

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**

**Војна академија
Универзитета одбране у Београду**



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Спољна балистика

Број индекса: 507/2013

Милан Д. Симоновић

**Развој савремених испитивања и
балистичких мерења у наоружању**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **пк доцент др Дамир Јерковић, дипл. инж. -
ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да:

1. Опише циљ и задатке балистичких испитивања и мерења система наоружања;
2. Изврши класификацију балистичких испитивања и опише развој савремених метода и поступака испитивања;
3. Опише методу испитивања средстава стрелачког наоружања балистичким анализатором;
4. Опише методе испитивања артиљеријског наоружања савременим техникама;
5. Анализира резултате и методе испитивања и
6. Напише закључак и образложи коришћене методе.

Препоручена литература:

[1] Књига „ Спољна балистика “, проф. др Душан Регодић, пуковник, дипл. инж. Београд 2006.

[2] Скрипта „ Experimental techniques for ballistic pressure measurements and recent development in means of calibration “, L. Elkarous, F. Coghe, M. Pirlot, J. C. Golinval

[3] Мастер рад „ Methods for the determination of aerodynamic parameters and trajectory reconstruction of the orion command module from scale model aeroballistic flight data“, Thomas Sebastian, North Carolina State University, Raleigh 2008.

[4] Скрипта „ Measurement of bullet impact condition using automated in – flight photography system “, Ryan J. Decker, Marco Duca, Shawn Spickert – Fulton, Design and Engineering Center New York in USA, 2017.

[5] Скрипта „ Pitch and Yaw trajectory measurement comparasion between automated video analysis and onboard sensor data analysis techniques “, Rayan J. Decker, Bradford S. Davis, Thomas E. Harkins, Army Research Laboratory, септембар 2013.

[6] Књига „ Modern Exterior Ballistics “, Robert L. McCoy, 1998.

[7] Књига „ Ballistics theory and design of guns and ammunition “, Donald E. Carlucci, Sidney S. Jacobson, 2008.

Крагујевац, 28.06.2017.

ментор:

пк доцент др Дамир Јерковић, дипл. инж.

Резиме

У овом раду описана су савремена спољнобалистичка испитивања, њихов циљ и класификација, затим опрема за њихово извођење, метода испитивања средстава стрељачког наоружања балистичким анализатором и метода испитивања артиљеријског наоружања савременим техникама. Такође, извршена је анализа која показује у којим се све институцијама у свету и код нас могу користити наведене методе и опрема за развој, пројектовање, производњу и проверу квалитета средстава наоружања и муниције. На крају дат је закључак о свему наведеном у раду.

Кључне речи: спољна балистика, полигонска испитивања, муниција, наоружање.

Abstract

This topic describes the contemporary ballistics research, its aim and classification as well as the equipment for their realization, methodology of doing research of shooting weapons by ballistic analyzer and artillery weapons using contemporary techniques. Also analyses have been made regarding institutions worldwide and in our country where the mentioned methodology could be used as well as equipment, design and production and quality control of weapons and ammunition. At the end conclusion of all the mentioned in the topic has been added.

Key words: external ballistics, polygonal tests, ammunition, weapons.

САДРЖАЈ

1. Увод	1
1.1. Циљ спољнобалистичких испитивања.....	1
1.2. Класификација спољнобалистичких испитивања.....	2
1.3. Услови за реализацију спољнобалистичких испитивања	2
1.4. Припрема ватреног средства.....	3
1.5. Припрема муниције за спољнобалистичка испитивања.....	4
1.6. Припрема опреме за мерење	5
1.7. Атмосферски услови за извршење спољнобалистичких испитивања	5
1.8. Ватрена средства за извршење спољнобалистичких испитивања.....	6
1.9. Муниција за извршење спољнобалистичких испитивања	6
1.10. Реализација спољнобалистичких испитивања	7
2. Савремене методе и поступци испитивања.....	9
2.1. Гађање на домет	9
2.2. Гађање на мету	10
2.3. Гађање на време	11
2.4. Специјална спољнобалистичка испитивања	11
3. Опрема за испитивање	12
3.1. Мерење притиска и сензори притиска	12
3.1.1. Пиезоелектрични претварачи и мерни ланац.....	13
3.1.2. Балистички сензор 117B30.....	17
3.2. Мерење угаоне брзине пројектила	17
3.3. Мерење брзине и убрзања пројектила.....	19
3.3.1. Одређивање брзине пројектила мерењем времена које му је потребно да пређе пут између две тачке, чије је растојање познато.....	19
3.3.2. Мерење брзине пројектила на бази Доплеровог ефекта електромагнетних таласа	21
3.3.3. Светлосна баријера	22
3.3.4. Доплеров радарски систем „ DRS – 1 “	23
3.3.5. Мерач убрзања са инерционим давачима „ DFuze “	23
3.3.6. Балистички хронограф	24
3.4. Мерење атмосферских услова.....	25

4. Метода испитивања средстава стрељачког наоружања балистичким анализатором	27
4.1. Аутоматска анализа фотограметрије.....	28
4.2. Калибрација система.....	29
4.3. Анализа у рачунару	30
4.4. Епициклично кретање.....	31
4.5. Мерење осетљивости и студије екстраполације	32
4.6. Закључак	32
5. Метода испитивања артиљеријског наоружања савременим техникама	33
5.1. Експериментални метод заснован на испитивању кретања пројектила помоћу видео записа обрађених у рачунару	33
5.2. Оцена резултата заснованих на методи видео записа	35
5.3. Предности и недостаци коришћених метода.....	37
6. Анализа резултата испитивања.....	39
7. Закључак	46
8. Литература.....	48

1. Увод

Спољнобалистичка испитивања представљају сва испитивања ватрених средстава и муниције при којима се врше мерења елемената путање невођеног пројектила или параметара на путањи. У почетном периоду свог развитка, спољна балистика се ослањала на испитивања (експерименте), јер се нису познавале појаве и закони на основу којих се могао поставити добар математички модел. Ни са развојем теоријских метода и рачунске технике, а због неопходности потврде теоријских знања у пракси, експеримент није изгубио на свом значају.

Усавршене мерне методе и средства смањила су потребан број пројектила за спољнобалистичка испитивања, а тиме и трошкове. Циљ спољнобалистичких испитивања је да се прикупе, провере и ускладе подаци неопходни за састављање таблица гађања.

Испитивања се врше на полигонима, који представљају специјално уређене терене, намењене за њихову реализацију. За реализацију испитивања користе се полигонска оруђа у која спадају: оружја и лансери ракета. Режим оруђа мора да буде познат у односу на еталон. Оруђа морају да испуњавају услове, који се постављају за поједине врсте опита. Еталон оруђа служи за упоређење оруђа и оно мора да испуњава услове који се постављају за сваки калибар посебно. Режим еталон цеви у односу на табличне вредности мора да буде нула.

