

**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: Унутрашња балистика

Број индекса: 516/2015

Никола З. Мишић

**Анализа УБ параметара хаубице 105 mm применом савремених
пројектила**

-дипломски рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. пп. проф. др Небојша Христов - ментор
- 2.
- 3.

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да на примеру постојећег система наоружања хаубица 105mm M56 изврши анализу унутрашње-балистичких параметара са циљем повећања максималног домета. У току анализе кандидат ће применити тачно дефинисане математичке моделе, а као критеријум за поређење ће узети у обзир званичне податке према нормативним документима за ово средство (Правило за употребу и таблице гађања).

У току рада кандидат треба да обради следећа питања:

1. Да опише историјски развој и да преглед савремених средстава овог типа у свету и у нашој земљи.
2. Да опише математичке моделе, које ће применити за прорачун битних параметара.
3. На основу дефинисаних математичких модела кандидат треба да прикаже резултате прорачуна са основним параметрима и са варирањем података.
4. Након прорачуна кандидат треба да прикаже анализу добијених резултата и поређење са већ постојећим.
5. У закључку кандидат треба да прикаже до којих је резултата дошао и да смернице за будући рад.

Препоручена литература:

1. Класична унутрашња балистика, *Љубиша Танчић*, Војна академија Београд, 2006.год.;
2. Практикум из унутрашње балистике, *Љубиша Танчић*, Београд, 2012. год. ;
3. Унутрашња балистика, *Милоје Цветковић*, Београд, 1998. год.
4. Основи наоружања (артиљеријска оруђа), др Зоран Ристић, Београд 2001.
5. Основи класичног наоружања, мр Милоје Цветковић, мр Никола Кршић и други, ТШЦ КоВ ЈНА Загреб 1973.
6. ТАБЛИЦЕ ГАЂАЊА за хаубицу 105mm M56.

РЕЗИМЕ:

Овај завршни рад се бави варирањем тј. анализом унутрашњих балистичких параметара постојећег оруђа. На основу познатих конструкционих параметара, циљ је добити што веће излазне карактеристике. У првом делу рада разматра се појам хаубице њене историје, савремени трендови и тенденције даљег развоја ове врсте оруђа. Са одређеним оптималним вредностима УБ параметара, врши се варирање специфичне топлоте барута барутног пуњења и повећавање дужине цеви. Након тога, са усвојеним излазним податком за почетну брзину улази се у прорачун домета. Овај прорачун је извршен помоћу Ојлеровог модела кретања пројектила. Добијени резултати су упоређени са савременим конструкционим решењима и идеје за даљи рад дате су у закључку.

Кључне речи: хаубица, артиљерија, оруђе, УБ параметри

ABSTRACT:

This report is about the variation that is the raising of optimization of the inner ballistics argument of the enhanced version of the existing weapon. Based on the existing arguments (criteria) the goal is to gain larger and outer attributes. In the first segment of the report we speculate the term that is the howitzer and its history, also today's trends and the future development of these weapons. With the special optional values of IB parameters the variation of the gun powder and the powder filled padding is done and also the enhancement of the length of pipe. After that the gained outer datum and the inner starting speed and included in the speculation of the range. This forecast was done by Oiler's motion of the missile. The gained results are compared to the today's conclusions are given in the verdict.

Садржај

1. Увод.....	1
1.1. Појам хаубице и принцип рада.....	1
1.2. Историјски развој.....	3
1.3. Тенденција развоја и савремени трендови	5
1.4. Хаубице домаће производње М56 и М09 “СОКО“.....	9
1.5. Савремене хаубице 105 mm страног порекла.....	13
2. Балистички прорачун хаубице.....	17
2.1. Метод Дроздова	17
2.2. УБ прорачун са основним параметрима пројектила методом Дроздва	21
2.3. УБ прорачун са измењеним параметрима пројектила методом Дроздва	24
2.3.1. Повећање почетне брзине на основу повећања топлотног потенцијала барута (Q_w).....	25
2.3.2. Повећање почетне брзине на основу повећања дужине цеви.....	26
2.4. Ојлеров модел за СБ прорачун	28
2.4.1. Прорачун домета применом Ојлеровог балистичког модела	30
3. Конструкција цеви	33
3.1. Ожљебљено водиште пројектила	34
3.2. Спољна траса цеви.....	35
3.3. Теорија потенцијалне енергије изобличења (Хубер - Мисир – Хенкијева теорија).....	36
3.4. Методологија рада	37
4. Компаративна анализа резултата прорачуна за хаубицу 105 mm М56.....	39
5. Закључак и смернице за будући рад.....	41
6. Преглед табела	42
7. Преглед дијаграма.....	43
8. Преглед слика.....	44
9. Литература.....	45
10. Прилози.....	46

1. Увод

1.1. Појам хаубице и принцип рада

Хаубице су намењене за гађање заклоњених циљева. Да би пројектил уништио заклоњени циљ он мора имати убацну путању. Убацна путања пројектила се може добити ако се смањи почетна брзина пројектила и повећа елевациони угао. Смањена почетна брзина пројектила постиже се на рачун смањења масе барутног пуњења и дужине цеви.

Маса барутног пуњења код хаубице износи 9-15% од масе пројектила, дужина цеви 20-30 калибара, а почетна брзина пројектила 500-800 m/s. Највећи угао елевацје код хаубице износи 69-80° а домет 12-18 km. Хаубице имају променљиво барутно пуњење, што омогућава 8-12 различитих маса барутног пуњења, чиме се постиже промена путање и домета, а да се не мења угао елевације. Маса хаубице је два до три пута мања од масе топа истог калибра.

Хаубице према начину лафетације се могу поделити на:

- стационарна
- преносна
- вучна
- самопокретна
- самоходна



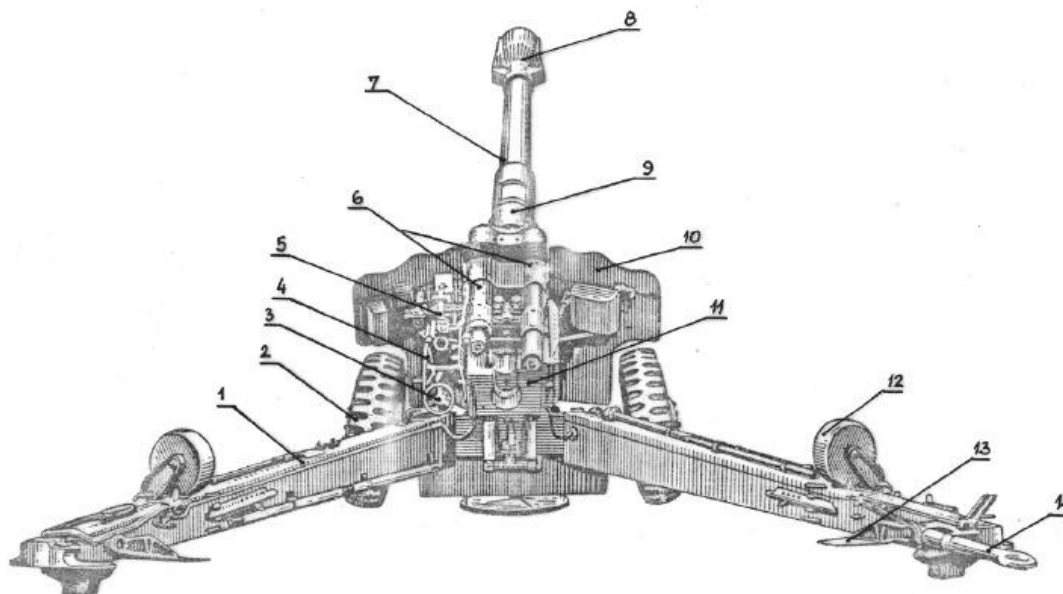
Слика 1. PL – 66



Слика 2. PzH 2000

У данашње време се све више тежи за развој самоходних артиљеријских система због предности превођења из маршевог у борбени положај, већа брзина маневра...

Без обзира на велику разноврсност облика и типова артиљеријских оруђа његову конструкцију карактеришу неколико главних делова који су типични и заједнички за већину тих оруђа. Ти делови су: склоп цеви са задњаком, затварачем и гасним уређајима, противтрзајући уређаји (ПТУ), склоп горњег лафета са деловима и механизмима, склоп доњег лафета са деловима и нишанске справе и уређаји. Поред овога уз свако оруђе иде и комплет резервног алата и прибора (РАП). Све склопове можемо приказати на примеру вучне хаубице.



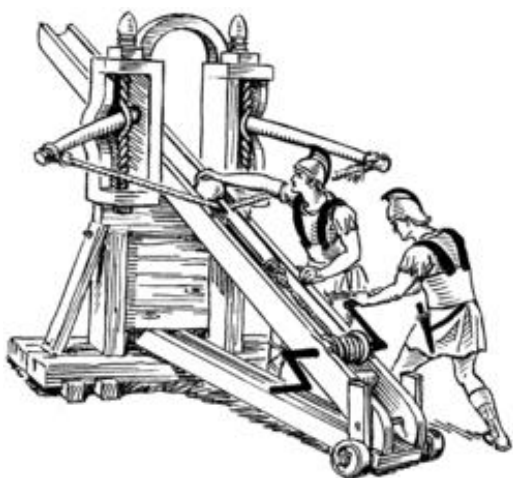
Слика 3. Склопови артиљеријског оруђа

1 – кракови лафета, 2 – доњи лафет, 3 – механизам за поретање по правцу, 4 – механизам за поретање по висини и горњи лафет, 5 – нишанске справе, 6 – противтрзајући уређај, 7 – склоп цеви са затварачем, 8 – гасна кочница, 9 – колевка, 10 – штитови, 11 – гоњи лафет, 12 – помоћни точкови, 13 – кочна инсталација, 14 – ашови

Захтеви који се стављају пред конструкторе хаубица и осталог артиљеријског наоружања су што мања маса оруђа, поузданост и сигурност при раду, остваривање што већих почетних брзина на устима цеви уз што мање притиске у цеви као и добре маневарске карактеристике које повлаче израду самоходних хаубица у новије време.

1.2. Историјски развој

Развој артиљерије уопште и артиљеријског наоружања је изузетно дуг и практично је почео од пре две хиљаде година израдом бацачких направа као што су балисте, катапулти, фондиболе и др. Представљају прва озбиљна остварења човекове жеље да противника туче са што веће удаљености. Међутим, почеци артиљерије у данашњем смислу су много млађег датума. Прва ватрена балистичка оруђа у европским земљама јављају се у 14. веку увођењем барута као погонско средство за покретање и лансирање пројектила из цеви оруђа. Овај почетак тзв. пиротехничке артиљерије условио је у наредних неколико векова изузетан развој бројних решења и више врста оруђа различитих калибара и перформанси. Он у складу са достигнутом степеном развоја науке и технологије и наравно у измењеним условима траје до данас.



Слика 4. Балиста



Слика 5. Артиљеријска орђа са глатким цевима

Одувек је један од основних параметара могућности оруђа била величина и маса пројектила-кугле, а то значи и унутрашњи пречник цеви из које се избацује кугла. Пошто се у Италији, тада водећој сили на пољу артиљерије, маса изражавала у либрама, онда се, зависно од тога колика је маса кугле (*qua libra* = колико је тешка) ценила и моћност оруђа. Сматра се да од ових речи долази појам калибар оруђа, који се и данас узима као један од најважнијих параметара моћности оруђа. Први научни темељи за израду и употребу оруђа постављени су у 16. и 17. веку, раздобљу које карактерише снажан успон науке и уметности уопште и читава плејада научника (Тртаља, Њутн, Галилеј, Торичели и др.). Тиме се значајно повећава тачност и ефикасност гађања артиљеријским оруђима. Средином 19. века, проналаском моћнијег малодимног барута, долази до новог импулса у развоју оруђа. Пројектили се пуне експлозивним пуњењима чиме се повећава њихово дејство на циљу. Настојање да се маса експлозивог пуњења што више повећа, а тиме и маса пројектила, условило је увођење уздужних (цилиндричних) пројектила са одговарајућом аеродинамичном конфигурацијом која је пројектилу обезбеђивала мање силе отпора током лета до циља. Све до половине 19. века цев је била чврсто везана са

лафетом, који су због великих оптерећења при опаљењу морали да буду врло масивни и великих димензија. Ова оруђа са тзв. Крутим лафетом су била велике масе, слабо покретна и врло спорометна. Увођењем еластичне везе између цеви и лафета помоћу противтрзајућег уређаја, а посебно хидрауличне кочнице трзања (1846.године Кане) знатно је повећана прецизност гађања и брзومتности оруђа, а посебно стабилност оруђа при опаљењу. Оваква веза омогућила је рационалну конструкцију лафета оруђа у погледу габарита и масе, који постају лакши и мобилнији. Брзина гађања оруђа се још повећала израдом затварача цеви који за свој аутоматски рад користи енергију трзања цеви. У току првог Светског рата производе се оруђа специјалне намене као што су: противтенковска, тенковска, и противавионска оруђа. У истом периоду долази и до појаве оруђа са реактивним погоном пројектила (реактивна артиљеријска оруђа или ракетни ласери) која се посебно масовно примењује у Другом светском рату. У оквиру модернизације постојећих система оруђа у послератном периоду цеви се ојачавају и пројектују за веће притиске опаљења, веће почетне брзине пројектила и веће домете. Увођењем гасних уређаја и конструкције оруђа све се побољшавају функције оруђа и њихова намена, посебно код великих калибара оруђа. Иако је појава и примена ракетног наоружања и ракета средњег и великог домета и све масовнија примена бомбардерске авијације у току и после Другог светског рата донекле учинила безпредметним напором у смеру повећања калибра и домета тешких оруђа, ипак се у укупном развоју артиљеријског оруђа и нових система и даље поклања велика пажња. У томе предњаче најразвијеније земље света како на западу(SAD)у оквиру алијансе NATO, тако и на истоку (Русија) и далеком истоку (Кина, Јапан, Сингапур).



Слика 6. Ракетно артиљеријско оруђе Каћуша

Код новоконструисаних оруђа повећање почетне брзине у односу на постојеће оруђе истог калибра и намене може се остварити повећањем средњег радног притиска барутних гасова у цеви, повећањем дужине цеви или оптимизацијом облика пројектила.

1.3. Тенденција развоја и савремени трендови

Модернизација самоходних оруђа по програму HIP, у SAD је током 1987.године започет развој будућег артиљеријског система AFAS (Advanced Future Artillery System).Планира се да AFAS буде артиљеријски нападни систем оруђа који се користи за ватрену подршку ваздушно-копнену битку у склопу пројекта опремања и модернизације будуће америчке копнене војске. У оквиру програма AFAS, 1991.године вршена су испитивања из оруђа DEFENDER (цев 155mm уграђена на шасији самодоне хаубице M109). Програм AFAS је пројектован врло амбициозно и према њему артиљеријски систем треба да задовољи следеће захтеве:

- да у погледу домета надмаши све потојеће системе и да му домет буде најмање 50km,
- да има способност самосталног одређивања тачне позиције и навигације,
- да свако оруђе има дигитални балистички рачунар за обраду података за гађање и перформансе које му омогућују интеграцију са системом за управљање ватром вишег нивоа,
- да оствари брзине гађања и то : рафал 4 метка за 15 s , а највећа брзина гађања 4-6 метака у минути. Поступком симултаног испаливања пројектила из једног оруђа TOT (Time On Target), захтева се постизање ефекта истовременог дејства на циљ са 3 погодака. Оруђе треба да има велику тачност на великим даљинама гађања,
- да се могу преносити авионима C-5 и C-17, превозити железницом без ограничења и парашутирати из хеликоптера,
- да оруђе буде компатибилно са структуром механизованих јединица ради заједничког дејства као и у погледу заједничких компонената. У циљу онемогућавања откривања положаја оруђа онда од стране противника, треба да буду примењени поступци најновијих технологија,
- да оруђе буде оспособљено за самостално дијагностиковање функција и самосталне поправке, односно да користи модулатне компоненте,
- да буде потпуносамостално у извршавању задатака од 3 до 5 дана борбених дејстава, без допуњивања са горивом и муницијом за то време,
- да посада буде радно способна и у условима ННВ дејстава ,а сама конструкција оруђа треба да буде решена тако да повећа вероватноћу преживљавања од дејства интелигентне муниције,
- да има најмањи одраз при опаљењу пројектила ради смањења демаскирања,
- да у склопу оруђа буде заступљена најнапреднија технологија којом могу да се мере и коригују грешке при гађању изазване нестандартним метеоролошким условима,

-да у поступку пројектовања система буду по највишим стандардима обезбеђени безбедносни, сигурносни и ергономски услови.

Користећи стечена искуства у току развоја самоходне хаубице 155mm M109A6 Paladin, амерички стручњаци су на основу захтева AFAS током 2000.године развили и тестирали прототип самоходне хаубице 155mm Crusader. Било је планирано да се овај систем уведе у употребу 2008.године, али се од тог плана одустало. Поред изузетно високе цене развоја и вероватно других разлога који за сада нису познати јавности. Crusader је обустављен и вероватно замрзнут до неког наредног периода. И поред тога, ово оруђе по свим решењима представља изузетно модерно конципиран артиљеријски систем без премца у свету који ће релативно дуго у будућем времену представљати врх коме треба тежити. Аутономни систем Crusader у суштини чине два гусенична возила: HM2001 са хаубицом 155mm и HM2002 као возило за подршку и дотур муниције.



