

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: 535/2016

Милан Г. Ивковић

**Анализа унутрашњебалистичких параметара
аутоматског топа калибра 30x173mm**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф.др Небојша Христов-ментор

2.

3.

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру дипломског рада кандидат треба да на примеру постојећег система наоружања калибра 30x173mm изврши оптимизацију унутрашњебалистичких параметара са циљем повећања карактеристика. У току оптимизације кандидат ће применити дефинисане математичке моделе, као критеријум за поређење ће узети у обзир реалне податке за ово средство (Каталожне вредности балистичких перформанси- вредности почетне брзине и максималног притиска барутних гасова).

У току рада кандидат треба да обради следећа питања:

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

Препоручена литература:

- [1] М. Цветковић, Унутрашња балистика, Сектор за ШОНИД, ВТА ВЈ, Београд, 1998.
- [2] Љубиша Танчић, Класична унутрашња балистика, Војна академија Београд, 2006.год.;

Ментор

проф.дрНебојша Христов

Крагујевац, 21.9.2020.

Садржај

1. Увод	1
2. Развој аутоматских топова кроз историју и његови карактеристични представници	2
3. Математички модел унутрашњобалистичког прорачуна	8
4. Оптимизација унутрашњобалистичких параметара	14
4.1 Унутрашњобалистички прорачун са основним параметрима за метак калибра 30x173mm.....	14
4.2 Унутрашњобалистички прорачун са измењеним параметрима метака калибра 30x173mm.....	16
5. Анализа оптимизованих унутрашњобалистичких параметара.....	23
6. Закључак	25
7. Литература	26
8. Преглед табела	27
9. Преглед графика	28
10. Преглед слика	29
11. Прилог-програмско решење УБ прорачуна- програм Дроздова	30

РЕЗИМЕ

Дипломски рад се бави анализом промене утицајних унутрашњебалистичких параметара, познатог оруђа, на процес опаљења. У уводном делу рада разматра се појам аутоматских топова и њихова класификација према ТТЗ-у (тактичко-техничким захтевима). Друго поглавље даје преглед развоја поменутог наоружања кроз историју и савремене концепције аутоматских топова иностране и домаће конструкције. Треће поглавље као целина разматра аналитичку методу унутрашњебалистичког прорачуна, методу Дроздова. У четвртом поглављу метода је примењена кроз прорачун за познате и оптимизоване УБ параметре метка у калибру 30x173mm који се користи за топ 30mm радне ознаке М85-05. Анализом су обухваћене промене улазних параметара за: топлотну моћ барута, масу барутног пуњења и дужину цеви оруђа. Резултати анализе, промена брзине пројектила и притиска, су дати графички у зависности од времена трајања процеса, $t(s)$, и пута пројектила у цеви, $x(m)$, а максималне вредности процеса опаљења су приказане табеларно.

Кључне речи: аутоматски топ, УБ параметри, притисак, почетна брзина

ABSTRACT

In this term paper, we analyze changes of the internal ballistic parameters of a known cannon on the firing process. The introduction part of the paper discusses the concept of automatic cannons and their classification according to tactical and technical requirements. The second chapter gives an overview of the development of the mentioned weapons through the history and modern concepts of automatic cannons of foreign and domestic construction. The third chapter is about analytic equation methods of internal ballistic, Drozd method. In the fourth chapter, the method was applied through the calculation for known and optimized parameters of the 30x173mm caliber bullet, which is used by modern Zastava canon named M85-05. Parameter changes of gunpowder heat, gunpowder charge mass, and barrel length are contained in this analysis. Speed and pressure changes of the bullet are graphically presented in the results, in addition to process duration $t(s)$ and barrel length $x(m)$. Maximal values of the firing process are contained in the table.

Keywords: automatic cannon, internal ballistic parameters, pressure, initial speed

1. Увод

Аутоматски топови према тактичко техничким захтевима представљају оруђа противавионске заштите, осмишљена на начин да употпуне јаз између стандардних аутоматских оружја пушчаног типа, тешких митраљеза, и артиљеријских топова намењених за морнаричку борбу. Њихова првобитна улога се огледала у великој ватреној и разорној моћи експлозивних пројектила по циљевима морнарице и војним јединицама. Каснија употреба ових средстава проширена је за потребе дејства противваздухопловне одбране (брзопокретни циљеви) и противоклопене борбе. Када се користи самостално, реч „аутоматски топ“ обично означава оруђе са једном цеви. Када је реч о оружју са више ротирајућих цеви, такво се оруђе назива „вишецевни аутоматски топ“ или „аутоматски топ револверског типа“

Савремени аутоматски топови представљају наоружање велике ватрене моћи које је сувише гломазно за пешадију. Због своје тежине и трзаја који се остварује током дејства, обично су инсталирани на фиксним носачима, транспортерима, борбеним возилима, ваздухопловима. За свој рад користе механизме за храњење који се углавном пуне путем реденика, али такође има и примера употребе магацина. Као видан проблем јавља се прегревање цеви које настаје услед велике брзине ватре, посебно је то забележено код аутоматских топова револверског типа. Данашње актуелне војне операције показују потребу за ватреном заштитом лако оклопљених возила у току ратних дејстава и током логистчког допремања опреме на бојишту. Из наведених разлога, ради побољшања борбених способности лаких и средњих борбених возила покренут је програм развоја лаких даљински управљивих борбених станица (*remote weapon station – RWS*), опремљених са најсавременијом оптоелектронском опремом спрегнутом са цеви аутоматског топа. Пример борбене станице дат је на слици 1.



Слика 1. Приказ нове борбене станице са аутоматским топом *Oerlikon Mark 10 - 20mm* [16]

2. Развој аутоматских топова кроз историју и његови карактеристични представници

Период од половине деветнаестог века па до раних година двадесетог века представља период трансформације војног наоружања широм света. Првобитне пушке биле су пуњене ручно насипањем барута из барутне торбе или рога, сабијан је барут и додаван је пројектил. Пушке тога времена биле су лимитиране са брзином паљбе на свега пар хитаца у минути. Почетком двадесетог века осваја се технологија производње чаура која ће објединити барут и пројектил у једну целину. Ови проналасаци представљају зачетак развоја новог наоружања са повећаном брзином паљбе и лакшим пуњењем самог оружја. Није прошло много времена направљени су први системи са механичким пуњењем оружја, па тако и први митраљеви који су применили овај приступ.

Паралелно са развојем муниције развијало се и наоружање које ју је користило, некада и више система за исту муницију. Након потписивања Петроградске декларације, 29. новембра 1868, која забрањује копненим и поморским снагама употребу „свих пројектила испод 400 грама тежине који су експлозивни или напуњени фулминатима или запаљивим материјама" у рату. У то доба није постојало оружје које би успешно примењивало овај тип пројектила. Такав захтев наводи произвођача наоружања В.В. Hotchkiss-а да започне развој новог наоружања, ручнопокретан митраљез које ће примењивати чауру артиљеријске муниције малог калибра, која ће и даље бити ефикасна, а уједно испуњавати услове задате конвенцијом. Одабрао је калибар 37mm. Након ових покушаја В.В. Hotchkiss-а, командир Gleland Davis са својом идејом омогућује уградњу топова тога времена на платформе авиона, возила и лаких бродова, уз употребу кочнице трзања и повратника на топовима. [9]

Прва назнака развоја аутоматских топова био је Британски „*QF 1-pounder*“, познат по имену „*Pom-pom*“. У суштини ово је била увећана верзија, добро познатог у то време, митраљеви „*Maxim*“, који је представљао први потпуно аутоматски митраљез који није захтевао спољашње изворе енергије сем држања окидача. Аутоматски топ *Pom-Pom* у калибру 37mm имао је каденцу од 200 метака у минути и испаливао је пројектиле са 450g експлозива што је у то време било дозвољено конвенцијом. [10]

Током Првог светског рата, аутоматски топови су се углавном користили у рововима као противавионски топови. Године 1915. британски официр авијације по имену Cow, упоредо је радио на развоју првог потпуно аутоматског топа компаније *Cowentry Ordnance Works* који по својим карактеристикама највише одговара изгледу данашњих аутоматских топова. Након завршетка пројекта, извршена су тестирања у пристаништу у области *Shoeburyness*. Сврха испитивања је била да се утврде било какве неисправности аутоматског механизма при дејству под различитим угловима елевације и депресије. Руководици овим оруђем су га по иницијалима компаније назвали Крављи топ (*C.O.W. gun*). Топ је функционисао по добро познатом принципу дугог трзања цеви, и веома је

подсећао на механизам аутомата *Chauchat*. Цев се хладила ваздухом, храњен је магацином и могао је да ради у полуаутоматском и аутоматском режиму. [9]

Убрзо након овог подухвата, немац *Reinhold Becker* са својом фирмом „*Stahlwerke Becker*“ ради на развоју новог топа под називом „*Becker Type M2 20mm*“ чији ће патент касније послужити као основа за топове сличног дизајна, као што је топ Швајцарске одбрамбене индустрије „*Oerlikon 20mm*“ који се и дан данас примењује у наоружању многих земаља.

Током Другог светског рата немачки лаки тенк Панзер II, који је био један од најбројнијих у немачкој служби током напада на Пољску и борби у Француској, као главно наоружање користио је 20-милиметарски аутоматски топ. Иако је био неефикасан против тенковског оклопа чак и током раних година рата, топ је био ефикасан против возила лаке заштите, као и пешадије, а користили су га и оклопни аутомобили. За разлику од Ерликона, Пољски 20-милиметарски аутоматски топ 38ФК био је ефикасан против свих тенкова који су коришћени 1939. године, управо због тога што је ирађен као унапређена верзија Ерликон-а (*Oerlikon*) и Хиспана (*Hispano Suiza*) [9]

Сматрало се да ће развој навођених ракета учинити топове непотребним, цела генерација западних борбених авиона изграђена је без њих. Насупрот томе, све летелице Источног блока задржале су ово оружје. Током рата у Вијетнаму, америчко ратно ваздухопловство схватило је да су топови заправо корисни за гађање упозоравајућим хицима и за напад на циљеве који не оправдавају трошење скупocene ракете. Ово је било посебно важно са нижом поузданошћу раних ракетних технологија ваздух-ваздух, попут оне која се користила током рата у Вијетнаму. Као последица тога, ловцима су у то време додавани топови у спољне тунеле авиона, па су из тог разлога готово сви борбени авиони до данас задржали топове као интегрални део наоружања на унутрашњим носачима авиона.



