

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**

**Војна академија
Универзитета одбране у Београду**



**Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Наоружање
Предмет: Спољна балистика
Број индекса: 501/2016**

Стеван С. Ђорђевић

Анализа лета пројектила подцевних бацача граната

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. доцент др Дамир Јерковић
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да дефинише модел пројектила потцевних бацача граната, детаљно опише изабрани пројектил и систем наоружања за који је пројектил предвиђен са основним карактеристикама примене. За потребе прорачуна потребно је да се конструише модел помоћу CAD алата, представи се радионичким цртежом, односно прикажу геометријске и тактичко-техничке карактеристике. За дизајнирани модел пројектила потребно је да се изврши аеродинамички прорачун, као и прорачун елемената путање према одабраним моделима кретања. За добијене резултате прорачуна елемената путање потребно је да се изврши и прикаже упоредна анализа резултата.

Препоручена литература:

- [1]Регодић Душан, Збирка решених задата из спољне балистике, Београд, 2003;
- [2]Регодић Душан, Јерковић Дамир, Практикум из спољне балистике, Београд, 2007;
- [3]Регодић Душан, Спољна балистика, Београд, 2006;

Крагујевац, 23.09.2020. године

Ментор:
др доцент Дамир Јерковић

Резиме

На пољу аеродинамике се доста напредовало и данас постоји низ прорачуна којима се могу одредити параметри лета, било неког средства или пројектила испаљеног из неког оружја/оруђа. Анализа лета пројектила је сама по себи комплексна, јер се не може засигурно и прецизно одредити услови у којима се обавља кретање пројектила у атмосфери. Параметри лета се одређују помоћу програмских решења, и њима се углавном израчунавају домети, времена трајања лета пројектила, падне тачке, углови, брзине и сл. Програмска решења и анализе летова пројектила помажу при изучавању параметара који карактеришу путању или услове лета, дефинисању таблица гађања потребних корисницима одређеног средства, или дефинисању геометријских карактеристика самог пројектила.

Кључне речи: лет, пројектил, аеродинамика

Abstract

Great progress has been made in the field of aerodynamics, and today there are a lot of calculations that can determine the parameters of flight, either a means or a projectile fired from a weapon. The analysis of the projectile's flight is in itself complex, because it is not possible to determine with certainty and precision the conditions in which the movement of the projectile in the atmosphere takes place. Flight parameters are determined using software solutions, and they are mainly used to calculate the range, flight duration of the projectile, drop points, angles, speeds, etc. Software solutions and analysis of projectile flights help to study the parameters that characterize the trajectory or flight conditions, to define the shooting tables needed by the users of a particular device, or to define the geometric characteristics of the projectile itself.

Key words: flight, projectile, aerodynamics

Садржај

1. Увод.....	6
2. Бацачи граната.....	7
2.1. Историјски развој.....	7
2.2. Подцевни бацачи граната	10
2.2.1. Подцевни бацач граната ГП-25	10
2.2.2. Бацач подцевни М203	12
2.2.3. Бацач граната подцевни 40 mm (БГП-40)	14
2.3. Муниција за подцевне бацаче граната	16
2.3.1. Гранате ВОГ-25 и ВОГ25-П	17
3. Аеродинамичке силе и моменти. Систем једначина кретања пројектила у ваздушном простору	20
4. Резултати прорачуна.....	26
4.2.1. Одређивање аеродинамичких коефицијената.....	27
4.2.2. Одређивање елемената путање Ојлеровим балистичким моделом	33
4.2.3. Прорачун елемената путање.....	38
5. Анализа добијених резултата	41
Закључак	42
Литература.....	43
Прилози.....	45
Прилог 1	45
Прилог 2	46
Прилог 3.....	50
Прилог 4.....	51
Прилог 5.....	52
Прилог 6.....	53

1. Увод

Основни задатак неког оружја или оруђа је да испали пројектил који ће својим дејством нанети штету жељеном циљу.

Спољна балистика је научна дисциплина која проучава кретање одређеног аеродинамичког материјалног средства од тренутка његовог лансирања па до његовог крајњег одредишта, односно удара у циљ. То могу бити разна убојна средства, као и летелице на чији се лет не може утицати током кретања.

Као научна дисциплина, она се развијала са развојем технологије. Применом савремених рачунарских програма у складу са класичним или унапређеним моделима кретања могу се брже, лакше и прецизније одредити елементи путање, извршити анализе лета и параметара стабилности. Ова научна дисциплина је незамењива у војној индустрији

Путања пројектила је просторна крива која описује кретање центра масе пројектила. У зависности од угла гађања, разликују се: положене путање (почетни угао до 20°), убацне са почетним углом гађања до 45° и вертикалне са углом гађања преко 45° . У току свог лета, односно од тренутка када напусти уста цеви па до тренутка удара у циљ, пројектил мора имати задовољавајућу стабилност. Стабилност пројектила представља способност тела да његова уздужна оса симетрије у довољној мери прати правац брзине транслације, која је тангента у свакој тачки на трајекторији центра масе.

Бацач граната (БГ; енгл. *grenade lancer*, рус. *гранатомет*) је средство наоружања намењено за извршење ватреног дејства по незаклоњеном и заклоњеном људству ватреним средствима и неоклопљеним и лако оклопљеним возилима на даљинама до 2000 метара. Намењен је гађању циљева при различитим временским и теренским условима те се може монтирати на различите типове борбених возила, али на друга средства наоружања - подцевни бацачи граната.

Главни разлог за одабир ове теме је тај што је основно питање приликом испаливања неког пројектила то где ће он отићи, односно, која је његова путања лета и колико ће одступати од циља? Анализом његовог лета, добија се одговор на ово питање. Узимајући у обзир параметре атмосфере у којој се креће, као и карактеристике самог пројектила, помоћу различитих прорачуна може се одредити путања његовог лета, те претпоставити место његовог удара у циљ. Ова научна дисциплина је сама по себи занимљива, али и незамењива у војној индустрији и сигурно је да ће се у будућности развијати и модернизовати.

2. Бацачи граната

2.1. Историјски развој

Идеја за развојем бацача граната појављује се како би се учинак експлозије еквивалента ручне бомбе пренео на домете веће и од домета тромблонских мина, а притом имали прецизност која их вишеструко превазилази.

Почетком тридесетих година, совјетски конструктори наоружања су покушали да повећају ватрену моћ својих пешадијских снага, која није могла да се повећа простим увођењем аутоматског наоружања, већ пројектовањем нове врсте наоружања – аутоматског бацача граната, [8]. Студент Одеског института, Јаков Григорјевич Таубин је крајем августа 1931. године доставио свој пројекат Артиљеријском директору Црвене Армије. Након неколико месеци, Таубину је понуђено да у Ковровској фабрици наоружања ИНЗ-2 изради прототип свог оруђа, те су израђена два прототипа: један са вертикалним начином храњења и други за хоризонталним. Био је заснован на принципу слободног трзања затварача, хранио се оквиром од пет граната и потпуно новим типом гранате калибра 40,8 mm. Међутим, мало барутно пуњење није обезбеђивало захтеване перформансе, тако да је Таубин морао у потпуности да реконструише бацач, те је пројектовао нову аутоматику на принципу искоришћења енергије настале услед дугог трзања цеви чиме је покушао да обезбеди већу поузданост, [8].. Применом реденика је повећао брзину гађања, али је због прегревања цеви рафалном палбом морао да ограничи на одређен број граната. Од 1933. године су вршени многобројни тестови и прављени су прототипови нових модела скоро сваке године. 1937. године Таубинов бацач граната је истовремено успешно прошао тестове у три стрелјачке дивизије, те су утисци били генерално позитивни, а практична брзина гађања доведена је на ниво од 100 граната у минути. Аутоматски бацач граната званичне ознаке Таубин-Берголец АГ-2 (слика 1) упућен је на испитивање које је спроведено 1940. године током Зимског рата на Карелјском фронту. Због великог броја недостака, иако су отклоњени, заузет је негативан став према АГ-2, те се није увео у званичну употребу у војсци. Војска такође није развила тактичке и техничке карактеристике, није одредила место и улогу у хијерархији оружја и оруђа копнене војске, а такође није била ни развијена тактика његове употребе.



Слика 1. АГ-2 током теренског испитивања 30-их година 20. века, [8]

Након њега, бацачи граната појављују се у другој половини 20. века, где су се упоредно развијали и аутоматски и ручни бацачи граната, а тек након 1970. године у наоружање совјетских снага уведен је БГА 30 mm АГС-17 „Пламя” (слика 2), [9].



Слика 2. БГА 30 mm АГС-17 „Пламя” током ратних дејстава у Авганистану 1986. године[9]

Први бацач граната је уведен у наоружање војске Сједињених америчких држава шездесетих година прошлог века, са ознаком М129. М129 је усвојен према захтевима за ефикасним средством наоружања за борбене хеликоптере и речне патролне чамце. Због врло позитивних искустава, 1983. године у наоружање Корпуса морнаричке пешадије САД уведен је БГА 40 mm МК19 (слика 3), масе приближно 40 килограма без постолја, који је и дан данас у оперативној употреби. На бази Мк 19, у Совјетском савезу је усвојен АГС-17 који је био на постолју, те нешто лакши, око 32 килограма.



Слика 3. БГА 40 mm Мк19[10]



Слика 4. Ручни једнометни БГ 40 mm М79[11]

Први ручни бацач граната усвојен је у САД 1960. године БГ 40 mm М79 (слика 4). Овај Бацач граната је био основа за развијање новог типа бацача граната – подцевни бацач граната (БГП) 40 mm М203 (слика 5), који се од 1969. године налази у наоружању ОС САД и користи као индивидуално оружје војника стрелца.



Слика 5. Подцевни бацач граната (БГП) 40 mm М203[12]

Бацачи граната су се врло успешно користили током локалних ратова на просторима Југоисточне Азије. На почетку су се у Вијетнаму испаливали пројектили са стабилизаторима како би појачали стабилност при лету, али и прецизност. На основу позитивних искустава, широм света почиње развој сличних средстава. У наоружање совјетске војске, након успешне производње, 1978. године уведен је подцевни бацач граната 40 mm БГ-15, касније назван ГП-25, а потом и модернији, са мањом масом и бољом прецизношћу ГП-30 (БГП 40 mm). По узору на ГП-30, за потребе Војске Србије развијен је и домаћи производ подцевног бацача граната БГП 40x46 mm, [13].

Совјетски потцевни бацачи граната су засновани на другачијем принципу функционисања од осталих бацача граната у свету. Оружје се пуни спреда, што доноси многе предности у односу на све остале бацаче граната, који се пуне са задње стране цеви:

- једноставнија конструкција бацача граната са мање покретних делова;
- већа брзина гађања због мањег броја потребних радњи током гађања;
- боља прецизност због фиксиране цеви.

Муниција за совјетски бацач граната нема чауру, већ је погонско пуњење конструктивно реализовано у облику барутне коморе са барутним пуњењем, која је причвршћена за дно кошуљице гранате. То додатно доприноси већој брзини гађања, јер је цев након опаљења празна и нема потребе за њеним пражњењем пре увођења наредног метка.



Слика 6. Подцевни бацач граната БГП 40x46 mm [13]

Наведени бацачи граната користе муницију у калибру 40x46 mm или 40x53 mm и користе се у већини земаља Нато. Изузев војске Кине која користи калибар од 35 mm, са гранатом по угледу на руску која нема чауру, већ капислу која обезбеђује погон. Муниција за потцевне бацаче граната се у дејствима показала као јако моћно оружје, због велике густине ватре и броја парчади које разбацују у убојном радијусу гранате од 10 метара. Због тога су постали једно од најкоришћенијих оружја у оружаним снагама широм света.

2.2. Подцевни бацачи граната

Подцевни бацачи граната су намењени за уништавање живе силе, ватрених средстава и моторних возила непријатеља на отвореном простору и у заклонима пољског типа на даљинама од 50 до 400 m, непосредним гађањем до даљине од 400 m (доњом групом углова) и посредним гађањем до даљина од 350 m (горњом групом углова). Јавили су се као потреба за повећањем борбених могућности војника пешадије у модерним маневарским биткама. Предвиђен су за монтирање на аутоматским пушкама, испод цеви па отуда и назив подцевни бацачи граната. Монтира се на пикатини шину постављену на доњој облози. Већина типова подцевних бацача граната је рађена у калибру од 40 mm, а по конструкцији се разликују по начину пуњења, односно уношења метка у цев, и то: на бацаче граната преклопног типа, код којих се метак убацује са задње стране; и бацаче који су фиксирани целом дужином за цев аутоматске пушке, код којих се метак убацује са предње стране.

Најпознатији типови подцевних бацача граната су руски ГП-25 и модернији ГП-30, затим амерички представници M320 и његов претходник M203 и подцевни бацач граната који је произведен у крагујевачкој застави БГП 40x46 mm. Такође, постоје и кинески, као и француски представници.

2.2.1. Подцевни бацач граната ГП-25

Подцевни бацач граната ГП-25 (рус. подствольный гранатомет = подцевни бацач граната) развијен је између 1975. и 1978, на основу ранијих експеримената спроведених у СССР-у крајем 1960-их. Бацач ГП-25 је совјетска војска усвојила 1978. године за употребу на аутоматским пушкама 7,62 mm АКМ и 5,45 mm АК-74 (систем Калашњиков). Касније, током 1989. године руска војска је усвојила модел подцевог бацача ГП-30 побољшаног дизајна са истом борбеном ефикасношћу, али лакше, једноставније и јефтиније израде. Оба бацача користе исту муницију - фрагментационе гранате од 40 mm ВОГ-25 и ВОГ-25П. Обе врсте граната су засноване на истом интегралном дизајну који је врло поуздан и обезбеђује већу брзину гађања, погонско пуњење се налази на дну гранате, тако да, када се граната испљује, у цеви нема више шта да се уклони / извади пре пуњења следеће гранате, [15]. Бацач је монтиран помоћу шина са доње стране на спољној страни цеви оружја, гранатама се пуне са предње стране и држе у цеви за опругу. Неопалјене гранате се ваде помоћу уграђеног извлачења, које се налази на левој страни оружја. Механизам бацача је двоструког дејства тзв., „double-action“, поседује неколико аутоматизованих сигурносних механизма, који блокирају пуцање, када бацач или граната нису правилно постављени. Бацач ГП-25, за разлику од бацача M203, има своје сопствене нишане који су постављени на левој страни оружја, те се може гађати само са десног рамена. Бацачу ГП-30 је побољшана верзија бацача ГП-25, развијен је као лакша и јефтинија варијанта, са новијим побољшаним системом нишана који су премештени на десну страну оружја, чинећи нишањење угоднијим. Може се пуцати из стојећег, клечећег и лежећег положаја, а такође и из седећег под великим углом попут минобацача, те том приликом кундак главног оружја мора бити прислоњен на земљу. На слици 7 су приказани ГП-25 (десно) и ГП-30 (лево), на слици 8 је приказан подцевни бацач монтиран на пушку, а у табели 1 су дате основне тактичко-техничке карактеристике ових подцевних бацача граната, [16].



Слика 7. Подцевни бацачи граната 40 mm ГП-25 и ГП-30[16]

Табела 1. Тактичко-техничке карактеристике подцевних бацача граната ГП-25 и ГП-30;

	ГП-25	ГП-30
земља порекла	СССР	
година производње	1978.	1989.
година употребе	1978- и даље у уотреби	1989- и даље у уотреби
Калибар (mm)	40	
маса (kg)	1,5	1,3
укупна дужина (mm)	323	280
дужина цеви (mm)	205	
Ширина (mm)	75	70
Висина (mm)	195	
принцип рада	Неаутоматски (један метак)	
брзина гађања (мет/min)	4-5	10-12
почетна брзина (m/s)	76	
Домет (m)	400	
Модел гранате	ВОГ-25, ВОГ25П	
употреба	уградња на пушке АКМ, АКМС, АК-74, АК-74С	



Слика 8. Пушка 5,45 mm АК-107 са подцевним бацачем граната 40mm ГП-30 [17]

2.2.2. Бацач подцевни M203

Бацач граната M203 у калибру 40 mm дизајниран за причвршћивање на пушку. Користи исту муницију као и старији самостални ракетни бацач граната M79. Прилично свестран и компатибилан са многим моделима пушака, M203 је првобитно дизајниран за амерички M16 и његову варијанту, карабин M4. Лансер се такође може поставити на C7, канадску верзију пушке M16; међутим, ово захтева претходно уклањање доњег штитника. Постоје самосталне верзије M203, као и верзије дизајниране посебно за друге пушке. Уређај се поставља испод цеви, а окидач лансера налази се у задњем делу лансера, одмах испред магацина за пушке. Магазин за пушку се користи као рукохват приликом пуцања из M203. Одвојени систем нишана додат је пушкама опремљеним M203, јер стандардни нишани пушке нису усклађени са бацачем. Верзија уграђена у канадски C7 има нишан са бочне стране лансера, било лево или десно, у зависности од потреба корисника. Бацач граната M203 предвиђен је за употребу као блиска ватрена подршка против тачака и површина циљева. Метак је дизајниран да буде ефикасан при пробијању и експлозији, дизању у ваздух материјалних средстава, стварању вишеструких жртава, уништавању бункера или смештаја и оштећењу или онеспособљавању возила лаке оклопне или неоклопљене заштите. У вијетнамском рату, особље америчке морнарице и обалске страже на чамцима је бацало гранате од 40 мм у воду (користећи бацач граната M79), да би превентивно напало пливаче који су покушавали да поставе експлозив на усидрена или привезана америчка водна пловила. Поред тога, M203 се може користити као оружје за контролу гужве када је опремљено гранатама „M651 Tactical CS” (сузавац). Класификован као противпешадијско оружје, M203 није намењен за употребу против оклопних или тешких возила. Систем за лансирање граната M203 испоручује се са разним компонентама, обично укључујући бацач, адаптере за причвршћивање на пушке и нишане (који се могу користити са предњим нишаном пушке)[18].

