

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Пројектили и упаљачи

Предмет: Унутрашња балистика

Број индекса: 514/2013

Горана Г. Ђокић

Анализа балистичких параметара
аутоматске пушке калибра 6,5 mm Grendel

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. пп доцент др Небојша Христов, дипл. инж. – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2018.

У оквиру завршног рада кандидат треба да:

1. Проучи постојеће стање стрелачког наоружања у актуелним калибрима и опише основну намену;
2. Опише математичке методе прорачуна балистичких параметара (унутрашњебалистички прорачун и спољнобалистички прорачун) у току процеса опаљења;
3. На основу дефинисаних математичких модела да изврши прорачун балистичких параметара и прикаже добијене резултате;
4. Изврши анализу добијених резултата УБ параметара ексерименталних испитивања и прорачуном;
5. Прикаже коментар добијених резултата и евентуално постави смернице за даљи рад.

Препоручена литература:

[1] Милоје Цветковић, Унутрашња балистика, ЦВВШ, Београд, 1995.

[2] Душан Регодић, Спољна балистика, Завод за уџбенике и наставна средства Српско Сарајево, 2004.

[3] Душан Регодић, Збирка задатака из спољне балистике, БАЛЛИСТИКА РАКЕТНОГО И СТВОЛЬНОГО ОРУЖИЯ, МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Волгоград, 2010.

[4] Љубиша Танчић, Класична унутрашња балистика, Војна академија, Београд, 2008.

[5] Небојша Христов, Предавања из предмета „ Борбена употреба наоружања“, Војна академија, Београд 2017.

Крагујевац, новембар, 2017.

Ментор:

пп доцент, др Небојша Христов, дипл. инж.

Резиме

У овом раду извршена је анализа балистичких параметара метка калибра 6,5 mm Grendel. Пре свега, описане су неке од најпознатијих аутоматских пушака кроз историју и најактуелнији калибри. Затим су теоријски објашњене математичке методе, метода Дроздова и Ојлеров класичан балистички модел.

Извршен је унутрашњем балистички прорачун за поменути калибар и спољнобалистички прорачуни за три различита калибра аутоматских пушака. Експериментални део је рађен помоћу пиезоелектричне методе кроз мерења која су извршена у фабрици стрелачке муниције „Први Партизан“ у Ужицу. Добијени резултати су приказани табеларно, након чега су упоређени како би се проверила коректност теоријских вредности резултата.

Кључне речи: унутрашња балистика, мерења, пиезоелектрична метода.

Abstract

In this thesis an analysis of the ballistic parameters of the 6,5 mm Grendel caliber was made. First of all, some of the most famous automatic rifles and the most accurate caliber are described through history. Then, theoretically, mathematical methods, the Drozdov method and the Euler classical model are explained.

An internal ballistic calculation for mentioned caliber and an external ballistic calculations for three different calibers of automatic rifles are made. The experimental part is made using a piezoelectric method through measurements performed in “Prvi Partizan”, a small arm ammunition factory in Užice. The obtained results were tabulated and then compared, in order to verify correctness of the theoretical value of results.

Key words: internal ballistic, measurements, piezoelectric method.

САДРЖАЈ

УВОД	5
1. АКТУЕЛНИ КАЛИБРИ АУТОМАТСКИХ ПУШАКА У СВЕТУ	24
- 5,56×45 mm NATO (САД)	24
- 7,62×51 mm NATO (САД)	25
- 7,62×39 mm	27
- 5,45×39 mm	29
2. МАТЕМАТИЧКЕ МЕТОДЕ	31
2.1 Метода Дроздова	32
2.1.1 Претходни период	32
2.1.2 Први период	33
2.1.3 Други период	33
2.2 Ојлеров класичан балистички модел	33
3. ПРОРАЧУН БАЛИСТИЧКИХ ПАРАМЕТАРА	36
3.1 Анализа унутрашњебалистичког прорачуна (метода Дроздова)	36
3.1.1 Претходни период	36
3.1.2 Први период	37
3.1.3 Други период	37
3.1.4 Пиезоелектрична метода мерења притиска	37
3.2 Анализа спољнобалистичког прорачуна.....	42
3.2.1 Анализа кинетичких енергија	42
3.2.2 Анализа стабилности лета пројектила	43
4. УПОРЕДНА АНАЛИЗА ПРОРАЧУНСКИХ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ РЕЗУЛТАТА	44
5. ЗАКЉУЧАК	46
6. ЛИТЕРАТУРА	47
Списак слика	48
Списак табела	49
Прилози	50

УВОД

Аутоматске пушке представљају тип пушака које се саме пуне из магацина и имају способност рафалне паљбе. Разликују се од полуаутоматских пушака у својој способности испаливања више од једног метка само једним повлачењем обараче. Представља оружје велике ватрене моћи, великог капацитета и мале тежине. Дејствује јединачно или аутоматски. Код неких модела поред ова два начина дејства, раздвајач паљбе нуди и режим ватре у кратким рафалом.

Аутоматска пушка данас представља основно пешадијско оружје припадника оружаних снага. Користи такозвану средњу стрељачку муницију малог калибра и велике почетне брзине, која има веће барутно пуњење од пиштољске, али мање од митраљеске. Рад аутоматског режима је углавном заснован на позајмици барутних гасова, као и на полуслободном трзању затварача. Битна одлика свих аутоматских пушака је пиштољски рукохват интегрисан са обарачем, који омогућава бољу контролу оружја и већу стабилност при рафалној паљби. Карактеристике је брзо измењиви оквир, ређе добош, великог капацитета, обично од 20 до 35 метака.

Оквир је најчешће испред рукохвата и механизма за окидање, мада код неких пушака може бити и иза. У том случају се ради о булпап конфигурацији. Ова конфигурација омогућава оружју да буде релативно кратко, а да при томе задржи дугу цев, што омогућава већу прецизност и почетну брзину зрна. Оквир се код ове врсте пушака налази у кундаку оружја.

Аутоматска пушка намењена је за дејства на даљинама од 200 до 400 метара, а најбољи резултати се постижу кратким рафалима. Најпознатији представници аутоматских пушака су АК-47 (Русија) и М16 (САД). Од других, познати су FN F2000, H&K G36, FAMAS, Steyr AUG, SIG SG 550, FN FNC, ИМИ Галил, АК-74...

У Србији Застава оружје производи више типова аутоматских пушака калибра 7,62×39 mm, 5,56×45 mm и 7,62×51 mm НАТО, заснованих на предлошку АК-47. Најраспрострањенији су модели М70 и М21.

Прва аутоматска пушка била је италијанска Cei-Rigotti (слика 1 [6]). Представљена је 1900. године, ова 6.5 mm Carcano или 7.65×53mm калибарна пушка, привукла је значајну пажњу у то време. Међутим, имала је неколико пропуста, као што су често заглављивање и неправилно пуцање. На крају ниједна војска није била заинтересована за овај дизајн, па је одбачена пре него што је уопште могла даље да се развије.



Слика 1 - Ceir-Rignotti аутоматска пушка [6]

Аутоматска пушка Browning (BAR) (слика 2 [7]) била је једна од првих практичних аутоматских пушака. Постигла је свој први успех у Првом светском рату, а око педесет хиљада примерака је направљено до краја рата. 1950-их година америчка војска је полако избацује из употребе, док се у другим мањим земљама задржава до краја 1970-их година.



Слика 2 - Аутоматска пушка Browning (BAR) [7]

Током Другог светског рата у Немачкој је произведена аутоматска борбена пушка FG 42 (слика 3 [8]). Ово оружје је развијено специјално за немачке елитне падобранце Fallschirmjäger 1942. године и коришћене су у ограниченом броју до краја рата. Комбиновала је ватрену моћ лаких митраљеза и није била већа од стандардне Kar 98k пушке. Сматра се једном од најнапреднијих модела пушке која је развијена током Другог светског рата. FG 42 је утицала на послератни развој малокалибарског оружја и велики део њеног дизајна је ископирала америчка војска када су развили М60 митраљез.



Слика 3 – Аутоматска пушка FG 42 [8]

Немци су први који су употребили концепт борбених пушака, током Другог светског рата, на основу истраживања која су показала се већи број ватрених борби дешава на око 400 метара и да су савремене пушке биле премоћне за већину таквих борби. Немци настојали да развију такву пушку која ће комбиновати ватрену моћ аутомата са прецизношћу и дометом пушке. То је учињено скраћивањем стандардног 7.92×33 mm метка, коме је зрно замењено са лакшим, што је ограничавало домет али је омогућена већа контрола аутоматске паљбе. Резултат је била пушка *Sturmgewehr 44* (слика 4 [9]). На просторима бивше Југославије, ова се пушка први пут појавила 1944. године у току десанта на Дрвар, као наоружање немачких падобранаца. У наоружању ЈНА је остала све до 1970-их, када је замењена пушком Застава М70. У ратним резервама је остала све до 1980-их година.



Слика 4 – Аутоматска пушка пушка *Sturmgewehr 44* [9]

АК-47

АК-47 је аутоматска пушка коју је конструисао Михаил Калашњиков и која је коришћена у многим државама Источног блока током Хладног рата. У поређењу са пушкама из Другог светског рата, АК-47 је лакши, компактнији, мањег домета, развијен око метка калибра 7,62 × 39 mm и има могућност одабира паљбе. Ово је једна од првих правих аутоматских пушака и још увек је најраспрострањенија. АК-47 и његове бројне

варијанте се још увек производе у великом броју у односу на друге аутоматске пушке. Модификована верзија под називом Застава М70 је произведена у СФР Југославији.

Према једној причи, тенковски наредник Михаил Калашњиков је почео да замишља претечу овог оружја још док је био у болници, након што је повређен у бици за Брјанск. Иако је конкурс био расписан за метак 7,62×25 mm, он је обавештен да је ново оружје захтевано за муницију 7,62×39 mm који су развили Јелисаров и Семин 1943. године. Сидајев PPS43 аутомат је имао предност над Калашњиковљевом конструкцијом. Аутомат није прошао незапажено, па је изабрано да Калашњиков буде вођа конструкционог тима. Често је оптуживан са запада да је његова конструкција заснована на немачкој аутоматској пушци Sturmgewehr 44.

Упркос великој концептуалној сличности, Михаил Калашњиков пориче да је његова конструкција заснована на немачкој аутоматској пушци. Наиме, систем забрављивања (ротациони затварач) и склоп механизма за окидање су радикално другачији, боље пројектовани и поузданији.

Генијалност у конструкцији АК-47 је једноставност и прилагођавање масовној производњи. На АК-47 се може гледати као фузију најбољег у оружарству до тада, настао применом огромног искуства стеченог у Другом светском рату и произведен најбољим технолошким процесима који су били доступни у Совјетском Савезу у то време.

Било је много потешкоћа током почетне фазе производње. Први произведени модели су имали делове произведене глодањем, што је био скупљи и спорији начин производње. Уместо заустављања производње, уведени су сандуци произведени поступком пресовања. Ово је убзало производњу пошто су опрема и радници који су производили делове за Mosin-Nagan пушке брзо су се прилагодили. Делимично због ових проблема, Совјети нису били у стању да дистрибуирају велики број ових нових пушака до 1956. године. Током овог периода, производња инфериорнијих полуаутоматских SKS пушака је настављена.

Када су производни проблеми превазиђени, унапређена верзија означена као АКМ (М за „модернизовано“ или „унапређено“) је представљена 1959. године. Нова верзија је користила штампани (пресовани) сандук и имала је укосо засечен штитник уста цеви, да би се компезовало трзање. Такође је била нешто лакша од претходног АК-47. АКМ је извожен широм света да би се помогло покретима који су ширили комунизам. АКМ верзија је надаље скоро искључиво произвођена, без обзира да ли је производња била лиценцирана или не; овај модел се најчешће среће. Упркос овој чињеници, пушке овог типа су најчешће означаване као АК-47 на западу. У већини земаља Источног блока ово оружје је познато просто као Калашњиков. 1978. године, Совјетски Савез је почео да замењује своје АК-47 и АКМ пушке новијим моделом АК-74, развијеним око метка 5,45×39 mm. Нова пушка и магацини су почели да се извозе у источноевропске државе тек када се Совјетски Савез распао, драстично смањивши производњу овог и другог малог оружја.

АК-47 је једноставан и јефтин за производњу и лак за чишћење и одржавање. Његова снага и моћ су легендарне. Велики гасни клип и значајни зазори између покретних

делова су омогућили пушци да поднесе велике количине прљавштине и функционише без застоја.

Задњи степени нишан је подесив, где сваки положај обележава стотине метара. Предњи нишан је подесив ради корекције на терену. Подешавање протока гаса је урађено у фабрици пре предаје. Подешавања усмеравају метке неколико центиметара изнад или испод тачке нишањења у домету од приближно 250 метара. Ово блиско подешавање омогућава кориснику да пуца на блиске мете без подешавања нишана. Дужа подешавања су намењена за чишћење терена. Ова подешавања одражавају пушке Mosin-Nagan и SKS Simonov које је АК-47 заменио. Ово је олакшало прелаз и упростило обуку.

Цев и комора, као и гасни клип и унутрашњи гасни цилиндар, су хромирани. Ова облога је драстично продужила век трајања ових делова чинећи их отпорним на корозију и хабање. Хромирање делова је сада уобичајено у већини модерних војних оружја.

Стандардни АК-47 (техничке карактеристике дате у табели 1) испаљује муницију 7,62×39 mm са излазном брзином од 710 метара у секунди. Излазна енергија је 1990 J. Дужина чауре је 38,6 милиметара, а маса зрна око 8 грама. АК-47 и АКМ имају ефикасан домет од око 400 метара. Ради поређења метак 7,62 × 54 R mm са зрном масе 12 грама и брзином од 818 метара у секунди има енергију од приближно 4000 J.

Да би пуцао, руковаоц прво убацује напуњен оквир, помера полугу селектора паљбе на најнижу позицију, ручицу за пуњење повуче назад и пусти и онда притисне окидач. У оваквом положају полуге селектора паљбе, пушка пуца појединачно захтевајући да се окидач отпусти и и притисне опет за следећи хитац све док се оквир не испразни. У средњем положају полуге селектора паљбе, пушка наставља да пуца, аутоматски убацујући нове метке у лежиште метка, све док се оквир не испразни или док се не отпусти окидач.

АК-47 (слика 5 [10]) и његови наследници се праве или су се правили у следећим земљама: Египту, Кини, Северној Кореји, Источној Немачкој, Пољској, Србији (као М-70 или М-80 серија), Румунији, Мађарској (као AMD-63 и AMD-65), Ираку и Бугарској. Основна конструкција АК-47 је коришћена као основа за друге успешне пушке као што су фински Valmet 62/76, израелски Galil, индијски INSAS и српску Заставу М76, М77 и М77/82.



Слика 5 – Аутоматска пушка АК-47 [10]

Табела 1 - Спецификације аутоматске пушке АК-47

Назив	АК-47
Тежина	4,3 kg
Дужина	870 mm
Дужина цеви	415 mm
Калибар	7,62 × 39 mm
Врста операције	Позајмица барутних гасова
Начин дејства	Јединачно, рафално
Брзина паљбе	До 600 мет/мин
Брзина зрна	710 m/s
Максимални ефикасни домет	1500 m
Одвојиви магацин	30 ком.
Нишан	Механички , тангенцијални са поделом у стотинама метара од 1 до 8

М-16

М-16 је ознака за прву у серији аутоматских, или јуришних пушака, развијених крајем педесетих година прошлог века на основу пушке Армалајт АР-15, конструктора Јуџина Стонера и Џејмса Л. Саливена. Изворни модел М-16 се више не користи и замењен је унапређеним верзијама. Тренутно је у Војсци САД у најраширенијој употреби карабинска верзија настала на основу модела М16А2, која носи ознаку М4А1 или Карабин М4.

Иако су одмах по завршетку Другог светског рата западни војни стручњаци уочили потребу за лакшим оружјем веће ватрене моћи, све до почетка шездесетих година 20. века САД нису имале аутоматску пушку која је могла да се носи са оружјем свог главног хладноратовског ривала, Совјетског Савеза.

У оквиру пројекта SALVO, извршена је анализа преко три милиона извештаја из Првог и Другог светског рата. Изведен је закључак да се већина борби води на мањим удаљеностима, до четири стотине метара, да су циљеви углавном покретни и да постоји потреба за оружјем мањег калибра, мање снаге и веће ватрене моћи.

Постојећи пушчани метак калибра 7,62×51 НАТО због велике снаге није био погодан за употребу у оружју тог типа, па је у том циљу, усвојен метак M193 5,56×45 mm. Његово зрно је лакше и мање од совјетског метка M43 који користи АК-47, али има већу почетну брзину.

Конструктори Јудин Стонер и Џејмс Л. Саливан су за фирму Армалајт (ArmaLite) за овај нови метак прво прерадили своју постојећу пушку AR-10, а после вишегодишњег развоја и више прототипова конструисали нову пушку која је има ознаку AR-15. Пушка је била револуционарне конструкције и у њеној изради су примењени, за то време потпуно нови и несвакидашњи, материјали: алуминијум, полимери и стаклена влакна, који се дотле нису користили за израду главних делова оружја. Фирма Армалајт је лиценцу за AR-15 продала фирми Колт (Colt Mfg. CO.) из Хартфорда у Конектикату, која је на основу ње направила дериват који је добио ознаку M-16. Пушка је на тестовима задовољила тражене услове, па је Колт је почетком шездесетих година склопио уговор са Војском САД и започео серијску производњу.

У оружаним снагама САД, аутоматска пушка M-16 је уведена у наоружање 1963. године. До 1969. године је потпуно заменила пушку M14 као стандардно оружје пешадије.

