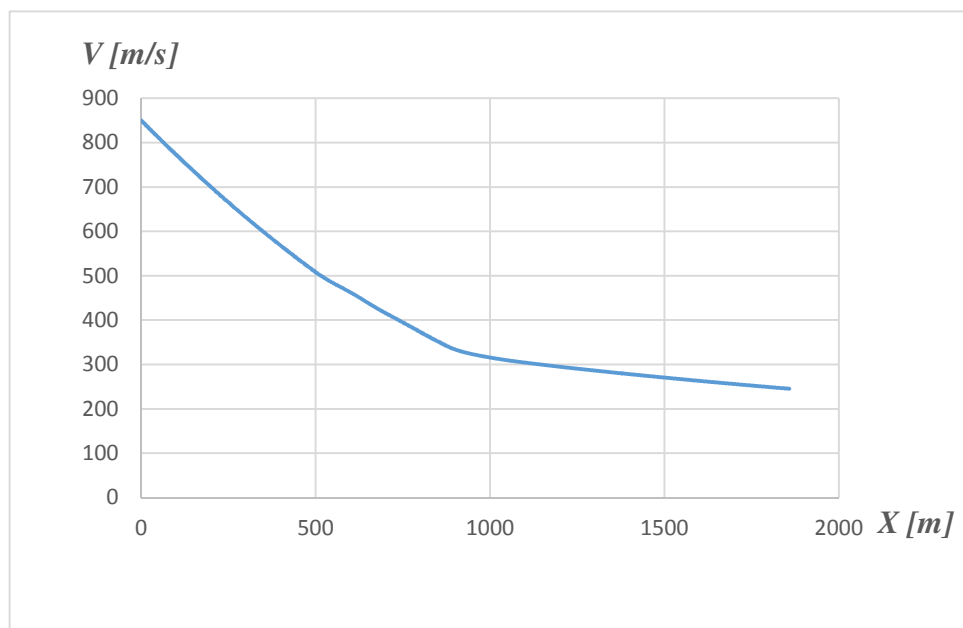
- Дијаграми елемената путање лета пројектила 20 mm ТЗО М57 при полазном углу $\Theta_0 = 3^\circ$.

На слици 47 приказана је путања пројектила у ваздушном простору као материјална тачка.



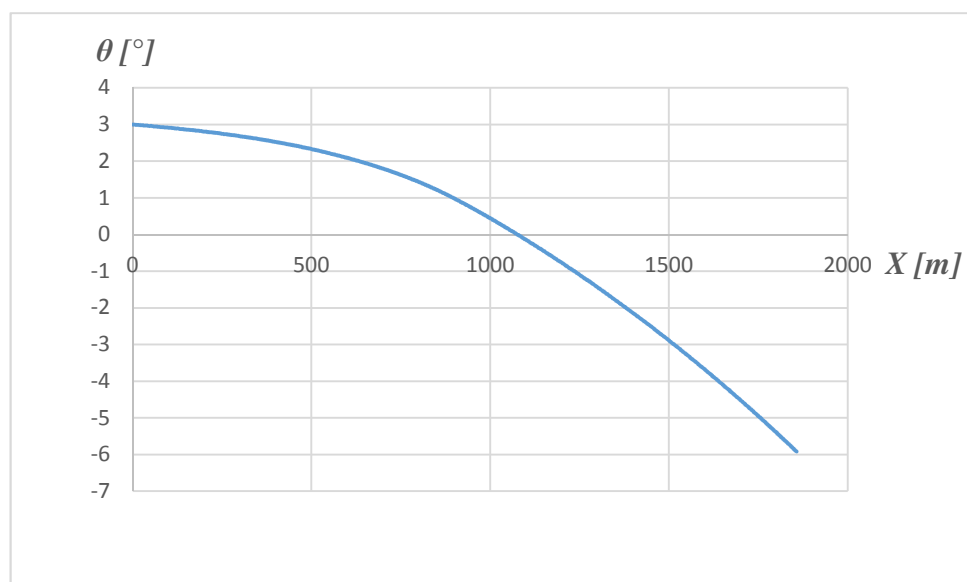
Слика 47. Путања пројектила у ваздушном простору

На слици 48 приказана је промена брзине лета на путањи пројектила у ваздушном простору.



Слика 48. Промена брзине на путањи у ваздушном простору

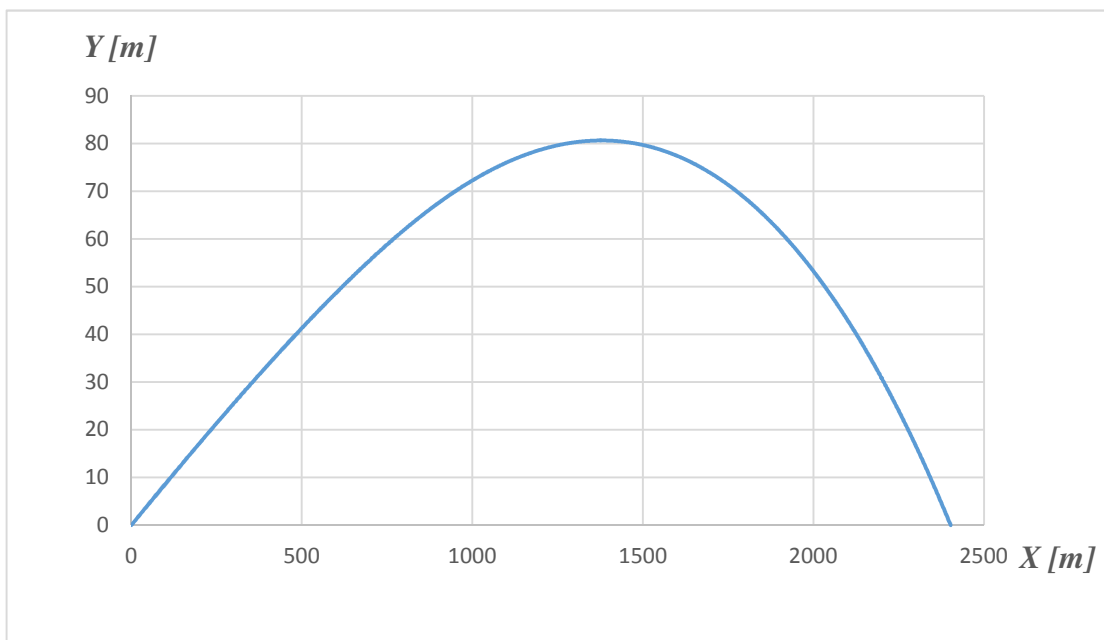
На слици 49 приказана је промена угла на путањи пројектила у ваздушном простору.



Слика 49. Промена угла на путањи у ваздушном простору

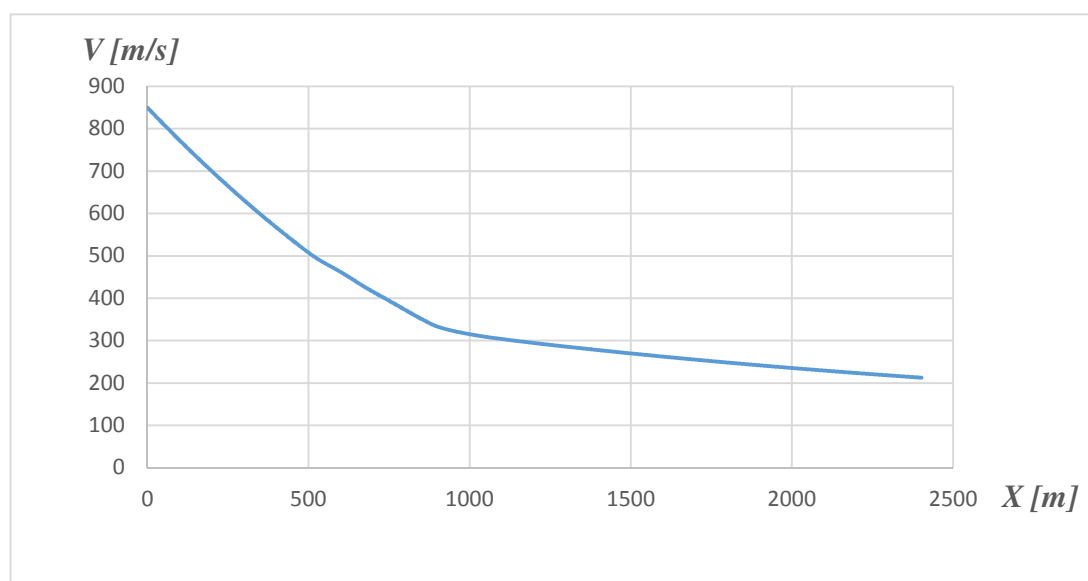
- Дијаграми елемената путање лета пројектила 20 mm ТЗО М57 при полазном углу $\Theta_0 = 5^\circ$.

На слици 50 приказана је путања пројектила у ваздушном простору као материјална тачка.



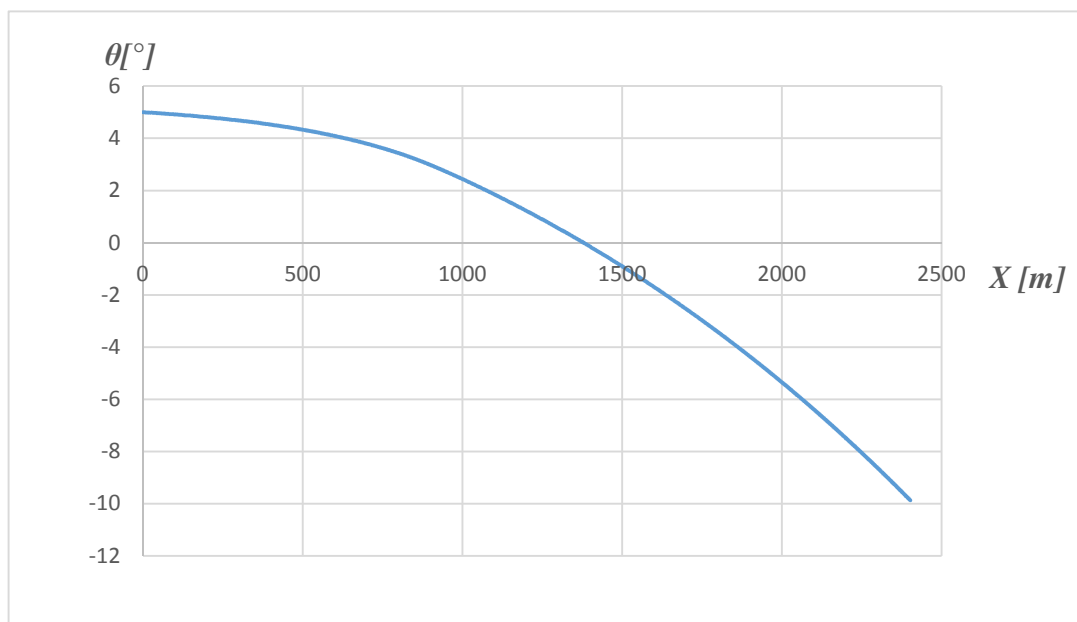
Слика 50. Путања пројектила у ваздушном простору

На слици 51 приказана је промена брзине лета на путањи пројектила у ваздушном простору.



Слика 51. Промена брзине на путањи у ваздушном простору

На слици 52 приказана је промена угла на путањи пројектила у ваздушном простору.



Слика 52. Промена угла на путањи у ваздушном простору

3.3.4. Прорачун балистичког коефицијента

Као што је наведено балистички коефицијент могуће је израчунати преко израза (36). Како би балистички коефицијент био израчунат најпре се мора на основу Маховог броја очитати вредности еталона [11]. Због обимнијег прорачуна, балистички коефицијент је израчунат у програму MS Office Excel и приказан у табели 14.

