

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: 504/2013

Славица Б. Веселиновић

**Унутрашњебалистичко испитивање стрелачке
муниције уз помоћ пиезо методе и крешерне
методе**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

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

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2017.

У оквиру завршног рада кандидат треба да:

1. Проучи предмет рада и задатке унутрашње и експерименталне балистике;
2. Опише начине регистровања притиска барутних гасова унутар цеви у току процеса опаљења и прикаже уређаје којима се врше мерења;
3. Опише опрему, начине мерење и резултате на конкретним мерним средствима за различите калибре стрељачке муниције;
4. Изврши анализу добијених резултата различитим мерним методама и прорачуном;
5. Прикаже коментар добијених резултата и евентуално постави смернице за даљи рад.

Препоручена литература:

[1] Драган Станковић, Физичко техничка мерења, Универзитет у Београду, Београд, 1997.

[2] Младен Поповић, Сензори и мерења, Завод за уџбенике и наставна средства Српско Сарајево, 2004.

[3] А. Королев, В. А. Комочков, БАЛЛИСТИКА РАКЕТНОГО И СТОЛЬНОГО ОРУЖИЯ, МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Волгоград, 2010.

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

[5] Небојша Христов, Предавања из предмета „Испитивање и мерење у наоружању“, Војна академија, Београд 2017.

Крагујевац, септембар, 2017.

Ментор:

пп доцент, др Небојша Христов, дипл. инж.

Резиме

У овом раду извршена је упоредна анализа унутрашњеметалних Пиезо и Крешерне методе коришћењем опитних цеви за стрелачку муницију, за калибре: 5.56x45mm, 7.62x51mm и 9x19mm. Пре свега, теоријски су објашњени основни задаци унутрашње балистике, методе решавања. Детаљно је дато образложење експерименталне балистике и методе извођења. Посебно поглавље посвећено је мерењу притиска.

Извршен је унутрашњеметални прорачун за поменуте калибре муниције. Пиезоелектрична метода и Крешерна метода изложене су кроз опите, тј мерења, извршена у фабрици стрелачке муниције "Први Партизан" из Ужица. Добијени резултати мерења представљени су табеларно, након чега су упоређени, како би се видело који је од критеријума тачнији.

На крају је закључено који је критеријум поузданији.

Кључне речи: унутрашња балистика, мерење, Пиезоелектрична метода, Крешерна метода.

Abstract

In this thesis a comparative analysis of internal ballistics Crusher and Piezoelectric methods using an ammunition tube (barrel) was made for small arm ammunition for calibers: 5.56x45mm, 7.62x51mm and 9x19mm. First of all, theoretically, the basic tasks of internal ballistics, methods of solving are explained. The explanation of experimental ballistics and methods of performance is given in detail. A special chapter is devoted to pressure measurement. Calculations for the mentioned ammunition caliber were done.

Both the Piezoelectric method and the Crusher method are exposed through the experiments, ie measurements, performed at "Prvi Partizan", a small arm ammunition factory from Užice. The obtained results of the measurements were tabulated, then they were compared, in order to see which of the criteria were more accurate.

Finally, it was concluded which criteria were more reliable.

Key words: internal ballistics, measurement, Piezoelectric method, Crusher method.

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	5
1.1 Унутрашња балистика	5
1.1.1 Процес опаљења	7
1.2 Основне особености процеса опаљења.....	8
1.3 Методе решавања основног закона унутрашње балистике	11
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА БАЛИСТИКА	12
2.1 Предмет експерименталне балистике	12
2.2 Садржај експерименталне балистике	13
3. МЕРЕЊЕ ПРИТИСКА.....	16
3.1 Механичке методе мерења притиска	16
3.1.1 Крешерна метода	17
3.2 Електричне методе мерења притиска	21
3.2.1 Пиезоелектрични сензори притиска	21
3.3 Креирање мерног система за мерење промене притиска унутар цеви оружаја	25
3.3.1 Адаптери сензора.....	27
3.3.2 Грешке мерења	33
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕТОДА МЕХАНИЧКОГ МЕРЕЊА ПРИТИСКА БАРУТНИХ ГАСОВА	35
5. ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧНА МЕТОДА МЕРЕЊА ПРИТИСКА У ЦЕВИ	38
5.1 Опрема потребна за припрему цеви и инсталирање претварача типа KIAG 6215.....	46
6. УПОРЕДНА АНАЛИЗА И ЗАКЉУЧАК.....	50
7. ЛИТЕРАТУРА.....	52
Списак слика	53
Списак табела	55
ПРИЛОЗИ.....	56

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Сваки стрелац зна да сагоревање барутног пуњења унутар чауре узрокује веома високу вредност притиска који потискује пројектил, тј. зрно, дуж цеви и саопштава почетну брзину на устима цеви, чиме се омогућава лет зрна кроз ваздух. Ипак, скоро да не постоје подаци у ловачким магазинима о детаљима унутрашњебалистичких процеса, па већина стрелаца имају само нејасан појам о томе шта се дешава између времена опаљења, када ударна игла удари иницијалну капсулу на дну чауре, и времена када се дно пројектила налази на устима цеви (излазак пројектила из цеви). [1]

Неколико разлога претходи овоме. Пре свега, унутрашња балистика је комплексна војнотехничка научна дисциплина. Иако оружје постоји више од сто година, као наука, унутрашња балистика се још увек развија, и са аспекта сагоревања погонског пуњења и понашања притиска који још увек нису у потпуности разјашњени. Такође, комплетно време унутрашњебалистичког процеса је у просеку мање од 0,002 s (2 ms) за савремене пушке, па чак и мање за пиштоље. Мерења овог процеса су екстремно тешка и скупа, јер је време акције веома кратко и зато што се тај процес одвија у комори унутар цеви где је мерење скоро потпуно недоступно. [1]

1.1 Унутрашња балистика

Унутрашња балистика је наука која се бави изучавањем појава и процеса који се одигравају у току процеса опаљења унутар цеви оруђа или оружја.

Опаљење из оруђа је сложени термодинамички и гасодинамички процес брзог, скоро тренутног, претварања хемијске енергије барута прво у топлотну, а затим у кинетичку енергију барутних гасова, који покрећу пројектил, цев, сам лафет оруђа. Опаљење траје неколико милисекунди (ms) до неколико десетина милисекунди (ms) и при томе се постижу максимални притисци барутних гасова од 500 до 5000 bar. У току процеса опаљења температура барутних гасова у тренутку њиховог формирања постиже вредности од $1500 \div 2000$ K до $2500 \div 3700$ K у тренутку када они напуштају уста цеви оруђа. Брзина пројектила на устима цеви оруђа износи од 70 до 1800 m/s, а убрзања су реда $100.000\text{--}200.000$ m/s².

Основни задаци унутрашње балистике као науке су [2]:

- Први основни задатак је да се одреди законитост кретања пројектила и развоја гасодинамичких карактеристика за познато оруђе. Познато оруђе је произведено оруђе за које су познати сви конструкциони подаци, подаци о муницији и подаци о баруту. За такво оруђе поставља се систем једначина који се решава, врши се прорачун и приказују се резултати у виду табеле или дијаграма.

-
- Други основни задатаk је унутрашње балистичко пројектовање оруђа. При његовом развоју, задатак унутрашње балистике је да, на основу датих тактичко-техничких карактеристика, дефинише барут који ће се користити у муницији за пројектовано оруђе и да дефинише неке конструкционе карактеристике цеви. При решавању овог задатка треба одредити више података него што има једначина, па се задатак своди на проблем оптимизације. То значи да се из мноштва решења одабере оптимално, на основу одређених критеријума.

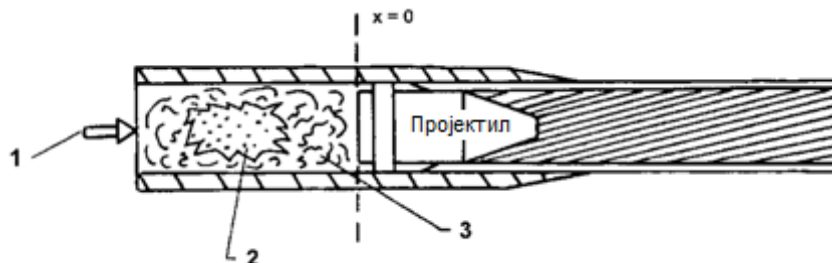
При опаљењу се разликују следећи основни процеси [2]:

- Сагоревање барута и формирање продуката сагоревања (гасова) загрејаних до високе температуре који садрже велику количину унутрашње енергије; Брзина сагоревања барута при томе зависи од природе и температура барута и од притиска гасова,
- Претварање топлотне енергије, барутних гасова у кинетичку енергију кретања система (барутни гасови - пројектил - цев - лафет).

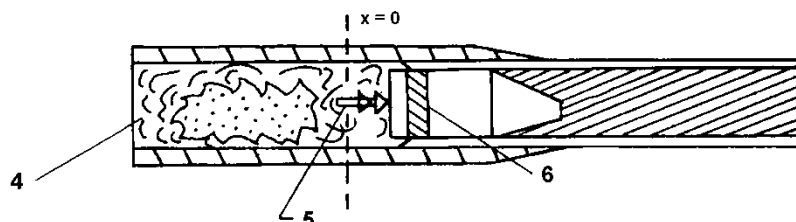
Сви ови процеси су међусобно повезани и теку истовремено. Без обзира на изузетну интензивност процеса који се одигравају при опаљењу из цеви оруђа, они теку по одређеним законитостима. У одређеним границама се њима може управљати и при истим условима пуњења одржавати на релативно стабилном нивоу од опаљења до опаљења. Та особина процесног опаљења непосредно зависи од својства барута да горе по закону паралелних слојева са релативно малим брзинама, шта омогућава управљање процесом опаљења, тј. обезбеђење формирања гасова при сагоревању барута у каналу цеви које омогућава развијање потребног тока притиска и брзине пројектила на устима цеви оруђа.

1.1.1 Процес опаљења

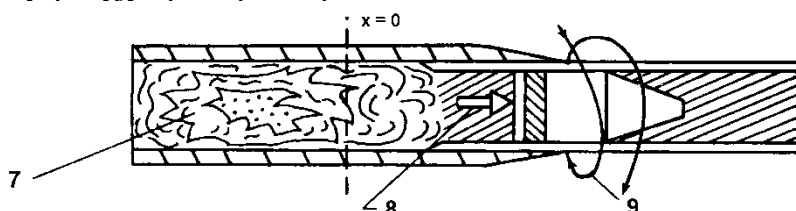
Процес опаљења шематски је приказан на слици 1.



1. Ударцем ударне игле иницира се иницијална капсула која врши припалу барута
2. Формирају се продукти сагоревања барута
3. Брзи раст притиска у барутној комори



4. На притиску од $150 \div 500$ бара
5. Почиње кретање пројектила
6. Водећи прстен је урезан; Почетни отпор кретању пројектила и сагоревање барута проузрокују брз пораст притиска



7. Услед већег притиска брзина сагоревања барута се повећава
8. Пређени пут пројектила расте; запремина у којој сагорева барут се повећава
9. Ожљебљена цев проузрокује обртање пројектила

Слика 1: Шематски приказ процеса опаљења [3]

После припаљивања барутног пуњења, формирају се продукти сагоревања (барутни гасови) на површини сагоревања сваког барутног зрна (овде је претпостављено да су сва барутна зрна припаљена истовремено и униформно, у пракси се то никада не реализује те се интензивно изучава процес припаљивања и простирања пламена кроз барутно пуњење). Долази до брзог пораста притиска у барутној комори. Почетни отпор кретању пројектила је релативно велик (посебно ако се стабилизација пројектила

обавља ротацијом), те се постижу релативно велики притисци у комори цеви оруђа пре него што сам пројектил пређе знатни део пута кроз цеви оруђа.

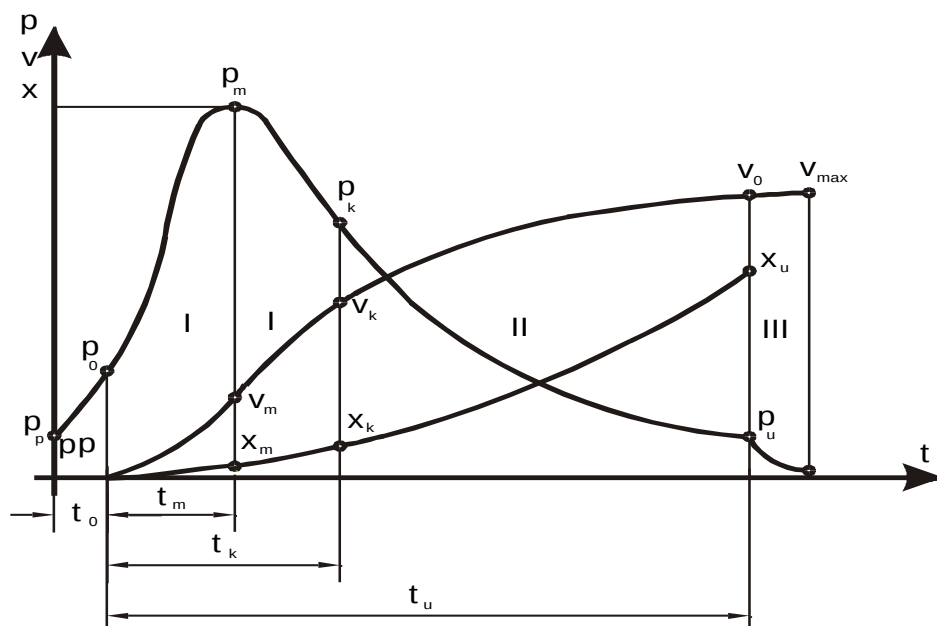
Кретање пројектила кроз цеви оруђа проузрокује повећање запремине у којој барут сагорева. То би изазивало пад притиска барутних гасова у систему. Међутим, с друге стране почетни брзи пораст притиска барутних гасова проузрокује брже формирање барутних гасова (већа брзина сагоревања барута). Резултат ова два процеса је брзи пораст притиска барутних гасова до постизања максималне вредности. Максимални притисак се постиже у моменту када се изједначи брзина образовања гасова услед сагоревања барута са брзином пораста запремине, у којој се налазе гасови, услед кретања пројектила. После постизања максималног притиска, притисак почиње да опада тако да је на устима цеви реда од 10 до 30% од максималног притиска. Притисак на устима цеви зависи од конструкције система оруђа, као и од типа и количине барута у барутном пуњењу. Пошто пројектил изађе из цеви оруђа притисак барутних гасова врши његово убрзавање на кратком растојању од уста цеви оруђа.

1.2 Основне особености процеса опаљења

У процесу опаљења код систем са затвореном цеви разликују се следећи периоди [1]:

- * Претходни - од почетка сагоревања барута до почетка кретања пројектила,
- * Први или Основни - од почетка кретања пројектила до завршетка сагоревања барутног пуњења,
- * Други - од завршетка сагоревања барутног пуњења до напуштања пројектила цеви оруђа,
- * Трећи - Период накнадног дејства гасова на пројектил после његовог напуштања цеви оруђа.

Размотримо детаљније основне периоде процеса опаљења из система са затвореном цеви (слика 2 и слика 3).

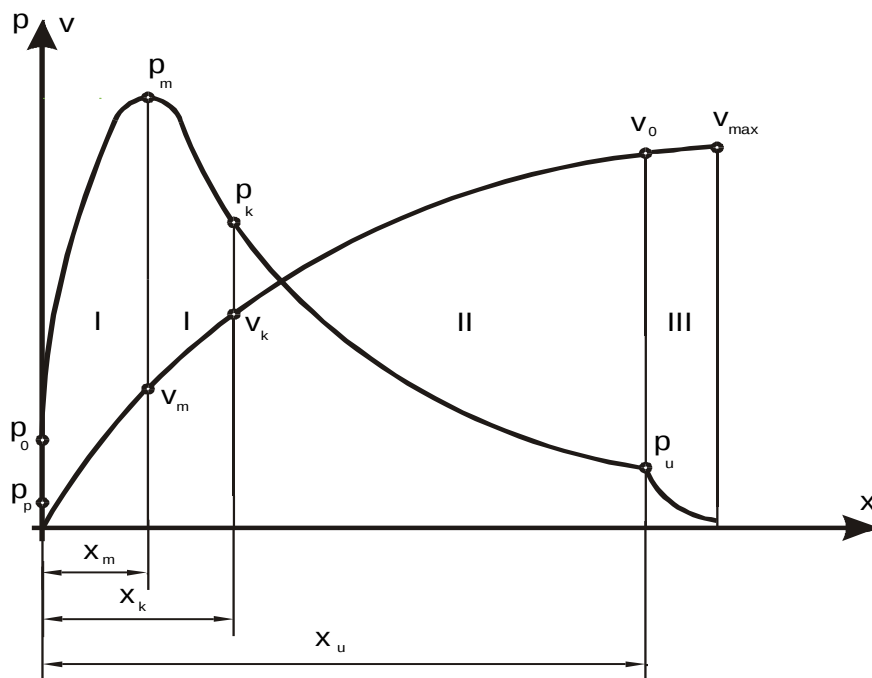


Слика 2: Криве промене притиска за барутне гасове, брзине пројектила и пређени пут у функцији времена [2]

Координатни почетак је везан за дно пројектила у моменту када је оруђе напуњено. Сматра се да је пројектил напусти цев у моменту када дно пројектила дође на уста цеви. Према томе, укупан пут пројектила у цеви (x_u) је растојање од дна пројектила до уста цеви пре опаљења.

Процес опаљења започиње ударом ударне игле механизма за опаљење у дно иницијалне капсуле. Тако се пали иницијална смеша у капсули. Створени пламен пали директно барутно пуњење стрељачког оружја. Сматра се да припала тренутно сагори стварајући притисак $p_p=(2-5)MPa$. Под утицајем гасова припале долази до припаљивања барута у комори и његовог сагоревања у сталној запремини до постизања притиска за P_0 који обезбеђује урезивање водећег прстена у жљебове канала оруђа. Притисак P_0 се назива притиском форсирања. Тај део процеса опаљења назива се претходни период. У овом периоду сагори 2-5% укупне масе барута.

На слици 2 предходном периоду одговара део криве $P_p - P_0$ и временски интервал t_0 , а на слици 3 период је представљен одсечком OP_0 на ординатној оси.



Слика 3: Криве промене притиска за барутне гасове и брзине пројектила у функцији пређеног пута[2]

После предходног периода следи први или основни период процеса опаљења, који се карактерише сагоревањем барута у стално растућој запремини канала цеви. При томе брзина пројектила расте, а барутни гасови врше рад и хладе се. У почетку првог периода, када је брзина пројектила још мала, запремина формираних барутних гасова расте брже од запремине простора иза пројектила у коме се одвија сагоревање. Као резултат тога притисак барутних гасова брзо расте и достиже максимум p_m . Пројектил је у том тренутку прешао пут x_m , коме одговара време t_m мерено од почетка кретања пројектила. Притисак p_m је једна од најважнијих карактеристика сваког оруђа. После достизања $p_m = (250-350)$ МПа, притисак, без обзира на сагоревање барута и формирање нових продуката сагоревања, почиње да пада и достиже величину p_k у тренутку потпуног сагоревања барута. Том притиску одговара пређени пут пројектила x_k , време t_k и брзина пројектила V_k . На крају овог периода брзина пројектила је око 80% од максималне, а пројектил је прешао око 2/3 пута у цеви. Екстремни случај у првом периоду је да се максималан притисак постигне на крају првог периода ($p_m = p_k$). То се дешава када у релативно великој запремини има мало барута, па је пораст притиска барутних гасова спор.