Слика 2. Аутоматски топ QF 1 Mark I & II ("Pom-pom") <<1903>> [16]

Карактеристични представници аутоматског топа

Артиљеријска оруђа малог калибра имају врло широку примену у савременим оружаним снагама. Разлог томе је велика ватрена моћ, која првенствено произилази из велике брзине гађања аутоматских топова малог калибра, уз истовремено малу масу средстава. Поред тога, артиљеријски пројектили имају веће дејство на циљу од стрељачке муниције великог калибра.

При развоју аутоматских топова тежи се ка испуњењу следећих захтева [11]:

- повећање домета;
- оперативност борбене употребе;
- повећање ефикасности муниције на циљу;
- повећање брзине гађања;
- подизање нивоа заштите послуге и оруђа;
- маневарска својства и поузданост оруђа у целини;
- употреба нове муниције;
- интеграција система за управљање ватром у командно-информационе системе вишег нивоа.

На бази више критеријумских анализа и оцена квалитета аутоматских топова и муниције, дошло се до закључка да су калибри 25 до 35mm најпогоднији за те намене, одабран је калибар 30mm и за њега извршена оптимизација почетне брзине пројектила у оквирним границама: $V_0 = 950 - 1050 \text{ m/s}$.

На основу ткз. “коефицијента савршености” који карактерише специфични излазни потенцијал оруђа (број мет./сек према јединичној маси оруђа), оруђа калибра 30mm су сврстана у три групе по маси: Лака (маса до 250kg), Средња (маса од 250 до 500kg), Тешка (маса од 500 до 2000kg).

Аутоматски топ 30mm 2А42

Топ 30mm 2А42 је совјетски аутоматски топ који су конструисали А. Г. Шипунов и В. П. Гриязев, а пројектован је за уништавање људства, лако оклопљених возила на дometима до 1.500m и ниско летећих циљева у ваздуху на висинама и до 2.000m.



Слика 4. Модел Аутоматског топа 30 мм 2А42

Дејствовање из топа може се обављати јединачним и аутоматским режимом ватре. Топ ради на принципу позајмице барутних гасова који се испуштају кроз бочни отвор цеви. Велика предност у односу на конкуренте је што има две брзине гађања (met/min):

- смањена 200 -300
- нормална > 550

Такође топ поседује уређај за двоструко храњење муницијом, што додатно олакшава интеграцију овог средства на борбене платформе. Топ је монтиран на борбеним возилима БМП-2, БМД-2, БМД-3, БТР-90, на хеликоптерима Ка-50, Ка-52, МИ-28Н и може се постављати на друге платформе.

Топ се састоји од следећих основних делова: пријемник, склоп цеви, носач затварача, повратне опруге, хидрауличног повратника, електрични окидач, поклопац са уводником, механизам за ретификацију.

Аутоматски топ Mauser МК 30 (МК30-2)

МК 30 је топ калибра 30 милиметара, који је првобитно развио Маусер. Након преузимања Маусера, топове производи конзорцијум *RWM GmbH (Rheinmetall Waffe Munition)* немачке компаније *Rheinmetall Defence*.

Аутоматски топ МК 30 ради на принципу позајмице барутних гасова. Барутни гасови се не користе само за покретање затварача, већ и за довођење и пуњење топа муницијом путем елеватора реденика. Сви покретни делови, попут повратних опруга, гасног клипа и одбојника постављени су дуж осе топа како би се елиминисала попречна оптерећења која неповољно утичу на рад топа. Систем за затварање се састоји од двоструких клинастих брава са дугим периодом затварања.

Ранији модел МК 30-1 је користио муницију са алуминијумским чаурама, док је новији модел МК 30-2 намењен коришћењу муниције са челичним чаурама. [1]

МК 30-2 је прецизно оружје које поседује велику брзину гађања. Користи се за гађање удаљених циљева, циљева који би били изван досега митраљезима и аутоматских топоова мањег калибра. Користи муницију 30x173mm GAU 8/A.

Ефективни домет и тачност погодака топа МК 30-2 искоришћени су за дејство по:

- лакооклопљеним возилима на дометима до 2.000 метара
- авионима и хеликоптерима на дометима до 3.000 метара
- против-бродске ракете на дометима преко 1000 метара.



Слика 3. Аутоматски топ Mauser МК 30

МК 30-2 је пројектован за вишенаменску монтажу, интеграцију у куполама оклопних транспортера, возила, хеликоптера и на бродским постољима и куполама. Топ је опремљен механизмом са обостраним храњењем муницијом. Склоп пријемника и елеватора је кован и његова конфигурација обезбеђује високу поузданост. Механичка једноставност топа омогућава лако одржавање, а топ се може раставити и поново саставити без алата.

Аутоматски топ 30 mm Застава М86А

Са развојем аутоматског топа у калибру 30mm започето је 1985. године од стране Завода Црвене Заставе из Крагујевца и Војнотехничког института. Тадашњи пројекат топа је имао радни назив „видра“ (приказан на слици 7). Нови „Заставин“ аутоматски топ базиран је на старом моделу калибра 30x210 милиметара, чија је производња освојена 1986, а угашена само пет година касније, односно почетком распада СФРЈ. Нови топ се разликује од старог, који је користио руску муницију, пре свега у калибру, из разлога усвајања новог метка од стране НАТО-а, нови тзв. метак GAU 8/A. Ради се о метку калибра 30x173mm, који од раније муниције за ову врсту оружја има краћу чауру и ново барутно пуњење које обезбеђује боље балистичке карактеристике оружја. [8]

Противавионски топ 30mm М86 ради на принципу позајмице барутних гасова. Има лако замењиву цев. Сандук механизма заједно са цеви клизи по колевци у току процеса опалења. Храњење топа је редеником. Уводници, горњи и доњи, који садрже механизме за померање реденика и увођење метака у цев су непокретни и налазе се између предњег и задњег ослонаца топа. Реденик се помера коришћењем енергије трзања аутомата топа. Максимална дужина реденика који може да се користи је 40 метака. На устима цеви постављена је гасна кочница за смањење силе трзања. Одбрављивање затварача врши се помоћу позајмице барутних гасова и преко потискивача носача затварача, а запиње услед заосталог притиска гаса у цеви. У запетом положају затварач се задржава помоћу запињаче. Повратни механизам затварача је опружног типа. Кулисе (убрзачи) су смештене у телу затварача са носачем затварача и крећу се у телу затварача [17].



Слика 4. Аутоматски топ Застава М86 [8]

Табела 1. Тактичко техничке карактеристике топа Застава М86

Калибар/муниција	30x176mm	Дужина оружја	3.065mm
Тип муниције	тр.фугас; обел; проб.	Напон напајања	27V
Брзина гађања	550-650 met/min	Сила трзања	25kN
Брзина пројектила	1.050 - 1.120m/s	Пуњење оружја	Реденик/обострано
Маса оружја	205kg	Управљање ватром	Аутоматски/ручно

Опис метка 30x173mm који користи аутоматски топ М86-05

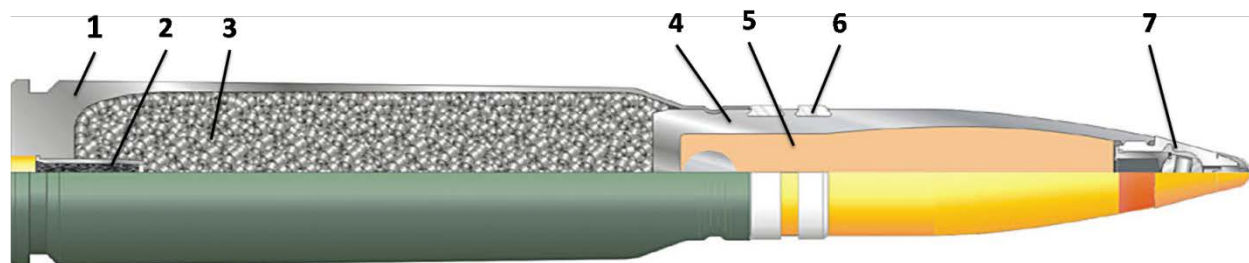
Муниција 30x173mm GAU-8/A користи се за дејство по свим типовима циљева укључујући тенкове, оклопна возила, авионе, хеликоптере и беспилотне летелице. Производе се у различитим варијантама наспрам типа циљева на које дејствују, неки представници су [14]:

- **PGU-13/B** - Високо експлозивни-запаљиви пројектил (High Explosive Incendiary - HEI), омогућује високу фрагментацију и запаљиве ефекте на циљу, има употребу против живе силе, теренских возила, складишта муниције и многих других циљева.
- **PGU-14/B** - Панцирно запаљиви за пробијање оклопа (Armor Piercing Incendiary- API) језгро велике густине пружа одлично пробојно дејство против основног и додатног оклопа оклопних возила.
- **PGU-15/B** - Вежбовна муниција (Target Practice -TP)

Ову муницију одликује ниска цена производње уз високо дејство пројектила на циљу, због могућности да се пројектили лаборишу експлозивним пуњењем и да поседују различите типове упаљача (ударно тренутног типа *M505 PD* и електронско темпирног типа *ABM-KETF*)

Овај калибар метка је стандардизован од стране НАТО-а и има распрострањену употребу у системима наоружања држава НАТО чланица, а носи ознаку стандарда (STANAG 4624). Оружја која га још примењују су: Oerlikon KCA, Mk44 Bushmaster II, Mk30, Type 730, GAU-8/A Avenger, и други.