Слика 7. M109



Слика 8. HM2001

Пошто је развој самоходног оруђа Crusader стао, на тржишту су остала два доминантна самоходна оруђа 155mm: PУН 2000(Немачка) и AS 90 (Велика Британија).Поред њих ,али по успешности решења нешто нижег нивоа, ту су артиљеријски системи такође калибра 155mm: GCT (Француска), RASCAL (Израел), FH-77BD(Шведска), G6 Denel (Јужноафричка Република) и руски систем калибра 152mm MSTA-S који испалује нови тип пројектила тзв. самонавођени пројектил у завршном делу путање KRASNOPOLJ и KRASNOPOLJ-M ,врло велике прецизности и по многима једноставно решење у свету самоходни двоцевни артиљеријски систем 152mm KOALICIJA-SV.



Слика 9. AS-90



Слика 10. KOALICIJA-SV

Новом концепцијом тзв. модуларне грађе, каква је примењена на систему KOALICIJA-SV, остварено је низ предности и погодности за бољу ефикасност система и чланова посаде. Радна места чланова посаде (2 члана) размештена су у компјутеризованом моделу управљања у предњем делу возила. Модул управљања је опремљен тактичким системима за избор циљева, позиционирање цеви и навигацију у простору. Свако радно место је обезбеђено системом даљинског управљања потпуно аутоматизоване ватре и контролом извршења свих операција на дupleју командно информационог система. Основне предности овако развијеног самоходног артиљеријског система су:

- већа брзина гађања на рачун обезбеђења истовременог пуњења обе цеви,
- већа ефикасност гађања на рачун смањења времена реакције система при гађању,
- обезбеђена већа ефикасност ватре посебно у режиму једновременог симултаног опаљења на циљ MRSI (Multiple Rounds Simultaneous Impact) због веће брзине гађања применом модуларних пуњења при разним угловима елевације цеви,
- обезбеђена стабилност балистичких карактеристика за све врсте промењених барутних пуњења извршењем једнообразног фиксирања положаја пуњења у барутној комори независно од броја модула у конкретном пуњењу,
- укупна маса система сразмерна је маси класичних једноцевних система што је остварено применом цеви високе чврстоће, композитних материјала високе специфичне чврстоће за колевку и решењем без класичног задњака у клопу цеви с обзиром да његову улогу реализују доносачи пројектила.

Максимални ефекат примене и искоришћења појединачно сваког артиљеријског оруђа може се постићи ако је повезано са савременим системом за командовање и управљање ватром. По оцени војних стручњака борбена ефикасност савремене артиљерије повећана је захваљујући аутоматизацији система за управљање ватром (SUV) за три до пет пута. Због тога је будући развој савремених оруђа практично незамислив без оваквих система (нпр. Француски систем за командовање и управљање артиљеријском ватром ATILA, руски комплекс KAPUSTNIK-B и др.

Захтев за даљим повећањем тачности погађања и смањивање брзине реаговања, као важан услов за вероватноћу преживљавања на бојишту, захтеваће да се у реалним условима успостави потпуна интеграција командовања и управљања ватром.

Тактичка покретљивост артиљеријских система већ је постигнута пуном афирмацијом самоходних оруђа. Захтев за вишим нивоом покретљивости и могућности преношења оруђа авионом и хеликоптерима, захтеваће од оруђа калибра 155mm и већег знатно мању укупну масу, односно лаке и ултралаке конструкције. То ће нужно имплицирати нове конструкционе захтеве, нову технологију израде и нове материјале (композите, лаке металне лагуре на бази титана , волфрама ,алуминијума у угљеничних влакана) и наравно, оптимизацију целе конструкције. Оваквим поступцима и приступом може се реализовати суперлако оруђе 155mm , слично или по изгледу на енглексо решење вучног оруђа 155mm LTH.



Слика 11. LTH 155 mm M777

1.4. Хаубице домаће производње M56 и M09 “СОКО“

Развој хаубице 105 mm M56 креће 1950. године са основним захтевом да ново оруђе користи муницију немачке хаубице 105 mm M-18M и M-18/39. Током израде прототипа захтев је проширен па се захтевало да се може користити и америчка муниција јер је Југославија у међувремену из америчке војне помоћи добијала хаубице 105 mm M1 и M2. Конструкција првог прототипа хаубице SH-2 завршена је у Војно-техничком институту 1952 године. Радило се и на специјалном пуњењу за домет 14 km. Прототип SH-1 због веће масе није усвојен па је до половине 1955. године реализован нови прототип SH-2 који је уведен у оперативну употребу 1956.



Слика 12. Југословенска хаубица M56A1

ТТ карактеристике	
калибар цеви	105 mm;
број жлебова	36;
увијање жлебова	константно слева, удесно, нагоре
утао увијања	8°;
највећа почетна брзина	540 m/sek;
највећи домет	
са специјалним пуњењем	13.100m;
са седмим пуњењем	11.400 m;
са првим пуњењем	2.750 m;
хоризонтално поље дејства	
са растављеним крацима лафета	52°
са састављеним крацима лафета	16°
вертикално поље дејства	
са нормалним уклапањем ашова репа лафета	-9° do +65°
са састављеним крацима лафета	+12° do +15°
нормална дужина трзања	1100 mm
највећа дозвољена дужина трзања (елевација 0-30)	1150 mm
највећа дозвољена дужина трзања (елевација 45-62)	850 mm
тежина хаубице на маршу	2100 kg
тип повратника	hidropneumatski
тип хидрауличне кочнице	sa kanalima na kontraklipnjači
тип изравњача	pneumatski
дужина хаубице у маршу	6060 mm
ширина хаубице у маршу (колотраг)	1800 mm
клоренс	390 mm
поделама нишанске справе	jan.00
ширина хаубице са растављеним крацима	3600 mm
количина течности у хидрауличној кочници	6,3 l
количина течности у повратнику	7 l
количина течности у изравњачима	0,052 l
притисак азота у повратнику	50 atm
притисак азота у изравњачима при елевацији 0°	28 atm

Табела 1. Преглед ТТ карактеристике хаубице M56

Модернизација хаубице М56 је извршена променом дужине цеви од тридесет три калибра и уградњом активно-реактивне гасне кочнице. Домет хаубице се повећао и на рачун нове муниције 105 mm ТФ 105 mm HE ER – ВВ М02 где је почетна брзина од 491 m/s повећана на 670 m/s а домет до неких 18 084 mm. Због своје релативно мале масе лафетирана је на камиону ТАМ 150 и као таква ушла у оперативну употребу у ВС под називом „СОКО“ М09. Карактеристике овог оруђа су

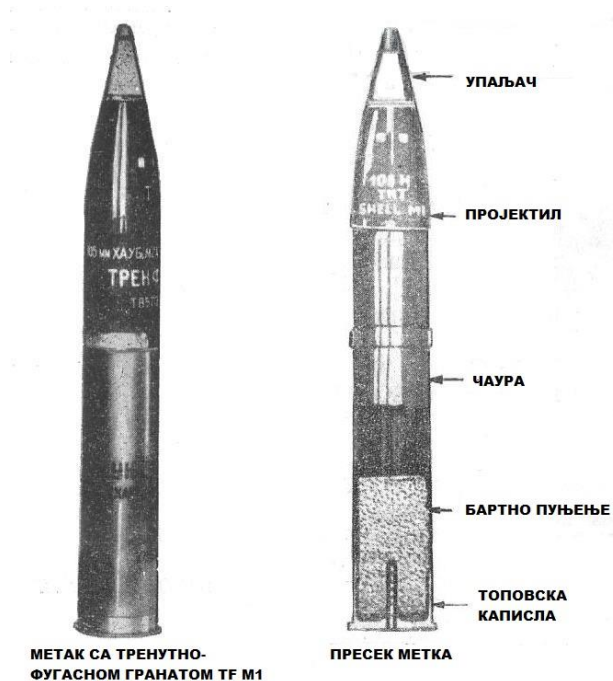
- висока ватрена моћ остварена комбинацијом великог домета,
- велике брзине гађања и постојање савременог система за управљање ватром,
- кратко време реаговања,
- борбена аутономија - остварена великим борбеним комплетом,
- висока мобилност - остварена компактном и високомобилном шасијом теренског возила погонске формуле 6Х6
- могућност ваздушног транспорта
- висока борбена живавост – остварена великом брзином поседовања и напуштања ватреног положаја
- универзалност борбене употребе – остварена могућност непосредног и посредног гађања из помоћног наоружања употребом савременог СУВ-а
- балистичке заштите од стрељачке ватре и парчади граната као и употребе стандардне муниције
- висока стабилност оруђа приликом гађања



Слика 13. Самоходна хаубица „СОКО М09“

Калибар 105 mm представља калибар кога користи већина земаља света за дејствовање по утврђеним објектима или живој сили на већим даљинама. Овај калибар користе савремени топови, хаубице, топ-хаубице. У поређењу са источним калибрима, нато калибри јесу бољи у погледу њиховог набављања јер је њихова производња у свету веома заступљена. Развој овог калибра као и оруђа код нас креће 1961. године када је после неуспелог развоја метка са противоклопним пројектилом заснованом на Хопкинсовом ефекту калибра 90 mm. Недостатак овог метка је била недовољна ефикасност на циљу. Метак 105 mm је ушао у оперативну употребу 1963. године.

Развој метка 105 mm са осветљавајућом гранатом је почео 1957. године на бази америчке гранате M304A1. Институт је успешно обавио развој па је 1966. године метак уведен у оперативну употребу, али никада није произведен јер није било адекватног темпирног упалача. У сарадњи са ВТИ-ом, фабрика „Pretis“ је развила метак 105 mm са димним пројектилом WP M60.



Слика 14. Метак са тренутнофугасном гранатом TF M1

Гранате:

Тренутно-фугасна граната HE M1 (а) по конструкцији, особинама и изгледу иста је као и граната TF M1 (СФРЈ производња), разлика је само у обележавању, јер је ова граната америчког порекла.

Темпирна граната HE M1 (а) по конструкцији, особинама и изгледу иста је као и тренутно-фугасна граната TF M1 или HE M.

Кумулативно зрно HE AT M67 (б) има мању почетну брзину у односу на остале гранате, јер је количина барутног пуњења у чаури мања.

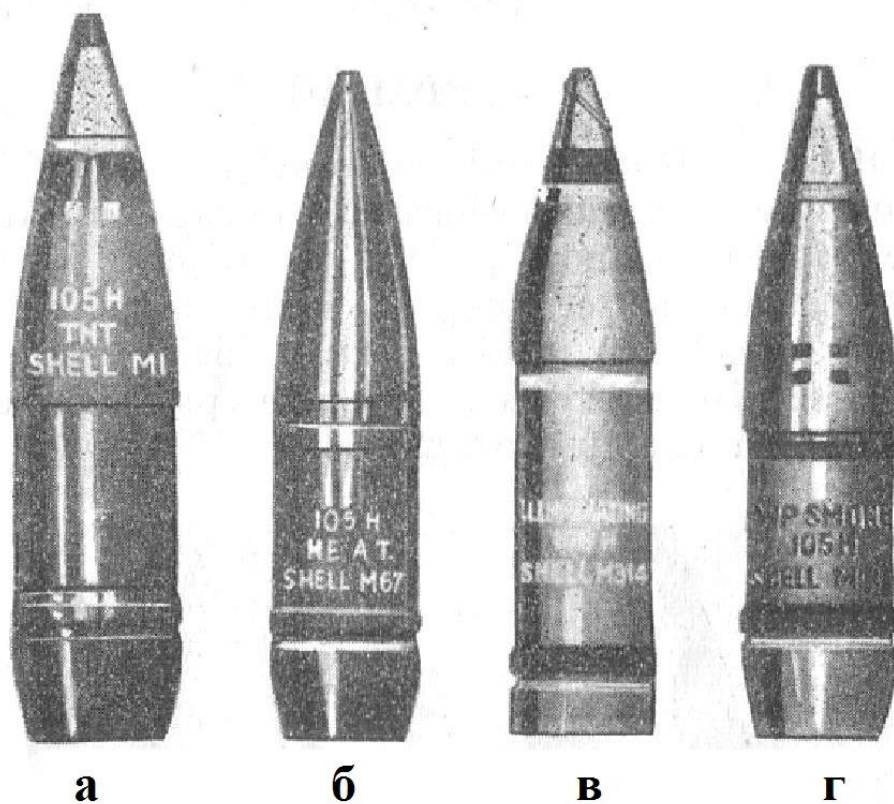
Осветљавајуће зрно M314A1 на спољњој површини зрно је обојено светло сивом бојом. Смеса за осветљавање избачена падабраном гори око 43 секунде.

Осветљавајуће зрно HC BE M84 (в) по конструкцији и изгледу, слично је осветљавајућем зрну M314. Има разлике само у неким модификацијама које немају утицаја на балистичке особине овог зрна.

Димно зрно HC BE M84 (г) Кошуљица зрна је обојена светлосивом бојом. Испод центрајућег прстена нанесен је белом бојом појас ширине 10 мм (знак за димно зрно). После распрскавања, смеса гори око три минута и даје густ дим.

Димно зрно BE M84 слично је димном зрну HC BE M84 само што даје дим различите боје — зависно од пуњења.

Димно зрно WP M60 слично је димном зрну HC BE M84 и BE M84.



Слика 15. Гранате хаубице M56

1.5. Савремене хаубице 105 mm страног порекла

M119 (ROF-s)

M119 је хаубица британског порекла калибра 105mm која је у оперативној употреби и у САД-у. Због своје масе од 2 320kg чини је лако преносивом. Гађа полусједињеном муницијом 105mm а максимални домет остварује до 17,5km. Максимална брзина гађања је 8 пројектила у 3 минута. Постоје и модификоване верзије ове хаубице од којих је M119A3 најновија. Ова модернизована верзија има дигитални систем управљања ватром и навигационим системом за лоцирање. Ушла је у оперативну употребу априла 2013. године. Транспорт ове хаубице се врши хеликоптерима Boeing CH-47 Chinook и Sikorsky UH-60 Black Hawk а може се и вући са неким вишенаменским точкашким возилима високе мобилности типа M1097.



Слика 16. Вучена хаубица M119

G7 (DLS)

Јужноафричка фирма DLS је 1997. године дизајнирала хаубицу G7 105mm која има домет и до 32km. Маса овог оруђа је 3 800 kg. Поседује цев од 52 калибра из ког се испаљују пројектили максималне почетне брзине од 950m/s. Може гађати групом углова од -5° до $+75^{\circ}$. Овј систем је, у виду куполе 2004. године уграђен на оклопно возило LAV III и његова укупна маса је 17,5 тона што га чини довољно лаким за транспорт авионом C-130 Hercules.



Слика 17. Вучена хаубица G7

M108 (Cadillac Motor Car Division)

M108 представља старију самоходну хаубицу из 1962. године. Ова хаубица се и дан данас налази у оперативној употреби бразилске војске. Осим Бразила земље које су користиле ово оруђе су Аустралија, Камбоџа, Тајван, Белгија, Тунис... Модел М109 представља другу верзију хаубице М108 а разлика је у калибру који на М109 износи 155mm. Хаубица М108 105mm има дужину цеви 30 калибра и гађа под угловима елевације од -6° до 75° и 360° по правцу. Максимални домет износи и до 15km а маса је 21 тону. Може развити брзину у маршевском положају до 56 km/h.



Слика 18. Самоходна хаубица М108

Type 74 (Komatsu and Japan Steel Works)

Самоходно оруђе Type 74 је патентирано од стране јапанских компанија Komatsu и Japan Steel Works комбинацијом оклопног транспортера Type 73 и куполе 105mm. Налази се и данас у оперативној употреби у неким земљама света. Маса ове самоходне хаубице износи око 16,5 тона и може се кретати максималном брзином од 50 km/h. Максимални домет је 14,5 km а број пројектила у пуњачу је 20 комада. Може гађати по правцу пуних 360° .



Слика 19. Самоходна хаубица Type 74

EVO-105 (Samsung Techwin)

EVO-105 је јужнокорејска самоходна хаубица 105 mm са точкашком платформом чија је масовна производња кренула 2018. године. Развијена је од стране фирми Samsung Techwin. Точкашку платформу чини камионско возило Kia KM500 (6x6) масе 5 тона. На камиону је лафетиран склоп цеви са хидрауличном кочницом и повратником са хаубице M101 а циљ је био замена постојећих вучних хаубица M101. Максимални домет ове хаубице је 11,5 km и може гађати под елевацијом -5° до $+65^{\circ}$. Брзина гађања износи 10 пројектила у минути.