После завршетка сагоревања барута, барутни гасови располажу још увек великом количином енергије. Део те енергије они кроз своје ширење саопштавају пројектилу и врше повећавање његове брзине. Овај период се назива другим периодом процеса опаљења и физички представља процес ширења одређене количине гасова високог притиска и температуре. Пошто је у тренутку краја сагоревања барута брзина пројектила већ велика и даље се увећава, то пројектил део пута до уста цеви пређе веома брзо и због тога се могу занемарити губици топлоте кроз зидове цеви и цео тај период се може сматрати периодом адијабатског ширења барутних гасова. Овај период се завршава у тренутку када дно пројектила пролази кроз уста цеви оруђа. У другом периоду процеса опаљења притисак барутних гасова пада од притиска за p_k до

притиска за p_u , брзина пројектила расте од V_k до V_0 (видети Сlike 2 и 3). Брзина пројектила на устима цеви назива се почетна брзина пројектила V_0 .

Када пројектил напусти цев оруђа, барутни гасови који истичу са великом брзином из цеви оруђа, продужују на неком растојању од уста цеви да делују на дно пројектила и убрзавају га. Због тога пројектил има максималну брзину $V_{\max}$ не у тренутку проласка пројектила кроз уста цеви оруђа, већ на растојању x_n од њих, после чега услед дејства силе отпора ваздуха брзина пројектила почиње да опада. Период процеса опаљења, у току кога пројектил добија максималну брзину $V_{\max}$, назива се трећим периодом или периодом накнадног дејства барутних гасова на пројектил.

Овако описан процес опаљења одговара опаљењу из цеви артиљеријског и стрељачког оружја.

1.3 Методе решавања основног закона унутрашње балистике

Главне методе решавања основног, директног закона унутрашње балистике су[4]:

- емпиријске,
- аналитичке,
- табличне,
- нумеричке.

Емпиријске методе су се користиле у време док нису у пуној мери постављене теоријске основе унутрашње балистике. Недостатак ових метода је у томе што оне не узимају у обзир утицај свих важних услова пуњења и могу се примењивати само у границама услова за које су састављени. Данас се емпиријске методе углавном не примењују.

Аналитичке методе узимају у довољној мери утицаје великог броја фактора који дејствују при опаљењу, задиру у стварну природу појава опаљења и ближе су физичкој суштини процеса који се дешавају при опаљењу. Оне полазе од система основних једначина унутрашње балистике, при чему путеви решавања тих једначина могу бити сасвим различити. Метода професора Дроздова полази од тачних једначина, али се у току решавања једначина врше извесна упрошћења како би се лакше дошло до коначног решења диференцијалних једначина.

Табличне методе су уствари бројно приказане аналитичке зависности теорије сличности за читав низ конкретних услова пуњења. Балистичке таблице омогућавају да се реши низ задатака који се не могу решити аналитичким методама, а посебно задаци везани за балистичко пројектовање.

Нумеричке методе омогућавају решење основног задатак унутрашње балистике помоћу метода нумеричке анализе, који се примењују на систем обичних диференцијалних једначина. Наравно, за примену ових метода неопходно је коришћење рачунара.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА БАЛИСТИКА

Експериментална балистика представља посебно поглавље балистике и механике балистичких система, која се бави проучавањем и провером теоријских поставки наведених предмета. Представља скуп експерименталних метода подељених на лабораторијска, полигонска и научна истраживања, која се баве балистичким системима. Овој области се посвећује посебна пажња, првенствено су приказане методе мерења код балистичких система, принципи рада мерних уређаја, мерно подручје и мерна несигурност уређаја и опреме.

2.1 Предмет експерименталне балистике

Основни задатак експерименталних истраживања је мерење физичких величина, карактеристичних за процесе истраживања, као и обрада резултата одговарајућим математичким техникама. Процес опаљења је физички сложен процес и веома је сложено проучавање делова самог процеса због изузетно кратког времена (у границама од неколико милсекунди). Поједини делови процеса су у узајамној вези или су последице претходних делова процеса, и као такви су реакција одређених услова, који морају да буду обезбеђени. Због тога се одређени делови процеса не истражују директним методама, већ се посредно прорачунавају на основу измерених величина других делова процеса опаљења. Услед велике брзине и изражених појава нестационарности процеса у току опаљења, за регистровање физичких величина користи се специфична и сложена мерна опрема, са унапред дефинисаним мерним подручјем, брзином одзива и временом регистровања. У начелу, предмет експерименталне балистике представља изучавање мерних метода, организацију и спровођење поступака експеримента, регистровање и обраду резултатата мерења, који се користе у току експерименталних испитивања процеса опаљења и балистичких карактеристика оружја, односно оруђа, пројектила и барутних пуњења. На основу дефинисаних предмета истраживања може се закључити да се примењују различити и сложени мерни системи по принципу рада, по степену мерне несигурности и према мерном опсегу.[5]

2.2 Садржај експерименталне балистике

Једноставном анализом се може установити да се процес опаљења састоји од следећих процеса:

- Сагоревање барута, односно превођење чврсте фазе пуњења у барутне гасове уз ослобађање велике количине топлоте;
- Претварање топлотне енергије барутних гасова у механички рад и друге облике енергије;
- Покретање пројектила унутар цеви услед дејства притиска барутних гасова уз савладавање отпора услед кретања;
- Лет пројектила након саопштавања почетне брзине и након напуштања цеви оружја уз савладавање отпора ваздушне средине;
- Трзање трзајућих делова оружја, у току процеса опаљења и враћање трзајуће масе у првобитни положај;
- Оптерећење делова и склопова оружја, у току процеса опаљења услед дејства сила акција и реакција и слично.

Експериментално истраживање ових процеса се заснива на мерењу различитих физичких величина балистичких система. На основу анализе измерених података у току процеса опаљења, дефинише се утицај различитих фактора на карактер промена одређених величина, као и њихова међусобна корелација и зависност, која је теоријски описана изразима. Оваквим истраживањима се употпуњује математичка интерпретација зависних променљивих физичких величина у току процеса опаљења, као и практична евалуација и потврда упрошћених теоријских модела за прорачун промене битних параметара физичких величина.

Од изузетне важности током експерименталних истраживања јесте мерење притиска барутних гасова, брзине пројектила, односно вибрације и напрезање одређених делова и склопова оружја, односно оруђа, као и карактер промена наведених величина у функцији времена.

Притисак барутних гасова, који у одређеном временском интервалу може да достигне вредности и до 400 МПа, одређује силу која покреће пројектил кроз цев. Мерењем функције промене притиска у зависности од времена или пређеног пута пројектила, даје могућност одређивања пута, брзине и убрзања пројектила, у функцији врсте и количине барутног пуњења. Функција промене притиска барутних гасова (крива притиска) се примењује за прорачун димензионисања цеви, прорачун (димензионисање) кракова лафета и трзајућих делова оружја, као и на пројектовање и конструкцију упаљача, гасогенераторских и аеродинамичких уређаја и других склопова пројектила.

Мерење брзине пројектила на различитим даљинама трајекторије је такође од велике важности. На основу регистрованих вредности се може анализирати дејство силе отпора средине и дати квалитативна балистичка оцена пројектила. За сва балистичка истраживања је од пресудне важности мерење почетне брзине пројектила, односно у моменту кад пројектил својим задњим пресеком напушта уста цеви. Ова физичка величина је полазна за одређивање трајекторије лета пројектила и за одређивање стабилности оруђа услед дејства осцилација изазваних истицањем барутних гасова и

негативног утицаја на средство и послугу изазвано ударним таласом, насталим истицањем барутних гасова.

У експерименталној балистици је битно и мерење других величина везаних за систем рада оружја, као што су: пут, брзина и убрзање трзајуће масе, сила урезивања водећег прстена пројектила, сила трења између цеви и пројектила, промена температуре барутних гасова и брзина струјања унутар цеви, притисака унутар цилиндара повратника и хидрауличне кочнице, осцилација цеви и слично.

Као што може да се види из наведеног, за експериментална истраживања је неопходна специфична опрема, која треба да задовољи брз одзив услед изузетно великих брзина нестационарних промена и могућности регистровања великог интензитета притиска, брзине, убрзања и сила. У већини случајева се примењују принципи електричног мерења и регистровања промена механичких величина : помак, брзине, убрзања, силе и притисци. Поред оваквих сензора примењују се и ултрабрзе камере, радар, ласерски даљиномери, оптички и оптоелектронски сензори и регистратори, фотоћелијски елементи и слични уређаји и компоненте, који могу да измере и региструју екстремно брзе процесе промене физичких величина у току процеса опаљења. За све наведене мерне уређаје се захтева да, осим брзог одзива, региструју веродостојно промене физичких величина, односно да имају следивост мерења и малу мерну несигурност, због изузетно скупих експеримената и ограниченог узорка за поједина испитивања.

Акцента у експерименталној балистици се ставља на изучавању физичких принципа рада мерних инструмената у циљу провере и контроле измерених података и добијених резултата, као и контроле тачности мерних система.

Обрада измерених величина је завршна етапа и јако је битно да се правилно реализује, пошто су коначно обрађени резултати употребљиви за коначне анализе и унапређење теоријски постављених модела. У току обраде резултата, морају се узети у обзир све евентуалне поправке услед грешака које могу да настану током мерења и регистровања (корелациони фактори, временска кашњења настала услед појачања и филтрирања сигнала и сл.).

За експерименталну балистику је поред свега наведеног веома битно планирање и реализација опита. Практично није могуће реализовати опаљења у потпуно затвореним објектима, те се из тог разлога експериментална истраживања реализују и у лабораторијским и у полигоним условима.

У лабораторијским условима се врше истраживања појединих делова процеса опаљења или комплетан процес без одређених сегмената комплетног процеса.

Полигонска испитивања су свеобухватнија и имају шири карактер од лабораторијских. У оваквим условима се омогућава истраживање у приближно реалним условима употребе самог балистичког система. Ова испитивања се реализују путем програмски дефинисаних опитних гађања са тачно дефинисаним елементима, што за резултат даје већи број измерених података. Неопходно је нагласити да се за полигонска испитивања могу употребљавати средства са бољим перформансама у односу на лабораторијске услове (мерне цеви са дозвољеним толеранцијским одступањима, тачно лаборисана муниција, радарски системи и сл.).

Лабораторијска испитивања су далеко једноставнија у погледу организације и програма испитивања, што омогућава и примену једноставнијих експерименталних метода. Испитивања овог типа се могу реализовати више пута и у било које време, што је веома битно и важно за експериментална истраживања. По правилу, лабораторијска истраживања претходе полигонским и као резултат треба да дају потребне претпоставке за шира и свеобухватна испитивања у приближно реалним условима експлоатације уз примену мење сложених уређаја и да скрате време испитивања.

Свеобухватна лабораторијска и полигонска испитивања треба да дају јасне показатеље и одговоре на постављене захтеве у току балистичких испитивања за све елементе балистичког система (цев, пројектил, барутно пуњење, склопови и делови оружја).

Узимајући у обзир све горе наведено, може се закључити да је садржај експерименталне балистике дефинисан следећим: [5]

1. Експерименталним истраживањем развоја барутних гасова у току опаљења и мерењем његових параметара (притиска, температуре, густине);
2. Мерењем пута, брзине и убрзања пројектила, заптивних прстенова и протока барутних гасова;
3. Мерењем времена током балистичких процеса;
4. Експерименталним истраживањем процеса, који се односе на кретање пројектила, као и метода одређивања сила и момената које делују на пројетил у различитим периодима процеса опаљења;
5. Експерименталним истраживањима рада делова и склопова оружја у току процеса опаљења (истраживање напрезања и момената склопова и делова, гасних уређаја, елемената аутоматике, дужине и брзине кретања трзајуће масе, интензитет ударног таласа и сл.);
6. Експерименталним одређивањем балистичких карактеристика барута, пуњења, пројектила и самог оружја;
7. Организације и спровођења лабораторијских и полигонских испитивања, као и методе обраде добијених резултата.

На основу дефинисаног садржаја, дају се добре основе за поједине научне дисциплине, као што су унутрашња балистика, спољна балистика и основи конструкције наоружања да методолошки исправно приступе у решавању практичних задатака пројектовања и израде нових система наоружања.

3. МЕРЕЊЕ ПРИТИСКА

Притисак гаса је изведена механичка величина, а директно мерење и регистровање није могуће у току испитивања. Због тога се за мерење притиска примењују специјални мерни уређаји и инструменти, који претварају вредности притисак у механичке или електричне величине једноставне за мерење и регистрацију.

Код балистичких експеримената вредности притисака мери варирају од скоро пуног вакууму до вредности од хиљаде МПа. Мерење ниских вредности притисака везани су пре свега за проучавање брзих протока гаса - проучавање процеса и појава који се дешавају у коморама ракетних мотора балистичких ракета. У зависности од ниво вредности притиска, као и интензитета снаге која делује на инструмент, развијене су посебне методе за регистрацију у подручју ниских и високих вредности притиска.

За овај дипломски рад акценат се ставља на мерење притисака високих вредности.

Мерење високих вредности притиска [6] је првенствено везано за истраживање процеса и појава, који се одвијају у коморама ракетних мотора или цевима класичног наоружања у току процеса опаљења. Овакве процесе карактеришу изузетна велика напрезања (притисци достижу вредности и преко 500 МПа, температуре гасова прелазе вредности од преко 3000К), веома кратко време трајања процеса (од 0,5 до 5 ms), и веома изражена нестационарност. На основу оваквих карактеристика процеса, разрађене су специјалне методе регистровања и специјализовани мерни уређаји за регистровање притиска у области унутрашње балистике, који се првенствено деле на две групе:

- *механичке методе* где се притисак посредно мери преко силе која се региструје,

- *електричне методе* где се притисак посредно мери преко неке од електричних карактеристика, који се региструје одговарајућим мерним уређајем.

3.1 Механичке методе мерења притиска

Према типу уређаја за регистровање, механичке методе за регистровање високих нивоа притиска се деле на: [6]

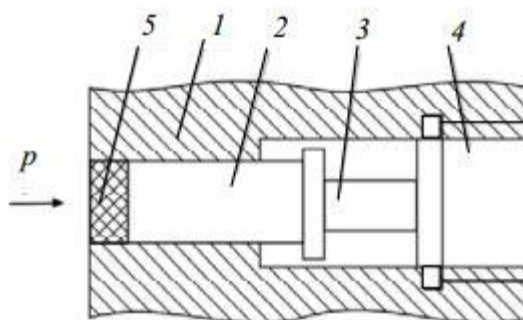
1. Методе за одређивање сила на основу трајних деформација специјализованих нееластичних елемената (првенствено се примењују за регистровање максималних вредности притиска);
2. Методе за одређивање сила на основу пластичних деформација специјалних еластичних елемената (плоча или опруга). Овакве методе омогућавају регистровање деформација у временском домену, а не само вредности максималних напрезања. За практичну примену оваквих метода је неопходно обезбедити специјалне инструменте за оптичко регистровање деформација по времену, што усложњава мерни ланац и услед проналаска савременијих мерних

уређаја је овај поуздани метод изгубио своју примену. Данас се из ове групе метода примењује као изузетак модел одређивања максималне вредности притиска на основу еластичних деформација челичних куглица;

3. Метод за динамичко или индиректно одређивање притиска на основу слободног кретања масивних клипова-цилиндара. Услед непоузданих резултата, овај метод није применљив за балистичка испитивања.

3.1.1 Крешерна метода

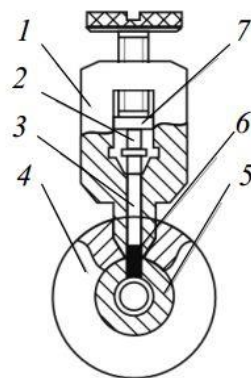
У прву групу механичких метода за одређивање притиска спада и крешерни метод, који је као патент предложио још 1860-1868 Алфред Нобел. Данас је овај метод често примењује за полигона балистичка испитивања и одређивање максималних вредности притисака барутних гасова у току процеса опаљења. Метода је заснована на одређивању вредности притиска на основу измерених деформација бакарног ваљчића, који се назива крешер. Крешерни уређај, приказан на слици 4, се састоји од тела 1, са покретним клипом 2, који услед дејства притиска деформише крешер 3, који је ослоњен на поклопцу 4. на основу скраћења, умањења висине крешера, се одређује вредност притиска. [7]



Слика 4: Уопштена шема крешерног уређаја[7]

Према намени крешери могу бити радни или контролни. Према конструкцији крешерни уређаји могу бити монтажни или слободни (као независни уређаји се постављају у барутну комору). Монтажни крешерни (спољни) уређаји се преко навојне везе постављају у лежишта са отворима на оружају-оруђу или на манометарским бомбама ради регистровања максималне вредности притиска.

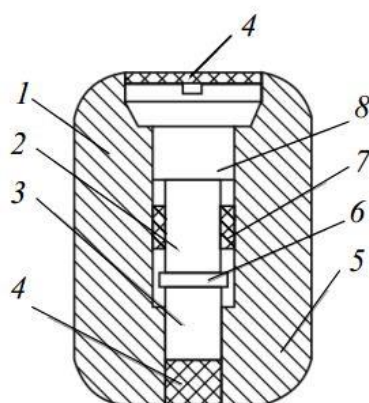
Слободни (унутрашњи) крешерни уређаји се постављају се у барутну комору иза пројектила, у ком настаје притисак, заједно са барутним пуњењем и уобичајено је да се постављају по два уређаја у пару ради одређивања средње вредности максимално регистрованог притиска.



Слика 5: Монтажни крешери: 1-тело крешерног уређаја, 2-крешер (бакарни ваљчић), 3-покретни клип, 4-мотажна огрлица, 5-цев оружја, 6- заптивни елемент, 7- ослонац[7]

Монтажни (спољни) крешери, приказан на слици 5, се првенствено примењују за регистровање максималних вредности притиска барутних гасова код стрелачких оружја и оруђа малих калибара, где није могуће поставити слободне крешерне уређаје унутар барутних комора. За примену оваквих мерних уређаја је неопходно на цев или сандук оружја, код којих већ постоје отвори на зидовима, монтирати монтажне огрлице, на које се навојном везом поставља крешерни уређај. Овакви уређаји се користе првенствено код мерних цеви за испитивање унутрашњебалистичких карактеристика и промена притиска у функцији пређеног пута, као и за испитивање муниције. Спољни крешер се поставља тако да притисак барутних гасова делује само на чело клипа.

Начелно се мерне цеви више не могу монтирати на оружју, зато што се бушењем зидова трајно нарушава њихова геометрија.