Пушка M-16 је замишљена као свестрано вишенаменско оружје. У стрељачком воду може бити класична аутоматска пушка, снајпер или лаки пушкомитраљез. Могућа је монтажа оптичког нишана, потцевног бацача граната, ножица и разбијача пучња, а скривач пламена на устима цеви омогућава испаљивање тромблонских мина. На ручици за ношење која је истовремено и задњи нишан, налази се и шина за монтажу оптичког нишана. Функционише на принципу позајмице барутних гасова. Затварач је ротациони.

Намењена је уништавању живе силе и материјално техничких средстава. Ефикасна је на даљинама до 500 метара, а сређеном ватром више стрелаца и до 800 метара. Дејствује јединачно, рафално или кратким рафалима од три метка. Одликује је мала тежина - данашње верзије су тешке око 3200 грама. Трзај је благ и оружје се лако контролиште и при рафалној палби.

Пушка је јединствене конструкције и једноставно се расклапа преклапањем око осовине која се налази на предњем делу сандука, налик на ловачке двоцевке. Задњи нишан је истовремено и ручка за ношење, што јој даје препознатљив изглед. Тело пушке је израђено од алуминијума 7075, цев, затварач и механизам за окидање од челика. Кундак и поткундак ранијих верзија су били израђивани од епоксидних смола ојачаних стакленим влакнима, док су код каснијих верзија смоле замењене Ђу Понтовим Зител

(DuPont Zytel) полимерима, такође са стакленим влакнима, као и са тефлонским премазом. Кундак је раван, као код снајперских пушака, што омогућава бољу контролу оружја, боље преношење повратног трзаја, а тиме и мањи одскочни трзај. Рукохват је ергономски и израђен је од композитних пластичних маса. Технологија израде највећег броја делова се углавном своди на ливење и пресовање, па нема много делова који се раде скупом машинском обрадом, што снижава трошкове производње и чини је веома погодном за масовну производњу.

Пушка М-16 (слика 6 [11]), иако је по својој концепцији имала све предиспозиције да буде идеално оружје: кратка, веома прецизна, добро уравнотежена и лагана - у првој верзији тешка само 2800 грама - у вијетнамским џунглама се показала као изузетно осетљиво и непоуздано оружје, склоно застојима и заглављивању. Уз прве контингенте ових пушака у Вијетнаму, војницима није издаван прибор за чишћење и саветовано им је да их не расклапају јер је пушка толико савремена да јој чишћење није потребно. Ово се убрзо показало као грешка катастрофалних размера, јер су застоји доводили до огромног броја жртава у борбама. Војницима су подељени прибори за чишћење, а касније у току рата и упутства за расклапање и одржавање у облику стрипа под именом Пушка М16А1 - РУКОВАЊЕ И ПРЕВЕНТИВНО ОДРЖАВАЊЕ. Правилно одржавање и редовно подмазивање су донекле ублажили проблеме, али је пушка услед веома малих зазора између покретних делова била изузетно неотпорна на остатке сагоревања барута, блато, прашину, песак, воду и све врсте нечистоћа на које се може наићи у теренским условима.

Други део проблема је представљала неодговарајућа муниција. Године 1964., хемијски концерн Ђу Понт је обавестио Војску САД да није у могућности масовно да производи нитроцелулозни барут у складу са спецификацијама које захтева пушка М-16. Решење је нађено када је фирма Олин Метисон понудила барут високих перформанси сачињен од нитроцелулозе и нитроглицерина. Мада је Олинов барут WC846 био у стању да испалује зрно калибра 5,56 mm при жељеној брзини од 1000 метара у секунди, имао је нежељени учинак повећања брзине паљбе са 850 на 1000 метака у минути. Ово је стварало додатне наслаге чађи на покретним деловима и повећавало могућност застоја. Проблем је решен уградњом успоривача који је смањивао брзину паљбе на 650 до 850 метака у минути и опремањем нових пушака антикорозивном хромираном гасном комором. Због свега овога, пушка М-16 је стекла репутацију непоузданог оружја и током Вијетнамског рата су се веома често могли видети амерички војници наоружани пушкама АК-47 кинеске и совјетске производње, заробљеним од непријатеља.

Након вишедеценијског развоја ова пушка је претрпела значајне измене и претворена је у доста поузданије оружје, мада се 1997. године на тестовима у пустињским условима показала као знатно инфериорнија у односу на Хеклер и Кох ХК-416, Хеклер и Кох ХМ-8 и FN SCAR. Из десет пушака сваког модела је испалено по 6000 метака, при чему је М-4 имала 882 застоја, од којих 19 тежих, који су захтевали интервенцију пушкара. FN SCAR је имала 226 лакших застоја, ХК-416 223 лакших, а ХМ-8 116 лакших и 11 тежих застоја.

Основно оружје пешадије Војске и Корпуса морнаричке пешадије САД тренутно представља карабин М-4, настао даљим развојем верзије М16А2. Ова два модела деле око 80% заједничких делова. Са тежином од 2880 грама, карабин М-4 је 80 грама тежи

у односу на изворни модел М-16 пуне дужине. Дејствује јединачно или кратким рафалима од три метка. Значајне измене у односу на М16А2 су дужина цеви смањена на 368 mm и целог оружја на 838 mm, кундак са телескопским извлачењем и шина система „пикантини“ на поклопцу сандука, која омогућава монтажу великог броја оптичких уређаја. Као и код претходних модела, постоји могућност монтаже потцевног бацача граната М-203. На поткундак је могуће монтирати додатни рукохват или ножице ради боље контроле оружја. Могућа је и монтажа више врста разбијача пуцња за које је развијена подзвучна муниција. Разбијач пуцња се монтира на навој изведен непосредно иза скривача пламена.

У марту 1970. године, САД су објавиле да све НАТО снаге морају да усвоје метак 5,56×45 mm. Ово је представљало знатну промену у војној филозофији када се ради о калибру оружја. До средине седамдесетих, и друге армије су усвојиле и развијале аутоматске пушке сличне М-16. Ускоро су уследили напори на стандардизацији, и од 1977. године су започета испитивања различитих метака. САД су понудиле оригинални метак М193 5,56×45 mm без икаквих измена, али су се појавиле сумње око његове продорности у светлу све шире употребе балистичких прслука и других видова телесне заштите. После опсежних испитивања, усвојен је белгијски метак SS109 у калибру 5,56×45 STANAG 4172. Био је заснован на оригиналном америчком, али је поседовао ново зрно од 62 грејна коме је додат мали челични врх, са циљем побољшања пробојности. Овај метак је први усвојио Корпус морнаричке пешадије САД са пушком М16А2, уведеном у наоружање 1982, која је убрзо постала стандардно наоружање у оружаним снагама САД. Стандардна муниција 5,56×45 mm коју користе оружане снаге САД, носи ознаку М855. У међувремену је усвојен и стандардни STANAG оквир од 30 метака који одговара свим НАТО пушкама калибра 5,56×45 mm. У табели 2 су приказане спецификације пушке М-16



Слика 6 - Аутоматска пушка М-16 [11]

Табела 2 - Спецификације пушке М-16

Назив	М-16
Тежина	3,26 kg
Дужина	1000 mm
Дужина цеви	508 mm
Калибар	5,56 × 45 mm
Врста операције	Позајмица барутних гасова
Начин дејства	Аутоматски, полуаутоматски
Брзина палбе	До 950 мет/мин
Брзина зрна	948 m/s
Максимални ефикасни домет	800 m
Одвојиви магацин	20, 30, добош око 100 ком.
Нишан	Механички , оптички

Heckler & Koch G3

Хеклер и Кох Г3 је аутоматска пушка калибра 7,62×51 mm НАТО, развијена 1950-их од стране фабрике оружја Хеклер и Кох из СР Немачке у сарадњи са шпанском државном и развојном агенцијом СЕТМЕ. У одређеним условима се показала као квалитетна и веома добра војничка пушка које без проблема може парирати и пушкама АК-47 док су се са друге стране неке верзије ове пушке показале осетљиве на муницију и прашину. Пушка ХК Г3 (слика 7 [12]) је и данас широко распрострањена широм света. Аутоматска пушка Г3 је коришћена у многим сукобима широм света, а на бази ње су развијене снајперске пушке као и легендарни аутомат МП5.

Може се рећи да је развој ове пушке почео током Другог светског рата у фабрици Маузера у градићу Оберндорф ам Некар где су инжењери развили аутоматску пушку Штурмгевер 45 калибра 7,92×33 mm. Та пушка је била претеча пушке ХК Г3 али ипак није ушла у серијску производњу јер се рат убрзо завршио. Немци су узели систем позајмице барутних гасова и комбиновали га са системом одлагања трзаја помоћу ваљака, као што је случај и на митраљезу МГ 42. То је идеја коју је искомбиновао револуционарни иноватор у сфери наоружања, немачки конструктор Лудвиг Форгримлер, човек који заслужује да му се име помиње раме уз раме са чувеним Михаилом Калашњиковим. Немачки инжењери су као заробљеници одведени у Француску јер се французима допао нови систем немачког оружја. Убрзо су почели са радом и створили неколико прототипова али је направљена грешка јер су Французи изабрали амерички метак .30 карабин који је био преслаб за аутоматску пушку.

Иако су тестирали оружје и у другим калибрима, попут иновативног 7,5×38 mm, ипак се одустало у корист полуатоматске пушке MAS-49 службеном калибру француске војске. Французи су тиме направили кобну грешку јер су имали шансу да направе своју аутоматску пушку у време када је Михаил Калашњиков конструисао свој АК-47.

Када је Лудвиг Форгримлер ослобођен, и он је попут многих својих земљака отишао у Франкову Шпанију где се запослио у шпанској фабрици „СЕТМЕ” која је имала пуно разумевања за његов конструкторски рад. Форгримлер већ исте године за шпанску војску је конструисао пушку „СЕТМЕ LV-50”. Шпанија је захваљујући немачкој емиграцији, брже од осталих прихватала савремене тенденције у развоју пешадијског наоружања па је тако већ 1953. године, развијен средњи метак 7,9×40 mm M53 по угледу на немачки 7,92×33 mm као и совјетски 7,62×39 mm.

Немачка погранична стража се заинтересовала за Форгримлерову конструкцију али се 1956. године ипак одлучила за белгијску пушку FN FAL (G1). За Форгримлерову пушку се заинтересовала Немачка војска која је наручила додатни број за тестирање на којима се иста показала боље од швајцарске SIG SG 510 као и против америчке AR-10 које су биле такође тестирана као потенцијална замена пушака FN FAL јер је белгијска фабрика FN одбила да прода лиценцу СР Немачкој.

Јануара 1959. године, Немачка војска се званично одлучила за Форгримлерову пушку у калибру 7,62×51mm и под ознаком „G3”. Међутим, настао је проблем јер је холандска фирма „NWM” имала ексклузивна права на производњу „СЕТМЕ” пушке изван Шпаније. Холандска фирма је утицајем белгијанаца одбила да немцима прода права за серијску производњу али након неких узајамних уговора, Холанђани се ипак одлучују да продају лиценцу па се тако ова пушка враћа Немцима јер је изворно била немачка конструкција.

Производња пушке G3 је била додељена фабрикама Рајнметал као и Хеклер и Кох али је 1969. године Рајнметал предао Хеклеру права на производњу, а заузврат је договорено да Хеклер неће производити митраљеze MG 3. Немачка влада је 1977. године сва права производње и продаје ових пушака предала искључиво компанији Хеклер и Кох.

Убрзо се велики број земаља заинтересовао за ову пушку јер је била доста јефтинија од конкурентне FN FAL. Пушка G3 се по лиценци производила у Португалу, Пакистану, Ирану, Шведској, Норвешкој, Грчкој, Турској, Саудијској Арабији, Мексику... Извезена је у преко 40 земаља света. Првобитне верзије су имале дрвени кунак док се на каснијим верзијама користила пластика. У табели 3 су дате тактичко-техничке карактеристике.



Слика 7 - Аутоматска пушка Heckler & Koch G3 [12]

Табела 3 - Спецификације пушке Хеклер и Кох Г3

Назив	Хеклер и Кох Г3
Тежина	4,5 kg
Дужина	1025 mm
Дужина цеви	450 mm
Калибар	7,62 × 51 mm
Брзина палбе	500 - 600 мет/мин
Брзина зрна	800 m/s
Максимални ефикасни домет	400 m
Одвојиви магацин	20 ком.

FN FAL

FN FAL, у Србији позната као „Фаловка“ (слика 8 [13]) је белгијска аутоматска пушка калибра 7,62×51mm, развијена након Другог светског рата и уведена у наоружање 1954. године. Конструисао ју је познати конструктор Диудон Сев. Пушку FN FAL је у наоружање усвојило око 90 земаља широм света. Коришћена је у многим ратовима против комуниста и других терориста, па је стекла надимак „Десна рука слободног света“.

Развој пушке FN FAL почео је одмах након завршетка Другог светског рата и први прототип је направљен 1946. године у калибру 7,92×33 mm, исти калибар који су Немци користили на Штурмгевер 44. На челу конструкторског тима се налазио Диудон Сев, човек који је направио и пиштољ Browning HP (High-Power), а који је у исто време радио и на пројекту развоја пушке за пушчани метак пуне снаге из којег ће настати полуаутоматска пушка FN 49. То је и један од разлога што су пушке механички прилично сличне. На захтев Велике Британије FN је развио прототип у калибру „.280 British“, а

касније и Белгија усваја исти калибар. За потребе тестирања британске војске произведен је булпап прототип у калибру „.280 British”.

Године 1950. је пушка приказана у САД заједно са британском ЕМ-2 и на захтев Американаца развијен је модел у калибру 7,62×51 mm. Исте године Британци усвајају ЕМ-2 као пушку која ће наследити Ли Енфилд, али наредна влада 1952. године, поништава ту одлуку и усваја 7,62×51 mm као калибар који ће бити универзалан код свих НАТО чланица. Под утицајем САД и остале земље усвајају 7,62×51 mm, а FN прекида са развојем пушке у осталим калибрима. То је уједно и највећи недостатак пушке, јер је развијана за метак мање снаге, док се 7,62×51 mm показао као сувише јак нарочито код аутоматске паљбе.

У конструкционом погледу, гасни систем је врло сличан совјетском SVT-40 док је брављење врло слично SKS-у или француском MAS-49. Интересантан је регулатор гасова који омогућава подешавање зависно од услова кориштења и муниције. Постоје два основна типа сандука: метрички и у инчима. Метрички су далеко чешћи и разлика је у дизајну оквира за муницију. Инч сандуци су коришћени код британске, канадске, аустралијске и малезијске верзије FAL и оквири се разликују по дебљем предњем усаднику. Пушке са инч сандуцима могу да користе и метричке оквири. Стандардни капацитет оквира је 20 метака док се ређе налазе оквири од 30 метака или добоши од 50 метака. Стандард земаља Комонвелта је био 8 оквира, иако су у пракси војници често носили само четири због тежине муниције. Фаловке из Комонвелта су најчешће имале искључиво полуаутоматски режим паљбе, а Канађани су развили пушкомитраљез са тежом цеви, који се није показао као успешан дизајн и убрзо је напуштен.

Преко 90 земаља је увело пушку FN FAL у наоружање док се у Западној Немачкој задржала јако кратко због одбијања FN-а да дозволи лиценцну производњу у Немачкој. Немци су већ крајем 1950-их прешли на Хеклер и Кох Г3.

Занимљиво је да су САД одустале од увођења у наоружање пушке FN FAL упркос томе што су нови метак 7,62×51mm буквално наметнуле својим савезницима. Америчка војска је и даље користила пушку M1 Garand, а од 1959. године уводе у наоружање M14 која се пак није дуго задржала и током 1960-их је замењена пушком M16. У табели 4 су дате техничке карактеристике пушке FN FAL.



Слика 8 – Аутоамтска белгијска пушка FN FAL [13]

Табела 4 - Спецификације пушке FN FAL

Назив	FN FAL
Тежина	4,3 kg
Дужина	1090 mm
Дужина цеви	533 mm
Калибар	7,62 × 51 mm
Врста операције	Позајмица барутних гасова
Начин дејства	Јединачно и рафално
Брзина палбе	650-700 мет/мин
Брзина зрна	840 m/s
Максимални ефикасни домет	400 m
Одвојиви магацин	20 метака ком.
Нишан	Механички

Застава М70

Застава М70 је аутоматска пушка домаће производње, калибра 7,62 × 39 mm. Функционише на принципу позајмице барутних гасова. Производи је предузеће Застава Оружје из Крагујевца. Израђена је у моделима М70, М70А, М70В, М70АВ, М70А1, М70АВ1, М70АВ2, М70АВ2N-PN и М70В1N-PN. Налази се у наоружању јединица Војске Србије као и јединица МУП Србије.

Настала је као југословенска варијанта популарне совјетске пушке АК-47 „Калашњиков“, коју је конструисао Михаил Тимофејевич Калашњиков 1947. године. АК-47, у оригиналној верзији АКМ, почела је да се користио од 1949. године у тадашњој Совјетској армији.

Серијска производња полуаутоматске пушке М59 калибра 7,62×39 mm у Застави Оружје започела је 1964. године, када фабрика формира самостални развој конструкције производа. До тада је развој конструкције вршен искључиво у Војнотехничком институту у Београду. Исте године започиње развој аутоматске пушке, система „Калашњиков“, која је 1967. године добила назив М67. На бази М67, развијена је 1969. године аутоматска пушка у калибру 7,62×39 mm. Она је 1970. године названа М70 и тада је усвојена у наоружање ЈНА.

За разлику од модела АКМ и других изведених модела, који су се производили у другим државама, М70 има могућност гађања и тромблонском мином.