Табела 14. Приказ начина добијања вредности балистичког коефицијента у програму MS Office Excel

Ред. број	Махов број Ma	Коефицијент аксијалне силе C_{x0}	Еталон CD43	i43	Калибар пројектила $d [cm]$	Маса пројектила $m [kg]$	C43
1.	0,2	0,135	0,157	0,8599	0,02	0,141	2,4394
2.	0,5	0,127	0,157	0,8089	0,02	0,141	2,2948
3.	0,6	0,128	0,158	0,8101	0,02	0,141	2,2982
4.	0,7	0,129	0,158	0,8165	0,02	0,141	2,3162
5.	0,8	0,133	0,16	0,8313	0,02	0,141	2,3582
6.	0,85	0,136	0,175	0,7771	0,02	0,141	2,2047

7.	0,9	0,153	0,19	0,8053	0,02	0,141	2,2844
8.	0,95	0,242	0,258	0,9380	0,02	0,141	2,6609
9.	0,975	0,348	0,292	1,1918	0,02	0,141	3,3809
10.	1	0,527	0,325	1,6215	0,02	0,141	4,6001
11.	1,1	0,545	0,382	1,4267	0,02	0,141	4,0474
12.	1,2	0,47	0,385	1,2208	0,02	0,141	3,4632
13.	1,3	0,516	0,382	1,3508	0,02	0,141	3,8320
14.	1,4	0,391	0,37	1,0568	0,02	0,141	2,9979
15.	1,5	0,521	0,361	1,4432	0,02	0,141	4,0942
16.	1,6	0,51	0,351	1,4530	0,02	0,141	4,1220
17.	1,7	0,499	0,342	1,4591	0,02	0,141	4,1392
18.	1,8	0,489	0,332	1,4729	0,02	0,141	4,1784
19.	2	0,47	0,316	1,4873	0,02	0,141	4,2194
20.	2,2	0,453	0,303	1,4950	0,02	0,141	4,2413
21.	2,5	0,43	0,287	1,4982	0,02	0,141	4,2504
22.	3	0,398	0,27	1,4740	0,02	0,141	4,1818
23.	3,5	0,373	0,261	1,4291	0,02	0,141	4,0543
24.	4	0,352	0,26	1,3538	0,02	0,141	3,8407

Укупни балистички коефицијент израчунат је као средња вредност свих добијених вредности (С43) за сваки Махов број.

Балистички коефицијет износи $C=3,437495$

3.3.5. Прорачун путања пројектила са три степена слободе кретања

Према Ојлеровом балистичком моделу кретања извршен је прорачун елемената путање за пројектила 20 mm ТЗО М57 . Прорачун је урађен у програму OJL3SSK.FOR. За ток прорачуна поред полазног угла и почетне брзине користи се и балистички коефицијент који је претходно израчунат. У табели 15 налазе се улазни подаци који се налазе у улазној датотеци OJL3SSU.DAT које се учитавају у програму на основу којих се добијају резултати прорачуна (табела 16).

Табела 15. Улазни подаци(датотека OJL3SSU.DAT)

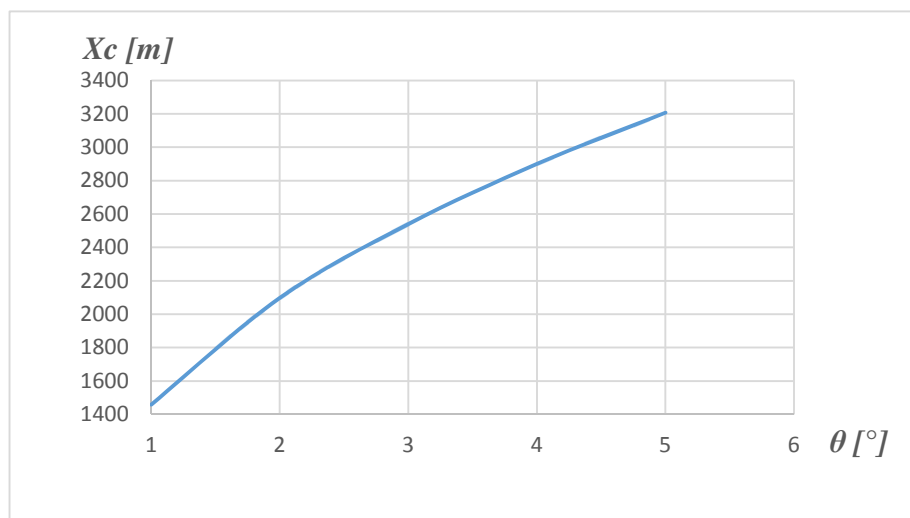
Ред. број	Улазни параметар	Ознака у програму	Интервал вредности	Јединица мере
1.	Висина падне тачке	YH	0	<i>m</i>
2.	Балистички коефицијенат	CS	3,4375	-
3.	Полазна вредност полазног угла	TET0	1	°
4.	Прирештај полазног угла	DTET	1	°
5.	Крајња вредност полазног угла	TETK	5	°
6.	Полазна вредност почетне брзине	VOP	849	<i>m/s</i>
7.	Приаштај вредности почетне брзине	DVOP	1	<i>m/s</i>
8.	Крајња вредност почетне брзине	VOK	850	<i>m/s</i>

Табела 16. Резултати прорачуна(датотека OJL3SSR.DAT)

Ред. број	Почетна брзина V_0 [<i>m/s</i>]	Почетни угао Θ_0 [°]	Домет X_c [<i>m</i>]	Ордината темена путање Y_s [<i>m</i>]	Падни угао Θ_c [°]	Падна брзина V_k [<i>m/s</i>]	Укупно време лета t_c [<i>s</i>]
1.	850	1	1458,86	8,23	-1,71	379,63	2,583
2.	850	2	2097,43	26,69	-4,14	291,44	4,554
3.	850	3	2539,96	51,11	-6,43	260,55	6,169
4.	850	4	2899,35	79,71	-8,7	238,8	7,625
5.	850	5	3207,04	111,65	-10,99	222,29	8,985

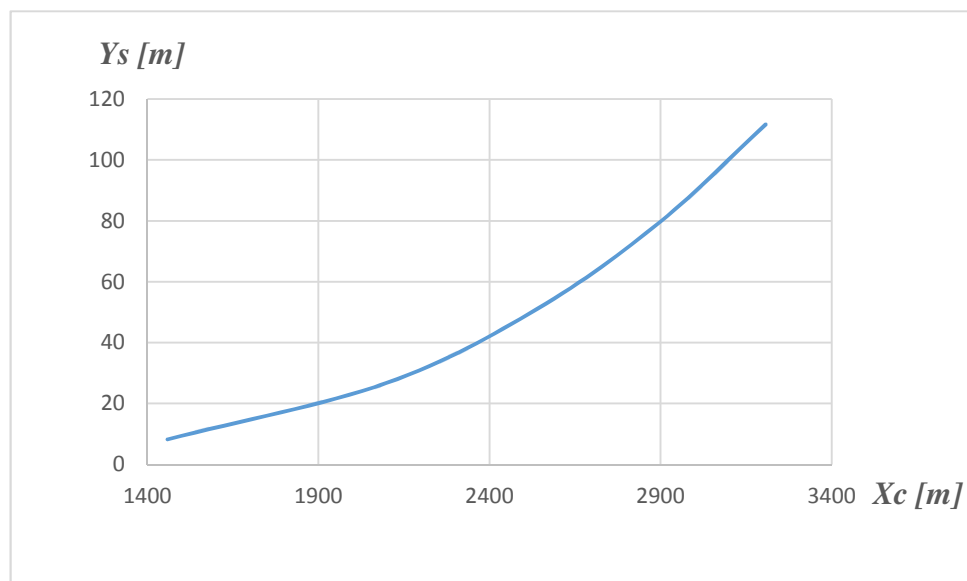
Коришћењем резултата прорачуна урађени су дијаграми који нам омогућују увид у лет пројектила 20 mm ТЗО М57 са три степена слободе кретања.

На слици 53 приказана је промена домета пројектила 20 mm ТЗО М57 у функцији промене полазних углова.



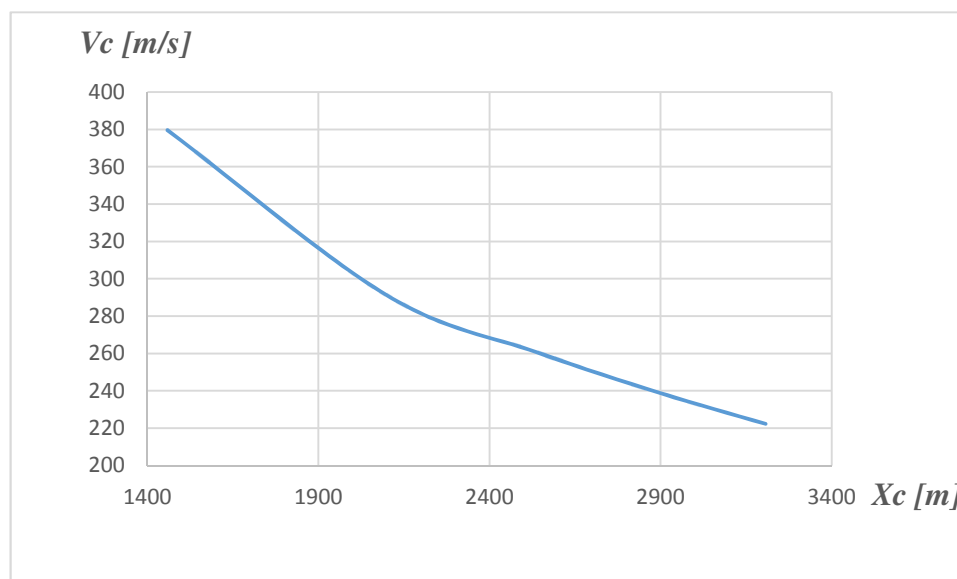
Слика 53. Промена домета пројектила за различите полазне углове

На слици 54 приказана је промена ординате темена путање при различитим дометима пројектила .



Слика 54. Промена ординате темена за различите домете

На слици 55 приказана је промена падне брзине за различите домете.



Слика 55. Промена падне брзине при различитим дометима

3.3.6. Прорачун угаоне брзине

На основу израза (37) угаона брзина има вредност:

$$P_0 = (2 \cdot 850 \cdot \tan 7^\circ) / 0,2$$

$$P_0 = 10437 s^{-1}$$

3.3.7. Прорачун путање пројектила пројектила са шест степени слободe кретања

За пројектил 20 mm ТЗО М57 коришћењем програма SB06.FOR и модела лета са шест степени слободe кретања извршен је прорачун ради одређивања услова стабилности и елемената путање током лета пројектила. У улазним подацима (табела 17) неопходним за прорачун датотека садржи и угаону брзину која је израчуната и чија се вредност уноси. У самом програму потребно је пре прорачуна унети моменте инерције за пројектил и променити аеродинамичке коефицијенте односно унети вредности за дати пројектил који се добија из прорачуна аеродинамичких коефицијнта при несиметричном опструјавању. Како би се повећала тачност корак интеграције има мању вредност чиме се поред тачности повећава и број резултата прорачуна у одређеном времену, чиме се узрокује немогућност приказивања свих резултата због њиховог обима, тако да су резултати прорачуна који се налазе у табели 18 садрже само крајње вредности у датом времену.