Слика 6: Слободни крешерни уређаји: 1-тело крешерног уређаја, 2-крешер, 3-клип, 4-заптивни елемент, 5-бакарна облога, 6-глава клипа, 7-гумена звезда, 8-ослонац[7]

Слободни (унутрашњи) крешерни уређаји, приказан на слици 6, се примењују за регистравање максималних вредности притиска барутних гасова код класичних атриљеријских оруђа и минобацача. Крешер је обложен заштитним бакарном кошуљицом, а за минобацаче се, изузетно, употребљавају необложени крешери. Према вредностима максималних притисака које треба да региструју, сами крешери се израђују у више различитих величина. Вредности регистрованих деформација крешера и одговарајућа вредност притиска који је проузроковао те деформације се одређују на основу таблица које су израђене и превентивно се тачне вредности одређују интерполацијом за две дате табличне вредности. У табели 1 је приказан начин одређивања вредности притиска на основу измерених деформација.

Табела 1: Таблица крешерног уређаја 137-А, крешерни ваљчић Ø5x7mm. [6]

Застава висина (mm)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	-	Е
6,8	1667	1615	1564	1512	1460	1403	1357	1305	1253	1202	1150	0,1
6,7	2117	2072	2027	1982	1937	1892	1847	1802	1757	1712	1667	0,2
6,6	2525	2484	2434	2403	2362	2321	2280	2239	2199	2158	2117	0,3
6,5	2900	2862	2825	2787	2750	2712	2675	2637	2600	2562	2525	0,4
6,4	3242	3208	3174	3139	3105	3071	3037	3003	2968	2934	2900	0,5
6,3	3567	3534	3502	3470	3437	3404	3372	3340	3307	3274	3242	0,6
6,2	3875	3844	3813	3783	3752	3721	3690	3659	3629	3598	3567	0,7
6,1	4166	4137	4108	4079	4020	4050	3991	3962	3933	3904	3875	0,8
6,0	4458	4429	4400	4370	4341	4312	4283	4254	4224	4195	4166	0,9
5,9	4733	4705	4678	4650	4623	4595	4568	4540	4513	4485	4458	1,0
5,8	5000	4973	4947	4920	4893	4866	4840	4813	4786	4760	4733	1,1
5,7	5266	5239	5213	5186	5160	5113	5106	5080	5053	5027	5000	1,2
5,6	5541	5513	5486	5458	5431	5403	5376	5348	5321	5293	5266	1,3
Нi	-	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	Висина тиса чења (mm)

За мерење максималног притиска барутних гасова код стрелачке, карабинске, револверске и пиштољске муниције у употреби се налазе два конструктивно различита крешерна система и то:

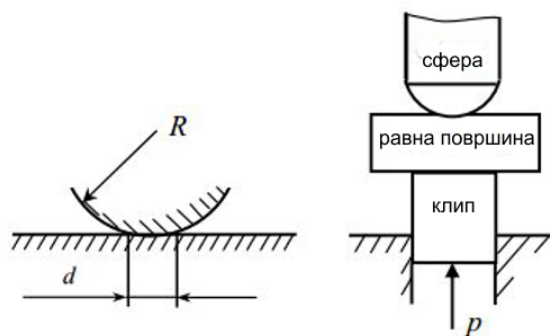
- Спољни завојни крешер;
- Радијални контролник максималног притиска.

Због немогућности смештаја у барутну комору, оба система крешера кункционишу по принципу одвођења барутних гасова из коморе оружја. Ради одвођења барутних гасова из коморе и њиховог довођења у контакт са клипом крешера, чаура метка мора бити избушена на одговарајућем месту.

Крешерна техника није нова, међутим велика поузданост и економичност ову технику сврстава међу најчешће коришћену у експерименталној балистици и као таква се стално унапређује. У нашој земљи се користе првенствено цилиндрични крешери, док су у свету у примени и други облици крешери, првенствено у облику конуса, цилиндрично-конуса, полусфере или сфере. Недостатак цилиндричних крешера је то што се за различите вредности мереног максималног притиска примењују различите диманзије крешера. Крешер облика сфере нема тих ограничења, већ се може користити за шире подручје регистрованог притиска (крешером облика сфере пречника 6 mm се може регистровати притисак у интервалу од 20 до 1000 МПа). Због оваквих својих особина овакви крешери се све чешће користе.

За поуздану примену крешерних уређаја, морају се правилно изадити таблице, које се још називају таражне. У почетку су се таражне таблице израђивали на основу статичког оптерећења и деформација крешера, који могу услед занемаривања силе инерција клипа и динамичких промена да прикажу грешке у интервалу од 10 до 30%. Данас се све таблице крешерних уређаја израђују на основу динамичких оптерећења и верификацијом са поузданијим методама, тако да се грешке мерења свODE на вредности мање од 2%.[6]

Друга метода одређивања максималног притиска се заснива на регистрацији еластичних деформације челичне сфере. Овај метод је прецизнији од крешерног. Принцип методе је заснован на чињеници да, у контакту са лоптом раван под дејством силе притиска долази до деформација сферног површинског контакта у облику круга пречника d . Структурна шема рада ове методе је приказана на слици 7.



Слика 7: Шема уређаја за одређивање максималних вредности притиска на основу еластичних деформација[7]

Пречник деформисаног круга се може одредити на основу релације, који је поставио Херц

$$d = 2,22 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot R}{E}} \quad (2.1)$$

Где су: F – сила која делује,

R – пречник сфере,

E – модул еластичности.

Уколико се измери пречник отиска услед еластичних деформација, једноставно се може одредити сила која је деловала на клип услед притиска, а самим тим и максимални притисак:

$$p = \frac{F}{S} \quad (2.2)$$

Где је S површина клипа на који делује притисак. Да би се прочитао што тачније отисак услед еластичних деформација на равној површини, она се пре провођења експеримента прекрива специјалном бојом. Само мерење се врши микроскопом тачности 0,01 mm тако да се обезбеђује тачност регистрованог притиска са грешком мањом од 1%.

Досад наведене методе не пружају могућност мерења вредности притиска у временском домену.

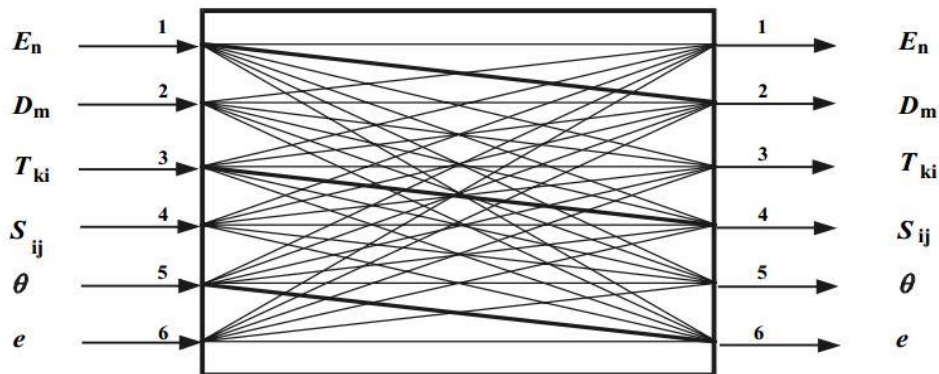
3.2 Електричне методе мерења притиска

Мерење притиска у функцији времена је могуће преко неке од електричних метода применом сензора, којима се на основу промена притиска региструје одговарајући електрични сигнал или промена одговарајућих електричних карактеристика. У прву групу спадају пиезоелектрични и индуктивни сензори, а у другу групу спадају капацитативни, индуктивни и тензометријски сензори. Сензори који се користе за унутрашњебалистичка испитивања неопходно је да имају високу осетљивост, високу сопствену фреквенцију, мерну стабилност, да буду малих димензија и да имају малу осетљивост на температуруне промене. Ово су изузетно строги услови за мерну технику, а највише услова од наведених услова испуњавају пиезоелектрични сензори и мерне тензометријске траке.

3.2.1 Пиезоелектрични сензори притиска

Пиезоелектрични ефекат представља способност одређених материјала (пиезоелемената) да услед дејства неке физичке величине (механичка оптерећења) генеришу одређено наелектрисање. Због својих добрих особина пиезоматеријали се употребљавају за конструкцију различитих сензора електричних и неелектричних величина. Поред особине да су пиезоелементи одлични генератори напона, имају изузетно брз одзив, димензије и до 100 пута мање у односу на сличне елементе, али и изражену осетљивост на деловање радиације и температуре. Стање пиезоелектричног

елемента у општем случају зависи од односа електричних, механичких и топлотних величина. То стање се представља као функционална зависност следећих параметара: електричног поља E , механичког напрезања T , температуре θ , електричне индукције D , механичке деформације S и ентропије e . Графичка интерпретација ових међузависности је приказана на слици 8, где је приказано да сваки од улаза делује на све излазе. Све функционалне везе нису од значаја з апрактичну примену, поготово у мерној техници.



Слика 8: Пиезоелемент као сложени међузависни систем[7]

Математички модели којима се описују процеси у пиезоелементу се заснивају на претпоставци да су све везе линеарно зависне. Услед механичког напрезања $T = F / A [N / m^2]$, на његовој површини A се јавља поларизација $P = Q / A [C / m^2]$, пропорционална напрезању:

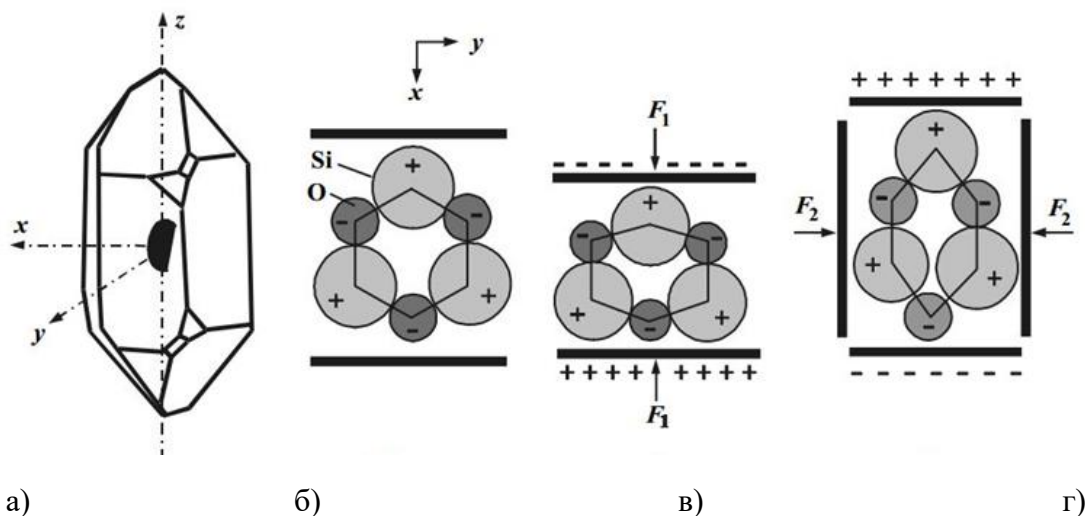
$$P = dT \quad (2.3)$$

где је $d = Q / F [C / N]$ пиезоелектрични коефицијент. У овом случају једначина (2.3) представља директни пиезоелектрични ефекат. Обрнути пиезоелектрични ефекат је појава деформација $S = \Delta l / l$ услед деловања електричног поља $E [V / m]$, описана линеарном једначином:

$$S = dE \quad (2.4)$$

Пиезоелектрични ефекат је једноставно визуелно приказати на пиезоелементу кварца (Слика 9а), који је у потпуности електрично неутралан. На овом елементу се могу дефинисати три међусобно нормалне осе: Z уздужна или оптичка оса, електрична

оса X , и механичка или неутрална оса Y . Када кристал није механички напрегнут онда је он електрично неутралан и нема никве поларизације и наелектрисања (Слика 9б).



Слика 9: Пиезоелектрични ефекат: а) кристал кварца, б) неоптерећени кристал, в) механичко оптерећење дуж X осе, г) механичко оптерећење дуж Y осе [7]

Уколико у смеру X осе делује сила F_1 (Слика 9в), равнотежа се нарушава и као резултат на електродама се електростатичко наелектрисање:

$$Q_{11} = d_{11} F_1 \quad (2.5)$$

при чему је $d_{11} = 2,3 pC / N$ пиезоелектрични коефицијент кварца у смеру X осе. Ова појава настаје услед уздужног пиезоелектричног ефекта. Услед дејства силе F_2 дуж осе Y услед попречног пиезоелектричног ефекта јавља се такође наелектрисање на истим електродама, али супротног предзнака:

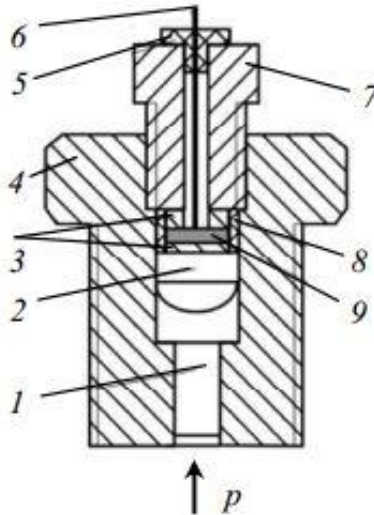
$$Q_{12} = d_{12} \frac{b}{a} F_2 \quad (2.6)$$

где су b и a димензије кристала дуж X и Y осе, а $d_{12} = -d_{11}$ пиезоелектрични коефицијент кварца дуж Y осе (Слика 9г). Треба напоменути да услед примене смера деловања силе долази до промене знака наелектрисања.

Интензитет пиезоелектричног ефекта карактерише пиезомодус d , представља однос количине наелектрисања Q , према сили која делује F .

$$d = \frac{Q}{F} \quad (2.7)$$

Највећи пиезоелектрични модул поседују Рочелова со (калијум натријум тартарат $C_4H_4KNaO_6$), баријум титанат ($BaTiO_3$), и кварц (silicijum dioksid SiO_2). За потребе унутрашње балистике у широкој употреби се примењује кварц, који има особине високе стабилности и ниску осетљивост на температурне промене.



Слика 10: Шема пиезоелектричног сензора[6]

На слици 10 је приказана уопштена шема пиезоелектричног сензора. У телу сензора 4, налази се покретни клип 1, који делује на ослонац 2, међу плоче 3 и пиезокварцни елемент 9, који се налази између навоја и међуплоча. Наелектрисање генерисано на зидове плоча 8 се преноси преко електрода 6, које су изоловане изолатором 5.

Пиезоелектрични сензори могу да генеришу напон од неколико стотина волта, због великог напона и губитака се у таквим случајевима паралелно везује кондензатор, који умањује напон на вредност око 0,1 V. Раније су се пиезоелектрични сензори примењивали искључиво за проучавање динамичких процеса са карактеристичном фреквенцију од 150 kHz, са акцентом на квалитативну карактеристику појаве. Разлог само ове примене је била услед немогућности калибрације мерног подручја и немогућности примене статичких метода калибрације. Услед интензивног развоја електронике пиезоелектрични сензори су добили широку примену и данас су веома распрострањени.

За савремене пиезоелектричне сензоре су разрађене савремене динамичке методе верификације и калибрације, што дозвољава несметану и поуздану њихову примену код мерења параметара изузетно динамичких процеса у експерименталној балистичи.

3.3 Креирање мерног система за мерење промене притиска унутар цеви оружаја

Формирање система за мерење и прикупљање података захтева познавање, како природе података који се мере и прикупљају, тако и карактеристике елемената система. На основу ових познатих карактеристика, обезбеђује се формирање мерних система, који обезбеђују објективно и веродостојно прикупљање података и њихово трајно меморисање ради касније обраде.

Да би се у потпуности добила физичка слика унутар цеви оружаја у процесу опаљења, као изразито импулсне и нехомогене појаве, неопходно је користити истовремено више пиезо сензора, што данашња технологија у потпуности подржава. Генерисано наелектрисање од пиезо сензора, путем коаксијалног вода се уводи у посредну јединицу-појачавач, а затим у одговарајући уређај за регистровање и обраду података (аквизицију).

На слици 11 је приказана блок шема и распоред елемената у мерном систему.



Слика 11: Блок шема за мерење и прикупљање података[6]

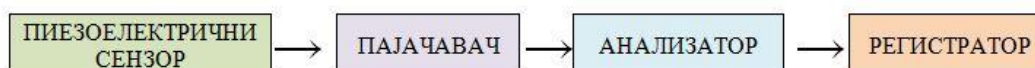
PP-сензор притиска, PS-појачавач сигнала,

KV- коаксијални вод, NP-носач података

У општем случају мерна шема са пиезоелектричним сензорима има четири елемента (Слика 12): сензор, пајачавач, анализатор и регистратор; што уствари представља упрошћенији приказ слике 11.

Појачавач има двоструку улогу:

- Да појача релативно слаб излазни сигнл сензора,
- Да трансформише високу излазну импедансу сензора на нижу вредност.



Слика 12: Принципијелна шема пиезоелектричних сензора[6]

Пошто осетљивост сензора према статичкој карактеристици се може дефинисати у односу на напон или наелектрисање, појачавач се пројектује тако да је његов излаз пропорционалан улазном напону (напонски појачавач) или улазном наелектрисању (појачавач наелектрисања). Конструкција напонског појачавача је у начелу једноставније и поузданије, пошто садржи мањи број елемената. За овакав тип појачавача је карактеристично да је веома осетљив на утицај улазног отпора и капацитет прикључних проводника, односно на њихову дужину. Код појачавача наелектрисања, ови ефекти су занемариви.

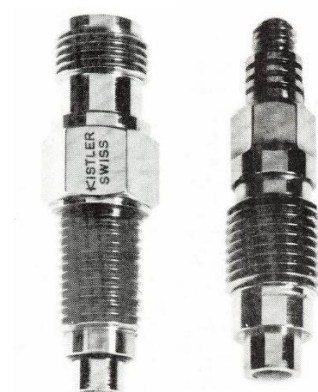
Сензор натпритиска има задатак да верно репродукује физичку појаву, амплитудно и фреквентно. Неопходно је да има велику осетљивост на притисак, а да остали фактори, као што су потреси, велика убрзања и високе температуре, не утичу на његове мерне особине. Овакви претварачи спадају у групу активних давача, будући да им није потребан помоћни извор напајања и погоднији су за мерење динамичких промена притисака, пошто се користе у комбинацији са појачивачима напона. За балистичка испитивања и регистровање притиска се најчешће примењују пиезоелектрични сензори **Kistler** из серије 6200, а најчешће се примењују наведени у табели 2. [6]

Табела 2: Карактеристике пиезо сензора притиска

Карактеристичне вредности	Јединица мере	Тип Kistler сензора		
		6201	6211	6221
Максимални опсег притиска	bar	0 ÷ 5000	0 ÷ 7500	0 ÷ 2500
Разлагање	bar	0.02	0.02	0.01
Максимални притисак	bar	5500	8000	3000
Осетљивост	pC/bar	2.5	1.8	3.5
Резонантна фреквенција	kHz	170	150	160
Време успона до макс. вредности притиска	μs	2.0	2.0	2.0
Линеарност (макс. греш.)	%	± 1	± 2	± 1
Отпор изолације	Ω	5 x 10 ¹³	5 x 10 ¹³	5 x 10 ¹³
Максимално убрзање	g ^{*)}	15000	15000	10000
Осетљивост на убрзање	bar/g	0,0015	0,0015	0,003
Радна температура	°C	-150 ÷ +240	-150 ÷ +240	-150 ÷ +240

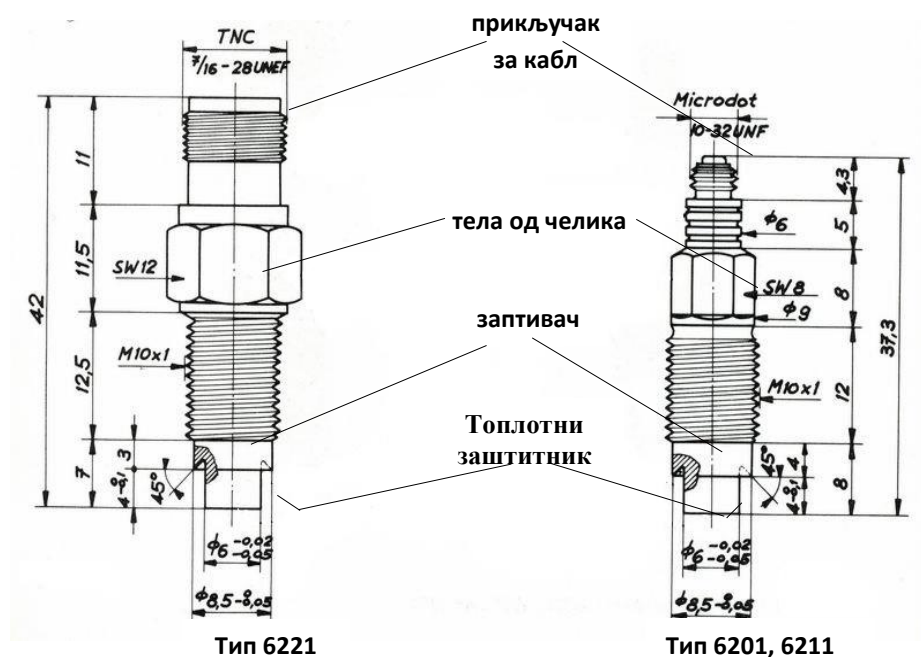
^{*)} g – убрзање земљине теже, 9.81 m/s²

Спољни изглед као и димензије пиезо сензоратип Kistler 6221, 6201, 6211 дати су на сл. 13 и 14.