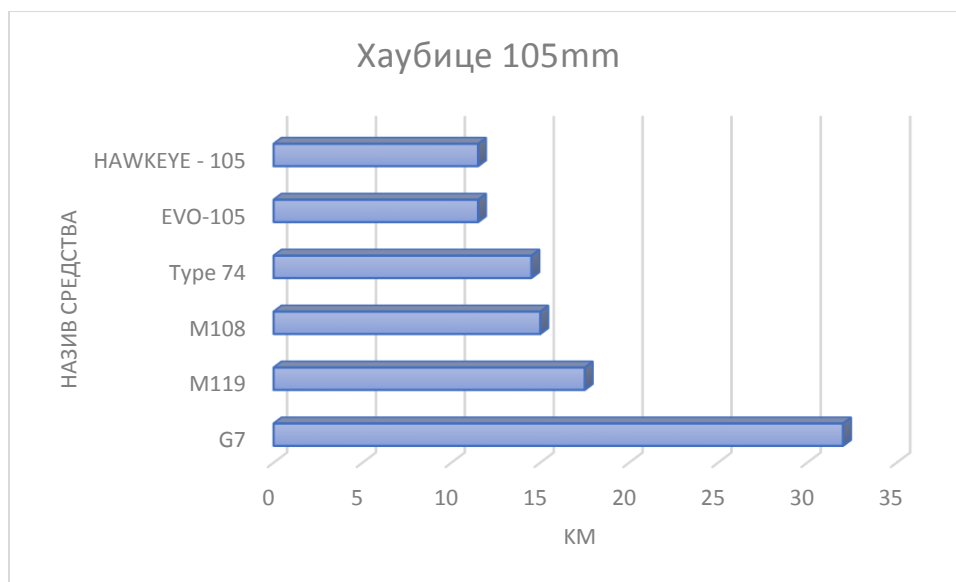
Слика 20. Самоходна хаубица EVO-105

Hawkeye-105 (AM General)

Hawkeye-105 је данас једна од најлакших самоходних хаубица на свету. Овај систем се састоји од стандардне хаубице димензија 105 мм M20 америчке војске, постављене на шасију M1152A1. Овај артиљеријски систем се може интегрисати на многе врсте војних возила. Користи стандардну муницију 105 мм. Максимални домет је 11,5 км и може дејствовати посредно и непосредно. Брзина гађања овог оруђа је 10-12 пројектила у минути. Збој своје мале масе може се транспортовати хеликоптерима CH-47 Chinook и транспортним авионом C-130 Hercules.



Слика 21. Самоходна хаубица Hawkeye-105



Слика 22. Графички преглед максималног домета поменутих хаубица

Из приложеног видимо да хаубица G7 има највећи максимални домет . Разлог за оволики њен домет јесте велика дужина цеви и велика почетна брзина пројектила која износи 950 m/s. Остала оруђа су доста старија од поменуте хаубице и гађају мањим почетним брзинама. Даљим развојем хаубице се тежи на повећању домета и на побољшању њихове мобилности што доводи до њиховом лафетирању на точкашким или гусеничним платформама као и на повећању калибра што узрокује већу ватрену моћ оруђа. Такође, данас се тежи и на повећању прецизности и тачности гађања артиљеријским оруђима.

2. Балистички прорачун хаубице

2.1. Метод Дроздова

Суштина методе састоји се у томе да се сваки од балистичких елемената опаљења (ψ , v , l , p) изражава у функцији једне од независно променљиве – релативне дебљине барута која је сагорела од почетка кретања пројектила. Ту величину $X=z-z_0$ изабрао је професор Дроздов. Дефинисање законитости кретања пројектила у процесу опаљења огледа се у решавању система једначина по периодима. Изузетак је прорачун времена који се изводи јединствено за цео ток процеса опаљења. Све константе које улазе у систем једначина представљају полазне податке и подразумева се да су познате њихове бројчане вредности.

Полазни подаци су груписани као:

- карактеристике цеви: S_c , W_0 , X_u
- карактеристике пројектила: m , p_0 , ϕ и
- карактеристике барута: m_b , f_b , α , u_{z0} , ρ_b , Θ , $2r_0$, κ , λ , μ , (κ_1, λ_1)

Метода се изводи за барутна зрна дегресивног облика. Ако су барутна зрна прогресивног облика нпр седмоканални барут треба дебљину барутног зрна помножити са фактором 10/7 и срачунати коефицијенте облика као за цилиндрично једноканално зрно.

Претходни период

У овом периоду притисак барутних гасова расте од притиска припале p_p до притиска форсирања p_0 , при чему се пројектил не креће и запремина у којој се процес одвија је стална. Прорачун тока претходног периода се не изводи, а врши се прорачун вредности одговарајућих карактеристика на крају претходног периода, пошто су то полазни подаци за први период. Променљиве су ψ , σ , u . Њихове вредности на крају претходног периода означавају се индексом нула.

За познати притисак форсирања p_0 , уз почетне услове $X=v=0$, за крај претходног периода следи:

$$\psi_0 = \frac{\frac{W_0}{m_b} \frac{1}{\rho_b}}{\frac{f_b}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\rho_b}} \quad (2.1.)$$

Једначине за крај претходног периода имају облик:

$$\psi_0 = \kappa_1 z_0 + \kappa_1 \lambda_1 z_0^2 \quad (2.2.)$$

$$\sigma_0 = 1 + 2\lambda_1 z_0 \quad (2.3.)$$

Њиховим решењем добија:

$$\sigma_0 = \sqrt{1 + 4 \frac{\lambda_1}{\kappa_1} \psi_0} \quad (2.4.)$$

$$y_0 = \frac{\sigma_0 - 1}{2\lambda_1} \quad (2.5.)$$

Ако се жели срачунати време трајања претходног периода, онда се на основу израза за притисак у функцији времена у константној запремини добија:

$$t_0 = \frac{I_k(1-\alpha\rho)}{f_b\rho} \ln \frac{p_0}{p_p} \quad (2.6.)$$

Овде је I_k – тотални импулс притиска барутних гасова. I_k се дефинише на следећи начин:

$$I_k = \int_0^{t_k} p dt = \frac{r_0}{u_{z0}} = const \quad (2.7.)$$

Први период

Први период траје од почетка кретања пројектила до краја сагоревања барута.

- полазни подаци су: $t = v = X = 0$ $y_0, p_0, \psi_0, \sigma_0$

- крајњи подаци су: $t_k, v_k, X_k, p_k, y_k = \psi_k$

За независно променљиву, помоћу које се изражавају све остале променљиве, аутор методе спаја релативну сагорелу дебљину барута од почетка првог периода:

$$x = y - y_0.$$

Током првог периода независно променљива се мења од нуле до вредности $X_k = 1 - y_0$.

Заменом у постојећим формулама добија се:

$$\psi = \psi_0 + \kappa_1 X + k_1 \lambda_1 X^2 \quad (2.8.)$$

Где је:

$$\kappa_1 = \kappa_1 \sigma_0 \quad (2.9.)$$

Дељењем једначине и њиховим интеграљењем довија се:

$$v = \frac{S_c I_k}{\varphi m} X \quad (2.10.)$$

Зависност пута x добија се дељењем постојећих једначина. Елиминише се величина p , ψ , v , тако да се добије диференцијална једначина с променљивим X , X_ψ и x . Онда су интегрални тако да се за X_ψ узме средња вредност:

$$X_{\psi sr} = X_0 \left[1 - \frac{\rho}{\rho_b} - \rho \psi_{sr} \left(\alpha - \frac{1}{\rho_b} \right) \right] \quad (2.11.)$$

$$\psi_{sr} = \frac{\psi + \psi_0}{2} \quad (2.12.)$$

Која је за дати интервал константна. При томе се још уводе и следеће ознаке:

$$v_{lim}^2 = \frac{2f_b m_b}{\varphi \theta m} \quad (2.13.)$$

$$B = \frac{S_c^2 I_k^2}{\varphi m f_b m_b} \quad (2.14.)$$

$$B_1 = \frac{B\theta}{2} - k_1 \lambda_1 \quad (2.15.)$$

$$\gamma = \frac{B_1 \psi_0}{k_1^2} \quad (2.16.)$$

$$b = \sqrt{1 + 4\gamma} \quad (2.17.)$$

$$\beta = \frac{B_1}{k_1} x \quad (2.18.)$$

$$Z_x = \left(1 + \frac{2}{b-1} \beta \right)^{\frac{b-1}{2b}} \left(1 - \frac{2}{b-1} \beta \right)^{\frac{b+1}{2b}} \quad (2.19.)$$

Тако се добија:

$$X = X_{\psi sr} \left[Z_x^{-B/B_1} - 1 \right] \quad (2.20.)$$

Из постојеће једначине добија се:

$$p = \frac{f_b m_b}{S_c} \frac{\psi_0 + k_1 x - B_1 x^2}{X_\psi + X} \quad (2.21.)$$

Редослед прорачуна је следећи. σ

Усвоји се жељени број вредности за x у интервалу од 0 до x_k . За сваку вредност x рачуна се ψ , X_ψ , ψ_s , $X_{\psi s}$, β , Z , v , X , p .

Подразумева се да пре тога треба да се срачунају све константе које улазе у поједине изразе. У току првог периода остварује се максимални притисак барутних гасова.

Деривацијом једначине уз услов $\frac{dp}{dt} = 0$, $p = p_m$, $v = v_m$, $\sigma = \sigma_m$, $\left(\frac{dX}{dt}\right)_m = v_m$ и $\left(\frac{d\psi}{dt}\right)_m = A\sigma_m p_m$ добија се услов за максимални притисак:

$$x_m = \frac{\frac{k_1 \sigma_0}{B(1+\theta)}}{1 + \left(\alpha - \frac{1}{\rho_b}\right) \frac{p_m}{f_b} - 2k_1 \lambda_1} \quad (2.22.)$$

Максимални притисак барутних гасова добија се на следећи начин. Усвоји се нека вредност p_{m0} . Из претходне једначине одреди се x_m и затим се процедуром из једначине за притисак срачуна p_{m1} . Тада се упореде p_{m0} и p_{m1} . Уколико је разлика мања од дозвољене грешке, за максимални притисак се усваја једна од те две вредности, свеједно која. У противном поступак се понови са p_{m1} . Последњи притисак који испуни услов дозвољене грешке, узима се за максимални притисак. Дозвољена грешка је 5 МПа.

Ако је потребно рачунати и температуру у цеви оруђа-оружја, израз за њу се добија из основне једначине унутрашње балистике и то овако:

$$T = T_m \left(1 - \frac{B\theta}{2\psi} x^2\right) \quad (2.23.)$$

Поступак прорачуна за први период је следећи: Узима се низ вредности за x , од $x=0$ до $x_k=1-y_0$ и рачунају се променљиве ψ , v , β , Z , X , p и T . Када се за независно променљиву узме вредност са краја првог периода, онда се из одговарајућих једначина добијају вредности за карактеристике краја првог периода X_k , v_k , и p_k .

Други период

Други период траје од краја сагоревања барута до момента изласка пројектила из цеви оружја-оружја.

Почетни услови су: $\psi=1$, v_k , X_k , p_k

Крајњи услови су : v_0 , X_u , p_u

За независно променљиву усваја се пут пројектила X који се мења од X_k до X_u .

У другом период у јавља се само адијабатско ширење барутних гасова услед кретања пројектила, па вреди:

$$pW^{(1+\theta)} = p_k W_k^{(1+\theta)} \quad (2.24.)$$

и следи:

$$p = p_k \left(\frac{X_1 + X_k}{X_1 + X} \right)^{(1+\theta)} \quad (2.25.)$$

где је:

$$X_1 = (X_\psi)_{\psi=1} = \frac{W_0 - am_b}{s_c} \quad (2.26.)$$

Ако се једначина за притисак напише за произвољан моменат у другом периоди за почетак другог периода, уз једначину за притисак следи:

$$v = v_{lim} \sqrt{1 - \left(\frac{X_1 + X_k}{X_1 + X} \right)^{(\theta)} \left(1 - \frac{v_k^2}{v_{lim}^2} \right)} \quad (2.27.)$$

Температура се рачуна из:

$$T = T_m \left(1 - \frac{v^2}{v_{lim}^2} \right) \quad (2.28.)$$

Поступак прорачуна за други период је следећи: Узима се низ вредности за X , од $X = X_k$ до $X = X_u$ и рачуна се v , p и T . За $X = X_u$ добијају се карактеристике на устима цеви v_0 , T_u и p_u . Након тога могу се нацртати зависности $v = f_1(X)$ и $p = f_2(X)$

2.2. УБ прорачун са основним параметрима пројектила методом Дроздва

У овом поглављу ће бити приказан УБ прорачун за калибар 105 mm са седмим пуњењем, односно масе барута 1307g. За задавање почетне брзине овог пројектила користи се цеваста барут ознаке NCD-11 са карактеристикама наведеним у табели. Пројектил је тренутно фугасни масе 14.968 kg.

Величина	Ознака	Вредност	Јединица
R_0	R_0	0,2	mm
Маса барута	mb	1307	g
Топлотни потенцијал барута	Q_{wz}	3120	J/g
Капа	κ	1,114	-
Ламбда	λ/lam	-0,114	-
Ми	μ/mi	0	-
Специфичан рад барутних гасова	fb	908030,1409	J/kg
Коволумен барутних гасова	α	0,001065534	kg/m ³
Јединична брзина сагоревања барут	U_{z0}	$5.67843e^{-10}$	m/s/Pa
Коефицијент фиктивности	φ	1,134	-
Запреминска маса барута	ρ_b	1600	kg/m ³
Тета	Θ	0,269	-
Пречник барутног зрна	D	1.05	mm
Унутрашњи пречник барутног зрна	d	0.25	mm
Дужина барутног зрна	L	7	mm

Табела 2. Карактеристике барута NCD-11

За балистички прорачун методом Дроздова потребно је аналитички одредити коефицијенте облика барутног зрна. Пошто се ради о цевастом барутном зрну за прорачун коефицијента облика барутног зрна користе се формуле:

$$\gamma = 0 \quad (2.29.)$$

$$\kappa = 1 + \beta + \gamma \quad (2.30.)$$

$$\beta = \frac{2r_0}{L} = \frac{0,8}{7} = 0,114 \Rightarrow \kappa = 1,114 \quad (2.31.)$$

$$\lambda = -\frac{\beta+\gamma+\beta*\gamma}{\kappa} = -0,1023 \quad (2.32.)$$

$$\mu = \frac{\beta*\gamma}{\kappa} = 0 \quad (2.33.)$$

Унутрашњи балистички прорачун је одрађен у софтверу Force 2.0. Параметри који се уносе за овај прорачун се налазе у табели. Због веће тачности рачунања, приликом уношења вредности, резолуција добијања резултата је стављена на 750 подеока у првом периоду а у другом 500.

Величина	Ознака	Вредност	Јединица
Запремина барутне коморе	W_0	0,002790	m^3
Калибар цеви	S_c	0,0105	m
Пут пројектила у цеви	X_u	2,56	m
Коефицијент фиктивности	φ	1,134	-
Маса пројектила	M	14,968	kg
Маса барута	M_b	1,308	kg
Специфичан рад барутних гасова	fb	908030	J/kg
Запреминска маса барута	ρ	1600	kg/m^3
Коволумен барутних гасова	α	0,00107	kg/m^3
Тета	Θ	0,269	-
Релативна сагоревајући дебљина барутног зрна	R_0	0,00040	m
Капа	κ	1,1140	-
Ламбда	λ	0,1023	-
Јединична брзина сагоревања барутног зрна	U_{z0}	$5,67843*10^{10}$	m/s/pa
Притисак форсирања	p_0	1000	Bar

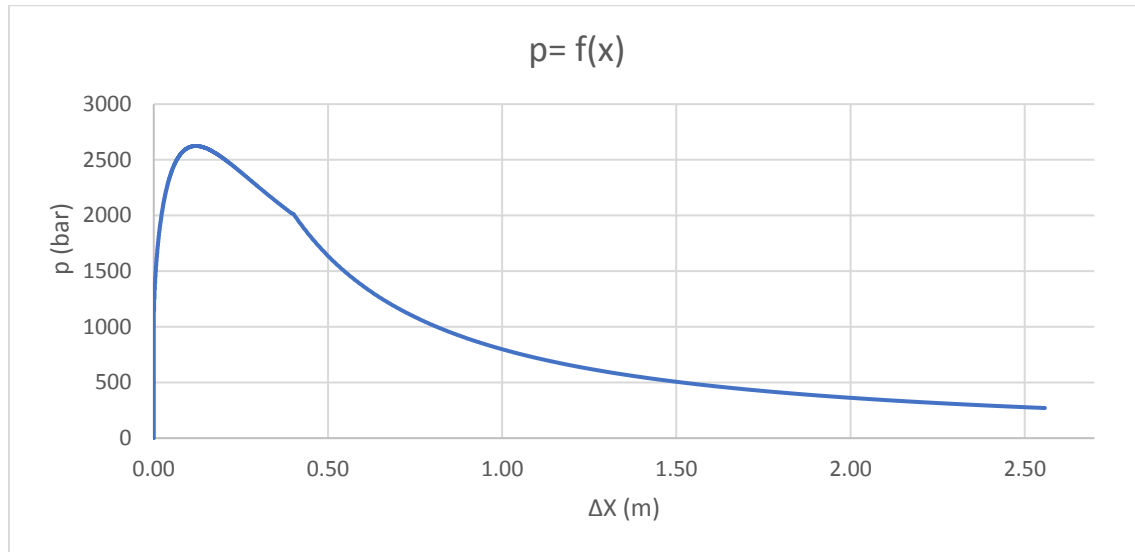
Табела 3. Параметраи потребних за УБ прорачун