У фамилији 7,62 mm налази се и пушкомитраљез М72, који је израђиван и у варијантама М72В, М72В1, М72В1N и М72АВ1. Мада користи зрно истог калибра као и М70,

пушкомитраљез М72 користи метак са већим барутним пуњењем због чега испаљено зрно има већу почетну брзину.

Сходно војној доктрини Југословенске народне армије о наоружавању по стандарду НАТО и варшавског пакта, рађене су верзије у НАТО калибру 5,56×45 mm М90 јуришна пушка, М90 пушкомитраљез и М85 аутомат, и у НАТО калибру 7,62×51 mm М77 јуришна пушка.

М70 (слика 9 [14]) намењена је за неутралисање и уништавање непријатељске живе силе, ватрених средстава, уништавање борбених возила, гађање бункера и утврђених зграда, осветљавање и задимљавање бојишта. Поред наведеног могу се гађати и циљеви у ваздуху, као што су падобранци, хеликоптери и ниско летећи авиони. По потреби се на пушку може монтирати пригушивач пуцња и одговарајућа оптика. У табели 5 су дате њене спецификације.

Пушка М70 може користити пушчани метак 7,62 × 39 mm са обичним, панцирно-запалјивим и обележавајућим зрном или тромблонске мине: тренутну, кумулативну, осветљавајућу и задимљавајућу. Пушчана паљба је могућа јединачном и рафалном паљбом. Зависно од врсте паљбе разликују се и оптимални резултати гађања: јединачном паљбом до 400 m, кратким рафалима (3-5 метака) до 300 m, дугим рафалима (10-15 метака) до 200 m. Запречна паљба више стрелаца постиже оптималне резултате и до 600 m. Гађање циљева у ваздуху (хеликоптери, падобранци) је могуће до 500 m. Нишанска даљина гађања је 1000 m. Борбени комплет пушке чини 5 оквира у које може стати до 30 метака.

Домет тромблонских мина зависти од врсте мине: тренутна тромблонска мина до 240 m, кумулативна мина до 150 m. При гађању осветљавајућом мином најбољи ефекат постиже се када се мина испали под углом од 45°.

Главни делови аутоматске пушке 7,62 mm М70 су:

- цев са нишанима,
- гасна комора са регулатором гасова,
- гасни цилиндар са дрвеном облогом,
- носач затварача са клипом,
- затварач,
- сандук са рукохватом,
- механизам за окидање,
- повратни механизам,
- рап (резервни алат и прибор).



Слика 9 – Аутоматска пушка Застава М70 [14]

Табела 5 - Спецификације пушке Застава М70

Назив	М70
Тежина	4,2 kg
Дужина	900 mm
Дужина цеви	415 mm
Калибар	7,62 × 39 mm
Врста операције	Позајмица барутних гасова
Начин дејства	Аутоматски, полуаутоматски
Брзина паљбе	620 мет/мин
Брзина зрна	720 m/s
Максимални ефикасни домет	300 m
Одвојиви магацин	30 ком.
Нишан	Механички са могућношћу монтирања телескопа

Застава М21

Застава М21 је савремена аутоматска пушка, која се производи у фабрици наменских производа Застава оружју у Крагујевцу, први пут је представљена јавности августа 2004. године. Аутоматска пушка М21 (слика 10 [15]) калибра 5,56 mm намењена је за уништавање незаштићених и балистичким прслуком заштићене живе силе на даљинама до 500 метара. Коришћењем потцивног бацача граната врло успешно се могу уништавати лакше оклопљена борбена и неборбена возила, задимљавати и осветљавати бојиште. Аутоматска пушка М21 је предвиђена да замени Заставу М70 која је

стандардна аутоматска пушка Војске Србије, која је постепено почела да уводи нову аутоматску пушку у наоружање својих јединица 2008. Пушка постоји у верзији са дужом цеви M21 и са краћом цеви M21S, за специјалне јединице војске и полиције. Најновија варијанта је M21C (C за Carabine). Постоје оптички и ласерски нишан, дневни и ноћни.

Управа пешадије Генералштаба Војске Југославије је још 1997. године, у складу са савременим кретањима у развоју пешадијског наоружања и војне опреме за војника 21. века, почела да реализује нови модел аутоматске пушке. Након петооктобарских промена 2000. године, Управа пешадије Генералштаба је окупила водећи тим у земљи за израду новог модела аутоматске пушке, а на основу уклапања у програм „Партнерство за мир“, као и изради домаћег војног програма по узору на студијски програм CRISAT (Collaborative Resreach Into Small Arms Technology) из 1990. НАТО пакта који је заснован на америчком Главном војном плану за развој ручног ватреног оружја (Small Arms Master Plan, SAMP). Овај тим под окриљем Управе пешадије сачињавале су војне и цивилне научне установе и личности. Стручњаци из овог тима су на самом почетку одлучили да нова аутоматска пушка буде базирана на аутоматској пушци АК-47, односно моделу Застава М70, која је и требало да се замени у оружаним снагама овим пројектом. Један од главних разлога за ову одлуку стручњака био је што у свету нема ни на видiku технологије за наредних педесет година која може успешно да замени гасни повратни механизам система Калашњиков, чије су аутоматске пушке, узгред, биле најпродаваније у прошлом веку, у свету. Међутим, главни задаци који су пред њима постављени били су израда нове цеви калибра 5,56 mm, као могућност постављена опто-електронских уређаја који у суштини представљају стандард НАТО-а, односно опто-електронски уређаји су нове технологије које су постале стандарне за војнике у свим јединицама, без обзира на намену, на почетку 21. века.

Аутоматска пушка калибра 5,56 mm функционише у најтежим климатским и теренским условима и одликује се највишим перформансама. Застава М21 има уграђену „Пикатини“ шину, која омогућава постављање оптичко-електронских уређаја који одговарају НАТО стандарду, а може имати ограничен рафал од три хица. Нова аутоматска пушка представља конструкторско комбиновано решење два ранија модела, Заставе М70 и М80, ова последња је рађена у калибру 5,56 mm, и обе су засноване на систему позајмице барутних гасова, брављења и осталих механизма на принципу Калашњикова. Застава М21 направљена је од композитних материјала од којих је направљен оквир и замењени дрвени делови који су присутни код ранијих модела заставиних оружја. Уграђен је обострани регулатор паљбе, као и шина која омогућава постављање оптичко-електронских уређаја који одговарају НАТО стандарду, оптички и ноћни нишан, ласерски обележивач циља (ЛОЦ) у видљивом и невидљивом спектру. Такође, омогућена је уградња потцевног бацача граната BGP-40, који се прави по узору на руско решење 40 mm „Кастјор“, BG-15 и BG-30. Поред класичног регулатора паљбе, који се налази са десне стране пушке, постављен је још један са леве стране пиштољског рукохвата, а међусобно су повезани. Кундак је преклопан и направљен је од чврстог полимера, а на задњи део се поставља гумени амортизер који служи код коришћења бацача граната. Предњи поткундак је направљен од полимера са вертикалним ребрима. Пиштољски рукохват је такође израђен од полимера.

Цев код заставине аутоматске пушке калибра 5,56 mm се производи у две варијанте, класично ожљебљена цев која носи ознаку M21 и полигонална цев M21B. Цев је тврдо хромирана што обезбеђује дужи век цеви.

Застава M21 је оружје модуларног типа на коју је постављен носач на коме се налази „Пикатини“ шина и зависно од борбеног задатка могу се поставити одговарајући опто-електронски уређаји по НАТО стандарду. Код заставине аутоматске пушке M21 постоји предњи и задњи отворени металан нишан, као и основни оптички нишани (ОН), који се монтирају и служе за гађање циљева дању, и то:

- ОН M04 „ТЕЛЕОПТИК“ и
- ОН M04A „ЗРАК“.

Поред њих на „Пикатини“ шину се могу монтирати рефлекси нишан M04 „MARS“, ласерских обележивачи циља M04 „INFIZ“ и M04A-AIM2000, пасивни монокулар и нишани.

На пушку се може поставити потцевни бацач граната 40 mm (BGP-40) са којим се могу гађати циљеви од 50 до 400 m. Употребом BGP-40 mm постиже се ефикасна ватрена моћ на појединачне и групне циљеве, лако оклопљена борбена и неборбена возила, користећи димне гранате може се створити димна завеса до 400 m. У табели 6 су дате њене спецификације.



Слика 10 - Аутоматска пушка Застава M21 [15]

Табела 6 - Спецификације пушке Застава M21

Назив	M21
Тежина	3,85 kg
Дужина	1000 mm
Дужина цеви	460 mm
Калибар	5,56 × 45 mm
Врста операције	Позајмица барутних гасова
Начин дејства	Аутоматски, полуаутоматски
Брзина паљбе	560-680 мет/мин

Брзина зрна	914 m/s
Максимални ефикасни домет	450 до 600 m
Одвојиви магацин	30 ком.
Нишан	Механички са могућношћу монтирања телескопа

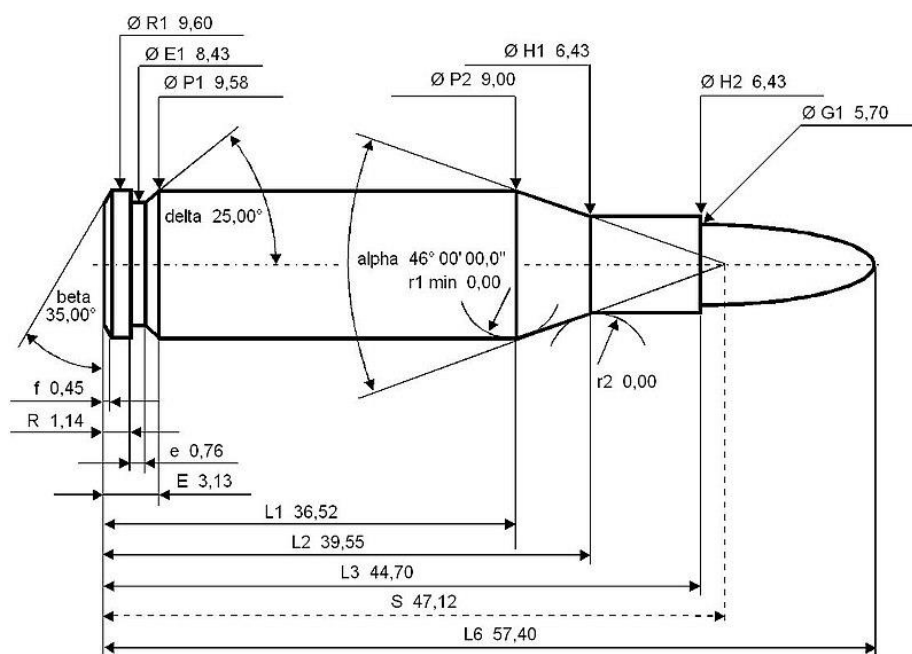
1. АКТУЕЛНИ КАЛИБРИ АУТОМАТСКИХ ПУШАКА У СВЕТУ

Тренутне аутоматске пушке које се тренутно налазе у оружаним снагама широм света, користе различите калибре муниције. Најчешће се примењују следећи калибри муниције: 5,56×45 mm NATO, 7,62×51 mm, 7,62×39 mm и 5,45×39 mm.

5.56×45 mm NATO (САД)

5.56×45 mm NATO (званична NATO номенклатура 5.56 NATO) је метак уског грла, развијен у Белгији од стране FN Herstal. Може имати M855 и M856 зрно. Развијен је под стандардом STANAG 4172, који користе NATO снаге, као и многе земље које нису чланице NATO-а. Добијен је на основу .223 Ремингтон метка, али није идентичан.

Према MIL-C стандарду, NATO метак 5.56×45 mm може да издржи пиезо притисак од 3910 bar. Приликом испитивања на опитним цевима, сваки тип се испитује на 115% од максималног притиска 5375 bar ради прописног коришћења. На слици 11 [16] приказане су максималне димензије метка 5.56×45 mm NATO [16]. Запремина чауре износи 1,86 ml.



Слика 11- 5.56×45 mm NATO, максималне димензије метка (све димензије су изражене у mm) [16]



Слика 12 – Изглед метка 5.56×45 mm NATO [16]

Амерички SAAMI институт наводи да максималан просечан притисак за .223 Remington износи 379.2 МПа, пиезо притисак са одступањем до 399.9 МПа. Лежиште за војни 5.56×45mm NATO, има дуже грло чауре које је у контакту са жљебовима што резултира смањењем притиска приликом испаливања ове муниције. Ако се 5.56×45 mm користи у пушкама са лежиштима за .223 Remington, зрно ће се урезати у жљебове током убацивања у лежиште, што може драстично да повећа притисак изнад испитиваног. У табели 7 [16] су приказане техничке карактеристике метка 5.56×45mm NATO.

Табела 7 - Техничке карактеристике метка 5.56×45mm NATO [16]

Калибар и врста	5.56×45mm NATO BALL SS 109
Индекс	A-110
Употреба	Оружја калибра 5.56×45mm
Стандард	MIL-C
Тип зрна	BALL
Маса зрна	4 g
Маса метка	12,1 g
Каписла	Некорозивна Без живе Вохер
Погон	Двобазни барут
Просечна брзина	$V_{24} = 915^{+12} \text{ m/s}$
Температурни интервал	-54°C +52°C

7.62×51mm NATO (САД)

7.62×51 mm NATO (званична NATO номенклатура 7.62 NATO) је стандардна димензија метка (чауре) за ватрена оружја. Развијен је 1950-их као стандард за мала оружја унутар чланица NATO-а.

7.62 NATO uveden je za američku pušku M14 i mitraljez M60 u kasnim 50-im. M14 je zameđen u američkoj službi od kada je pešadija usvojila savremeniju pušku M16 kalibriрану za мањи 5.56 mm NATO. M14 i многа друга оружја која користе 7.62×51 mm NATO су још у служби, нарочито у случају снајперских пушки и митраљеа које користе специјалне јединице. Иако нису идентични, 7.62×51 mm NATO и комерцијални .308 Winchester су слични, премда SAAMI институт не сматра да је несигурно испаливати NATO муницију из оружја намењеног за трговинску муницију.

Разлог због кога се и највероватније развио 7.62×51mm NATO, јавља се одмах након Првог светског рата, када се купан и јак .30-06 тешко прилагођава полуаутоматским пушкама. Мање моћнији метак би омогућио лакши паљбени механизам. У то време дизајн који је највише обећавао био је .276 Pedersen. Када се коначно демонстрирало да је .30-06 погодан за полуаутоматске пушке, .276-ица је одбачена. У табели 8 [16] су приказане техничке карактеристике метка 7.62×51mm NATO (слика 13 [16]).



Слика 13 – Изглед метка 7.62×51mm NATO [16].

Табела 8 - Техничке карактеристике метка 7.62×51mm NATO [16]

Калибар и врста	7.62×51mm NATO BALL M80
Индекс	A-009 или A-306
Употреба	Оружја калибра 7.62×51mm
Стандард	MIL-C-46931F
Тип зрна	BALL
Маса зрна	9,4 g
Маса метка	24 g
Каписла	Некорозивна Без живе Berdan (A-009) Boxer (A-306)
Погон	Двобазни барут
Просечна брзина	$V_{24} = 833^{\pm 15} \text{ m/s}$
Температурни интервал	-54°C +52°C

7.62×39 mm

7.62×39 mm је метак совјетског порекла који је дизајниран током Другог светског рата. Због глобалног ширења RPD и RPK лаких митраљеза и пушке модела SKS и АК-47, овај метак користе и војска и цивили. Муниција 7.62×39mm је наводно тестирана како би добро функционисала на температурама у распону од −50 до 50 °C, цементирајући своју корисност у хладним поларним или врућим условима пустиње. Верује се да је метак 7.62×39 mm развијен под утицајем различитих иностраних развоја, укључујући и немачки STG-44, иако се о томе само расправљало.

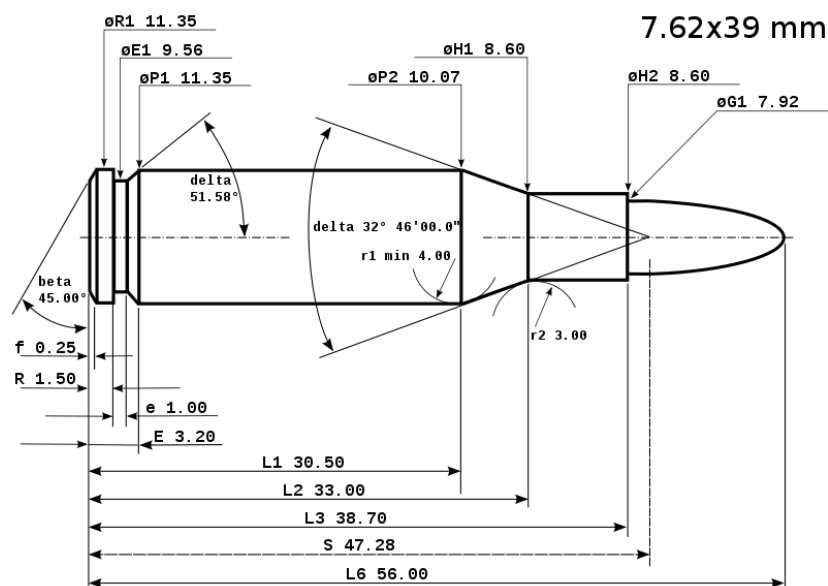
Убрзо након Другог светског рата, најпрофесионалнија пушка у војној форми на свету је баш дизајнирана за овај метак: АК-47. Овај метак је остао совјетски стандард све до 1970-их година. У великој мери је замењен у руској служби са 5.45×39 mm метком који користи актуелна пушка АК-74М и њене варијанте. У 21. веку 7.62×39 mm остаје уобичајено лежиште код стандардних пушки, као и код новоразвијених пушки.