Метак 30x173mm са тренутно-запаљивим пројектилом (приказан на слици 9) се састоји од: упаљача (7), кошуљице (4) са водећим прстеном (6), експлозивно-запаљивог пуњења (5), барутног пуњења (3) и чауре (1) са иницијалном капислом и припалом (2).



Слика 5. Метак 30x173mm са тренутно-запаљивим пројектилом [14]

3. Математички модел унутрашњебалистичког прорачуна

Метода Дорздова представља аналитички модел за решавање система од седам диференцијалних једначина унутрашње балистике, чиме се дефинише законитост кретања пројектила у процесу опаљења. Систем једначина се решава по периодима, а изузетак је прорачун времена који се изводи јединствено за цео ток.[1]

Суштина методе је дефинисати независно променљиву величину у функцији које ће се изразити остали балистички параметри процеса опаљења. За избор независно променљиве потребно је познавати њене почетне и крајње вредности. За први период Дроздов бира релативно сагорелу дебљину барута као независну променљиву, док у другом периоду за независно променљиву бира пут пројектила.

Систем од седам основних диференцијалних једначина унутрашње балистике приказан је у табели 2.

Табела 2. Систем од седам основних једначина унутрашње балистике

1.	Једначина биланса енергије	$pS_c (X_\psi + X) = f_b m_b \psi - \frac{\kappa - 1}{2} \varphi m v^2$
2.	Једначина кретања пројектила	$\varphi m \frac{dv}{dt} = pS_c$
3.	Дефиниција брзине пројектила	$v = \frac{dX}{dt}$
4.	Брзина сагоревања барута	$u_z = u_{z0} p$
5.	Релативна сагорела маса барута	$\psi = \kappa y (1 + \lambda y + \mu y^2)$ или $\psi = \kappa_1 (1 + \lambda_1 y)$
6.	Релативна сагоревајућа површина барутног зрна	$\sigma = 1 + 2\lambda y + \mu y^2$ или $\sigma = 1 + 2\lambda_1 y$
7.	Сведена дужина слободне запремине	$X_\psi = \frac{W_\psi}{S_c} = \frac{1}{S_c} [W_0 - \frac{m_b}{\rho_b} (1 - \psi) - \alpha m_b \psi]$

Наведеном систему једначина се по потреби додају помоћне једначине

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: $m_b, f_b, \alpha, u_{z0}, \rho_b, \Theta, 2r_0, \kappa, \lambda, \mu, (\kappa_1, \lambda_1)$

Метода се изводи за барутна зрна дегресивног облика. Ако су барутна зрна прогресивног облика, на пример, 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 , y . Њихове вредности на крају претходног периода означавају се индексом нула. [1]

$$\psi_0 = \frac{\frac{W_0}{m_b} - \frac{1}{\rho_b}}{\frac{f_b}{p_0} + \alpha + \frac{1}{\rho_b}} \quad (3.1)$$

Једначине за крај претходног периода имају облике:

$$\psi_0 = \kappa_1 y_0 (1 + \lambda_1 y_0) \quad (3.2)$$

$$\sigma_0 = 1 + 2\lambda_1 y_0 \quad (3.3)$$

Њиховим решавањем се добија:

$$\sigma_0 = \sqrt{1 + 4 \frac{\lambda_1}{\kappa_1} \psi_0} \quad (3.4)$$

$$y_0 = \frac{\sigma_0 - 1}{2\lambda_1} \quad (3.5)$$

Време трајања претходног периода се одређује на основу израза за притисак у функцији времена у константној запремини.

$$t_0 = \frac{I_k (1 - \alpha \rho)}{f b \rho} \ln \frac{p_0}{p_p} \quad (3.6)$$

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

$$I_k = \frac{r_0}{u z_0} \quad (3.7)$$

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: $t_k, v_k, X_k, p_k, y_k = \psi_k = 1$

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

$$x = y - y_0. \quad (3.8)$$

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

Заменом у постојећим формулама добија се:

$$\psi = \psi_0 + \kappa_1 x + \kappa_1 \lambda_1 x_2 \quad (3.9)$$

$$k_1 = \kappa_1 \sigma_0 \quad (3.10)$$

Дељењем једначине и њиховим интеграљењем добија се:

$$v = \frac{I k S c}{\varphi m} x \quad (3.11)$$

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:

$$X_{\psi sr} = X_0 \left[1 - \frac{\rho}{\rho_b} - \rho_{\psi sr} \left(\alpha - \frac{1}{\rho_b} \right) \right] \quad (3.12)$$

$$\psi_{sr} = \frac{\psi + \psi_0}{2} \quad (3.13)$$

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

$$v_{2lim} = \frac{2 f_b m_b}{\varphi m \theta} \quad (3.14)$$

$$B = \frac{S c^2 I k^2}{\varphi m f_b m_b} \quad (3.15)$$

$$B_1 = \frac{B_{10}}{2} - \kappa_1 \lambda_1 \quad (3.16)$$

$$\gamma = \frac{B_1 \psi_0}{\kappa_1^2} \quad (3.17)$$

$$b = \sqrt{1 + 4\gamma} \quad (3.18)$$

$$\beta = \frac{B_1}{\kappa_1} x \quad (3.19)$$

$$Z_X = \left(1 + \frac{2}{b-1} \beta\right)^{\frac{b-1}{2b}} \left(1 - \frac{2}{b+1} \beta\right)^{\frac{b+1}{2b}} \quad (3.20)$$

Овим путем се добија

$$X = X_{\psi sr} [Z_X^{-B/B_1} - 1] \quad (3.21)$$

Даљим решавањем једначина извлачимо:

$$p = \frac{f_b m_b}{Sc} \frac{\psi - v^2/v_{2lim}^2}{X_\psi + X} = \frac{f_b m_b}{Sc} \frac{\psi_0 + \kappa_1 x + B_1 x}{X_\psi + X} \quad (3.22)$$

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

$$X_m = \frac{\frac{\kappa_1 \sigma_0}{B_1(1 + \Theta)}}{1 + \left(\alpha - \frac{1}{\rho_b}\right) \frac{p_m}{f_b} - 2\kappa_1 \lambda_1} \quad (3.23)$$

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 запритисак 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. Упротивном 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:

$$T = T_m \left(1 - \frac{B\Theta}{2\psi} x^2\right) \quad (3.24)$$

Други период

Други период траје од краја сагоревања барута до момента изласка пројектила из цевиоружја-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 периоду јавља се само адијабатско ширење барутних гасова услед кретањапројектила, па вреди:

$$pW^{(1+\Theta)} = p_k W_k^{(1+\Theta)} \quad (3.25)$$

одавде следи:

$$p = p_k \left(\frac{X_1 + X_k}{X_1 + X} \right)^{(1+\Theta)} \quad (3.26)$$

где је:

$$X_1 = (X_\psi)\psi = 1 = \frac{W_0 - \alpha mb}{Sc} \quad (3.27)$$

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

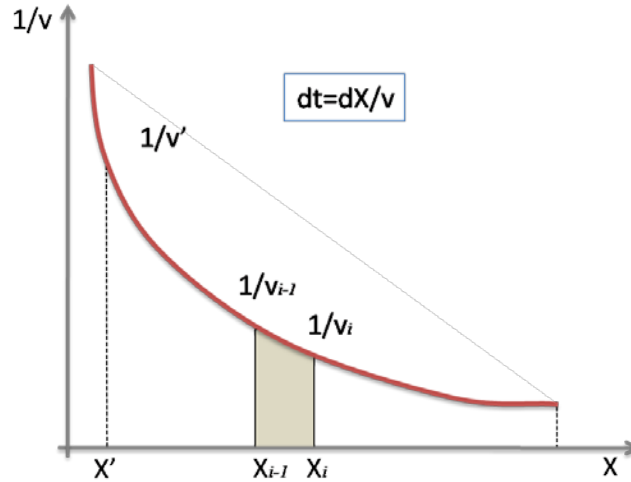
$$v = v_{lim} \sqrt{1 - \left(\frac{X_1 + X_k}{X_1 + X} \right)^\Theta \left(1 - \frac{v_k^2}{v_{lim}^2} \right)} \quad (3.28)$$

Температура се рачуна из:

$$T = T_m \left(1 - \frac{v_k^2}{v_{lim}^2} \right) \quad (3.29)$$

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 $p = f_2(X)$

Основни израз за прорачун времена добија се из дефиниције брзине: $dt = \frac{1}{v} dX$



Слика 6. Зависност $1/v$ у функцији X

Према прорачуну првог и другог периода нацртају се криве $p = f_1(x)$ и $v = f_2(x)$. Те криве се деле у низ интервала, на сваком интервалу се узима средња вредност функције $1/v$:

$$\frac{1}{v_{sr}} = \frac{\frac{1}{v_i} + \frac{1}{v_{i-1}}}{2} = \frac{v_i + v_{i-1}}{2v_i v_{i-1}} \quad (3.30)$$

Прираштај времена за произвољни интервал биће:

$$\Delta t = \frac{1}{v_{sr}} \Delta X_i \quad (3.31)$$

где је:

$$\Delta X_i = X_i - X_{i-1} \quad (3.32)$$

Време завршетка интервала „ i “ износи:

$$t_i = \sum_{j=1}^i \Delta t_j = t_{i-1} + \Delta t_i \quad (3.33)$$

Изузетак овог правила је први тренутак, тада користимо једначину Бравина, јер функција $1/v$ на почетку није дефинисава $v=0$

$$t' = \frac{3X' p_0 + p'}{v' 2p_0 + p'} \quad (3.34)$$

при чему су: t' , X' , v' и p' - карактеристике на крају првог интервала.