На основу прорачуна методом Дроздова добијене су следеће карактеристике:

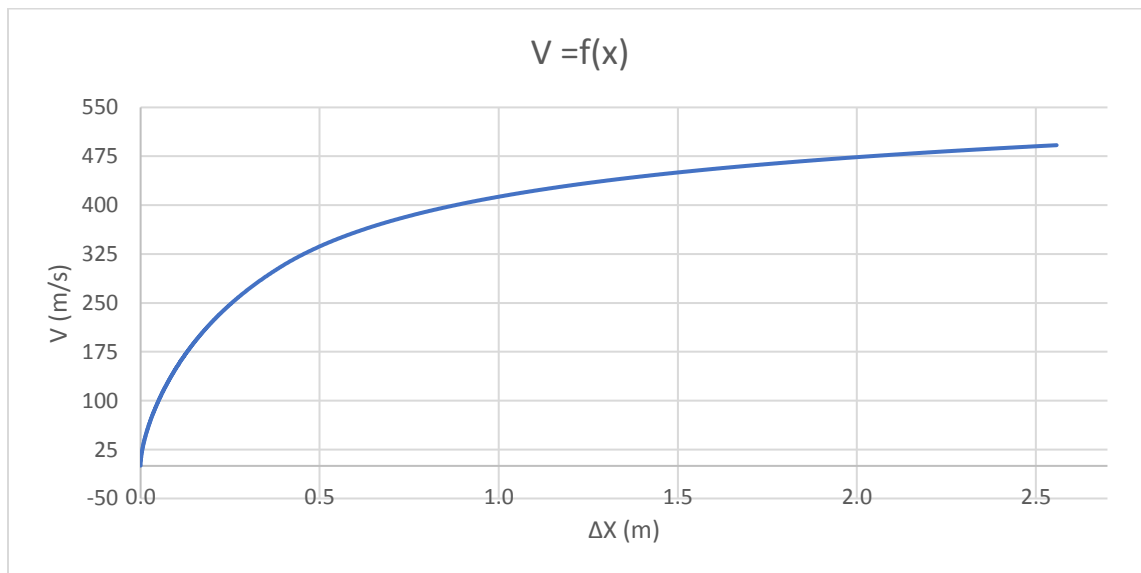
- Брзина пројектила на устима цеви - $V_0=492$ m/s
- Максимални притисак барутних гасова - $p_{\max} = 2\ 620$ bar

- Време трајања циклуса – $t=0.00787$ sek.

Почетна брзина пројектила се може наћи у таблицама гађања и износи $V_0=491$ m/s. Овим прорачуном нисмо добили брзину као што је у таблицама гађања, али је грешка брзине од 1 m/s занемарљиво мала. Прорачуном добијамо графике притиска у зависности од дужине цеви као и промену брзине од почетка цеви па све до уста где добијамо почетну брзину пројектила V_0 . Период накнадног изласка барутних гасова ћемо занемарити.



Дијаграм 1. Приказ промене притиска у функцији промене дужине цеви у току опаљења



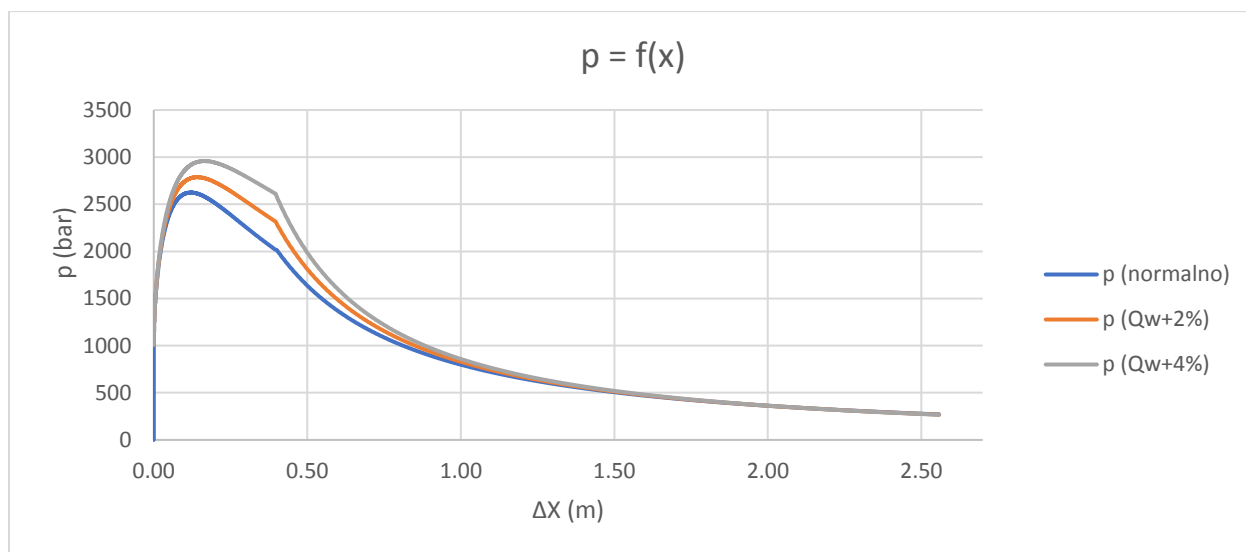
Дијаграм 2. Приказ промене брзине у функцији промене дужине цеви у току опаљења

2.3. УБ прорачун са измењеним параметрима пројектила методом Дроздва

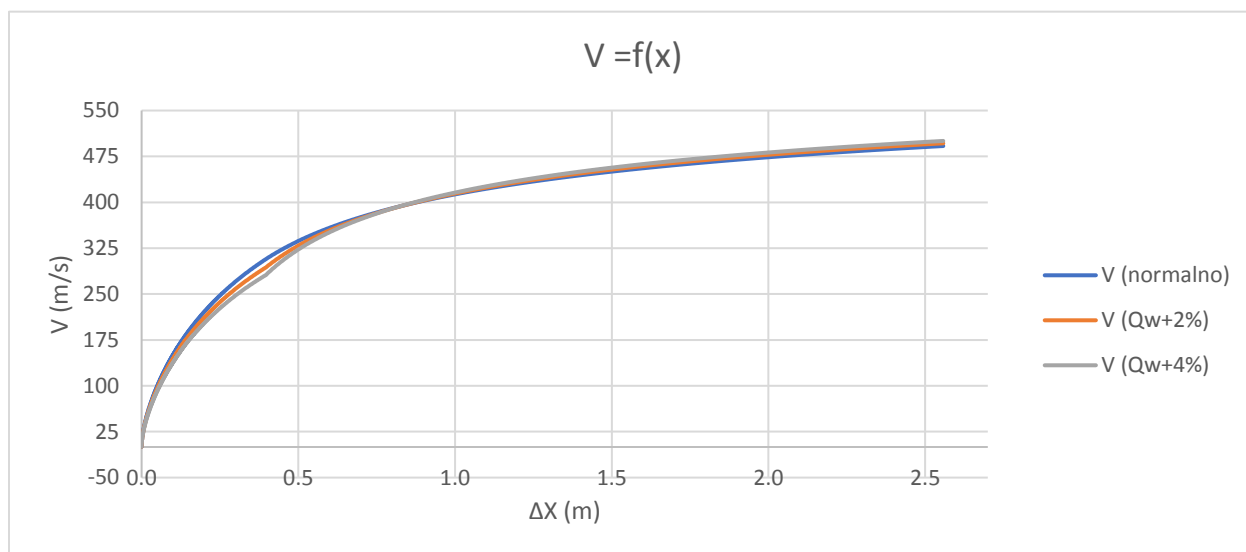
2.3.1. Повећање почетне брзине на основу повећања топлотног потенцијала барута (Q_w)

На основу добијених вредности променљивих и почетних (датих) података, као задатак је потребно повећавати топлотни потенцијал барута (Q_w) а затим извршити анализу промене почетне брзине пројектила на устима цеви и повећање притиска. Након тога је потребно са почетним параметрима мењати вредност дужине цеви у циљу анализирања повећања почетне брзине којој ће се као резултат дати повећани дOMET оруђа. Наравно, са повећањем дужине цеви повећава се трзајућа маса артиљеријског оруђа која резултује велике силе трзања као и смањење мобилности.

Даљим радом на повећању топлотног потенцијала за 2% добијамо почетну брзину која износи 497 m/s што је за 1% већа од првобитне. Такође бележимо и скок притиска на 2787 bar односно имамо повећање истог за 4,9 %. Са даљим повећањем топлотног потенцијала барута за 4% од основног достижемо вредност притиска од 2950 bar који резултује повећање почетне брзине на 500 m/s. Видимо да променом топлотног потенцијала барута долази до повећања притиска у циви као и мали скок почетне брзине. Даљи прорачун при повећању топлотног потенцијала је обустављен због превеликог максималног притиска БГ који разара цев и повећава ерозију. На тај начин животни век је мањи. Упоредивање притиска у цеви и почетне брзине можете видети на следећим дијаграмима:



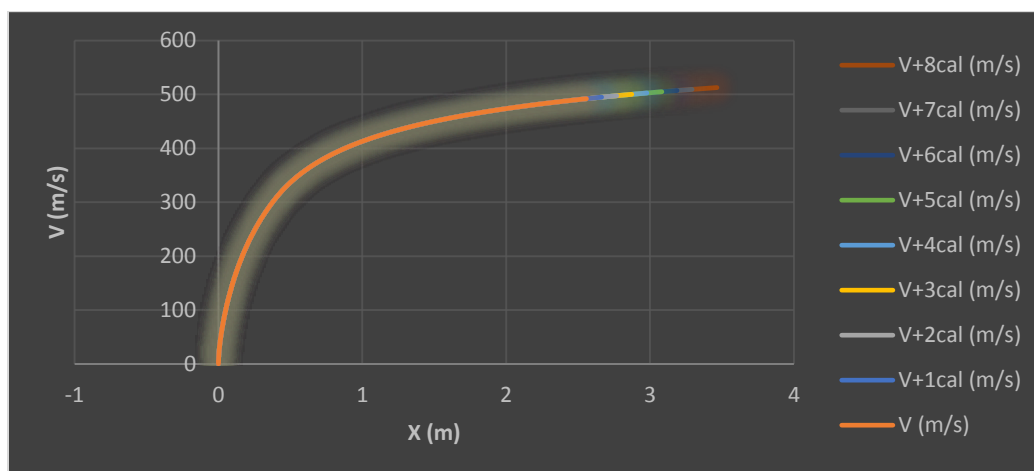
Дијаграм 3. Упоредна анализа повећања притиска барутних гасова услед повећања Q_w



Дијаграм 4. Упоредна анализа повећања почетне брзине услед повећања Q_w

2.3.2. Повећање почетне брзине на основу повећања дужине цеви

У овом поглављу ће бити анализирани УБ параметри приликом повећања дужине цеви са нормалним износом топлотног потенцијала барута (Q_w) који је износио 3120 J/g док дужина цеви са основним прорачуном износи 2,56 метара. Даљим повећањем дужине за по један калибар (105mm) анализираћемо повећање почетне брзине пројектила. За граничну вредност дужине цеви може бити 33 калибра као код српске самоходне хаубице „СОКО М09“. Притисак барутних гасова у цеви се неће мењати од почетног који износи 2650 bar.



Дијаграм 5. Упоредна анализа повећања почетне брзине услед повећања дужине цеви

На дијаграму 5 можемо видети повећање почетне брзине пројектила на устима цеви услед повећања дужине цеви. Дужина од 33 калибра (3,465 m) бележи скок почетне брзине од

492 m/s на 513m/s што је за 4,2% веће од нормалне почетне брзине. Пратећи график зависности почетне брзине од дужине цеви видимо да је повећање почетне брзине V_0 све мање и мање у односу на линеарну промену дужине цеви (парабола брзине на устима цеви је све равнија). Даље повећање дужине цеви је обустављено због повећања масе исте што је негативна карактеристика оруђа.

2.4. Ојлеров модел за СБ прорачун

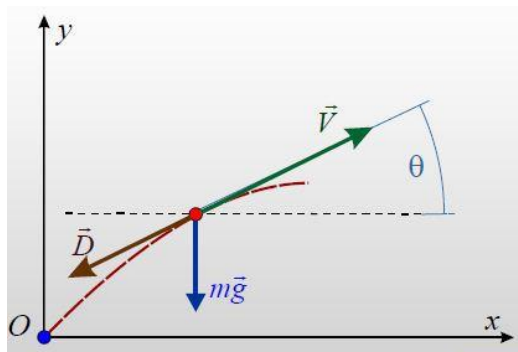
Пројектил представља круто тело чији модел кретања захтева дефинисање одређених претпоставки којима се одређују: структура тела, својства координатног система у ком се одвија кретање сила које делују на пројектил, својства атмосфере кроз коју се пројектил креће и почетне услове кретања. Да бисмо прорачунали путању пројектила у ваздушном простору неопходно је да модел кретања ставимо у форму система диференцијалних једначина и те једначине решимо. Ојлер (Euler) поставио је класични балистички модел путање, дефинисан следећим претпоставкама:

- Пројектил се разматра као материјална тачка
- Координатни систем је везан за земљу која је равна и непокретна
- На пројектил делују тежина G и сила отпора ваздуха D , чији се правац поклапа са вектором брзине, а смер је супротан смеру брзине
- Пројектил се креће у статичкој и термодинамичкој стабилној атмосфери (без ветра и са стандардним променама параметара)
- Пројектил излази из уста цеви почетном брзином V_0 , под полазним углом θ_0 , а координатни почетак је на устима цеви.
- Ојлеров модел се може проширити на ракетне и активно-реактивне пројектиле:
- Додавањем реактивне силе P у правцу брзине
- Узимањем у обзир ротације Земље, ветра и тренутних метеоролошких услова и
- Посматрањем кретања око тежишта.

Ојлеров модел за ракете је лошији од модела за класичне пројектиле.

Недостаци Ојлеровог модела су:

- Не садржи компоненту отпора ваздуха нормалну на брзину ван равни XOY (путања је "просторна", а не "равна крива")
- Отпор D у реалним условима зависи не само од положаја тачке већ и од низа фактора међу којима је најбитнији нападни угао између осе пројектила и брзине
- Сила G је централна сила.



Слика 23. Ојлеров балистички модел

Векторска једначина кретања пројектила:

$$m\vec{a} = \sum \vec{F} \quad (2.34.)$$

за Ојлеров модел биће:

$$m\vec{a} = \vec{D} + \vec{G} \quad (2.35.)$$

а после дељења са скаларом m (маса пројектила):

$$\vec{a} = \vec{J} + \vec{g} \quad (2.36.)$$

где J представља ретардацију, односно успоравање пројектила а g убрзање силе Земљине теже, гравитационе силе. $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ док се успоравање рачуна следећом формулом

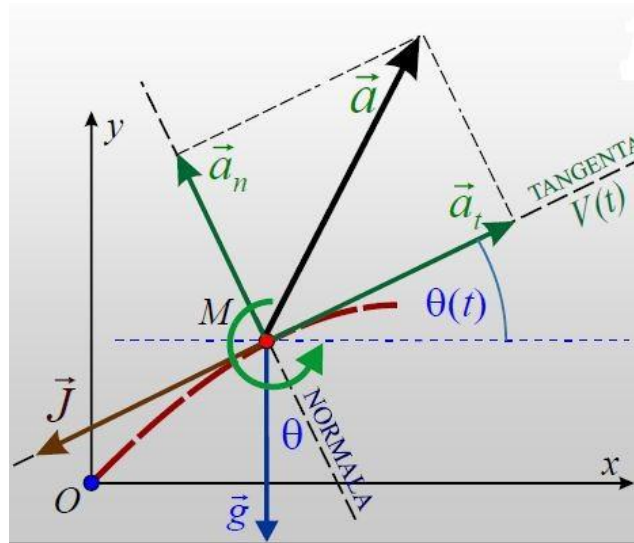
$$J = \frac{\rho v^2}{2m} SC_D \quad (2.37.)$$

Векторску једначину пројектоваћемо на тангенту и на нормалу путање.

Вектор $\vec{a}(a_T, a_N)$ има две компоненте.

Дуж тангенте компонената убрзања је $a_T = \frac{dv}{dt}$, а друга компонента је дуж нормале на путању $a_N = V \frac{d\theta}{dt}$

Са слике види се да убрзање a_N , које је производ угаоне брзине $\frac{d\theta}{dt}$ и вектора V , има смер на ону страну где ротира вектор брзине при ротацији угаоном брзином $\frac{d\theta}{dt}$.



Слика 24. Пројектовање по осамa за СБ модел

Успоравање ($-J$) је на тангенти, негативног предзнака, јер има супротан смер од тангенте оријентисане у смеру кретања. Убрзање Земљине теже $g(0, -g)$ има компоненте $-g \sin \theta$ дуж тангенте и $-g \cos \theta$ дуж нормале; предзнак минус је због супротног смера у односу на усвојене позитивне смерове нормале и тангенте.