За потребе своје војске, M203 је редизајниран и у јединицама САД-а замењен новијим модернијим M320, док су остале државе наставиле да користе M203. M320 има три главна дела: бацач граната са нарезаном цеви, дневни и ноћни нишан као и ручни ласерски даљиномер. Може се причврстити на јуришну пушку M16, карабин M4, или друге пушке, причвршћујући се испод цеви испред магацина, или се може користити демонтиран као самостални модел. Садржи склопиви предњи држач и краћу цев за компактније паковање. Нишани су морали бити поново конфигурисани да би се тачно пуцало са мало другачијом балистиком од краће дужине цеви. Систем је требало да буде лакши од M203, али заправо је мало тежи и не захтева специфичан додатак за монтирање. Тежак 1,67 кг у основној конфигурацији, 1,79 кг са даљиномером и електронским нишаном. M320 може да испали све НАТО експлозивне, димне и осветљавајуће гранате и има могућност да пуца одвојено од пушке, али су се војници жалили како имају потешкоће да га демонтирају[20].

M203 и M320 могу да испале све типове граната од 40 мм, са различитим експлозивним пуњењем, димним пуњењем, као и разне вежбовне међу којима су: (M433), (M406), (M583A1), (M585), (M713), (M781), (M651), (M576)...

На слици 9 су приказани M203 (десно) и M320 (лево), на слици 10 је приказан подцевни бацач монтиран на карабин, а у табели 2 су дате основне тактичко-техничке карактеристике ових подцевних бацача граната.



Слика 9. Подцевни бацачи граната M203 и M320[19], [20];

Табела 2. Тактичко-техничке карактеристике M203 и M320;

	M203	M320
земља порекла	SAD	
година производње	1969	2008.
година употребе	1969- и даље у употреби	2009- и даље у употреби
Калибар (mm)	40	
Маса (kg)	1,36	1,5
Дужина (mm)	380	350
принцип рада	један метак, „double action”	
брзина гађања (мет/min)	5-7	
почетна брзина (m/s)	76	
Домет (m)	400	
модел гранате	40x46 NATO	
употреба	M16, M4, C7	



Слика 10. M320 монтиран на карабин M4[21];

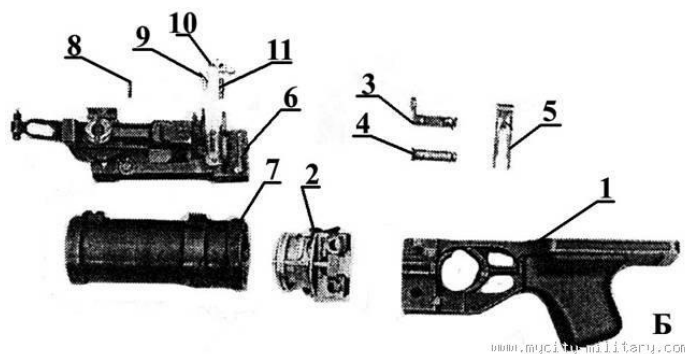
2.2.3.Бацач граната подцевни 40 mm (БГП-40)

БГП-40 се налази у употреби ВС, произведен је у Крагујевцу и намењен је за уништавање и неутралисање живе силе и ватрених средстава противника и неоклпљених моторних возила, на даљинама од 50 до 350 m непосредним гађањем (доњом групом углова на нишанској справи) и од 200 до 300 m посредним гађањем (горњом групом углова на нишанској справи). Бацач граната подцевни 40 mm је подвешен испод аутоматске пушке. Дизајн спречава пуцање из БГП 40 mm када није на пушки, иако функционише као систем који је одвојен од пушке. Унутрашњост цеви је хромирана. Гумени одбојник постављен је на пушку да амортизује ударац током пуцања. У директном гађању, нишањење се врши кроз гвоздене нишане (предњи и задњи). У индиректном нишању, стрелац користи висак. Намењен је за постављање испод цеви АП 7,62 mm М70 АБ и варијанти исте, а за нишањење користи сопствени механички нишан који омогућује непосредно и посредно гађање, [13]. Пуњење БГП-40 mm се врши са уста цеви што смањује број радњи при гађању у односу на системе који користе метке са лаборисаном чауром. Граната је ожљебљена на водећем прстену, па се вођење гранате кроз цев врши преко ожљебљења на гранати и цеви. За гађања из подцевниог бацача се користе гранате следећег дејства: парчадног – тренутно фугасног (ТФ граната), кумулативног – пробојног, запаљивог и димно – маскирног. За обуку у гађању се користи вежбовна граната. У случају да стрелац има помоћника - пуниоца, борбена брзина бацача граната може бити и до 30 испаљених граната у минути. БГП се носи у футроли или на борбеном прслуку. Комплет средства БГП-40 се састоји од: БГП-40, футрола за БГП-40, торбица за ношење граната, четкица за чишћење цеви, амортизер гумени за АП са преклапајућим кундаком, ремник амортизера, Упутство привремено за руковање и одржавање и техничка књижица.

На слици 11 су приказани делови БГП-а, на слици 12 БГП-40, затим на слици 13 је приказан подцевни бацач монтиран на АП, а у табели 3 су дате основне тактичко-техничке карактеристике овог подцебног бацача граната.

Главни делови БГП-40

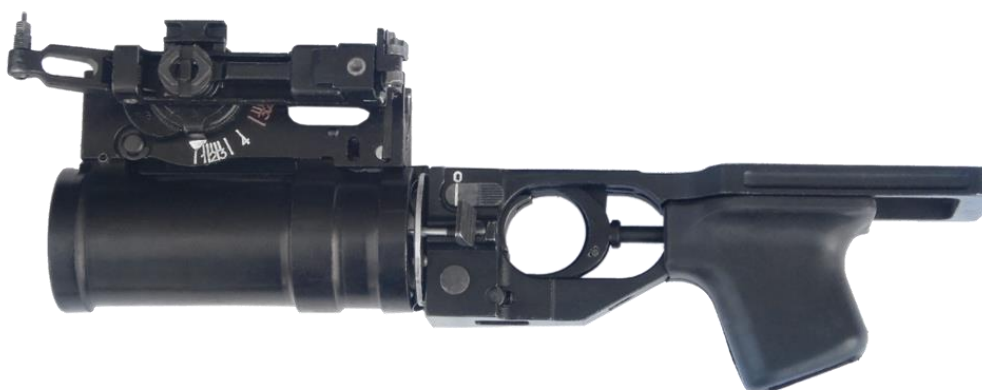
1. Рукохват
2. Затварач
3. регулатор паљбе
4. осовина доња
5. шнала
6. сандук са нишаном,
7. цев
8. утврђивач цеви
9. држач гранате
10. полука
11. совина.



Слика 11. Делови подцебног бацача граната[13];

Табела 3. Тактичко-техничке карактеристике БГП-40:

- Калибар.....	40 mm
- Дужина цеви	120 mm
- Број жљебова.....	12
- Корак увијања жљебова.....	1000 mm
- Почетна брзина.....	76,5 m/s
- Практична брзина гађања.....	4 до 6 граната/мин.
- Ефикасан домет	400 m
- Маса БГП-40	> од 1,5 kg
- Укупна дужина	323 mm
- Нишанска подела:	
o За непосредно гађање од 50 до 400 m (са поделом од по 50 m)	
o За посредно гађање од 200 до 350 m (са поделом од по 50 m)	



Слика 12. Подцевни бацач граната [13];



Слика 13. БГП-40 монтиран на М70 [13];

2.3. Муниција за подцевне бацаче граната

За ватрено дејство из подцевних бацача граната користи се муниција од 40 мм чији се пројектили називају гранатама. Конструкцијски гледано, постоје два типа муниције:

-са класичним барутним пуњењем смештеним у чаури која приликом испаливања гранате остаје у цеви, те се посебно уклања, и

-са погонским пуњењем лаборисаним у склопу саме гранате.

Представници првог типа муниције за подцевне бацаче граната су углавном амерички представници међу којима су M381, M382, M386, M406 M433 и тд.

Намењене су за уништавање непријатељске живе силе, заклона, ровова и лако оклопљених борбених возила, погодне су за гађање циљева који се налазе иза природних препрека на даљинама до 400 m, а полупречник оштећења износи 5m. Ове гранате, као и остале америчког типа, састоје се од склопа чауре и склопа пројектила, Лаборисани су високоексплозивним пуњењем, кошуљица је најчешће од алуминијума, а балистичка капа је израђена од челика. Чаура има функцију и барутне коморе, где се врши сагоревање барутног пуњења, притисак је негде око 2800 bar. Услед удара ударне игле бацача граната у иницијалну капислу, активира се иницијална експлозивна материја у каписли, након чега пламен припаљује барутно пуњење. Настали гасовити продукти сагоревања барутних гасова пробијају мембрану и истичу кроз отворе на чаури у простор иза пројектила, услед чега долази до покретања пројектила, раскидања веза са чауром и почетак његовог лета ка циљу. Чаура остаје у цеви, те је потребно уклонити је пре убацивања новог метка. Почетна брзина свих ових граната је око 75 m/s, са око 3600 обртаја у минуту. Опремљене су тренутним упаљачима чије се армирање врши на растојању 15-30 метара након напуштања уста цеви, а активирање се врши тренутно, услед удара врха балистичке капе у циљ. Активирањем упаљача, ствара се импулс који иницира експлозивно пуњење у гранати. Поред тога, упаљачи обезбеђују самоликвидацију гранате. Могу се употребљавати у свим експлоатационим условима, од -50 °C до 50 °C. [24];



Слика 14.Муниција 40x46 mm[22];

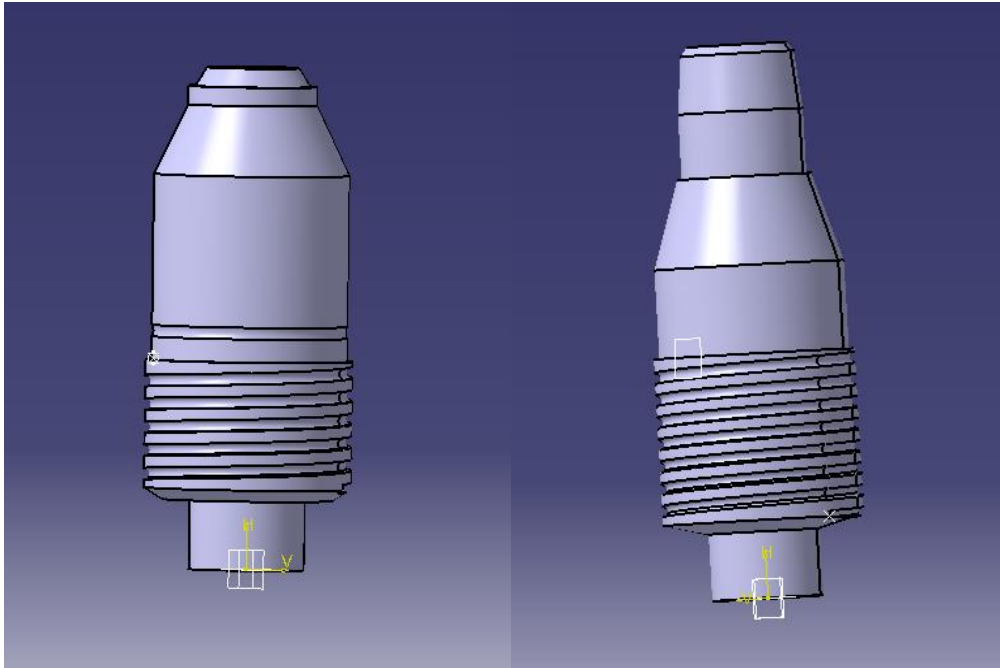
2.3.1. Гранате ВОГ-25 и ВОГ-25П

Гранате ВОГ-25 и ВОГ-25П, приказане на слици 15, пружају ефективан домет од око 100-150 до 400 метара. Метак се састоји од балистичке капе, кошуљице и дна у коме се налази погонско пуњење, које је смештено у лежишту погонског пуњења. Функцију барутне коморе, унутар које се врши сагоревање барута има лежиште погонског пуњења, заједно са утврђивачем барутног пуњења и покривке. На задњем делу налазе се отвори кроз које истичеу барутни гасови у простор цеви бацача иза метка, те долази до кретања пројектила у цеви. Број отвора на носачу су конструисани с циљем снижавања притиска у цеви бацача граната како би се постигло лансирање гранате без превеликог убрзања, те се на тај начин остварује благо трзање при опаљењу. На врху гранате налази се тренутни упаљач. Гранате имају тачкасте осигураче са функцијом тајмера за самоуништавање, а армирање се врши на 10-40 метара. Ефективни опсег оштећења експлозије / фрагмената је око 5 метара. Кључна разлика између граната ВОГ-25 и ВОГ-25П је у томе што је последња одбијајућег типа. То значи да се при удару о тло, посебан набој у носу гранате запали и одбије на висину од приближно једног метра, где граната експлодира. Граната је руског порекла, али је конструкцијски врло слична са гранатом која се налази у употреби ВС, М02, [1];.

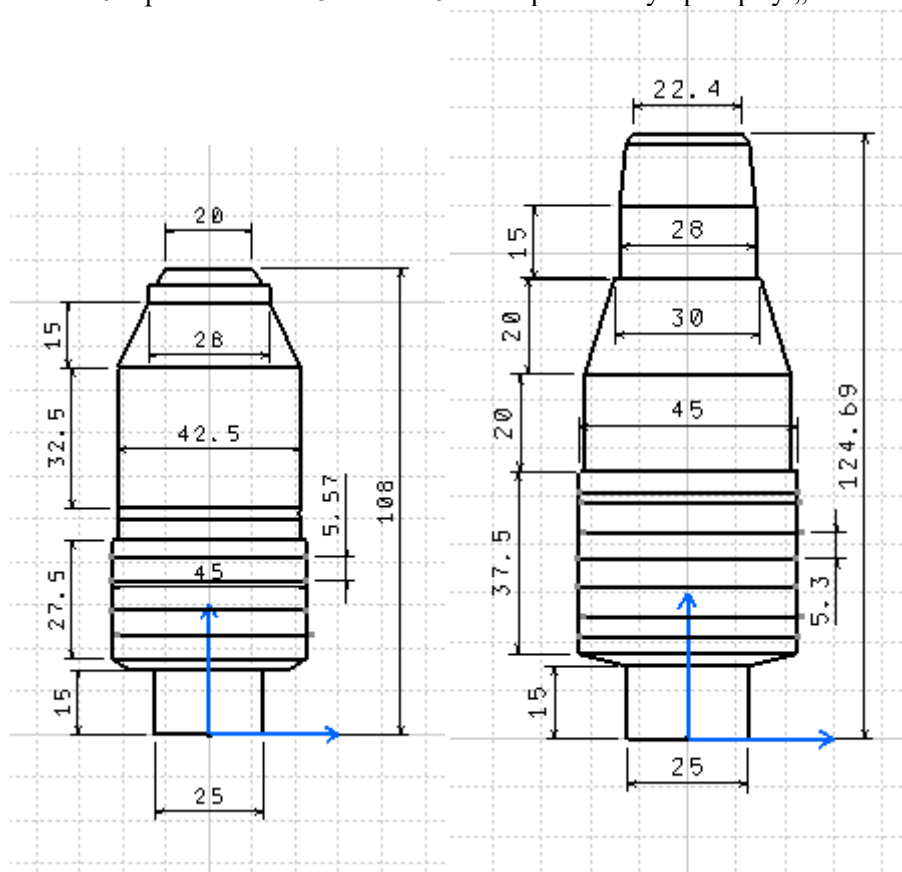
За потребе спољнобалистичких прорачуна направљени су модели граната у програму „САТИА“, помоћу кога су одређени центри масе, као и моменти инерције, и они су приказани на слици 16, а на слици 17 су приказани радионички цртежи поменутих модела граната.