Најчешће се користе два типа зрна, а то су М43 и М67. Првобитна совјетска М43 зрна су зрна која имају boat-tail конструкцију, односно специјално обликовани задњи део смањеног пречника који смањује отпор ваздуха, са побакреном челичном кошуљицом, великим челичним језгром и са мало олова између кошуљице и језгра. Сам метак се састоји од Berdan каписле и сужавајуће чауре (најчешће од челика) у коју се поставља зрно и садржи барутно пуњење. Овако сужавајућа чаура (односно конусна) узрокује изразито закривљене оквире (помоћу којих се између осталог разликују АК-47 од АК-74). Иако је дизајн зрна прошао кроз неколико редизајнирања, сам метак је и даље у великој мери непромењен. Балистички коефицијент FMJ (Full Metal Jacket) варијанте где зрно има пуну кошуљицу на целој дужини осим мале површине на дну зрна, износи 0,138.

Потпуна чврстоћа М43 пројектила узрокује и његов једини недостатак – веома је стабилан чак и док пролази кроз ткиво. Почиње да скреће тек кад прође око 26 cm ткива. Ово у великој мери смањује ефективност потенцијалног рањавања људи.

Током 1960-их година, у Југославији се експериментисало са новим дизајном зрна који има већу ефикасност рањавања, брзину и прецизност у односу на М43. Пројектил М67 је краћи и има равнију базу од пројектила М43. Узрок томе је избацивање челичног уметка, што као нежељени ефекат има померање центра гравитације уназад у односу на М43. Ово омогућава пројектилу да се дестабилизује скоро 17 cm раније у ткиву, што узрокује пар већих прострелних рана у дубини. Када се настала прострелна рана сусретне са кожом на излазној страни, ствара се велика излазна рана којој треба више времена да зарасте. Поред тога, када се прострелна рана сусретне са органом попут јетре, долази до оштећења тог органа. Међутим, ефективност рањавања пројектила М67 се своди на мали канал који ствара сам пројектил приликом проласка кроз ткиво, поготово када пројектил почне да се зауставља.

На слици 14 [16] приказане су максималне димензије метка 7.62×39 mm (слика 15 [16]), где је чаура запремине 2,31 ml, а у табели 9 [16] су приказане његове техничке карактеристике.



Слика 14 - Максималне димензије метка 7.62×39mm (све димензије су изражене у mm) [16]



Слика 15 – Изглед метка 7.62×39mm [16]

Табела 9 - Техничке карактеристике метка 7.62×39 mm [16]

Калибар и врста	7.62×39mm BALL M67
Индекс	A-639
Употреба	Оружја калибра 7.62×39mm
Тип зрна	BALL
Маса зрна	8 g
Маса метка	17,4 g
Каписла	Некорозивна Без живе Berdan
Погон	Једнобазни или двобазни барут
Просечна брзина	$V_{25}=733^{+8}$ m/s
Температурни интервал	-40°C +52°C

5,45×39 mm

5,45 × 39 mm је метак без обода и уског грла. Совјетски савез га је први пут увео у службу 1974. године за нови АК-74. Овај метак је прво допуњавао, а затим потпуно заменио 7,62×39 mm у Совјетском и Варшавском пакту као свој основни војни службени метак.

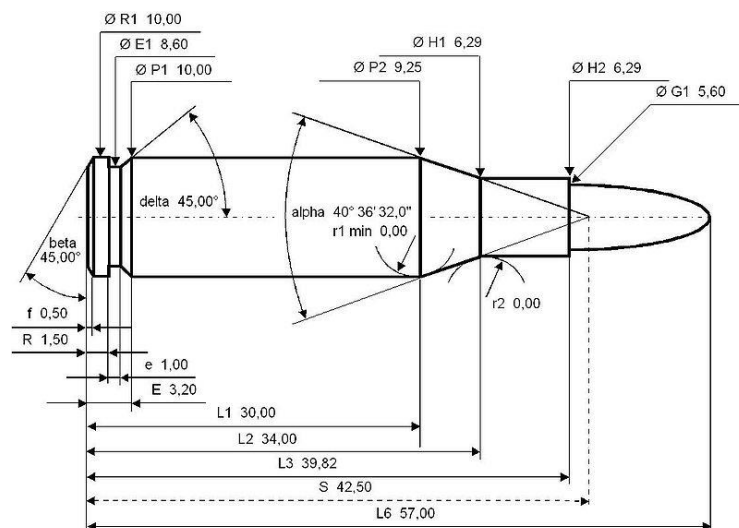
Развијен је почетком 1970-их година у Совјетском савезу. Метак 5,45 × 39 mm има осетљиву чауру запремине 1,75 ml са довољно простора за лабораторисање релативно дугих витких пројектила који могу пружити добру аеродинамичку ефикасност и спољно балистичке перформансе за пречник пројектила.

Овај метак је пример међународне тенедеценије ка релативно малој, лаганој муницији са великим почетним брзинама. Муниција попут 5,45×39 mm, 5,56×45 mm NATO и кинески 5,8×42 mm омогућавају војнику да носи већу количину муниције, имају повољан максималан брисани простор и производе релативно низак потисак и импулс слободног трзања.

Оригинално војно издање, 7N6 варијанта овог метка, уведена је 1974. године има пуну металну кошуљицу са оловним језгром које има донекле комплексну конструкцију. Кошуљица је превучена позлаћеним металом. Неојачано челично језгро је прекривено танким оловним слојем. 7N6 варијанта има boat-tail конструкцију ради смањења отпора и има оловни чеп који је закачен у бази зрна. Оловни чеп, у комбинацији са ваздушним простором испред зрна (на врху зрна), има ефекат померања гравитационог центра зрна на задњи део; шупљи ваздушни простор такође доводи до деформације врха зрна када зрно погоди чврсту препреку. Челична чаура (лакирана у браон боју) има Berdan капислу. Погон представља барут SB-410. Маса 7N6 варијанте овог метка износи 10,75 g.

Тестови указују на то да енергија слободног трзања код 5,45×39 mm АК-74 пушке износи 3,39 J, у поређењу са 6,44 J код 5,56×45 mm NATO M16 пушке и 7,19 J код 7,62×39 mm АКМ пушке (модернизована верзија АК-47).

Метак 5,45×39 mm (слика 16 [16]) има чауру запремине 1,75 ml, а у табели 10 [16] су дате тактичко техничке карактеристике.



Слика 16 – Максималне димензије метка 5,45×39 mm [16]

Табела 10 – Тактичко техничке карактеристике метка 5,45×39 mm [16]

Калибар и врста	5,45×39mm 7N6M
Употреба	Оружја калибра 5,45×39mm
Тип зрна	7N6 FMJ
Маса зрна	3,43 g
Маса метка	10,5 g
Каписла	Berdan
Погон	Двобазни барут
Просечна брзина	$V_{25} = 880 \text{ m/s}$
Температурни интервал	-40°C +52°C

Код пројектовања муниције за аутоматске пушке од великог значаја су маса зрна, почетна брзина на устима цеви и облик самог пројектила од којих зависи стабилност лета и аеродинамички коефицијенти. Као алтернатива тренутним калибрима у разматрању се врши пројекција и нове врсте муниције у калибру од 6 до 7 mm.

2. МАТЕМАТИЧКЕ МЕТОДЕ

Основни задатак унутрашње балистике је одређивање законитости развоја притиска барутних гасова и кретања пројектила у цеви оруђа. Да би се то урадило потребно је развити одређену теорију тј. дефинисати неопходне зависности између карактеристичних величина. Следећи изрази чине тзв. систем једначина унутрашње балистике:

- Основна једначина унутрашње балистике:

$$pS_c (X_\psi + X) = f_b m_b \Psi - \frac{k-1}{2} \varphi m v^2 \quad (2.1)$$

- Једначина кретања пројектила:

$$\varphi m \frac{dv}{dt} = pS_c \quad (2.2)$$

- Дефиниција брзине пројектила:

$$\frac{dX}{dt} = v \quad (2.3)$$

- Брзина сагоревања барута:

$$\frac{de}{dt} = u = u_1 p \quad (2.4)$$

- Релативна сагорела маса барута:

$$\Psi = \kappa y (1 + \lambda y + \mu y^2) \quad (2.5)$$

- Сведена дужина слободне запремине:

$$X_\psi = \frac{W_\psi}{S_c} = \frac{1}{S_c} \left[W_0 - \frac{m_b}{\delta} - m_b \Psi \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \right] \quad (2.6)$$

- Релативна сагоревајућа површина барутног зрна:

$$\sigma = 1 + 2\lambda y + 3\mu y^2 \quad \text{или} \quad \sigma = 1 + 2\lambda_1 y \quad (2.7)$$

Једначине (2.1) и (2.7) чине тзв. систем основних једначина. Поред њих користе се и други изведени изрази као помоћне једначине. Решавањем система основних једначина треба да се добију међусобне зависности карактеристика опаљења. То решавање може да се одвија аналитичким или нумеричким путем, па се отуда јављају одговарајуће методе. Под аналитичким методама подразумевају се методе код којих се основни систем решава одговарајућим математичким апаратом и дају изрази за поједине карактеристике опаљења у коначном облику. Под нумеричким методама подразумевају се методе код којих се основни систем само трансформише у облик погодан за нумеричко (рачунско) решавање. Једна од аналитичких метода јесте метода Дроздова.

2.1 Метода Дроздова

Метода Дроздова користи се за оруђа код којих се користи једна врста барута. То је сво стрелачко оружје, топови и хаубице када гађају са пуњењима од само једне врсте барута. Метода подразумева да су барутна зрна дегресивног облика.

Решавање основног система једначина врши се по периодима. Изузетак је време чији се прорачун даје јединствено за први и други период.

2.1.1 Претходни период

У претходном периоду нема кретања пројектила, већ само сагоревање барута у сталној запремини. Због овог није у интересу прорачун тока претходног периода, већ само прорачун вредности одговарајућих карактеристика на крају претходног периода. Величине које се рачунају су Ψ , σ и y . Њихове вредности на крају претходног периода означавају се индексом „нула“.

-Полазни подаци: $V, t, X, T, p = 0$.

- Независно променљива: нема, јер период кратко траје.

- Зависно променљиве: Ψ, σ, y .

- Крајњи подаци: $\Psi_0, \sigma_0, t_0, y_0$

Израз за притисак барутних гасова у сталној запремини за крај претходног периода може се написати у облику:

$$p_0 = \frac{f_b \rho \Psi_0}{1 - \frac{\rho}{\delta} - \rho \Psi_0 \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right)}$$

Из овог израза може се написати:

$$\Psi_0 = \frac{\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\delta}}{\frac{f_b}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\delta}} \quad (2.8)$$

Изрази (2.5) и (2.7) за крај претходног периода гласе:

$$\Psi_0 = \kappa_1 y_0 (1 + \lambda_1 y_0)$$

$$\sigma_0 = 1 + 2\lambda_1 y_0$$

Њиховим решавањем се добија:

$$\sigma_0 = \sqrt{1 + 4 \frac{\lambda_1}{\kappa_1} \Psi_0} \quad (2.9)$$

$$y_0 = \frac{2\Psi_0}{\kappa_1(\sigma_0 + 1)} \quad (2.10)$$

Време се обично мери од почетка првог периода. Али, ако се жели израчунати време трајања претходног периода, онда се то може одредити на основу израза за притисак у функцији времена у константној запремини, па се тако добија:

$$t_0 = \frac{I_k(1-\alpha\rho)}{f_b-\rho} \ln \frac{p_0}{p_p} \quad (2.11)$$

2.1.2 Први период

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

- Полазни подаци: $t=V=X=0$, $y_0, p_0, \sigma_0, \Psi_0$;
- За независну променљиву, помоћу које се изражавају све остале величине, аутор методе усваја релативну сагорелу дебљину барута од почетка првог периода.

$$x = y - y_0 \quad (2.12)$$

Током првог периода независна променљива се мења од вредности $x=0$ до вредности $x_k = 1 - y_0$.

- Зависно променљиве: $X=f(X), V=f(X), p=f(X), y=f(X), T=f(X)$.
- Крајњи подаци: t_k, T_k, X_k, p_k, V_k

2.1.3 Други период

Други период траје од краја сагоревања барута па до излетања пројектила из цеви оруђа. У другом периоду јавља се само ширење барутних гасова услед кретања пројектила

- Полазни подаци: X_k, V_k, p_k .
- Независно променљива: пут пројектила X . Мења се од X_k до X_u .
- Зависно променљиве: $V=f(X), p=f(X)$.
- Крајњи подаци: V_u, p_u, X_u .

2.2 Ојлеров класичан балистички модел

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 би се прорачунала путања пројектила у ваздушном простору неопходно је да се модел кретања стави у форму система диференцијалних једначина и да се те једначине реше.

Ојлер је поставио класичан балистички модел (Ојлеров модел – слика 17 [17]) путање, дефинисан следећим претпоставкама:

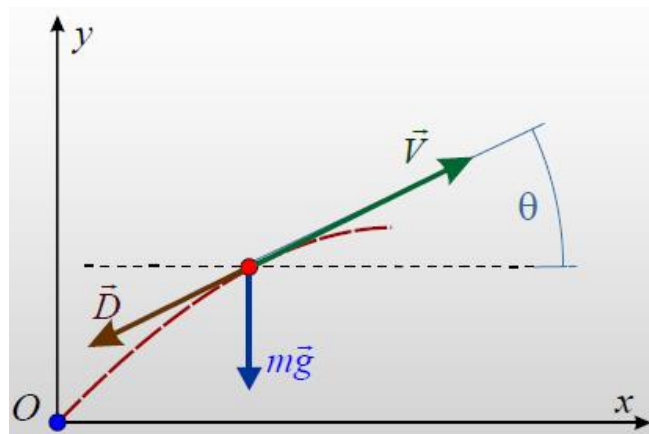
- Пројектил се разматра као материјална тачка;

- 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 тангентом на путањи (вектором брзине), а смер супротан смеру брзине;
- Пројектил се креће у статички и термодинамички 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.

Недостаци Ојлеровог балистичког модела:

- Не садржи компоненте аеродинамичких сила нормалних на брзину, односно ван равни гађања;
- Дефинисана сила отпора ваздуха D не зависи само од положаја тачке центра масе на путањи већ и од других фактора међу којима је најбитнији нападни угао;
- Сила земљине теже G је централна сила (неравномеран утицај у односу на дефинисане услове дејства аеродинамичког отпора).

Систем диференцијалних једначина кретања



Слика 17 – Ојлеров балистички модел [17]

Векторска једначина кретања пројектила:

$$m\vec{a} = \Sigma \vec{F} \quad (2.13)$$

за Ојлеров модел биће:

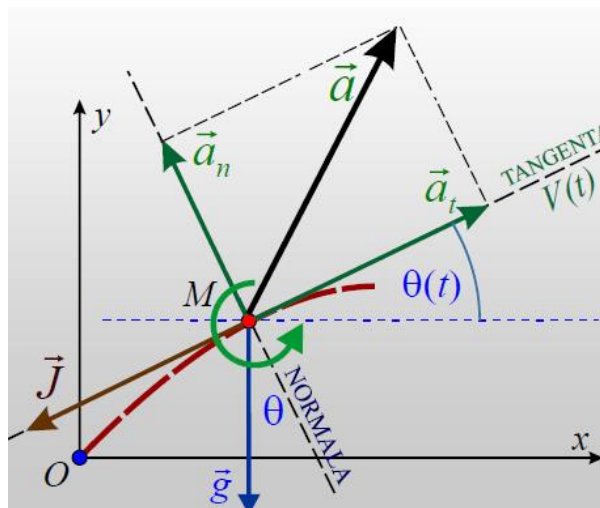
$$m\vec{a} = \vec{D} + \vec{G} \quad (2.14)$$

а после дељења са скаларом m (маса пројектила):

$$\vec{a} = \vec{j} + \vec{g} \quad (2.15)$$

Ову векторску једначину пројектоваће се на тангенту и на нормалу путање. Вектор $\vec{a}(a_T, a_N)$ има две компоненте. Дуж тангенте компонента убрзања је $a_T = \frac{dV}{dt}$, а друга компонента је дуж нормале на путању $a_N = V \frac{d\theta}{dt}$.

Са слике 18 [23] 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 18 – Компоненте убрзања [17]

Успорење ($-J$) 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: $a_T = \frac{dV}{dt} = -J - g \sin\theta$ и нормале: $a_N = V \frac{d\theta}{dt} = -g \cos\theta$.

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

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

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

Из једначине по a_T добија се брзина $V(t)$, а из једначине по a_N добија се $\theta(t)$. Уз диференцијалне једначине иду и почетни услови:

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

$$\text{или : } \dot{x}_0 = V_0 \cos\theta_0 \text{ и } \dot{y}_0 = V_0 \sin\theta_0.$$

3. ПРОРАЧУН БАЛИСТИЧКИХ ПАРАМЕТАРА

Енергија за покретање зрна добија се из барута. Осим физичко-хемијских карактеристика барута, велику улогу у балистичким карактеристикама има и геометријски облик барутних зрна. Главни проблем унутрашње балистике је одредити законитости кретања пројектила и развијање притиска унутар цеви оружја. То су најбитније карактеристике оружја што се тиче тактичких задатака, те конструкцијских решења оружја. Бројне су методе којима се решава главни проблем унутрашње балистике.

3.1 Анализа унутрашње-балистичког прорачуна (метода Дроздова)

У овом поглављу извршена је анализа унутрашње-балистичког прорачуна методом Дроздова датог у прилогу. На основу података и резултата мерења добијених из „Првог Партизана“ за 6,5 mm Grendel извршен је прорачун балистичких параметара.