Пројекције векторске једначине убрзања $\vec{a} = \vec{J} + \vec{g}$ на правац тангенте:

$$a_T = \frac{dv}{dt} = -J - g \sin \theta \quad (2.38.)$$

и нормале

$$a_N = V \frac{d\theta}{dt} = -g \cos \theta \quad (2.39.)$$

Брзина представља извод вектора положаја $\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{V} = V\vec{e}$. Кад је пројектујемо на осе 0_x и 0_y , добијају се компоненте брзине:

$$V_x(t) = V \cos \theta \quad (2.40.)$$

$$V_y(t) = V \sin \theta \quad (2.41.)$$

Из једначине по a_T добија се брзина $V(t)$, а из једначине по a_N добија се $\theta(t)$.

Уз диференцијалне једначине иду почетни услови:

за $t = 0$; $x = 0$; $y = 0$; $V = V_0$; $\theta = \theta_0$

или: $x_0 = V_0 \cos \theta_0$ и $y_0 = V_0 \sin \theta_0$.

2.4.1. Прорачун домета применом Ојлеровог балистичког модела

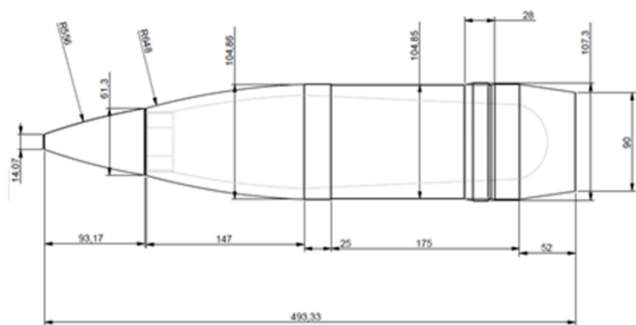
За ТФ пројектил 105 mm M1, датих на слици 25 и вредности аеродинамичких коефицијената аксијалне силе датим у табели 5, извршен је прорачун елемената путање у карактеристичним тачкама на путањи по Ојлеровом балистичком моделу, са програмским решењем OJL3SSK (OJL3SSK.FOR). Полазни подаци за прорачун елемената путање су представљени у табели 4. Полазни подаци о балистичком коефицијенту добијени су према коефицијенту облика добијеном односом АД коефицијента аксијалне силе (силе отпора ваздуха) добијеном прорачуном ADK0, и еталон функције коефицијента отпора ваздуха по Закону из 1943. СССР. Вредности прорачуна су представљени у табели, за пројектил калибра $d = 105$ mm, масе $m = 14,9$ kg.

Улазни параметар	Ознака	Вредност (интервал вредности)	Јединица мере
висина (ордината) падне тачке	YH	0,0	m
балистички коефицијент	CS	0.68095	-
полазна вредност полазног угла	TET0	45	°
прираштај вредности полазног угла	DTET	5,0	°
крајња вредност полазног угла	TETK	60,0	°
полазна вредност почетне брзине	VOP	492,0	m/s
прираштај вредности почетне брзине	DVOP	1,0	m/s
крајња вредност почетне брзине	VOK	513,0	m/s

Табела 4. Улазни подаци за прорачун елемената путање са програмом OJL3SSK

<i>M</i>	<i>CD0</i>	<i>CD43</i>	<i>i43</i>	<i>d</i>	<i>m</i>	<i>C43</i>
0.200	0.133	0.157	0.847134	0.105	14.9	0.626822
0.500	0.131	0.157	0.834395	0.105	14.9	0.617396
0.600	0.132	0.158	0.835443	0.105	14.9	0.618172
0.700	0.135	0.158	0.854430	0.105	14.9	0.632221
0.800	0.138	0.160	0.862500	0.105	14.9	0.638192
0.850	0.140	0.165	0.848485	0.105	14.9	0.627822
0.900	0.154	0.190	0.810526	0.105	14.9	0.599735
0.925	0.178	0.217	0.820276	0.105	14.9	0.60695
0.950	0.207	0.258	0.802326	0.105	14.9	0.593667
0.975	0.258	0.285	0.905263	0.105	14.9	0.669834
1.000	0.356	0.325	1.095385	0.105	14.9	0.810511
1.100	0.413	0.382	1.081152	0.105	14.9	0.79998
1.200	0.404	0.385	1.049351	0.105	14.9	0.776449
1.300	0.397	0.382	1.039267	0.105	14.9	0.768988
1.400	0.372	0.370	1.005405	0.105	14.9	0.743933
1.500	0.373	0.361	1.033241	0.105	14.9	0.764529

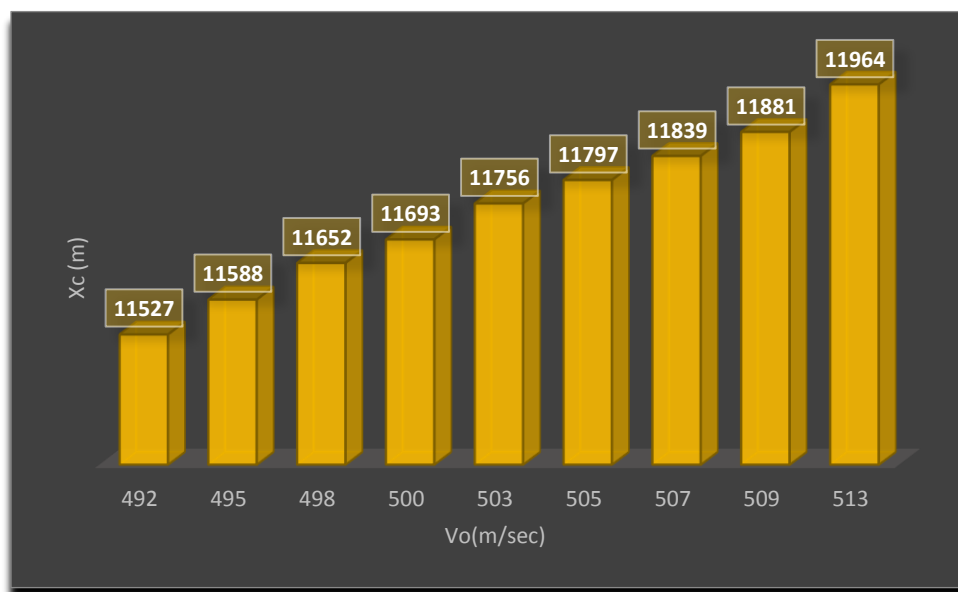
Табела 5. Прорачун балистичког коефицијента у односу на еталон функцију отпора $C_{D43}(Ma)$,



Слика 25. Пројектил 105mm M1

Вредност балистичког коефицијента за случај почетне брзине од 492 m/s и облика путање са полазним углом до 45° , је дата просечном вредношћу за интервал Махових бројева, $0,2 < Ma < 1,5$ и износи 0,68095.

Резултати прорачуна елемената путање у карактеристичним тачкама добијени са програмским решењем OJL3SSK, на основу полазних података датих у табели 4.



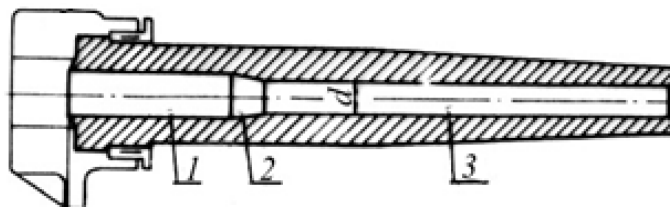
Дијаграм 6. Резултати прорачуна домета са програмом OJL3SSK

Приликом прорачуна домета методом Ојлера долазимо до закључа да са повећањем почетне брзине расте домет пројектила. Приликом лансирања пројектила 105mm M1 почетном брзином од 492m/s под углом елевације од 45° долазимо до максималног домета од 11 527 m. Са даљим повећањем дужине цеви, односно почетне брзине пројектила, при дужини од 33 калибара и почетном брзином од 513 m/s добијамо максимални домет од 11 964m што је за 437m више од употребе првобитне дужине цеви. Према ТТ карактеристикама, хаубица M56/33 има максимални домет од 11 946m. Разлика ових двеју вредности јесте 18m и не представља велику грешку при прорачуну. Наравно, имајмо у виду да приликом прорачуна спољне и унутрашње балистике услови су идеални за одвијање целог процеса опаљења и у току лета пројектила. Остали елементи путање као што су падна брзина пројектила (V_c), висина темена путање (Y_s), падни угао (Θ_c) и време лета пројектила се нису значајно мењали.

3. Конструкција цеви

Цев артиљеријског оруђа намењена је за извршење опаљења метка и лансирање пројектила са дефинисаном почетном и обртном брзином и правцем полета. Према конструктивном решењу, цев представља дебелозидни цилиндар чија се унутрашња шупљина назива канал цеви.

Унутрашњи канал цеви



Слика 26. Шема цеви (моноблок цев)

Унутрашњи канал цеви састоји се од барутне коморе (1), прелазног конуса (2) и водишта пројектила (3).

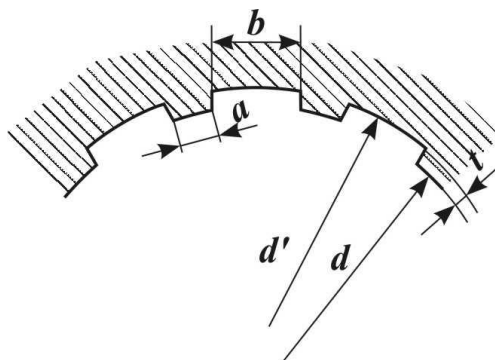
Барутна комора је глатки задњи део канала цеви и служи за смештај метка при пуњењу цеви и сагоревање барутног пуњења. Конфигурација коморе одређена је, пре свега, начином пуњења. Барутна комора по свом облику и димензијама мора у потпуности да одговара усвојеној концепцији метка, у овом случају дводелном метку.

Прелазни конус је део унутрашњег канала цеви који спаја ожљебљени део цеви тј. водиште пројектила и барутну комору. Прелазни конус може да има један или два конуса на који се наслања водећи прстен пројектила. Прелазни конус је на већем делу своје дужине гладак, а приближно од задње трећине започиње ожљебљење цеви који пуни профил жљебова остварује на крају прелазног конуса. Онај део прелазног конуса у коме је ослоњен водећи прстен и који мора бити савладан ради покретања пројектила из чауре и његовог утискивања у цилиндрично ожљебљено водиште обично се назива „форсирни конус“. Основни задатак форсирног конуса је да обезбеди правилно и постепено урезивање водећег прстена у водиште пројектила. Конусност форсирног конуса износи $\left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{12}\right)$, а његова дужина $l_f \approx (0,3 \div 0,4)d_z$, где је d_z - пречник мерен по дну жљебова.

Повећање ове конусности доводи до погоршања услова пуњења и урезивања прстена у жљебове. Смањење конусности отежава фиксирани положај пројектила при пуњењу.

3.1. Ожљебљено водиште пројектила

Водиште пројектила је ожљебљено део канала цеви по коме се креће пројектил. Трасе жљебова имају облик завојне линије која се увија слева у десно. Профил жљеба је најчешће правоугаони, а крајеви жљебова су паралелни пречнику повученом ка средини жљеба.



Слика 27. Шема ожљебљеног водишта

Профил жљеба има радну или оптерећену страну и дно. Између два суседна жљеба размешта се поље. Пречник канала цеви, смештен између два супротна поља, назива се калибар цеви или калибар оруђа. При избору елемената профила и броја жљебова треба обезбедити, пре свега, лако урезивање водећег прстена, што захтева мали број жљебова и малу дубину односно поуздано вођење пројектила у цеви за шта су потребни већи број жљебова и њихова већа дубина. Дакле, јављају се противречни захтеви, које треба решити на оптималан начин. Они се обично решавају експерименталним путем и на основу досадашњих искустава. Параметри жљебова зависе, пре свега, од моћности оруђа (почетне брзине пројектила), материјала цеви и водећег прстена и облика водећег прстена (ВП). Ширина жљебова одређује се из услова једнаке отпорности зуба ВП и поља ожљебљеног дела цеви. Ако је ВП израђен од месинга, чија је чврстоћа $(1,2 \div 2,0)$ пута мања од чврстоће материјала цеви, онда ће и ширина жљебова бити већа у односу на ширину поља за приближно исти износ, па је обично:

$$b = (1,2 \div 2,0) a$$

За дубину жљебова препоручује се:

$$t \geq 0,015d$$

Најчешће је $t = 0,02d$.

Дубина жљебова по правилу је константна по целој дужини цеви, мада је ради бољег заптивања гасова са ВП боља променљива дубина жљебова.

Избор оптималног броја жљебова представља посебну тешкоћу:

- при релативно великом броју жљебова смањује се ширина поља у цеви и на ВП, што доводи до смањења животног века цеви,
- при малом броју жљебова стварају се тежи услови за вођење пројектила кроз цев и брзо трошење ВП, што такође доводи до смањења животног века цеви.

У пракси се обично користи емпиријски израз за број жљебова n :

$$n = (3,5 \div 4,0)d$$

Добијени број жљебова заокружује се из технолошких разлога на број који је дељив са 4 или 8, да би се истовремено могли нарезати 4 или 8 жљебова у каналу цеви. Између броја жљебова, калибра и геометрије поља и жљебова (ширине a и b) постоји зависност:

$$n(a+b) = d\pi$$

Намена поља и жљебова је да пројектилу саопште обртно кретање око његове уздужне осе, што му обезбеђује правилан лет до циља. Урезивањем меканог ВП пројектила у жљебове пројектил се присиљава да уз трансляторно, врши и ротационо кретање. Што је брзина translације већа, то је већа и његова ротација, па пројектил на устима цеви добија највећу ротацију.

3.2. Спољна траса цеви

Отпорност цеви је одређена максималним напрезањем и деформацијама у зидовима под дејством сила при опаљењу. Основна сила од које зависи отпорност цеви је сила која настаје од притиска барутних гасова на њене зидове. У општем случају, честице материјала се при опаљењу налазе у стању сложеног запреминског напрезања и трпе сложене деформације, које се условно разлажу на радијалне, тангенцијалне и аксијалне.

На основу Хуковог закона, који даје везу између релативних деформација и нормалних напрезања у три међусобно нормална правца, могу се представити изрази за релативне деформације:

$$\text{- у тангенцијалном правцу: } \varepsilon_t = \frac{1}{E} [\sigma_t - \mu(\sigma_r + \sigma_x)]; \quad (3.2.1.)$$

$$\text{- у радијалном правцу: } \varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \mu(\sigma_t + \sigma_x)]; \quad (3.2.2.)$$

$$\text{- у аксијалном правцу: } \varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_t + \sigma_r)]; \quad (3.2.3.)$$

где су:

$E [N/m^2]$ – модул еластичности материјала;

μ – Поасонов коефицијент;

$\sigma_t, \sigma_r, \sigma_x [N / m^2]$ – нормална напрезања.

У изразима коришћеним у програмском решењу за одређивање дебљине цеви пошло се од одређених претпоставки ради поједностављења прорачуна:

- притисак барутних гасова је равномерно распоређен по површини канала цеви и симетричан је у односу на осу канала цеви;
- цев има цилиндричан облик пре опаљења и задржава га у току и после опаљења;
- материјал, од којег је израђена цев, идеално је хомоген и изотропан;
- честице материјала су под дејством оптерећења у равнотежи.

Јасно је да све ове претпоставке не могу бити потпуно испуњене у пракси јер:

- реални материјал одступа од идеалног хомогеног и изотропног;
- многобројни фактори, као нпр. маса пројектила, маса барутног пуњења, температура барута пре опаљења, калибар цеви итд. у пракси одступају од нормалних величина због производних толеранција или хабања, што неминовно доводи до варијација максималног притиска барутних гасова.

Без обзира на то, практично је потврђено да уз уведене претпоставке добијене формуле дају резултате који се добро поклапају са експерименталним.

3.3. Теорија потенцијалне енергије изобличења (Хубер - Мисир – Хенкијева теорија)

За димензионисање цеви користио сам програмско решење у Фортрану „KODCEV“ које користи 4. теорију прорачуна чврстоће која се показала као искуствено најбоља. Ова теорија спада у групу модерних – енергетских теорија чврстоће. Према њој до пластичних деформација долази онда када потенцијална енергија промене облика јединице запремине материјала у посматраној тачки прекорачи граничну вредност специфичне енергије која је установљена за дати материјал, при једноосном затезању епрувете до границе еластичности. Еластична отпорност моноблок цеви према овој теорији је:

$$p_{1gr}^{IV} = \sigma_e \cdot \frac{r_2^2 - r_1^2}{\sqrt{3r_2^4 + r_1^4}}, \quad (3.3.1.)$$

Односно:

$$r_2 = r_1 \cdot \sqrt{\frac{1 + \overline{p_1} \cdot \sqrt{4 - 3\overline{p_1}^2}}{1 - 3\overline{p_1}^2}} \quad \text{где је} \quad \overline{p_1} = \frac{p_{1gr}^{IV}}{\sigma_e}. \quad (3.3.1.)$$

С обзиром на то да је на основу претходног УБ прорачуна максимални притисак позната величина као и врста материјала од које се оруђе израђује, програмско решење користи једначину (4.6.6.) и прорачунава зависност промене спољашњег пречника цеви од дужине и притисака.