Слика 15. Гранате ВОГ-25 и ВОГ-25П [25]



Слика 16. Гранате ВОГ-25 и ВОГ25-П направљени у програму „САТИА“;



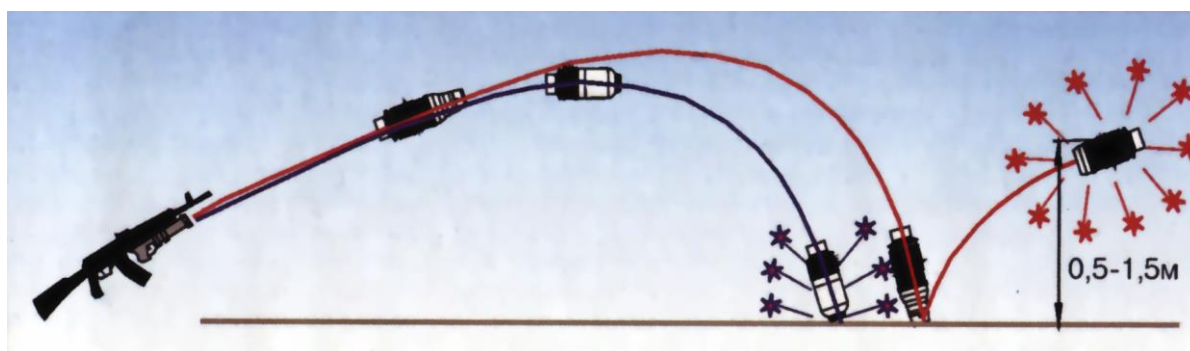
Слика 17. Радионички цртежи граната ВОГ-25 и ВОГ-25П;

Да би се урадила анализа лета, потребно је знати неке одређене карактеристике пројектила, основне карактеристике граната ВОГ-25 и ВОГ-25П дате су у табели 4:

Табела 4. Основне карактеристике граната;

	ВОГ-25	ВОГ-25П
почетна брзина	75 m/s	
домет	400 m	
одступање на домету од 400 m	По ширини 3 m, по правцу 6-6,6 m	
маса	2505-255 g	275-278 g
маса експлозивног пуњења	0,048 kg (a-ix-1(rdx))	0,037-0,042 kg (a-ix-1(rdx))
дужина	102,5-103 mm	122-125 mm
полупречник оштећења	6 m	6 m
одскакање	/	0,5-2,5 m (на тлу средње тврдоће 0,75 m)
армирање упаљача	10-40 m	
тип упаљача	VMG-K	
време самоликвидације	14-19 s	
температура употребе	-50-50°C	
материјал кошуљице	челик	

На слици 18. је илустровано представљено гађање под углом од 30°, односно лет пројектила, као и одског ВОГ-25П гранате на циљу. Црвеном линијом је обележена путања лета ВОГ-25П, а црном ВОГ-25. Као што се може видети са слике, али и из табеле 4, суштинска разлика између ове две гранате је у томе што ВОГ-25П након удара у циљ одскаче и експлодира у ваздуху.



Слика 18. Путање лета граната[22];

3. Аеродинамичке силе и моменти. Систем једначина кретања пројектила у ваздушном простору

Током кретања пројектила кроз ваздух дејство притиска је неравномерно распоређено по површини тела и том приликом појављује се резултујућа сила притиска која је нормална на површину, а различита од нуле. Поред силе притиска, због вискозности ваздуха, у правцу опструјавања посматраног дела површине пројектила, а у смеру струјања ваздуха, делују тангенцијалне силе. Нормалне и тангенцијалне силе на пројектил током лета дају резултујућу силу и резултујући момент који се називају аеродинамичка сила и момент и које зависе од:

- облик и димензија пројектила,
- орјентације пројектила у односу на правац брзине центра масе,
- брзине центра масе пројектила,
- угаоне брзине пројектила,
- густине и вискозности ваздуха.

Оса пројектила се не поклапа са брзином кретања пројектила већ са њом заклапа одређени угао који се назива нападни угао (σ).

Код осносиметричног струјања пројектила уздужна оса симетрије пројектила се поклапа са тангентом на путању, тј. брзином пројектила и у том случају се јавља само једна компонента аеродинамичке силе – сила отпора ваздуха D .

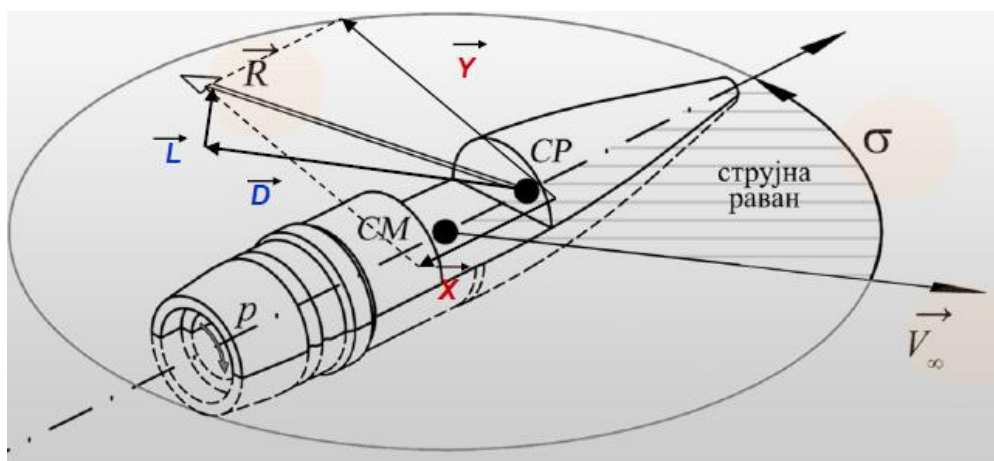
Аеродинамичка сила не делује у центру масе пројектила, већ у некој другој тачки која се назива центар притиска. Укупна аеродинамичка сила, слика 19, се може раставити на два начина [7]:

-силе отпора ваздуха (у правцу брзине) $D = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot C_D$ и

-силе узгона (нормална на правац брзине) $L = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot C_L$;

-уздужне аеродинамичке силе $X = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot C_X$ и

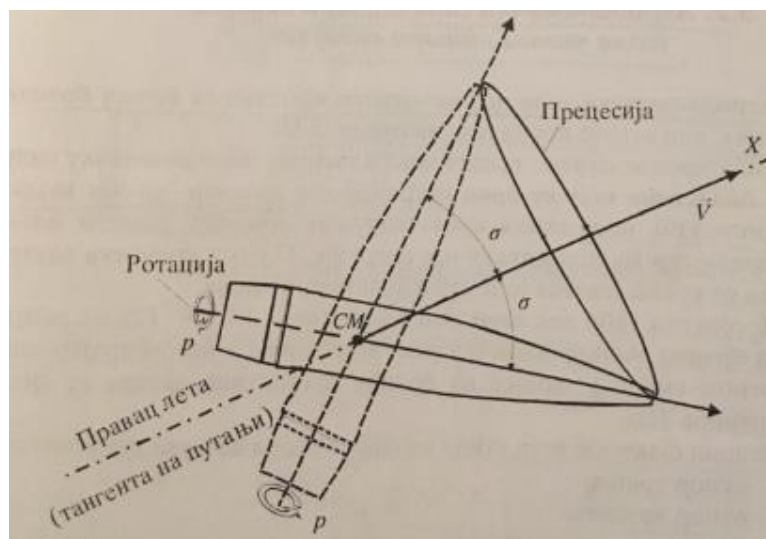
-попречне аеродинамичке силе $Y = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot C_Y$.



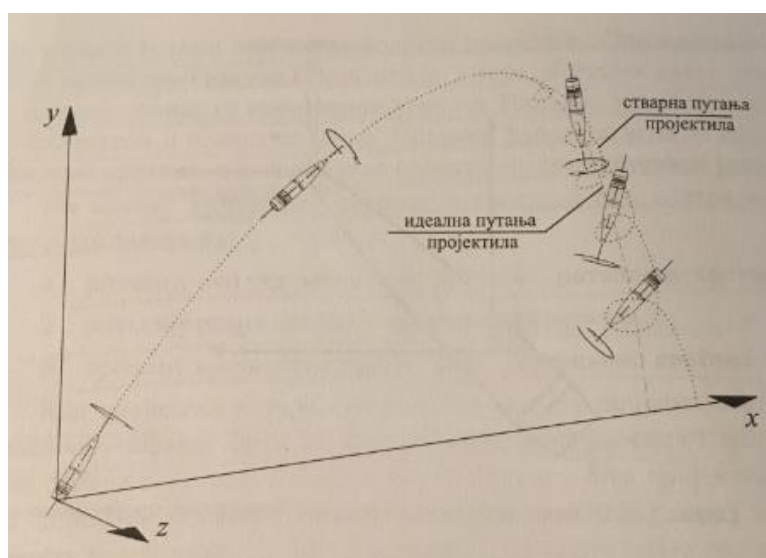
Слика 19. Дејство аеродинамичке силе на пројектил [4]

Код статички нестабилних пројектила центар притиска се налази испред центра масе, а аеродинамички момент повећава нападни угао. Код статички стабилних пројектила центар притиска је иза центра масе, а аеродинамички момент смањује нападни угао.

Код пројектила без крилаца центар притиска се налази испред центра масе. Аеродинамички центар масе је позитиван и тежи да повећа нападни угао због чега се назива дестабилишући момент. Такви пројектили су статички нестабилни јер без велике додатне ротације око уздузне осе не могу правилно да лете кроз вадух, односно не може нападни угао да отане у довољно малим границама. Вектор дестабилишућег момента је нормалан на раван отпора, те се оса пројектила не окреће у равни отпора него нормално на ову раван и на тај начин описује конусне површине. Ово кретање се назива прецесионо кретање пројектила, а угао за који се раван отпора заокрене прецесиони угао. Промена нападног угла између осе пројектила и брзине се назива нутационо кретање, а угао нутациони угао. Ротационо кретање се постиже помоћу жлебова у цеви оружја који са осом заклапају одређени угао увијања. Ова кретања пројектила су приказана на слици 20. Аеродинамичка сила делује на пројектил за све време његовог кретања па се врх пројектила непрестано помера, тј. описује круг у правцу кретања, а оса пројектила описује конусну површину са теменом у тежишту пројектила. На слици 21 је приказана стварна и идеална путања пројектила[7].



Слика 20. Прецесија, ротација и нутација пројектила [7]



Слика 21. Путања пројектила у простору [7]

Дејство ваздуха на летелицу у току њеног кретања испољава се у аеродинамичкој сили која ствара аеродинамички момент према изабраној тачки. Аеродинамичке силе и моменти, слика 22, могу се изразити као:

$$R = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = q_{\infty} \cdot S \cdot \begin{bmatrix} C_X \\ C_Y \\ C_Z \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{— аксијална сила,} \\ \text{— бочна сила,} \\ \text{— нормална сила.} \end{array}$$

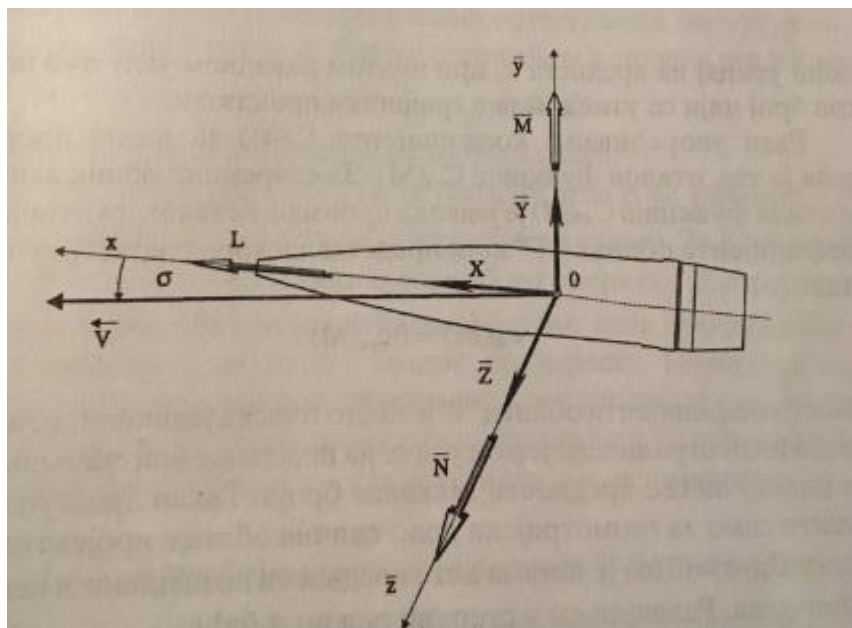
$$M_R = \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} = q_{\infty} \cdot S \cdot d \cdot \begin{bmatrix} C_L \\ C_M \\ C_N \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{— момент ваљања} \\ \text{— момент пропињања} \\ \text{— момент скретања} \end{array}$$

где је:

$$\text{референтни попречни пресек: } S_{ref} = \frac{\pi d^2}{4},$$

$$\text{динамички притисак: } q_{\infty} = \frac{\rho_{\infty} \cdot V_{\infty}^2}{2},$$

референтни пречник (калибар) d .



Слика 22. Аеродинамичке силе и моменти [7]

Аеродинамички коефицијенти представљају бездимензионалне величине компоненте аеродинамичких сила и момената. Добијају се када се стварне компоненте аеродинамичких сила и момената поделе са референтним. За референтну површину се узима круг пречника једног номиналног калибра пројектила, а за референтну дужину величина номиналног калибра. Парцијални аеродинамички коефицијенти се називају деривативи[7].

Аеродинамички коефицијент аксијалне силе X означава се са C_X . Аксијална сила је супротног смера од осе, а вредност C_X је негативна. Коефицијент аксијалне силе зависи од: Маховог броја, нападног угла и Рејнолдсовог броја[7].

Нормална сила се јавља као последица несиметричног опструјувања (појаве нападног угла):

$$\vec{Z} = \frac{\rho V^2}{2} \cdot S \cdot C_z$$

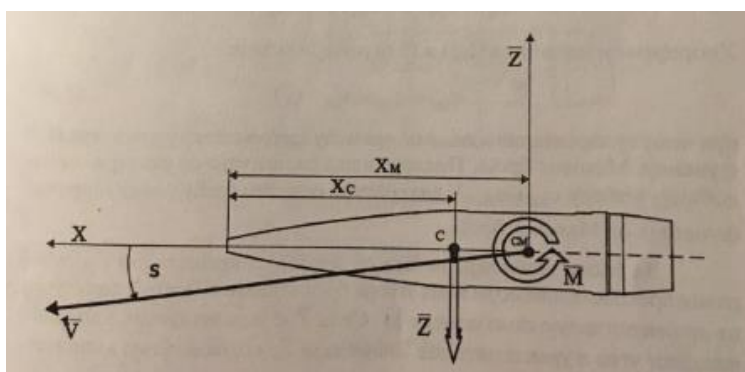
Нападна тачка ове силе се јавља на одстојању x_c од врха пројектила, а на вредност силе утичу нападни угао, Махов број и Рејнолдсов број.

Бочна сила настаје као последица различитих притисака на супротним странама ротирајућег тела. Неједнаки притисци су резултат вискозног дејства између флуида и ротирајуће површине. Ова сила се назива још и Магнусова сила, по немачком физичару који ју је први открио и проучавао.

Сума момената свих елементарних сила трења који сеprotиве ротацији пројектила назива се аксијални пригушни момент или момент ваљања, и зависи од бездимензионалне угаоне брзине, Маховог броја и нападног угла.

Нормална сила $\vec{Z}$ у равни струјања има нападну тачку на растојању x_c од врха пројектила и ствара момент M (око центра масе на растојању x_M од врха), слика 23: $\vec{M} = -\vec{Z} \cdot (x_M - x_c)$.

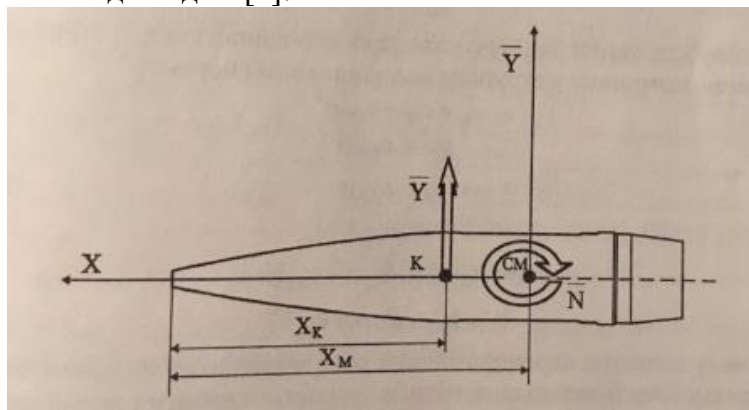
Момент зависи од бездимензионалног положаја нападне тачке нормалне силе и положаја центра масе, а положај нападне тачке зависи од Маховог броја и нападног угла. Овако дефинисан момент представља само статички део момента [7].



Слика 23. Момент пропињања и нормална сила [7]

Момент скретања $\vec{N}$ из струјне равни је момент који ствара Магнусова сила $\vec{Y}$ за центар масе, слика 24. Нападна тачка силе $\vec{Y}$ је на растојању x_K од врха пројектила, а њен момент за центар масе се изражава: $\vec{N} = \vec{Y} \cdot (x_M - x_K)$.

Положај нападне тачке силе $\vec{Y}$ зависи од облика пројектила, највише од његове виткости и од облика задњег дела [7].