Табела 17. Улазни подаци(датотека SB06U.DAT)

Ред. Број	Улазни параметар	Ознака	Вредност (интервал вредности)		Јединица мере
1.	Почетно време	t_0	0	-	s
2.	Корак интеграције	h	0,001	-	-
3.	Гранично време за прорачун	t_k	20	-	s
4.	Гранични домет за прорачун	x_k	5000	-	m
5.	Гранична висина путање за прорачун	z_k	0	-	m
6.	Интервал прорачуна стабилности	t_1, t_2	0	-	s
7.	Бројач корака за испис података	n	10	1	-
8.	Подаци о ветру	W_x, W_y	0	-	m/s
9.	Почетни положај	x_0, y_0, z_0	0	-	m
10.	Полазна брзина	U_0, V_0, W_0	850	-	m/s
11.	Полазна угаона брзина	p_0, q_0, r_0	10 437	-	m/s
12.	Полазни угао става	$\varphi_0, \theta_0, \psi_0$	0	1-5	°

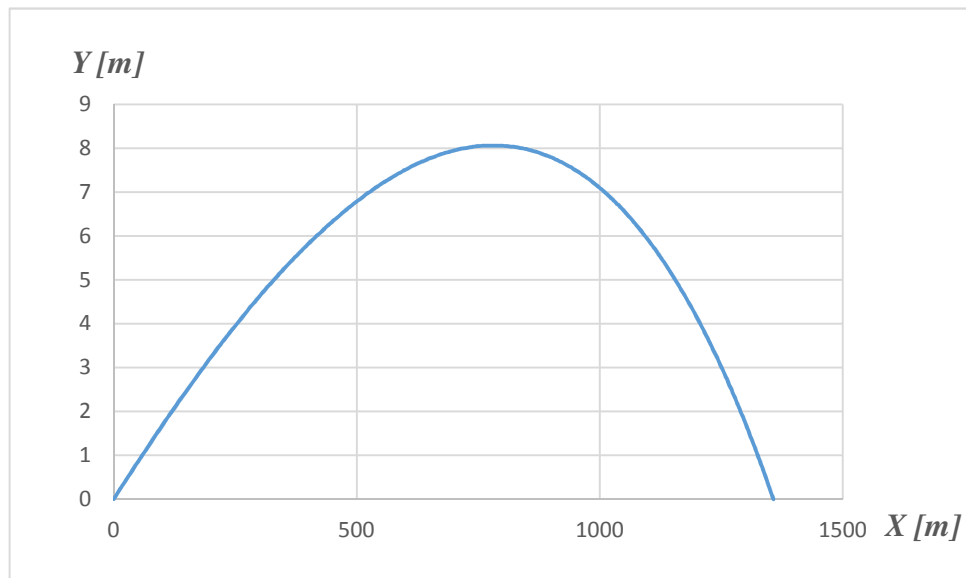
Табела 18. Резултати прорачуна(датотека SB061.DAT)

Ред. број	Почетна брзина $V_0 [m/s]$	Полазни угао $\theta_0 [^\circ]$	Домет $X [m]$	Висина падне тачке $Y_c [m]$	Време лета $T [s]$	Падна брзина $V_c [m/s]$
1.	850	1	1357,3	0	2,558	344,3
2.	850	3	2333,3	0	5,881	268,7
3.	850	5	3002	0	8,547	240,9

Коришћењем резултата прорачуна урађени су дијаграми на коме су приказани елементи путање, услови стабилности и промене угла (нападног и клизног) за три полазна угла.

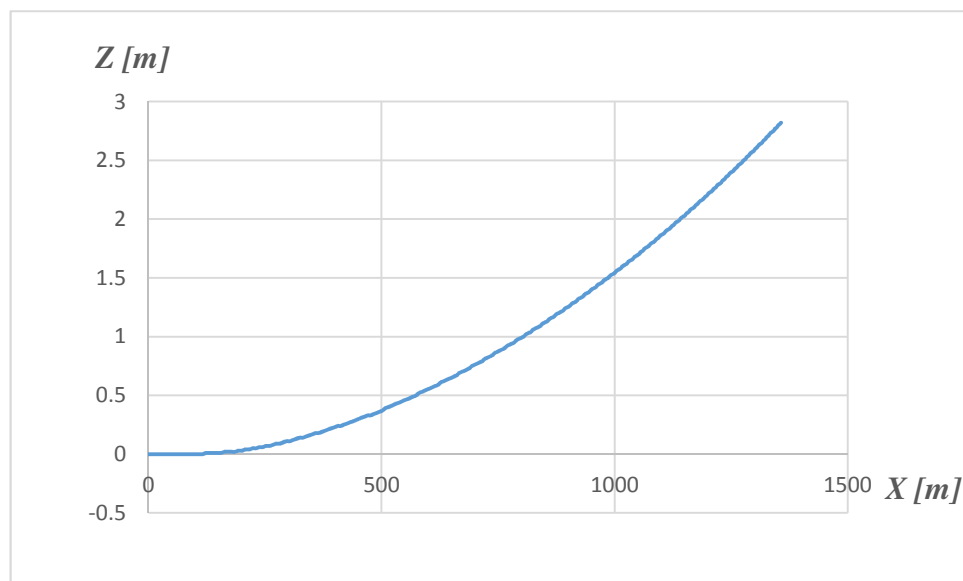
- Дијаграми елемената путање лета пројектила 20 mm ТЗО М57 при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$.

На слици 56 приказана је промена ординате путање за одговарајуће домете при одговарајућем полазном углу.



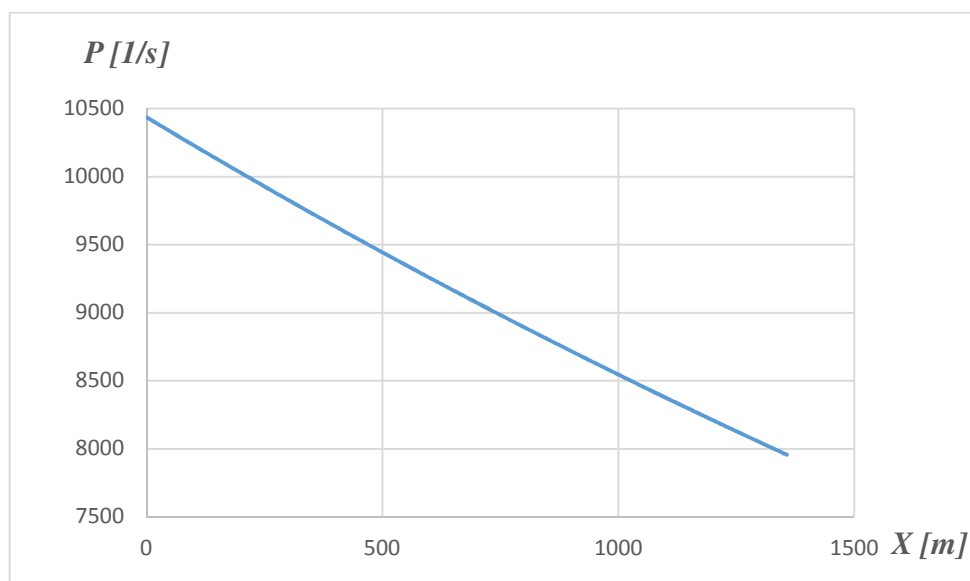
Слика 56. Промена ординате у путање за полазни угао $\Theta_0=1^\circ$ одговарајуће домете x

На слици 57 приказана је промена правца путање за одговарајуће домете при одговарајућем полазном углу.



Слика 57. Промена правца на путањи z за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$

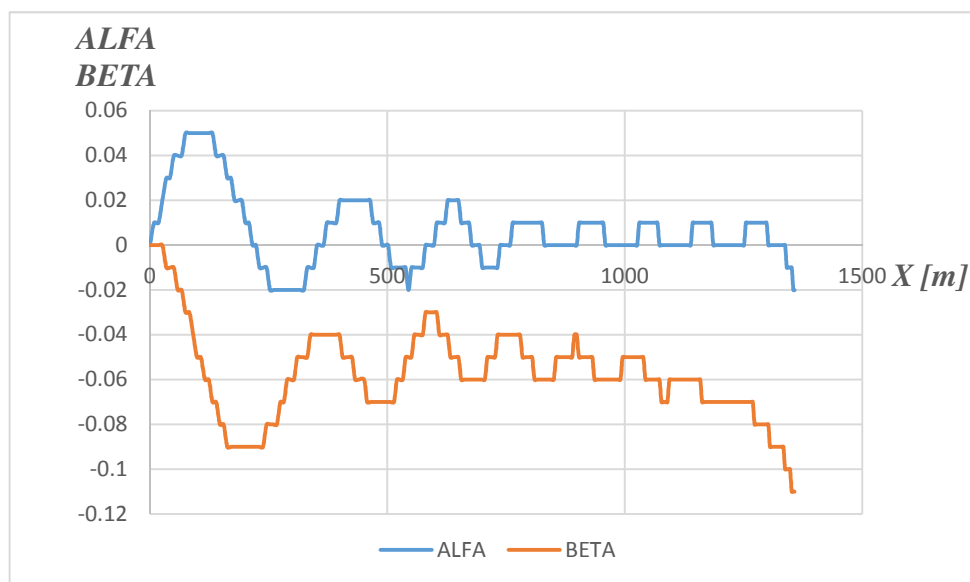
На слици 58 приказана је промена угаоне брзине за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



Слика 58. Промена угаоне брзине за одговарајуће домете x при полазном углу

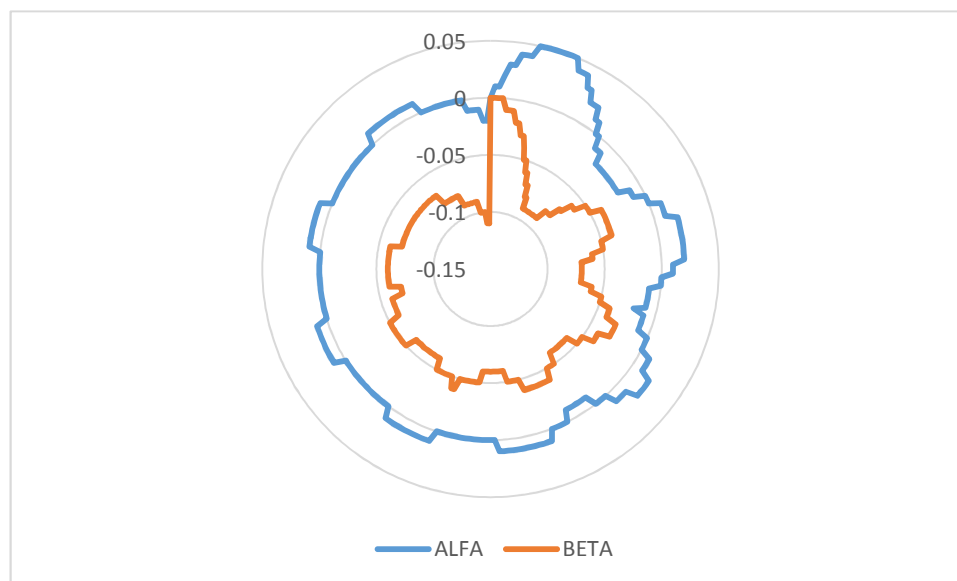
$$\Theta_0=1^\circ$$

На слици 59 приказана је промена нападних углова за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



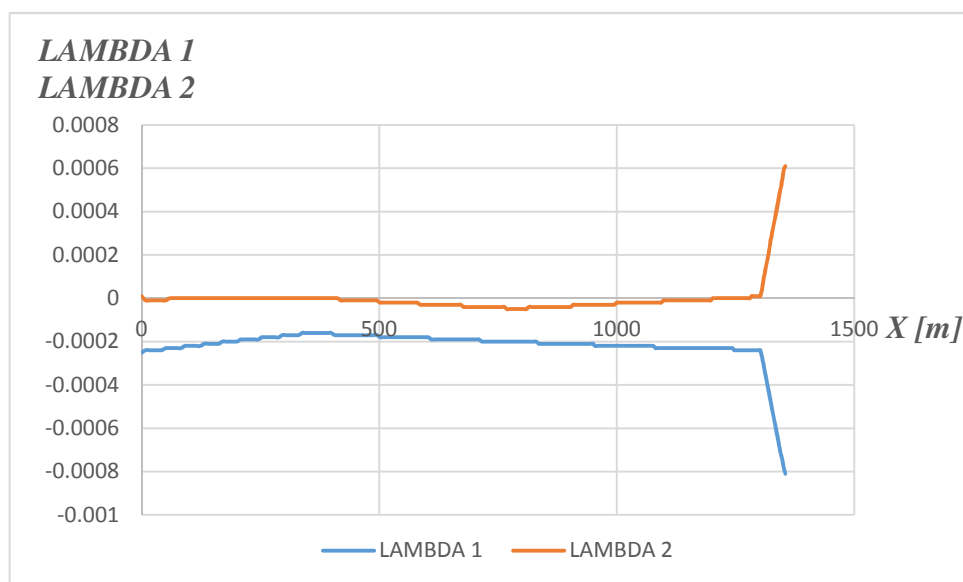
Слика 59. Промена вредности нападних углова α и β за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$

На слици 60 приказана је промена нападног угла у функцији промене угла клизања за одређен полазни угао.