Тип 6221 Тип 6201, 6211

Слика 13: Пиезо сензори Kistler[6]



Тип 6221

Тип 6201, 6211

Слика 14: Елементи пиезо сензора[6]

3.3.1 Адаптери сензора

Адаптери за сензоре притиска се уврћу у дно чауре или у испитну цев оруђа. Код мерења притиска у чаури адаптер је потребан јер би увртањем самог претварача у дно чауре он био оштећен затварачем оруђа. Зато се адаптер уврће са унутрашње стране на дно чауре, а затим се у њега уврће сензор са спољне стране тако да није испод равни

Код мерења притиска у крешерним цевима оруђа адаптери су прилагођени већ избушеним отворима у које се уврће крешерни систем. Спољне димензије адаптера су зато прилагођене отворима за крешерне цеви. Унутрашње димензије адаптера су прилагођене сондама.

Technical drawing of a cable gland assembly, showing three views: a cross-section, a side view, and a top view.

Cross-section view (top): Shows the internal structure of the gland. Dimensions include L , $L/2$, and R . A note indicates a cable passage channel: "Kanal za prolaz kabla širine $2,5 \pm 3$ dubine $2,5$ ".

Side view (middle): Shows the profile of the gland. Dimensions include:

- Outer diameter: $\varnothing 22$
- Inner diameter: $21,7$
- Hole diameter: $\varnothing 8,9$
- Hole diameter: $\varnothing 6,2 \pm 0,05$
- Height: 13
- Angle: $3^\circ 30'$
- Height: $1,5$
- Height: 7
- Height: 4
- Height: $1,5$
- Height: 12
- Height: 18×1
- Outer diameter: $\varnothing 26$
- Height: $35 \pm 0,5$
- Height: 47
- Height: $49 \pm 0,5$
- Height: 57

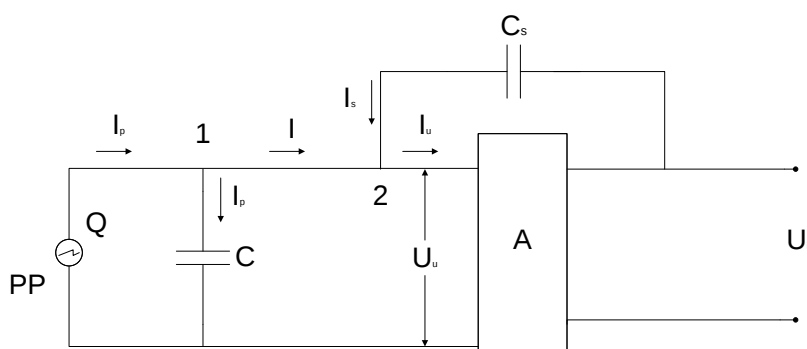
Top view (bottom): Shows the circular shape of the gland. Dimensions include:

- Outer diameter: $\varnothing 26$
- Inner diameter: $\varnothing 19$

страна 28

Водови служе за пренос сигнала од мерног претварача до посредне јединице, односно носача података. Да би се минимизирали губици и изобличења примењују се коаксијални водови са BNC прикључцима. Коаксијални водови су погодни због своје несиметричности, која се огледа у томе што се електромагнетно поље ствара само услед струје унутрашњег проводника. Како је електромагнетно поље коаксијалног вода оклопљено спољашњим проводником, то спречава зрачење и утицај спољашњих фактора.

У области мерења притиска увек се као посредна јединица између пиезо-претварача и носача података користи појачавач наелектрисања. Блок шема појачавача наелектрисања је дата на слици 16.



Слика 16: Електрична блок шема мерног система пиезо сензора и појачавача наелектрисања[7]

За овакве мерне системе се примењује појачавач наелектрисања (CHARGE AMPLIFIER) тип 494A21 PCB piezotronics, приказан на слици 17.



Слика 17: Појачавач наелектрисања тип 494A21 PCB piezotronics[6]

Наелектрисање Q које долази из РР, пропорционално је мереној физичкој величини-притиску.

На улазу једносмерног појачавача А, високе улазне имендансе и великог појачања, долази напон U_u , који је једнак:

$$U_u = \frac{Q}{C} \quad (2.8)$$

Овде C представља збир капацитативности претварача, вода и улазне капацитативности самог појачавача.

За чворове 1 и 2 на слици 13 електричне блок шеме могу се написати следеће релације:

$$I_p - I - I_c = 0 \quad (2.9)$$

$$I + I_s - I_u = 0 \quad (2.10)$$

Изазни напон U_i је у противфази са улазним напонам U_u , шаље преко променљивог кондензатора повратне спреге C_s на улаз појачавача струју I_s , која компензује струју мерног појачавача I , тако да је струја I_u , која улази у појачавач једнака нули (она је веома мала услед високе улазне импендансе појачавача), тј. $I_u=0$.

Под овим условима из једначина (2.9) и (2.10) се добија:

$$I_p = I_c - I_s \quad (2.11)$$

Односно, уколико се узме у обзир једначина (2.8)

$$j\omega Q = j\omega C U_u - j\omega C_s (U_i - U_u) \quad (2.12)$$

где су:

$$\begin{aligned} I_p &= j\omega Q \\ I_c &= j\omega C U_u \\ I_s &= j\omega C_s (U_i - U_u) \end{aligned}$$

Ако се узме да је однос улазне и излазне вредности једнак преносном фактору појачања

$$A = \frac{U_i}{U_u} \quad (2.13)$$

онда се добија

$$Q = CU_u - C_s(u_i - U_u) = \frac{U_i}{A}(C - C_s A - C_s) \quad (2.14)$$

односно

$$U_i = \frac{QA}{C - C_s(A - 1)} \quad (2.15)$$

Појачање A појачавача напона је веома велико, тако да је:

$$C_s(A - 1) \gg C \quad (2.16)$$

па следи да је:

$$U_i \cong \frac{-QA}{C_s(A - 1)} \cong -\frac{Q}{C_s} \quad (2.17)$$

Одавде произилази да је излазни напон из појачавача U_i директно пропорционалан наелектрисању Q , односно мереној величини натпритиска, за одређену вредност C_s .

Карактеристике појачивача 494A21 PCB piezotronics су дате у табели 3.

Табела 3. Карактеристике појачивача PCB 494A21 [6]

Карактеристике	Јединица мере	PCB 494A21
мерни опсег	pC	$\pm 10 \div 500$
излазни напон	V	± 10
излазна струја	mA	± 50
излазна импеданца	Ω	100
улазна импеданца	Ω	10^{14}
фреквентни опсег са стандардним филтером (-3 dB)	kHz	0–180
линеарност (максимална грешка)	%	$\pm 0,05$
тачност (опсега)	%	± 1
калибрациони улаз	pC/mV	1
шум (појачавача)	mV _{ef}	max 2
шум вода (услед капацитивности)	pC _{ef} / 1000pF	max 0,02
радна температура	°C	0÷50
конектор за повезивање	BNC Jack	

Појачавач наелектрисања типа 494A21 PCB piezotronics у потпуности задовољава критеријуме квалитета трансформације сигнала до носача података, те се као такав користи у мерном систему за прикупљање података.

Као носачи података су се временом користили различити уређаји за меморисање података, од магнетофона до савремених рачунара. Најчешће се примењује комбинација сабирника сигнала-аквизицијска картице (NI6259 National instruments) и рачунара, где су резултати меморисани на хард диску. Регистровање резултата мерења и њихова обрада се врше разним софтверским алатима, као што је LabView.

Мерење притиска барутних гасова се врши са извесном грешком. Укупна грешка мерења потиче од грешака претварача, појачавача наелектрисања и регистратора.

3.3.2 Грешке мерења

Мерење притиска барутних гасова се врши са извесном грешком. Укупна грешка мерења потиче од грешака претварача, појачавача наелектрисања и регистратора.

Грешка претварача

Релативна грешка мерења пиезоелектричних претварача зависи од верификованих карактеристика претварача и величине мереног притиска. [7] Преносна карактеристика пиезоелектричних претварача је:

$$Q = s \cdot p \quad (2.18)$$

Где је p - притисак који делује на претварач, s - осетљивост претварача и Q - наелектрисање које генерише претварач. Осетљивост претварача се добија верификацијом претварача у оквиру опсега коришћења. Опсег је дефинисан од нуле до максималног притиска $p_{\max}$. У оквиру тог опсега мере се вредности наелектрисања у функцији притиска за одређене вредности притиска (обично 10 еквидистантних вредности притиска које покривају опсег). Помоћу тако израчунате вредности осетљивости израчуна се наелектрисање за сваку мерну тачку и одреди се разлика између измерене и израчунате вредности. Највећа апсолутна вредност од ових разлика подели се са максималним наелектрисањем опсега баждарења $Q_{\max}$ да би се израчунала линеарност претварача l :

$$l = \frac{\Delta Q}{Q_{\max}} \quad (2.19)$$

Линеарност је у ствари скраћеница за одступање од линеарности, што би био прави назив овог параметра. Дакле, баждарење даје три податка: максимални притисак опсега баждарења, осетљивост и линеарност. Из ових параметара израчунава се релативна грешка мерења пиезоелектричног претварача. Релативна грешка претварача је:

$$r_p = \frac{\Delta p}{p} = \frac{|q_1 - q|}{s \cdot p} = \frac{\Delta q}{s \cdot p} = \frac{l \cdot Q_{\max}}{s \cdot p} = l \cdot \frac{p_{\max}}{p} \quad (2.20)$$

Из једначина се види да грешка зависи од односа максималног притиска опсега баждарења и мереног притиска-што је мерени притисак нижи грешка је већа.

По спецификацији сензора је дефинисана линеарност, односно максимална мерна грешка, која је мања од 2%. На основу вредности линеарности се може закључити да је мерење овом врстом сензора изузетно поуздано и тачно.

Грешка појачавача

Грешка мерења појачавача наелектрисања на основу података произвођача износи 1%. Из спецификације појачавача, максимална мерна грешка у границама $\pm 0,05\%$. [7] Узимајући у обзир ову чињеницу, може се закључити да је појачањем сигнала грешка регистровања јако мала и да се може занемарити.

Грешка система за обраду

Уређаји који учествују у обради резултата мерења уносе грешку која је врло мала и која се занемарује. Грешка у току обраде се врши заокруживањем нумеричких вредности регистрованих података на шесту децималу. Грешке заокруживања су мање од 0,05% за вредности притиска у Ра, а самим тим се могу занемарити. [7]

Укупна грешка

Укупна грешка система за мерење је једнака збиру грешака појединих инструмената који припадају систему за мерење и износи:

$$r = r_p + r_{poj} + r_r \quad (2.21)$$

где су: r_p - грешка мерења пиезоелектричног претварача, r_{poj} - грешка мерења појачавача наелектрисања и r_r - грешка мерења регистратора.

Сабирањем укупне грешке по спецификацијама опреме, може се закључити да регистроване вредности промене притиска применом овог мерног система у граници до 1%. [7] Мерни систем, са оваквом укупном грешком, је поуздан и са великом тачношћу региструје промене притиска унутар цеви у току процесу опаљења.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕТОДА МЕХАНИЧКОГ МЕРЕЊА ПРИТИСКА БАРУТНИХ ГАСОВА

Овом методом врши се мерење максималних притисака барутних гасова одговарајућим поступком, крешерном методом. Крешерни систем се састоји од крешера, бакарног ваљчића и гумице за центрирање бакарног ваљчића. Сам крешер се састоји од тела, клипа и поклопаца.

Бакарни ваљчићи су бакарна тела у облику ваљчића. Поред бакарног ваљчића, употребљавају се и бакарни ваљчићи с конусом и бакарне куглице. За велике калибре муниције, у употреби су непредгњечени, једном предгњечени и двапут предгњечени бакарни ваљчићи. Предгњечења бакарних ваљчића се врше за калибре муниције почев од 12.7 mm, заједно са целим артиљеријским програмом.

За сваку серију непредгњечених и једанпут предгњечених бакарних ваљчића произвођач израђује таражне таблице које дају везу између максималних притисака барутних гасова и заостале висине, односно висине гњечења ваљчића. Почетна висина ваљчића h_0 [mm] је висина ваљчића пре гњечења. Заостала висина h_z [mm] је висина ваљчића после гњечења. Висина гњечења h_g [mm] је разлика између почетне и заостале висине ваљчића. За два пута предгњечене ваљчиће не испоручују се таражне таблице, већ се дају подаци о притисцима предгњечења и коефицијент тврдоће α .

За сваки крешер (било за стрељачку, било за артиљеријску муницију) произвођач, по правилу, испоручује књижицу у којој се уносе следећи подаци:

- Техничке карактеристике (пречник клипа, димензије ваљчића, тип, модел, номинална површина клипа, укупна запремина крешера, година производње);
- Резултати с пријемног испитивања;
- Рубрике предвиђене за уписивање података о експлоатацији крешера (редни број употребе, датум и место, оруђе, врста ваљчића и серија, измерени притисак, упоредни притисак и крешер).

За мерење максималних притисака барутних гасова (P_m) потребно је припремити крешере, бакарне ваљчиће, таражне таблице и помоћни прибор (било за стрељачку, било за артиљеријску муницију). Помоћни прибор се користи само за мерење максималног притиска и његова исправност се утврђује пре сваког мерења. У помоћни прибор спада:

- Микрометар за мерење висине бакарног ваљчића са тачношћу 0,001 mm;
- Пинцета с коштаним или пластичним врховима;
- Штапић од дрвета или пластике за намештање клипа;
- Цевчица од бакра или пластике за центрирање гумице;
- Средства за подмазивање и заптивање крешера предвиђена од произвођача крешера;
- Кључ за поклопац крешера;

-
- Клешта или стега за држање крешера при навијању или одвијању поклопца крешера;
 - Дрвене плоче с лежиштима за држање крешера при опиту;
 - Дрвене плоче с лежиштима за чување употребљених ваљчића до краја опита;
 - Индустијски бензин за прање и чишћење крешера;
 - Посуде за воду и прање крешера;
 - Чисте меке крпе и јеленска кожа за чишћење елемената;
 - Бележница извршиоца мерења за уписивање података и резултата мерења.

Руковање крешерним системима дозвољено је само обученим лицима.

Максимални притисак барутних гасова мери се крешерним системом који је прописан одговарајућим стандардом за испитивање барута или барутних пуњења, односно за испитивање муниције (стрелачке, артиљеријске и минобацачке). Ако крешерни систем није прописан, избор се врши у зависности од очекиваних максималних притисака барутних гасова и типа оруђа, односно запремине барутне коморе, што се приказује табеларно.

Избор крешерног система врши се на основу препорученог распона, водећи рачуна да одабрани систем има најмању запремину и да висина гњечења буде мања од 1/3 почетне висине.

У даљем тексту, акценат се ставља на методу спољних завојних крешера који се користе за мерење максималних притисака за стрелачку муницију. Вредности максималних притисака су прописани у техничким спецификацијама метка и одговарајућим таражним таблицама које се примењују (таражне таблице дате су у прилогу за крешерну методу).

За потребе експерименталног дела овог дипломског рада, остварена је сарадња са фабриком стрелачке, малокалибарске муниције "Први Партизан" из Ужица. При том су вршене експерименталне методе за Пиезо и Крешерни системе који ће бити детаљније објашњени у даљем тексту.

Сви произвођачи малокалибарске, стрелачке, карабинске, пиштољске и револверске муниције користе три типа крешера.

У стрелачкој муницији користе се спољни завојни крешери који су већ описани у поглављу 2 (за даљи текст обратити пажњу на слику 5). За карабинску, пиштољску и револверску муницију користи се радијални контролник притиска који је директно усађен у задњи део цеви и после пасовања са цеви чини једну целину. Међусобна замена клипа и цеви није дозвољена. Пречник клипа ових крешерних система је европски стандард CIP и амерички SAAMI. Разлика између ова два крешера је у пречнику клипа на који делују барутни гасови у комори. CIP има пречник клипа ϕ 3,91 mm и SAAMI ϕ 5,23 mm. Оба стандарда имају методу мерења и стандард са прописаним вредностима максималног притиска, појединачног максималног притиска за све калибре који су прописани, тј. дати у њиховим стандардима.

При мерењу притиска радијалним контролником притиска са краћим клипом, у крешерни отвор цеви ставља се месингани заптивач у виду преврнутог чанчета који својим бочним странама врши заптивање, спречавајући пролаз барутних гасова између чела клипа и зидова крешерног отвора како би се избегло оштећење клипа.

После стављања месинганог заптивача, у креперни отвор се ставља креперни клип који је претходно замочен у уље. На главу клипа поставља се бакарни ваљчић који се притеже завртњем клизача на унивезалном прихватачу. Једном постављен крепер на цеви не скида се док се не испали група од 10 метака (не рачунајући метке за загревање цеви).

Бакарни цилиндри се користе у разним димензијама у зависности од опсега мерења притисака барутних гасова. Бакарни ваљчићи димензија $\phi 3 \times 4,9$ mm за притиске 1500-3500 bar и бакарни ваљчић димензија $\phi 5 \times 7$ mm за притиске преко 3000 bar.

По европском стандарду CIP извршен је опит мерења брзине зрна и максималног притиска барутних гасова у метку 7,63 mm Mauser са зрном FMJ масе 5,5 g.

Технички захтеви за метак:

- Брзина зрна на 12,5 m је $V=440 \pm 25$ m/s;
- Максимални притисак: клип $\phi 3,91$ mm, бакарни ваљчик $\phi 3 \times 4,9$ mm, $P_m < 2200$ bar.