Полазни подаци за прорачун, односно карактеристике барута су:

- Запремина барутне коморе $W_0 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
- Површина попречног пресека цеви $S = 33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$
- Укупан пут пројектила у цеви $X_u = 0,56 \text{ m}$
- Коефицијент фиктивности $\varphi = 1,2$
- Маса зрна $m = 0,007 \text{ kg}$
- Маса барутног пуњења $\omega = 0,002 \text{ kg}$
- Специфичан рад барутних гасова $f = 951080 \text{ J}$
- Коволумен барутних гасова $\alpha = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Однос специфичних топлота умањен за један $\Theta = 0,26$
- Половина дебљине барутног зрна $\epsilon_0 = 0,0002 \text{ m}$
- Коефицијент облика $\kappa = 1,18893$
- Коефицијент облика $\lambda = -0,15891$
- Јединична брзина сагоревања $u_1 = 0,81 \cdot 10^{-9}$
- Притисак форсирања $P_0 = 0,11 \cdot 10^8$
- Густина пуњења барутног пуњења $\Delta = 975 \text{ kg/m}^3$

Из унутрашње -балистичког прорачуна добијени су резултати за притисак (P), брзину (V), пут (X) и релативну сагорелу масу барута (Ψ) у функцији времена (t).

3.1.1 Претходни период

У претходном периоду пројектил стоји у месту и запремина барутне коморе W_0 остаје константна све док притисак барутних гасова не нарасте од нуле до притиска форсирања P_0 . Обзиром да се у овом периоду одвија само сагоревање барута, врши се прорачун

вредности одговарајућих карактеристика на крају претходног периода (y_0 , Ψ_0 , и σ_0). Њихове вредности на крају претходног периода су:

- Релативна сагорела дебљина барута на крају претходног периода $y_0=0.00388$
- Релативна сагорела маса барута на крају претходног периода $\Psi_0= 0.00461$
- Релативна површина горења на крају претходног периода $\sigma_0=0.99877$

3.1.2 Први период

У првом периоду врши се сагоревање барутног пуњења и истовремено кретање пројектила под дејством притиска образованих гасова који се нагло повећава достижући максималну вредност P_m . Истовремено долази и до повећања брзине и пређеног пута пројектила. Кретањем пројектила повећава се запремина иза пројектила у којој сагорева барут. До повећања притиска долази због тога што је у почетку мала брзина пројектила, па је прираштај запремине добијен кретањем пројектила мањи од запремине коју остварују барутни гасови. У моменту када се изједначе ова два услова по питању запремине јавиће се максимални притисак барутних гасова P_m . Тај тренутак је када време достигне вредност од $t=0,00044s$, а максимални притисак барутних гасова износи $P_m=3394bar$. После овога долази до пада притиска барутних гасова, а брзина и пређени пут пројектила се и даље повећавају. До повећања брзине и пута пројектила, без обзира што притисак опада, долази због тога што притисак још увек даје пројектилу позитивно убрзање, односно повећање брзине настаје као резултат рада притиска барутних гасова а то је површина испод криве притиска, тј интеграл функције притиска.

3.1.3 Други период

После завршетка сагоревања барута наступа други период. За метак 6,5 mm Grendel и барут SB520 нема другог периода јер није дошло до потпуног сагоревања барута, односно пројектил излази из цеви оруђа пре него што барут потпуно сагори, што се види из унутрашње балистичког прорачуна, датог у прилогу. Релативна сагорела маса барута Ψ има максималну вредност $\Psi= 0.854326$. Други период почиње када барут потпуно сагори, односно када је $\Psi=1$. Да би барут испунио одређене захтеве, а то су нпр. код карабинске муниције да максимални притисак не пређе одређену прописану вредност дефинисану стандардом, да се на устима цеви оствари прописана брзина и да сагоревање барута током кретања зрна кроз цев до изласка из цеви не достигне величину $\Psi=1$, мора се приликом конструкције барута постићи да његове физичко-хемијске карактеристике и геометрија барутног зрна испуне напред наведене захтеве. Код аутоматског оружја које ради на принципу позајмице барутних гасова поред наведених захтева, барут мора да испуни и захтев минималног притиска на позајмици барутних гасова.

3.1.4 Пиезоелектрична метода мерења притиска

Пиезоелектрична метода је електронска метода мерења притиска унутар цеви. Применом ове методе могу се добити следећи подаци:

- Максимални притисак барутних гасова;
- Притисак на позајмици барутних гасова;
- Почетна брзина зрна (у реалним условима на 25 метара од уста цеви);

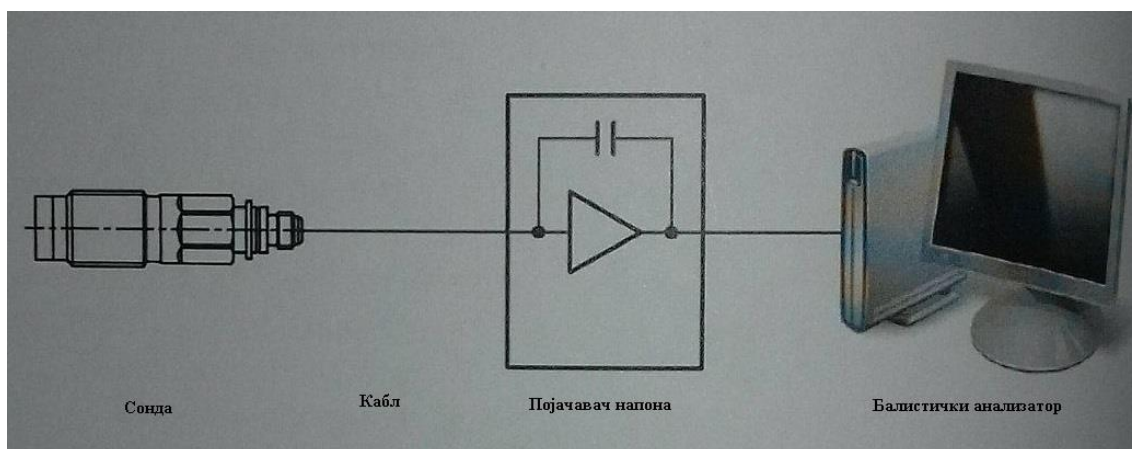
За балистичка испитивања и регистровање притиска се најчешће примењују пиезоелектричне сонде Kistler. Ове сонде су погодне са сва балистичка мерења од 100 до 6000 bar.

При експерименталним испитивањима која су рађена у фабрици муниције „Први Партизан“ за потребе овог дипломског рада коришћен је Kistler 6215 сонда. Овај тип сонде има следеће карактеристике:

- Одлична линеарност у целокупном мерном опсегу;
- Неосетљивост на различите моменте затезања и напоне на месту монтаже;
- Неосетљивост на насlage прљавштине и масноће;
- Предње заптивање, према томе веома мала мртва запремина;
- Могућа инсталација са додатном темепатуром и заштитом мембране;
- Дуг радни век.

Мерни ланац дат на слици 19 [18], састоји се од:

- сонде,
- кабла велике изолације,
- појачавача напона,
- балистичког анализатора.



Слика 19 – Блок шема мерне опреме (мерни ланац) [18]

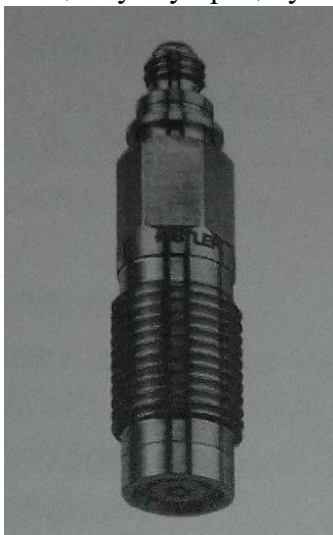
Мерни ланац представља упрошћену блок шема мерне опреме, у ширем смислу, мерна опрема (мерни систем) за мерење по NATO стандарду се састоји од:

- Опитне цеви са две сонде које мере максимални притисак и притисак на позајмици барутних гасова;
- Главе затварача, где се налази START прекидач, када почиње време мерења;
- Флеш детектора који се налази на устима цеви, где се зауставља време мерења STOP прекидачем, који ради на принципу детекције светлости;
- Појачавача напона за измерене притиске;
- Балистичког анализатора са рачунаром у коме је програм преко кога се добијају жељени подаци и дијаграм зависности излазних вредности;

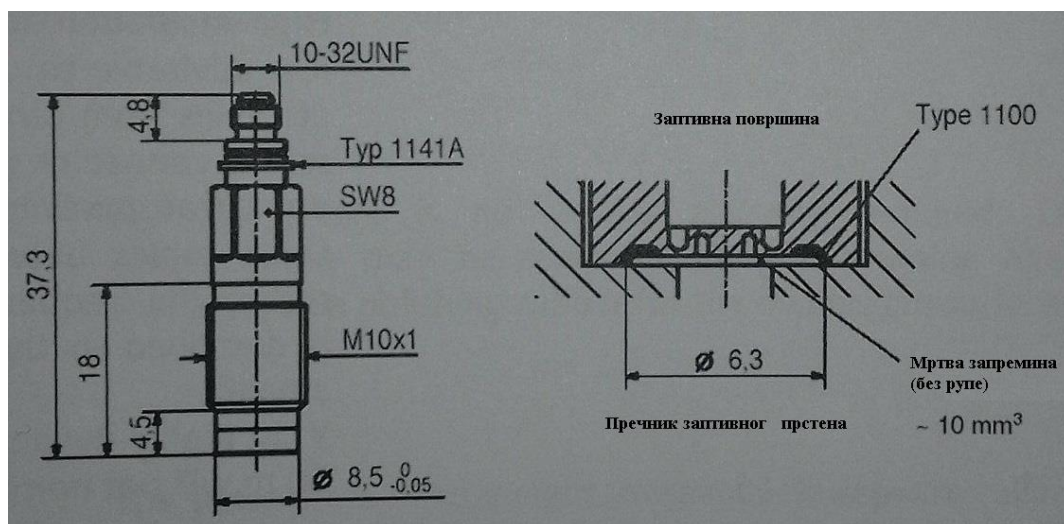
- Оптичких баријера за мерење брзине зрна на неком прописаном растојању (25 метара од уста цеви) од уста цеви у балистичком тунелу.

Преко НАТО мерне методе мери се притисак барутних гасова на устима чауре. За опите се примењује сонда Kistler 6215 (слика 20 и 21 [18]) према НАТО стандарду.

Муниција предвиђена за опит, пуца се према прописаној НАТО процедури. Претварање пиезоелектричног притиска је брза реакција на сонду високог притиска који може да издржи више од 2000 балистичких циклуса у процесу тестирања.

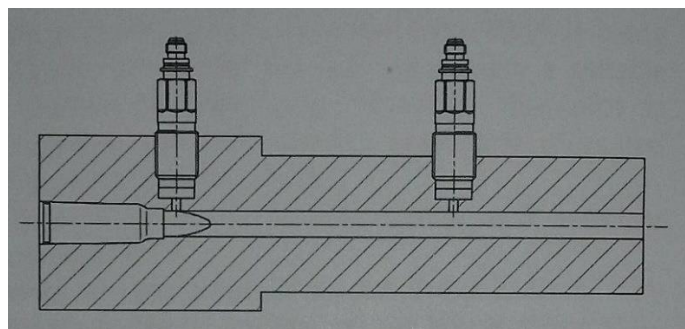


Слика 20 – Спољни изглед Kistler сонде модел 6215 [18]



Слика 21 – Kistler сонда модел 6215 [18]

Притисак на позајмници барутних гасова мери се на посебном мерном месту које је битно за аутоматска оружја. Наиме, на том месту мерења, одређена количина барутних гасова делује на клип повратног механизма аутоматике, што значи да се и одређена енергија троши на тај процес. Стога се притисак потребан за потискивање тог клипа,, мери на предвиђеним местима (слика 22 [18]), у зависности од врсте оружја за које се врши мерење.



Слика 22 – Шема мерења притиска на местима дуж цеви (позајмица барутних гасова)
[18]

Време опаљења

Време закашњења паљења (време опаљења) обухвата кратко време од тренутка удара ударне игле о дно иницијалне каписле до тренутка када дно пројектила напусти уста цеви. Ово време мора бити мање од времена рада аутоматике на оружју тј. мање од времена између удара ударне игле о дно каписле два метка која један за другим улазе у лежиште оружја. Вредности времена опаљења морају бити у оквиру прописаних вредности за дати артикал.

При експерименталним испитивањима у „Првом партизану“ време опаљења је мерено на другој опитној цеви, односно, овај опит је рађен посебно од пиезоелектичног мерења. Резултати мерења су дати у прилогу.

Време опаљења се мери хронометром. Да би се очитали подаци на хронометру, потребно је да му се да неки сигнал за START и STOP.

START сигнал се активира механички у тренутку удара ударне игле о дно каписле, а STOP сигнал (прекид рада хронометра) се такође активира механички у тренутку изласка зрна из уста цеви. Време закашњења паљења се затим очитава на хронометру.

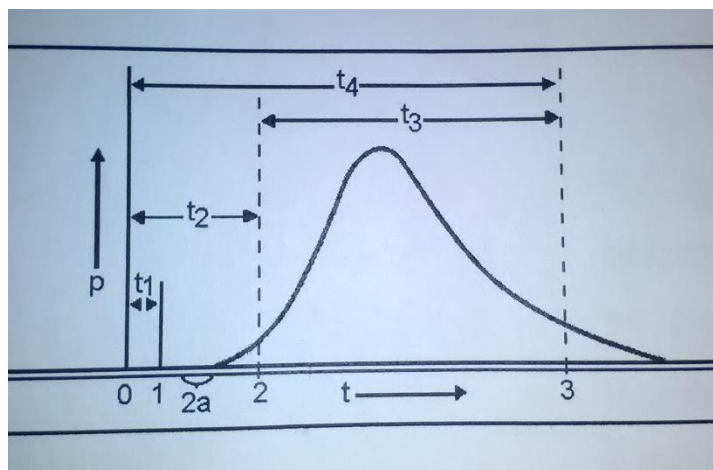
Мерење притиска у барутној комори је веома сложен процес због веома кратког времена трајања. Као излазни податак, након извршеног мерења, добија се дијаграм зависности развоја барутних гасова од времена трајања (слика.23 [18]). На дијаграму је приказана типична крива притиска у функцији времена и дефинисана интервалима времена опаљења:

t_1 – тзв. „мртво време“, време стварања притиска у каписли,

t_2 – време за које се створи 10% од максималног притиска барутних гасова (притисак форсирања),

t_3 – време кретања пројектила кроз цев,

t_4 – укупно време опаљења.

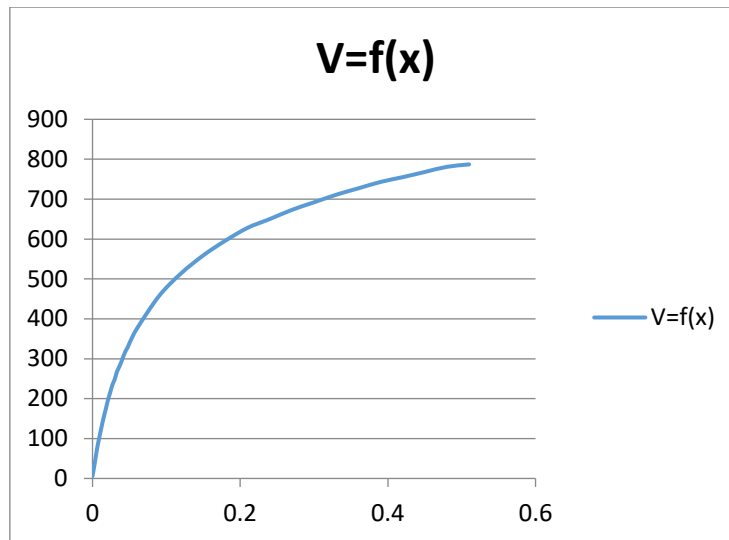


Слика 23 – Дијаграм притиска у функцији времена са дефинисаним интервалима времена опаљења [18]

Ради упоређивања теоријских са експерименталним вредностима, за потребе дипломског рада извршена су испитивања у „Првом партизану“. Испуцан је еталон од пет метака. Експерименталним испитивањима и мерењима добијено је да је средња вредност максималног притисака $P_m = 3183 \text{ bar}$. Из унутрашње балистичког прорачуна датог у прилогу се види да притисак барутних гасова достигне максималну вредност од $P_m = 3394 \text{ bar}$ за време од $t = 0,00044 \text{ s}$, што значи да је теоријска вредност максималног притисака приближно једнака експерименталној, што потврђује да је прорачун коректан. Такође, вредност почетне брзина пројектила на устима цеви је $V_0 = 788 \text{ m/s}$ за време $t = 0,00124 \text{ s}$, што је приближно једнако експерименталној вредности брзине која износи $V_{25} = 794 \text{ m/s}$ што опет потврђује да је прорачун коректан. Стандардом је прописано да се мерење брзине у реалним условима врши на 25 метара од уста цеви кроз две светлосне баријере.

Да би барут испунио одређене захтеве, а то су нпр. код карабинске муниције да максимални притисак не пређе одређену прописану вредност дефинисану стандардом, да се на устима цеви оствари прописана брзина и да сагоревање барута током кретања зрна кроз цев до изласка из цеви не достигне величину $\Psi = 1$, мора се приликом конструкције барута постићи да његове физичко-хемијске карактеристике и геометрија барутног зрна испуне напред наведене захтеве. Код аутоматског оружја које ради на принципу позајмице барутних гасова поред наведених захтева, барут мора да испуни и захтев минималног притиска на позајмици барутних гасова.