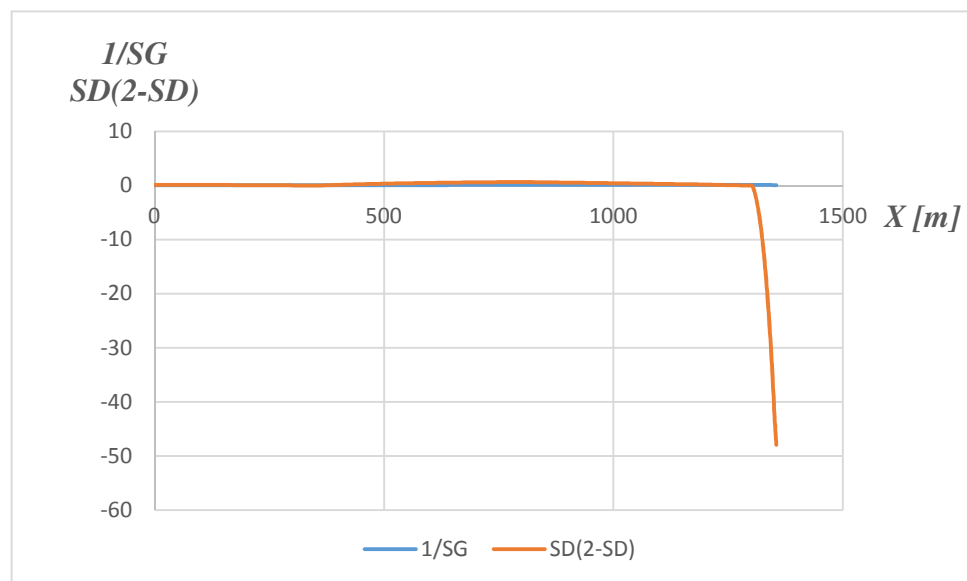
Слика 60. Промена нападног угла α у функцији промене угла клизања β при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$

На слици 61 приказана је промена коефицијента на путањи при одређеном полазном углу.



Слика 61. Промена коефицијената LAMBDA 1 и LAMBDA 2 на путањи при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$

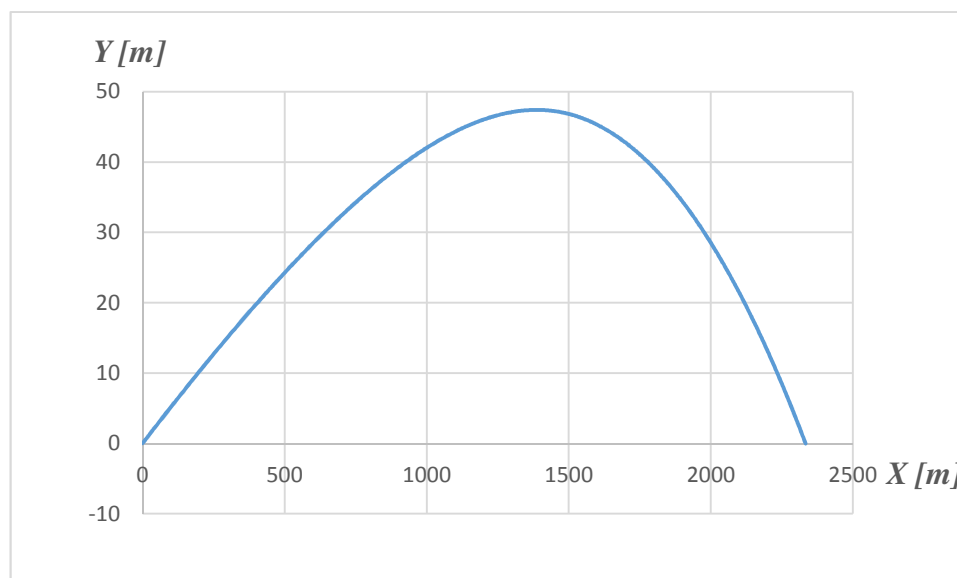
На слици 62 приказана је промена коефицијената на путањи при одређеном полазном углу.



Слика 62. Промена коефицијената $1/SG$ и $SD(2-SD)$ на путањи при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$

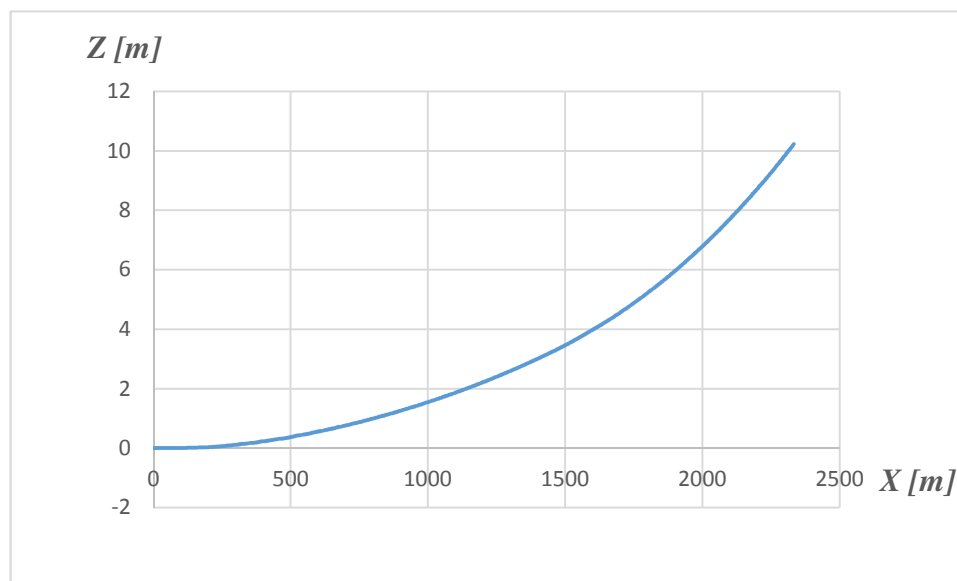
- Дијаграми елемената путање лета пројектила 20 mm ТЗО М57 при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$.

На слици 63 приказана је промена ординате путање за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



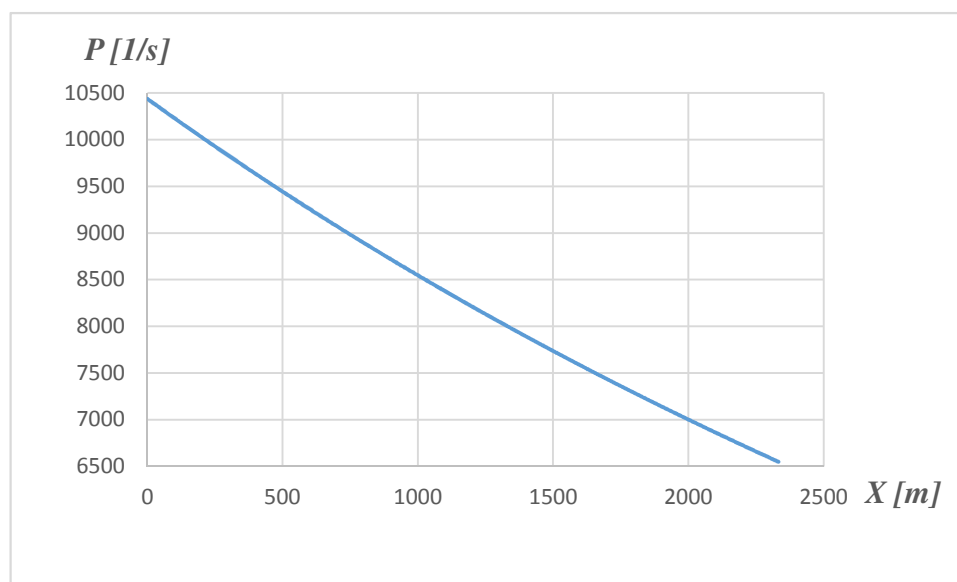
Слика 63. Промена ординате у путање за полазни угао $\Theta_0=3^\circ$ одговарајуће домете x

На слици 64 приказана је промена правца путање за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



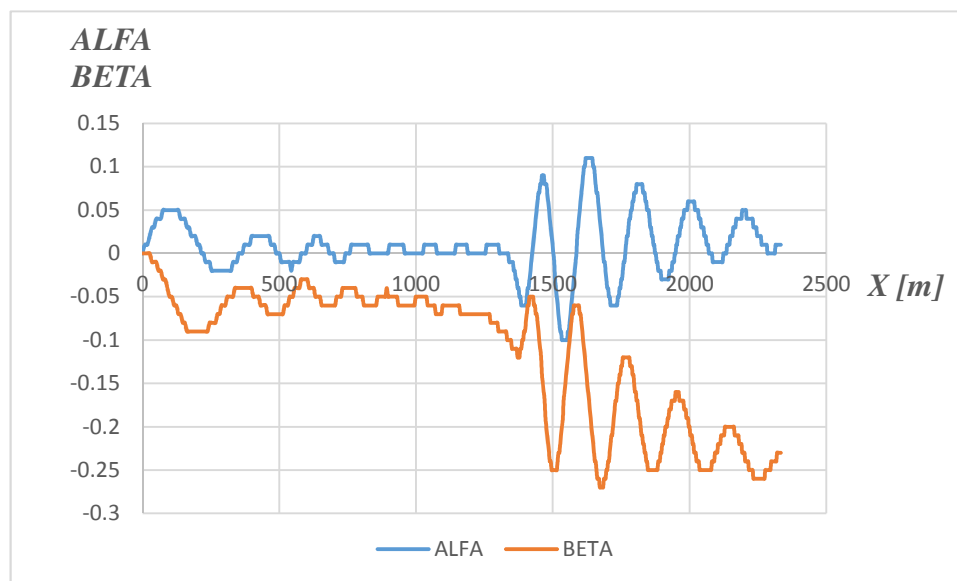
Слика 64. Промена правца на путањи z за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$

На слици 65 приказана је промена угаоне брзине за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



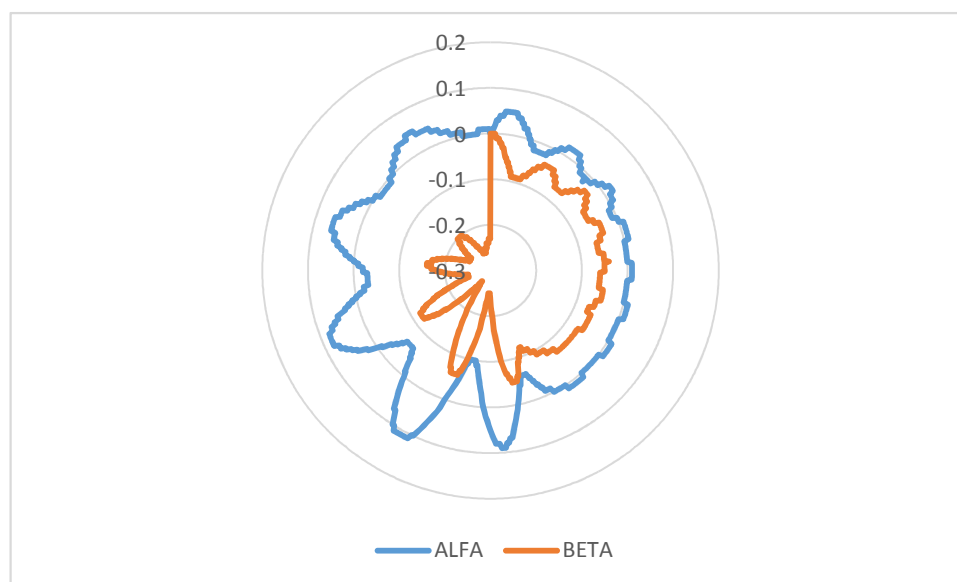
Слика 65. Промена угаоне брзине за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$