Протокол испитивања дат је у прилогу за креперну методу [8].

По америчком стандарду SAAMI извршен је опит мерења брзине зрна и максималног притиска барутних гасова у метку 9 mm Luger са зрном FMJ масе 7,45 g.

Технички захтеви за метак:

- Брзина зрна на 12,5 m је $V=340 \pm 25$ m/s;
- Максимални притисак: клип $\phi 5,23$ mm, бакарни ваљчик $\phi 5 \times 7$ mm, $P_m < 2000$ bar.
- Протокол испитивања дат је у прилогу за креперну методу [8].

5. ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧНА МЕТОДА МЕРЕЊА ПРИТИСКА У ЦЕВИ

Као што је већ напоменуто у поглављу 2, Пиезоелектрична метода је електронска метода мерења притиска унутар цеви. Доста је тачнија у односу на Крешерну методу, па се као таква више користи за пријемна испитивања серијске производње муниције.

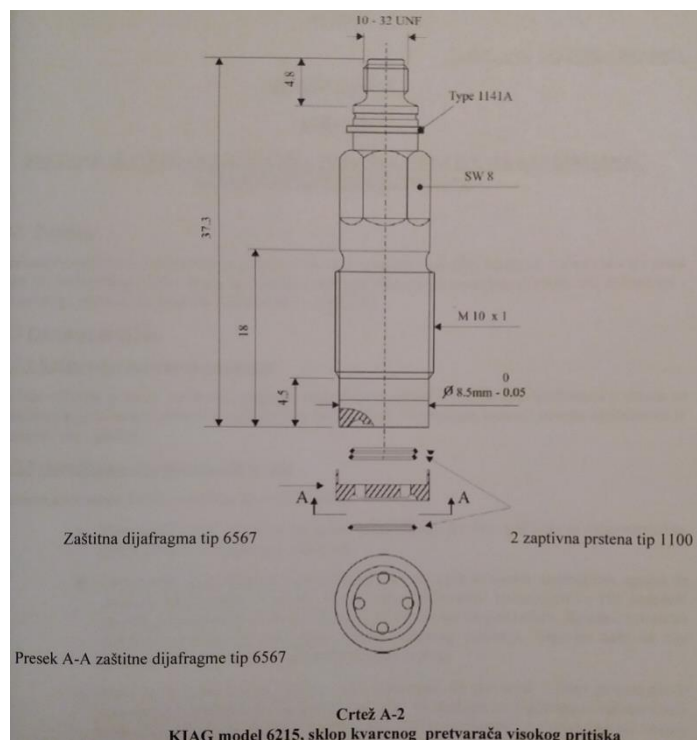
НАТО одбор за муницију малог калибра увео је у службену употребу систем пиезоелектричних мерења притиска у Регионалним опитним центрима Европе и Северне Америке седамдесетих година прошлог века. Постављало се питање "Зашто одустајати од провереног и поузданог крешерног система?" Одговор је једноставан због аутоматизације. Још једна предност пиезоелектричних претварача је у томе што могу да мере много веће вредности притисака него са крешерима. То не значи да је притисак барутних гасова стварно већи, него само да се он рефлектује у тачнијем мерењу максималне вредности. У савременом начину мерења, карактеристичност сонди је да се њихова осетљивост (изражена у рС) мери са неким фактором да би се добиле праве вредности притисака. [8] Употреба крешерног ваљчића за мерење притисака представља у основи низ мануелних радњи које се понављају за свако опаљење, док пиезоелектрични претварач, једном монтиран, даје електрични сигнал за директно увођење у рачунар. Добијање и анализа података постаје готово тренутна, грешка човека је искључена, време и потреба за радном снагом смањена, а тиме постигнута и уштеда у трошковима. Та уштеда у трошковима коже износити и преко 50% у односу на рад са крешерним системом, што сасвим оправдава потребу за аутоматизацијом.

Пиезоелектрични претварач је коришћен током Другог светског рата за истраживање и развој малокалибарске муниције. Први детектор је био претварач сигнала и користио се клип који преноси притисак гаса на осетљиви кварцни елемент. Касније су конструисани претварачи са затвореном дијафрагмом који су били много мањи по димензијама, са знатно смањеним хистерезисом, бољом линеарношћу, побољшаним заптивањем за високи притисак и много поузданији.

Избаждарена осетљивост претварача треба да остане константна за цео његов век трајања и да претварач издржи најмање неколико хиљада опаљења, јер се као такав сматра способним за пријем серијске производње. Калибрисање осетљивости претварача потребно је да би се прецизно одредила вредност трансформације улаза притиска до електричног излаза. Када се одреди осетљивост, електронски инструменти могу бити калибрисани и излази се могу измерити до стварних физичких јединица притиска. Данас постоје сензори који испуњавају ове критеријуме. Овај поступак не само што штеди новац и време, већ омогућује мерење максималних вредности притисака сваког метка при гађању аутоматском ватром. Емпирисјки је утврђено да се коришћењем истог претварача, исте крешерне цеви и исте серије муниције, добијају идентичне максималне вредности притисака. У случају да се користе различити претварачи, а иста цев и иста муниција, добија се нешто већа разлика.

При овим опитима примењују се пиезоелектрични сензори, тј. сонде Kistler 6203 која је старија варијанта, и KIAG 6215 која је новија варијанта сонде. За потребе експеримената коришћена је сонда KIAG 6215 (слике 18 и 19) за два типа муниције

калибра 5,56x45 mm SS109 и 9x19 mm NATO BALL. Експеримент је урађен у складу са НАТО процедуром. Метода мерења је EPVAT.



Слика 18: KIAG модел 6215, склоп кварцног претварача високих притисака [8]



Слика 19: Спољни изглед сензора KIAG модел 6215 [8]

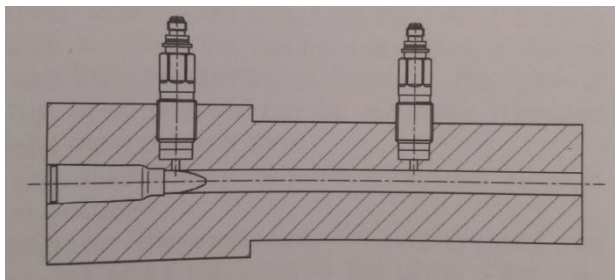
EPVAT је процедура тестирања комбинованог електронског притиска, брзине и времена опаљења. У ширем смислу, применом ове методе могу се добити следећи подаци:

- Максимални притисак барутних гасова;
- Притисак на позајмици барутних гасова;
- Почетна брзина зрна на устима цеви;
- Време опаљења.

Максимални притисак барутних гасова мери се на устима чауре одговарајућом методом.

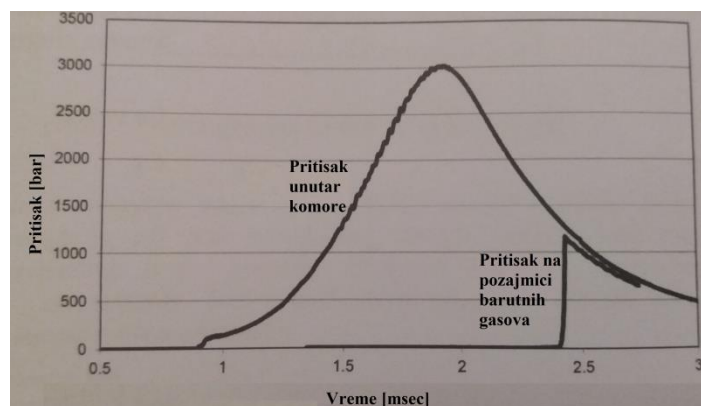
Притисак на позајмици барутних гасова мери се не на посебном мерном месту које је битно за аутоматска оружја/оруђа. Наиме, на том месту мерења, одређена количина барутних гасова делује на клип повратног механизма аутоматике, што значи да се и одређена енергија троши на тај процес. Стога се притисак потребан за потискивање тог клипа, мери на предвиђеним местима (слика 20), у зависности од врсте оружја/оруђа за које се врши мерење.

Време опаљења се мери од тренутка удара ударне игле о дно иницијалне капсуле до тренутка када дно пројектила напусти уста цеви.



Слика 20: Шема мерења притиска на местима дуж цеви
(позајмица барутних гасова) [8]

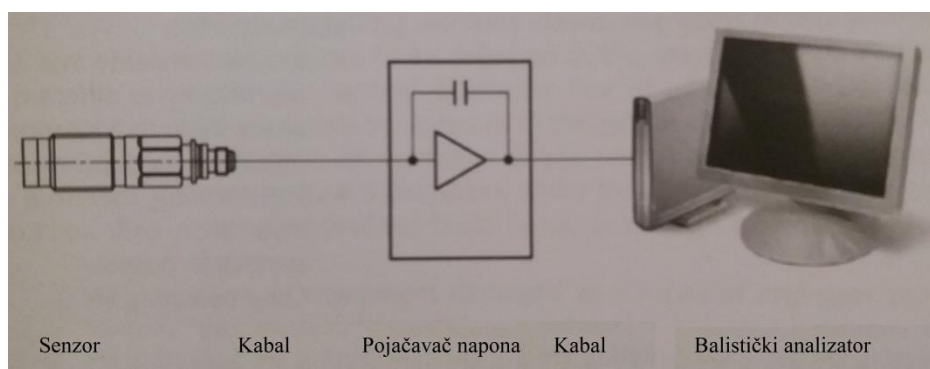
Мерење притиска у барутној комори је сложен процес због веома кратког времена трајања. Као излазни податак, након извршеног мерења, добија се дијаграм зависности развоја притиска барутних гасова (изражен у bar) од времена трајања (изражено у ms) као што је приказано на слици 21. Зависно од врсте оружја/оруђа и мерног места (крај или почетак цеви), први "ударни", притисак на дно сензора може произвести већи притисак него на месту позајмице барутних гасова унутар барутне коморе. У већини случајева, мерење је извршено само након добијања притиска на позајмици барутних гасова.



Слика 21: Дијаграм притиска барутних гасова унутар барутне коморе
и на позајмици барутних гасова [8]

На слици 22 приказана је упрошћена блок шема мерне опреме. У ширем смислу, мерна опрема (мерни систем) за мерење по НАТО стандарду се састоји од:

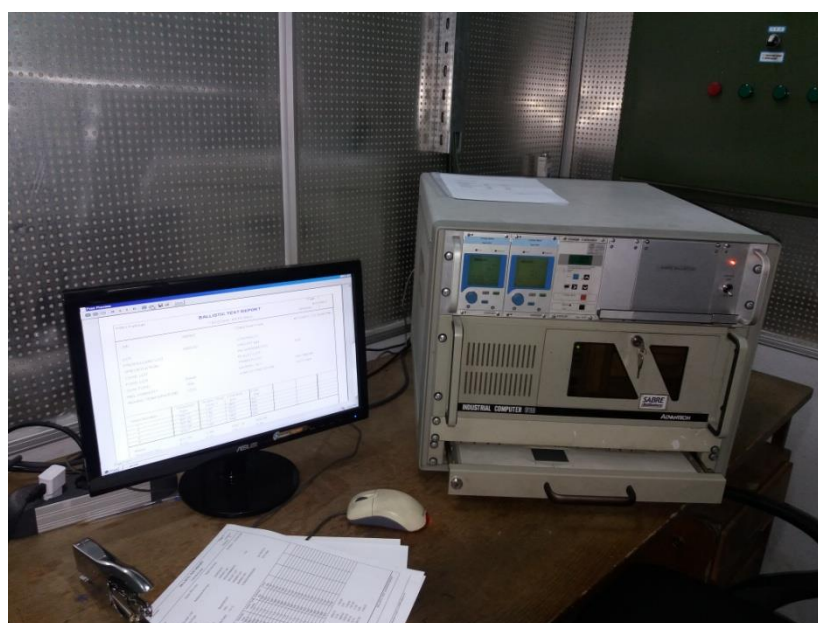
- Опитне цеви са два сензора који мере максимални притисак и притисак на позајмици барутних гасова (слика 23);
- Главе затварача, где се налази START прекидач, када почиње време мерења;
- Флеш детектора који се налази на устима цеви (слика 23), где се зауставља време мерења STOP прекидачем, који ради 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 (слика 24);
- Инфрацрвене баријере за мерење брзине зрна на неком прописаном одстојању од уста цеви у балистичком тунелу.



Слика 22: Блок шема мерне опреме [8]



Слика 23: Изглед опитне цеви са флеш детектором [8]



Слика 24: Балистички анализатор [8]

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. Постоје номиналне спецификације претварача пиезоелектричног притиска које се приказују табеларно. (табела 4)

Табела 4. Спецификације перформанси претварача пиезоелектричног притиска KIAG 6215 [8]

	KIAG 6215
Максимални обим мерења	0-600 MPa
Тачност (праг)	0,002 MPa
Максимални притисак	660 MPa
Осетљивост	14 pC/Мра
Фреквенција резонанце	240 kHz
Време пораста	1 μ s
Линеарност (% односа)	$\leq \pm 1\%$
Отпор изолације	15×10^{13} ohm
Коефицијент температуре	$\leq \pm 0,02\%/^{\circ}\text{C}$
Интервал радне температуре	од -50 до +200 $^{\circ}\text{C}$
Максимално убрзање (шок)	250,000 m/s ² (аксијално) 100,000 m/s ² (трансферзално)
Капацитет	8pF
Осетљивост убрзања	$\leq 20 \times 10^{-6}$ MPa/m.s ⁻² (аксијално) $\leq 51 \times 10^{-6}$ MPa/m.s ⁻² (трансферзално)

За потребна испитивања припрема се одређени број метака, прописан стандардом. Та муниција се остављена на три температуре по групама са одређеним бројем метака, како би се након мерења добили подаци за те исте температуре. Температуре на којима се темперирала муниција (припрема муниције за опит на некој од прописаних температура) и времена трајања темперирања су [8]:

- +21 $^{\circ}\text{C}$ /24h,
- +52 $^{\circ}\text{C}$ /4h,
- -54 $^{\circ}\text{C}$ /6h.

Пуцања (редослед пуцања) ће бити у складу са следећим захтевима:

- Неколико метака за загревање цеви;
- Предвиђена група референтних метака испуца се и забележе се резултати EPVAT испитивања. Ако се задовољавају критеријуми за референтна мерења, тест се наставља, у супротном се мења цев и тестирање почиње изнова;
- Испуцају се неколико метка за загревање из серије опитне муниције;
- Испуца се предвиђена група опитних метака на +21°C и забележе резултати;
- Уклони се претварач, очисти се, поново врати и причврсти;
- Испуца се неколико метака за загревање из серије опитне муниције;
- Поново се причврсти претварач;
- Испуца се предвиђена група метака на +52°C и забележе се резултати;
- Уклони се претварач, очисти се, поново врати и причврсти;
- Испуца се неколико метака за загревање из серије опитне муниције;
- Поново се причврсти претварач;
- Испуца се предвиђена група метака на -54°C и забележе се резултати.

Редослед пуцања на +52°C и -54°C може бити и по супротном редоследу.

Референтна муниција се користи да би се утврдило исправно функционисање опреме пре испуцавања било које серије опитне муниције. Склоп EPVAT цеви се може повући из употребе ако се прекораче вредности варирања карактеристика од утврђених вредности за референтну муницију (просечан највиши притисак на устима чауре, просечан највиши притисак на позајмици и почетна брзина).

EPVAT цев треба да буде у складу са техничким цртежима. Пре EPVAT тестирања, треба проверити да ли у унутрашњости цеви има остатака барута и/или запрљаност од метала. Ако је потребно, цев очистити. Битно је напоменути да EPVAT цеви никада не треба чистити средствима која остављају масне трагове, отвор за монтирање претварача не сме садржати честице страног материјала.

Да би барут био једнако постављен од метка до метка, потребно је обратити пажњу при руковању муницијом и при убацивању метка у лежиште. Барут треба да буде постављен на делу краја капсуле, али са довољно ваздуха који се налази на делу са зрном. У супротном, могло би доћи до промене вредности измерених величина.

Сматра се да је муниција у складу са NATO захтевима за одговарајуће калибре ако се захтеви наведени у табели 5 задовољавајући.

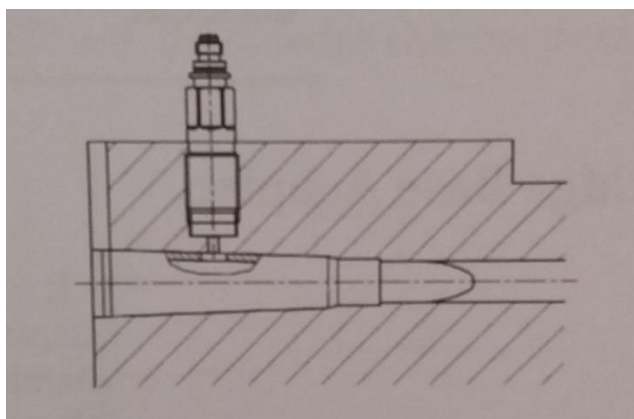
Резултате мерење и референтне и опитне муниције треба забележити директно на одговарајућем обрасцу.

Табела 5. Резултати мерења - Квалификативна сагласност са НАТО захтевима [8]

Калибар	5,56 mm	9 mm
Претварач	6215	6215
Мах. кориговани просечни притисак на устима чауре на +21°C	405 bar	245 bar
Мах. разлика на устима чауре између +52°C/-54°C и +21°C узорака	+55 MPa -110 MPa	± 65MPa
Мах. кориговани просечни притисак на устима чауре за узорак на +52°C/-54°C	455 MPa	Нема захтева
Мах. разлика притисака на позајмици између +52°C/-54°C и +21°C узорака	± 15 MPa	Нема захтева
Мин. кориговани просечни притисак на позајмици за узорак -54°C	103 MPa	Нема захтева
Мах. разлика брзине између +52°C/-54°C и +21°C узорака	+50 m/s -80 m/s	± 30 m/s
Мах. индивидуално време опаљења за узорак на +21°C	Нема захтева	3 ms
Мах. просечно време опаљења за узорак на -54°C	2 ms	Нема захтева
Енергија на устима цеви за узорак на +21°C	Мин. 1564 J (1480 J на 24m од уста цеви)	Између 551 и 823 J за масу зрна између 7 и 8,3g (491 и 713 J на 16m од уста цеви)

Уколико дође до проблема са опремом, врши се детаљна истрага и свака неисправна опрема се поправља или мења. Комплетно EPVAT тестирање се понавља употребом оригиналне количине узорака ако се на опреми појави мана која може утицати на резултате мерења.

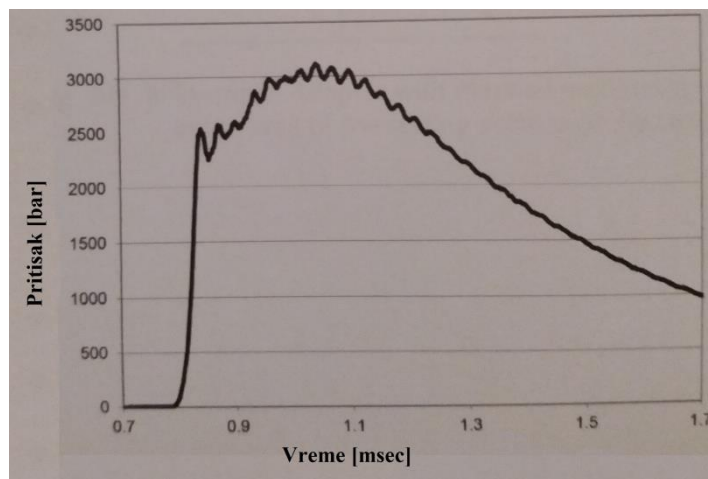
Преко СІР мерне методе мери се притисак барутних гасова у чаури метка, што је приказано на слици 25.