4. Оптимизација унутрашњебалистичких параметара

4.1 Унутрашњебалистички прорачун са основним параметрима за метак калибра 30x173mm

Циљ дипломског рада је да на основу полазних параметара и вредности прорачуна за почетни тип барутног зрна (топлотна моћ барута, максимални притисак барутних гасова у цеви, брзина пројектила на устима цеви) предложимо оптимизационе моделе барутног пуњења у циљу повећања ефикасности оружја, а уз поштовање ограничења које нам дефинишу конструкција цеви и пројектила (максимални притисак). Основни прорачун изводимо употребом рачунара према методи Дроздова.

Програмско решење методе Дроздова унутрашње балистичког прорачуна је направљено програмским језиком *Fortran* у софтверском пакету *Force 2.0*. Састоји се од три целине: програма DROZDOV (главни програм), датотеке UL30x173 (улазни подаци), датотеке IZ30x173 (резултати прорачуна). Програм је организован на начин да изводи прорачун по периодима опаљења. Улазни параметри дати у прилогу датотека за седмоканални барут под ознаком НЦ26 приказани су у табели 6.

Табела 3. Улазни параметри унутрашњебалистичког прорачуна за познато пуњење метка 30x173mm за седмоканални барут под ознаком НЦ26.

Величина	Ознака	Вредност	Јединица
Половина дебљине барутног зрна	r_0	0,00029	m
Почетна запремина барутне коморе	W_0	0,00016115	m ³
Маса барута	m_b	130	g
Топлотни потенцијал барута	Q_w	4000	J/g
Капа	κ	1,269	/
Капа	κ_1	1,275	/
Ламбда	λ_1/lam	-0,2156	/
Ми	μ/m_i	0	/
Специфичан рад барутних гасова	f_b	999246.6	J/kg
Коволумен барутних гасова	α	0.000896	kg/m ³
Јединична брзина сагоревања барута	U_{z0}	1.146e ⁻⁰⁹	m/s/Pa
Коефицијент фиктивности	φ	1,134	/
Запреминска маса барута	ρ_b	1600	kg/m ³
Тета	Θ	0,25	/
Пречник барутног зрна	D	2,03	mm
Притисак форсирања	p_0	15*106	Pa
Пут пројектила у цеви	x_u	2280	mm

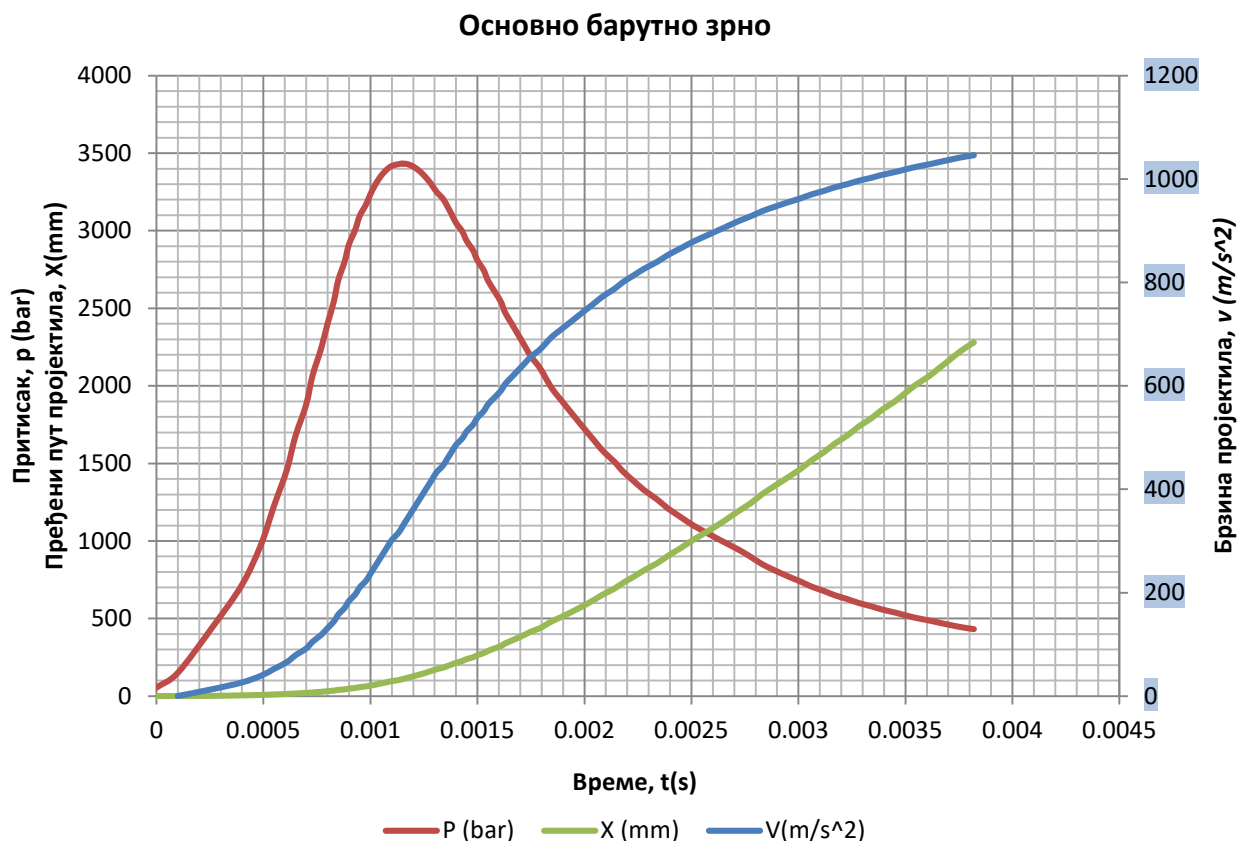


График 1. Вредности УБ прорачуна за основно барутно зрно

Прорачуном са основним параметрима за барутно пуњење добијамо функцију притиска са екстремном вредношћу притиска (максималним притиском) од $p_m = 3432.4 \text{ bar}$, функцију брзине чија је максимална вредност (почетна брзина пројектила $v_0 = 1046.1 \text{ m/s}$ за пут пројектила у водишту цеви дужине $L = 2280 \text{ mm}$ (2.28 m). Време трајања процеса опаљења износи $t = 0.00382 \text{ s}$. У односу на каталожке вредности које нам нуди фирма *General Dynamics*, за вредности масе барута 147 g , дужине водишта пројектила $L = 2300 \text{ mm}$ (2.30 m) (аутоматски топ GAU-8), остварује се почетна брзина $v_0 = 1020 \text{ m/s}$ и максимални притисак $p_m = 3750 \text{ bar}$. Разлика у односу на каталожке вредности постоји, због примене друге врсте барута, и тежег пројектила за 7 g (пројектил тежине 363 g).

4.2 Унутрашњебалистички прорачун са измењеним параметрима метака калибра 30x173mm

Основни циљ дипломског рада је да се на основу дефинисаних карактеристика барута метка 30x173mm за познато оруђе процесом оптимизације карактеристика барута и цеви (топлотна моћ барута, маса барутног пуњења и дужина водишта пројектила) оствари жељено повећање почетне брзине пројектила, уз ограничења дозвољеног максималног притиска барутних гасова у цеви оружја, који износи 3700bar.

При анализи утицаја параметара на класичан модел сагоревања барута може се закључити да следећи параметри битно утичу на излазне карактеристике процеса:

- јединична брзина сагоревања барута, u_{zo}
- почетна маса барута, m_b
- маса пројектила, m
- специфичан рад барутних гасова, f_b
- дужина цеви аутоматског топа, L

При промени у границама дозвољених одступања наведени параметри самостално мењају максимални притисак и почетну брзину пројектила.

Анализом карактеристика барута из табеле х долази се до закључка да порастом топлотне моћи барута расте „сила“ барута (специфичан рад барутних гасова), температура барутних гасова самим тим и јединична брзина сагоревања барута, а опада коволумен барутних гасова. Експериментално је могуће дефинисати ове вредности путем одређивања брзине сагоревања.

Повећање почетне брзине пројектила оптимизацијом топлотне моћи барута

Ново оружје, противавионски аутоматски топ пројектовано уз предвиђање резерви отпорности делова за случај коришћења појачане муниције или муниције другог произвођача. У нашем случају, оригинално шведски метак у калибру 30x173mm своје пуњење реализује са већом количином барута, зависно од типа пројектила, између 143g и 153g, чиме остварују густину пуњења 900-950kg/m³. За потребе лаборисања овог метка, у малим серијама, фирме домаће индустрије користе барут НЦ26 чија топлотна моћ барута износи 4000J/kg. Променом топлотне моћи барута, њеним повећањем и смањењем, утичемо на излазне вредности максималног притиска и почетне брзине пројектила.

Оптимизацију вршимо до граничних вредности које омогућавају функционалну употребу средства (почетна брзина пројектила треба бити већа од 1010m/s због гађања брзопокретних циљева у ваздуху, а притисак не већи од дозвољеног за цев овог оружја).