На слици 66 приказана је промена нападних углова за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



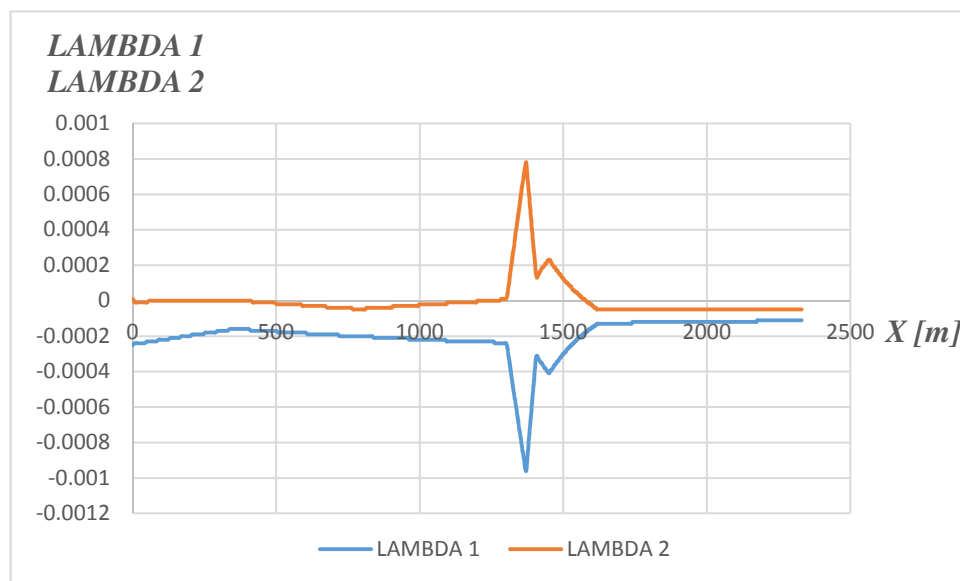
Слика 66. Промена вредности нападних углова α и β за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$

На слици 67 приказана је промена нападног угла у функцији промене угла клизања за одређен полазни угао.



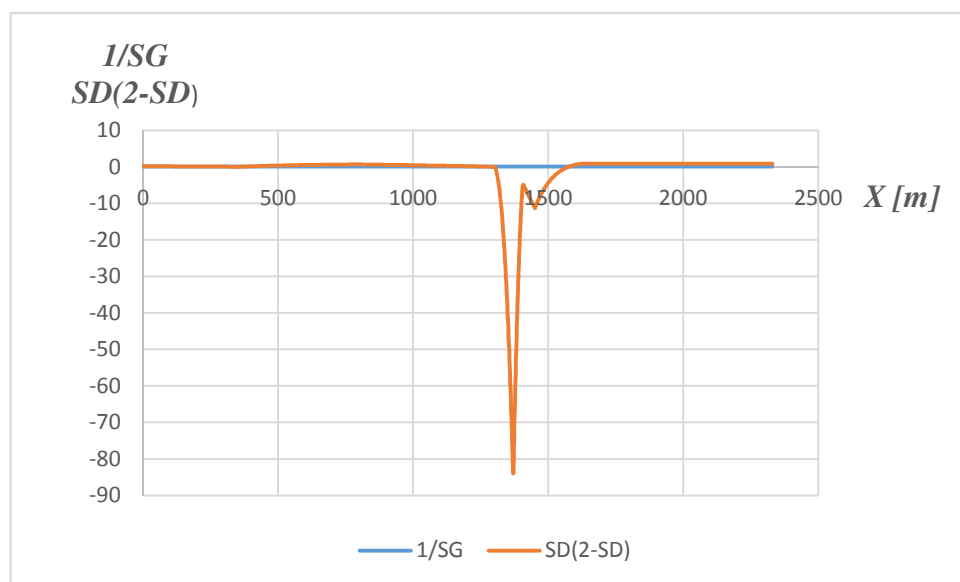
Слика 67. Промена нападног угла α у функцији промене угла клизања β при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$

На слици 68 приказана је промена коефицијента на путањи при одређеном полазном углу.



Слика 68. Промена коефицијената $LAMBDA 1$ и $LAMBDA 2$ на путањи при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$

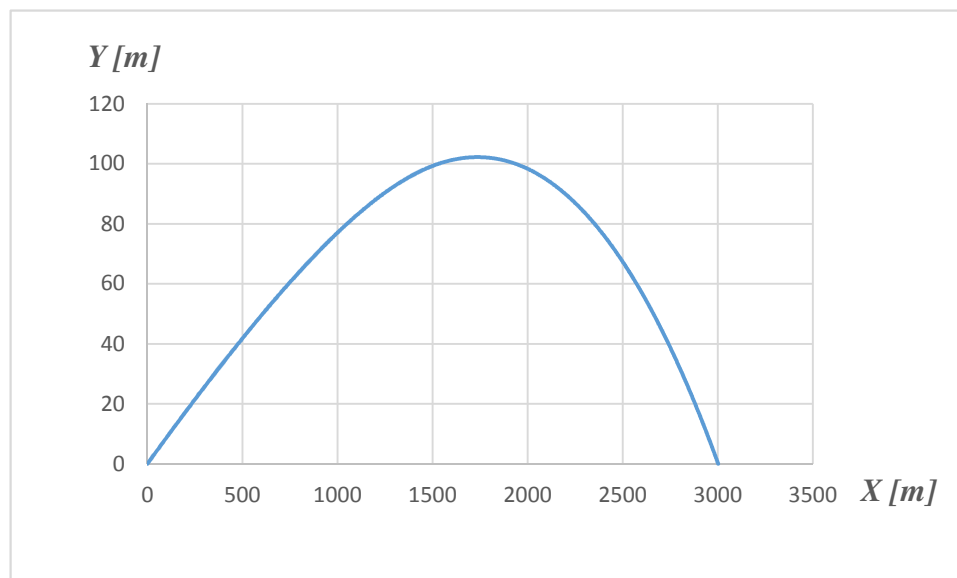
На слици 69 приказана је промена коефицијената на путањи при одређеном полазном углу.



Слика 69. Промена коефицијената $1/SG$ и $SD(2-SD)$ на путањи при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$

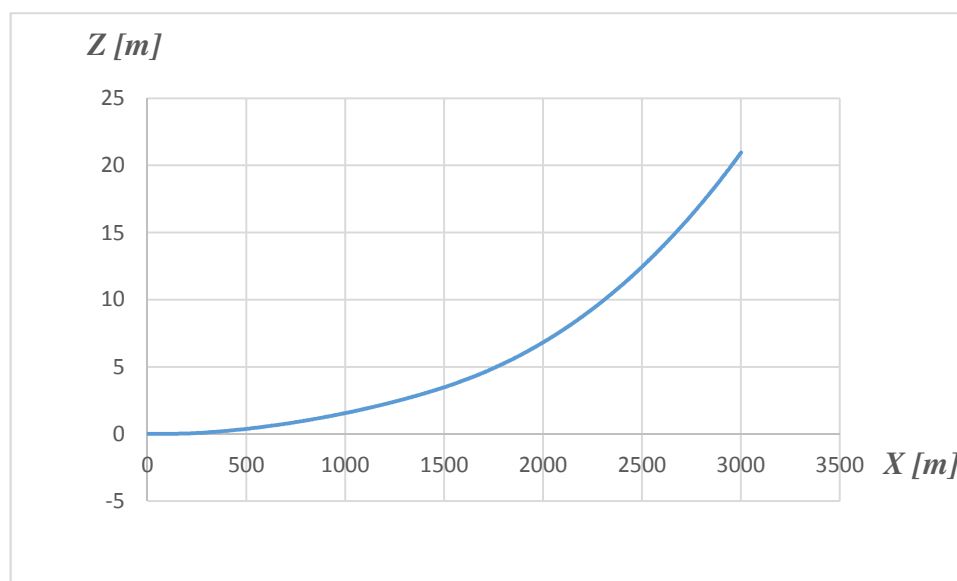
- Дијаграми елемената путање лета пројектила 20 mm ТЗО М57 при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$.

На слици 70 приказана је промена ординате путање за одговарајуће домете домете при одређеном полазном углу.



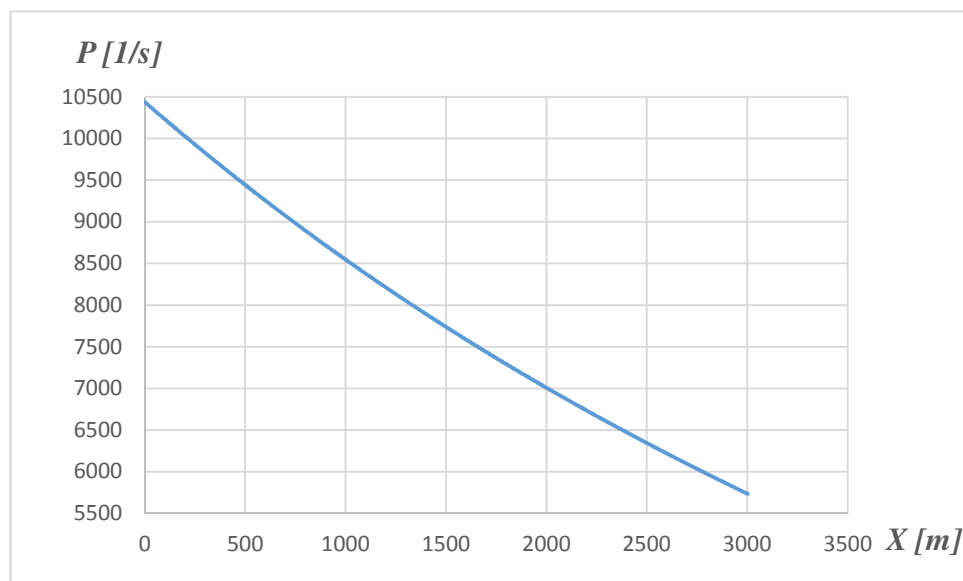
Слика 70. Промена ординате у путање за полазни угао $\Theta_0=5^\circ$ одговарајуће домете x

На слици 71 приказана је промена правца путање за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



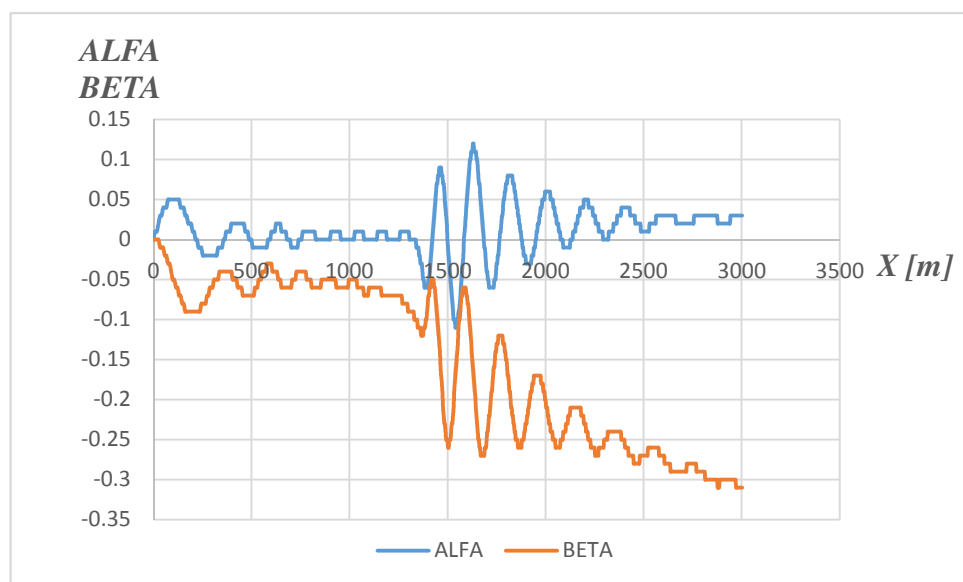
Слика 71. Промена правца на путањи z за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$