Слика 25: Мерење притиска барутних гасова СІР мерном методом [8]

За опите се примењује сонда са термалном заштитом KIAG 6215, која је по CIP стандарду. Термална заштита сонде се поставља у виду гумене подлошке која штити сензор од ерозије барутних гасова.

Ова мерна метода по CIP стандарду је потпуно иста као метода по NATO стандарду. Једина разлика је у томе што се по овој CIP методи мерења притисака барутних гасова врши исправљање сигнала, што се представља бољим изгледом дијаграма, где се коригују оштри скокови притисака (слика 26). Сигнал се филтрира на 30 kHz.



Слика 26: Осцилација вредности измереног притиска [8]

5.1 Опрема потребна за припрему цеви и инсталирање претварача типа KIAG 6215

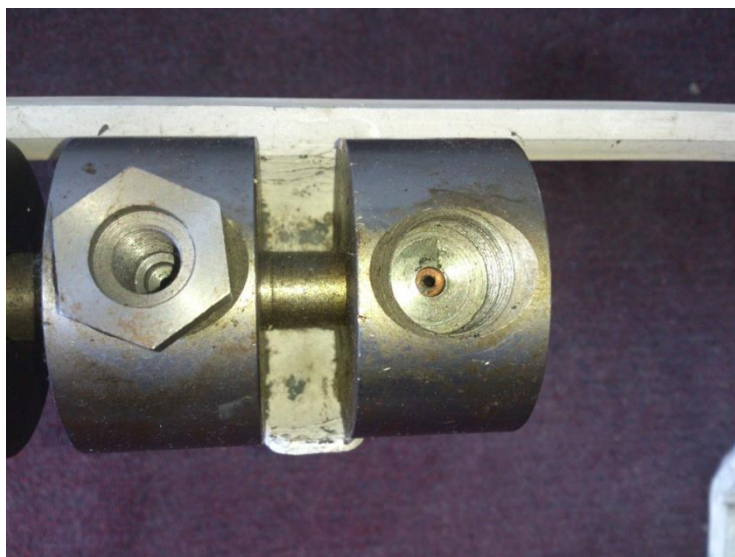
Потребна опрема је:

- Опитна цев у складу са спецификацијом за димензије и квалитет материјала;
- Кистлеров развртач са равним врхом за равнање чела лежишта сонде у цеви;
- Индустијски папирни убруси;
- Кистлерова маст;
- Кључ за завртање (момент) од 30 Nm.

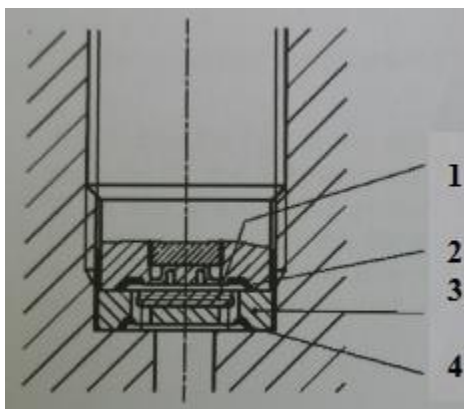
Припрема инсталације претварача:

- Кистлеровим развртачем са равним врхом очистити заптивну површину од честица насталих сагоревањем, корозијом или других аномалија;
- Добро очистити унутрашњост цеви и претварач;
- Пре инсталације на чело сонде ставити малу количину Кистлерове масти тип 1063;
- Поставити заптивни прстен модел 1100 у улегнуће чела претварача;
- На сонду поставити заштитну дијафрагму типа 6567;
- На предњу страну заштитне дијафрагме поставити заптивни прстен модел 1100;
- Такав склоп претварача уврнути у опитну цев (слика 27) и стегнути кључем на максимално 20 Nm.

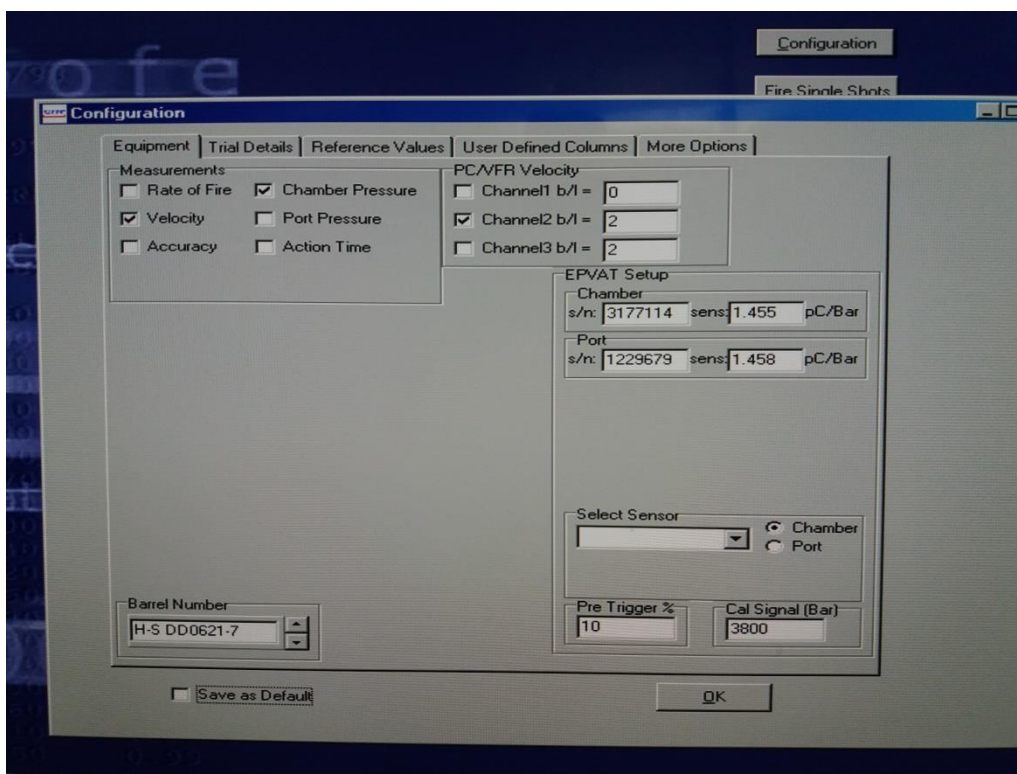
Напомена: У односу на објашњену NATO методу, поступак припреме претварача за мерну методу SIP је индетичан, изузев што је термална заштита другог типа.



Слика 27: Место за монтажу спољњег завојног крешера (са десне стране), а са леве је место за увртање сонде [6]



Слика 28: Шематски приказ термалне заштите за SIP методу мерења: 1.- термална заштита тип 1181A; 2.- заптивни прстен модел 1100; 3.- термална заштита тип 6565A; 4.- заптивни прстен модел 1100 [8]



Слика 29: Сетовање почетног екрана [8]

Величине које се мере, а које су приказане на слици 29, су:

- Брзина гађања;
- Брзина;
- Прецизност;
- Притисак у барутној комори;
- Притисак на позајмици баутних гасова;
- Време опаљења.

Величине које се сетују пре EPVAT тестирања, а које су приказане на слици 31, су вредности из сертификата који је у прилогу пратеће документације за мерни систем.

Испитивања су извршена на метку 5,56x 45 mm BALL и метку 9x19 mm NATO BALL. Муниција је задовољила техничке захтеве из табеле 5 која је повезана са прилогом за пиезо методу мерења.

Пиезо CIP метода у складу са CIP стандардом урађен је опит мерења брзине и максималног притиска за метак .30-06 Springfield са зрном SP 9,7 g. Прописана вредност брзине на 25 m $V=860 \pm 25$ m/s и Pm пиезо притисак < од 4050 bar. У складу са табелом 1 из CIP стандарда (прилог за пиезо методу мерења).

Треба поменути и материјал опитне цеви са којом се врше мерења. Обзиром да се цев при тестирању излаже великим притисцима и температурама, стварају се велика напрузања унутар цеви која би могла, уз неадекватну технологију обраде и врсте

материјала цеви, проузроковати дефекте, а у најгорем случају прскање цеви. Стога, као материјал за опитне цеви се користи материјал наведен у следећој табели 6.

Табела 6: Избор материјала за израду опитних цеви за стрељачку муницију малог калибра [8]

Материјал	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Mo, %
42CrMo4	0,41	0,3	0,7	1,1	0,2

6. УПОРЕДНА АНАЛИЗА И ЗАКЉУЧАК

Циљ упоредне анализе је да се прикажу карактеристичне вредности добијене мерењем за муницију од неколико калибара. На основу прикупљених података Пиезо и Крешерне методе експерименталним делом овог дипломског рада, може се извршити упоредна анализа која се приказује табеларно у табели 7.

Табела 7: Упоредна анализа

Метак	Крешер	Пиезо	Прорачун
.30-06 (7,62x51 mm)	3500 bar	4050 bar 860 m/s	3643,2 bar 857,8 m/s
9x19 mm Luger (Parabellum)	2450 bar	2350 bar На 12,5 m од мете је 340 ±25 m/s	2543,6 bar 373,24 m/s
5,56x45 mm	3450 bar	4050 bar 914 m/s	3592,7 bar 916,36 m/s

Из табеле се може закључити да је крешерна метода мерења максималне вредности притиска барутних гасова доста непоузданија у односу на пиезоелектричну методу мерења.

За метак 7,62x51 mm пиезоелектрична метода је тачнија за око 13,6% у односу на крешерну методу.

За метак 5,56x45 mm пиезоелектрична метода је тачнија за око 14,8% у односу на крешерну методу.

За метак 9x19 mm Luger (Parabellum) резултати су приближни, односно, одступање пиезоелектричне методе у односу на крешерну методу је око 96%.

У овом раду обухваћено је више целина које омогућавају увид у начин мерења унутрашњебалистичких величина. На самом почетку је дефинисана унутрашња балистика и процес опаљења. Детаљно је дато образложење експерименталне балистике и методе извођења. Пиезоелектрична метода и Крешерна метода изложене су кроз опите, тј мерења, извршена у фабрици стрелачке муниције "Први Партизан" из Ужица. Добијени резултати мерења представљени су табеларно, након чега су упоређени, како би се видело који је од критеријума тачнији.

Посебно поглавље посвећено је мерењу притиска. Мерење притиска је објашњено преко механичких и електричних метода. Крешерна метода је детаљно описана кроз начин монтирања крешерног система на опитну цев. Приложене су таражне таблице и објашњено зашто се оне користе. Пиезоелектрична метода је изложена на исти начин као и крешерна метода, с тим што је објашњена и шема функционисања осетљивог сензора, од реакције пиезо сензора при опаљењу, преко појачавања сигнала, анализирања и на крају регистровања података на рачунару на коме се добијају коначни, излазни подаци у виду захтеваних резултата, чији избор је могуће одредити пре мерења при сетовању програма.

Претходним текстом, може се коначно закључити да је пиезоелектрични систем мерења максималних притисака барутних гасова много поузданији у односу на крешерни систем мерења. Поред овога, од изузетног је значаја то што пиезоелектрични систем може користити комбиновано мерење више величина, EPVAT методом, поменутих сетовањем пре почетка мерења. Овим се знатно повећава тачност мерења жељених вредности, смањује време обраде података, повећава продуктивност, омогућује мерење једне целе серије истом опитном цеви, са истим мерним инструментима и са приближно истом тачношћу, што са крешерима није могуће.

У овом раду извршена је упоредна анализа унутрашњебалистичких Пиезо и Крешерне методе коришћењем опитних цеви за стрелјачку муницију, за калибре: 5.56x45mm, 7.62 x51mm и 9 x19mm. Извршен је унутрашњебалистички прорачун, дат у прилогу, за поменуте калибре муниције.

Осим наведених мерених величина, за потпуну балистичку анализу неопходно је одредити и слику погодака применом материјалних мета или савремених метода применом нематеријалних мета (балистичке баријере).

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] W. T. McDonald and H. C. Howarth, A Limited Comparison of the Crusher and Piezo Systems, PRESSURE – TESTING THE .30-06 CATRIAGE, Reloading Handbook, 46th Edition
- [2] Љубиша Танчић, Класична унутрашња балистика, Војна академија, Београд, 2008.
- [3] Слободан Јарамаз, Дејан Мицковић, Унутрашња балистика, Машински факултет, Београд, 2011.
- [4] А. Королев, В. А. Комочков, БАЛЛИСТИКА РАКЕТНОГО И СТВОЛЬНОГО ОРУЖИЯ, МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Волгоград, 2010.
- [5] Драган Станковић, Физичко техничка мерења, Универзитет у Београду, Београд, 1997.
- [6] Небојша Христов, Предавања из предмета „Испитивање и мерење у наоружању“, Војна академија, Београд 2017.
- [7] Младен Поповић, Сензори и мерења, Завод за уџбенике и наставна средства Српско Сарајево, 2004.
- [8] Литература из фабрике "Први Партизан" из Ужица, 2017.

Списак слика

Слика 1: Шематски приказ процеса опаљења.....	7
Слика 2: Криве промене притиска за барутне гасове, брзине пројектила и пређени пут у функцији времена.....	9
Слика 3: Криве промене притиска за барутне гасове и брзине пројектила у функцији пређеног пута.....	10
Слика 4: Уопштена шема крешерног уређаја	17
Слика 5: Монтажни крешер.....	18
Слика 6: Слободни крешерни уређаји.....	18
Слика 7: Шема уређаја за одређивање максималних вредности притиска на основу еластичних деформација.....	20
Слика 8: Пиезоелемент као сложени међузависни систем.....	22
Слика 9: Пиезоелектрични ефекат.....	23
Слика 10: Шема пиезоелектричног сензора.....	24
Слика 11: Блок шема за мерење и прикупљање података.....	25
Слика 12: Принципијелна шема пиезоелектричних сензора.....	25
Слика 13: Пиезо сензори Kistler.....	27
Слика 14: Елементи пиезо сензора.....	27
Слика 15: Адаптери за пиезо сензоре притиска.....	28
Слика 16: Електрична блок шема мерног система пиезо сензора и појачавача наелектрисања.....	29
Слика 17: Појачавач наелектрисања тип 494A21 PCB piezotronics.....	29
Слика 18: KIAG модел 6215, склоп кварцног претварача високих притисака.....	39
Слика 19: Спољни изглед сензора KIAG модел 6215.....	39
Слика 20: Шема мерења притиска на местима дуж цеви (позајмица барутних гасова).....	40
Слика 21: Дијаграм притиска барутних гасова унутар барутне коморе и на позајмици барутних гасова.....	41
Слика 22: Блок шема мерне опреме.....	41
Слика 23: Изглед опитне цеви са флеш детектором.....	42
Слика 24: Балистички анализатор.....	42
Слика 25: Мерење притиска барутних гасова СР мерном методом.....	45
Слика 26: Осцилација вредности измереног притиска.....	46
Слика 27: Место за монтажу спољњег завојног крешера (са десне стране), а са леве је место за увртање сонде.....	47

Слика 28: Шематски приказ термалне заштите за SIP методу мерења.....	47
Слика 29: Сетовање почетног екрана.....	48

Списак табела

Табела 1: Таблица креишног уређаја 137-А, креишни ваљчић Ø5x7mm.....	19
Табела 2: Карактеристике пиезо сензора притиска.....	26
Табела 3: Карактеристике појачивача РСВ 494А21.....	32
Табела 4: Спецификације перформанси претварача пиезоелектричног притиска KIAG 6215.....	43
Табела 5: Резултати мерења - Квалификативна сагласност са НАТО захтевима.....	45
Табела 6: Избор материјала за израду опитних цеви за стрељачку муницију малог калибра.....	49
Табела 7: Упоредна анализа.....	50

ПРИЛОЗИ

UB-PRORACUN METODOM DROZDOVA

ORUDJE: 9 MM

BARUT: SB620R

JEDINICE PO SI SISTEMU MERA

POLAZNI PODACI

W0=.000001 S=.000064 XU=0.10 FI=1.1600 M= 0.008

OM= 0.001 F= 986902. DELM=1600. ALFA=.00094 TETA=.270

E0=.00007 AKAPA=1.21177 LAM=-.18040 U1=.169E-08 P0=.100E+08

GUSTINA PUNJENJA DELTA=506.

PRETHODNI PERIOD

Y0=0.01127 PSI0=0.01363 SIG0=0.99593

PRVI PERIOD

I Y PSI V X P T

1 0.077186 0.092229 18.42 0.001 65024712. 0.00008

2 0.143101 0.168929 36.84 0.001 112084296. 0.00012

3	0.209016	0.243730	55.26	0.002	151208096.	0.00014
4	0.274932	0.316630	73.68	0.003	182794512.	0.00016
5	0.340847	0.387632	92.11	0.005	207358640.	0.00017
6	0.406762	0.456733	110.53	0.006	225477120.	0.00018
7	0.472678	0.523935	128.95	0.007	237760176.	0.00019
8	0.538593	0.589238	147.37	0.009	244833504.	0.00020
9	0.604508	0.652641	165.79	0.010	247322640.	0.00022
PM	0.609942	0.657782	167.31	0.011	247342400.	0.00022
10	0.670424	0.714144	184.21	0.012	245842064.	0.00023
11	0.736339	0.773748	202.63	0.014	240984848.	0.00024
12	0.802254	0.831452	221.05	0.017	233316000.	0.00025
13	0.868169	0.887257	239.47	0.020	223365920.	0.00026
14	0.934085	0.941162	257.90	0.023	211626688.	0.00027
15	1.000000	0.993167	276.32	0.026	198548976.	0.00029

DRUGI PERIOD

	I	X	V	P	T
16	0.033	307.04	155583504.	0.00031	
17	0.092	329.56	126810584.	0.00033	
18	0.123	347.07	106336776.	0.00036	
19	0.164	361.26	91103424.	0.00038	
20	0.180	373.08	79374440.	0.00040	

UB-PRORACUN METODOM DROZDOVA**ORUDJE: 5,56 MM****BARUT: SB511****ПОЛАЗНИ ПОДАЦИ**

$W_0=0.000002$	$S_c=0.000025$	$X_U=0.43$	$\varphi=1.0600$	$m=0.004$
$m_b=0.002$	$f_b=953111.0$	$\rho_b=1600.$	$\alpha=0.00100$	$\theta=0.270$
$r_0=0.00014$	$\kappa_1=1.25127$	$\lambda_1=-0.20031$	$u_{z0}=0.805E-09$	$p_0=0.110E+08$

ПРЕТХОДНИ ПЕРИОД $y_0=0.00352 \quad \psi_0=0.00440 \quad \sigma_0=0.99859$ **ПРВИ ПЕРИОД**

	y	ψ	V [m/s]	X [m]	P [Pa]	T [s]
1	0.069951	0.086301	50.77	0.003	129838600.	0.00018
2	0.136383	0.165989	101.54	0.008	225469744.	0.00024
3	0.202815	0.243466	152.31	0.012	293869664.	0.00028
4	0.269247	0.318730	203.08	0.018	336909504.	0.00031
5	0.335679	0.391782	253.85	0.024	357621728.	0.00034
6	0.402111	0.462621	304.63	0.032	359728864.	0.00037
P_{max}	0.347745	0.404813	263.08	0.025	359271904.	0.00035
7	0.468543	0.531249	355.40	0.040	347218496.	0.00040
8	0.534975	0.597663	406.17	0.051	323996416.	0.00042
9	0.601407	0.661866	456.94	0.064	293635552.	0.00045

10	0.667839	0.723856	507.71	0.080	259223600.	0.00049
11	0.734272	0.783634	558.48	0.100	223295856.	0.00053
12	0.800704	0.841199	609.25	0.126	203848608.	0.00057
13	0.867136	0.896553	660.02	0.159	167448800.	0.00062
14	0.933568	0.949693	710.79	0.203	134225696.	0.00069
15	1.000000	1.000622	761.56	0.263	104845816.	0.00077

ДРУГИ ПЕРИОД

	X[m]	V[m/s]	P [Pa]	T[s]
16	0.279	764.25	96862768.	0.00079
17	0.296	803.71	89960320.	0.00081
18	0.313	822.07	83906312.	0.00083
19	0.330	838.70	78544952.	0.00085
20	0.346	854.09	73767256.	0.00087
21	0.363	868.33	69485832.	0.00089
22	0.380	881.58	65629600.	0.00091
23	0.397	893.93	62140240.	0.00093
24	0.413	905.50	58969460.	0.00095
25	0.430	916.36	56076928.	0.00097

UB-PRORACUN METODOM DROZDOVA

ORUDJE: 7.62x51 MM

BARUT: SB520

JEDINICE PO SI SISTEMU MERA

POLAZNI PODACI

W0=.000003 S=.000045 XU=0.55 FI=1.1100 M= 0.009
OM= 0.003 F= 947100. DELM=1600. ALFA=.00010 TETA=.270
E0=.00010 AKAPA=1.21177 LAM=-.18040 U1=.777E-09 P0=.170E+08
GUSTINA PUNJENJA DELTA=846.