Посматрајући дијаграм (слика 24 [18]) брзине види се да је током кретања зрна кроз цев константно повећање брзине зрна, до изласка зрна из цеви што нам указује на то да је све време деловало позитивно убрзање на дно зрна од притиска барутних гасова, а док је позитивног убрзања, сагоревање барута није завршено.



Слика 24 – Дијаграм брзине у функцији пређеног пута [18]

3.2 Анализа спољнобалистичког прорачуна

Извршени су спољнобалистички прорачуни за три различита калибра аутоматских пушака и то АП М70 7,62×39 mm, АП М21 5,56×45 mm и АП Grendel 6,5×39 mm који су дати у прилогу. Прорачун је рађен упрошћеним Ојлеровим моделом, пројектил је посматран као материјална тачка и контролисан са постојећим таблицама гађања за 7,62 mm и 5,56 mm.

3.2.1 Анализа кинетичких енергија

Ради њиховог упоређивања потребно је извршити анализу њихових кинетичких енергија. Општа једначина за израчунавање кинетичке енергије је:

$$E_k = \frac{mV_c^2}{2},$$

где је m маса пројектила, а V_c брзина пројектила на циљу.

За 7,62×39 mm маса пројектила је $m=0,008$ kg, а из прорачуна датог у прилогу се види да је брзина на циљу на домету од 200 метара $V_c=520 \frac{m}{s}$, док на домету од 400 метара износи $V_c=370 \frac{m}{s}$. На домету од 200 метара кинетичка енергија овог пројектила износи:

$$E_k = \frac{0,008 \text{ kg} * (520 \frac{m}{s})^2}{2} = 1081,6 \text{ J},$$

док је кинетичка енергија на домету од 400 метара:

$$E_k = \frac{0,008 \text{ kg} * (370 \frac{m}{s})^2}{2} = 547,6 \text{ J}.$$

Маса пројектила 5,56×45 mm је $m=0,004 \text{ kg}$, а брзина на циљу на домету од 200 метара је $V_c=731 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, а на домету од 400 метара износи $V_c=568 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Кинетичка енергија овог пројектила на домету од 200 метара износи:

$$E_k = \frac{0,004 \text{ kg} * (731 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 1068,722 \text{ J},$$

а кинетичка енергија на домету од 400 метара је:

$$E_k = \frac{0,004 \text{ kg} * (568 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 645,248 \text{ J}.$$

Из спољнобалистичког прорачуна датог у прилогу се види да је за пројектил Grendel 6,5×39 mm масе $m=0,007 \text{ kg}$, добијена брзина на циљу на домету од 200 метара $V_c=666 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, а на домету од 400 метара $V_c=554 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Тако да кинетичка енергија на домету од 200 метара износи:

$$E_k = \frac{0,007 \text{ kg} * (666 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 1552,446 \text{ J},$$

а на домету од 400 метара кинетичка енергија је:

$$E_k = \frac{0,007 \text{ kg} * (554 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 1074,206 \text{ J}.$$

Упоређујући вредности израчунатих кинетичких енергија ова три калибра, закључује се да највећом кинетичком енергијом на циљу располаже Grendel 6,5×39 mm.

3.2.2 Анализа стабилности лета пројектила

Из прорачуна датог у табели 11 , упоредно посматрајући ова три калибра, на дометима од 100, 200, 400, 600 и 800 m, види се да је 6,5 mm Grendel што се тиче темена путање врло сличан калибру 5,56 mm. Као и калибар 5,56 mm, 6,5 mm Grendel има разантну путању (теме је на висини не више од 2 m) чак и на већим дометима (400, 600 m) што метак 7,62 mm нема. Такође, што се тиче пада брзине се види из прорачуна да Grendel има најмањи пад брзине у односу на друга два калибра, што је остварено бољим балистичким коефицијентом и мањим отпором ваздуха. Захваљујући мањем паду брзине, располаже већом кинетичком енергијом на већим дометима.

На даљини од 600 метара се најбоље виде боље карактеристике метка 6,5 mm Grendel упоређујући почетну брзину, крајњу брзину и појединачне масе пројектила.

Табела 11 – Спољнобалистички прорачуни упрошћеним Ојлеровим моделом

Калибар	Почетна брзина	Полазни угао		Домет	Висина темена	Падни угао		Падна брзина	Време лета
	V_0	E_0		X	Y	E_c		V_c	T
	[m/s]	60-00	[°]	[m]	[m]	60-00	[°]	[m/s]	[s]
AP M70 7,62x39 M67 C43 = 9,7984	720	1	0,060	100	0,03	1,1	0,066	616	0,15
		2,25	0,135	200	0,13	2,8	0,168	520	0,33
		5,88	0,353	400	0,77	9,2	0,552	370	0,79
		11,64	0,698	600	2,51	20,8	1,248	299	1,4
		19,8	1,188	800	6	37,8	2,268	250	2,13
AP M21 5,56x45 SS109 C43 = 8,123	914	0,6	0,036	100	0	1	0,060	821	0,12
		1,4	0,084	200	0,1	2	0,120	731	0,24
		3,3	0,198	400	0,4	5	0,300	568	0,55
		6,1	0,366	600	1,1	10	0,600	427	0,96
		10,3	0,618	800	2,8	21	1,260	330	1,5
Grendel 6,5x39 C43 = 5,6875	786	0,8	0,048	100	0,02	0,86	0,052	724	0,134
		1,7	0,102	200	0,09	1,9	0,114	666	0,28
		3,9	0,234	400	0,46	4,9	0,294	554	0,615
		6,6	0,396	600	1,24	9,5	0,570	457	1
		10,3	0,618	800	2,75	17	1,020	372	1,5

4. УПОРЕДНА АНАЛИЗА ПРОРАЧУНСКИХ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ РЕЗУЛТАТА

Циљ анализе јесте да се упореде карактеристичне вредности резултата прорачуна и измерених вредности добијених описаним испитивањима у претходном поглављу. На основу добијених резултата пиезоелектричне методе експерименталног дела дипломског рада, може се извршити упоредна анализа која је табеларно приказана у табели 11.

Табела 12 - Упоредна анализа резултата метка 6.5×39 mm Grendel

	Прорачунски резултати	Експериментални резултати
Притисак	3394 bar	3183 bar
Брзина	788 m/s	794 m/s
Време опаљења	1,24 ms	1,56 ms

На основу анализе, може се закључити да су вредности добијене прорачуном приближно једнаке експерименталним резултатима, што потврђује да је прорачун коректан.

На основу спољнобалистичког прорачуна датог у прилогу прикупљени су резултати за израчунавање кинетичке енергија три калибра (7,62×39 mm, 5,56×45 mm и 6,5×39 mm Grendel). На основу израчунатих кинетичких енергија у претходном поглављу, може се извршити њихова упоредна анализа која је приказана у табели 12.

Табела 13 – Анализа кинетичких енергија

Кинетичка енергија	На домету од 200 m	На домету од 400 m
7,62×39 mm	1081,6 J	547,6 J
5,56×45 mm	1068,7 J	645,2 J
6,5×39 mm Grendel	1552,4 J	1074,2 J

Анализом кинетичких енергија три калибра (7,62×39 mm, 5,56×45 mm и 6,5×39 mm Grendel) закључује се да 6,5×39 mm Grendel располаже највећом енергијом и на домету од 200 m и на домету од 400 m.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је обухваћена комплетна анализа балистичких параметара метка 6,5×39 mm Grendel. На самом почетку су описане неке од најпознатијих аутоматских пушака у свету, као и њихови најактуелнији калибри. Детаљно су дефинисане математичке методе, метода Дроздова и Ојлеров класичан балистички модел. Дата је детаљна анализа теоријског унутрашњобалистичког прорачуна методом Дроздова и спољнобалистичког прорачуна који су дати у прилогу. Дати су спољнобалистички прорачуни за три различита калибра аутоматских пушака (АП М70 7,62×39 mm, АП М21 5,56×45 mm и АП Grendel 6,5×39 mm), где је ради њиховог упоређивања дата и анализа кинетичких енергија. Закључено је да највећом кинетичком енергијом располаже Grendel 6,5×39 mm.

Експериментални део је вршен помоћу пиезоелектричне методе, која је такође описана у овом раду. Овом методом се добија максимални притисак барутних гасова, притисак на позајмици барутних гасова и почетна брзина зрна. Време опаљења је мерено на посебној опитној цеви. Резултати експеримента су дати у прилогу.

Експериментална део, односно, екпериментална испитивања су извршена у фабрици стрељачке муниције „Први Партизан“ из Ужица. Добијени резултати са испитивања су представљени табеларно, а затим упоређени са теоријским вредностима, како би се утврдила тачност резултата. Анализом је закључено да су експерименталне вредности резултата приближно једнаке теоријским, стога је прорачун коректан.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [6] W. H. B, Smith and Joseph E. Smith, The Book of Rifles, 1948, National Rifle Association
- [7] <https://www.browning.com/products/firearms/rifles/bar.html> 29.11.2017
- [8] Senich, Peter (1987). *The German Assault Rifle: 1935–1945*. Paladin Press
- [9] Article on "WWII German weapons during the Vietnam War". *WII After WII*. Wordpress.
- [10] Poyer, Joe. *The AK-47 and AK-74 Kalashnikov Rifles and Their Variations*. North Cape Publications. 2004.
- [11] <http://www.military-today.com/firearms/m16.htm> 10.12.2017.
- [12] http://www.military-today.com/firearms/hk_g3.htm 10.12.2017
- [13] "Fabrique Nationale FN FAL Battle Rifle (1953)". MilitaryFactory
- [14] <http://www.zastava-arms.rs/sr/militaryproduct/automatska-pu%C5%A1ka-m70-ab2> 22.12.2017.
- [15] <http://www.zastava-arms.rs/sr/militaryproduct/automat-m21-bs> 24.12.2017.
- [16] Каталог „Small Arms Ammunition“ фабрике стрељачке муниције „Први Партизан“
- [17] Презентације из предмета „Спољна балистика“ професора Дамира Јерковића
- [18] Литература из фабрике „Први Партизан“ из Ужица, 2018.

Списак слика

Слика 1: <i>Cei-Rigotti аутоматска пушка</i>	6
Слика 2: <i>Аутоматска пушка Browning (BAR)</i>	6
Слика 3: <i>Аутоматска пушка FG 42</i>	7
Слика 4: <i>Аутоматска пушка пушка Sturmgewehr 44</i>	7
Слика 5: <i>Аутоматска пушка АК-47</i>	10
Слика 6: <i>Аутоматска пушка М-16</i>	13
Слика 7: <i>Аутоматска пушка Heckler & Koch G3</i>	16
Слика 8: <i>Аутоамтска белгијска пушка FN FAL</i>	17
Слика 9: <i>Аутоматска пушка Застава М70</i>	20
Слика 10: <i>Аутоматска пушка Застава М21</i>	22
Слика 11: <i>5.56×45 mm NATO, максималне димензије метка</i>	24
Слика 12: <i>Изглед метка 5.56×45 mm NATO</i>	25
Слика 13: <i>Изглед метка 7.62×51mm NATO</i>	26
Слика 14: <i>Максималне димензије метка 7.62×39mm</i>	28
Слика 15: <i>Изглед метка 7.62×39mm</i>	28
Слика 16: <i>Максималне димензије метка 5,45×39 mm</i>	30
Слика 17: <i>Ојлеров балистички модел</i>	34
Слика 18: <i>Компоненте убрзања</i>	35
Слика 19: <i>Блок шема мерне опреме (мерни ланац)</i>	38
Слика 20: <i>Спољни изглед Kistler сонде модел 6215</i>	39
Слика 21: <i>Kistler сонда модел 6215</i>	39
Слика 22: <i>Шема мерења притиска на местима дуж цеви</i>	40
Слика 23: <i>Дијаграм притиска у функцији времена са дефинисаним интервалима времена опаљења</i>	41
Слика 24: <i>Дијаграм брзине у функцији пређеног пута</i>	42

Списак табела

Табела 1: Спецификације аутоматске пушке АК-47.....	10
Табела 2 : Спецификације пушке М-16.....	14
Табела 3 : Спецификације пушке Хеклер и Кох ГЗ.....	16
Табела 4 : Спецификације пушке FN FAL.....	18
Табела 5 : Спецификације пушке Застава М70.....	20
Табела 6 : Спецификације пушке Застава М21.....	22
Табела 7 : Техничке карактеристике метка 5.56×45mm NATO.....	25
Табела 8 : Техничке карактеристике метка 7.62×51mm NATO.....	26
Табела 9 : Техничке карактеристике метка 7.62×39 mm.....	28
Табела 10 : Тактичко техничке карактеристике метка 5,45×39 mm.....	30
Табела 11 : Спољнобалистички прорачуни упрошћеним Ојлеровим моделом.....	44
Табела 12 : Упоредна анализа резултата метка 6.5×39 mm Grendel.....	45
Табела 13 : Анализа кинетичких енергија.....	45

ПРИЛОЗИ

UB-PRORACUN METODOM DROZDOVA

ORUDJE: AP 6,5 MM grendel

BARUT: SB520

JEDINICE PO SI SISTEMU MERA

POLAZNI PODACI

W0=.000002 S=.000033 XU=0.56 FI=1.2000 M= 0.007

OM= 0.002 F= 951080. DELM=1600. ALFA=.00100 TETA=.260

E0=.00020 AKAPA=1.18893 LAM=-.15891 U1=.810E-09 P0=.110E+08

GUSTINA PUNJENJA DELTA=975.

PRETHODNI PERIOD

Y0=0.00388 PSI0=0.00461 SIG0=0.99877

PRVI PERIOD

I	Y	PSI	V	X	P	T
1	0.010524	0.012491	6.35	0.000	29682984.	0.00009
2	0.017165	0.020352	12.70	0.001	47854120.	0.00013
3	0.023805	0.028196	19.05	0.001	65448152.	0.00016
4	0.030446	0.036023	25.41	0.002	82441832.	0.00019
5	0.037087	0.043834	31.76	0.002	98825400.	0.00020
6	0.043728	0.051628	38.11	0.003	114595424.	0.00022

7	0.050369	0.059405	44.46	0.003	129752032.	0.00023
8	0.057009	0.067166	50.81	0.004	144297520.	0.00025
9	0.063650	0.074910	57.16	0.004	158236416.	0.00026
10	0.070291	0.082637	63.51	0.005	171573696.	0.00027
11	0.076932	0.090348	69.87	0.006	184315952.	0.00028
12	0.083572	0.098042	76.22	0.006	196470576.	0.00028
13	0.090213	0.105719	82.57	0.007	208045088.	0.00029
14	0.096854	0.113380	88.92	0.008	219048288.	0.00030
15	0.103495	0.121024	95.27	0.008	229489072.	0.00031
16	0.110136	0.128652	101.62	0.009	239376704.	0.00031
17	0.116776	0.136262	107.97	0.010	248721376.	0.00032
18	0.123417	0.143856	114.33	0.010	257532624.	0.00033
19	0.130058	0.151434	120.68	0.011	265821648.	0.00033
20	0.136699	0.158995	127.03	0.012	273598720.	0.00034
21	0.143339	0.166539	133.38	0.013	280874848.	0.00035
22	0.149980	0.174066	139.73	0.013	287661408.	0.00035
23	0.156621	0.181577	146.08	0.014	293969664.	0.00036
24	0.163262	0.189071	152.43	0.015	299810976.	0.00036
25	0.169903	0.196548	158.79	0.016	305196704.	0.00037
26	0.176543	0.204009	165.14	0.017	310138880.	0.00037
27	0.183184	0.211453	171.49	0.018	314649280.	0.00038
28	0.189825	0.218881	177.84	0.018	318739232.	0.00038
29	0.196466	0.226291	184.19	0.019	322421280.	0.00039
30	0.203106	0.233685	190.54	0.020	325706816.	0.00039
31	0.209747	0.241063	196.89	0.021	328607392.	0.00040
32	0.216388	0.248424	203.25	0.022	331135424.	0.00040
33	0.223029	0.255768	209.60	0.023	333302176.	0.00041
34	0.229670	0.263095	215.95	0.024	335119744.	0.00041
35	0.236310	0.270406	222.30	0.025	336599616.	0.00042
36	0.242951	0.277700	228.65	0.026	337752992.	0.00042
37	0.249592	0.284977	235.00	0.027	338591872.	0.00043
38	0.256233	0.292238	241.35	0.029	339127424.	0.00043

PM	0.260648	0.297057	245.58	0.029	339320928.	0.00044
39	0.262873	0.299482	247.71	0.030	339370464.	0.00044
40	0.269514	0.306710	254.06	0.031	339332576.	0.00044
41	0.276155	0.313921	260.41	0.032	339024576.	0.00045
42	0.282796	0.321115	266.76	0.033	338457568.	0.00045
43	0.289437	0.328292	273.11	0.035	337641632.	0.00046
44	0.296077	0.335453	279.46	0.036	336587296.	0.00046
45	0.302718	0.342597	285.81	0.037	335305280.	0.00047
46	0.309359	0.349725	292.17	0.039	333805376.	0.00047
47	0.316000	0.356835	298.52	0.040	332097888.	0.00047
48	0.322640	0.363930	304.87	0.041	330192224.	0.00048
49	0.329281	0.371007	311.22	0.043	328098144.	0.00048
50	0.335922	0.378068	317.57	0.044	325825088.	0.00049
51	0.342563	0.385112	323.92	0.046	323382144.	0.00049
52	0.349204	0.392140	330.27	0.048	320777984.	0.00050
53	0.355844	0.399150	336.63	0.049	318021888.	0.00050
54	0.362485	0.406145	342.98	0.051	315122240.	0.00051
55	0.369126	0.413122	349.33	0.053	312087232.	0.00051
56	0.375767	0.420083	355.68	0.054	308925472.	0.00052
57	0.382408	0.427027	362.03	0.056	305644288.	0.00052
58	0.389048	0.433955	368.38	0.058	302251808.	0.00053
59	0.395689	0.440865	374.73	0.060	298755136.	0.00053
60	0.402330	0.447760	381.08	0.062	295162368.	0.00054
61	0.408971	0.454637	387.44	0.064	291479840.	0.00054
62	0.415611	0.461498	393.79	0.066	287714656.	0.00055
63	0.422252	0.468342	400.14	0.068	283873728.	0.00056
64	0.428893	0.475170	406.49	0.071	279963360.	0.00056
65	0.435534	0.481980	412.84	0.073	275989984.	0.00057
66	0.442175	0.488775	419.19	0.075	271959424.	0.00057
67	0.448815	0.495552	425.54	0.078	267877840.	0.00058
68	0.455456	0.502313	431.90	0.080	263750528.	0.00058
69	0.462097	0.509057	438.25	0.083	259583488.	0.00059