На слици 72 приказана је промена угаоне брзине за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



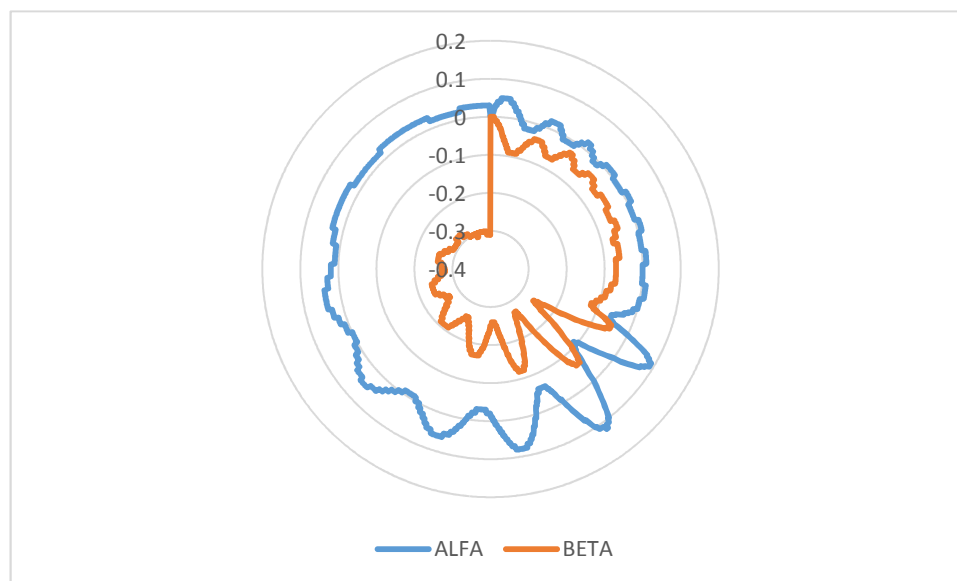
Слика 72. Промена угаоне брзине за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$

На слици 73 приказана је промена нападних углова за одговарајуће домете при одређеном полазном углу.



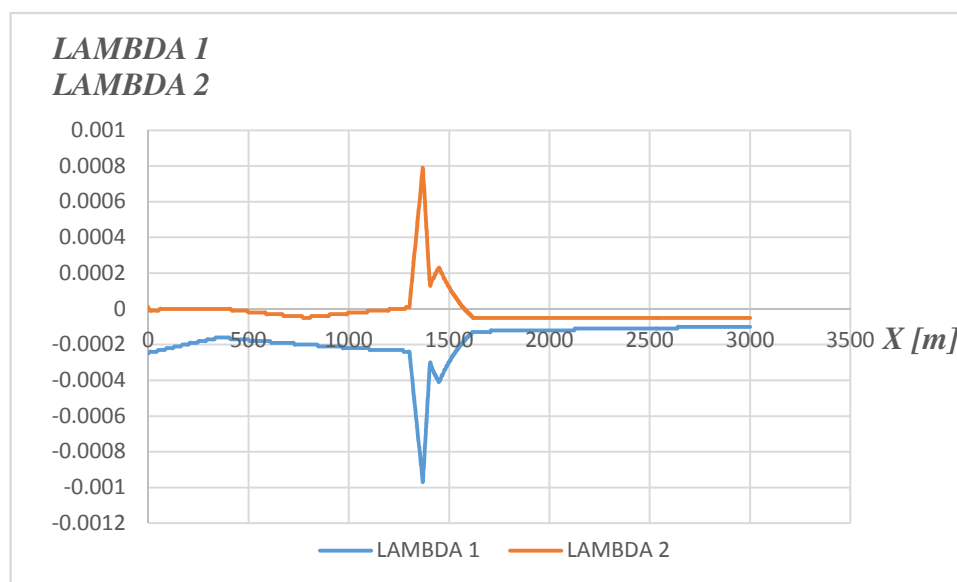
Слика 73. Промена вредности нападних углова α и β за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$

На слици 74 приказана је промена нападног угла у функцији промене угла клизања за одређен полазни угао.



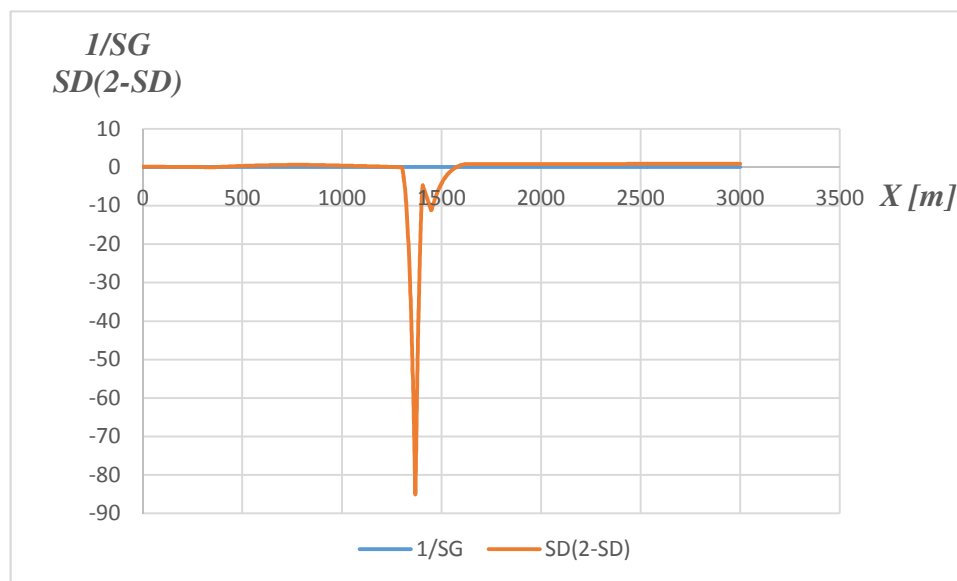
Слика 74. Промена нападног угла α у функцији промене угла клизања β при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$

На слици 75 приказана је промена коефицијента на путањи при одређеном полазном углу.



Слика 75. Промена коефицијената LAMBDA 1 и LAMBDA 2 на путањи при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$

На слици 76 приказана је промена коефицијената на путањи при одређеном полазном углу.



Слика 76. Промена коефицијената $1/SG$ и $SD(2-SD)$ на путањи при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$

3.3.8. Прорачун растурања погодака у вероватноћа погађања

Коришћењем програма TVERP.FOR извршен је прорачун мерила прецизности и диференцијалних коефицијената. На основу резултата може се уз коришћењем програма MS Office Excel добити дијаграми који нам приказују зависност растурања погодака по правцу и по даљини за познату даљину. У табели 19 налазе се полазне вредности неопходне за прорачун док су у табели 20 смештени резултати прорачуна. Прорачун је урађен за пројектил 20 mm ТЗО М57, пошто је реч о мањем калибру и у техничком упутству оруђа може се видети податак да је ефективна даљина гађања износи око 2000 m, тако да је прорачун урађен за даљину гађања до 2000m, где су мете постављене на сваких 100 m што значи да их укупно има 20.

Табела 19. Улазни подаци (датотека VERP.DAT)

Улазни параметар	Ознака у програму	Јединица мере	Вредност (интервал)
Почетна брзина	VI	m/s	850
Балистички коефицијент	CS	-	3,4374
Вероватно одступање	RVO	m/s	10

почетне брзине			
Вероватно одступање балистичког коефицијента	RC	-	1
Вероватно одступање полазног угла	RT0	°	0,1
Вероватно одступање угла скретања	RPSI	°	0,1
Број даљина	NX	<i>m</i>	20
Почетна даљина	XP	<i>m</i>	100
Прираштај даљине	DX	<i>m</i>	100
Висина циља	HC	<i>m</i>	2,5
Ширина циља	PLC	<i>m</i>	2,5
Дубина циља	DC	<i>m</i>	2,5

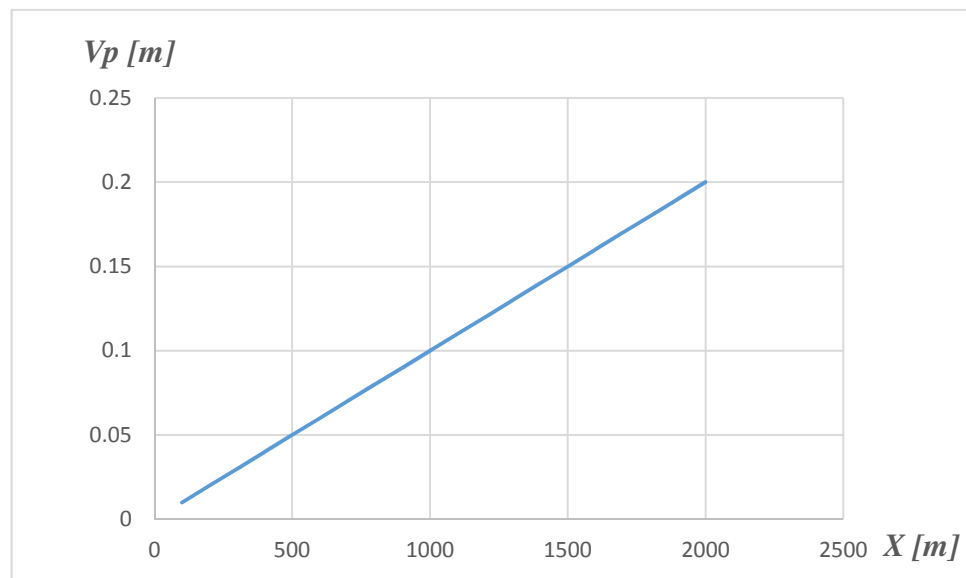
Табела 20. Резултати прорачуна (Датотека VERP.IZL)

Ред. Број	Домет X [m]	Време лета T [s]	Вероватно растурање по даљини V_d [m]	Вероватно растурање по правцу V_p [m]	Вероватно растурање по висини V_v [m]	Вероватноћа погађања P_v
1.	100	0,0011	13,538	0,01	0,01	1
2.	200	0,0126	13,15	0,02	0,02	1
3.	300	0,0802	13,464	0,03	0,033	1
4.	400	0,0574	14,024	0,04	0,049	1
5.	500	0,1333	14,665	0,05	0,069	1
6.	600	0,0439	15,382	0,06	0,094	1
7.	700	0,1296	16,386	0,07	0,125	1
8.	800	0,2209	17,439	0,08	0,164	1
9.	900	0,0121	18,401	0,09	0,211	1
10.	1000	0,1161	19,368	0,1	0,267	1
11.	1100	0,2273	20,338	0,11	0,335	0,99
12.	1200	0,042	21,388	0,12	0,418	0,96
13.	1300	0,169	22,279	0,13	0,514	0,91
14.	1400	0,0489	23,077	0,14	0,627	0,83

15.	1500	0,134	23,907	0,15	0,762	0,75
16.	1600	0,1586	24,62	0,16	0,918	0,66
17.	1700	0,1587	25,306	0,17	1,097	0,58
18.	1800	0,1495	25,901	0,18	1,295	0,51
19.	1900	0,0268	26,495	0,19	1,514	0,44
20.	2000	0,0914	27,023	0,2	1,766	0,39