3.4. Методологија рада

На основу већ постојећег метка и програмских решења која су дата у предстојећим прилозима одрађен је комплетан унутрашње балистички прорачун, димензионисање цеви и увид о домету пројектила. За компаративну анализу одабрао сам метак са тренутно-фугасним пројектилом ТФ-М1 и његово пуно барутно пуњење. На основу облика и димензија барута рачунао сам коефицијенте облика. Добијене величине из УБ прорачуна, првенствено притисак у цеви у свим временским интервалима кретања пројектила кроз цев до тренутка напуштања уста цеви користи се као улазна величина при конструисању цеви програмским решењем датим у прилогу. Унутрашња траса цеви је димензионисана да одговара одабраном метку (познате су димензије пројектила и чауре). Коришћењем програма OJL3SSK.for такође датим у прилогу добијају се елементи путање пројектила испаљеног из цеви. На крају је извршена упоредна анализа

3.5. Програмско решење математичког модела

На основу математичког модела развијено је програмско решење за УБ прорачун. Састављено је у програмској језику ФОРТРАН. Основни циљ програмског решења је био да се кроз методу двофазног струјања угради математички модел Опокова за смешу барутних зрна и прикаже могућност УБ прорачуна двофазним струјањем за оруђа која користе комбинована пуњења. Програмско решење састоји се од:

- главног програма,
- датотеке улазних података и
- излазних резултата као производа главног програма.

Главни програм је организован тако да се прорачун изводи по фазама узависности од времена и пута. На почетку се врши учитавање полазних података из датотеке улазних података, затим дефиниција почетних, граничних и допунских услова, као и израчунавање потребних података. За решавање система диференцијалних једначина за први период, док траје сагоревање барутних зрна, независна променљива је пут пламена x (од 0 до y_0), а за други период, пошто је завршено сагоревање барута, независна променљива је пут X , који треба да пређе пројектил од краја сагоревања барутних зрна до напуштања уста цеви.

Датотека улазних података задржи полазне податке (одвојене зарезом), груписане у четири реда:

- први, други и трећи ред садрже карактеристике цеви, пројектила и барута с редоследом наредби READ у програму ОРОКОВ,
- четврти ред садржи назив оруђа и барута.

Излазна датотека се креира у току извођења програма. У њу се смештају информације добијене извршењем WRITE наредби програма. То су резултати унутрашње балистичког прорачуна организовани тако да се на почетку даје назив оруђа и барута, а затим полазни подаци за које се дају табеларни резултати прорачуна по периодима.

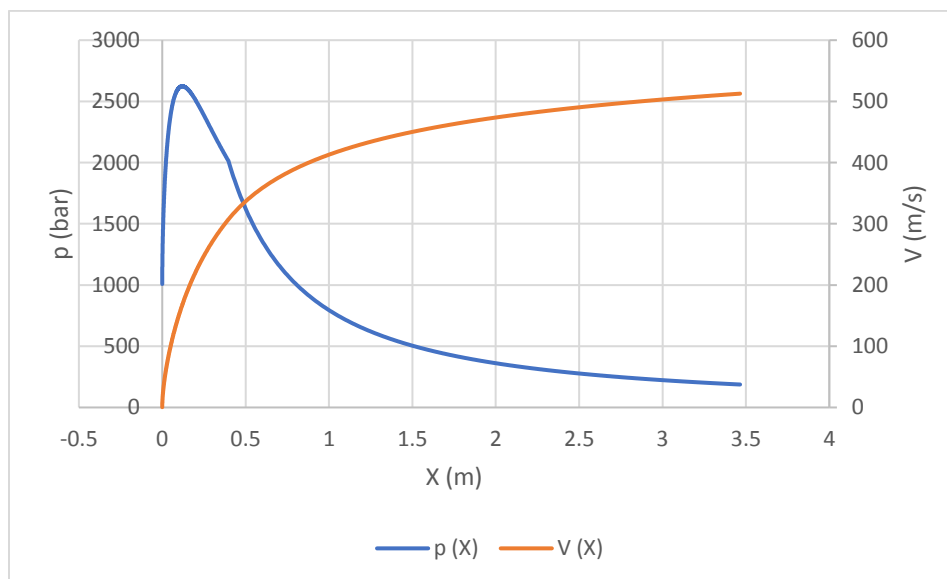
4. Компаративна анализа резултата прорачуна за хаубицу 105 mm M56

На основу вредности карактеристичних параметара (максимални притисак у цеви , почетна брзина пројектила и максимални домет) добијених наведеним програмским решењима за идејној постојеће решење, код хаубице 105mm M56/33 ,пројектила извршена је упоредна анализа ових вредности.

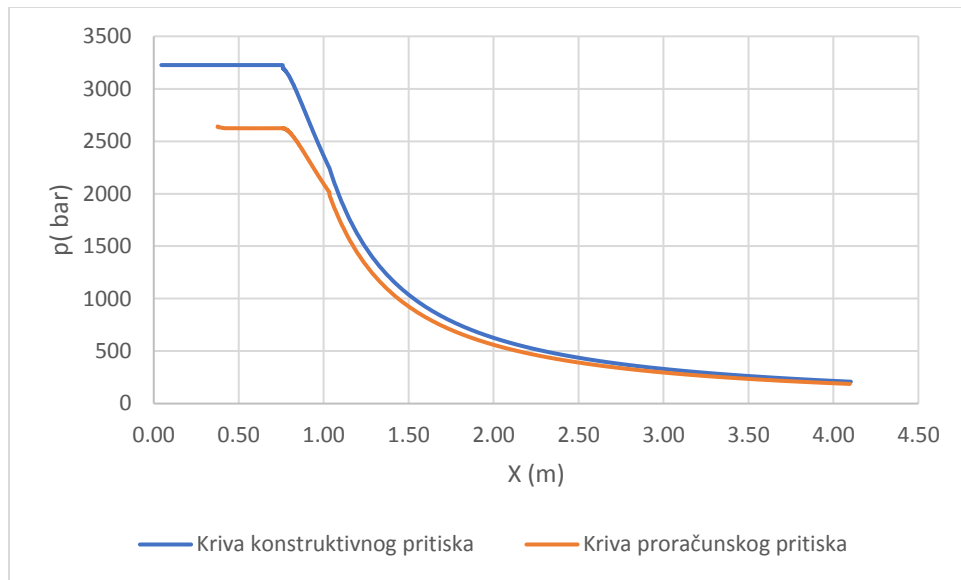
	Максимални притисак P[bar]	Почетна брзина V[m/s]	Максимални домет X[m]
ТГ	2650	491	11 964
Добијено	2624	512	11 946
Одступање	26 (1%)	21 (4%)	18 (0,1 %)

Табела 6. прорачун одступања максималног притиска, почетне брзине и
максималног домета

4.1. Графички приказ УБ прорачуна

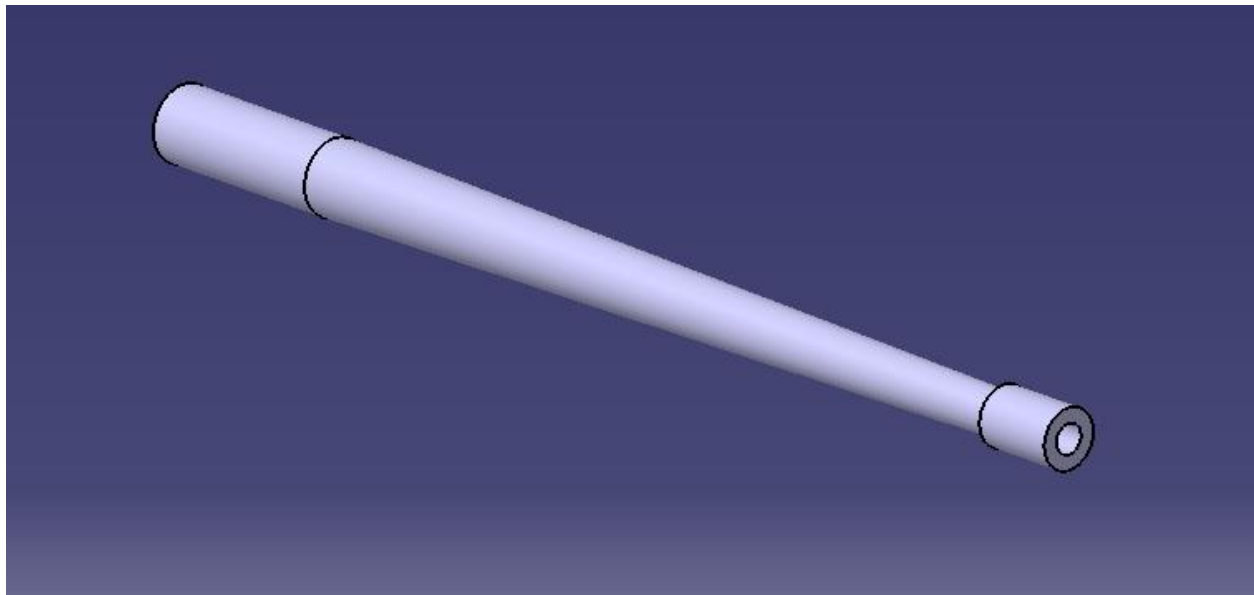


Дијаграм 7. Приказ притиска и почетне брзине пројектила у зависности од пређеног пута



Дијаграм 8. Криве конструкционог и прорачунског притиска у зависности од дужине цеви

У програму CATIA V5 извршено је моделирање цеви на основу прорачуна спољне трасе цеви. Идејно решење је приказано на слици 28.



Слика 28. 3Д модел новопроектване цеви у програму CATIA V5

5. Закључак и смернице за будући рад

У овом завршном раду је извршен унутрашње балистички прорачун за хаубицу М56 и М56/33 при чему се вршила варијација повећања дужине цеви као и топлотног потенцијала барута. Малим повећањем топлотног потенцијала барута добили смо мали скок почетне брзине али и велике вредности притиска који су свакако неповољне за одржавање почетних карактеристика цеви овог ватреног оруђа. Максимални радни притисак ових цеви износи 2 650 bar, док је при повећању топлотног потенцијала од 4% износио приближно 3 000 bar што је за 13,2% више. Код притиска од 3 000 бара смо забележили повећање почетне брзине од 500 m/s што је за само 9 m/s више од првобитне почетне брзине. При притиску од 3 000 бара имамо појаву већег интензитета хабања односно ерозије унутрашње трасе цеви па би предлог за повећање почетне брзине пројектила био продужење водишта пројектила. За радни притисак од 2 650 bar и продужетак постојеће цеви за 3 калибра (3x105mm) добијамо почетну брзину од 500 m/s која одговара почетној брзини при повећању топлотног потенцијала барута. Маса цеви се не би превише повећала па је, самим тим, ово боље конструкционо решење. Даљим повећањем све до дужине водишта пројектила од 33 калибра добили смо максималну почетну брзину од 513 m/s. Гађањем са овом почетном брзином остварујемо домет од 11 964m. Даље повећање цеви се не би требало изводити због повећања масе исте. Други начин за постизање већег домета поменутог наоружања је уградња активно-реактивне гасне кочнице, као и коришћење ББ пројектила, при чему се смањује деловање подпритиска на дно пројектила.

6. Преглед табела

Табела 1. Преглед ТТ карактеристике хаубице M56	9
Табела 2. Карактеристике барута NCD-11	22
Табела 3. Параметри потребних за УБ прорачун	23
Табела 4. Улазни подаци за прорачун елемената путање са програмом OJL3SSK	31
Табела 5. Прорачун балистичког коефицијента у односу на еталон функцију отпора $C_{D43}(Ma)$	31

7. Преглед дијаграма

Дијаграм 1. Приказ промене притиска у функцији промене дужине цеви у токо
опаљења...24

Дијаграм 2. Приказ промене брзине у функцији промене дужине цеви у токо
опаљења.....24

Дијаграм 3. Упоредна анализа повећања притиска барутних гасова услед повећања
 Q_w25

Дијаграм 4. Упоредна анализа повећања почетне брзине услед повећања
 Q_w26

Дијаграм 5. Упоредна анализа повећања почетне брзине услед повећања дужине цеви....26

Дијаграм 6. Резултати прорачуна домета са програмом OJL3SSK.....36

Дијаграм 7. Приказ притиска и почетне брзине пројектила у зависности од пређеног
пута.....39

Дијаграм 8. Криве конструкционог и прорачунског притиска у зависности од дужине
цев.....40

8. Преглед слика

Слика 1. PL – 66	1
Слика 2. PzH 2000.....	1
Слика 3. Склопови артиљеријског оруђа.....	2
Слика 4. Балиста	3
Слика 5. Артиљеријска орђа са глатким цевима.....	3
Слика 6. Ракетно артиљеријско оруђе Каћуша.....	4
Слика 7. M109.....	6
Слика 8. HM2001.....	6
Слика 9. AS-90.....	7
Слика 10. KOALICIJA-SV.....	7
Слика 11. LTH 155 mm M777.....	8
Слика 12. Југословенска хаубица M56A1.....	11
Слика 13. Самоходна хаубица „СОКО M09“	10
Слика 14. Метак са тренутнофугасном гранатом TF M1.....	11
Слика 15. Гранате хаубице M56.....	12
Слика 16. Вучена хаубица M119.....	13
Слика 17. Вучена хаубица G7.....	13
Слика 18. Самоходна хаубица M108.....	14
Слика 19. Самоходна хаубица Туре 74.....	14
Слика 20. Самоходна хаубица EVO-105.....	15
Слика 21. Самоходна хаубица Hawkeye-105.....	15
Слика 22. Графички преглед максималног домета поменутих хаубица.....	16
Слика 23. Ојлеров балистички модел.....	28
Слика 24. Пројектовање по осама за СБ модел.....	29
Слика 25. Пројектил 105mm M1.....	31
Слика 26. Шема цеви (моноблок цев).....	33
Слика 27. Шема ожљебљеног водишта.....	34
Слика 28. 3Д модел новопроектване цеви у програму CATIA V5.....	40

9. Литература

- [1] Класична унутрашња балистика, Љубиша Танчић, Војна академија Београд, 2006. год.;
- [2] Практикум из унутрашње балистике, Љубиша Танчић, Београд, 2012. год. ;
- [3] Унутрашња балистика, Милоје Цветковић, Београд, 1998. год.
- [4] <http://www.vti.mod.gov.rs/index.php?view=actuality&type=reference&category=1&id=113>
- [5] <http://www.paluba.info/smf/index.php?topic=13685.0>
- [6] <https://www.scribd.com/document/329897777/Balisticke-karakteristike-baruta>
- [7] http://www.military-today.com/artillery/pl_66.htm
- [8] https://sh.wikipedia.org/wiki/Panzerhaubitze_2000
- [9] <http://www.military-today.com/artillery/m109.htm>
- [10] <https://www.army-technology.com/projects/as90/>
- [11] https://www.mycity-military.com/Artiljerija-municija-i-protivoklopna-sredstva/2S35-Koalicija-SV_16.html
- [12] <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/lw155-program.htm>
- [13] <https://americangimuseum.org/collections/restored-vehicles/m2a1-105mm-howitzer-1941-1953/>
- [14] <http://www.military-today.com/artillery/m108.htm>
- [15] http://www.military-today.com/tanks/type_74.htm
- [16] <https://www.globalsecurity.org/military/world/rok/evo-105.htm>
- [17] https://www.armyrecognition.com/june_2017_global_defense_security_news_industry/south_korea_s_upgraded_evo-105_105mm_self-propelled_howitzer_ready_for_mass_production_22806171.html
- [18] <http://www.military-today.com/artillery/hawkeye.htm>