Кондиционирање је гађање намењено да се оруђе, као систем, доведе у стање при коме се добијају уједначени резултати. Прецизност оружја и муниције карактерише се величином слике погодака, тј. величином површине на којој су распоређени погоци у односу на средњи погодак, добијени гађањем у истим условима. Вероватно скретање је мерило растурања које има највећу практичну примену при решавању различитих задатака у вези са гађањем, јер оно најочигледније карактерише нормалан закон коме се покорава растурање погодака. [1]

У овом раду биће описано следеће: циљ и задаци балистичких испитивања и мерења система наоружања, класификација балистичких испитивања и развој савремених метода и поступака испитивања, метода испитивања средстава стрељачког наоружања балистичким анализатором, метода испитивања артиљеријског наоружања савременим техникама, анализа резултата, метода и опреме. На крају ће бити дат закључак и сумирано све претходно наведено.

1.1. Циљ спољнобалистичких испитивања

Спољнобалистичка испитивања ватрених средстава и муниције врше се ради:

- одређивања балистичких карактеристика пројектила и барутних пуњења неопходних за израду таблица гађања,
- провере спољнобалистичких карактеристика новоконструисаног пројектила,
- пријема серијске производње муниције,
- упоређивања спољнобалистичких карактеристика са муницијом познатог — прописаног квалитета и
- провере поклапања путање и одређивања одскочног угла. [1]

1.2. Класификација спољнобалистичких испитивања

У току спољнобалистичких испитивања, зависно од врсте пројектила и облика путање, могу се мерити следећи параметри на путањи:

- координате падне тачке,
- координате тачке деловања (даљине и правца) при гађању са близинским, темпирним, осветљавајућим или обележавајућим пројектиlima,
- координате путање у вертикалној равни на одређеном одстојању од ватреног средства,
- брзина пројектила и време лета при пролазу кроз вертикалну раван на одређеном растојању од оруђа,
- координате положаја пројектила у зависности од времена или за одређено време,
- брзине у функцији времена и
- угловни положај пројектила на одређеном растојању од ватреног средства. [1]

1.3. Услови за реализацију спољнобалистичких испитивања

Балистичка испитивања се изводе на специјално уређеним равним теренима – полигонима. Да би се извршило спољнобалистичко гађање на неком простору, потребно је да он буде организован тако да обезбеђује следеће захтеве:

- место за постављање оруђа (укопавање кракова лафета, минобацачке подлоге) – земљиште средње тврдоће,
- топографско уређење земљишта дуж директрисе (координате x , y , z) за ватрене положаје и осматрачнице,
- материјализирање директрисе на земљишту (пикет) и
- метеоролошка мерења (приземни подаци и подаци до темена путање).

Места за постављање инструмената за осматрање погодака треба да буду урађена тако да обезбеђују повољне услове за осматрање и да су довољно удаљена од места пада пројектила.

Инструменти за осматрање погодака морају да буду постављени на чврсте ослонце у току рада, односно трајања гађања, како не би долазило до померања инструмената, поремећаја оријентације и нивелације.

Пре гађања сви инструменти за осматрање морају се проверити и ректифицирати. Неисправни инструменти се не смеју употребљавати. Правац гађања, који се назива директриса, има неколико унапред предвиђених положаја за оруђа са којих се могу изводити сложена гађања. На тим положајима су израђени објекти у које се уграђују прикључци за инструменте, склониште за људе, просторије за лабораторију барутних пуњења и темпирање муниције и телефонске везе. Пре почетка спољнобалистичких испитивања, морају се одредити координате оруђа, циља, осматрачница и репера.

У току извршења спољнобалистичких испитивања морају се мерити метеоролошки подаци, и то у време вршења опита или близу том времену, што зависи од врсте грађења и начина мерења метеоролошких података.

Мерење метеоролошких података обухвата мерење приземних података и мерење промена метеоролошких података до којих долази са променом висине.

Приликом испитивања, ако је ордината темена путање до 800 m и 1500 m врши се базично осматрање (БО), а преко 1500 m врши се радио – сондажно осматрање (РСО).

За сва спољнобалистичка гађања обавља се мерење приземних података, а то су: температура ваздуха, притисак, влажност ваздуха, интензитет и правац ветра. Приземни подаци се мере на метеоролошкој станици удаљеној највише 2 km од ватреног положаја, и то на сваких пола сата. Ако се изводи гађање на мету или гађање са реактивним пројектилима, приземни ветар се мери на ватреном положају, и то у току гађања или највише 15 минута пре или после испљивања.

Пилот – балонско осматрање (ПБО) врши се за сва гађања где ордината путање прелази 100 m и служи за одређивање промене ветра и правца ветра са висином.

Обавља се на сваких сат времена на метеоролошкој станици удаљеној највише 5 km од ватреног положаја или путање пројектила. Ако се гађа ракетним пројектилима чија висина краја активне фазе прелази 300 m, станица за ПБО треба да буде удаљена од ватреног положаја мање од 500 m.

Радио – сондажно осматрање (РСО) врши се за сва спољнобалистичка гађања, где висина путање прелази 1500 m и служи за одређивање промене температуре, интензитета и правца ветра са висином. Обавља се на свака два сата на метеоролошкој станици удаљеној највише 10 km од путање пројектила. Врши се и ако је путања мања од 1500 m, а већа од 800 m, ако је промена температуре у току дана до почетка гађања већа од 12°. [1]

1.4. Припрема ватреног средства

Цеви за балистичка испитивања и пријем муниције бирају се и одређују по посебном упутству. Ове цеви се не могу употребљавати за друге сврхе. Пре почетка и после извршеног балистичког испитивања премерава се дубина залажења уређајем ПЗК (КДЗ), или дубиномером са основним пројектилом, а вредности се уносе у оруђну књижицу и протокол гађања.

За сваку балистичку цев, мора постојати оруђна књижица и листа мерења, у коју се уносе следећи подаци:

- резултати мерења пречника цеви, а код артиљеријских оруђа и пречник барутне коморе на сваких 100 mm у две међусобно управне равни. Пречници ожлебљених цеви мере се од поља до поља и од жлеба до жлеба. Мерења се могу вршити и на другим растојањима ако је то прописано у техничким условима за муницију;
- резултати мерења дужине барутне коморе уређајем ПЗК, дубине залажења пројектила дубиномером или пречника цеви на одређеном одстојању (најчешће на почетку жлебова), у зависности од начина одређивања истрошености цеви, односно пада почетне брзине за дати систем. Мерење за одређивање истрошености цеви врши се, по правилу, пре почетка сваког балистичког гађања, а обавезно после испљивених 50 до 60 метака;
- подаци о извршеним гађањима из цеви (датум, врста пројектила и барута, број барутних пуњења, број испљивених метака) и
- балистичке карактеристике за свако гађање са еталон муницијом.