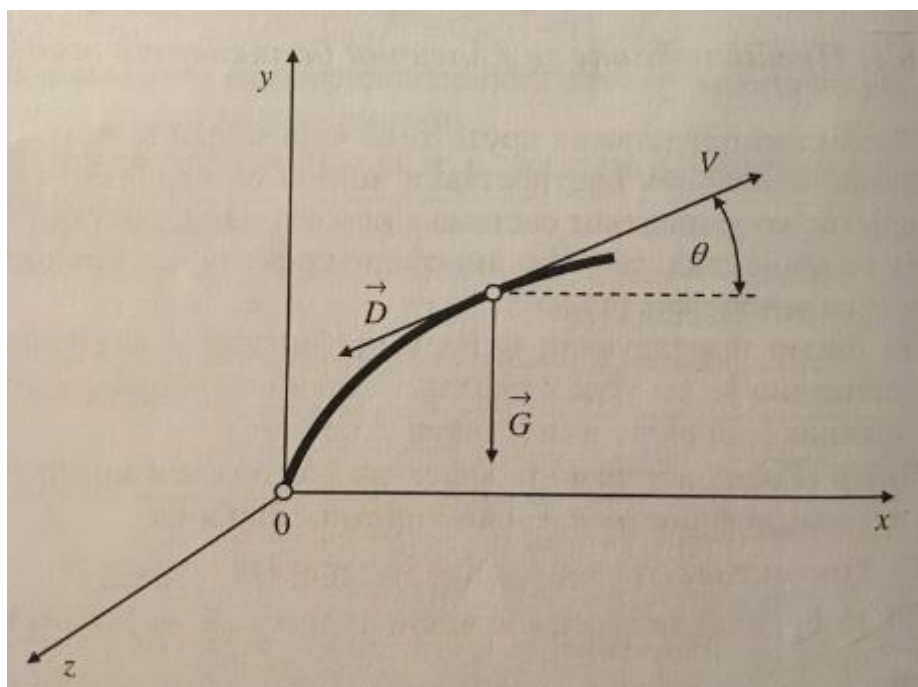


Слика 24. Момент скретања [7]

Систем једначина кретања пројектила у ваздушном простору

Кретање пројектила у ваздушном простору се одвија под утицајем силе Земљине теже и силе отпора ваздуха. Да би се урадио прорачун путање пројектила, потребно је да се постави систем диференцијалних једначина. Ојлеров класични балистички модел, слика 1, заснован је на следећим претпоставкама :

1. Пројектил се разматра као материјална тачка;
2. Координатни систем је везан 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 статички и термодинамички 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;



Слика 25. Ојлеров балистички модел [7]

Диференцијалне једначине кретања су изведене за вертикалну равну Оху Декартовог координатног система, па је векторска диференцијална једначина апсолутног кретања тежишта пројектила [7]:

$$m\vec{a} = \sum \vec{F},$$

$$\text{За Ојлеров модел ће бити: } m\vec{a} = \vec{D} + \vec{G},$$

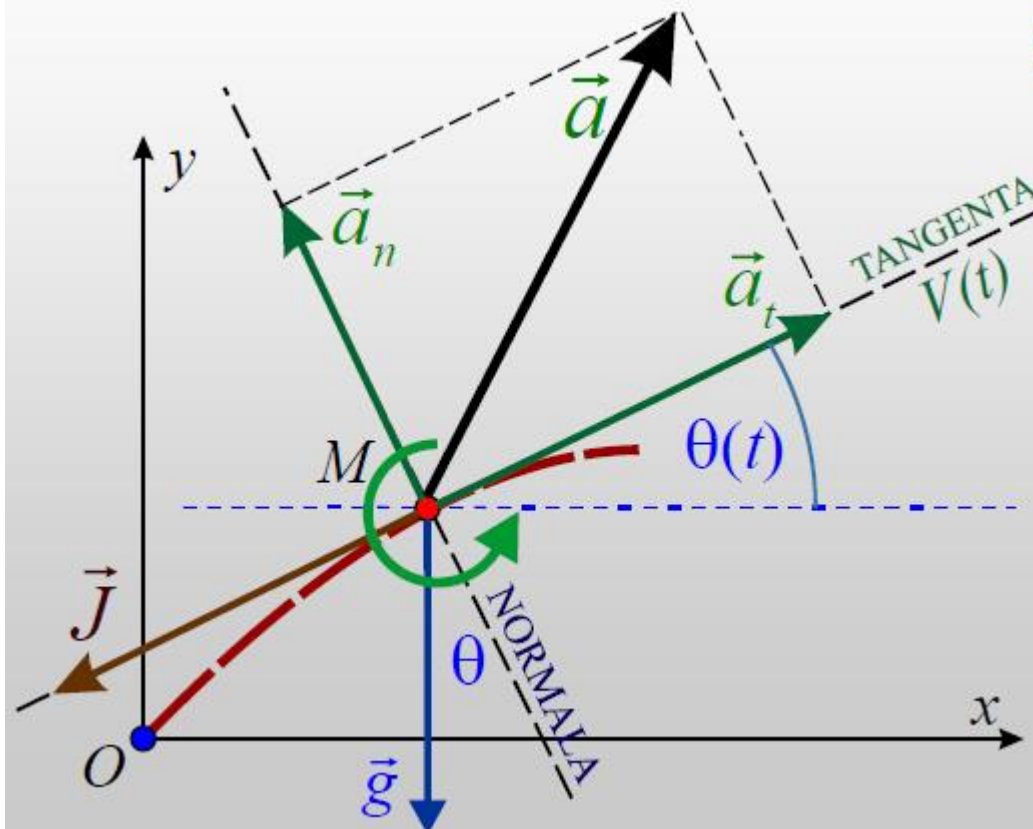
$$m\dot{\vec{v}} = m\vec{j} + m\vec{g}$$

а после дељења масом (скаларном величином), једначина за убрзање гласи:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{j} + \vec{g},$$

Где је успорење силе отпора ваздуха: $J = \frac{\rho \cdot V^2}{2 \cdot m} \cdot S \cdot C_x$.

После дељења скаларом m , векторска једначина $\vec{a} = \vec{J} + \vec{g}$ се пројектује на тангенту и на нормалу путање, слика 26. Компонента убрзања дуж тангенте је $a_T = \frac{dV}{dt}$, а дуж нормале на путању $a_N = V \cdot \frac{d\theta}{dt}$.



Слика 26. Компоненте убрзања [4]

На слици се може приметити да компонента убрзања на нормали има смер на ону страну где ротира вектор брзине, а да је успорење силе ваздуха на тангенти негативног предзнака, па су пројекције векторске једначине убрзања на правац тангенте:

$$a_T = \frac{dV}{dt} = -J - g \sin \theta$$

и нормале:

$$a_N = \frac{d\theta}{dt} = -g \cos \theta.$$

Брзина представља извод вектора положаја, и када је пројектујемо на осе Ox и Oy , добијају се компоненте брзине :

$$V_x(t) = V \cos \theta,$$

$$V_y(t) = V \sin \theta,$$

Уз диференцијалне једначине иду почетни услови :

$$t=0; x=0; y=0; v=V_0; \theta = \theta_0;$$

$$\dot{x}_0 = V_0 \cos \theta_0 \text{ и } \dot{y}_0 = V_0 \sin \theta_0 [7].$$

4. Резултати прорачуна

За пројектиле подцевних бацача граната урађени су спољнобалистички прорачуни и анализиран је лет самог пројектила, односно гранате, те су дати разни параметри који се тичу пређеног пута од тренутка напуштања оружја, односно од уста цеви до удара на циљ. Кретање сваког осносиметричног пројектила у простору се састоји трансације центра масе и ротације око сопственог центра масе. Пројектил је често сложене геометријске конфигурације па је и прорачун аеродинамичких карактеристика повезан са претходним познавањем аеродинамике саставних делова њихове конфигурације[7].

Анализа лета је извршена нумеричком методом, одабрана је муниција подцевних бацача граната ВОГ-25 и ВОГ25-П због својих специфичних конструкција.

Програмска решења су састављена у Fortran-у и за сваки прорачун су у Прилогу дате улазне и излазне датотеке, као и сам програмски код.

Прорачуни који су у овом раду рађени су:

- Прорачун аеродинамичких коефицијента аксијалне силе
- Одређивање елемената путање Ојлеровим балистичким моделом
- Прорачун елемената путање

4.2.1.Одређивање аеродинамичких коефицијената

Први прорачун који је одрађен је прорачун аеродинамичких коефицијента аксијалне силе за случај осносиметричног опструјавања – програмским решењем ADK0, [5].

Аеродинамички коефицијенти представљају бездимензионалне величине компонената аеродинамичких сила и момента. Услед дејства ваздуха на пројектил у току његовог кретањанастаје аеродинамичка сила која ствара аеродинамички момент према изабраној тачки. Ове величине се представљају као вектори у изабраном координатном систему, а коефицијенти се добијају када се стварне компоненте аеродинамичких сила и момената поделе са референтном силом и референтним моментом. Референтна сила је производ референтног притиска и референтне површине, док се референтни момент изражава као производ референтне дужине и референтне силе[5]. Аеродинамички коефицијенти, као и компоненте аеродинамичких сила и момента се рачунају за усвојени координатни систем и највише зависе од Маховог броја (M_a) који се изражава као количник брзине пројектила и брзине звука.

Програмским решењем ADK0[5]су израчунати аеродинамички коефицијенти отпора појединих делова површине омотача пројектила, и то:

C_{XH} (C_{X1}) - коефицијент отпора врха пројектила;

C_{XSF} коефицијент отпора трења тела пројектила пројектила;

C_{XB} (C_{X4}) - коефицијент отпора дна пројектила;

C_{XBT} (C_{X3}) - коефицијент отпора задњег конуса пројектила;

C_{XBND} (C_{XD}) - коефицијент отпора водећег прстена пројектила;

$C_{X0} = C_{XH} + C_{XSF} + C_{XB} + C_{XBT} + C_{XBND}$ - укупни аеродинамички коефицијент отпора;

На основу геометријских карактеристика пројектила направљене су улазне датотеке потребне за прорачун који је извршен за оба типа ВОГ гранате, у табели 5. су приказани улазни подаци потребни за прорачун, а улазне датотеке су дате у прилогу 1; вредности су дате и унешене у улазне датотеке у калибрима.

Табела 5. Улазни подаци за ADK0 прорачун;

ознака	ВОГ-25	ВОГ-25П
D – калибар (mm)	40	40
LT – дужина пројектила (cal)	2,700	3,125
LN – дужина предњег дела (cal)	0,575	1,250
RTR –однос	1/1	1/1
LBT – дужина задњег конуса (cal)	0,375	0,375
DB – пречник затупљења предњег дела (cal)	1,063	1,063
DM – пречник базе (cal)	0,700	0,700
DBND – пречник водећег прстена (cal)	1,125	1,125
XCGN – положај тежишта од врха (cal)	1,160	1,422

Резултати прорачуна аеродинамичког коефицијента аксијалне силе при осносиметричном опструјавању ADK0, на основу полазних података датих у табели 4, за гранату ВОГ-25 дати је у прилогу 2 и представљени у табели 6.

Табела 6. Вредности аеродинамичких коефицијената добијених прорачуном;

M_a	C_{X1}	C_{XSF}	C_{X4}	C_{X3}	C_{XD}	C_{X0}	P_D/P_1
0.200	0.000	0.054	0.000	0.000	0.202	0.257	0.995
0.500	0.000	0.045	0.000	0.000	0.211	0.257	0.967
0.600	0.000	0.043	0.000	0.000	0.216	0.259	0.952
0.700	0.000	0.042	0.001	0.000	0.220	0.263	0.933
0.800	0.000	0.040	0.008	0.000	0.224	0.273	0.911
0.850	0.000	0.040	0.012	0.000	0.227	0.279	0.899
0.900	0.033	0.039	0.025	0.001	0.229	0.327	0.885
0.950	0.132	0.039	0.050	0.005	0.230	0.455	0.871
0.975	0.185	0.038	0.063	0.013	0.231	0.530	0.864
1.000	0.234	0.038	0.061	0.026	0.277	0.637	0.828
1.100	0.475	0.037	0.055	0.016	0.272	0.856	0.796
1.200	0.571	0.036	0.051	0.028	0.266	0.952	0.762
1.300	0.650	0.035	0.047	0.021	0.260	1.014	0.728
1.400	0.232	0.034	0.044	0.017	0.254	0.581	0.692
1.500	0.727	0.033	0.042	0.015	0.247	1.063	0.656
1.600	0.732	0.033	0.040	0.013	0.239	1.057	0.621
1.700	0.737	0.032	0.038	0.012	0.232	1.050	0.585
1.800	0.741	0.031	0.037	0.011	0.224	1.043	0.551
1.900	0.744	0.030	0.036	0.010	0.216	1.036	0.518
2.000	0.747	0.030	0.035	0.009	0.208	1.029	0.485
2.100	0.749	0.029	0.034	0.009	0.200	1.021	0.454
2.200	0.751	0.028	0.033	0.008	0.192	1.013	0.425
2.300	0.753	0.028	0.033	0.008	0.184	1.005	0.397
2.400	0.754	0.027	0.032	0.007	0.176	0.997	0.371
2.500	0.756	0.027	0.032	0.007	0.169	0.990	0.346
2.600	0.756	0.026	0.031	0.007	0.162	0.982	0.323
2.700	0.757	0.025	0.031	0.006	0.155	0.975	0.301
2.800	0.758	0.025	0.031	0.006	0.148	0.968	0.281
2.900	0.758	0.024	0.030	0.006	0.142	0.961	0.262
3.100	0.759	0.024	0.030	0.006	0.130	0.947	0.228
3.200	0.759	0.023	0.030	0.006	0.124	0.941	0.212
3.300	0.759	0.023	0.029	0.005	0.119	0.935	0.198
3.400	0.759	0.022	0.029	0.005	0.114	0.929	0.185
3.500	0.759	0.022	0.029	0.005	0.109	0.924	0.173
3.600	0.759	0.021	0.029	0.005	0.104	0.919	0.161
3.700	0.759	0.021	0.029	0.005	0.100	0.914	0.151
3.800	0.758	0.021	0.029	0.005	0.096	0.909	0.141
3.900	0.758	0.020	0.029	0.005	0.092	0.904	0.132
4.000	0.758	0.020	0.028	0.005	0.088	0.900	0.123

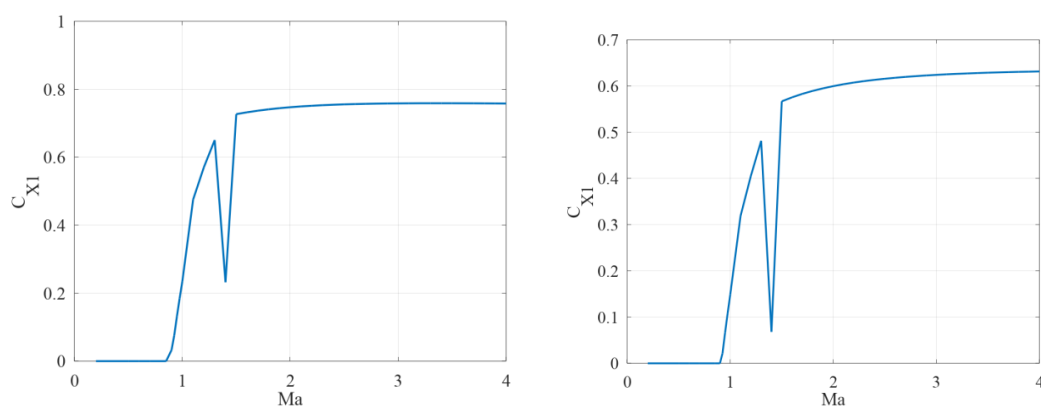
Такође, резултати добијени прорачуном за гранату ВОГ-25П су дати у прилогу 2 и представљени у табели 7.