PRETHODNI PERIOD

Y0=0.00833 PSI0=0.01008 SIG0=0.99699

PRVI PERIOD

I Y PSI V X P T

1 0.033126 0.039901 13.76 0.000 64387288.0.00009
2 0.057917 0.069449 27.52 0.001 106565576.0.00013

3	0.082709	0.098729	41.28	0.002	143964768.	0.00015
4	0.107501	0.127740	55.04	0.003	177058864.	0.00017
5	0.132292	0.156482	68.80	0.004	206283216.	0.00019
6	0.157084	0.184955	82.57	0.005	232025888.	0.00020
7	0.181875	0.213160	96.33	0.006	254630272.	0.00022
8	0.206667	0.241096	110.09	0.008	274400224.	0.00023
9	0.231459	0.268764	123.85	0.009	291605152.	0.00024
10	0.256250	0.296162	137.61	0.010	306483840.	0.00025
11	0.281042	0.323292	151.37	0.012	319249184.	0.00026
12	0.305834	0.350153	165.13	0.013	330091520.	0.00027
13	0.330625	0.376746	178.89	0.015	339181376.	0.00028
14	0.355417	0.403069	192.65	0.017	346672096.	0.00029
15	0.380209	0.429125	206.41	0.018	352701952.	0.00030
16	0.405000	0.454911	220.17	0.020	357396256.	0.00031
17	0.429792	0.480428	233.93	0.022	360868384.	0.00032
18	0.454584	0.505677	247.70	0.025	363222144.	0.00033
19	0.479375	0.530657	261.46	0.027	364551520.	0.00034
PM	0.503750	0.554955	274.99	0.029	364943712.	0.00034
20	0.504167	0.555369	275.22	0.029	364943040.	0.00034
21	0.528959	0.579812	288.98	0.032	364475776.	0.00035
22	0.553750	0.603986	302.74	0.034	363222752.	0.00036
23	0.578542	0.627891	316.50	0.037	361251136.	0.00037
24	0.603334	0.651527	330.26	0.040	358622944.	0.00038
25	0.628125	0.674895	344.02	0.043	355395392.	0.00039
26	0.652917	0.697994	357.78	0.046	351621984.	0.00040
27	0.677709	0.720825	371.54	0.049	347352192.	0.00041
28	0.702500	0.743387	385.30	0.053	342631936.	0.00042
29	0.727292	0.765679	399.07	0.057	337504288.	0.00043
30	0.752083	0.787704	412.83	0.061	332009440.	0.00044
31	0.776875	0.809459	426.59	0.065	326184704.	0.00045

32	0.801667	0.830946	440.35	0.069	320065376.	0.00046
33	0.826458	0.852164	454.11	0.074	313684288.	0.00047
34	0.851250	0.873114	467.87	0.078	307072448.	0.00048
35	0.876042	0.893794	481.63	0.083	300258752.	0.00049
36	0.900833	0.914206	495.39	0.089	293270560.	0.00050
37	0.925625	0.934349	509.15	0.094	286133568.	0.00051
38	0.950417	0.954224	522.91	0.100	278871488.	0.00052
39	0.975208	0.973830	536.67	0.107	271507552.	0.00053
40	1.000000	0.993167	550.44	0.113	264062768.	0.00054

DRUGI PERIOD

	I	X	V	P	T
41	0.135	591.44	227751584.	0.00058	
42	0.157	624.91	199491520.	0.00062	
43	0.179	652.98	176940288.	0.00065	
44	0.201	677.04	158572560.	0.00069	
45	0.223	697.98	143354944.	0.00072	
46	0.245	716.45	130563952.	0.00075	
47	0.267	732.93	119678832.	0.00078	
48	0.289	747.75	110315704.	0.00081	
49	0.311	761.19	102185816.	0.00084	
50	0.333	773.46	95068056.	0.00087	
51	0.355	784.72	88790328.	0.00090	
52	0.377	795.12	83216896.	0.00092	

53	0.399	804.75	78239312.	0.00095
54	0.421	813.72	73769928.	0.00098
55	0.443	822.09	69737232.	0.00100
56	0.465	829.94	66082284.	0.00103
57	0.487	837.32	62756152.	0.00106
58	0.509	844.28	59717848.	0.00108
59	0.531	850.85	56932788.	0.00111
60	0.553	857.07	54371668.	0.00114

PRVI PARTIZAN AD Užice - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev:	Metak:	Ref.vrednosti:	Merna oprema:
Cev: 7,63 mm MAUSER Broj cevi: 2/09 T/vlaga: 21 °C, 65%	Kalibar: 7.63 mm Maus Zrno tip: FMJ Masa: 5.5 g Masa: 85 gr Kapisla: 4,5/3-P1, 4551	V: 440 m/s Pm: 2200.0 bar M.mesto: 12.5 m Baza: 2 m	Pojačavač: Kistler 5018A Akvizionni modul: NI PCI-6133
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-413, ser. 1701 02.02.2017.			
Napomena: A-413 PRIJEM SERIJE SB-507 ser. 1602 W=0,47g			

R.b.	V [m/s]	Vkr [m/s]	Pm [bar]
1	431.59	424.18	1982.0
2	415.80	423.10	2061.0
3	433.93	394.63	2074.0
4	438.02	407.00	1982.0
5	436.20	409.92	1995.0
6	430.11		
7	438.21		
8	426.53		
9	414.68		
10	413.31		
Sr.vred:	427.84	411.77	2018.8
Max:	438.21	424.18	2074.0
Min:	413.31	394.63	1982.0
Rv/Rp:	24.90	29.55	92.0
Std.Dev:	9.82	12.27	45.0

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ - БЕОГРАД

ТАРАЖНА ТАВЛИЦА КРЕШЕРНИХ ВАЉЧИЋА



Ваљчић $\phi 3 \times 4.9 \text{ mm}$

Пречник клипа : 3.91 mm

Серија : 463

Година производње : 2012.

Притисак (bar)

H_z (mm) - заостала висина

H_g (mm) - висина гњечења

H _z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.10	
4.8	527	496	463	429	393	355	315	273	229	182	0.	0.0
4.7	778	757	735	712	688	664	639	613	585	557	527	0.1
4.6	969	951	933	915	897	878	859	839	819	799	778	0.2
4.5	1137	1121	1104	1088	1071	1054	1038	1021	1003	986	969	0.3
4.4	1298	1282	1267	1251	1234	1218	1202	1186	1170	1154	1137	0.4
4.3	1455	1440	1424	1409	1393	1377	1362	1346	1330	1314	1298	0.5
4.2	1606	1591	1577	1562	1547	1531	1516	1501	1486	1470	1455	0.6
4.1	1751	1737	1722	1708	1694	1679	1665	1650	1636	1621	1606	0.7
4.0	1889	1875	1862	1848	1834	1820	1807	1793	1779	1765	1751	0.8
3.9	2022	2008	1995	1982	1969	1956	1942	1929	1916	1902	1889	0.9
3.8	2152	2139	2126	2113	2100	2087	2074	2061	2048	2035	2022	1.0
3.6 ⁽⁷⁾	2282	2269	2256	2243	2230	2217	2204	2191	2178	2165	2152	1.1
3.5 ⁽⁶⁾	2413	2400	2387	2374	2360	2347	2334	2321	2308	2295	2282	1.2
3.4 ⁽⁵⁾	2548	2534	2520	2507	2494	2480	2467	2453	2440	2427	2413	1.3
3.3 ⁽⁴⁾	2685	2671	2657	2643	2630	2616	2602	2588	2575	2561	2548	1.4
3.2 ⁽³⁾	2825	2811	2797	2783	2769	2755	2741	2727	2713	2699	2685	1.5
3.1 ⁽²⁾	2969	2954	2940	2925	2911	2897	2882	2868	2854	2840	2825	1.6
3.0 ⁽¹⁾	3116	3101	3086	3071	3057	3042	3027	3013	2998	2983	2969	1.7
(7) 2.9 ⁽⁰⁾	3268	3252	3237	3221	3206	3191	3176	3161	3146	3131	3116	1.8
2.8 ⁽⁹⁾	3426	3410	3394	3378	3362	3346	3330	3314	3299	3283	3268	1.9
2.7 ⁽⁸⁾	3595	3577	3560	3543	3526	3509	3492	3476	3459	3443	3426	2.0
2.6 ⁽⁷⁾	3775	3756	3738	3719	3701	3683	3665	3647	3630	3612	3595	2.1
2.5 ⁽⁶⁾	3970	3950	3930	3910	3890	3871	3851	3832	3813	3794	3775	2.2
2.4 ⁽⁵⁾	4180	4158	4137	4115	4094	4073	4052	4031	4011	3990	3970	2.3
2.5 ⁽⁴⁾	4406	4383	4359	4336	4314	4291	4268	4246	4224	4202	4180	2.4
2.3	4650	4625	4599	4575	4550	4525	4501	4477	4453	4429	4406	2.5
2.2	4922	4893	4864	4836	4809	4781	4754	4728	4702	4676	4650	2.6
2.1	5245	5209	5174	5140	5107	5074	5043	5011	4981	4951	4922	2.7
2.0	5676	5626	5577	5530	5485	5442	5400	5360	5320	5282	5245	2.8
1.9	6323	6244	6168	6097	6028	5963	5900	5841	5783	5729	5676	2.9
1.8	7379	7247	7122	7003	6890	6783	6681	6585	6493	6406	6323	3.0
1.7	9172	8947	8733	8531	8339	8157	7984	7821	7666	7519	7379	3.1
	.10	.09	.08	.07	.06	.05	.04	.03	.02	.01	.00	H _g

ЗАСТУПА НАЧЕЛНИКА
СЕКТОРА 07

Ђурчић мр Душан
дипл. маш. инжењер

Ђурчић Душан



НАЧЕЛНИК СЕКТОРА 07
ПОТПУКОВНИК

Лисов мр Миодраг
дипл. маш. инжењер

Лисов Миодраг

PRVI PARTIZAN AD Užice - KONTROLA KVALITETA - Opitni poligon

Cev:	Metak:	Ref.vrednosti:	Merna oprema:
Cev: 9mm Luger Broj cevi: 1/06 T/vlaga: 21 °C, 65%	Kalibar: 9 mm Luger Zrno tip: FMJ Masa: 7.45 g Masa: 115 gr Kapisla: 4,5/3-P1,	V: 340 m/s Pm: 2000.0 bar M.mesto: 12.5 m Baza: 2 m	Pojačavač: Kistler 5018A Akviziциони modul: NI PCI-6133
Uzorak za ispitivanje: Barut: A-112 9mm LUGER FMJ-7,45g, W=0,36g 24.05.2017.			
Napomena: A-112 PRIJEM BARUTA SB-618 ser. 1701 W=0,36g			

R.b.	V [m/s]	Vkr [m/s]	Pm [bar]
1	334.06	320.77	1592.0
2	332.23	326.10	1709.0
3	337.44	319.90	1592.0
4	331.73	329.22	1788.0
5	340.95	326.05	1729.0
6	350.51	332.00	1847.0
7	338.30	320.82	1611.0
8	329.87	313.33	1611.0
9	332.78	315.76	1533.0
10	339.96	327.82	1690.0
Sr.vred:	336.78	323.18	1670.2
Max:	350.51	332.00	1847.0
Min:	329.87	313.33	1533.0
Rv/Rp:	20.64	18.67	314.0
Std.Dev:	6.11	6.03	99.2

ЧЕЛ
ТО
чин
и. м.

ВОЛНОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ - БЕОГРАД

ТАРАЖНА ТАБЛИЦА КРЕШЕРНИХ ВАЉЧИЋА

Ваљчић $\phi 5,73 \times 10,16 \text{ mm}$

Пречник клипа: 5.23 mm

Серија: 7

Година производње: 2013.



Притисак (bar)

H_z (mm) - заостала висина

H_g (mm) - висина гњечења

H _z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.10	
10.06	782	744	704	662	617	570	519	465	408	347	0.	0.0
9.96	1072	1048	1023	998	971	943	914	883	851	817	782	0.1
9.86	1283	1264	1244	1224	1203	1183	1162	1140	1118	1096	1072	0.2
9.76	1476	1456	1437	1418	1399	1380	1361	1342	1322	1303	1283	0.3
9.66	1670	1650	1631	1611	1592	1572	1553	1533	1514	1495	1476	0.4
9.56	1867	1847	1828	1808	1788	1768	1749	1729	1709	1690	1670	0.5
9.46	2061	2042	2023	2003	1984	1965	1945	1926	1906	1887	1867	0.6
9.36	2245	2227	2209	2191	2173	2154	2136	2117	2099	2080	2061	0.7
9.26	2415	2399	2382	2366	2349	2332	2315	2297	2280	2262	2245	0.8
9.16	2572	2557	2541	2526	2511	2495	2479	2463	2448	2431	2415	0.9
9.06	2718	2703	2689	2675	2660	2646	2631	2617	2602	2587	2572	1.0
8.96	2857	2843	2829	2815	2802	2788	2774	2760	2746	2732	2718	1.1
8.86	2993	2980	2966	2952	2939	2925	2911	2898	2884	2870	2857	1.2
8.76	3131	3117	3103	3089	3075	3062	3048	3034	3021	3007	2993	1.3
8.66	3270	3256	3242	3228	3214	3200	3186	3172	3158	3144	3131	1.4
8.56	3411	3396	3382	3368	3354	3340	3326	3312	3298	3284	3270	1.5
8.46	3551	3537	3523	3509	3495	3481	3467	3453	3439	3425	3411	1.6
8.36	3689	3676	3662	3648	3634	3621	3607	3593	3579	3565	3551	1.7
8.26	3822	3809	3796	3783	3770	3756	3743	3730	3716	3703	3689	1.8
8.16	3950	3937	3925	3912	3899	3887	3874	3861	3848	3835	3822	1.9
8.06	4072	4060	4048	4035	4023	4011	3999	3987	3974	3962	3950	2.0
7.96	4191	4179	4167	4155	4143	4131	4120	4108	4096	4084	4072	2.1
7.86	4311	4299	4287	4275	4263	4251	4239	4227	4215	4203	4191	2.2
7.76	4437	4424	4411	4399	4386	4373	4361	4348	4336	4324	4311	2.3
7.66	4571	4557	4543	4530	4516	4503	4490	4476	4463	4450	4437	2.4
7.56	4714	4699	4684	4670	4656	4641	4627	4613	4599	4585	4571	2.5
7.46	4861	4846	4831	4817	4802	4787	4772	4758	4743	4728	4714	2.6
7.36	5005	4991	4977	4963	4948	4934	4919	4905	4890	4876	4861	2.7
7.26	5134	5122	5110	5097	5085	5072	5059	5046	5032	5019	5005	2.8
7.16	5239	5229	5220	5210	5200	5190	5179	5168	5157	5146	5134	2.9
7.06	5320	5312	5305	5297	5289	5281	5273	5265	5256	5248	5239	3.0
6.96	5404	5394	5384	5375	5366	5358	5350	5342	5335	5327	5320	3.1
	.10	.09	.08	.07	.06	.05	.04	.03	.02	.01	.00	H _g

НАЧЕЛНИК
СЕКТОРА 07
Ђурчић мр Лушан
дипл. маш. инжењер

НАЧЕЛНИК СЕКТОРА 02
Потпуковник
Лисов мр Миодраг
дипл. маш. инжењер

Kalibrierschein Calibration Certificate

Type Kistler 6215

Serial No. 5099781

Kalibriert durch Calibration Technician	Datum Date
G. Ratano	10. Apr. 2017

Referenzgeräte Reference Equipment	Typ Type	Serien-Nr. Serial No.
Gebrauchsnorm Working Standard	Budenberg 284 Budenberg 580HX	12005 28705
Ladungskalibrator Charge Calibrator	Kistler 5395A	441991

Umgebungstemperatur Ambient Temperature °C	Relative Feuchte Relative Humidity %
26	35

Messergebnisse Results of Measurement

Druck Pressure bar	Ladung Charge pC	Empfindlichkeit der Stufe Sensitivity of Step pC / bar
6000	-8699,6	-1,450
5000	-7192,8	-1,439
4000	-5754,2	-1,439
3000	-4285,9	-1,429
2000	-2840,0	-1,420
1000	-1413,0	-1,413
600	-845,44	-1,409
250	-350,51	-1,402
100	-140,32	-1,403
50	-69,781	-1,396

Aus der Stufenkalibrierung berechnet
Calculated by the step wise calibration

Bereich Range bar	Empfindlichkeit Sensitivity pC / bar	Linearität Linearity ≤ ± % FSO
0 ... 6000	-1,442	0,52
0 ... 600	-1,407	0,15

Messverfahren Stufenweise Kalibrierung mit Totgewichtsanlage
Measurement Procedure Stepwise Calibration, with dead weight tester

Bestätigung Confirmation

Das oben durch die Seriennummer identifizierte Gerät entspricht der Vereinbarung der Bestellung und hält die Herstellertoleranzen gemäss den Spezifikationen der Datenblätter ein, sofern nicht anders auf dem Kalibrierschein vermerkt. Das Kistler Qualitätsmanagement System ist nach ISO 9001 zertifiziert. Das Dokument erfüllt die Anforderungen von EN 10204 Abnahmeprüfzeugnis "3.1". Die aufgeführten Referenzgeräte sind auf nationale Normale rückgeführt. Das Dokument wurde elektronisch erstellt und ist daher ohne Unterschrift gültig.