Нишанска линија се проверава пред свако балистичко гађање. Цев артиљеријског оруђа поставља се у хоризонтални положај помоћу провереног квадранта, па се помоћу табле за ректификацију изврши ректификација нишанских справа по правцу и висини. Оруђе за балистичко гађање мора да буде на чврстој хоризонталној подлози. Хоризонталност рамена цеви проверава се квадрантом при елевацији од 0° , мерењем нагиба рамена цеви, било на клизачима колевке, било на самој цеви, уколико квадрантска равна то дозвољава. При балистичком гађању, за заузимање елевације користе се само проверени квадранти. [1]

1.5. Припрема муниције за спољнобалистичка испитивања

Узорке муниције при пријему за балистичко испитивање издваја војна контрола предузећа, после завршене лабораторије серије, односно рате. Муниција се на полигон допрема у блумбираним сандуцима. Муницију треба сортирати тако да се за балистичко испитивање употребе пројектили једног знака масе, који се међусобно разликују само за један знак масе. Темпирање муниције се врши на пласманима, у специјално уређеним просторијама. За време темпирања муниција остаје у сандуцима, подигнута од пода за најмање 0.5 m, или се вади из сандука на дрвене сталаже. Мора бити удаљена од топлотних извора и прозора за више од 0.5 m.

Муниција се темпира на једној температури од $+10^\circ\text{C}$ до $+25^\circ\text{C}$. Увек треба тежити, ако постоје полигонске могућности, да то буде таблична температура за дату врсту муниције. У току читавог времена темпирања, температура ваздуха просторије не сме се мењати за више од 4°C . Температура ваздуха просторије у којој се темпира муниција мора се контролисати термографом или термометром, са тачношћу поделе од 1°C . Термограф или термометар се мора налазити у висини муниције, удаљен од топлотних извора и прозора најмање 1 m.

Ако се температура просторије контролише термометром, онда се она мора регистровати свака 2 – 3 сата у току читавог времена темпирања. Ако се пријем муниције врши уз употребу еталона, онда се морају обезбедити исти услови темпирања за серију и еталон. Темпирање муниције пре гађања траје најмање 44 сата, под условом да је температура где се муниција чувала или транспортовала већа од 0°C . Ако је температура просторије где се муниција чувала или температура спољног ваздуха, ако муниција долази транспортом, мања од 0°C , темпирање траје најмање 68 сати.

Ако се температура просторије где се муниција чувала, или температура спољног ваздуха, ако је муниција транспортована, разликује за 4°C у односу на температуру темпирања, онда се време темпирања може скратити на минимум 24 часа. У случају када се спољна температура ваздуха разликује за више од 10°C , у односу на температуру просторије у којој је темпирана муниција, онда се муниција мора носити до оруђа у припремљеним врећама, које су изнутра обложене ватом или филцом.

Балистички пријем муниције гађањем са положаја, на којем нема услова за темпирање, може се вршити само у случају када се спољна температура не разликује за више од 15°C од температуре на којој је муниција темпирана. Муниција се превози у сандуцима обложеним изолујућим материјалом, који су темпирани заједно са муницијом најмање 6 сати. Муниција у овим сандуцима може да остане напољу најдуже 2 сата. [1]

1.6. Припрема опреме за мерење

Сви апарати за мерење и контролу морају се повремено баждарити, тј. мора им се проверити тачност помоћу државног еталон апарата. Ово баждање мора да буде уведено у књижицу дотичног мерног апарата и оверено од лица које га баждари. Мерење може да се врши тек када се руковац апарата извести да је апарат проверен. Контрола апарата је обавезна сваког дана пре почетка мерења, а треба да се врши и у току гађања, када из групе метака одскочи макар један метак.

При мерењу одређених величина мерни уређаји морају да обезбеде одређену тачност мерења (σ). Тачност мерења за одређене величине приказана је у табели 1. [1]

Табела 1 – Тачност мерења (σ) за одређене величине [1]

Мерна величина	Тачност мерења (σ)
Почетна брзина (V_0)	0.1 %
Домет и одступање по правцу (при гађању на домет)	5 m
Одступање по висини	2 m
Угао гађања (θ_0)	0.1 hilj.
Маса пројектила (m)	0.1 %
Момент инерције пројектила (I_x, I_y)	0.2 %
Положај тежишта	0.5 mm
Азимут гађања	(0.5 и 0.2) mrad
Температура барута (t_b)	1°C
Интензитет приземног ветра	2 m/s
Правац приземног ветра	10 hilj.
Температура ваздуха	1°C
Притисак ваздуха	1 %
Време лета	0.05

1.7. Атмосферски услови за извршење спољнобалистичких испитивања

Спољнобалистичко гађање се мора вршити кад нема падавина и наглог мењања струја атмосфере, ветра који прелази вредност прописану стандардима и када је спољна температура ваздуха мања од -10°C. Прихватљиве вредности ветра за спољнобалистичка гађања су:

- у случају када висина путање прелази 1500 m, приземни ветар не сме да пређе вредност од 10 m/s, а балистички ветар 20 m/s, док узастопна промена мерења у току дана (на 1 – 2 сата) не прелази 10 m/s,
- у случају да је ордината путање мања од 1500 m, приземни ветар не сме да буде већи од 7 m/s, а балистички 12 m/s и
- за случај да је ордината путање мања од 1500 m, а почетна брзина пројектила мања од 300 m/s, ветар не сме да буде већи од 5 m/s. [1]

1.8. Ватрена средства за извршење спољнобалистичких испитивања

Балистичка испитивања се врше гађањем из балистички дефинисаних цеви оруђа и минобацача, који морају испуњавати захтеве предвиђене стандардом. Балистичка цев се бира међу новим или мало истрошеним цевима и мора да задовољава захтеве и ПКП. Почетне балистичке карактеристике еталон цеви не смеју одступати, при њиховом избору, од карактеристика еталон барутних пуњења утврђених за дато оруђе, више него што је дато у табели 2.

Табела 2 – Одступање почетних балистичких карактеристика еталон цеви [1]

Почетна брзина m/s	Дозвољено одступање	
	Почетне брзине %	Средњег притиска %
до 600	± 1.00	± 4.00
од 600 до 1000	± 0.85	± 3.00
више од 1000	± 0.75	± 3.00

У току трошења балистичких цеви, одступања њихових карактеристика утврђених за еталон барутно пуњење морају остати у границама:

- **код ожлебљених цеви:**
 - ± 2.0 % за брзину,
 - ± 8.0 % за притисак.
- **код цеви минобацача и бестрзајних оруђа:**
 - ± 1.0 % и 2.0 % за брзину,
 - ± 3.0 % и 8.0 % за притисак.