Табела 7. Вредности аеродинамичких коефицијената добијених прорачуном;

M_a	C_{x1}	C_{xSF}	C_{x4}	C_{x3}	C_{xD}	C_{x0}	P_D/P_1
0.500	0.000	0.046	0.000	0.000	0.216	0.262	0.967
0.600	0.000	0.044	0.000	0.000	0.220	0.264	0.951
0.700	0.000	0.042	0.001	0.000	0.225	0.268	0.932
0.800	0.000	0.041	0.008	0.000	0.229	0.277	0.909
0.850	0.000	0.040	0.012	0.000	0.231	0.283	0.897
0.900	0.000	0.040	0.025	0.001	0.233	0.299	0.883
0.950	0.066	0.039	0.050	0.005	0.234	0.394	0.869
0.975	0.109	0.039	0.063	0.013	0.235	0.458	0.861
1.000	0.148	0.039	0.061	0.026	0.281	0.555	0.826
1.100	0.319	0.038	0.055	0.016	0.276	0.703	0.793
1.200	0.405	0.037	0.051	0.029	0.270	0.791	0.759
1.300	0.481	0.036	0.047	0.022	0.263	0.850	0.724
1.400	0.068	0.035	0.044	0.019	0.257	0.422	0.688
1.500	0.567	0.034	0.042	0.016	0.249	0.908	0.652
1.600	0.576	0.033	0.040	0.014	0.242	0.905	0.617
1.700	0.583	0.032	0.038	0.013	0.234	0.901	0.581
1.800	0.589	0.031	0.037	0.012	0.226	0.896	0.547
1.900	0.595	0.031	0.036	0.011	0.218	0.890	0.513
2.000	0.600	0.030	0.035	0.010	0.210	0.885	0.481
2.100	0.604	0.029	0.034	0.010	0.201	0.878	0.450
2.200	0.607	0.029	0.033	0.009	0.193	0.872	0.420
2.300	0.611	0.028	0.033	0.009	0.185	0.865	0.393
2.400	0.613	0.027	0.032	0.008	0.178	0.859	0.366
2.500	0.616	0.027	0.032	0.008	0.170	0.852	0.342
2.600	0.618	0.026	0.031	0.007	0.163	0.846	0.318
2.700	0.620	0.026	0.031	0.007	0.156	0.839	0.297
2.800	0.621	0.025	0.031	0.007	0.149	0.833	0.277
2.900	0.623	0.025	0.030	0.007	0.142	0.827	0.258
3.100	0.625	0.024	0.030	0.006	0.130	0.816	0.224
3.200	0.626	0.023	0.030	0.006	0.125	0.810	0.209
3.300	0.627	0.023	0.029	0.006	0.119	0.805	0.195
3.400	0.628	0.023	0.029	0.006	0.114	0.800	0.182
3.500	0.629	0.022	0.029	0.006	0.109	0.795	0.169
3.600	0.629	0.022	0.029	0.005	0.105	0.790	0.158
3.700	0.630	0.021	0.029	0.005	0.101	0.786	0.148
3.800	0.631	0.021	0.029	0.005	0.096	0.782	0.138
3.900	0.631	0.021	0.029	0.005	0.092	0.778	0.129
4.000	0.631	0.020	0.028	0.005	0.089	0.774	0.120

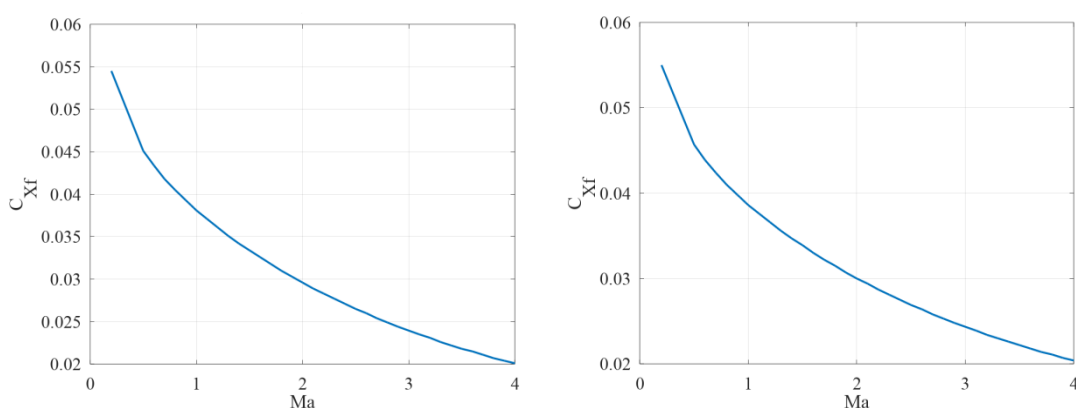
Због минималних разлика у вредностима параметара који се налазе у улазним датотекама, излазни подаци, који су представљени табела 6 и 7 су такође са малим разликама које ће се боље видети на графицима у наставку. То значи да су разлике путања лета ова два типа граната врло мале, те се може рећи да су им путање готово исте.

На слици 27. су приказани коефицијенти отпора предњег дела, односно врха пројектила за обе гранате у функцији Маховог броја. Може се уочити да је профил криве C_{x1} сличан, те се максималне вредности разликују за нешто више од 0,1 – 0,758 и 0,631. Овде се јасно може закључити разлог, а то је већа дужина гранате, односно постојање додатка за одскакање код ВОГ-25П.



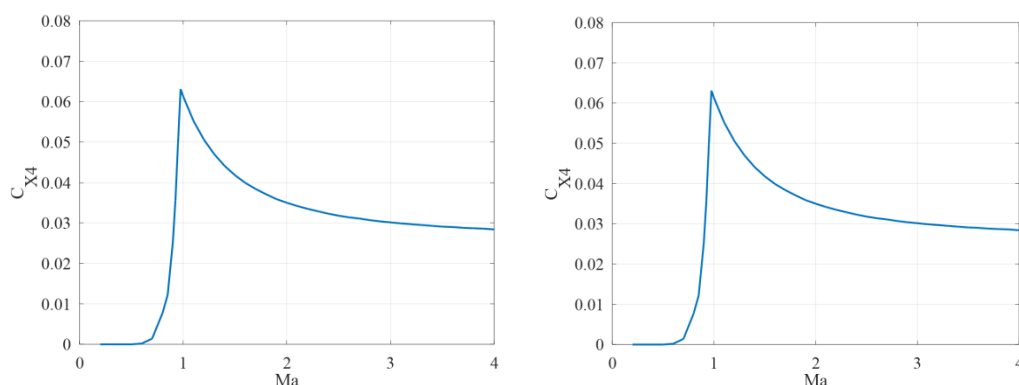
Слика 27. а) и б) Коефицијенти отпора предњег дела пројектила;

Профили криве коефицијената отпора трења, добијени прорачуном, приказани су на слици 28, и са ових графика, а и из излазних података може се закључити да су ови коефицијенти прилично једнаки, разлог томе је слична геометрија и исти материјал омотача гранате.



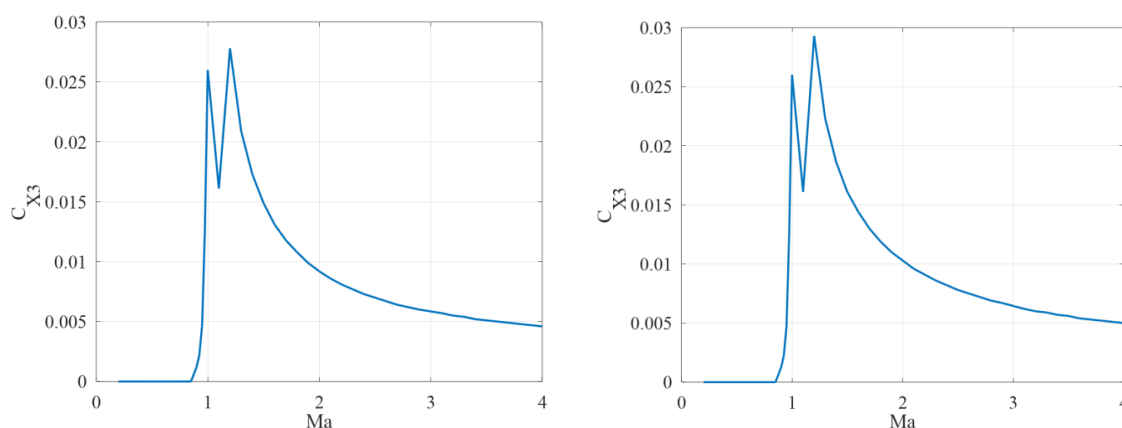
Слика 28.а) и б) Коефицијенти отпора трења тела пројектила;

Гранате ВОГ-25 и ВОГ-25П имају идентично дно, тако да и коефицијенти отпора дна морају бити исти, на слици 29. Се може видети како изгледа профил криве ових коефицијената, њихова максимална вредност износи 0,063.



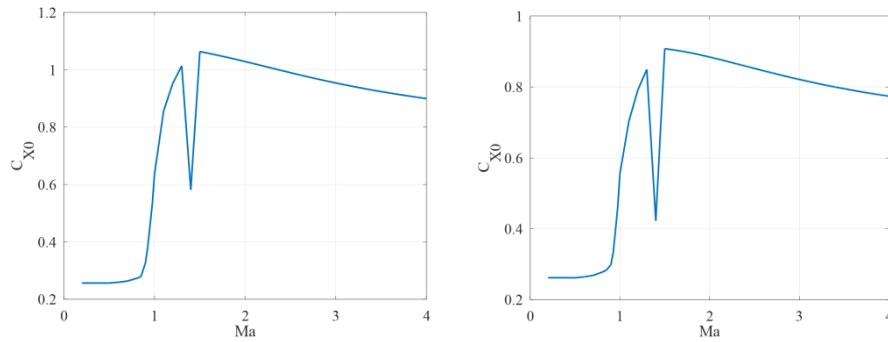
Слика 29.а) и б) Коефицијенти отпора дна пројектила;

На слици 31. су приказани коефицијенти отпора задњег конуса пројектила. И ови коефицијенти су такође слични, али оно што их издваја су нагли скокови и промене профила криве.



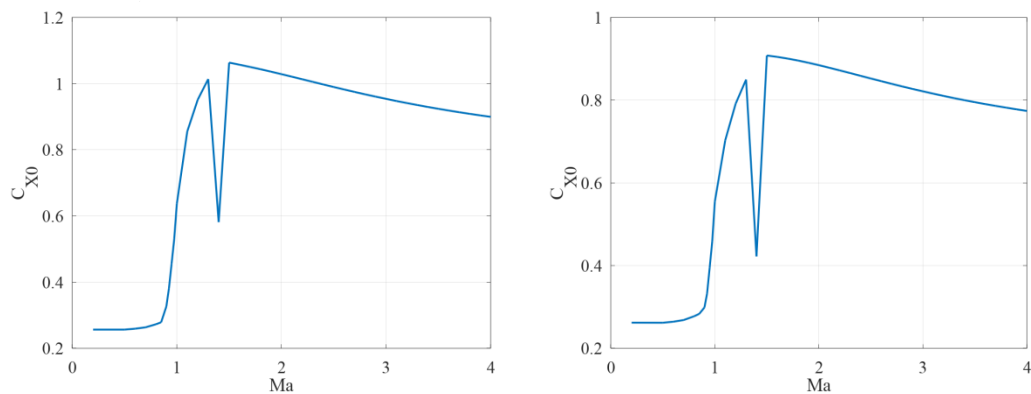
Слика 30. а) и б) Коефицијенти отпора задњег конуса пројектила;

Гранате ВОГ-25 и ВОГ-25П немају класични водећи прстен као остали пројектили, већ имају избочине на кошуљицама преко којих се задаје почетна брзина, а касније током лета утичу на стабилност пројектила. На слици 31. су приказани коефицијенти отпора водећег прстена. Профили криве су слични, али јако чудног облика, те се може закључити да су и ове гранате, као и остали пројектили за бацаче граната врло нестабилни, најпре због мале почетне брзине, а потом и због својих димензија и геометрије.



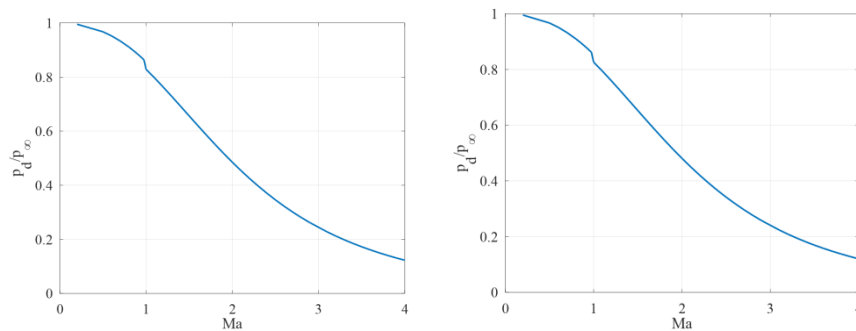
Слика 31. а) и б) Коефицијенти отпора водећег прстена пројектила;

Укупан аеродинамички коефицијент отпора аксијалне силе се може изразити као сума свих аеродинамичких коефицијената, те је на слици 32. приказана графичка интерпретација укупног аеродинамичког коефицијента за обе гранате у функцији Маховог броја. Узимајући у обзир да су сви претходни аеродинамички коефицијенти слични, долази се до закључка да ће и укупни аеродинамички коефицијенти бити слични. Ови коефицијенти ће касније бити употребљени за израчунавање балистичког коефицијента стога су врло битни.



Слика 32. а) и б) Укупни аеродинамички коефицијенти отпора аксијалне силе;

И за крај овог спољнобалистичког прорачуна, израчунат је однос подпритиска дна и притиска потенцијалне струје у функцији од Маховог броја, а профил овог односа је приказан на слици 33.



Слика 33. а) и б) Однос подпритиска дна и потенцијалне струје;

4.2.2.Одређивање елемената путање Ојлеровим балистичким моделом

Други прорачун који је рађен је прорачун одређивања елемената путање Ојлеровим балистичким моделом кретања са програмским решењем SB2. Овај прорачун је изискивао претходни прорачун, односно употребљени су подаци добијени претходним прорачуном, тј. потребна је датотека која садржи полазне податке за вредност Маховог броја и аксијалног аеродинамичког коефицијента, дата у прилогу 2[4].

За пројектиле ВОГ-25 и ВОГ-25-П, датих на слици 15 и 16, и вредности аеродинамичких коефицијената аксијалне силе датих у табели 6 и 7, извршен је прорачун елемената путање по Ојлеровом балистичком моделу са програмским решењем SB2 [4]. Полазни подаци о аеродинамичком коефицијенту аксијалне силе су дати у прилогу 3, а улазни подаци потребни за прорачун су представљени у табели 8.

Табела 8. Параметри прорачуна SB2;

Улазни параметар	SB2			
улазни параметар	ознака	јединица мере	ВОГ-25	ВОГ-25П
референтни пречник -калибар пројектила	D	(m)	0,04	0,04
маса пројектила	M	(kg)	0,255	0,278
полазна тачка – апциса	X0	(m)	0	0
полазна тачка – ордината	Y0	(m)	0	0
полазна брзина		(m/s)	75	75
полазни угао	THETAS0	(°)	30	30
почетно време	T0	(s)	0,0	0,0
корак интеграције	H	(s)	0,001	0,001

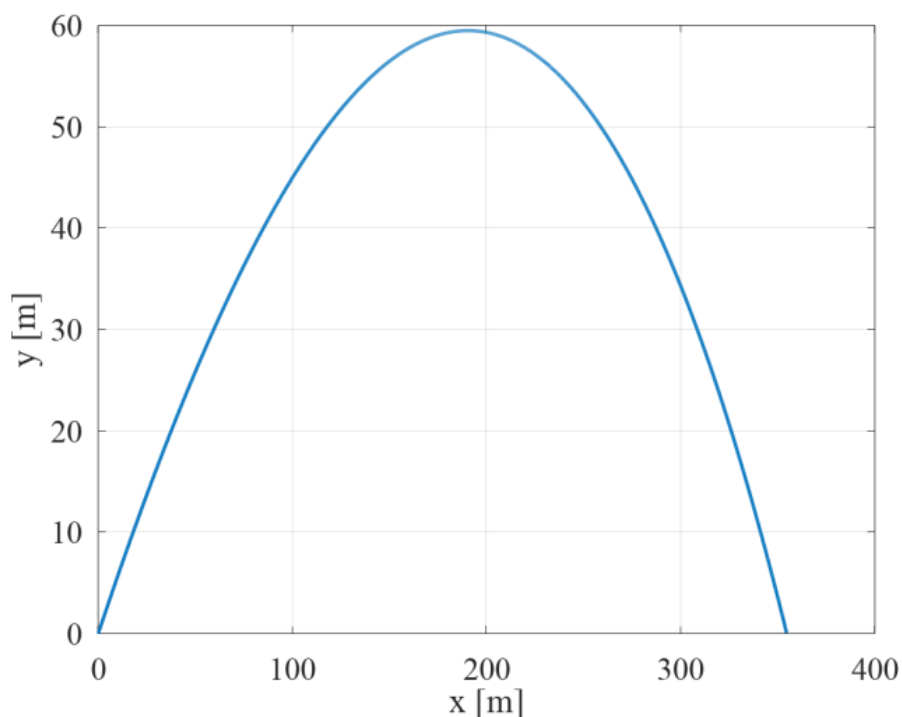
Резултати добијени прорачуном елемена путање са програмским решењем SB2 на основу полазних података из табеле 8, дати су прилогу 4 и представљени у табели 9.

Табела 9. Излазни подаци прорачуна SB2;

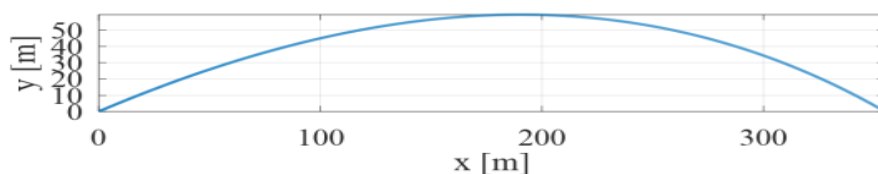
излазни подаци	ВОГ-25	ВОГ-25П
полазни угао (°)	30	30
полазни угао 6400	500,10	500,10
полазни угао 6000	533,40	533,40
полазна брзина (m/s)	75	75
време лета (s)	6,9460	6,9960
падни угао (°)	-37,964	-37,461
падни угао 6400	-632,74	-624,35
падни угао 6000	-674,92	-665,98
падна брзина (m/s)	51,612	52,790
висина темена (m)	59,470	60,262

За гранату ВОГ-25, на основу добијених вредности излазних података, дата је графичка интерпретација елемената путање.