Табела 4. Вредности улазних параметара и резултата оптимизације у зависности од промене топлотне моћи барута. (Ред жуте боје у табели представља вредности параметара основног барутног зрна)

Процентуално увећање	Q_w	f_b	α	uz_0	v_0 [m/s]	p_m [bar]
Q_w -4%	3840	984963.24	0.0009184	1.06952E-09	987.2	2943
Q_w -2%	3920	992104.92	0.0009072	1.10776E-09	1013.5	3168
Q_w	4000	999246.6	0.000896	1.146E-09	1046.1	3432
Q_w +2%	4080	1006388.3	0.0008848	1.18424E-09	1064.9	3675
Q_w +4%	4160	1013530	0.0008736	1.22248E-09	1081.9	3933

Оптимизација топлотне моћи барута, Q_w [J/kg]

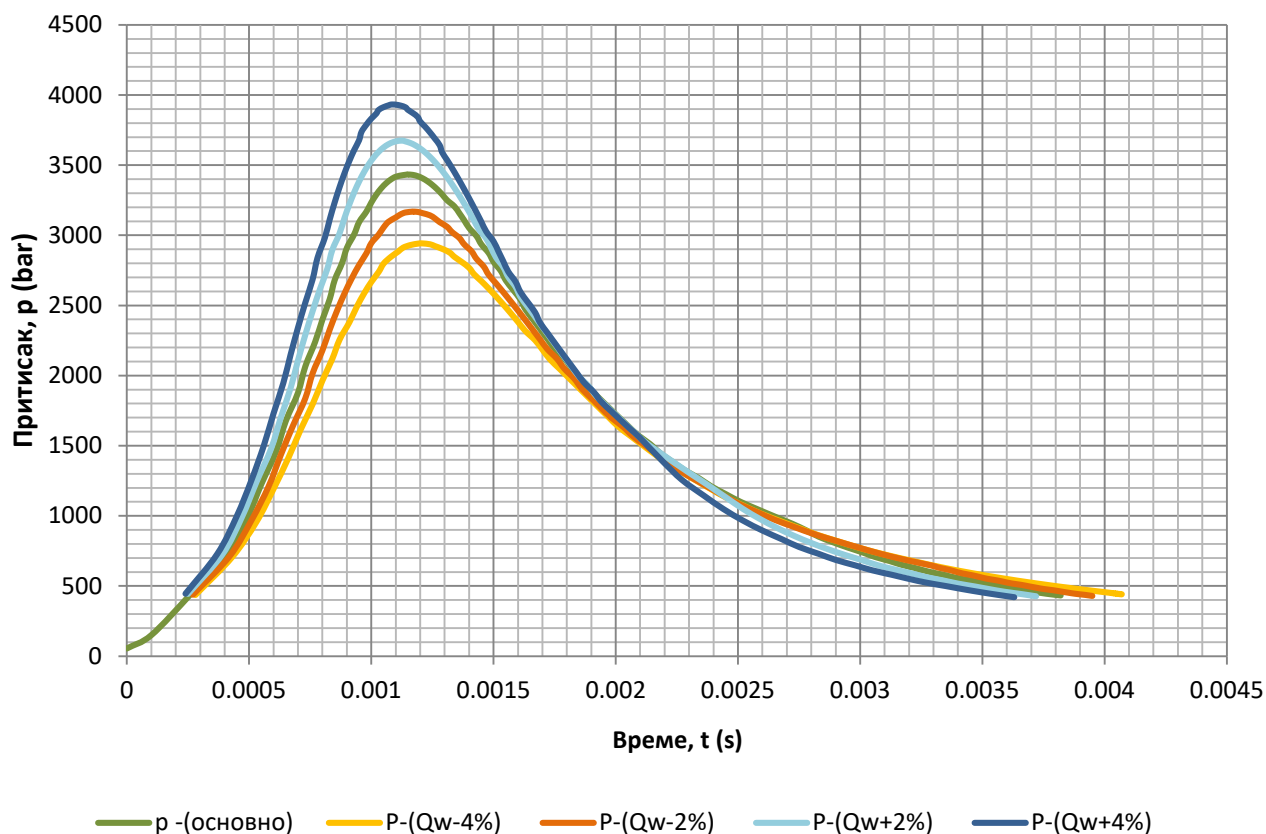


График 2. Приказ функције притиска у зависности од времена- Оптимизација топлотне моћи барута

Оптимизација топлотне моћи барута, Q_w [J/kg]

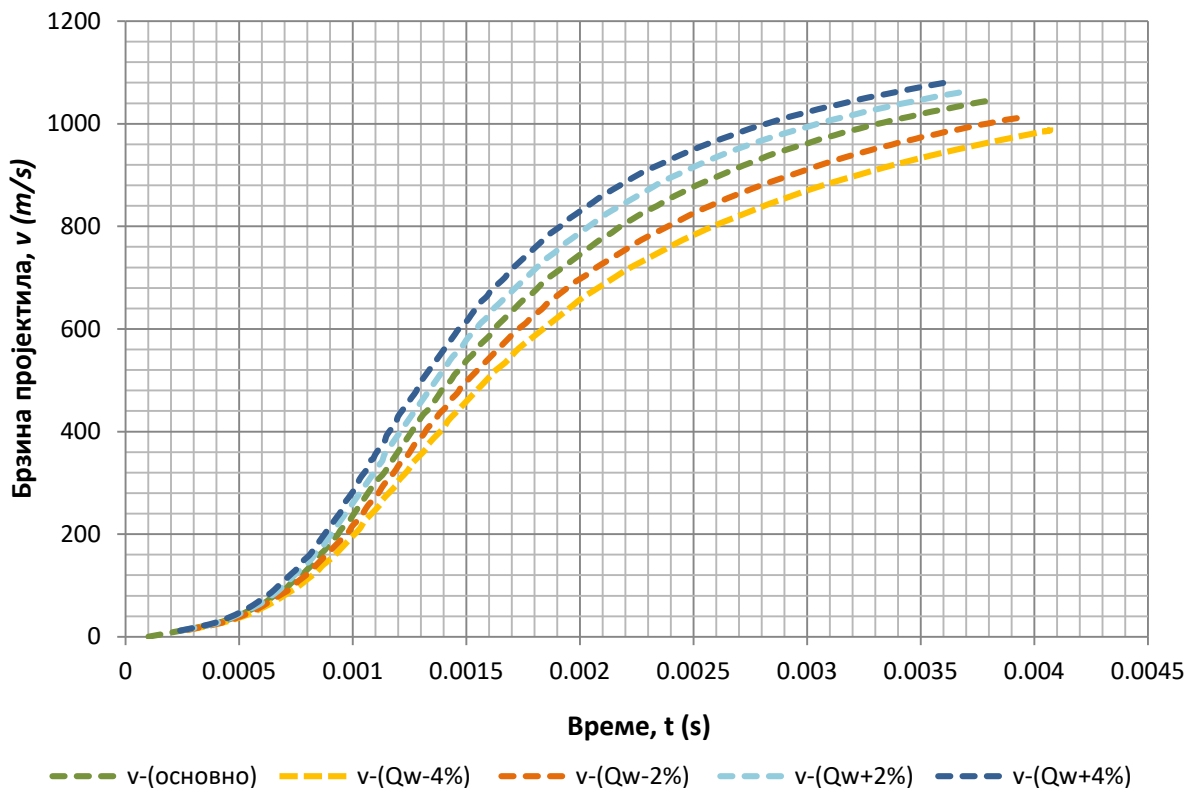


График 3. Приказ функције брзине у зависности од времена- Оптимизација топлотне моћи барута

Анализом добијених резултата можемо закључити да смањујући топлотну моћ утичемо на остварену почетну брзину и притисак у цеви. Обзиром да тежимо повећању почетне брзине пројектила, једино увећање топлотне моћи барута за два процената би било оправдано и износило би 1064m/s, што је увећање почетне брзине за 1.7%, притом се максимални притисак увећа за 7% на вредност од 3675bar. Увећањем истог за четири процената премашујемо дозвољени притисак барутних гасова у цеви који износи 3700bar, из тог разлога ово увећање почетне брзине од 3.3% није оправдано.

Повећање почетне брзине пројектила оптимизацијом масе барута

Наредни утицајни параметар који је могуће оптимизовати била би маса барутног пуњења. Маса директно утиче на густину барутног пуњења која за ове типове средстава наоружања обично бива у опсегу од 900 до 950kg/m³, али несме прећи вредност од 1000kg/m³. У случају домаћег пуњења метка 30x173mm са барутом НЦ26, густина пуњења износи 803kg/m³, што је мање у поређењу са иностраним концепцијама овог метка. Поред разлике у густини барутног пуњења и масе барута, домаћи метак остварује једнако добре резултате, а главни разлог коришћења поменутог барута је постојећа стандардизована серијска производња истог и његова примена у многим другим средствима.

Анализираћемо утицај повећања и смањења масе барутног пуњења на излазне вредности карактеристика процеса опаљења. Масу барута варирамо за износ од 3 и 5g.