The equipment identified by Serial No. complies with the agreement of the order and meets the manufacturing tolerances specified in the data sheets, unless otherwise specified on the calibration certificate. The Kistler Quality Management System is certified per ISO 9001. This document fulfils the requirements of EN 10204 Inspection Certificate "3.1". The reference equipment is traceable to national standards. The document was issued electronically and is therefore valid without signature.

Kistler Instrumente AG
Eulachstrasse 22
PO Box
CH-8408 Wintherthur

Tel. +41 52 224 11 11
Fax +41 52 224 14 14
info@kistler.com

ZKB Winterthur BC 732
Swift: ZKBKCHZZ80A
Account: 1132-0374.628

IBAN: CH67 0070 0113 2003 7462 8
VAT: 229 713
ISO 9001 certified

www.kistler.com

5.56x45mm Ball

9/22/2017

DSet No: 0

Job ref.3 Date/Time Fired: 3/1/2016 / 12:11:13 PM

LOT: Reference PPU13 CONTRACT:

PROPELLANT LOT WEIGHT (gr) :

SPECIFICATION: REQUIREMENTS: Full

CASE LOT: BULLET LOT:

FUSE LOT: PRIMER LOT:

GUN TYPE: EPVATK BARREL NO: H-S DD0912-11

REL HUMIDITY: 75% ATMOS.PRESSURE: 1013 mbar

ROUND TEMPERATURE: + 21 C

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar	Port Bar			
1	900.24	1.2	3493	1162			
2	896.98	1.18	3452	1151			
3	895.98	1.21	3461	1148			
4	908.02	1.16	3553	1142			
5	905.31	1.17	3549	1144			
6	897.22	1.19	3467	1147			
7	893.06	1.2	3421	1154			
8	901.02	1.17	3496	1148			
9	910.33	1.14	3619	1150			
10	903.91	1.16	3498	1139			

Mean	901.21	1.18	3500.90	1148.50
Standard Dev.	5.60	0.02	58.30	6.47
Maximum	910.33	1.21	3619.00	1162.00
Minimum	893.06	1.14	3421.00	1139.00
Max - Min	17.27	0.07	198.00	23.00
Correction	-9.79	0.78	-85.10	7.50
Corr Mean	911.00	0.40	3586.00	1141.00

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

5.56x45mm Ball

9/22/2017

DSet No: 1

Job 16141 +21C Date/Time Fired: 3/1/2016 / 12:14:38 PM

LOT: prijem baruta CONTRACT:

PROPELLANT LOT SB-511 ser.16141 WEIGHT (gr) : 1.69g

SPECIFICATION: REQUIREMENTS: Full

CASE LOT: BULLET LOT:

FUSE LOT: PRIMER LOT:

GUN TYPE: EPVATK BARREL NO: H-S DD0912-11

REL HUMIDITY: 75% ATMOS.PRESSURE: 1013 mbar

ROUND TEMPERATURE: + 21 C

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar	Port Bar			
1	891.15	1.21	3469	1112			
2	897.06	1.21	3531	1113			
3	896.46	1.23	3533	1115			
4	902.93	1.2	3641	1111			
5	896.78	1.2	3593	1111			
6	899.12	1.25	3557	1115			
7	902.77	1.18	3658	1113			
8	899.36	1.2	3553	1121			
9	901.79	1.16	3665	1108			
10	896.14	1.25	3538	1118			

Mean	898.36	1.21	3573.80	1113.70
Standard Dev.	3.63	0.03	63.92	3.74
Maximum	902.93	1.25	3665.00	1121.00
Minimum	891.15	1.16	3469.00	1108.00
Max - Min	11.78	0.09	196.00	13.00
Correction	-9.79	0.78	-85.10	7.50
Corr Mean	908.15	0.43	3658.90	1106.20

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

5.56x45mm Ball

9/22/2017

DSet No: 1

Job 16141 -54C Date/Time Fired: 3/1/2016 / 12:24:06 PM

LOT: prijem baruta CONTRACT:

PROPELLANT LOT SB-511 ser.16141 WEIGHT (gr) : 1.69g

SPECIFICATION: REQUIREMENTS: Full

CASE LOT: BULLET LOT:

FUSE LOT: PRIMER LOT:

GUN TYPE: EPVATK BARREL NO: H-S DD0912-11

REL HUMIDITY: 75% ATMOS.PRESSURE: 1013 mbar

ROUND TEMPERATURE: -54 C

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar	Port Bar			
1	818.3	1.51	2705	1070			
2	833.37	1.37	2802	1067			
3	840.9	1.33	2911	1068			
4	836.05	1.35	2850	1087			
5	835.56	1.3	2821	1078			
6	838.89	1.35	2885	1080			
7	845.52	1.35	2951	1064			
8	847.28	1.34	2931	1089			
9	840.55	1.33	2918	1092			
10	848.68	1.37	2947	1097			
11	860.99	1.22	3076	1093			
12	854.63	1.38	2966	1098			
13	829.6	1.42	2804	1068			
14	836.37	1.34	2852	1063			
15	842.18	1.3	2933	1066			
16	829.88	1.39	2791	1079			
17	846.99	1.33	2969	1091			
18	844.95	1.33	2938	1078			
19	843.03	1.32	2929	1087			
20	841.47	1.35	2870	1101			

Mean	840.76	1.35	2892.45	1080.80
Standard Dev.	9.37	0.06	82.54	12.48
Maximum	860.99	1.51	3076.00	1101.00
Minimum	818.30	1.22	2705.00	1063.00
Max - Min	42.69	0.29	371.00	38.00
Correction	-9.79	0.78	-85.10	7.50
Corr Mean	850.55	0.57	2977.55	1073.30

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

5.56x45mm Ball

9/22/2017

DSet No: 1

Job 16141 +52C Date/Time Fired: 3/1/2016 / 12:20:01 PM

LOT: prijem baruta CONTRACT:

PROPELLANT LOT SB-511 ser.16141 WEIGHT (gr) : 1.69g

SPECIFICATION: REQUIREMENTS: Full

CASE LOT: BULLET LOT:

FUSE LOT: PRIMER LOT:

GUN TYPE: EPVATK BARREL NO: H-S DD0912-11

REL HUMIDITY: 75% ATMOS.PRESSURE: 1013 mbar

ROUND TEMPERATURE: + 52C

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar	Port Bar			
1	911.91	1.25	3777	1143			
2	909.38	1.18	3700	1126			
3	904.36	1.23	3647	1125			
4	914.37	1.22	3814	1114			
5	914.54	1.19	3825	1111			
6	898.35	1.27	3540	1126			
7	911.04	1.18	3792	1130			
8	907.98	1.19	3696	1115			
9	910.29	1.19	3753	1118			
10	906.66	1.2	3713	1121			

Mean	908.89	1.21	3725.70	1122.90
Standard Dev.	4.89	0.03	86.80	9.36
Maximum	914.54	1.27	3825.00	1143.00
Minimum	898.35	1.18	3540.00	1111.00
Max - Min	16.19	0.09	285.00	32.00
Correction	-9.79	0.78	-85.10	7.50
Corr Mean	918.68	0.43	3810.80	1115.40

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

C.I.P.	Rimless cartridges	TABLE I	
		DATE	84-06-09
		REV.	06-09-19

Calibres of rifled long centre fire weapons for rimless cartridges.

The metric calibres are classed before the calibres originally designated in inches.
The classification is in growing and in alphabetical order according to the designation of the calibre.

Transducer method

(Suite)

Calibre	Country of origin	Date	Rev.	M	PTmax	PK	PE	EE
17 Libra	CZ	01-01-22	02-05-15	17,5	4300	4945	5375	1050
17 Rem.	US	84-06-14	02-05-15	25	4250	4888	5310	1290
204 Ruger	US	06-05-16		25	4050	4658	5063	1940
215	DE	92-02-27	02-05-15	25	3800	4370	4750	1505
22 PPC-USA	FI	89-04-18	02-05-15	17,5	4050	4658	5060	1935
22-250 Rem.	US	84-06-14	02-05-15	25	4050	4658	5060	2370
220 Swift	US	84-06-14	02-05-15	25	4300	4945	5375	2380
222 Rem.	US	84-06-14	06-09-19	25	3700	4255	4625	1810
222 Rem. Mag.	US	84-06-14	02-05-15	25	4050	4658	5060	1820
223 Rem.	US	84-06-14	02-05-15	25	4300	4945	5375	1825
223 Win. SS Mag.	US	04-09-27		25	4450	5118	5560	2600
243 Win.	US	84-06-14	02-05-15	25	4150	4773	5190	2890
243 Win. SS Mag.	US	04-09-27		25	4450	5118	5560	3150
25 Rem.	US	84-06-14	02-05-15	25	2450	2817	3063	1995
25 Win. SSM	US	06-05-16		17,5	4450	5118	5563	3500
25-06 Rem.	US	84-06-14	02-05-15	25	4500	5175	5625	3340
250 Savage	US	84-06-14	02-05-15	25	3650	4198	4560	2900
256 Mag. Gibbs	GB	84-06-14	02-05-15	25	3400	3910	4250	2645
257 Roberts	US	84-06-14	02-05-15	25	3550	4083	4440	2850
260 Rem.	US	98-02-09	02-05-15	25	4150	4773	5190	2770
264 Leroy N.E.	DE	94-03-01	02-05-15	25	4400	5060	5500	3675
270 Win.	US	84-06-14	02-05-15	25	4300	4945	5375	3840
270 Win. Short Mag.	US	02-01-22	03-04-08	25	4450	5118	5563	4725
275 H.V. Rigby	GB	84-06-14	02-05-15	25	3200	3680	4000	2720
277 GS	IT	96-11-26	02-05-15	25	4600	5290	5575	4883
280 Rem.	US	84-06-14	02-05-15	25	4050	4658	5060	3930
280 Riml. N.E. Ross	GB	84-06-14	02-05-15	25	3250	3738	4060	4440
284 Win.	US	84-06-14	05-05-25	25	4400	5060	5500	3625
30 Carbine	US	84-06-14	02-05-15	17,5	3200	3680	4000	1375
30 Court	DE	91-05-17	02-05-15	17,5	3650	4198	4560	1470
30 Rem.	US	84-06-14	02-05-15	25	2800	3220	3500	2745
30-06 Court Cartry	FR	95-12-10	02-05-15	25	3500	4025	4375	3800
30-06 Spring.	US	84-06-14	02-05-15	25	4050	4658	5060	4335
30-284 Win.	US	98-02-09	02-05-15	25	3800	4370	4750	4300

(suite)

PTmax = maximum average pressure (bar)

PTcmax = maximum average pressure „conformal“ (bar)

PK = 1,15 Pmax = maximum statistical individual pressure (bar)

PE = 1,25 Pmax = mean proof pressure (bar)

M = location of the pressure take (mm)

EE = proof kinetic energy (Joule)

Notice: For conformal or tangential transducers the location (M) is that defined by the manufacturer.

Mag. = Magnum

SEv.H. = Super Express vom Hofe

M.Sch. = Mannlicher Schönauser

SE = Schweden

Rem. = Remington

Win. = Winchester

H.V. = High Velocity

Riml.N.E. = Rimless Nitro Express

Spring. = Springfield

Exp. = Express

BALLISTIC TEST REPORT

9/22/2017

.30-06 Springfield SP 9.7 g

DSet No: 0

Job	A62 ser.13149 PPU	Date/Time Fired:	3/11/2014 / 12:43:09 PM
LOT:	prijem baruta	CONTRACT:	
PROPELLANT LOT	NCD-02 ser.13149	WEIGHT (gr) :	3.45g
SPECIFICATION:		REQUIREMENTS:	Full
CASE LOT:		BULLET LOT:	
FUSE LOT:		PRIMER LOT:	5.5/3-N-P1
GUN TYPE:	Barell	BARREL NO:	H-S DD0520-3
REL HUMIDITY:	75%	ATMOS.PRESSURE:	1013 bar
ROUND TEMPERATURE:	+21C		

Shot Number	Velocity2	Chamber	
	mps	Bar	
1	850.16	3724	
2	855.21	3894	
3	848.36	3762	
4	852.59	3821	
5	850.12	3773	
6	852.22	3803	
7	851.35	3828	
8	853.68	3858	
9	852.26	3889	
10	846.49	3713	

Mean	851.24	3806.50
Standard Deviation	2.56	63.64
Maximum	855.21	3894.00
Minimum	846.49	3713.00
Max - Min	8.72	181.00
Correction	-8.76	-243.50
Corr Mean	860.00	4050.00

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

BALLISTIC TEST REPORT

7.62x51mm NATO BALL

8/17/2017

DSet No: 0

Job reference slav. Date/Time Fired: 8/17/2017 / 12:12:38 PM

LOT: Reference PPU CONTRACT:

PROPELLANT LOT WEIGHT (gr) :

SPECIFICATION: REQUIREMENTS: Full

CASE LOT: BULLET LOT:

FUSE LOT: PRIMER LOT:

GUN TYPE: Barell BARREL NO: HPI 090248

REL HUMIDITY: 75% ATMOS.PRESSURE: 1013 mbar

ROUND TEMPERATURE: +21C

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar	Port Bar			
1	823.83	1.4	3434	804			
2	825.9	1.39	3393	800			
3	830.12	1.36	3474	792			
4	829.74	1.34	3467	798			
5	819.47	1.42	3333	801			

Mean	825.81	1.38	3420.20	799.00
Standard Dev.	4.42	0.03	58.35	4.47
Maximum	830.12	1.42	3474.00	804.00
Minimum	819.47	1.34	3333.00	792.00
Max - Min	10.65	0.08	141.00	12.00
Correction	0.81	0.98	224.20	42.00
Corr Mean	825.00	0.40	3196.00	757.00

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

BALLISTIC TEST REPORT

9/22/2017

9x19mm Nato Ball

DSet No: 0

Job	ref.02	Date/Time Fired:	4/24/2016 / 9:24:39 AM
LOT:	Reference PPU1103	CONTRACT:	
PROPELLANT LOT		WEIGHT (gr) :	
SPECIFICATION:		REQUIREMENTS:	Full
CASE LOT:		BULLET LOT:	
FUSE LOT:		PRIMER LOT:	
GUN TYPE:	Barell	BARREL NO:	HPI 090252
REL HUMIDITY:	75%	ATMOS.PRESSURE:	1013 bar
ROUND TEMPERATURE:	+21C		

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar
1	367.31	0.85	2043
2	372.93	0.88	2026
3	373.8	0.91	2086
4	381.73	0.81	2162
5	377.76	0.91	2043
6	374.5	0.85	1940
7	375.75	0.85	1891
8	373.57	0.82	1962
9	371.39	0.93	2098
10	375.52	0.9	1904

Mean	374.43	0.87	2015.50
Standard Deviation	3.81	0.04	89.04
Maximum	381.73	0.93	2162.00
Minimum	367.31	0.81	1891.00
Max - Min	14.42	0.12	271.00
Correction	1.43	0.47	-37.50
Corr Mean	373.00	0.40	2053.00

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

BALLISTIC TEST REPORT

9x19mm Nato Ball

9/22/2017

DSet No: 1

Job	1681 +52C	Date/Time Fired:	4/24/2016 / 10:49:19 AM
LOT:	prijem baruta	CONTRACT:	
PROPELLANT LOT	SB-620 ser.1681	WEIGHT (gr) :	0.39g
SPECIFICATION:		REQUIREMENTS:	Full
CASE LOT:		BULLET LOT:	
FUSE LOT:		PRIMER LOT:	
GUN TYPE:	Barell	BARREL NO:	HPI 090252
REL HUMIDITY:	75%	ATMOS.PRESSURE:	1013 bar
ROUND TEMPERATURE:	+52C		

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar
1	373.58	0.85	2051
2	378.01	0.79	2047
3	375.41	0.9	2051
4	377.02	0.8	2048
5	372.85	0.87	1953
6	373.23	0.81	2117
7	381.28	0.76	2126
8	382.24	0.73	2085
9	379.25	0.81	2124
10	388.21	0.85	2053

Mean	378.11	0.82	2065.50
Standard Deviation	4.84	0.05	51.64
Maximum	388.21	0.90	2126.00
Minimum	372.85	0.73	1953.00
Max - Min	15.36	0.17	173.00
Correction	1.43	0.47	-37.50
Corr Mean	376.68	0.35	2103.00

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

BALLISTIC TEST REPORT

9/22/2017

9x19mm Nato Ball

DSet No: 1

Job	1681 -54C	Date/Time Fired:	4/24/2016 / 10:49:48 AM
LOT:	prijem baruta	CONTRACT:	
PROPELLANT LOT	SB-620 ser.1681	WEIGHT (gr) :	0.39g
SPECIFICATION:		REQUIREMENTS:	Full
CASE LOT:		BULLET LOT:	
FUSE LOT:		PRIMER LOT:	
GUN TYPE:	Barell	BARREL NO:	HPI 090252
REL HUMIDITY:	75%	ATMOS.PRESSURE:	1013 bar
ROUND TEMPERATURE:	-54C		

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar
1	374.89	0.81	2090
2	385.24	0.79	2001
3	373.02	0.77	2119
4	379.25	0.83	2124
5	388.21	0.81	2053
6	369.11	0.88	1947
7	379.72	0.83	2050
8	372.77	0.85	1948
9	377.02	0.8	2048
10	372.85	0.87	1953

Mean	377.21	0.82	2033.30
Standard Deviation	5.99	0.04	68.22
Maximum	388.21	0.88	2124.00
Minimum	369.11	0.77	1947.00
Max - Min	19.10	0.11	177.00
Correction	1.43	0.47	-37.50
Corr Mean	375.78	0.35	2070.80

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT

BALLISTIC TEST REPORT

9/22/2017

9x19mm Nato Ball

DSet No: 1

Job	1681 +21C	Date/Time Fired:	4/24/2016 / 9:31:55 AM
LOT:	prijem baruta	CONTRACT:	
PROPELLANT LOT	SB-620 ser.1681	WEIGHT (gr) :	0.39g
SPECIFICATION:		REQUIREMENTS:	Full
CASE LOT:		BULLET LOT:	
FUSE LOT:		PRIMER LOT:	
GUN TYPE:	Barell	BARREL NO:	HPI 090252
REL HUMIDITY:	75%	ATMOS.PRESSURE:	1013 bar
ROUND TEMPERATURE:	+21C		

Shot Number	Velocity2 mps	Action Time msecs	Chamber Bar
1	371.16	0.87	1902
2	374.92	0.83	2043
3	368.3	0.89	2058
4	374.29	0.87	2069
5	372.88	0.87	2101
6	385.57	0.91	2074
7	381.91	0.92	2121
8	375.63	0.91	1997
9	375.26	0.89	2025
10	380.6	0.88	2079

Mean	376.05	0.88	2046.90
Standard Deviation	5.22	0.03	62.16
Maximum	385.57	0.92	2121.00
Minimum	368.30	0.83	1902.00
Max - Min	17.27	0.09	219.00
Correction	1.43	0.47	-37.50
Corr Mean	374.63	0.41	2084.40

BALLISTIC TEST SUPERINTENDENT