10. Прилози

10.1. Програмско решење УБ прорачуна

```
PROGRAM DROZD
CHARACTER OR*16,BARUT*8
OPEN (60,FILE='UL105mm0 - X+8cal')
OPEN (61,FILE='IZL105mm0 - X+8cal')
OPEN (62,FILE='T762x51')
OPEN (63,FILE='X762x51')
READ(60,*) K1P,K2P
READ(60,*) W0,S,XU,FI,EM,OM,DELM
READ(60,*) ALFA,TETA,E0,AKAPA,ALAM,F,P0,U1
READ(60,*)OR,BARUT
WRITE(61,5) OR,BARUT
5 FORMAT(' ',///,21X,'UB-PRORACUN METODOM DROZDOVA',/,
+' ',22X,'ORUDJE: ',A16,/,26X,'BARUT: ',A8,///)
WRITE(61,6)W0,S,XU,FI,EM,OM,F,DELM,ALFA,TETA,E0,
+AKAPA,ALAM,U1,P0
6 FORMAT(' ',20X,'JEDINICE PO SI SISTEMU MERA',///,
+26X,'POLAZNI PODACI',/,9X,'W0=',F7.6,1X,'S=',F7.6,
+6X,'XU=',F4.2,7X,'FI=',F6.4,4X,'M=',F6.3,/,9X,
+'OM=',F6.3,2X,'F=',F8.0,5X,'DELM=',F5.0,4X,
+'ALFA=',F6.5,2X,'TETA=',F4.3,/,9X,'E0=',F6.5,
+2X,'AKAPA=',F7.5,2X,'LAM=',F7.5,3X,'U1=',E8.3,
+2X,'P0=',E8.3)
C
C PRORACUN KONSTANTI I PRETHODNOG PERIODA
C
X=0
V=0
T=0
DELTA=OM/W0
PSI0=(1/DELTA-1/DELM)/(F/P0+ALFA-1/DELM)
SIG0=SQRT(1+4*ALAM/AKAPA*PSI0)
Y0=(SIG0-1)/(2*ALAM)
AK1=SIG0*AKAPA
AIK=E0/U1
VK=S/FI*AIK/EM
B=S**2*AIK**2/(F*OM*FI*EM)
B1=B*TETA/2-AKAPA*ALAM
GAMA=B1*PSI0/AK1**2
BM=SQRT(1+4*GAMA)
```

```

X0=W0/S
X1=X0*(1-ALFA*DELTA)
VL=SQRT(2/FI*F/EM*OM/TETA)
WRITE(61,7) DELTA,Y0,PSI0,SIG0
7 FORMAT(' ',19X,'GUSTINA PUNJENJA DELTA=',F4.0///25X,
+'PRETHODNI PERIOD'//11X,'Y0=',F7.5,5X,'PSI0=',
+F7.5,5X,'SIG0=',F7.5///)
WRITE(62,100)T,P0,V,X
100 FORMAT(10X,F10.5,F13.0,F10.2,F9.3)
WRITE(63,200)X,P0,V
200 FORMAT(10X,F9.3,F13.0,F10.2)
WRITE(61,8)
8 FORMAT (' ',27X,'PRVI PERIOD/' ' ',10X,'T',6X,
+'Y',8X,'PSI',6X,'V',9X,'X',6X,'P',9X,'T'/)
C
C     PRVI PERIOD
C
H=(1-Y0)/K1P
VP=0
XP=0
TP=0
KP=0
DO 9 I=1,K1P
10 Y=Y0+H*I
XM=Y-Y0
11 PSI=PSI0+AK1*XM+AKAPA*ALAM*XM**2
PSISR=(PSI+PSI0)/2
XPSI=X0*(1-DELTA/DELM-DELTA*(ALFA-1/DELM)*PSI)
XPSIS=X0*(1-DELTA/DELM-DELTA*(ALFA-1/DELM)*PSISR)
BETA=B1/AK1*XM
ZED=(1-2*BETA/(BM+1))**((BM+1)/2/BM)*
+(1+2*BETA/(BM-1))**((BM-1)/2/BM)
X=XPSIS*(1/ZED**(B/B1)-1)
V=VK*XM
P=F/S*OM*(PSI-B*TETA/2*XM**2)/(XPSI+X)
IF(I-1) 12,12,13
12 T=3*X/V*(P0+P)/(2*P0+P)
GO TO 14
13 DELT=(1/VP+1/V)/2*(X-XP)
T=TP+DELT
14 IF(KP-1) 15,16,21
15 DPDT=P/(XPSI+X)*(F*OM/S*AKAPA/AIK*(1+2*ALAM*Y)*
+(1+(ALFA-1/DELM)*P/F)-(1+TETA)*V)
IF(DPDT) 17,19,21
16 IF(ABS(PM-P)-5.E6) 19,19,18
17 KP=KP+1

```

```

18 PM=P
   XM=AKAPA*SIG0/(B*(1+TETA)/(1+(ALFA-1/DELM)*PM/F)
   +-2*AKAPA*ALAM)
   Y=Y0+XM
   GO TO 11
19 KP=KP+2
   WRITE(61,20) Y,PSI,V,X,P,T
20 FORMAT (' ',9X,'PM',2F10.6,F8.2,F8.3,F12.0,F8.5)
   WRITE(62,130)T,P,V,X
130 FORMAT(10X,F10.5,F13.0,F10.2,F9.3)
   WRITE(63,210)X,P,V
210 FORMAT(10X,F9.3,F13.0,F10.2)
   GO TO 10
21 WRITE(61,22) I,Y,PSI,V,X,P,T
22 FORMAT(' ',9X,I2,2F10.6,F8.2,F8.3,F12.0,F8.5)
   WRITE(62,110)T,P,V,X
110 FORMAT(10X,F10.5,F13.0,F10.2,F9.3)
   WRITE(63,220)X,P,V
220 FORMAT(10X,F9.3,F13.0,F10.2)
   VP=V
   TP=T
   PP=P
   YP=Y
   PSIP=PSI
   IF (X.GE.XU) GO TO 26
9 XP=X
   IF (XP.GE.XU) GO TO 26
   WRITE (61,23)
23 FORMAT(' ',///,27X,'DRUGI PERIOD',///,17X,'T',
   +8X,'X',11X,'V',11X,'P',11X,'T')
C
C      DRUGI PERIOD
C
   H=(XU-XP)/(K2P-K1P)
   K2PP=K1P+1
   X2P=XP
   V2P=VP
   P2P=P
   IF(KP.EQ.0) PM=P
   DO 24 I=K2PP,K2P
   X=X2P+H*(I-K1P)
   V=VL*SQRT(1-((X1+X2P)/(X1+X))**TETA*(1
   +-V2P**2/VL**2))
   P=P2P*((X1+X2P)/(X1+X))**(1+TETA)
   DELT=(1/V+1/VP)/2*H
   T=T+DELT

```

```

VP=V
WRITE(61,25) I,X,V,P,T
25 FORMAT (' ',16X,I2,F11.3,F12.2,F14.0,F10.5)
WRITE(62,120)T,P,V,X
120 FORMAT(10X,F10.5,F13.0,F10.2,F9.3)
WRITE(63,230)X,P,V
230 FORMAT(10X,F9.3,F13.0,F10.2)
24 CONTINUE
C *****
C * *
C * TRECI PERIOD *
C * *
C *****
C ULAZNE VELICINE ZA TRECI PERIOD
PU=P
V0=V
XU=X
TU=T
V=0
X=0
C PRORACUN KONSTANTI ZA TRECI PERIOD
ZK=TETA+1
ROU=OM/(W0+S*XU)
AU=SQRT(ZK*PU/ROU)
PKRAJ=1.8E+5
IF(V0.LT.AU) THEN
TPSF=0
PPSF=(6*PU+(ZK-1)*ROU*V0**2)/(6+ZK*(ZK-1))
WRITE(61,50) TPSF,PPSF
50 FORMAT(' ',/,15X,'NASTUPILA JE KOLEBLJIVA FAZA',
+/,15X,'VREME TRAJANJA JE ZANEMARLJIVO T=',F10.7,/,
+ 15X,'PRITISAK NA KRAJU FAZE P=',F16.0)
ELSE IF (V0.GT.AU) THEN
TPSF=XU/V0*((V0/AU)**(2/(3-ZK))-1)
PPSF=PU*(AU/V0)**(2*ZK/(3-ZK))
WRITE(61,60)TPSF,PPSF
60 FORMAT(' ',/,15X,'NASTUPILA JE INERCIONA FAZA',/,
+ 15X,'VREME TRAJANJA T=',F11.5,/,35X,
+ 'PRITISAK NA KRAJU FAZE P=',F16.0)
ELSE
WRITE(61,70)
70 FORMAT(' ',/,15X,'ODMAH JE NASTUPILA STABILNA FAZA')
PPSF=PU
TPSF=0
GOTO 90
END IF

```

```

WRITE(61,80)
80 FORMAT(' ','//','STABILNA FAZA')
90 T=TU+TPSF
   AKSI=1/(1+(3-ZK)*ZK/6)
   RO0=PPSF/PU*ROU
   D=((ZK-1)*S*AKSI/(2*S*XU))*SQRT(ZK*PPSF/RO0)
   TKRAJ=((PPSF/PKRAJ)**((ZK-1)/(2*ZK))-1)/D
   AKORAK=TKRAJ/K1P
   STEPEN=2*ZK/(ZK-1)
   WRITE(61,85)
85 FORMAT(' ',//,9X,'T',9X,'P',11X,'T')
   DO 310 TR=0,TKRAJ,AKORAK
   P=PPSF/(1+D*TR)**STEPEN
   WRITE(61,105) I,P,T
105 FORMAT(' ',7X,I3,F13.0,F10.7)
   I=I+1
310 T=T+AKORAK
   GO TO 28
26 DLX=(XU-XP)/(X-XP)
   X=XU
   V=VP+(V-VP)*DLX
   P=PP+(P-PP)*DLX
   T=TP+(T-TP)*DLX
   PSI=PSIP+(PSI-PSIP)*DLX
   Y=YP+(Y-YP)*DLX
   WRITE(61,45)I,Y,PSI,V,X,P,T
45 FORMAT(' ',9X,I2,2F10.6,F8.2,F8.3,F12.0,
   +F8.5,/,12X,'NEPOTPUNO SAGOREVANJE')
   WRITE(62,140)T,P,V,X
140 FORMAT(10X,F10.5,F13.0,F10.2,F9.3)
   WRITE(63,240)X,P,V
240 FORMAT(10X,F9.3,F13.0,F10.2)
28 CLOSE (60)
   CLOSE (61)
   CLOSE (62)
   CLOSE (63)
   STOP
   END

```

10.2. Датотека са полазним улазним подацима УБ прорачуна

750,1250

0.00279,0.00865,2.558,1.134,14.968,1.308,1600.

0.001065534,0.269,0.000400,1.114,-0.1023,908030,100E6,5.678E-10

'105 MM','NCD11'

10.3. Програмско решење СБ прорачуна ОЈЛЗССК

```
C*****
C  *                                     *
C  * PROGRAM ZA PRORACUN PUTANJE PROJEKTILA SA TRI *
C  * STEPENA SLOBODE KRETANJA ZA ZAKON OTPORA CX *
C  * IZ 1943. GOD I ANA ATMOSFERU *
C  *                                     *
C*****
C  *                                     *
C  * ZBIRKA RESENJIH ZADATAKA IZ SB, D.REGODIC, VA, 2003. *
C  *                                     *
C*****
  DIMENSION Y(11),DY(11),P(11),Q(11),R(11)
  DIMENSION YH(10),CS(10)
  2  FORMAT(10I5)
  10 FORMAT(7F11.5)
  14 FORMAT(5X,6F9.2,F9.3,F9.2)
  114 FORMAT(3X,6F10.2,F9.3,F10.2)
  16  FORMAT(10X,'Vo Oo Xc Ys Oc Vc
+ tc Yc')
  116 FORMAT(8X,'Vo Oo/60-00/ Xc Ys Oc/60-00/ Vc
+ tc Yc')
  216 FORMAT(8X,'Vo Oo/64-00/ Xc Ys Oc/64-00/ Vc
+ tc Yc')
  316 FORMAT(8X,'m/s /60-00/ m m /60-00/ m/s
+ s m')
  416 FORMAT(8X,'m/s /64-00/ m m /64-00/ m/s
+ s m')
  516 FORMAT(8X,'m/s /step./ m m /step./ m/s
+ s m')
  4  FORMAT(10X,'VISINA PADNE TACKE Yc=',F7.0)
  OPEN(1,FILE='OJL3SSU.DAT',STATUS='OLD',FORM='FORMATTED')
  OPEN(2,FILE='OJL3SSR.DAT',STATUS='UNKNOWN',FORM='FORMATTED')
  OPEN(3,FILE='O3SH60.DAT',STATUS='UNKNOWN',FORM='FORMATTED')
```

```

      OPEN(4,FILE='O3SH64.DAT',STATUS='UNKNOWN',FORM='FORMATTED')
      AK=55.
      APR=57.3
      TEME=0.00001
      TPAD=0.001
      Y0=0.
      WX=0.
      WZ=0.
      AT=0.
      READ(1,*)NVIS,NC
      READ(1,*)(YH(I),I=1,NVIS)
      READ(1,*)(CS(I),I=1,NC)
18  FORMAT(5X,'CS=',5F11.5/8X,5F11.5)
      READ(1,*)TET0,DTET,TETK
      READ(1,*)V0P,DV0P,V0K
      DO 60 IVIS=1,NVIS
      YC=YH(IVIS)
      DO 60 VI=V0P,V0K,DV0P
      WRITE(2,18)(CS(I),I=1,NC)
      WRITE(2,4)YH(IVIS)
      WRITE(2,16)
      WRITE(2,516)
      WRITE(3,18)(CS(I),I=1,NC)
      WRITE(3,4)YH(IVIS)
      WRITE(3,116)
      WRITE(3,316)
      WRITE(4,18)(CS(I),I=1,NC)
      WRITE(4,4)YH(IVIS)
      WRITE(4,216)
      WRITE(4,416)
      DO 60 TETA=TET0,TETK,DTET
      UGO=TETA/APR
      TH60 = TETA*150/9
      TH64 = TETA*160/9
      H=0.2*VI*SIN(UGO)
      IH=H
      IF(IH.LT.20)IH=20
      H=H/FLOAT(IH)
C*****
      CALL CET(NC,CS,UGO,CK)
      CALL OJL3SS(M,H,Y,TEME,TPAD,CK,YC,Y0,AT,WX,WZ,VI,UGO,YM)
      TC=APR*Y(8)
      TCH60 = TC*150/9
      TCH64 = TC*160/9
      VC=Y(10)
      WRITE(2,14)VI,TETA,Y(2),YM,TC,VC,Y(1),Y(3)

```

```

        WRITE(3,114)VI,TH60,Y(2),YM,TCH60,VC,Y(1),Y(3)
        WRITE(4,114)VI,TH64,Y(2),YM,TCH64,VC,Y(1),Y(3)
60  CONTINUE
    STOP
    END
C*****
C*****
    SUBROUTINE OJL3SS(M,H,Y,TEME,TPAD,CE,YC,Y0,AT,WX,WZ,VI,
+      UGO,YM)
C*****
C*****
    DIMENSION Y(11),DY(11),P(11),Q(11),R(11),YP(11)
    DIMENSION CT(1),GT(1),ET(1),TR(1),XR(1)
    H0=H
    DY(1)=1.0
    M=7
    LY=0
    LC=0
    TEMEN=TEME
    TPADN=TPAD
    DO 1 J=1,11
    P(J)=0.0
    Q(J)=0.0
    R(J)=0.0
1  Y(J)=0.0
    Y(3)=Y0
    Y(8)=UGO
    Y(10)=VI
    Y(5)=Y(10)*COS(Y(8))
    Y(6)=Y(10)*SIN(Y(8))
    Y(11)=SQRT((Y(5)-WX)**2+Y(6)**2+(Y(7)-WZ)**2)
    KY=1
    KT=1
C*****
100  FORMAT(/13X,'ti  Xi  Yi  Oi  Vi')
101  FORMAT(10X,F7.2,4F7.0)
    5  CONTINUE
    2  FORMAT(10X,F7.1,4F7.0)
    DO 6 K=1,11
    6  YP(K)=Y(K)
    IF(KY.EQ.2)GO TO 40
    H=H0
C*****
    9  CALL DJ3SS(Y,DY,WX,WZ,AT,CE)
    DO 10 I=1,M
    P(I)=H*DY(I)*0.5

```

```

      R(I)=(P(I)-Q(I)+Y(I))-Y(I)
      Y(I)=Y(I)+R(I)
10   Q(I)=3.*Q(I)-P(I)+3.*R(I)
      CALL DJ3SS(Y,DY,WX,WZ,AT,CE)
      DO 11 I=1,M
      P(I)=H*DY(I)
      R(I)=((P(I)-Q(I))*0.5+Y(I))-Y(I)
      Y(I)=Y(I)+R(I)
11   Q(I)=3.*P(I)-2.*Q(I)-6.*R(I)
      CALL DJ3SS(Y,DY,WX,WZ,AT,CE)
      DO 12 I=1,M
      P(I)=H*DY(I)-0.5*P(I)
      R(I)=(P(I)+Y(I))-Y(I)
      Y(I)=Y(I)+R(I)
12   Q(I)=Q(I)+6.*(P(I)-R(I))
      CALL DJ3SS(Y,DY,WX,WZ,AT,CE)
      DO 13 I=1,M
      P(I)=(-4.*P(I)+H*DY(I)+Q(I))/6.
      R(I)=(P(I)+Y(I))-Y(I)
      Y(I)=Y(I)+R(I)
13   Q(I)=R(I)-P(I)
C*****
      TA=Y(6)/Y(5)
      IF(KT.EQ.0) GO TO 32
      IF(KT.EQ.2)GO TO 25
      IF(TA.LT.0.0) GO TO 31
      IF(KT.NE.2) GO TO 26
25   IF(KY.EQ.0) GO TO 35
      IF((Y(3)-YC).LT.0.0) GO TO 34
26   Y(10)=SQRT(Y(5)**2+Y(6)**2+Y(7)**2)
      Y(11)=SQRT((Y(5)-WX)**2+Y(6)**2+(Y(7)-WZ)**2)
      Y(8)=ATAN(Y(6)/Y(5))
      Y(9)=ATAN(Y(7)/Y(5))
      GO TO 5
C*****
C      *      INTERPOLACIJA ZA TEME PUTANJE      *
C*****
31   KT=0
32   IF(ABS(TA).LE.TEME) GO TO 33
      LY=LY+1
      IF(LY.EQ.25) TEME=5.0*TEME
      IF(LY.EQ.45) TEME=2.0*TEME
      IF(LY.EQ.60) GO TO 38
      H1=H
      H=H/(1.-Y(6)*YP(5)/(YP(6)*Y(5)))
      H=(H1+H)/2.0