Ватрено средство које се користи за спољнобалистичка испитивања мора да се контролише и могу се применити само средства којима је остало још 2/3 балистичког живота у погледу тачности (а најмање још 1/2). [1]

1.9. Муниција за извршење спољнобалистичких испитивања

Није дозвољена употреба пројектила, који имају следеће недостатке:

- корозију на центрирајућем прстену и
- непотпун спој водећег прстена са кошуљицом и таква оштећења која могу да утичу на његову нормалну функцију (засечен прстен, улубљење, откинута парче и др.).

Чауре које се употребљавају за балистичка испитивања морају да одговарају цртежу и да задовољавају захтеве прописане у ПКП. При балистичким испитивањима која користе једноделни метак могу се употребљавати, поред нових, и до три пута рекалибриране чауре. Када су у питању оруђа која користе дводелни метак (са чауром), поред нових, дозвољена је употреба до 10 пута рекалибрираних чаура.

При гађању групе пројектила, рекалибриране чауре у истој групи, могу се разликовати највише за једно рекалибрирање. Није дозвољена употреба чаура са прскотинама, наборима и другим манама.

За спољнобалистичка испитивања гађањем на мету користе се инертни пројектили и упаљачи који задовољавају цртеже и ПКП. Маса пројектила лабораторисаних инертном масом са инертним упаљачем одговара табличној маси, са тачношћу која је дата на цртежу. Ако цртежом није одређена толеранција масе, дозвољава се одступање од нормалне масе ± 0.1 %. Довођење пројектила на табличну масу врши се пуњењем шупљина кошуљице инертном масом, при чему инертна маса мора заузимати исту запремину кошуљице пројектила као експлозивно пуњење у бојевом пројектилу. За балистичка испитивања могу се употребити и бојеви пројектили са инертним упаљачем. У овом случају пројектили морају бити табличне масе.

Овде се подразумева пројектил са знаком масе „Н“. Бојеве мине се мерењем масе бирају тако да им се маса налази око табличне са одступањем ± 1.3 % масе мине. По посебном одобрењу се могу користити пројектили са одступањем од табличне масе за један знак масе „+“ или „-“. [1]

1.10. Реализација спољнобалистичких испитивања

Поступак извођења гађања зависи од циља опита, мерних апаратура, типа ватреног средства и спољних услова гађања. Гађање почиње пошто се изврше све припреме, провери мерна апаратура, прегледају оруђе и муниција и забележе сви услови гађања и карактеристике оруђа и муниције са којима ће се вршити опити. Пре почетка спољнобалистичких испитивања испаљују се пројектили за загревање. Број пројектила за загревање се узима у зависности од спољне температуре, и то:

- за температуру 0°C и вишу један пројектил,
- за температуру од -10°C до 0°C , два пројектила.

При гађању минобацачем испаљују се два пројектила са истим или већим пуњењем који служе поред загревања цеви и за стабилизацију подлоге бацача.

При гађању аутоматским топом првом паљбом, рафалном паљбом или вишецевним ракетним бацачима, пре испаљивања рафала потребно је испалити један до два пројектила ради контроле правца и могућности осматрања.

После испаљивања пројектила ради загревања прелази се на испаљивање пројектила за испитивање. Број пројектила у групи зависи од калибра и треба да износи:

- 10 пројектила до калибра 40 mm,
- 7 пројектила до калибра 125 mm и
- 5 пројектила за калибре веће од 125 mm.

Приликом гађања групом пројектила при мањим елевацијама (испод 20°), где је осетљивост, као и за гађање пројектилима који имају очекивано одступање, домета већег од 0.8 %, број пројектила се може повећати на минимум седам. Пре почетка кондиционирања минобацача, са средњим пуњењем се испаљују две мине, ради загревања цеви и стабилизације подлоге оруђа.

Приликом гађања оруђима са више делимичних пуњења, морају се при прелазу са једног на друго пуњење испалити 2 – 3 метка (мине), ради кондиционирања цеви и довођења групе у повољно стање за испаљивање.

Брзина гађања треба да је у границама 1 – 2 метка у минути. Размак опаљивања између два метка у групи не сме да износи више од пет минута. Ако у току испаљивања групе пројектила настане прекид краћи од пола сата, при спољној температури већој од +10°C и при устаљеном времену, претходно испаљени пројектили се рачунају у групу испаљених метака. Ако је прекид дужи од пола сата, или ако је прекид у границама 5 – 30 минута при променљивом времену, претходно испаљени пројектили се не рачунају у групу. Код прекида гађања дужег од пола сата мора се вршити поновно кондиционирање оруђа и испаљивање нове групе пројектила.

Када се обавља пријем серије муниције применом еталона, онда група гађа наизменично, метак по метак (серија – еталон, или обратно). За обрачун се узимају сви испаљени пројектили у групи. Искључују се само погоци, код којих је утврђена група грешака. На место искљученог поготка, испаљује се следећи метак, како би група имала предвиђен број важећих погодака. Елевација цеви оруђа се контролише исправним и провереним квадрантом. После сваког опаљења мора се прегледати унутрашњост цеви, да би се отклонили евентуални остаци картона или других додатака у барутном пуњењу. За време гађања дужина трзања мора да остане у прописаним границама. [1]

2. Савремене методе и поступци испитивања

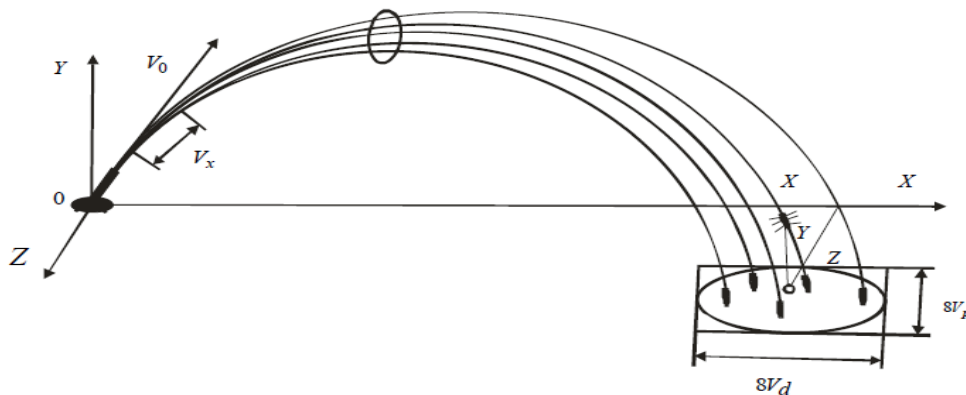
Зависно од врсте ватрених средстава и циља испитивања, разликују се следећа спољнобалистичка гађања:

- гађање на домет,
- гађање на вертикалну мету,
- гађање са темпирном муницијом и
- гађање са посебно припремљеним мерењем.

2.1. Гађање на домет

Гађање на домет (слика 1) се изводи тренутним пројектилима који при паду делују и могу се осматрати са одређеног растојања. При томе се на основу података о положају осматрача могу одредити координате падне тачке (X и Z), а затим на основу положаја ватреног средства и заузетог правца гађања, скретање пројектила по даљини и правцу (V_d и V_p).