Табела 5. Вредности улазних параметара и резултата оптимизације у зависности од промене масе барута. (Ред жуте боје у табели представља вредности параметара основног барутног зрна)

Оптимизација масе барута	W_0	δ [kg/m ³]	v_0 [m/s]	p_m [bar]
125g	0.00161115m ³	771.6	1006.2	3044
127g		784.0	1022.2	3193.5
130g		802.5	1046.1	3432
133g		821.0	1069.7	3691.8
135g		833.3	1085.45	3876.7

Оптимизација масе барута, m_b [kg]

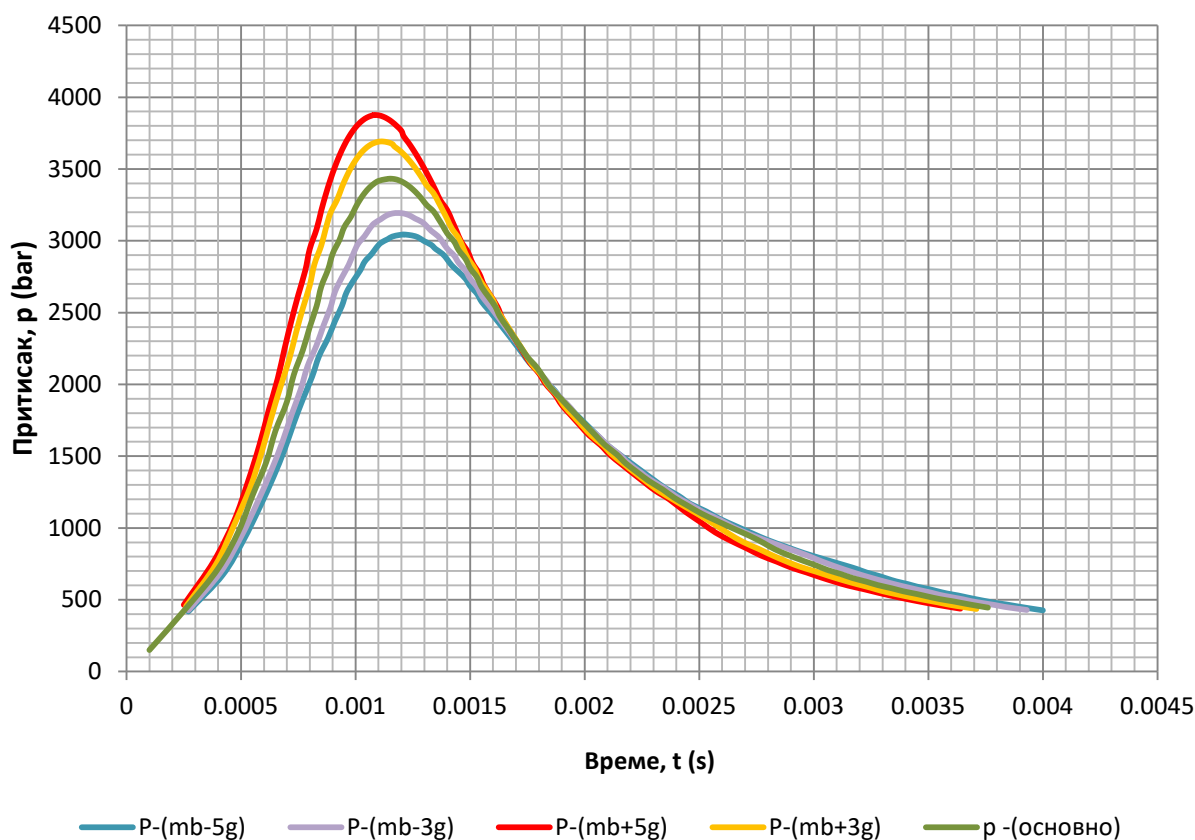


График 4. Приказ функције притиска у зависности од времена- оптимизација масе барута

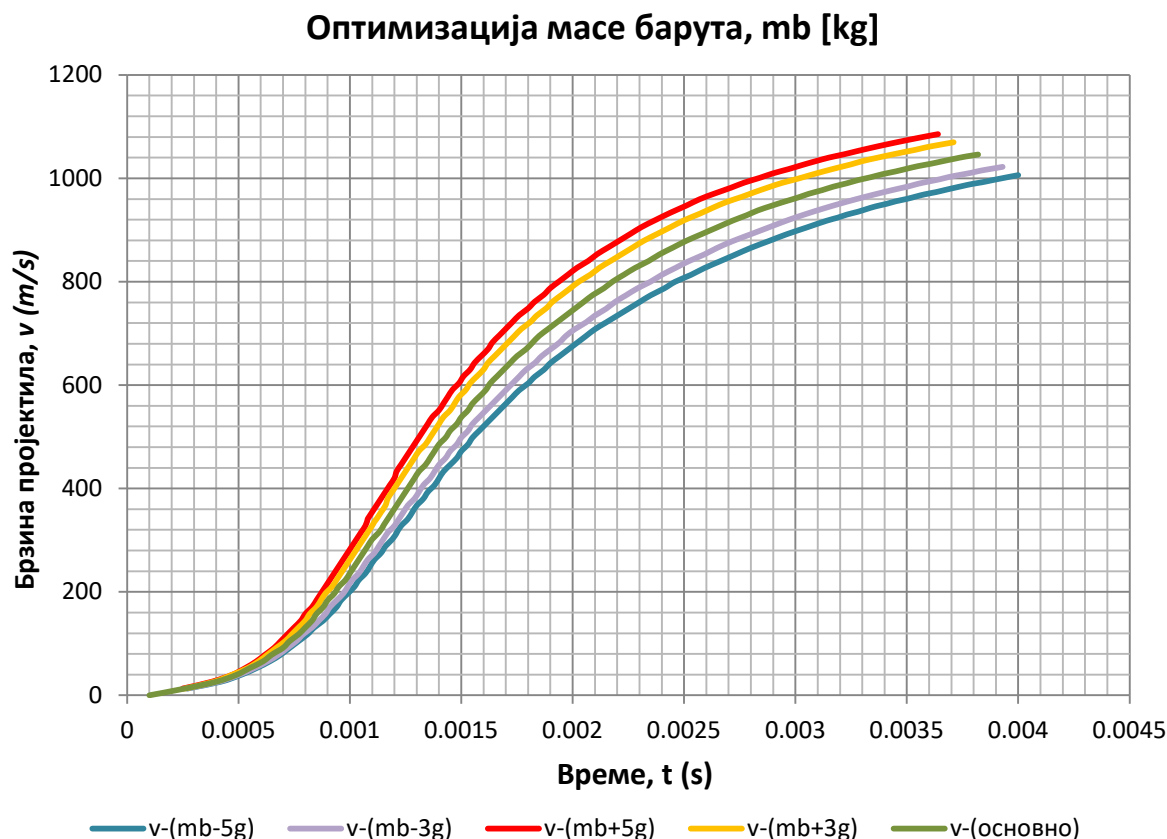


График 5. Приказ функције брзине у зависности од времена-оптимизација масе барута

Овим моделом оптимизације постижемо повећање почетне брзине за 23m/s што би у процентуално износило 2.1%. Да би се ово остварило максимални притисак је порастао на 3691bar, што процентуално износи 7.5% у односу на основно барутно пуњење. Даље повећање масе није оправдано јер за увећање брзине за 39m/s, на вредност од 1085.45 m/s, повећава се притисак изнад дозвољеног за цев овог оруђа.

Оптимизацијом топлотне моћи барута у комбинацији са масом барута могуће је остварити повољнији облик криве максималног притиска уз задржавање високе вредности почетне брзине пројектила и продужење времена сагоревања барута.

Повећање почетне брзине пројектила оптимизацијом дужине цеви топа

Као трећи параметар, који ће утицати на повећање почетне брзине пројектила, варираће се дужина цеви. Очекивани резултати су да се повећањем цеви продужи време деловања притиска на дно пројектила и тиме му се саопшти већа почетна брзина. За прорачун је узето повећање дужине цеви у износу од 5 и 10 калибара, такође дат је и приказ утицаја смањења дужине цеви на почетну брзину пројектила. Приликом анализе оптимизације дужине цеви мора се узети у обзир и повећање масе цеви и утицај осцилација на цев током аутоматског режима рада оруђа.

Табела 6. Вредности улазних параметара и резултата оптимизације у зависности од промене дужине цеви. (Ред жуте боје у табели представља вредности параметара основног барутног зрна)

Оптимизација дужине цеви	L [m]	Sc[m ²]	m _c	v ₀ [m/s]	p _m [bar]
Смањење за 10 калибара	1980mm	738,6mm ²	m _c - 6.7kg	1021.07	3432
Смањење за 5 калибара	2130mm		m _c - 3.34kg	1034.17	3432
Почетна дужина	2280mm			1046.1	3432
Увећање за 5 калибара	2430mm		m _c + 3.34kg	1056.89	3432
Увећање за 10 калибара	2580mm		m _c + 6.7kg	1066.85	3432

Оптимизација дужине цеви топа, L (mm)

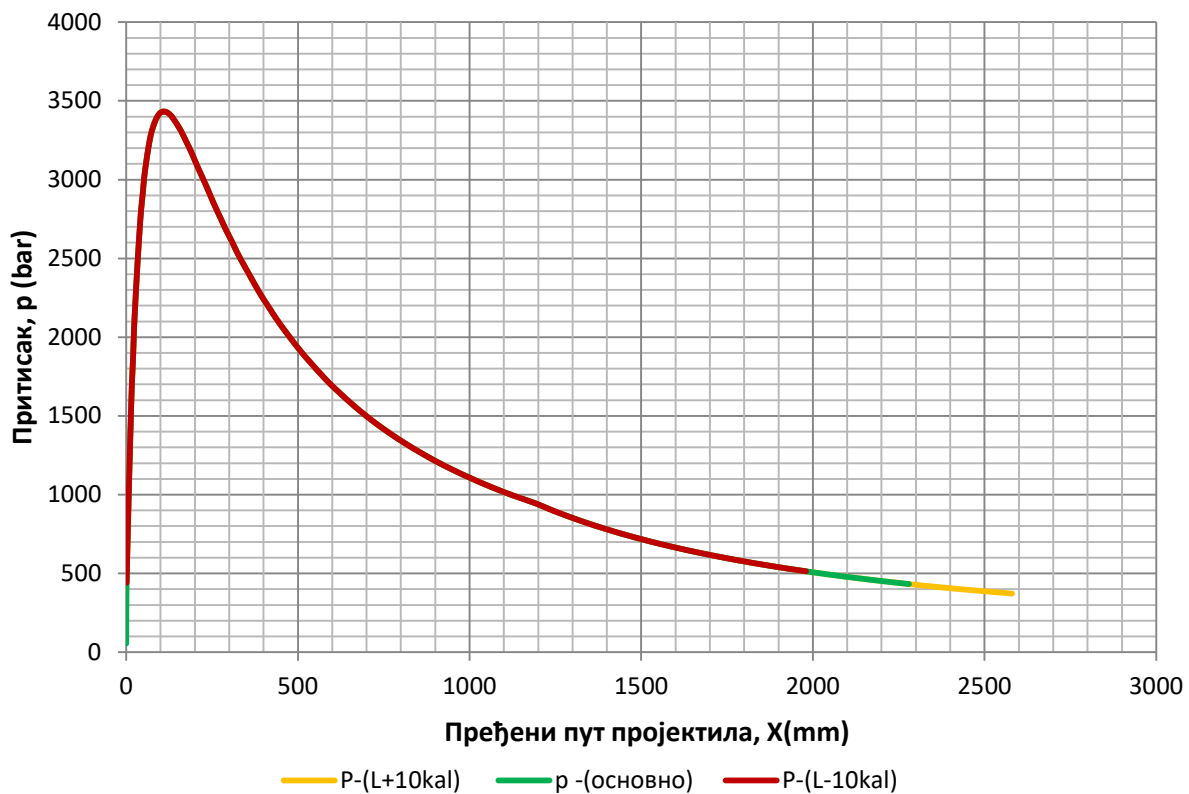


График 6. Приказ функције притиска у зависности од пређеног пута пројектила-оптимизација дужине цеви