На слици 34. је приказан профил путање, непропорционалан због боље прегледности, а на слици 35. пропорционални профил путање. Са ове две слике се може закључити да је постигнути домет, под углом гађања од 30° , ове гранате око 350 метара, прецизније 356,79 а да максимална висина темена достиже 60 метара, односно 59,3434 m.



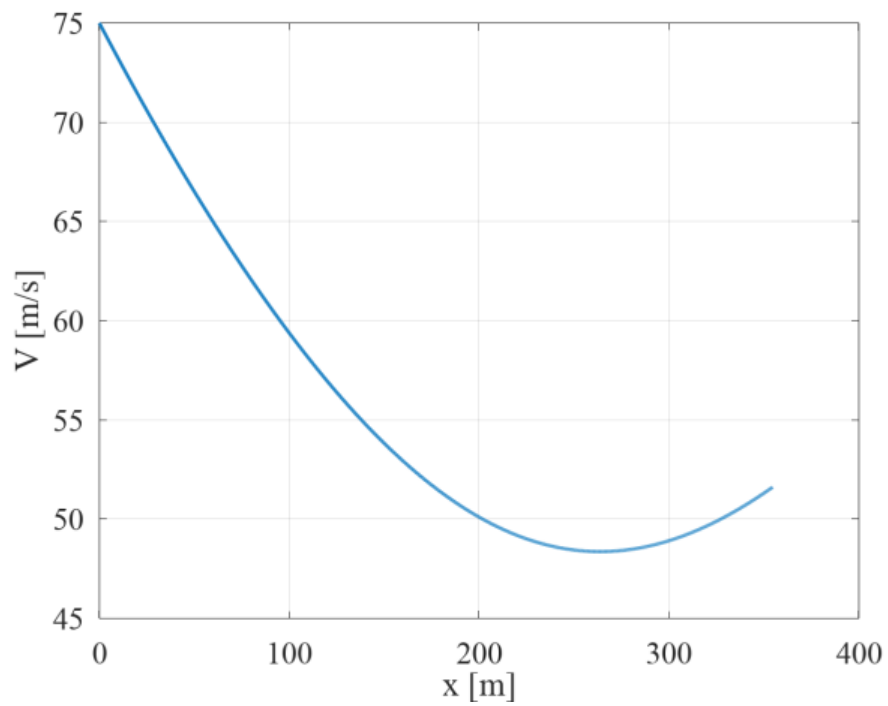
Слика 34. Профил путање;



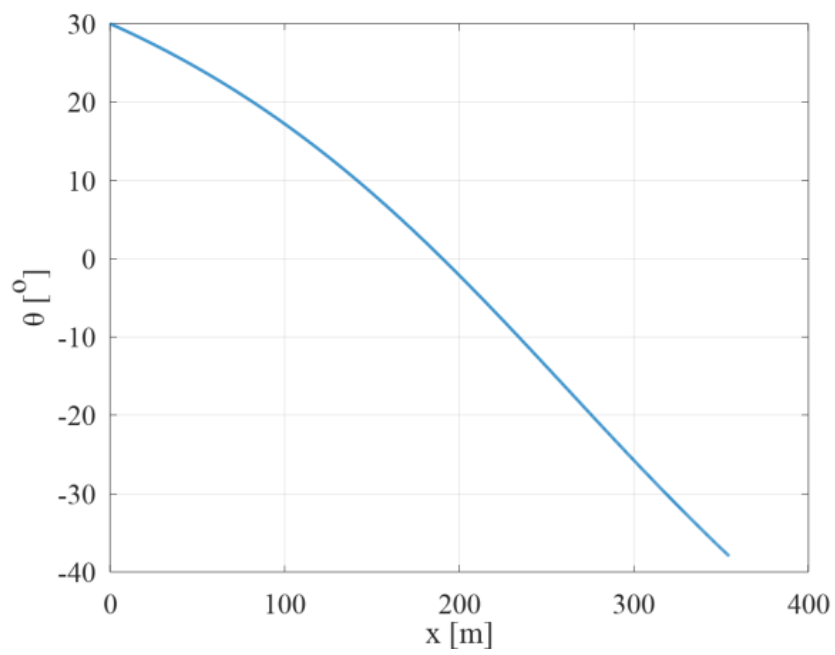
Слика 35. Пропорционални профил путање;

Са слике 36, на којој је приказана профил брзине се закључује да она, са почетних 75 m/s пада на 49,9 m/s на 324. m, а затим почиње да расте, односно граната убрзава до удара на тло, када је вредност брзине 51,6 m/s.

Последња слика у овом прорачуну, слика 37 илуструје профил угла. Његово опадање је скоро па линеарно, у тренутку удара на тло, падни угао је $-37,96^\circ$.



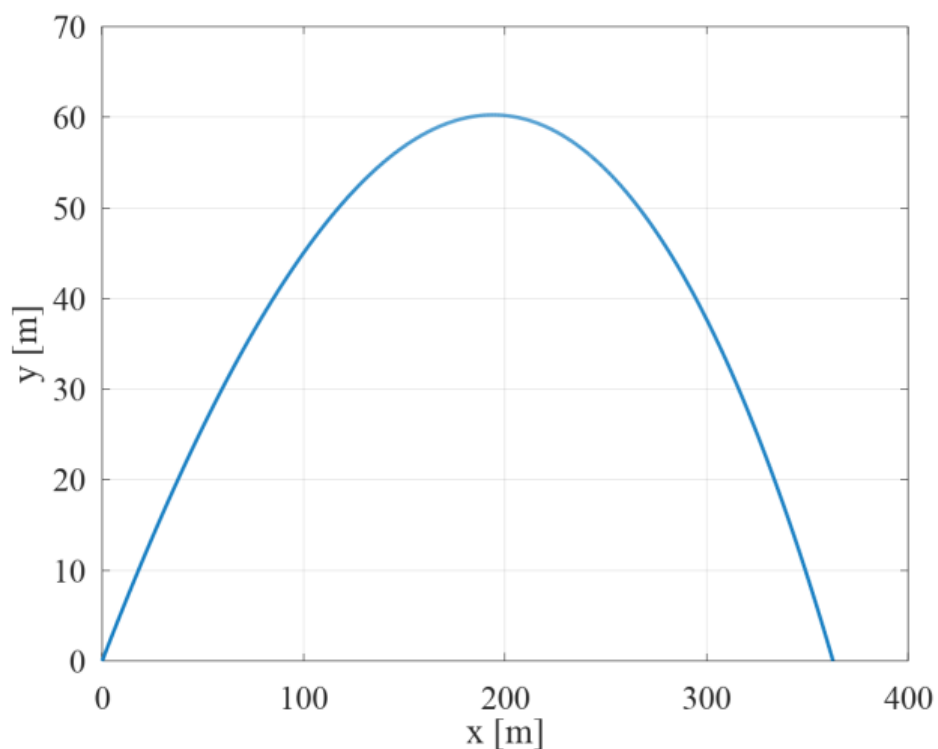
Слика 36. Профил брзине;



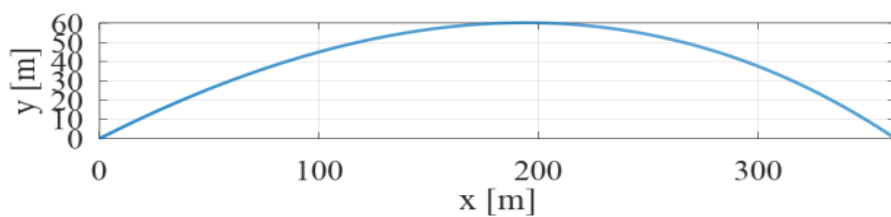
Слика 37. Профил угла;

Такође, и за гранату ВОГ-25П, на основу добијених вредности излазних података, дата је графичка интерпретација профили путање, угла и брзине.

На слици 38. је такође приказан профил путање, непропорционалан, а на слици 39. пропорционални профил путање. Закључује се да је постигнути домет, такође под углом гађања од 30° , ове гранате изнад 350 метара, 362,70 а максимална висина темена преко 60 метара, односно 60,0054 m.



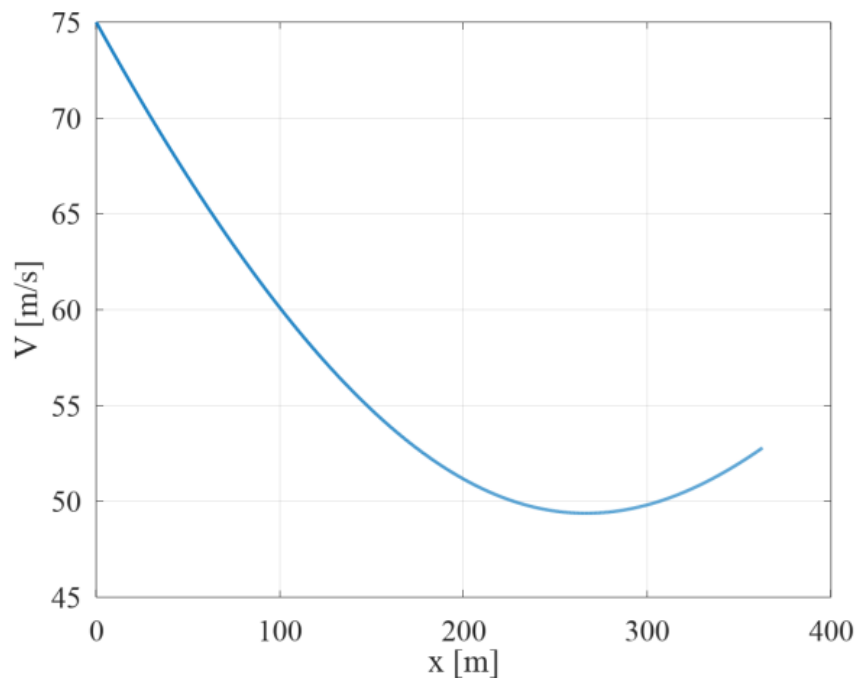
Слика 38. Профил путање;



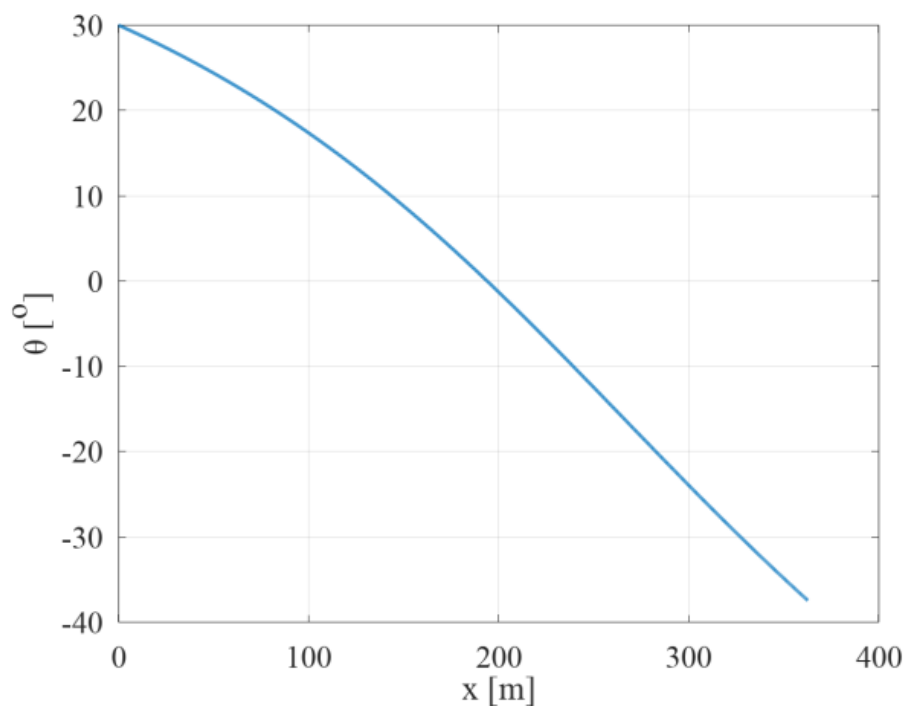
Слика 39. Пропорционални профил путање;

Слика 40, приказује профил брзине са које се може приметити да је она, са почетних 75 m/s падала до 49,9 m/s до 305. m, а затим је граната убрзавала како се приближавала тлу и месту удара, када је вредност брзине износила 52,8 m/s.

Као и код претходне гранате, последња слика у овом прорачуну, слика 41 илуструје профил угла. Његово опадање је такође скоро па линеарно, у тренутку удара на тло, падни угао је незнатно мањи, $-37,46^\circ$.



Слика 40. Профил брзине;



Слика 41. Профил угла;

4.2.3. Прорачун елемената путање

Трећи прорачун који је рађен у овом раду је прорачун елемената путање у карактеристичним тачкама на путањи по Ојлеровом балистичком моделу са програмски решењем OJL3SSK [5]. За потребе овог прорачуна, неопходан је прорачун балистичког коефицијента, табела 10 и табела 11.

Систем диференцијалних једначина кретања која се користе у овом спољнобалистичком прорачуну описује кретање пројектила као материјалне тачке са три степена слободe кретања. Ова метода служи за прорачун путање пројектила у условима када узимамо у обзир и утицај: ветра, Кориолисовог убрзања због ротације Земље, реактивне силе и убрзања земљине теже[4].

Једначина вектора силе отпора гласи:

$$\vec{X} = \frac{\rho \cdot V_r^2}{2} \cdot S \cdot C_x \cdot \left(\frac{V_r}{a}\right) \text{ort} \vec{V}_r, \text{ где је } \vec{V}_r = \vec{V} - \vec{W}, \text{ а } \vec{W} \text{ вектор брзине ветра.}$$

$$\text{Сада је убрзање силе отпора } J_r = \frac{V_r^2}{2} \cdot \frac{S}{m} \cdot C_x \cdot \left(\frac{V_r}{a}\right)$$

Вектор силе тежине

$$\vec{G}_c = m \cdot \vec{g}$$

Вектор Кориолисове силе

$$\vec{F}_c = m \cdot \vec{a}_c$$

Вектор реактивне силе

$$\vec{P} = m \cdot \vec{a}_p$$

Векторска диференцијална једначина кретања пројектила се може написати у облику:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{a}_p - \vec{J} + \vec{g} + \vec{a}_c$$

Диференцијалне једначине кретања пројектила као материјалне тачке имају следеће облике, где је променљива **t** (време):

Тангенцијална компонента убрзања пројектила

$$\frac{dV_x}{dt} = (a_p - J) \cdot \frac{V_x - W_x}{V_r} + a_{cx}$$

Нормална компонента убрзања пројектила

$$\frac{dV_y}{dt} = (a_p - J) \cdot \frac{V_y}{V_r} + a_{cy} - g$$

Бочна компонента убрзања пројектила

$$\frac{dV_z}{dt} = (a_p - J) \cdot \frac{V_z - W_z}{V_r} + a_{cz}$$

Овим једначинама се додају кинематске компоненте:

Уздужна компонента брзине пројектила

$$\frac{dx}{dt} = V_x = V \cos \theta \cos \psi$$

Нормална компонента брзине пројектила

$$\frac{dy}{dt} = V_y = V \sin \theta$$

Бочна компонента брзине пројектила

$$\frac{dz}{dt} = V_z = V \cos \theta \sin \psi$$

Угао нагиба пројектила на путањи

$$\theta = \arctg \frac{V_y}{V_x}$$

Угао између вектора брзине и равни гађања

$$\psi = \arctg \frac{V_z}{V_x}$$

Резултујућа брзина

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

Релативна брзина

$$V =$$

$$\sqrt{(V_x - W_x)^2 + V_y^2 + (V_z - W_z)^2}$$

где су:

x, y, z - координате тачака путање

V_x, V_y, V_z - координате компоненте брзине

a_p - убрзање реактивне силе, W_x - уздужни ветар, W_y - бочни ветар

Полазни подаци о балистичком коефицијенту добијени су према коефицијенту облика добијеном односом аеродинамичких коефицијента аксијалне силе (силе отпора ваздуха) добијеном прорачуном АДК0, и еталон функције коефицијента отпора ваздуха по Закону из 1943. СССР. Балистички коефицијент (табела 10 и табела 11) је добијен као просечна вредност у интервалу брзина при којима се остварује кретање од уста цеви до падне тачке у односу на брзину звука атмосфере кроз коју пролази, односно у интервалу Махових бројева[4].