Приликом овог испитивања, које се изводи са датом елевацијом, на одређеном одстојању од уста цеви мери се почетна брзина. Након тога се брзина своди на уста цеви. Код оруђа која гађају под елевацијом, уместо соленоидних рамова, користи се уређај за мерење брзине који ради на принципу Доплеровог ефекта (промена фреквенције електромагнетних таласа, ако се одбијају од тела које се креће одређеном брзином).



Слика 1 – Гађање на домет [1]

При овом гађању елевациони углови се одређују у зависности од вертикалног поља дејства:

- за топове ($E = 0^\circ$ до 45°) $\theta_0 = 5^\circ, 10^\circ, 25^\circ, 45^\circ$,
- за хаубице ($E = 0^\circ$ до 75°) $\theta_0 = 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 45^\circ, 75^\circ$ и
- за минобацаче ($E = 45^\circ$ до 85°) $\theta_0 = 45^\circ, 65^\circ, 75^\circ, 85^\circ$.

При гађању на домет обавезно се мере: почетна брзина, температура и притисак ваздуха, маса пројектила и брзина ветра.

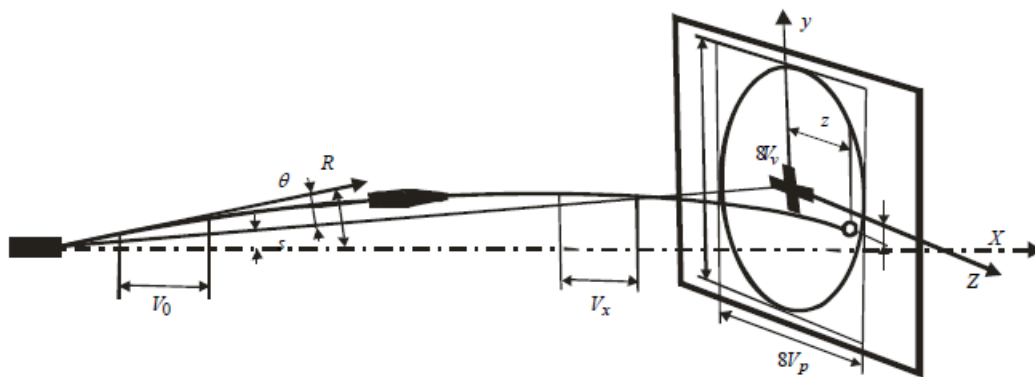
Метеоролошко – балистички подаци узимају се пола сата пре почетка мерења, и то како приземни тако и у функцији ординате, и дају се у облику метеоролошког билтена бар сваког сата у току мерења, а изузетно могу да важе за два сата (ако се гађа са више група). [1]

2.2. Гађање на мету

Гађање на мету (слика 2) се изводи ради одређивања тачности и прецизности система оруђа – пројектил. Намењено је за одређивање балистичких карактеристика противоклопне и стрелачке муниције и остале муниције на малим растојањима. При овом гађању мете се постављају на познатом растојању од ватреног средства.

У току гађања одређују се: координате (X , Y , Z), брзине (V_0 и V_x), растурања (V_v и V_p), време лета пројектила, полазног угла и приземних метеоролошких услова у време гађања.

Даљине до мете су на 500 до 2500 m, у зависности од калибра оруђа и почетне брзине. Мете су најчешће платнене, димензија 6×6 m до 8×8 m (по висини и правцу). Подаци се региструју по редоследу осматрања, а обележавају после испаљене групе. Гађање се изводи најмање у три групе по десет пројектила.



Слика 2 – Гађање на мету [1]

При овом гађању битно је одредити месни угао центра мете S . За стрелачко наоружање праве се специјални оптички инструменти којима се врши ректификација и може се оса цеви усмерити према центру мете. За мерење брзине пројектила се као детектор најчешће користи фотобаријера. Ради на принципу фотоелемената који реагују на промену светлосног флукса, услед проласка пројектила. Укупно видно поље оптичког система је до 105° . Ради одређивања аеродинамичког коефицијента $C_D(M)$, неопходно је познавати брзине на путањи $V(t)$ или $V(X)$.

У новије време, за мерење брзине користе се доплер – радари. Ови радари омогућују мерење брзине са учестаношћу (10, 25, 50 или 100 мерења у секунди) од 70 до 2000 m/s до даљине од 10 000 калибара. [1]

2.3. Гађање на време

Гађање на време изводи се темпирним упаљачима ради мерења времена лета пројектила од уста цеви до експлозије. У току гађања одређују се координате деловања пројектила са темпирним и близинским упаљачем и отварање бакље осветљавајућих пројектила. Гађање се изводи по поступку као и гађање на домет. [1]

2.4. Специјална спољнобалистичка испитивања

Специјална спољнобалистичка испитивања обухватају сва испитивања са посебним мерењем угловних положаја пројектила на путањи, угаоних брзина и растојања пројектила. [1]

3. Опрема за испитивање

Са развојем науке и технике мерења неелектричних величина упоредо се развијала и мењала терминологија у тој области. Компонента која претвара неелектричну величину у електрични сигнал се првобитно називала мерни претварач или давач. Од средине 70 – их година се усваја термин **сензор**.

Под термином сензор у савременој литератури се подразумева сложени претварач, који непосредно даје електрични сигнал услед дејства неелектричне величине (силе, притиска, помераја, убрзања и сл.).

Почетком 19. века откривени су физички ефекти, којима се неке неелектричне величине могу претворити у електрични сигнал. Ова открића су омогућила мерење неелектричних величина одговарајућим електричним мерним уређајима, односно одговарајућим електричним сигнаlima.

Развој сензора се у технолошком погледу може поделити на период до проналаска полупроводничких елемената и период после тога. У периоду пре проналаска полупроводничких елемената сензори су израђивани од метала и металних легура. Многа од тих решења се и данас примењују због бољих карактеристика метролошких својстава, као што су платински отпорни термометри, термопарови, мерне траке и већина индуктивних и капацитивних сензора. Једни од најчешће примењиваних сензора су они који раде на принципу пиезоелектричног ефекта. Пиезоелектрични ефекат је појава електричног набоја на површини материјала, када се исти изложи механичком притиску и дође до његове деформације.

Компанија „**Kistler**“, која води порекло из Швајцарске, један је од главних лидера на тржишту по питању технологије динамичког мерења.