Приметно је да се почетна брзина пројектила повећава и смањује зависно од промене дужине цеви, али такође и да нема промена у функцији притиска, већ само њено продужено трајање у другом периоду. Уколико конструкциони захтеви оружја дозвољавају, промена почетне брзине пројектила променом дужине цеви било би оправдано уз додатну оптимизацију и осталих параметара. Повећањем дужине цеви за 10 калибара (300mm), почетна брзина пројектила би се повећала за 1 проценат, колико би се оквирно и смањила скраћивањем исте.

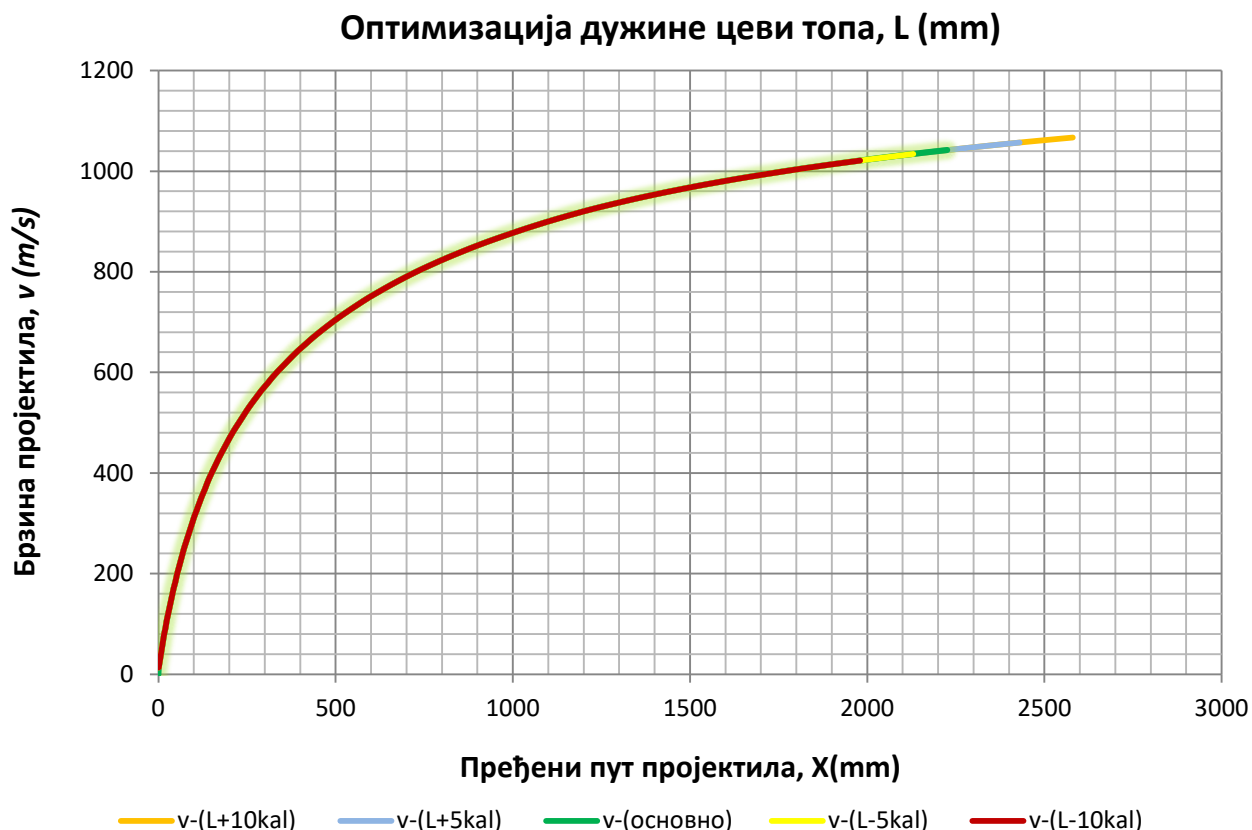


График 7. Приказ функције брзине у зависности од пређеног пута пројектила-
оптимизација дужине цеви

На основу вишекритеријумске изведене анализе о утицајним параметрима на излазне карактеристике процеса опаљења, предлаже се оптимизациони модел који за полазне податке има следеће вредности: Топлотна моћ барута умањена за 2%, маса барута повећана за 5g, док дужину цеви повећавамо за 5 калибара, чиме нам се уз то оптимално повећава маса цеви за 3,34kg.

Варирање полазних параметара унутрашњебалистичког прорачуна представља својеврсно одржавање равнотеже између ефикасности оружја, домета, интеграционих способности оружја, употребе спрема циљева, дејства на циљу. Могуће је варирати и све остале параметре, почевши од параметара облика, масе пројектила, почетне запремине барутне коморе, али при свим овим анализама потребно је сагледати могућност реализације добијених захтева за ново оптимизовано средство. Под могућношћу реализације сматра се погодност и оправданост производње, методе лабораторисања као и проширивање логистичких и складиштних капацитета. Не смеју се заборавити спољашњи утицајни фактори који делују на пројектил након његовог изласка из цеви, као и при његовом удару и дејству на циљ.

5. Анализа оптимизованих унутрашњебалистичких параметара

Узимајући оптималне вредности параметара, топлотне моћи барута, масе барутног пуњења и дужине цеви, прорачуном ћемо утврдити излазне карактеристике предложеног модела. За топлотну моћ барута усвојићемо умањење исте за 2%, чија је бројчана вредност 3920J/kg. Нова вредност масе барутног пуњења износиће 135g, а нова дужина цеви оруђа биће 2430mm (2,43m).

Табела 7. Резултати модела са оптимизованим барутним пуњењем и дужином цеви. (Редови жуте боје у табели представљају вредности параметара основног барутног зрна)

Основне вредности	Улазне вредности	v_0 [m/s]	p_m [Pa]
Qw	4000J/kg	1046.1m/s	3432bar
Маса барута (mb)	130g		
Дужина цеви (L)	2.28mm		
Оптимизоване вредности	Улазне вредности	v_0 [m/s]	p_m [Pa]
Qw+2%	4080J/kg	1064.75m/s	3575.5bar
mb+5g	135g		
L+ 5 калибара	2.58mm		