70	0.468738	0.515785	444.60	0.085	255381408.	0.00060
71	0.475378	0.522496	450.95	0.088	251150048.	0.00060
72	0.482019	0.529190	457.30	0.091	246893824.	0.00061
73	0.488660	0.535867	463.65	0.094	242617792.	0.00061
74	0.495301	0.542528	470.00	0.097	238326416.	0.00062
75	0.501942	0.549173	476.36	0.100	234023776.	0.00063
76	0.508582	0.555800	482.71	0.103	229714400.	0.00063
77	0.515223	0.562411	489.06	0.106	225402352.	0.00064
78	0.521864	0.569005	495.41	0.110	221091392.	0.00065
79	0.528505	0.575583	501.76	0.113	216785136.	0.00065
80	0.535145	0.582144	508.11	0.117	212487072.	0.00066
81	0.541786	0.588688	514.46	0.120	208200928.	0.00067
82	0.548427	0.595215	520.82	0.124	203929632.	0.00068
83	0.555068	0.601726	527.17	0.128	199676496.	0.00068
84	0.561709	0.608221	533.52	0.132	195444288.	0.00069
85	0.568349	0.614698	539.87	0.136	191235648.	0.00070
86	0.574990	0.621159	546.22	0.141	187053568.	0.00071
87	0.581631	0.627603	552.57	0.145	182900320.	0.00072
88	0.588272	0.634031	558.92	0.150	178778560.	0.00072
89	0.594912	0.640442	565.28	0.155	174690064.	0.00073
90	0.601553	0.646836	571.63	0.160	170637520.	0.00074
91	0.608194	0.653214	577.98	0.165	166622672.	0.00075
92	0.614835	0.659575	584.33	0.170	162647264.	0.00076
93	0.621476	0.665919	590.68	0.176	158713232.	0.00077
94	0.628116	0.672247	597.03	0.181	154822208.	0.00078
95	0.634757	0.678558	603.38	0.187	150975856.	0.00079
96	0.641398	0.684852	609.74	0.193	147175328.	0.00080
97	0.648039	0.691130	616.09	0.200	143422208.	0.00081
98	0.654679	0.697390	622.44	0.206	139717824.	0.00082
99	0.661320	0.703635	628.79	0.213	136063152.	0.00083
**	0.667961	0.709862	635.14	0.220	132459216.	0.00084
**	0.674602	0.716073	641.49	0.228	128907200.	0.00085

**	0.681243	0.722268	647.84	0.235	125407656.	0.00086
**	0.687883	0.728445	654.20	0.243	121961672.	0.00088
**	0.694524	0.734606	660.55	0.251	118569864.	0.00089
**	0.701165	0.740751	666.90	0.260	115232792.	0.00090
**	0.707806	0.746878	673.25	0.269	111951104.	0.00092
**	0.714446	0.752989	679.60	0.278	108725384.	0.00093
**	0.721087	0.759083	685.95	0.287	105555904.	0.00094
**	0.727728	0.765161	692.30	0.297	102442904.	0.00096
**	0.734369	0.771222	698.66	0.308	99386896.	0.00097
**	0.741010	0.777266	705.01	0.318	96388080.	0.00099
**	0.747650	0.783294	711.36	0.329	93446480.	0.00100
**	0.754291	0.789305	717.71	0.341	90562288.	0.00102
**	0.760932	0.795299	724.06	0.353	87735536.	0.00104
**	0.767573	0.801277	730.41	0.366	84966176.	0.00105
**	0.774213	0.807238	736.76	0.379	82254288.	0.00107
**	0.780854	0.813182	743.12	0.392	79599704.	0.00109
**	0.787495	0.819110	749.47	0.407	77002136.	0.00111
**	0.794136	0.825021	755.82	0.421	74461528.	0.00113
**	0.800777	0.830915	762.17	0.437	71977616.	0.00115
**	0.807417	0.836793	768.52	0.453	69550192.	0.00117
**	0.814058	0.842654	774.87	0.470	67178736.	0.00119
**	0.820699	0.848499	781.22	0.487	64862980.	0.00121
**	0.827340	0.854326	787.58	0.506	62602692.	0.00124

NEPOTPUNO SAGOREVANJE

Job	16pp IV	Date/Time Fired:	7/20/2017 / 9:06:09 AM
LOT:	PPU16PP	CONTRACT:	IV grupa
PROPELLANT LOT	SB520 ser1688	WEIGHT (gr) :	1.87g
SPECIFICATION:		REQUIREMENTS:	Full
CASE LOT:		BULLET LOT:	
FUSE LOT:		PRIMER LOT:	4.5/3-U-5.56
GUN TYPE:	Barell	BARREL NO:	ZA-1701009
REL HUMIDITY:	75%	ATMOS.PRESSURE:	1013 bar
ROUND TEMPERATURE:	+21C		

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar	Port Bar			
1	795.8	1.56	3551	1316			
2	793.68	1.58	3546	1312			
3	794.44	1.59	3564	1301			
4	803.83	1.54	3619	1299			
5	794.28	1.55	3412	1303			
6	788.02	1.59	3272	1314			
7	799.97	1.53	3430	1314			
8	796.05	1.54	3461	1314			
9	792.05	1.34	3287	1316			
10	799.36	1.58	3371	1305			

Mean	795.75	1.54	3451.30	1309.40
Standard Dev.	4.45	0.07	118.98	6.64
Maximum	803.83	1.59	3619.00	1316.00
Minimum	788.02	1.34	3272.00	1299.00
Max - Min	15.81	0.25	347.00	17.00
Correction				
Corr Mean				

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

Job	16pp III	Date/Time Fired:	7/20/2017 / 7:42:27 AM
LOT:	PPU16PP	CONTRACT:	III grupa
PROPELLANT LOT	SB520 ser1688	WEIGHT (gr) :	1.87g
SPECIFICATION:		REQUIREMENTS:	Full
CASE LOT:		BULLET LOT:	
FUSE LOT:		PRIMER LOT:	4.5/3-U-5.56
GUN TYPE:	Barell	BARREL NO:	ZA-1701009
REL HUMIDITY:	75%	ATMOS.PRESSURE:	1013 bar
ROUND TEMPERATURE:	+21C		

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar	Port Bar			
1	791.17	1.57	3477	1321			
2	797.29	1.58	3387	1327			
3	799.97	1.54	3738	1310			
4	790.42	1.6	3632	1323			
5	794.91	1.56	3396	1310			
6	797.51	1.55	3716	1294			
7	795.2	1.58	3449	1314			
8	799.2	1.55	3441	1321			
9	787.15	1.59	3267	1322			
10	795.04	1.55	3575	1307			

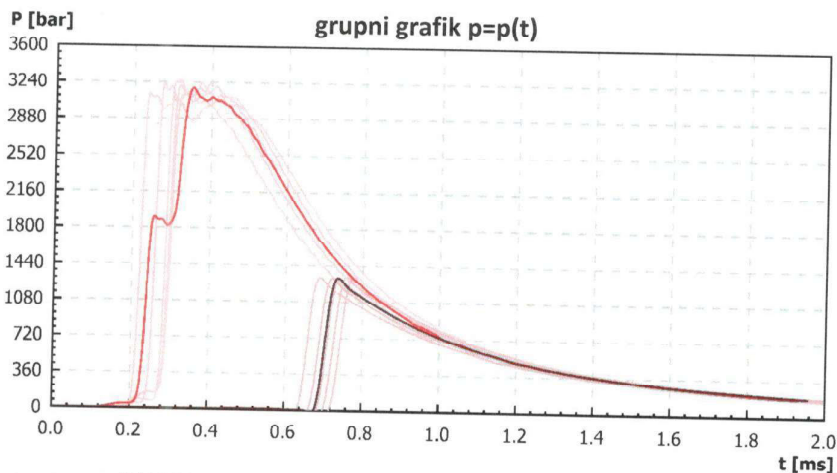
Mean	794.79	1.57	3507.80	1314.90
Standard Dev.	4.09	0.02	152.83	9.92
Maximum	799.97	1.60	3738.00	1327.00
Minimum	787.15	1.54	3267.00	1294.00
Max - Min	12.82	0.06	471.00	33.00
Correction				
Corr Mean				

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

PRVI PARTIZAN AD UŽICE - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev: Cev: 6,5 GREND Broj cevi: 1701-018	Metak: Kalibar: 6,5mm GREND Zrno tip: FMJ Masa: _____ g Masa: 7 gr Kapisla: ,	Ref.vrednosti: V: 795 m/s Pm: 3566.0 bar Ppoz: 1298.0 bar M.mesto: 25 m Baza: 2 m	Merna oprema: Pretvarač: P: Kistler 6215, 1.395 pC/bar Ppoz: Kistler 6215, 1.410 pC/bar Pojačavač: Kistler 5018A Akviziциони modul: NI PCI-6133
T/vlaga: 21 °C, 65%			
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-660, PPU-16 11.04.2018.			
Napomena: A-660			

R.b.	V [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]	t1 [ms]	t2 [ms]	tPm [ms]	At [ms]	tP2 [ms]	tP2m [ms]	t4 [ms]
1	796.18	3260.6	1311.7	0.1940	0.2760	0.3180	-0.1940	0.6920	0.7400	0.0000
2	797.45	3205.4	1329.0	0.1920	0.2820	0.3180	-0.1920	0.7100	0.7580	0.0000
3	789.27	3140.1	1321.7	0.2000	0.2100	0.3340	-0.2000	0.6420	0.6900	0.0000
4	789.89	3072.8	1323.4	0.1900	0.2820	0.4180	-0.1900	0.7260	0.7760	0.0000
5	795.54	3235.3	1314.0	0.1780	0.2480	0.3740	-0.1780	0.6720	0.7220	0.0000
Sr.vred:	793.67	3182.8	1320.0	0.1908	0.2596	0.3524	-0.1908	0.6884	0.7372	0.0000
Max:	797.45	3260.6	1329.0	0.2000	0.2820	0.4180	-0.1780	0.7260	0.7760	0.0000
Min:	789.27	3072.8	1311.7	0.1780	0.2100	0.3180	-0.2000	0.6420	0.6900	0.0000
Rv/Rp:	8.18	187.8	17.3	0.0220	0.0720	0.1000	0.0220	0.0840	0.0860	0.0000
Std.Dev:	3.80	76.2	7.1	0.0081	0.0311	0.0432	0.0081	0.0328	0.0332	0.0000
Korekcija:	1.33	383.2	-22.0							
Korigovano:	795.00	3566.0	1298.0							
Pm _{kor} +3·Sd:		3794.6								
P2m _{kor} -3·Sd:			1276.7							



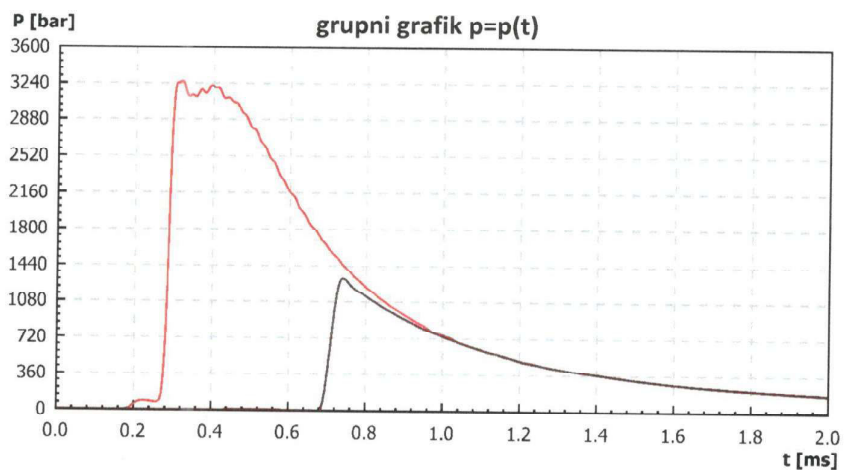
obrada izvršena po programu BALPPU v1.0

odgovorno lice: _____

PRVI PARTIZAN AD Užice - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev: Cev: 6,5 GRENDL Broj cevi: 1701-018 T/vlaga: 21 °C, 65%	Metak: Kalibar: 6,5mm GRENDL Zrno tip: FMJ Masa: _____ g Masa: 7 gr Kapisla: ,	Ref.vrednosti: V: 795 m/s Pm: 3566.0 bar Ppoz: 1298.0 bar M.mesto: 25 m Baza: 2 m	Merna oprema: Pretvarač: P: Kistler 6215, 1.395 pC/bar Ppoz: Kistler 6215, 1.410 pC/bar Pojačavač: Kistler 5018A Akvizionni modul: NI PCI-6133
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-660, PPU-16 11.04.2018.			
Napomena: A-660			

R.b.	V [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]	t1 [ms]	t2 [ms]	tPm [ms]	At [ms]	tP2 [ms]	tP2m [ms]	t4 [ms]
1	796.18	3260.6	1311.7	0.1940	0.2760	0.3180	-0.1940	0.6920	0.7400	0.0000
Sr.vred:	796.18	3260.6	1311.7	0.1940	0.2760	0.3180	-0.1940	0.6920	0.7400	0.0000
Max:	796.18	3260.6	1311.7	0.1940	0.2760	0.3180	-0.1940	0.6920	0.7400	0.0000
Min:	796.18	3260.6	1311.7	0.1940	0.2760	0.3180	-0.1940	0.6920	0.7400	0.0000
Rv/Rp:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Std.Dev:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Korekcija:	-1.18	305.4	-13.7							
Korigovano:	795.00	3566.0	1298.0							
Pm_{kor} +3•Sd:		3566.0								
P2m_{kor} -3•Sd:			1298.0							



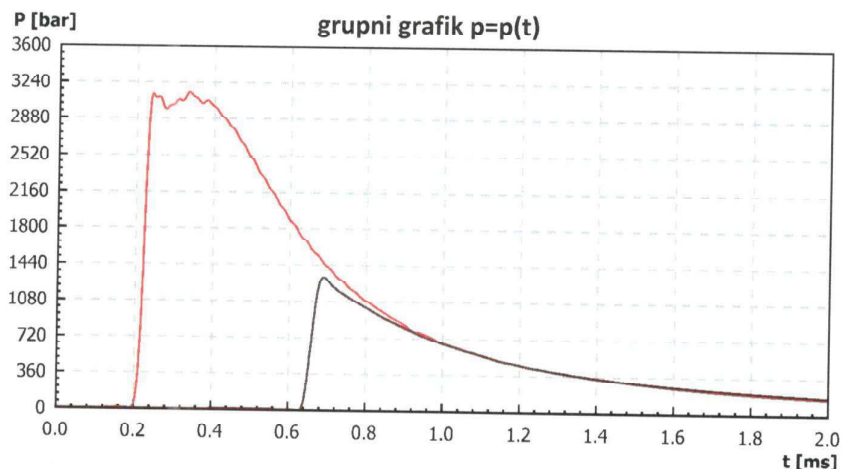
obrađa izvršena po programu BALPPU v1.0

odgovorno lice: _____

PRVI PARTIZAN AD Užice - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev: Cev: 6,5 GREND Broj cevi: 1701-018	Metak: Kalibar: 6,5mm GREND Zrno tip: FMJ Masa: _____ g Masa: 7 gr Kapisla: ,	Ref.vrednosti: V: 795 m/s Pm: 3566.0 bar Ppoz: 1298.0 bar M.mesto: 25 m Baza: 2 m	Merna oprema: Pretvarač: P: Kistler 6215, 1.395 pC/bar Ppoz: Kistler 6215, 1.410 pC/bar Pojačavač: Kistler 5018A Akvizicioni modul: NI PCI-6133
T/vlaga: 21 °C, 65%			
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-660, PPU-16 11.04.2018.			
Napomena: A-660			

R.b.	V [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]	t1 [ms]	t2 [ms]	tPm [ms]	At [ms]	tP2 [ms]	tP2m [ms]	t4 [ms]
1	789.27	3140.1	1321.7	0.2000	0.2100	0.3340	-0.2000	0.6420	0.6900	0.0000
Sr.vred:	789.27	3140.1	1321.7	0.2000	0.2100	0.3340	-0.2000	0.6420	0.6900	0.0000
Max:	789.27	3140.1	1321.7	0.2000	0.2100	0.3340	-0.2000	0.6420	0.6900	0.0000
Min:	789.27	3140.1	1321.7	0.2000	0.2100	0.3340	-0.2000	0.6420	0.6900	0.0000
Rv/Rp:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Std.Dev:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Korekcija:	5.73	425.9	-23.7							
Korigovano:	795.00	3566.0	1298.0							
Pm_{kor}+3·Sd:		3566.0								
P2m_{kor}-3·Sd:			1298.0							