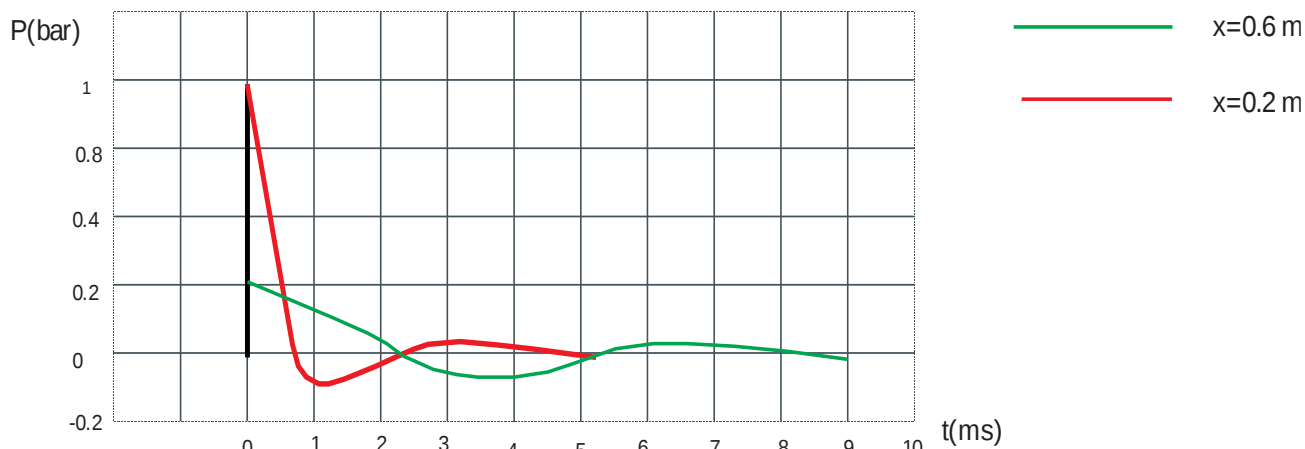
Производи инструменте за мерење и анализу физичких процеса, контролу индустријских процеса и оптимизацију производа. Инструменти ове компаније могу мерити: притисак, снагу, убрзање и обртни момент.

3.1. Мерење притиска и сензори притиска

Натпритисак је најважнији параметар ударног таласа, па је због тога неопходно дефинисати методу регистровања која ће бити функција времена. Остали параметри се могу израчунати помоћу релација које их повезују међусобно. Мерењем натпритиска у временској бази се, поред регистровања максималних вредности, може више сазнати о самој природи ударног таласа.

Типична крива натпритиска ударног таласа приказана је на слици 3 и на њој су назначене карактеристичне вредности за тачке на различитим одстојањима од уста цеви у временској бази.

Максималне вредности натпритиска достижу вредности до 1 bar у зависности од тачке у којој се мере, а време трајања је до неколико ms, тако да натпритисак представља готово импулсну појаву, што захтева посебне специфичности опреме и поступака за мерење. [2]



Слика 3 – Промена натпритиска у зависности од времена [2]

3.1.1. Пиезоелектрични претварачи и мерни ланац

Пиезоелектрична метода мерења притиска базира се на особини кристала (кварц, турмалин) да се под притиском деформише основна структура кристала, што проузрокује појаву електричног набоја. Количина набоја је пропорционална притиску. За примену ове методе мора се бушити цев (и чаура) у коју се уврће пиезосонда. Сонда је везана за региструјући уређај. То је обично писач, тако да се добија временска промена притиска, а не само максимални притисак.

Поред тога, на површину цеви могу се залепити мерне траке, којима се мери напрезање цеви, па из напрезања срачунати притисак који је владао у цеви. Ова метода мерења притиска барутних гасова у цеви оруђа користи се при балистичким студијама, односно опитима. За мерење притиска овом методом користи се примач притиска – пиезосонда са кристалом кварца или турмалина који ствара пиезоелектрични ефекат. Наиме, због притиска на кристал, издвојена количина електрицитета води се у осетљиву електронску опрему, где се овај сигнал појачава, а затим шаље у регистратор где се региструје.

При мерењу притиска овом методом цев је избушена као и крешерна цев, а негде се електрична веза провлачи поред затварача кроз избушену чауру до примача притиска. Ова метода се широко примењује, јер омогућава солиднију студију сагоревања барута. Пиезоелектрична апаратура за мерење притиска састоји се од: пиезоелектричног детектора (пиезосонде), електронског појачавача и катодног регистратора. Током одвијања процеса, напон пропорционалан притиску са детектора долази, преко електронског појачавача, на катодни регистратор.

Пиезоуређаји обично раде на више канала, тако да се притисак може мерити једновременно на више мерних места. У новије време користе се савремени магнетни регистратори, код којих се феномен са примача притиска снима на магнетну траку, а подаци о притиску добијају се даљом обрадом.

Сензори притиска **Kistler тип 6215** (слика 4а) и **PCB тип 117B104** (слика 4б) представљају пиезоелектричне претвараче, који се користе за мерење притиска у цеви калибра 12.7 mm. За монтажу сензора **тип 6215** користи се навој M10×1 са прецизно израђеном контактном површином, која је израђена помоћу алата типа 1300A25. Сензор се може уградити без посебне термичке заштите, користећи само заптивни прстен. [3]

Предности овог сензора су: знатно нижи механички и термички напон и знатно смањени површински притисак у заптивном делу.



Слика 4а – Kistler mun 6215 [4]

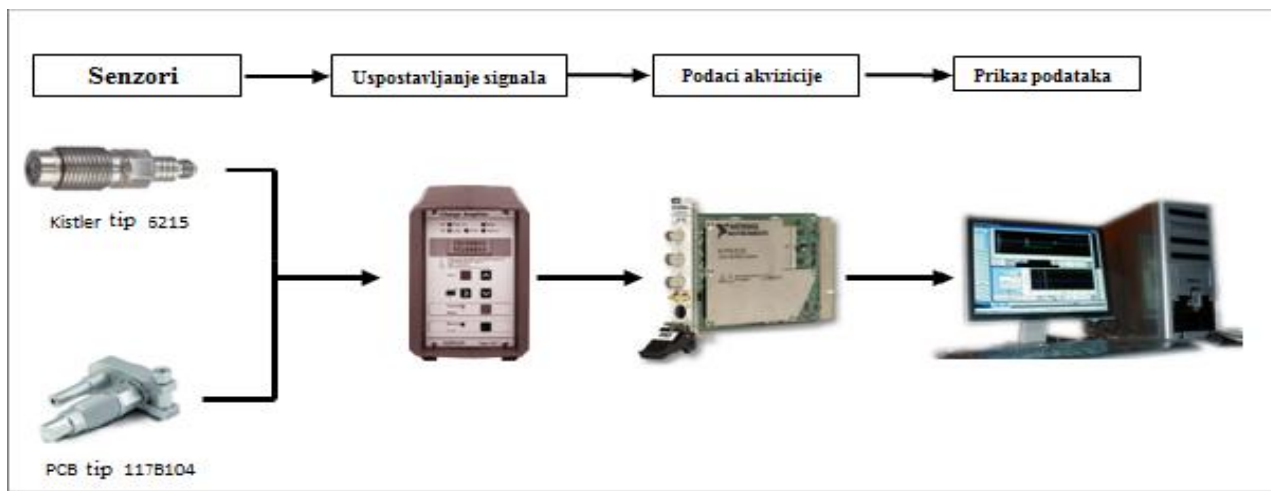


Слика 4б – PCB mun 117B104 [5]

Распоред уређаја за мерење приказан је на слици 5. Доњи сензор представља први елемент мерног ланца, који садржи додатне компоненте као што је појачавач напајања за успостављање сигнала. Калибрација појачавача напајања обавља се помоћу калибратора пуњења. Уређај за прикупљање података се састоји од вишеканалног уређаја са четири дигитална бројача велике брзине.