```

```

DO 29 I=1,11
P(I)=0.
Q(I)=0.
R(I)=0.
29 Y(I)=YP(I)
GO TO 9
C*****
33 KT=2
Y(8)=ATAN(Y(6)/Y(5))
Y(9)=ATAN(Y(7)/Y(5))
Y(10)=SQRT(Y(5)**2+Y(6)**2+Y(7)**2)
Y(11)=SQRT((Y(5)-WX)**2+Y(6)**2+(Y(7)-WZ)**2)
YM=Y(3)
H=H0-H
IF(ABS(Y(3)-YC).LE.TPAD)GO TO 40
GO TO 9
C*****
C * INTERPOLACIJA ZA PADNU TACKU *
C*****
34 KY=0
35 IF(ABS(Y(3)-YC).LT.TPAD) GO TO 36
LC=LC+1
IF(LC.EQ.25) TPAD=10.0*TPAD
IF(LC.EQ.45) TPAD=10.0*TPAD
IF(LC.EQ.60) GO TO 38
H1=H
H=H*(YC-YP(3))/(Y(3)-YP(3))
H=(H1+H)/2.0
DO 30 I=1,11
P(I)=0.
Q(I)=0.
R(I)=0.
30 Y(I)=YP(I)
GO TO 9
C*****
36 KY=2
GO TO 26
38 WRITE(2,39) LY,LC
39 FORMAT(10X,'TREBA VISE OD 60 ITERACIJA U AICLSJ'/
+ 110X,'MENAJ TEME ILI KORAK INTEGRACIJE H,LY=',I5/
+ 210X,'MENAJ TPAD ILI KORAK INTEGRACIJE H,LC=',I5)
C*****
40 H=H0
TEME=TEMEN
TPAD=TPADN
RETURN

```

```

END
C*****
SUBROUTINE CET(NC,CS,X,CE)
C*****
C      *
C      *      Polinom Ce=Ao+A1*X+...+An*X**(n-1)      *
C      *      CS(1)=Ao,CS(2)=A1,.....CS(n+1)=An      *
C      *
C*****
      DIMENSION CS(1)
      IF(NC.EQ.1)GO TO 20
      CE=0.0
      DO 10 I=NC,2,-1
10    CE=(CE+CS(I))*X
      CE=(CS(1)+CE)*55.0
      RETURN
20    CE=CS(1)*55.0
      RETURN
      END
C*****
C      *
C      *      DIFERENCIJALNE JEDNACINE      *
C      *
C*****
SUBROUTINE DJ3SS(Y,DY,WX,WZ,AT,CE)
      DIMENSION Y(11),DY(7),P(1),Q(1),R(1),YP(1),YT(1)
      DIMENSION CT(1),GT(1),ET(1)
      DY(2)=Y(5)
      DY(3)=Y(6)
      DY(4)=Y(7)
      Y(11)=SQRT((Y(5)-WX)**2+Y(6)**2+(Y(7)-WZ)**2)
      CALL ATMOSANA(Y(3),AT,B,AY)
      SM=Y(11)/AY
      RJ=CE*B*SM*SM
      CALL OTPORCX43(SM,CX)
      RJ=-RJ*CX
      DY(5)=RJ*(Y(5)-WX)/Y(11)
      DY(6)=RJ*Y(6)/Y(11)-9.81
      DY(7)=RJ*(Y(7)-WZ)/Y(11)
      RETURN
      END
C*****
SUBROUTINE OTPORCX43(SM,CX)
C*****
C      *
C      *      ZAKON OTPORA Cx IZ 1943 ZA VREDNOSTI DO M=5.0      *

```

```

C      *
C*****
      DIMENSION CT(7),GT(7),ET(7)
      DATA CT/0.0,1.67483,-1.84041,0.85303,-.14913,.00668,
+ .157/
      DATA ET/0.0,5.94959,-8.02597,5.18539,-1.46945,-.05689,
+ .385/
      DATA GT/0.0,.0197,3.08675,-4.4849,1.97461,.11085,.19/
      IF(SM.LT.0.6) GO TO 3
      IF(SM.LT.0.9) GO TO 4
      IF(SM.LT.1.2) GO TO 5
      IF(SM.LT.3.578)GO TO 10
      CX=0.260
      RETURN
3  CX=0.157
   RETURN
4  A=(SM-0.6)/0.3
   CX=-0.512
   DO 7 N=2,7
7  CX=CX*A+CT(N)
   RETURN
5  A=(SM-0.9)/0.3
   CX=-0.512
   DO 9 N=2,7
9  CX=CX*A+GT(N)
   RETURN
10 A=(SM-1.2)/2.3
   CX=-1.70667
   DO 6 N=2,7
6  CX=CX*A+ET(N)
   RETURN
   END
C*****
      SUBROUTINE ATMOSANA(YS,AT,B,AY)
C*****
C      *
C      *
C      * PRORACUN PARAMETARA ATMOSFERE ZA ANA ATMOSFERU *
C      *
C*****
      IF(YS.GT.9300.)GO TO 5
      TY=288.9-6.328E-3*YS
      TY=TY+AT
      AY=20.05053*SQRT(TY)
      B=(1.-2.19E-5*YS)**5.4
      RETURN
5  IF(YS.GT.12000.)GO TO 10

```

```

TY=390.21668-.0281272*YS+1.172E-6*YS*YS
TY=TY+AT
AY=20.05053*SQRT(TY)
B=-0.87298846+7.275E-5*YS
B=ATAN(B)+0.19393892
B=-2.1206887*B
B=0.29228*EXP(B)
RETURN
10 TY=221.5
TY=TY+AT
AY=20.05053*SQRT(TY)
B=.19372286*EXP(1.85088-1.5424E-4*YS)
RETURN
END

```

10.4. Улазни подаци за СБ прорачун

1,1

0.

9.093945

.5,1.,5.5

940.,5.,960.

10.5. Програмско решење за прорачун спољне трасе цеви применом четврте теорије димензионисања цеви

```

PROGRAM KODCEV
INTEGER BR1,BR2,BR,KA,W,METO,AUT
REAL LU
DIMENSION X(1251),Y(1251),P(1251),PRI(1251),R(1251),T(1251)
DIMENSION YP(1251)
DIMENSION DET(1251)
OPEN (1,FILE='ULUB105.DAT')

```

```

OPEN (2,FILE='UBPX105.DAT')
OPEN (3,FILE='POM')
OPEN (4,FILE='POS')
OPEN (5,FILE='IDACE')
OPEN (6,FILE='IDACEV')
REWIND 1
READ (1,*)W0,SK,S,DK,D,OM,EM,SIGE,AUT,METO
DO 10 L=1,1251
10 READ (2,*)Y(L),X(L),P(L)

BR1=0.
BR2=0.
BR=0.
PM=0.
PK=0.
PU=0.
XM=0.
XK=0.
XU=0.

C   ****ODREDJIVANJE KARAKTERISTICNIH TACAKA IZ UB PRORACUNA****
DO 20 I=1,1251
IF(P(I).GE.PM)THEN
PM=P(I)
XM=X(I)
BR=I

```

```

ELSE
PU=P(I)
XU=X(I)
BR2=I
ENDIF

IF(BR1.GT.0) GOTO 20

IF(Y(I).EQ.1.)THEN
PK=P(I)
XK=X(I)
BR1=I
ENDIF

20 CONTINUE

IF(METO.EQ.0) THEN
WRITE(5,5)
5  FORMAT(1H ,10X,"PRAKTICNO DIMENZIONISANA CEV")
ELSE IF(METO.EQ.1) THEN
WRITE(5,7)
7  FORMAT(1H ,10X,"DIMENZ. CEVI PO I TEORIJI CVRSTOCE")
ELSE IF(METO.EQ.2) THEN
WRITE(5,9)
9  FORMAT(1H ,10X,"DIMENZ. CEVI PO II TEORIJI CVRSTOCE")
ELSE IF(METO.EQ.3) THEN
WRITE(5,11)
11 FORMAT(1H ,10X,"DIMENZ. CEVI PO III TEORIJI CVRSTOCE")

```

```

ELSE IF(METO.EQ.4) THEN
WRITE(5,13)
13  FORMAT(1H ,10X,"DIMENZ. CEVI PO IV TEORIJI CVRSTOCE")
ENDIF
WRITE(5,15)XM,XK,XU
WRITE(5,17)PM,PK,PU
15  FORMAT(1H ,10X,"XM=",F8.6,6X,"XK=",F8.6,6X,"XU=",F8.6)
17  FORMAT(1H ,10X,"PM=",F11.0,3X,"PK=",F11.0,3X,"PU=",F10.0)
C   ***RACUNANJE PC NA OSNOOVU PM*****
IF(D.LT.DK) GO TO 25
X0=W0/S
IF(METO.EQ.0) GO TO 27
PC=PM*(1+0.5*OM/EM)
GO TO 35
27  PC=1.35*PM*(1+0.5*OM/EM)
GO TO 35
25  X0=W0/SK
IF(METO.EQ.0) GO TO 29
PC=PM*(1+0.55*OM/EM)*(D/DK)**0.6
GO TO 35
29  PC=1.35*PM*(1+0.55*OM/EM)*(D/DK)**0.6
35  X0XM=X0+XM
X0XK=X0+XK
LU=XU+X0

```

```

WRITE(5,31) LU
31 FORMAT(1H ,27X,"LU=",F8.6)
C   ***LINEARNA INTERPOLACIJA OD PC DO PM***
H=X0XM/20
X(1)=0.
PRI(1)=PC
WRITE(3,*)X(1),PRI(1)
DO 30 J=1,20
X(J)=H*J
X(J+1)=X(J)
IF(METO.EQ.0 ) GO TO 33
P(J)=PC+(PM-PC)*X(J)/X0XM
GO TO 75
33 P(J)=PC+(1.35*PM-PC)*X(J)/X0XM
75 PRI(J+1)=P(J)
WRITE(3,*)X(J+1),PRI(J+1)
30 CONTINUE
C   ***ELIMINACIJA KRIVULJE IZ UBP OD 0 DO XM***
REWIND 2
KA=0
DO 40 K=1,1251
READ(2,*)Y(K),X(K),P(K)
IF(X(K).GT.XM) GO TO 37
KA=KA+1

```

```

GO TO 40

37 X(K)=X0+X(K)

X(21+K-KA)=X(K)

IF(METO.GT.0) GO TO 39

YP(K)=1.20+0.70*(X0+X(K)-X0XM)/(LU-X0XM)

P(K)=P(K)*YP(K)

39 PRI(21+K-KA)=P(K)

45 WRITE(3,*)X(K),P(K)

40 CONTINUE

C   ***RACUNANJE KONSTR. KRIVULJE ZA X0+XM,XM DO XK I XK DO XU***

C   *** I POMERANJE KONSTR.KRIVULJE OD X0XM ZA 3*D***

IF(METO.EQ.0) GO TO 47

REWIND 3

W=20+K-KA

DO 50 M=1,W

READ(3,*)X(M),P(M)

IF((X(M).GE.0.).AND.(X(M).LT.X0XM))THEN

PRI(M)=P(M)*1.15*1.06

WRITE(4,*)X(M),PRI(M)

ELSE IF((X(M).GE.X0XM).AND.(X(M).LT.X0XK)) THEN

PRI(M)=P(M)*(1.15-0.1*(X(M)-X0XM)/(X0XK-X0XM))*1.06

X(M)=X(M)+3*D

WRITE(4,*)X(M),PRI(M)

ELSE IF(X(M).GE.X0XK)THEN

```

```

    PRI(M)=P(M)*1.05*1.06

    X(M)=X(M)+3*D

    WRITE(4,*)X(M),PRI(M)

    ENDIF

50 CONTINUE

47 WRITE(5,18)

18 FORMAT(1H ,13X,"M",6X,"X(M)",5X,"PRI(M)",9X,"R2",7X,"R1")

C   ***DIMENZIONISANJE CEVI-RACUNANJE R2 NA OSNOVU PK. I SIGMAE***

    IF(METO.EQ.0) THEN

        W=20+K-KA

        REWIND 3

    ELSE IF(METO.GT.0) THEN

        REWIND 4

    ENDIF

    DO 60 N=1,W

        IF(METO.EQ.0) THEN

            READ(3,*) X(N),PRI(N)

        ELSE IF(METO.GT.0) THEN

            READ(4,*) X(N),P(N)

        ENDIF

        IF(METO.GT.0) GO TO 49

        IF(D.LT.DK) GO TO 69

        R(N)=D/2

        GO TO 53

```

```

69 IF(X(N).LE.X0) GO TO 51
    R(N)=D/2
    GO TO 53
51 R(N)=DK/2
53 T(N)=SQRT((SIGE*R(N)**2)/(SIGE/2-PRI(N)))
    GO TO 55
49 IF(D.LT.DK) GO TO 71
    R(N)=D/2
    GO TO 59
71 IF(X(N).LE.X0) GO TO 57
    R(N)=D/2
    GO TO 59
57 R(N)=DK/2
59 IF(X(N).LE.LU/2) GO TO 61
    GO TO 63
61 IF(METO.EQ.1) THEN
    T(N)=SQRT(R(N)**2*(SIGE+1.55*PRI(N))/(SIGE-1.55*PRI(N)))
    ELSE IF(METO.EQ.2)THEN
    T(N)=SQRT(R(N)**2*(3*SIGE+2*PRI(N))/(3*SIGE-4*PRI(N)))
    ELSE IF(METO.EQ.3)THEN
    T(N)=SQRT((SIGE*R(N)**2)/(SIGE/2-PRI(N)))
    ELSE IF(METO.EQ.4)THEN
    DET(N)=2*R(N)**2*PRI(N)*SIGE*SQRT(4-(3*PRI(N)**2)/SIGE**2)
    T(N)=SQRT((2*SIGE**2*R(N)**2+DET(N))/(2*(SIGE**2-3*PRI(N)**2)))

```

```

ENDIF

63 IF((X(N).GT.(LU/2)).AND.(X(N).LT.(2*LU/3))) THEN

    PRI(N)=PRI(N)*1.1

    R(N)=D/2

    IF(METO.EQ.1)THEN

        T(N)=SQRT(R(N)**2*(SIGE+1.55*PRI(N))/(SIGE-1.55*PRI(N)))

    ELSE IF(METO.EQ.2)THEN

        T(N)=SQRT(R(N)**2*(3*SIGE+2*PRI(N))/(3*SIGE-4*PRI(N)))

    ELSE IF(METO.EQ.3)THEN

        T(N)=SQRT((SIGE*R(N)**2)/(SIGE/2-PRI(N)))

    ELSE IF(METO.EQ.4)THEN

        DET(N)=2*R(N)**2*PRI(N)*SIGE*SQRT(4-(3*PRI(N)**2)/SIGE**2)

        T(N)=SQRT((2*SIGE**2*R(N)**2+DET(N))/(2*(SIGE**2-3*PRI(N)**2)))

    ENDIF

ELSE IF(X(N).GE.(2*LU/3))THEN

    PRI(N)=PRI(N)*1.25+5000E+04

    R(N)=D/2

    IF(METO.EQ.1)THEN

        T(N)=SQRT(R(N)**2*(SIGE+1.55*PRI(N))/(SIGE-1.55*PRI(N)))

    ELSE IF(METO.EQ.2)THEN

        T(N)=SQRT(R(N)**2*(3*SIGE+2*PRI(N))/(3*SIGE-4*PRI(N)))

    ELSE IF(METO.EQ.3)THEN

        T(N)=SQRT((SIGE*R(N)**2)/(SIGE/2-PRI(N)))

    ELSE IF(METO.EQ.4)THEN

```

```

DET(N)=2*R(N)**2*PRI(N)*SIGE*SQRT(4-(3*PRI(N)**2)/SIGE**2)
T(N)=SQRT((2*SIGE**2*R(N)**2+DET(N))/(2*(SIGE**2-3*PRI(N)**2)))
ENDIF
ENDIF
C   ***RESENJE OJACANJA CEVI AKO JE POTREBNO***
IF(AUT.EQ.1) GO TO 55
IF((P(N).GT.3E+8).AND.(P(N).LE.5E+8)) THEN
PRI(N)=PRI(N)*1.05
ELSE IF(P(N).GT.5E+8) THEN
PRI(N)=PRI(N)*1.1
ENDIF
55  WRITE(6,65)N,X(N),PRI(N),T(N),R(N)
    WRITE(5,67)N,X(N),PRI(N),T(N),R(N)
65  FORMAT(1H ,10X,I4,F10.5,F13.0,2F10.5)
67  FORMAT(1H ,10X,I4,F10.5,F13.0,2F10.5)
60  CONTINUE
    CLOSE (1)
    CLOSE (2)
    CLOSE (3)
    CLOSE (4)
    CLOSE (5)
    CLOSE (6)
    STOP
    END

```