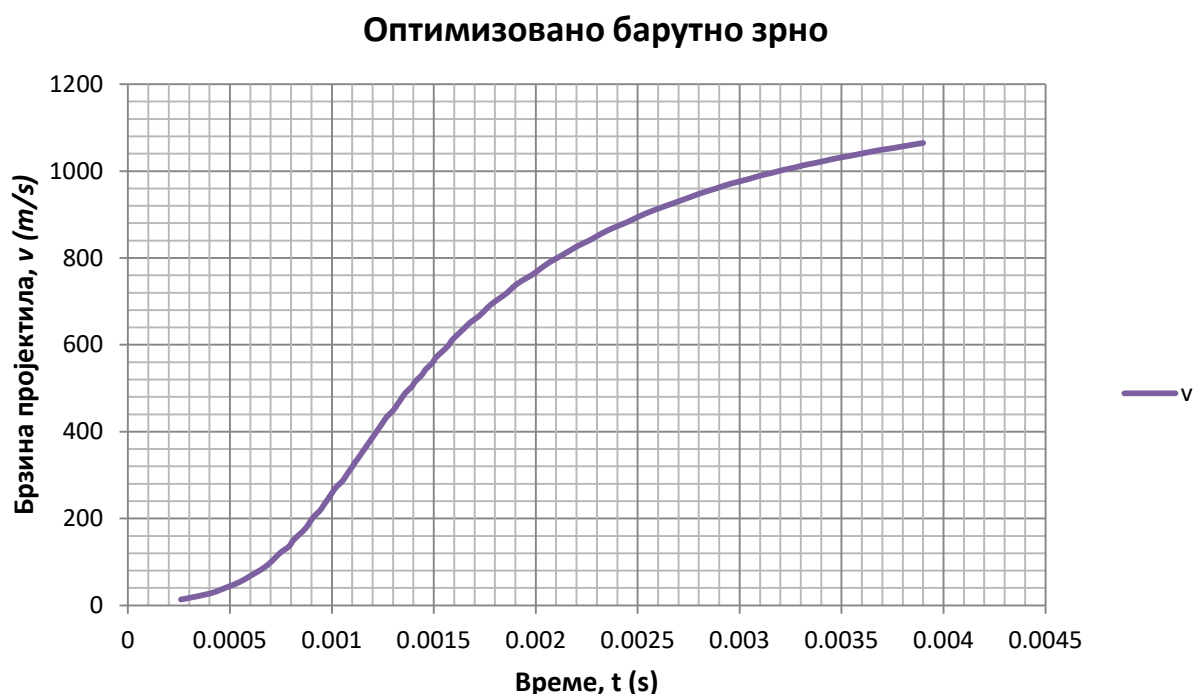


График 8. Приказ функције брзине у зависности од времена-оптимизовани модел

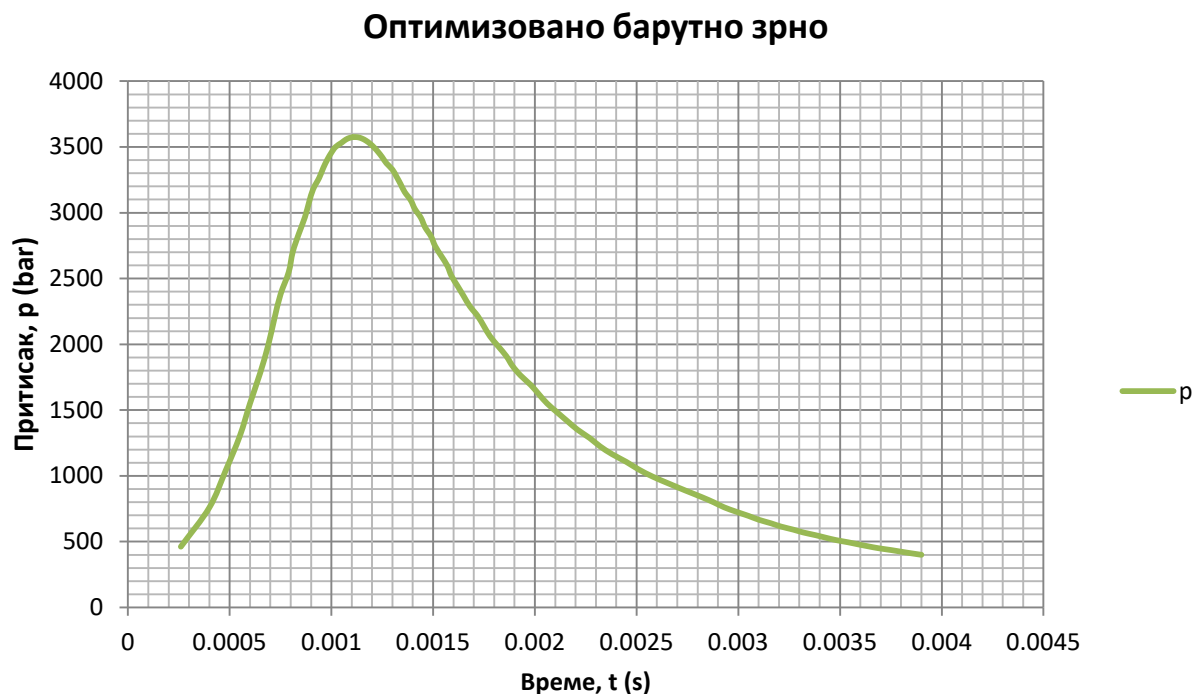


График 9. Приказ функције притиска у зависности од времена -оптимизовани модел

Узимајући збирно оптималне вредности параметара за један модел, топлотну моћ барута, масу барутног пуњења и дужину цеви, прорачуном се добија увећање почетне брзине пројектила до износа 1064m/s, увећање је за 18m/s (1.7%). Максимални притисак је такође порастао и износи 3575.5bar, увећао се за 143bar (15%) у односу на основно пуњење. Овакво увећање параметара је оправдано, постиже се бољи ефекат у односу на појединачну оптимизацију, што је и очекивано. Максимални притисак за ову вредност почетне брзине је далеко мањи од вредности добијених појединачном оптимизацијом топлотне моћи барута и масе барутног пуњења, које износе 3975bar и 3691bar респективно.

6. Закључак

Дипломски рад даје теоријску анализу процеса опаљења у цеви оружја на основу нумеричког моделирања на рачунару. Радом је илустровано како се варирањем полазних података гасодинамичког прорачуна може доћи до бољих излазних параметара процеса опаљења. Могућности повећања димета савремених оруђа/оружја, која користе муницију са барутним погонским пуњењем, ограничене су максималним притиском барутних гасова у каналу цеви и запремином барутне коморе. Радом су обухваћена три оптимизациона модела са једним типом барута, четири масе барута и дужина цеви, и четири топлотне моћи барута.

У раду је обрађен метак 30x173mm са полазним вредностима параметара унутрашњебалистичког прорачуна процеса опаљења, чије се излазне карактеристике процеса (почетна брзина пројектила и максимални притисак) поклапају са каталожним вредностима, фирме *General Dynamics*, за матак у истом калибру.

На основу добијених вредности појединачне оптимизације се може утврдити да се повећањем Q_w за 2%, максимални притисак се повећава на 3675 Pa, односно 7%, а почетна брзина се повећава занемарљиво за 18.8 m/s, односно за 1.7%. Варирањем масе барутног пуњења промена излазних карактеристика је сличне природе, па тако за пораст масе барутног пуњења од 3g, односно 2%, максимални притисак се повећава на 3691 Pa, повећа се за 7.5%, а почетна брзина се повећава свега 23m/s; односно за 2.1%. Продужавањем цеви очекивано је само повећање почетне брзине, из разлога продужења времена дејства барутних гасова на пројектил. Продужењем цеви за 10 калибара остварен је пораст почетне брзине за 1.9% и износи 1066.8m/s, уз то се повећала и маса цеви за 6,7kg.

Најповољнији резултати добијени су комбинацијом полазних параметара, па тако умањењем топлотне моћи барута за 2%, повећањем масе барутног пуњења за 5g, и продужењем цеви за 5 калибара остварена је почетна брзина од 1064m/s и максимални притисак 3575.5bar.

Смерница за будући рад биће експериментално утврђивање излазних карактеристика процеса опаљења употребом оптимизованог модела добијеним теоријским унутрашњебалистичким прорачуном метка са комбинованим улазним параметрима.

7. Литература

- [1] М. Цветковић, Унутрашња балистика, Сектор за ШОНИД, ВТА ВЈ, Београд, 1998.
- [2] Љубиша Танчић, Класична унутрашња балистика, Војна академија Београд, 2006.год.;
- [3] Љубиша Танчић, Практикум из унутрашње балистике, Београд, 2012. год. ;
- [4] Љубиша Танчић, Збирка задатака из унутрашње балистике, Београд, 1999;
- [5] Љубиша Танчић, Унутрашња балистика деветнаестоканалног барута, НТП-10,ВТИ ВЈ, Београд, 1992;
- [6] Љ. Танчић: Унутрашње балистичко пројектовање, Министарство одбране, Универзитет одбране, Војна академија, Београд, 2014.
- [7] Johnson, Melvin M., Jr. Rifles and Machine Guns. William Morrow and Company. (1944).
- [8] SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA-VOJNOTEHNIČKI GLASNIK, 2012., Vol. LX, No.3
- [9] D. Allsop, Cannons, Brassey's 1995.
- [10] A. Williams, Rapid Fire-Automatic Cannons, Heavy MG and Ammo, 1999.
- [11] С. Јовановић: Компаративна анализа савремених авионских топова и ракета ваздух – ваздух, Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2015.
- [12] <https://www.yugoimport.com/cir/proizvodi/turret-201> приступљено 19.01.2020
- [13] <https://ar.culture.ru/ru/subject/pushka-gsh-30> приступљено 23.01.2020
- [14] General Dynamics, Ordenance and Tactical Systems 30mm GAU 8/A, St. Petersburg,2005.
- [15] Предак нашег троцевца, Војска, 19. октобр 2000., број 38

8. Преглед табела

Табела 1. Тактичко техничке карактеристике топа Застава М86	6
Табела 2. Систем од седам основних једначина унутрашње балистике	8
Табела 3. Улазни параметри унутрашњембалистичког прорачуна за познато пуњење метка 30x173mm за седмоканални барут под ознаком НЦ2	14
Табела 4. Вредности улазних параметара и резултата оптимизације у зависности од промене топлотне моћи барута	17
Табела 5. Вредности улазних параметара и резултата оптимизације у зависности од промене масе барута.	19
Табела 6. Вредности улазних параметара и резултата оптимизације у зависности од промене дужине цеви	21
Табела 7. Резултати модела са оптимизованим барутним пуњењем и дужином цеви	23

9. Преглед графика

График 1. Вредности Уб прорачуна за основно барутно зрно	15
График 2. Приказ функције притиска у зависности од времена- Оптимизација топлотне моћи барута.....	17
График 3. Приказ функције брзине у зависности од времена- Оптимизација топлотне моћи барута	18
График 4. Приказ функције притиска у зависности од времена-оптимизација масе барута	19
График 5. Приказ функције брзине у зависности од времена-оптимизација масе барута ..	20
График 6. Приказ функције притиска у зависности од пређеног пута пројектила-оптимизација дужине цеви	21
График 7. Приказ функције брзине у зависности од пређеног пута пројектила-оптимизација дужине цеви	22
График 8. Приказ функције брзине у зависности од времена-оптимизовани модел	23
График 9. Приказ функције притиска у зависности од времена -оптимизовани модел	24

10. Преглед слика

Слика 1. Приказ нове борбене станице са аутоматским топом Oerlikon Mark 10 - 20mm	2
Слика 2. Аутоматски топ QF 1 Mark I & II ("Pom-pom") <<1903>>	3
Слика 3. Аутоматски топ Mauser MK 30 (MK30-2)	4
Слика 4. Аутоматски топ Застава М86	6
Слика 8. Метак 30x173mm са тренутно-запаљивим пројектилом	7
Слика 9. Зависност $1/v$ у функцији X	12

11. Прилог-програмско решење УБ прорачуна програм Дроздова

```
PROGRAM DROZD
  CHARACTER OR*16,BARUT*8
  OPEN (60,FILE='ULAZivko1')
  OPEN (61,FILE='IZLAZivko1')
  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

```

```

      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

```