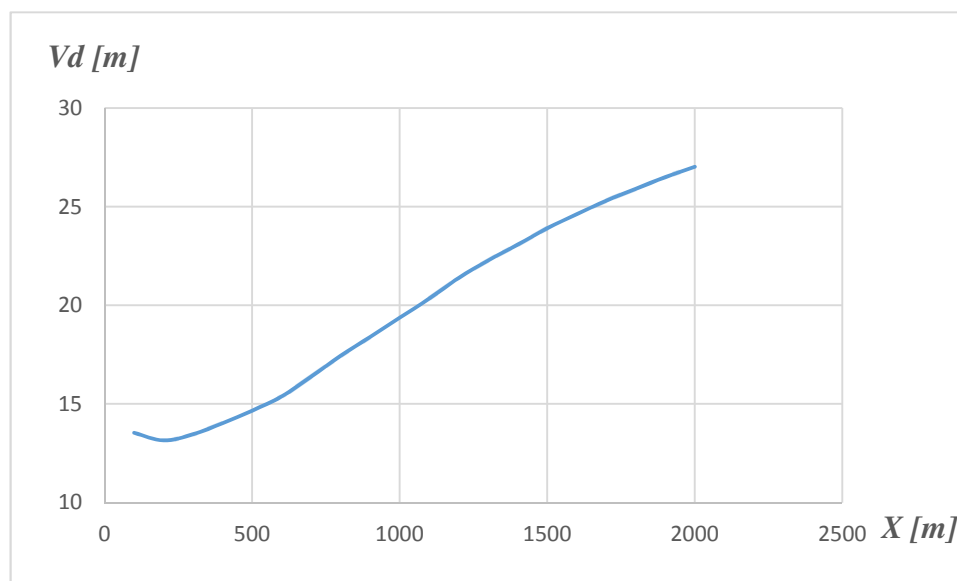
На основу резултата прорачуна као што је споменуто, коришћењем програма MS Office Excel урађени су дијаграми који нам јасно показују растурање погодака као и зависност растурања на одређеној даљини.

На слици 77 приказана је зависност растурања погодака по правцу.



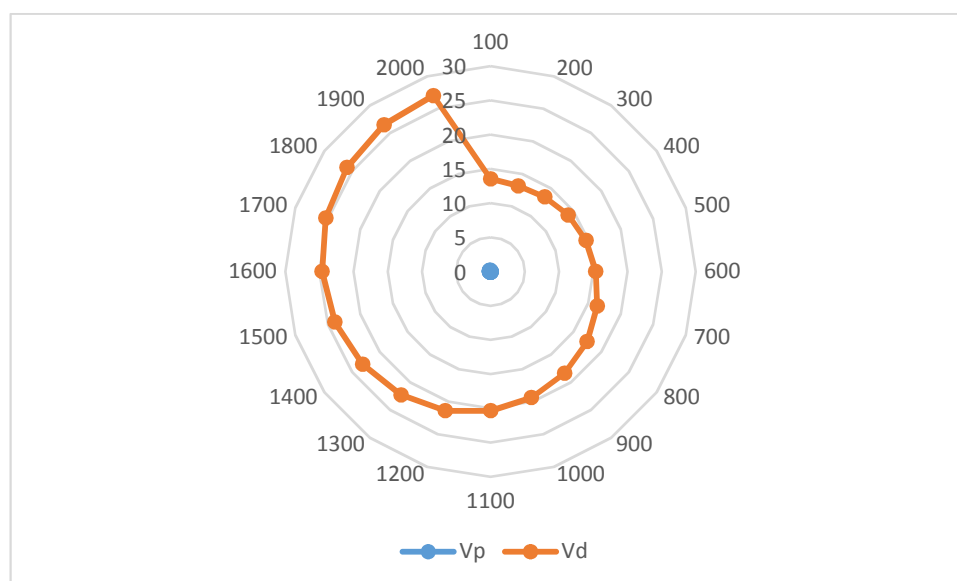
Слика 77. Зависност растурања по правцу $V_p(x)$ за даљину гађања до 2000 m.

На слици 78 приказана је зависност растурања погодака по даљини.



Слика 78. Зависност растурања по даљини $V_d(x)$ за даљину гађања до 2000 m.

На слици 79 приказана је зависност растурања по даљини и по правцу за даљину гађања до 2000m.



Слика 79. Зависност $V_d(x)$ и $V_p(x)$

3.3.9. Анализа резултата

На основу добијених резултата за сваки полазни угао, резултати су упоређени са табличним вредностима [10]. Резултати прорачуна налазе се у табелама(21,22,23) с'тим да су табеле подељене на основу полазног угла.

Табела 21. Анализа резултата при полазном углу $\Theta_0 = 1^\circ$

Ред. број	Програмско решење	Почетна брзина $V_0 [m/s]$	Полазни угао $\Theta_0 [^\circ]$	Домет $X [m]$	Време лета $t [s]$	Падна брзина $V_c [m/s]$	Падни угао $\Theta_c [^\circ]$
1.	SB2	850	1	1075	2,285	306,9	-1,99
2.	OJL3SSK	850	1	1458,86	2,583	379,63	-1,71
3.	SB6	850	1	1357,3	2,558	344,3	-1,85
4.	Табличне вредности [16]	850	1,11	1500	2,91	398	2,15

Табела 22. Анализа резултата при полазном углу $\Theta_0 = 3^\circ$

Ред. број	Програмско решење	Почетна брзина $V_0 [m/s]$	Полазни угао $\Theta_0 [^\circ]$	Домет $X [m]$	Време лета $t [s]$	Падна брзина $V_c [m/s]$	Падни угао $\Theta_c [^\circ]$
1.	SB2	850	3	1857,6	5,16	245,3	-5,92
2.	OJL3SSK	850	3	2540	6,169	260,55	-6,43
3.	SB6	850	3	2333,3	5,881	268,8	-6,13
4.	Табличне вредности [16]	850	3,09	2400	6,15	245	6,49

Табела 23. Анализа резултата при полазном углу $\Theta_0 = 5^\circ$

Ред. број	Програмско решење	Почетна брзина $V_0 [m/s]$	Полазни угао $\Theta_0 [^\circ]$	Домет $X [m]$	Време лета $t [s]$	Падна брзина $V_c [m/s]$	Падни угао $\Theta_c [^\circ]$
1.	SB2	850	5	2402,2	7,581	212,7	-9,87
2.	OJL3SSK	850	5	3207,04	8,985	222,29	-10,99
3.	SB6	850	5	3002	8,547	240,9	-9,91
4.	Табличне вредности [16]	850	5 08'	3000	8,84	207	11 28'

Анализирањем добијених резултата и упоређивањем са табличним, јасно се може закључити да најпрецизније решење даје *Путања пројектила са три степена слободе*

кретања односно „OJL3SSK.DAT”. Свакако због методе решавања појединих програма, полазни углови су цели односно у степенима што се манифестује на немогућност тачног поређења са табличним угловима из разлога јер су таблични у степенима и минутима. Тако да су се код избора табличних углова ради анализе, бирало таблични углови са најприближнији полазним угловима.

3.4. Прорачун параметра парчадног дејства на циљу

Парчад пројектила 20 mm ТЗО М57 добијена су експерименталном методом испитивањем у јами. Након детонације пројектила новонастала парчад су сакупљена и разврстана у групама на основу тежине и броја парчади. Мерење парчади извршено је помоћу техничке ваге Mettler P1200, приказане на слици 80.



Слика 80. Мерење масе парчади

Након мерење масе, парчад је класификована по масеним групама (табела 24).

Табела 24. Класификација парчади у масеној групи

Ред. број	Масена група [g]	Број парчади
1.	$0 < m < 0,15$	77
2.	$0,15 < m < 0,3$	23
3.	$0,3 < m < 0,7$	27

4.	$0,7 < m < 1,2$	20
5.	$1,2 < m < 5$	17
6.	$5 < m < 10$	6
7.	Више	1
Укупно	133	172

3.4.1. Прорачун броја парчади

Као што је наведено у теоријском делу било је више покушаја за теоријско одређивање броја парчади. Данашња достигнућа и даље не могу да дају јасну формулу која би обезбидала задовољавајуће резултате. Споменута емпиријска формула Јустрова (Justrow) обједињује главне факторе од којих зависи број парчади међутим даје већа одступања од експерименталних. Треба споменути да ова формула се највише користи за средње и велике калибре.

За пројектил 20 mm ТЗО М57 израчунат је број парчади преко Јустрове (Justrow) формуле. Са обзиром да је кошуљица од гранитног челика и да се за израду кошуљица користило више врста челика, на основу доступне литературе и таблица [5,12] усвојен је челик Č4130 који спада у групу челика за побољшање. Челик је усвојен тако да има слични напон течења као и гранитни.

Решавањем Јустрове (Justrow) формуле из израза (42) добија се следећа вредност:

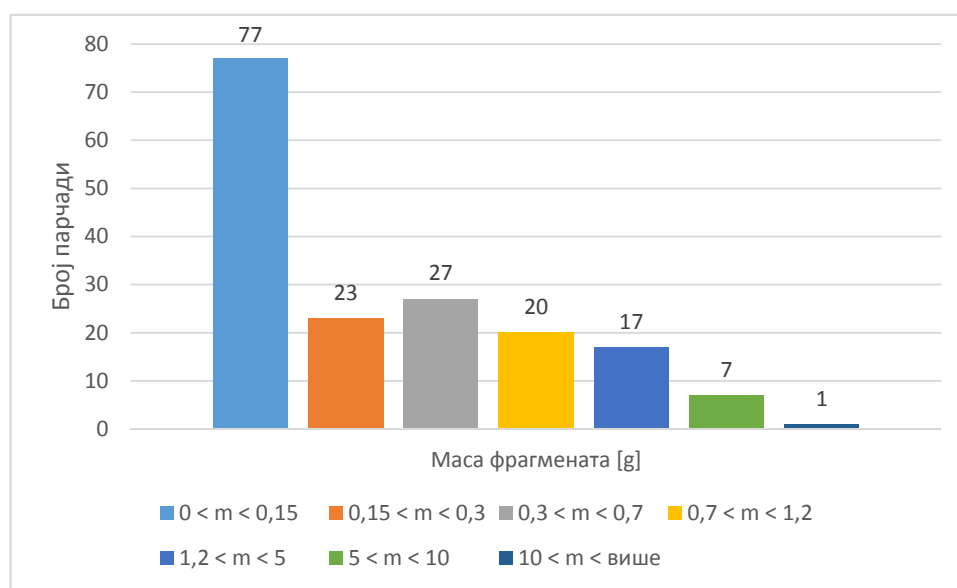
$$N = 46 \cdot (6/2) \cdot (600/1000 \cdot 27) \cdot ((1,5 + 0,5)/(1,5 - 1))$$

$$N = 12,267$$

Добијањем вредности из Јустрове (Justrow) формуле јасно се може видети да постоји велико одступање резултата од експерименталних (Табела 24). Може се закључити да је велики опсег резултата због масе ЕП. Као што је споменуто да се формула користи за средње и велике калибре а да у овом случају маса ЕП за пројектил 20 mm ТЗО М57 је само 6g закључује се да због масе пројектила и малог калибра формула Јустров (Justrow) не може сматрати задовољавајућом за пројектил 20 mm ТЗО М57 због великих одступања.