Табела 10. Прорачун балистичког коефицијента за ВОГ-25;

	M_a	C_{x0}	C_{D43}	i_{43}	d	m	C_{43}	
	0	0	0	0	m	kg	0	
$M_{a\min}$	0,1582	0,203	0,124	1,63694	0,04	0,255	10,27	
	0,2	0,257	0,157	1,63694	0,04	0,255	10,27	
$M_{a\max}$	0,2248	0,257	0,157	1,63694	0,04	0,255	10,27	
	0,5	0,257	0,157	1,63924	0,04	0,255	10,27	CS=10,27

Табела 11. Прорачун балистичког коефицијента за ВОГ-25П;

	M_a	C_{x0}	C_{D43}	i_{43}	d	m	C_{43}	
	0		0		m	kg		
$M_{a\min}$	0,15824	0,207	0,124	1,66880	0,04	0,278	9,60	
	0,2	0,262	0,157	1,66879	0,04	0,278	9,60	
$M_{a\max}$	0,22482	0,262	0,157	1,66879	0,04	0,278	9,60	
	0,5	0,262	0,157	1,66879	0,04	0,278	9,60	CS=9,60

i_{43} , коефицијент облика, се добија као однос аеродинамичких коефицијента аксијалне силе из АДК0 (C_{x0}) и аеродинамичких коефицијента аксијалне силе – еталон СССР из 1943 (C_{D43}).

$$i_{43} = \frac{C_{x0}}{C_{D43}},$$

А балистички коефицијент се добија као средња вредност коефицијената добијених изразом:

$$C_{43} = \frac{i_{43} \cdot d^2}{m} \cdot 10^3$$

Полазни подаци потребни за прорачун елемената путање са програмским решењем OJL3SSK су дати у прилогу 5 и представљени у табели 12.

Табела 12. Улазни подаци за OJL3SSK прорачун;

Улазни параметар	ознака	БОГ-25	БОГ-25П
висина (ордината) падне тачке	YH (m)	1,1	1,1
балистички коефицијент	CS	10,27101	9,604581
полазна вредност полазног угла	TET0 (°)	30	
прираштај вредности полазног угла	DTET (°)	2	
крајња вредност полазног угла	TETK (°)	45	
полазна вредност почетне брзине	VOP (m/s)	73	
прираштај вредности почетне брзине	DVOP (m/s)	1	
крајња вредност почетне брзине	VOK (m/s)	77	

Резултати прорачуна елемената путање у карактеристичним тачкама добијени са програмским решењем OJL3SSK, на основу улазних података датих у табели 12, дати су у прилогу 6, а извод резултата прорачуна за гранату БОГ-25 у табели 13, односно у табели 14 за гранату БОГ-25П.

Табела 13. Извод резултата прорачуна елемената путање са програмским решењем OJL3SSK;

Параметар	Ознака	јединица мере	Вредност параметара БОГ-25				
			I	II	III	IV	V
почетна брзина	V_0	m/s	73	74	75	76	77
полазни угао	θ_0	°	30	30	30	30	30
домет	X	m	379,05	387,53	396,05	404,59	413,17
висина падне тачке	y_c	m	0	0	0	0	0
време лета	T	s	7,011	7,097	7,182	7,262	7,351
падна брзина	V_C	m/s	56,90	57,37	57,82	58,28	58,72
падни угао	θ_C	°	-35,17	-35,29	-35,41	-35,53	-35,65

Табела 14. Извод резултата прорачуна елемената путање са програмским решењем OJL3SSK;

Параметар	Ознака	јединица мере	Вредност параметара БОГ-25П				
			I	II	III	IV	V
почетна брзина	V_0	m/s	73	74	75	76	77
полазни угао	θ_0	°	30	30	30	30	30
домет	X	m	383,71	392,39	401,11	409,87	418,66
висина падне тачке	y_c	m	0	0	0	0	0
време лета	T	s	7,036	7,123	7,209	7,294	7,380
падна брзина	V_C	m/s	57,65	58,14	58,62	59,09	59,55
падни угао	θ_C	°	-34,88	-34,99	-35,11	-35,22	-35,34

Овим прорачуном се одређују елементи путање у карактеристичним тачкама, за задате почетне услове, балистички коефицијент, почетна брзина, почетни угао, висина падне тачке...Конкретно, прорачун је рађен за висину падне тачке од 0 метара, односно да се циљ налази у хоризонталној равни као место са кога се испаљује граната, за 5 различитих брзина.

5. Анализа добијених резултата

У табели 15 су приказани упоредни подаци о елементима путање за пројектиле ВОГ-25 и ВОГ-25П, у карактеристичним тачкама добијени различитим моделима кретања, односно, програмским решењима (SB2 и OJL3SSK), за исте полазне услове, тј. почетном брзином од 75 m/s и полазним углом $\theta_0 = 30^\circ$.

Табела 15. Упоредни приказ резултата елемената путање

параметар	ознака	јединица мере	вредност параметара			
			ВОГ-25		ВОГ-25П	
			SB2	OJL3SSK	SB2	OJL3SSK
почетна брзина	V_0	m/s	75	75	75	75
полазни угао	θ_0	°	30	30	30	30
висина падне тачке	y_c	m	0	0	0	0
домет	X	m	356,8	396	356,8	401,1
време лета	T	s	6,9	7,2	7	7,2
падна брзина	V_c	m/s	51,6	57,8	52,8	58,1
падни угао	θ_c	°	-38	-35,4	-37,5	-35,1
висина темена путање	y_s	m	59,5	63,4	60,3	63,9

Из табеле 15, где су упоредно приказани резултати за гранате ВОГ-25 и ВОГ-25П, може се закључити да су добијени приближно слични резултати, и да се под истим условима гађања не праве знатне разлике. Висина темена путање, под углом гађања од 30° и почетном брзином 75 m/s, достиже вредност од 63,9 метара, притом, остварен је домет од 400 метара. Вредност трајања лета је готово иста у оба прорачуна за обе гранате, око 7 секунди. Падна брзина је у интервалу од 51,6-58,1 m/s, а падни угао у интервалу од $-35,1^\circ$ до -38° .

Закључак

Класификација оружја се може извршити на више начина, а заједничко за све је да имају исту намену. Намена сваког оружја је уништавање или онеспособљавање непријатељске живе силе или уништавање материјалних средстава. Већина средстава испалајује пројектиле који својим дејством на циљу наносе штету непријатељским снагама. Промена угла гађања, може довести и до промене домета, а самим тим и до промене типа путање. Стабилност пројектила је најбитнији појам за анализу лета, такође, предуслов је познавати геометрију пројектила, као и параметре атмосфере која га опкружује.

Анализа лета је извршена за пројектиле подцевних бацача граната ВОГ-25 и ВОГ-25П. Аеродинамички коефицијенти аксијалне силе ових граната су идентичног карактера те имају приближне вредности. На основу добијених аеродинамичких коефицијената, одрађени су прорачуни елемената путање за стандардне метеоролошке услове, где је међусобна подударност добијених вредности изузетно велика.

Литература

1. Богданов Јовица, познавање убојних средстава, први део, Београд, 2015;
2. Grassi James, 40 mm Grenades Special Project, ЊУ Џерси, 2006;
3. Kent D. Howard, Dr. Widder Jeffrey, 19185 – Multiple Trajectory 40 mm Grenade launching System, Коламбус, Џорџија, САД, 2017;
4. Јерковић Дамир, Тема 4: Аеродинамичке силе и моменти, Београд, 2015
5. Регодић Душан, Збирка решених задата из спољне балистике, Београд, 2003;
6. Регодић Душан, Јерковић Дамир, Практикум из спољне балистике, Београд, 2007;
7. Регодић Душан, Спољна балистика, Београд, 2006;
8. <http://www.drugisvetski.com/2020/05/30/ag-2-automatski-bacac-granata/> Приступљено 8.9.2020.
9. <https://www.wikiwand.com/ru/%D0%90%D0%93%D0%A1-17> Приступљено 8.9.2020.
10. https://hr.wikipedia.org/wiki/Mk_19 Приступљено 8.9.2020.
11. https://en.wikipedia.org/wiki/M79_grenade_launcher Приступљено 8.9.2020.
12. https://en.wikipedia.org/wiki/M203_grenade_launcher Приступљено 8.9.2020.
13. <https://www.zastava-arms.rs/en/pbg-40x46mm/> Приступљено 8.9.2020.
14. <http://omandst.com/wp-content/uploads/2015/08/Zastava.pdf> Приступљено 8.9.2020.
15. <http://russianguins.ru/?cat=117> Приступљено 8.9.2020.
16. http://www.military-today.com/firearms/gp_25.htm Приступљено 8.9.2020.
17. <https://lt.wikipedia.org/wiki/AK-107> Приступљено 8.9.2020.
18. <http://www.military-today.com/firearms/m203.htm> Приступљено 8.9.2020.
19. https://en.wikipedia.org/wiki/M203_grenade_launcher Приступљено 8.9.2020.
20. <https://www.thefirearmblog.com/blog/2018/03/13/usmc-order-first-m320-grenade-launchers/> Приступљено 8.9.2020.
21. https://military.wikia.org/wiki/M320_Grenade_Launcher_Module Приступљено 8.9.2020.
22. <https://www.yaplakal.com/forum2/st/225/topic254539.html> Приступљено 9.9.2020.
23. <http://milicoco.canalblog.com/archives/2011/01/27/19515316.html> Приступљено 9.9.2020.
24. https://www.inetres.com/gp/military/infantry/grenade/40mm_ammo.html Приступљено 9.9.2020.
25. <https://www.evike.com/products/59389/> Приступљено 9.9.2020.
26. <https://modernfirearms.net/en/grenade-launchers/russia-grenade-launchers/gp-25-i-gp-30-eng/> Приступљено 8.9.2020.
27. <https://www.zastava-arms.rs/podcevni-bacac-granata-40x46/> Приступљено 8.9.2020.
28. <http://www.vti.mod.gov.rs/index.php?view=actuality&type=reference&category=1&id=105> Приступљено 9.9.2020.
29. <https://bs.wikipedia.org/wiki/M203> Приступљено 8.9.2020.
30. <http://www.armaco.bg/en/product/under-barrel-grenade-launchers-c9/bgp40-m70-under-barrel-grenade-launcher-p101> Приступљено 8.9.2020.

31. <https://www.aalan.hr/grenade-for-grenade-launcher-40x46mm> Приступљено 10.9.2020.
32. <https://bobp.cip-bobp.org/uploads/tdcc/tab-x/tabxcal-en-page17.pdf> Приступљено 7.9.2020.
33. <https://naboje.org/en/node/7857> Приступљено 7.9.2020.
34. <https://bobp.cip-bobp.org/uploads/tdcc/tab-x/40-x-46-bdlr-x-fr.pdf> Приступљено 7.9.2020.
35. <http://www.armaco.bg/en/product/under-barrel-revolver-grenade-ammunitions-c16/40mm-round-vog-25-p245> Приступљено 8.9.2020.
36. <https://www.smallarmsreview.com/archive/detail.arc.entry.cfm?arcid=16125> Приступљено 11.9.2020.
37. http://www.inetres.com/gp/military/infantry/grenade/40mm_amm.html#M386 Приступљено 11.9.2020.
38. https://bulletpicker.com/cartridge_-40mm-he_-m383.html Приступљено 11.9.2020.
39. <file:///C:/Users/pc/AppData/Local/Temp/40municeAN.pdf> Приступљено 12.9.2020.
40. <https://fayllar.org/ardec-40mm-grenade-3d-tdp-conversion-effort-presented-by.html> Приступљено 12.9.2020.
41. https://www.google.com/imgres?imgurl=http://bastion-karpenko.ru/VVT/GP-25_180315_03.jpg&imgrefurl=http://bastion-karpenko.ru/gp-25-koster/&tbnid=kymyX7R0vFsoWM&vet=1&docid=EheC9KTf7DDZDM&w=800&h=350&hl=sr-RS&source=sh/x/im Приступљено 12.9.2020.
42. http://weaponland.ru/board/vystrel_vog_25/34-1-0-8 Приступљено 12.9.2020.
43. <http://milicoco.canalblog.com/archives/2011/01/27/19515316.html> Приступљено 13.9.2020.
44. <https://www.yaplakal.com/forum2/st/225/topic254539.html> Приступљено 13.9.2020.
45. <https://www.crabcad.com> Приступљено 14.9.2020.
46. <http://roe.ru/eng/catalog/land-forces/strelkovoe-oruzhie/grenade-launchers/gp-34/> Приступљено 14.9.2020.
47. <https://tarkov-database.com/item/ammunition/5d70e500a4b9364de70d38ce> Приступљено 14.9.2020.
48. https://www.inetres.com/gp/military/infantry/grenade/40mm_amm.html#M433 Приступљено 15.9.2020.
49. <https://www.universal-dsg.com/product/40-mm-he-grenade-vog-25/> Приступљено 15.9.2020.
50. <https://www.ldsystems.us/product/40mm-m781-practice-cartridge/> Приступљено 15.9.2020.
51. <https://www.arsenal-bg.com/c/40x46-mm-rounds-low-velocity-for-grenade-launchers-arsenal-ubgl-m-family-m-203-hk-69-etc-nato-launchers-110/40x46-mm-rlv-hefj-102> Приступљено 15.9.2020.
52. https://sowiki.ru/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BB_%D0%92%D0%9E%D0%93-25%D0%9F Приступљено 15.9.2020.

Прилози

Прилог 1

ADK0 – Улазна датотека BOГ-25

ADKOU:

1

40. 2.700 0.575 1.000 0.375 1.063 0.700 1.125 1.160

2

ADK0 – Улазна датотека BOГ-25П

ADKOU:

1

40. 3.125 1.250 1.000 0.375 1.063 0.700 1.125 1.422

2

Прилог 2

ADK0 – Излазна датотека BOГ-25

ADK0I:

REF.	UKUP.	PRED.	RT/R	ZAD.	KON.	DNA	VRHA	V.PR.	XCM.	GRAN.	PREC.	DUZINA	DUZINA	DUZINA	PREC.	PREC.	PREC.	VRHA	SLOJ	(MM)	(CAL)	(CAL)	(CAL)	(CAL)	(CAL)	(CAL)	(CAL)	KOD
40.0	2.700	0.575	1.00	0.375	1.063	0.700	1.125	1.16	2																			
MA	CX1	CXSF	CX4	CX3	CXD	CX0	PD/P1																					
0.200	0.000	0.054	0.000	0.000	0.202	0.257	0.995																					
0.500	0.000	0.045	0.000	0.000	0.211	0.257	0.967																					
0.600	0.000	0.043	0.000	0.000	0.216	0.259	0.952																					
0.700	0.000	0.042	0.001	0.000	0.220	0.263	0.933																					
0.800	0.000	0.040	0.008	0.000	0.224	0.273	0.911																					
0.850	0.000	0.040	0.012	0.000	0.227	0.279	0.899																					
0.900	0.033	0.039	0.025	0.001	0.229	0.327	0.885																					
0.925	0.076	0.039	0.036	0.002	0.229	0.382	0.878																					
0.950	0.132	0.039	0.050	0.005	0.230	0.455	0.871																					
0.975	0.185	0.038	0.063	0.013	0.231	0.530	0.864																					
1.000	0.234	0.038	0.061	0.026	0.277	0.637	0.828																					
1.100	0.475	0.037	0.055	0.016	0.272	0.856	0.796																					
1.200	0.571	0.036	0.051	0.028	0.266	0.952	0.762																					
1.300	0.650	0.035	0.047	0.021	0.260	1.014	0.728																					
1.400	0.232	0.034	0.044	0.017	0.254	0.581	0.692																					
1.500	0.727	0.033	0.042	0.015	0.247	1.063	0.656																					
1.600	0.732	0.033	0.040	0.013	0.239	1.057	0.621																					
1.700	0.737	0.032	0.038	0.012	0.232	1.050	0.585																					
1.800	0.741	0.031	0.037	0.011	0.224	1.043	0.551																					
1.900	0.744	0.030	0.036	0.010	0.216	1.036	0.518																					
2.000	0.747	0.030	0.035	0.009	0.208	1.029	0.485																					
2.100	0.749	0.029	0.034	0.009	0.200	1.021	0.454																					
2.200	0.751	0.028	0.033	0.008	0.192	1.013	0.425																					
2.300	0.753	0.028	0.033	0.008	0.184	1.005	0.397																					
2.400	0.754	0.027	0.032	0.007	0.176	0.997	0.371																					
2.500	0.756	0.027	0.032	0.007	0.169	0.990	0.346																					
2.600	0.756	0.026	0.031	0.007	0.162	0.982	0.323																					
2.700	0.757	0.025	0.031	0.006	0.155	0.975	0.301																					
2.800	0.758	0.025	0.031	0.006	0.148	0.968	0.281																					
2.900	0.758	0.024	0.030	0.006	0.142	0.961	0.262																					
3.100	0.759	0.024	0.030	0.006	0.130	0.947	0.228																					
3.200	0.759	0.023	0.030	0.006	0.124	0.941	0.212																					
3.300	0.759	0.023	0.029	0.005	0.119	0.935	0.198																					
3.400	0.759	0.022	0.029	0.005	0.114	0.929	0.185																					
3.500	0.759	0.022	0.029	0.005	0.109	0.924	0.173																					
3.600	0.759	0.021	0.029	0.005	0.104	0.919	0.161																					
3.700	0.759	0.021	0.029	0.005	0.100	0.914	0.151																					
3.800	0.758	0.021	0.029	0.005	0.096	0.909	0.141																					
3.900	0.758	0.020	0.029	0.005	0.092	0.904	0.132																					
4.000	0.758	0.020	0.028	0.005	0.088	0.900	0.123																					

SB2K:

0.20000000	0.25660095
0.50000000	0.25664181
0.60000002	0.25927278
0.69999999	0.26340324
0.80000001	0.27265522
0.85000002	0.27866605
0.89999998	0.32666361
0.92500001	0.38178492
0.94999999	0.45548648
0.97500002	0.53013200
1.0000000	0.63664192
1.1000000	0.85567403
1.2000000	0.95152938
1.3000000	1.0137311
1.4000000	0.58146679
1.5000000	1.0634950
1.6000000	1.0570829
1.7000000	1.0504413
1.8000000	1.0434703
1.9000000	1.0361837
2.0000000	1.0286433
2.0999999	1.0209266
2.2000000	1.0131130
2.3000000	1.0052752
2.4000001	0.99747825
2.5000000	0.98977572
2.5999999	0.98221201
2.7000000	0.97482198
2.8000000	0.96763247
2.9000001	0.96066272
3.0999999	0.94742990
3.2000000	0.94117868
3.3000000	0.93517268
3.4000001	0.92940950
3.5000000	0.92388487
3.5999999	0.91859257
3.7000000	0.91352576
3.8000000	0.90867662
3.9000001	0.90403646
4.0000000	0.89959675

ADK0 – Излазна датотека BOГ-25П

ADK0I:

REF.	UKUP.	PRED.	RT/R	ZAD.	KON.	DNA	VRHA	V.PR.	XCM.	GRAN.
PREC.	DUZINA	DUZINA		DUZINA	PREC.	PREC.	PREC.	VRHA	SLOJ	
(MM)	(CAL)	(CAL)		(CAL)	(CAL)	(CAL)	(CAL)	(CAL)	(CAL)	KOD
40.0	3.125	1.250	1.00	0.375	1.063	0.700	1.125	1.42	2	
MA	CX1	CXSF	CX4	CX3	CXD	CX0	PD/P1			
0.200	0.000	0.055	0.000	0.000	0.207	0.262	0.995			
0.500	0.000	0.046	0.000	0.000	0.216	0.262	0.967			
0.600	0.000	0.044	0.000	0.000	0.220	0.264	0.951			
0.700	0.000	0.042	0.001	0.000	0.225	0.268	0.932			
0.800	0.000	0.041	0.008	0.000	0.229	0.277	0.909			
0.850	0.000	0.040	0.012	0.000	0.231	0.283	0.897			
0.900	0.000	0.040	0.025	0.001	0.233	0.299	0.883			
0.925	0.021	0.039	0.036	0.002	0.234	0.332	0.876			
0.950	0.066	0.039	0.050	0.005	0.234	0.394	0.869			
0.975	0.109	0.039	0.063	0.013	0.235	0.458	0.861			
1.000	0.148	0.039	0.061	0.026	0.281	0.555	0.826			
1.100	0.319	0.038	0.055	0.016	0.276	0.703	0.793			
1.200	0.405	0.037	0.051	0.029	0.270	0.791	0.759			
1.300	0.481	0.036	0.047	0.022	0.263	0.850	0.724			
1.400	0.068	0.035	0.044	0.019	0.257	0.422	0.688			
1.500	0.567	0.034	0.042	0.016	0.249	0.908	0.652			
1.600	0.576	0.033	0.040	0.014	0.242	0.905	0.617			
1.700	0.583	0.032	0.038	0.013	0.234	0.901	0.581			
1.800	0.589	0.031	0.037	0.012	0.226	0.896	0.547			
1.900	0.595	0.031	0.036	0.011	0.218	0.890	0.513			
2.000	0.600	0.030	0.035	0.010	0.210	0.885	0.481			
2.100	0.604	0.029	0.034	0.010	0.201	0.878	0.450			
2.200	0.607	0.029	0.033	0.009	0.193	0.872	0.420			
2.300	0.611	0.028	0.033	0.009	0.185	0.865	0.393			
2.400	0.613	0.027	0.032	0.008	0.178	0.859	0.366			
2.500	0.616	0.027	0.032	0.008	0.170	0.852	0.342			
2.600	0.618	0.026	0.031	0.007	0.163	0.846	0.318			
2.700	0.620	0.026	0.031	0.007	0.156	0.839	0.297			
2.800	0.621	0.025	0.031	0.007	0.149	0.833	0.277			
2.900	0.623	0.025	0.030	0.007	0.142	0.827	0.258			
3.100	0.625	0.024	0.030	0.006	0.130	0.816	0.224			
3.200	0.626	0.023	0.030	0.006	0.125	0.810	0.209			
3.300	0.627	0.023	0.029	0.006	0.119	0.805	0.195			
3.400	0.628	0.023	0.029	0.006	0.114	0.800	0.182			
3.500	0.629	0.022	0.029	0.006	0.109	0.795	0.169			
3.600	0.629	0.022	0.029	0.005	0.105	0.790	0.158			
3.700	0.630	0.021	0.029	0.005	0.101	0.786	0.148			
3.800	0.631	0.021	0.029	0.005	0.096	0.782	0.138			
3.900	0.631	0.021	0.029	0.005	0.092	0.778	0.129			
4.000	0.631	0.020	0.028	0.005	0.089	0.774	0.120			

SB2K:

0.20000000	0.26205692
0.50000000	0.26187155
0.60000002	0.26438284
0.69999999	0.26837143
0.80000001	0.27746150
0.85000002	0.28338414
0.89999998	0.29878351
0.92500001	0.33215967
0.94999999	0.39441079
0.97500002	0.45847028
1.00000000	0.55504674
1.10000000	0.70323205
1.20000000	0.79145002
1.30000000	0.84969389
1.40000000	0.42226860
1.50000000	0.90802211
1.60000000	0.90463412
1.70000000	0.90053558
1.80000000	0.89575762
1.90000000	0.89039916
2.00000000	0.88457990
2.09999999	0.87841916
2.20000000	0.87202656
2.30000000	0.86549807
2.40000001	0.85891634
2.50000000	0.85234910
2.59999999	0.84585172
2.70000000	0.83946812
2.80000000	0.83323228
2.90000001	0.82716936
3.09999999	0.81562936
3.20000000	0.81017178
3.30000000	0.80492836
3.40000001	0.79989934
3.50000000	0.79508257
3.59999999	0.79047406
3.70000000	0.78606850
3.80000000	0.78185964
3.90000001	0.77784020
4.00000000	0.77400273

Прилог 3

SB2 – Улазна датотека BOГ-25

SB2U:

0.255, 0.040

0.,0.,75.,30,0.,0.1

READ(1,*)MASA,D

READ(1,*)X0,Y0,V0,THETAS0,T,H

SB2 – Улазна датотека BOГ-25П

SB2U:

0.278, 0.040

0.,0.,75.,30,0.,0.1

READ(1,*)MASA,D

READ(1,*)X0,Y0,V0,THETAS0,T,H

Прилог 4

SB2 - Излазна датотека BOГ-25

SB2I:

T	X	Y	V	THETA	H.60	H.64
(s)	(m)	(m)	(m/s)	(^o)	(60-00)	(64-00)
0.000	0.00	0.0000	75.0	30.00	500.1	533.4
0.500	31.75	17.1235	69.5	26.57	442.8	472.3
1.000	62.18	31.1259	64.6	22.76	379.3	404.6
1.500	91.41	42.1756	60.5	18.55	309.1	329.8
2.000	119.57	50.4125	57.0	13.95	232.5	248.0
2.500	146.76	55.9546	54.1	8.99	149.8	159.8
3.000	173.06	58.9024	51.9	3.72	61.9	66.1
3.500	198.53	59.3434	50.2	-1.79	-29.9	-31.9
4.000	223.23	57.3555	49.1	-7.44	-124.1	-132.3
4.500	247.20	53.0107	48.5	-13.12	-218.6	-233.2
5.000	270.46	46.3773	48.4	-18.70	-311.6	-332.4
5.500	293.03	37.5223	48.7	-24.09	-401.5	-428.3
6.000	314.94	26.5134	49.4	-29.21	-486.8	-519.2
6.500	336.19	13.4199	50.5	-34.00	-566.7	-604.4
7.000	356.79	-1.6862	51.8	-38.43	-640.6	-683.3

SB2 - Излазна датотека BOГ-25II

SB2I:

T	X	Y	V	THETA	H.60	H.64
(s)	(m)	(m)	(m/s)	(^o)	(60-00)	(64-00)
0.000	0.00	0.0000	75.0	30.00	500.1	533.4
0.500	31.81	17.1556	69.7	26.58	442.9	472.5
1.000	62.39	31.2410	65.1	22.78	379.7	405.0
1.500	91.87	42.4082	61.1	18.61	310.2	330.9
2.000	120.34	50.7847	57.7	14.07	234.5	250.2
2.500	147.90	56.4788	55.0	9.18	153.0	163.2
3.000	174.62	59.5836	52.8	4.00	66.6	71.0
3.500	200.56	60.1806	51.1	-1.42	-23.6	-25.2
4.000	225.75	58.3427	50.1	-6.96	-116.0	-123.7
4.500	250.25	54.1377	49.5	-12.53	-208.8	-222.7
5.000	274.07	47.6299	49.4	-18.01	-300.2	-320.2
5.500	297.23	38.8826	49.7	-23.32	-388.7	-414.6
6.000	319.76	27.9596	50.5	-28.37	-472.8	-504.3
6.500	341.65	14.9264	51.5	-33.11	-551.8	-588.6
7.000	362.91	-0.1488	52.8	-37.50	-625.1	-666.7

Прилог 5

OJL3SSK – Улазна датотека БОГ-25

OJL3SSU:

1,1

0,100,300,500

10.27

30,2,45

73,1,77

READ(1,*)NVIS,NC

READ(1,*)(YH(I),I=1,NVIS)

READ(1,*)(CS(I),I=1,NC)

READ(1,*)TET0,DTET,TETK

READ(1,*)V0P,DV0P,V0K

OJL3SSK – Улазна датотека БОГ-25П

OJL3SSU:

1,1

0,100,3000,500

9.60

30,2,45

73,1,77

READ(1,*)NVIS,NC

READ(1,*)(YH(I),I=1,NVIS)

READ(1,*)(CS(I),I=1,NC)

READ(1,*)TET0,DTET,TETK

READ(1,*)V0P,DV0P,V0K

Прилог 6

OJL3SSK – Излазна датотека BOГ-25

OJL3SSR:

CS= 10.27000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m
73.00	30.00	379.05	60.41	-35.17	56.90	7.011	-0.00
73.00	32.00	389.93	67.49	-37.52	56.75	7.410	-0.00
73.00	34.00	398.98	74.76	-39.83	56.67	7.799	-0.00
73.00	36.00	406.20	82.20	-42.09	56.66	8.178	-0.00
73.00	38.00	411.60	89.77	-44.30	56.71	8.546	-0.00
73.00	40.00	415.19	97.43	-46.46	56.82	8.903	-0.00
73.00	42.00	416.98	105.16	-48.56	56.96	9.250	-0.00
73.00	44.00	416.98	112.92	-50.62	57.15	9.585	-0.00

CS= 10.27000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m
74.00	30.00	387.53	61.90	-35.29	57.37	7.097	-0.00
74.00	32.00	398.58	69.14	-37.64	57.21	7.500	-0.00
74.00	34.00	407.77	76.58	-39.96	57.14	7.893	-0.00
74.00	36.00	415.08	84.19	-42.22	57.13	8.276	-0.00
74.00	38.00	420.55	91.94	-44.44	57.18	8.648	-0.00
74.00	40.00	424.17	99.78	-46.60	57.29	9.010	-0.00
74.00	42.00	425.95	107.69	-48.70	57.44	9.360	-0.00
74.00	44.00	425.91	115.62	-50.76	57.63	9.699	-0.00

CS= 10.27000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m
75.00	30.00	396.05	63.40	-35.41	57.82	7.182	-0.00
75.00	32.00	407.27	70.81	-37.77	57.67	7.590	-0.00
75.00	34.00	416.58	78.42	-40.09	57.59	7.987	-0.00
75.00	36.00	424.00	86.21	-42.36	57.59	8.374	-0.00
75.00	38.00	429.52	94.12	-44.58	57.65	8.750	-0.00
75.00	40.00	433.16	102.14	-46.74	57.76	9.115	-0.00
75.00	42.00	434.94	110.23	-48.84	57.92	9.469	-0.00
75.00	44.00	434.86	118.34	-50.90	58.11	9.812	-0.00

CS= 10.27000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m
76.00	30.00	404.59	64.91	-35.53	58.28	7.267	-0.00
76.00	32.00	415.98	72.49	-37.90	58.12	7.679	-0.00
76.00	34.00	425.43	80.27	-40.22	58.05	8.080	-0.00
76.00	36.00	432.94	88.23	-42.50	58.04	8.471	-0.00
76.00	38.00	438.52	96.33	-44.71	58.11	8.851	-0.00
76.00	40.00	442.18	104.52	-46.88	58.22	9.220	-0.00
76.00	42.00	443.95	112.79	-48.99	58.39	9.578	-0.00
76.00	44.00	443.83	121.08	-51.04	58.59	9.924	-0.00

CS= 10.27000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m
77.00	30.00	413.17	66.43	-35.65	58.72	7.351	-0.00
77.00	32.00	424.72	74.18	-38.03	58.56	7.767	-0.00
77.00	34.00	434.30	82.14	-40.36	58.49	8.173	-0.00
77.00	36.00	441.90	90.27	-42.63	58.49	8.568	-0.00
77.00	38.00	447.53	98.54	-44.85	58.56	8.952	-0.00
77.00	40.00	451.22	106.92	-47.02	58.68	9.325	-0.00
77.00	42.00	452.98	115.36	-49.13	58.85	9.686	-0.00
77.00	44.00	452.81	123.83	-51.18	59.05	10.036	-0.00

OJL3SSK – Излазна датотека BOГ-25II

OJL3SSR:

CS= 9.60000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m
73.00	30.00	383.71	60.83	-34.88	57.65	7.036	-0.00
73.00	32.00	394.89	67.97	-37.21	57.50	7.438	-0.00
73.00	34.00	404.22	75.32	-39.51	57.42	7.829	-0.00
73.00	36.00	411.68	82.84	-41.76	57.41	8.210	-0.00
73.00	38.00	417.30	90.49	-43.96	57.45	8.581	-0.00
73.00	40.00	421.06	98.24	-46.12	57.55	8.941	-0.00
73.00	42.00	422.99	106.05	-48.22	57.69	9.290	-0.00
73.00	44.00	423.09	113.89	-50.27	57.86	9.628	-0.00

CS= 9.60000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc	
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m	
74.00	30.00	392.39	62.34	-34.99	58.14	7.123	-0.00	
74.00	32.00	403.76	69.65	-37.33	57.98	7.529	-0.00	
74.00	34.00	413.23	77.17	-39.63	57.90	7.924	-0.00	
74.00	36.00	420.80	84.86	-41.89	57.89	8.310	-0.00	
74.00	38.00	426.48	92.69	-44.09	57.94	8.685	-0.00	
74.00	40.00	430.28	100.62	-46.25	58.04	9.048	-0.00	
74.00	42.00	432.21	108.61	-48.36	58.18	9.401	-0.00	
74.00	44.00	432.27	116.64	-50.41	58.37	9.743	-0.00	

CS= 9.60000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc	
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m	
75.00	30.00	401.11	63.86	-35.11	58.62	7.209	-0.00	
75.00	32.00	412.66	71.34	-37.45	58.46	7.619	-0.00	
75.00	34.00	422.27	79.03	-39.76	58.38	8.019	-0.00	
75.00	36.00	429.95	86.90	-42.02	58.37	8.409	-0.00	
75.00	38.00	435.70	94.91	-44.23	58.42	8.788	-0.00	
75.00	40.00	439.53	103.02	-46.39	58.53	9.155	-0.00	
75.00	42.00	441.45	111.20	-48.49	58.68	9.512	-0.00	
75.00	44.00	441.48	119.40	-50.54	58.86	9.857	-0.00	

CS= 9.60000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc	
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m	
76.00	30.00	409.87	65.39	-35.22	59.09	7.294	-0.00	
76.00	32.00	421.60	73.04	-37.58	58.93	7.709	-0.00	
76.00	34.00	431.35	80.91	-39.89	58.85	8.114	-0.00	
76.00	36.00	439.13	88.96	-42.15	58.84	8.507	-0.00	
76.00	38.00	444.94	97.15	-44.36	58.90	8.890	-0.00	
76.00	40.00	448.80	105.44	-46.52	59.01	9.262	-0.00	
76.00	42.00	450.72	113.80	-48.63	59.16	9.622	-0.00	
76.00	44.00	450.70	122.19	-50.68	59.35	9.971	-0.00	

CS= 9.60000

VISINA PADNE TACKE Yc= 0.

Vo	Oo	Xc	Ys	Oc	Vc	tc	Yc	
m/s	/step./	m	m	/step./	m/s	s	m	
77.00	30.00	418.66	66.93	-35.34	59.55	7.380	-0.00	
77.00	32.00	430.56	74.76	-37.70	59.39	7.799	-0.00	
77.00	34.00	440.45	82.81	-40.01	59.31	8.208	-0.00	
77.00	36.00	448.33	91.03	-42.28	59.31	8.605	-0.00	
77.00	38.00	454.21	99.40	-44.50	59.37	8.992	-0.00	
77.00	40.00	458.10	107.87	-46.66	59.48	9.368	-0.00	
77.00	42.00	460.01	116.42	-48.76	59.64	9.732	-0.00	
77.00	44.00	459.95	124.99	-50.81	59.84	10.084	-0.00	