Сваки дигитализатор има два канала паралелно, са резолуцијом од 14 bit и максималном брзином узорковања од 100 MHz. Фреквенција узорковања се подешава на 1 MHz да би се обезбедило правилно мерење сигнала. Највећа конверзија која се јавља у ДАК плочи је аналогна конверзији у дигиталном облику.

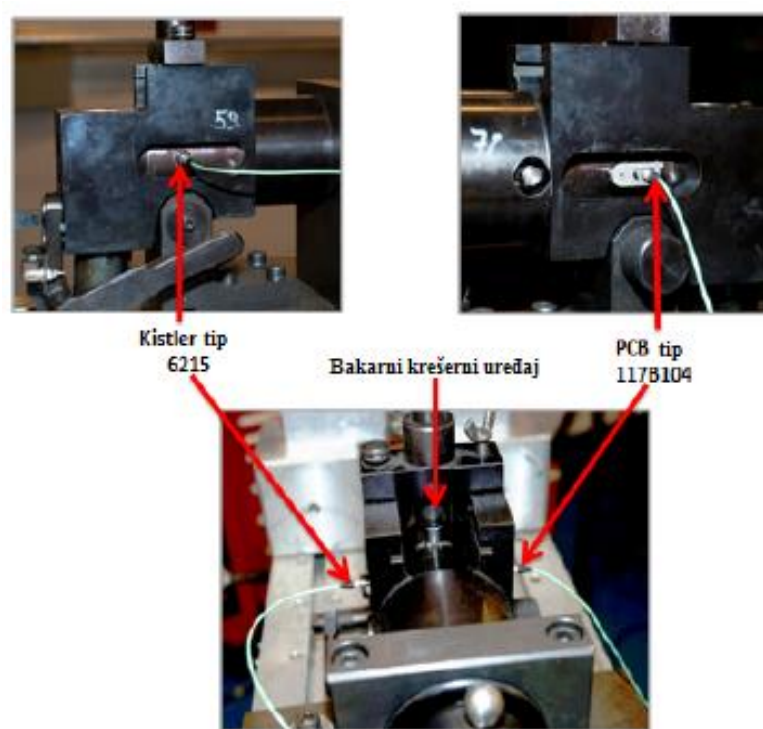
Филтрирање се врши са фреквенцијом од 10 KHz помоћу филтера, који смањује фреквенцију ради добијања најбољег приказа промене притиска без губитака корисних информација. Обраду сигнала обавља софтвер **LabVIEW**. [6]



Слика 5 – Мерни ланац [6]

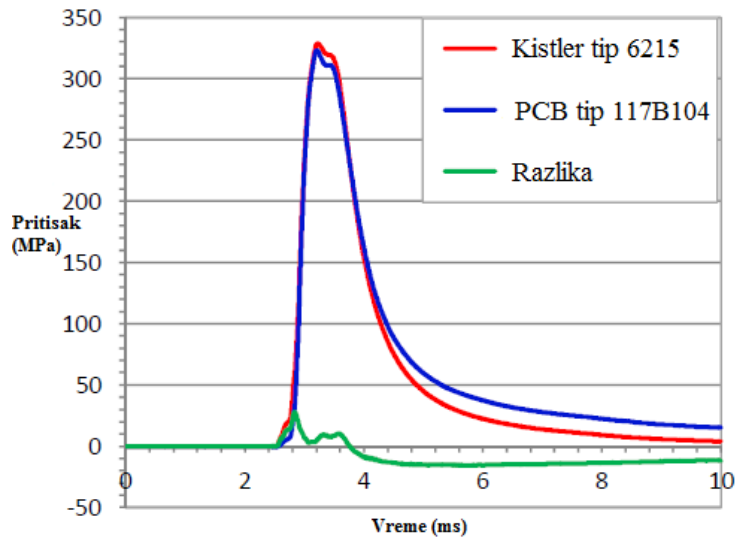
Испитивање процеса опаљења изведено је помоћу цеви калибра 12.7 mm, произведеној у складу са војним стандардима, која се поставља на универзални балистички систем са измењивачем цеви. Најважнија предност овог калибра је стицање дугог балистичког циклуса који омогућава јасно визуелно приказивање свих догађаја, који се јављају унутар цеви до изласка пројектила. Пиезоелектрични претварачи и крешерни уређаји могу се монтирати у истој позицији у односу на дужину цеви, али се померају за 90° један према другом. Крешерни уређај има номиналну висину од 4.91 mm и номинални пречник 3 mm. Прва серија, која износи 40 испалених метака, извршена је ради упоређивања оба типа претварача, док је друга серија, која износи 10 метака, спроведена са различитим масама барута (12 g, 14 g и 16 g), за процену **Кистлеровог** сензора притиска и крешерног уређаја.

Сва мерења су вршена на температури од $21 \pm 2^\circ\text{C}$ у потпуно затвореном простору, где нема временских утицаја. На слици 6 је приказано монтирање пиезоелектричног претварача и крешерног уређаја. [6]



Слика 6 – Монтирање пиезоелектричног претварача и крешерног уређаја [6]

Резултати испитивања се могу видети на слици 7, на којој су приказане три кривуље притиска у функцији времена. Облици кривуља за коришћене сензоре изгледају врло идентично, јер оба прво расту до максималне вредности, а затим експоненцијално опадају.



Слика 7 – Кривуље притиска у функцији времена [6]

Компанија „ **Kistler** “, поред горе наведеног модела, има још различитих типова сензора притиска, у зависности од тога за шта се користи. Неки од тих модела су: **тип 6217A2000**, **тип 6217A5000**, **тип 6217A7000**, **тип 6213B** итд. Табела 3 приказује карактеристике ових сензора притиска.