3.4.2. Дијаграм расподеле парчади у масеним групама

Коришћењем броја и масе парчади израђен дијаграм (слика 81) са кога се може видети број парчади у месној групи. Са дијаграма јасно се може закључити да је највећи број парчади у групи $0 < m < 0,15$ g односно њих $N=77$, међутим због мале масе парчади доводи се у питање ефикасност на циљу, односно да ли ће парче из те масене групе постићи ефекат или пробој препреке. Друге масене групе имају свакако мањи број парчади што се манифестује на вероватноћу погађања циља, међутим због веће масе парчади повећава се и ефикасност на циљу или пробој препреке. Треба имати у обзир да се са повећањем масе парчади смањује њихов број као и вероватноћа погађања циља.



Слика 81. Број парчади у масеној групи

4. ЗАКЉУЧАК

Сумирањем резултата свих прорачуна може се закључити да пројектил 20 mm ТЗО М57 да има задовољавајуће параметре. У прорачуну кретања кроз цев оруђа, анализом резултата утврђено је да је споменути пројектил безбедан за употребу и да током кретања кроз цев оруђа неће доћи до нежељених ефеката. Са аспекта прорачуна лета пројектила од оруђа до циља примећено је да пројектил задовољава критеријуме попут домета али приликом одређивања аеродинамичких коефицијената приказано је да има лошије спољнобалистичке карактеристике попут врха пројектила. Једна од лошијих особина јесте и вероватноћа растурања погодака по даљини чиме се смањује вероватноћа погађања циља. Због малог калибра и мале масе ЕП у прорачуну парчадног дејства на основу броја и масе парчади утврђено је да се доводи у питање ефикасност парчадног дејства пројектила која је врло мала, што се и може очекивати од разорних пројектила овог калибра. Потребно је нагласити да се ефикасност дејства из аутоматских топова 20 mm првенствено заснива на великој густини ватре и вишеструким дејством више пројектила по једном циљу.

На основу комплетне анализе закључује се да дати пројектил може испунити захтеве на основу његове намене. С тим да у будућности, уколико се укаже потреба, овај пројектил могао би се модификовати и унапредити недостатке који су показали резултати прорачуна.

Списак скраћеница

HEI – High-Explosive Incendiary

ТЗО- тренутно-запаљиво-обележавајући

ТНТ- Тротил(тринитротолуен)

ЕП-Експлозивно пуњење

Списак слика

Слика 1. Артиљеријска оруђа калибра 20×110 mm у наоружању ВС	6
Слика 2. Спољни изглед муниције калибра 20 mm „Хиспано“ у ВС	7
Слика 3. Метак 20mm са тренутно-запаљиво-обележавајућим пројектилом М57	8
Слика 4. Упаљач УТ М57 СМ у осигураном стању делова	10
Слика 5. Изглед пресека упаљача УТ М57 СМ током армирања	10
Слика 6. Изглед пресека упаљача УТ М57 СМ током активирања	11
Слика 7. Изглед муниције 20×110 mm у микроамбалажи и у макроамбалажи	12
Слика 8. Подела пројектила на сегменте	12
Слика 9. Дејство силе F_b на пројектил	17
Слика 10. Урезивања водећег прстена	19
Слика 11. Приказ напрезања у бочном зиду кошуљице пројектиала	19
Слика 12. Дејство сила на дно разорног пројектила	21
Слика 13. Обртање пројектила око тежишта	23
Слика 14. Димензије пројектила дате у програмском решењу	26
Слика 15. Парчад кошуљице разорног пројектила	34
Слика 16. Упаљач М57 (УТ М57 СМ)	34
Слика 17. Правци разлетања парчади	36
Слика 18. Изглед обора или арене	37
Слика 19. Разарање пројектила у песку	38
Слика 20. Крива $N_e/N = f(m_p/m_{sr})$	38
Слика 21. Ручна бомба М75 (црна кашикара)	40
Слика 22. Против пешадијска мина ПМР-2А	40
Слика 23. Пројектил 20 mm ТЗО М57	41
Слика 24. Упаљач УТ М57 СМ	42
Слика 25. Кошуљица	43
Слика 26. Водећи прстен	44
Слика 27. Експлозивно пуњење	45
Слика 28. Обележавајућа пиротехничка смеша	46
Слика 29. Покривка	47
Слика 30. пројектил 20 mm ТЗО М57	48
Слика 31. Напрезање зида кошуљице пројектила 20 mm ТЗО М57	59
Слика 32. Аеродинамички коефицијент аксијалне силе	64
Слика 33. Аеродинамички коефицијент момента скретања	65
Слика 34. Аеродинамички коефицијент момента пропињања	65
Слика 35. Дериват аеродинамичког коефицијента $CMST+CMQ$	66
Слика 36. Дериват коефицијента бочне силе	66
Слика 37. Аеродинамички коефицијент отпора аксијалне силе	68
Слика 38. Таласни отпор врха пројектила	69
Слика 39. Отпор трења	69
Слика 40. Отпор водећег прстена	70
Слика 41. Таласни отпор задњег конуса	70
Слика 42. Отпор дна пројектила	71
Слика 43. Однос $PB/P1$	71
Слика 44. Путања пројектила у ваздушном простору	74
Слика 45. Промена брзине на путањи у ваздушном простору	74
Слика 46. Промена угла на путањи у ваздушном простору	75
Слика 47. Путања пројектила у ваздушном простору	75
Слика 48. Промена брзине на путањи у ваздушном простору	76

Слика 49. Промена угла на путањи у ваздушном простору _____	76
Слика 50. Путања пројектила у ваздушном простору _____	77
Слика 51. Промена брзине на путањи у ваздушном простору _____	77
Слика 52. Промена угла на путањи у ваздушном простору _____	78
Слика 53. Промена домета пројектила за различите полазне углове _____	81
Слика 54. Промена ординате темена за различите домете _____	81
Слика 55. Промена падне брзине при различитим дометима _____	82
Слика 56. Промена ординате у путање за полазни угао $\Theta_0=1^\circ$ одговарајуће домете x _____	84
Слика 57. Промена правца на путањи z за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$ _____	84
Слика 58. Промена угаоне брзине за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$ _____	85
Слика 59. Промена вредности нападних углова α и β за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$ _____	85
Слика 60. Промена нападног угла α у функцији промене угла клизања β при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$ _____	86
Слика 61. Промена коефицијената LAMBDA 1 и LAMBDA 2 на путањи при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$ _____	86
Слика 62. Промена коефицијената $1/SG$ и $SD(2-SD)$ на путањи при полазном углу $\Theta_0=1^\circ$ _____	87
Слика 63. Промена ординате у путање за полазни угао $\Theta_0=3^\circ$ одговарајуће домете x _____	87
Слика 64. Промена правца на путањи z за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$ _____	88
Слика 65. Промена угаоне брзине за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$ _____	88
Слика 66. Промена вредности нападних углова α и β за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$ _____	89
Слика 67. Промена нападног угла α у функцији промене угла клизања β при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$ _____	89
Слика 68. Промена коефицијената LAMBDA 1 и LAMBDA 2 на путањи при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$ _____	90
Слика 69. Промена коефицијената $1/SG$ и $SD(2-SD)$ на путањи при полазном углу $\Theta_0=3^\circ$ _____	90
Слика 70. Промена ординате у путање за полазни угао $\Theta_0=5^\circ$ одговарајуће домете x _____	91
Слика 71. Промена правца на путањи z за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$ _____	91
Слика 72. Промена угаоне брзине за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$ _____	92
Слика 73. Промена вредности нападних углова α и β за одговарајуће домете x при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$ _____	92
Слика 74. Промена нападног угла α у функцији промене угла клизања β при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$ _____	93
Слика 75. Промена коефицијената LAMBDA 1 и LAMBDA 2 на путањи при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$ _____	93
Слика 76. Промена коефицијената $1/SG$ и $SD(2-SD)$ на путањи при полазном углу $\Theta_0=5^\circ$ _____	94
Слика 77. Зависност растурања по правцу $V_p(x)$ за даљину гађања до 2000 m. _____	96
Слика 78. Зависност растурања по даљини $V_d(x)$ за даљину гађања до 2000 m. _____	97
Слика 79. Зависност $V_d(x)$ и $V_p(x)$ _____	97
Слика 80. Мерење масе парчади _____	99
Слика 81. Број парчади у масеној групи _____	101

Списак табела

Табела 1. Класификација броја и масе парчади.....	38
Табела 2. Динамичке вредности ТЗО пројектила 20mm M57	49
Табела 3. Приказ вредности радијуса и корака за сваки сегмент.....	50
Табела 4. Прорачун масе, центра масе и главних момената инерције кошуљице ТЗО пројектила 20mm M57 табличном методом.....	54
Табела 5. Прорачун масе, центра масе и главних момената инерције ЕП ТЗО пројектила 20mm M57 табличном методом	56
Табела 6. Прорачун напрезања зида кошуљице ТЗО пројектила 20mm M57	58
Табела 7. Улазни подаци(датотека TELO)	63
Табела 8. Резултати прорачуна(датотека KOEFIC1)	63
Табела 9. Улазни подаци (датотека ULAZ10).....	67
Табела 10. Резултати прорачуна(датотека IZLAZ10).....	67
Табела 11. Улазни подаци(датотека SBU2.DAT)	72
Табела 12. Улазни подаци(датотека SBK.DAT)	72
Табела 13. Резултати прорачуна(датотека SB2I.DAT)	73
Табела 14. Приказ начина добијања вредности балистичког коефицијента у програму Excel	78
Табела 15. Улазни подаци(датотека OJL3SSU.DAT).....	80
Табела 16. Резултати прорачуна(датотека OJL3SSR.DAT)	80
Табела 17. Улазни подаци(датотека SB06U.DAT)	83
Табела 18. Резултати прорачуна(датотека SB06I.DAT)	83
Табела 19. Улазни подаци (датотека VERP.DAT).....	94
Табела 20. Резултати прорачуна (Датотека VERP.IZL)	95
Табела 21. Анализа резултата при полазном углу $\theta_0 = 1^\circ$	98
Табела 22. Анализа резултата при полазном углу $\theta_0 = 3^\circ$	98
Табела 23. Анализа резултата при полазном углу $\theta_0 = 5^\circ$	98
Табела 24. Класификација парчади у масеној групи.....	99

Литература

- [1] Богданов, Ј.:Скрипта за наставу из предмета Основи конструкције убојних средстава, Војна академија, 2019.
- [2] Бродски противавионски систем наоружања 20 mm M71/08 са системом за управљање ватром. yugoimport. [приступљено 2020]
<https://www.yugoimport.com/cir/proizvodi/brodski-protivavionski-sistem-naoruzanja-20mm-m7108-sa-sistemom-za-upravljanje-vatrom>.
- [3] Самоходни противавионски топ 20/3 mm M55A4M1 (ПАТ 20/3 ММ М55А4М1),Опис, Руковање, Основно и техничко одржавање. 1989.
- [4] Угрчић М.:Основи конструисања пројектила и упаљача (збирка решених задатака са изводима из теорије), Војна академија, Београд, 2008.
- [5] Стаматовић, А.: Конструисање пројектила . Београд : Ivekху, 1995.
- [6] Регодић, Д.: Збирка решених задатака из спољне балистике. Београд : ВИЗ-секција за штампање и умножавање, 2003.
- [7] Физика. Blooger.com. [приступљено 2020]
<http://fizikajazid.blogspot.com/2009/10/ugaona-brzina.html>.
- [8] Roque, A.: US Army ready to extend PrSM range, delays flight testing due to subcontractor 'accident'. Janes. [приступљено 2020] 19 July 2019.
<https://www.janes.com/defence-news/news-detail/us-army-ready-to-extend-prsm-range-delays-flight-testing-due-to-subcontractor-accident>.
- [9] Богданов, Ј: Познавање убојних средстава: Медија центар "Одбрана", 2015.
- [10] Таблице гађања за противавионски топ 20/3 М55 . 1974.
- [11] Регодић, Д.: Спољна балистика. Београд : Војна академија МО, 2006.
- [12] Технички Факултет "Михајло Пупин" Зрењанин. [приступљено 2020]
<http://www.tfzr.rs/Content/files/1/Prilozi.pdf>.