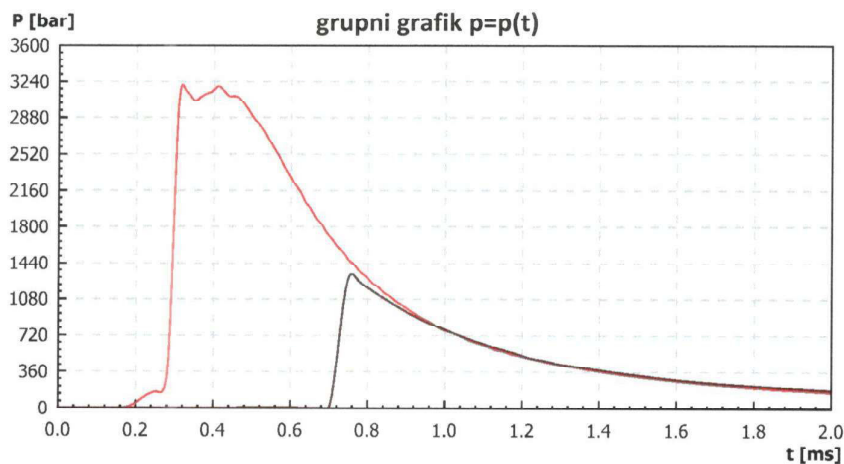
obrada izvršena po programu BALPPU v1.0

odgovorno lice: _____

PRVI PARTIZAN AD Užice - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev: Cev: 6,5 GREND Broj cevi: 1701-018 T/vlaga: 21 °C, 65%	Metak: Kalibar: 6,5mm GREND Zrno tip: FMJ Masa: _____ g Masa: 7 gr Kapisla: ,	Ref.vrednosti: V: 795 m/s Pm: 3566.0 bar Ppoz: 1298.0 bar M.mesto: 25 m Baza: 2 m	Merna oprema: Pretvarač: P: Kistler 6215, 1.395 pC/bar Ppoz: Kistler 6215, 1.410 pC/bar Pojačavač: Kistler 5018A Akvizionni modul: NI PCI-6133
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-660, PPU-16 11.04.2018.			
Napomena: A-660			

R.b.	V [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]	t1 [ms]	t2 [ms]	tPm [ms]	At [ms]	tP2 [ms]	tP2m [ms]	t4 [ms]
1	797.45	3205.4	1329.0	0.1920	0.2820	0.3180	-0.1920	0.7100	0.7580	0.0000
Sr.vred:	797.45	3205.4	1329.0	0.1920	0.2820	0.3180	-0.1920	0.7100	0.7580	0.0000
Max:	797.45	3205.4	1329.0	0.1920	0.2820	0.3180	-0.1920	0.7100	0.7580	0.0000
Min:	797.45	3205.4	1329.0	0.1920	0.2820	0.3180	-0.1920	0.7100	0.7580	0.0000
Rv/Rp:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Std.Dev:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Korekcija:	-2.45	360.6	-31.0							
Korigovano:	795.00	3566.0	1298.0							
Pm_{kor} +3·Sd:		3566.0								
P2m_{kor} -3·Sd:			1298.0							



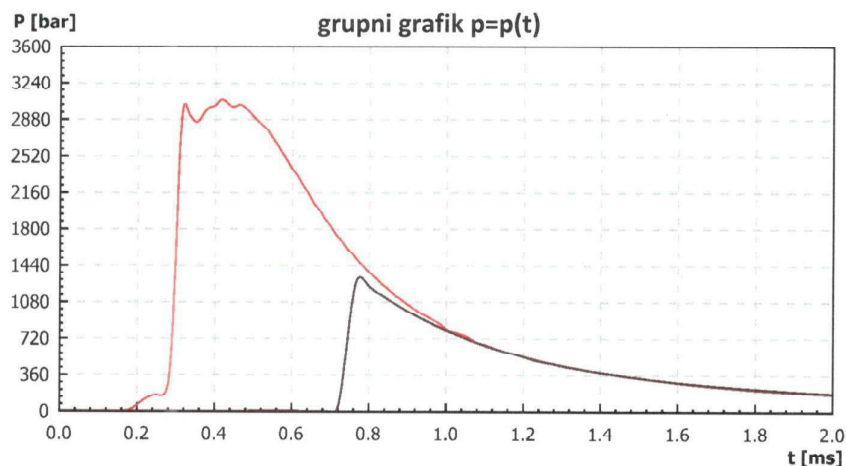
obrađena izvršena po programu BALPPU v1.0

odgovorno lice: _____

PRVI PARTIZAN AD UŽICE - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev:	Metak:	Ref.vrednosti:	Merna oprema:
Cev: 6,5 GRENDL Broj cevi: 1701-018	Kalibar: 6,5mm GRENDL Zrno tip: FMJ Masa: _____ g Masa: 7 gr Kapisla: ,	V: 795 m/s Pm: 3566.0 bar Ppoz: 1298.0 bar M.mesto: 25 m Baza: 2 m	Pretvarač: P: Kistler 6215, 1.395 pC/bar Ppoz: Kistler 6215, 1.410 pC/bar Pojačavač: Kistler 5018A Akviziциони modul: NI PCI-6133
T/vlaga: 21 °C, 65%			
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-660, PPU-16 11.04.2018.			
Napomena: A-660			

R.b.	V [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]	t1 [ms]	t2 [ms]	tPm [ms]	At [ms]	tP2 [ms]	tP2m [ms]	t4 [ms]
1	789.89	3072.8	1323.4	0.1900	0.2820	0.4180	-0.1900	0.7260	0.7760	0.0000
Sr.vred:	789.89	3072.8	1323.4	0.1900	0.2820	0.4180	-0.1900	0.7260	0.7760	0.0000
Max:	789.89	3072.8	1323.4	0.1900	0.2820	0.4180	-0.1900	0.7260	0.7760	0.0000
Min:	789.89	3072.8	1323.4	0.1900	0.2820	0.4180	-0.1900	0.7260	0.7760	0.0000
Rv/Rp:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Std.Dev:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Korekcija:	5.11	493.2	-25.4							
Korigovano:	795.00	3566.0	1298.0							
Pm _{kor} +3·Sd:		3566.0								
P2m _{kor} -3·Sd:			1298.0							



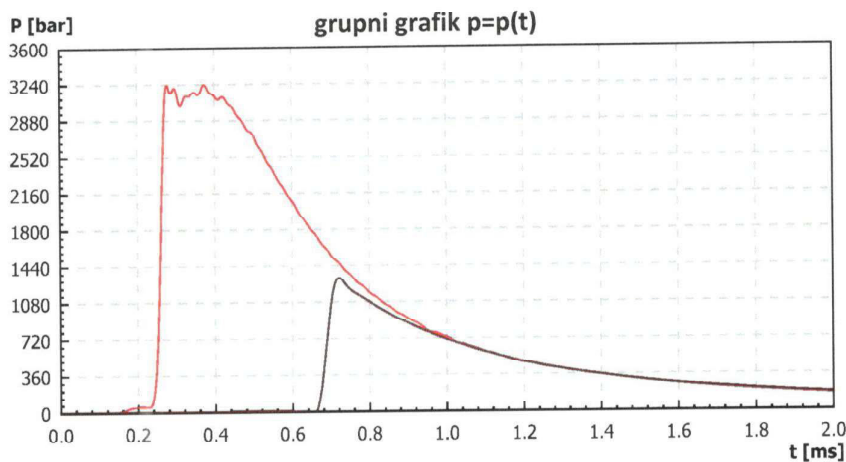
obrada izvršena po programu BALPPU v1.0

odgovorno lice: _____

PRVI PARTIZAN AD UŽICE - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev:	Metak:	Ref.vrednosti:	Merna oprema:
Cev: 6,5 GRENDL Broj cevi: 1701-018	Kalibar: 6,5mm GRENDL Zrno tip: FMJ Masa: _____ g Masa: 7 gr Kapsla: ,	V: 795 m/s Pm: 3566.0 bar Ppoz: 1298.0 bar M.mesto: 25 m Baza: 2 m	Pretvarač: P: Kistler 6215, 1.395 pC/bar Ppoz: Kistler 6215, 1.410 pC/bar Pojačavač: Kistler 5018A Akvizicioni modul: NI PCI-6133
T/vlaga: 21 °C, 65%			
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-660, PPU-16 11.04.2018.			
Napomena: A-660			

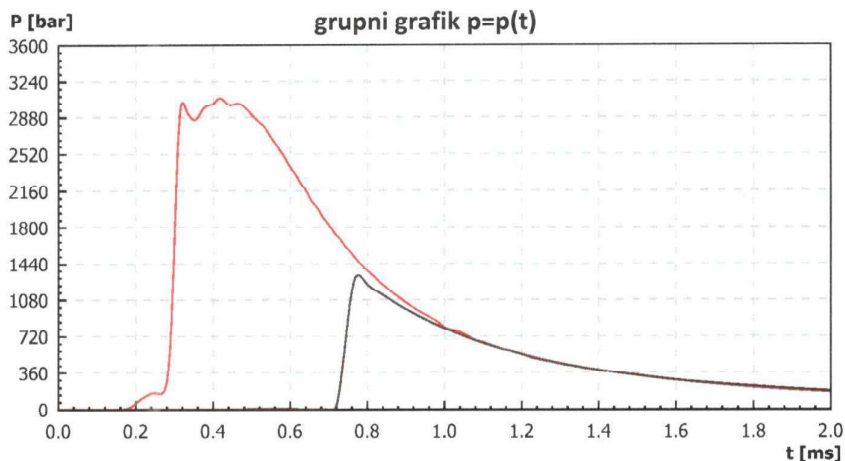
R.b.	V [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]	t1 [ms]	t2 [ms]	tPm [ms]	At [ms]	tP2 [ms]	tP2m [ms]	t4 [ms]
1	795.54	3235.3	1314.0	0.1780	0.2480	0.3740	-0.1780	0.6720	0.7220	0.0000
Sr.vred:	795.54	3235.3	1314.0	0.1780	0.2480	0.3740	-0.1780	0.6720	0.7220	0.0000
Max:	795.54	3235.3	1314.0	0.1780	0.2480	0.3740	-0.1780	0.6720	0.7220	0.0000
Min:	795.54	3235.3	1314.0	0.1780	0.2480	0.3740	-0.1780	0.6720	0.7220	0.0000
Rv/Rp:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Std.Dev:	0.00	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Korekcija:	-0.54	330.7	-16.0							
Korigovano:	795.00	3566.0	1298.0							
Pm _{kor} +3·Sd:		3566.0								
P2m _{kor} -3·Sd:			1298.0							



PRVI PARTIZAN AD Užice - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev: Cev: 6,5 GREND Broj cevi: 1701-018	Metak: Kalibar: 6,5mm GREND Zrno tip: FMJ Masa: _____ g Masa: 7 gr Kapisla: ,	Ref.vrednosti: V: 795 m/s Pm: 3566.0 bar Ppoz: 1298.0 bar M.mesto: 25 m Baza: 2 m	Merna oprema: Pretvarač: P: Kistler 6215, 1.395 pC/bar Ppoz: Kistler 6215, 1.410 pC/bar Pojačavač: Kistler 5018A Akvizicioni modul: NI PCI-6133
T/vlaga: 21 °C, 65%			
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-660, PPU-16 11.04.2018.			
Napomena: A-660			

R.b.	V [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]	t1 [ms]	t2 [ms]	tPm [ms]	At [ms]	tP2 [ms]	tP2m [ms]	t4 [ms]
1	796.18	3260.6	1311.7	0.1940	0.2760	0.3180	-0.1940	0.6920	0.7400	0.0000
2	797.45	3205.4	1329.0	0.1920	0.2820	0.3180	-0.1920	0.7100	0.7580	0.0000
3	789.27	3140.1	1321.7	0.2000	0.2100	0.3340	-0.2000	0.6420	0.6900	0.0000
4	789.89	3072.8	1323.4	0.1900	0.2820	0.4180	-0.1900	0.7260	0.7760	0.0000
5	795.54	3235.3	1314.0	0.1780	0.2480	0.3740	-0.1780	0.6720	0.7220	0.0000
Sr.vred:	793.67	3182.8	1320.0	0.1908	0.2596	0.3524	-0.1908	0.6884	0.7372	0.0000
Max:	797.45	3260.6	1329.0	0.2000	0.2820	0.4180	-0.1780	0.7260	0.7760	0.0000
Min:	789.27	3072.8	1311.7	0.1780	0.2100	0.3180	-0.2000	0.6420	0.6900	0.0000
Rv/Rp:	8.18	187.8	17.3	0.0220	0.0720	0.1000	0.0220	0.0840	0.0860	0.0000
Std.Dev:	3.80	76.2	7.1	0.0081	0.0311	0.0432	0.0081	0.0328	0.0332	0.0000
Korekcija:	1.33	383.2	-22.0							
Korigovano:	795.00	3566.0	1298.0							
Pm _{kor} +3·Sd:		3794.6								
P2m _{kor} -3·Sd:			1276.7							



obrađa izvršena po programu BALPPU v1.0

odgovorno lice:

Numerički rezultati

U zavisnosti od izbora vrste merenja, tabelarni prikaz sadrži relevantne numeričke rezultate. Panel za prikaz numeričkih rezultata je podeljen na dva dela.

R.b.	V [m/s]	Pm [MPa]	P2m [MPa]	t1 [ms]	t2 [ms]	tPm [ms]	At [ms]	tP2 [ms]	tP2m [ms]	t4 [ms]
☒	1	970.87	359.2	127.4	0.0020	0.0240	0.2300	0.7380	0.4740	0.5380
☒	2	970.87	360.3	126.8	0.0040	0.0280	0.2240	0.7280	0.4680	0.5320
☒	3	965.25	350.6	125.6	0.0040	0.0320	0.2400	0.7460	0.4880	0.5520
☒	4	960.62	345.8	126.1	0.0020	0.0240	0.2340	0.7440	0.4840	0.5480
☒	5	969.93	359.3	126.6	0.0040	0.0220	0.2220	0.7300	0.4720	0.5360
☒	6	980.39	374.5	126.2	0.0040	0.0220	0.2180	0.7180	0.4660	0.5300
☒	7	973.71	357.8	125.6	0.0020	0.0260	0.2280	0.7340	0.4760	0.5400
☒	8	958.77	342.1	125.5	0.0020	0.0240	0.2380	0.7500	0.4880	0.5520
☒	9	967.12	354.5	125.1	0.0040	0.0300	0.2360	0.7400	0.4840	0.5480
☒	10	966.18	354.3	124.9	0.0040	0.0280	0.2340	0.7380	0.4820	0.5460
☒	11	972.76	364.8	125.3	0.0040	0.0200	0.2200	0.7220	0.4660	0.5320
☒	12	968.99	357.4	125.9	0.0020	0.0180	0.2260	0.7380	0.4780	0.5420
☒	13	976.56	362.5	125.5	0.0040	0.0280	0.2300	0.7320	0.4760	0.5420
☒	14	969.93	351.2	125.8	0.0020	0.0320	0.2460	0.7520	0.4920	0.5580
☒	15	979.43	369.9	126.0	0.0040	0.0320	0.2340	0.7340	0.4800	0.5440
☒	16	973.71	359.9	125.3	0.0040	0.0280	0.2300	0.7340	0.4780	0.5420
☒	17	979.43	372.2	126.4	0.0040	0.0300	0.2280	0.7260	0.4720	0.5380
☒	18	973.71	351.5	124.6	0.0060	0.0240	0.2220	0.7200	0.4660	0.5300
☒	19	968.99	351.3	125.1	0.0040	0.0180	0.2220	0.7280	0.4700	0.5340
Sr.vred:	971.28	358.4	125.7	0.0035	0.0259	0.2294	0.7338	0.4765	0.5410	0.5373
Max:	980.39	374.5	127.4	0.0060	0.0320	0.2460	0.7520	0.4920	0.5580	0.5540
Min:	958.77	342.1	124.6	0.0020	0.0180	0.2180	0.7180	0.4660	0.5300	0.5220
Rv/Rp:	21.62	32.4	2.8	0.0040	0.0140	0.0280	0.0340	0.0260	0.0280	0.0320
Std.Dev:	5.98	8.6	0.7	0.0010	0.0045	0.0073	0.0096	0.0079	0.0079	0.0089
Korekcija:	-2.46	-3.2	2.9							
Korigovano:	968.82	355.2	128.6							

Gornji deo panela prikazuje rezultate pojedinačnih merenja u okviru tekuće grupe.

U slučaju EPVAT vrste merenja, tabela sadrži sledeće kolone:

- dugme za izbor ispravnih merenja, tj. merenja koja treba uzeti u obzir prilikom izračunavanja statističkih rezultata. Samo izabrana merenja će biti uključena u iscrtavanje grupnog grafika
- redni broj
- brzinu V, određenu na osnovu rastojanja i vremena leta zrna između barijera
- maksimalni pritisak Pm
- maksimalni pritisak pozajmice P2m
- trenutak t1 u kom je dostignut pritisak 1% Pm
- trenutak t2 u kom je dostignut pritisak 10% Pm
- trenutak tPm u kom je dostignut pritisak Pm
- vreme rada At (eng. action time)
- trenutak tP2 u kom je pritisak pozajmice dostigao prag od 14 MPa (140 bara)
- trenutak tP2m u kom je dostignut pritisak pozajmice P2m
- trenutak t4 u kom je zrno napustilo cev

U zavisnosti od izbora, At se može izračunavati na jedan od sledeća dva načina:

$$At = t4 - t1 \quad \text{ili} \quad At = tP2 - t1$$

Pritiskom desnog dugmeta miša unutar tabele sa numeričkim rezultatima, otvara se meni za izbor formule za izračunavanje vremena rada.

- $At = t4 - t1$
- $At = tP2 - t1$