Табела 3 – Техничке карактеристике сензора [7]

Технички подаци	Јед. мере	Тип 6217A2000	Тип 6217A5000	Тип 6217A7000	Тип 6215	Тип 6213B
Мерни опсег	bar	0...2000	0...5000	0...7000	0...6000	0...10 000
Преоптерећење	bar	2500	7500	7500	6600	11 000
Осетљивост	pC/bar	-13	-2.7	-2.7	-1.4	-1.2
Природна фреквенција	kHz	> 200	> 200	> 200	> 240	> 150
Линеарност	% FSO	< ± 0.5	< ± 1	< ± 1	< ± 1	< ± 0.5
Температура коришћења	°C	-50 до 200	-50 до 200	-50 до 200	-50 до 200	-50 до 200
Осетљивост убрзања	mbar/g	< 2	< 2	< 2	< 5	< 5
Навој		M12×1	M12×1	M12×1	M10×1	M12×1
Конекција		KIAG 10 – 32 neg.	KIAG 10 – 32 neg.	KIAG 10 – 32 neg.	KIAG 10 – 32 neg.	KIAG 10 – 32 neg.

Сензор **тип 6217A...** представља најновији економски сензор са високим перформансама и може се користити у три различита опсега.

Погодан је за мерење гасног притиска у свим применама. Одликују га: добра линеарност, неосетљивост на различите деформације, отпорност на прљавштину, дуг век трајања, оптимизован дизајн дијафрагме и могућност инсталирања са додатним штитником.

Сензор **типа 6213В** је модификована верзија сензора **типа 6203** и карактерише га: добра линеарност, неосетљивост на различите деформације, отпорност на прљавштину, изузетно дуг радни век и врло добра дугорочна стабилност и може се инсталирати са додатним термичким штитом или дијафрагмом.

3.1.2. Балистички сензор 117В30

Балистички сензор 117В30 (слика 8) представља производ америчке компаније „**PCB Piezotronics**“, која се бави производњом сензора за различите намене. Овај сензор може мерити притисак у цеви оружја преко зида чауре. Дијафрагма сензора је израђена тако да одговара специфичном пречнику чауре. Када се правилно угради, може имати животни век од сто хиљада циклуса опаљења, што далеко превазилази животни век цеви. Има могућност коришћења и при рафалној палби. Сензор се уграђује у равни са зидом чауре. Представља део сонде, која на себи има шупљу навртку за спајање. Навртка се ротира независно од тела сонде, и служи за подизање сензора из монтажног отвора. [8]



Слика 8 – PCB сензор 117В30 [8]

3.2. Мерење угаоне брзине пројектила

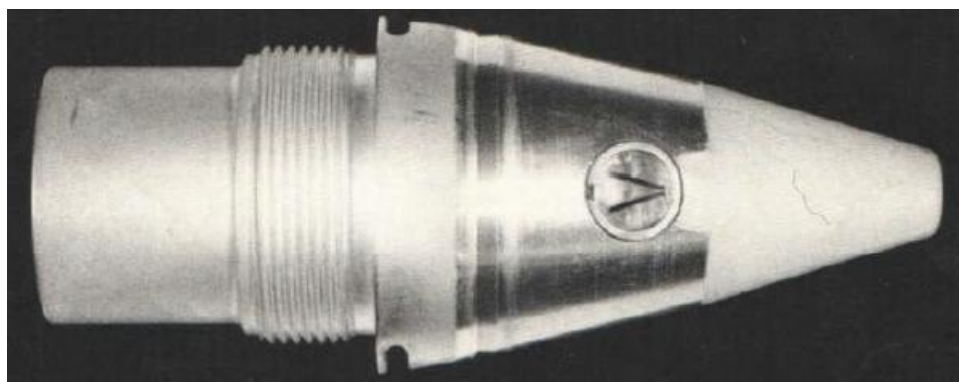
За мерење угаоне брзине пројектила користи се **YAW сонда** (слика 9). Ова сонда ради на принципу термионског уређаја, који функционише у односу на угао под којим сунчеви зраци пролазе кроз тзв. „**V**“ маску и делују на њега. Све ово се бележи у времену и одашиље радио везом. Нови дизајн сонде, који носи ознаку **МК 2** омогућава праћење пројектила током целе путање лета и за велике и за мале почетне углове. Може се монтирати на све калибре преко 75 mm.

Одличан дизајн сонде омогућава јој да ради у горњим границама ултра високих фреквенција.

Телеметријски пријемник се може позиционирати иза пројектила приликом лансирања, омогућавајући потпуну контролу у току лета, без потребе за праћењем пројектила помоћу антенског система пријемника. Ова сонда може мерити углове до 20° са резолуцијом од 0.2°. Може издржати јако велику силу при убрзању и силу проузроковану центрифугалним кретањем чији је број обртаја 22 000 o/min.

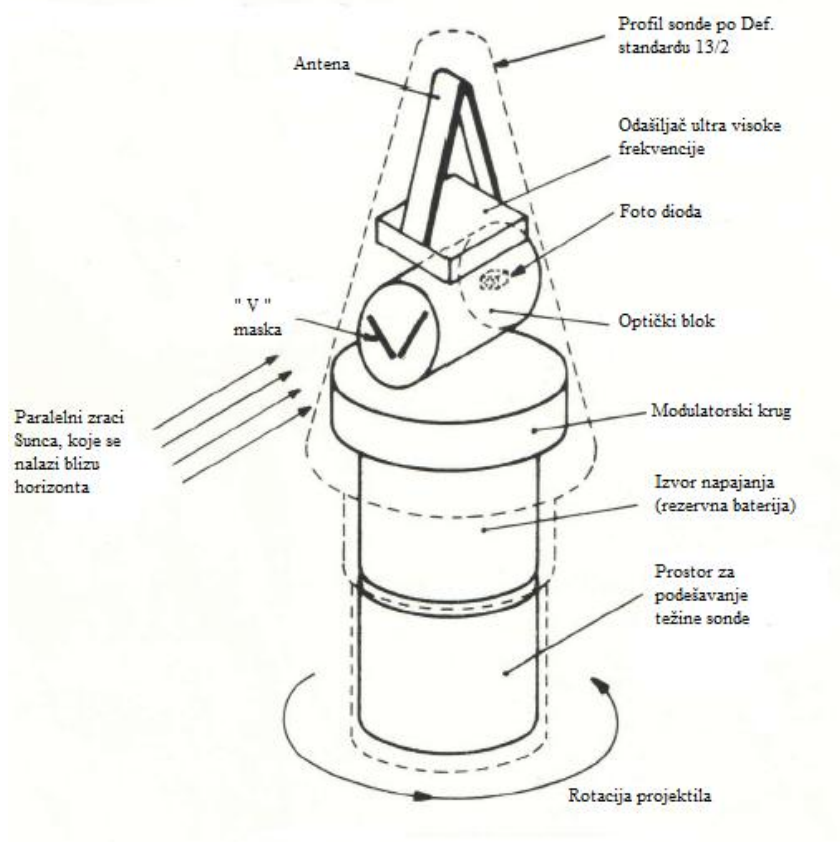
Сонда је дизајнирана тако да задовољи профил Def. Stan. 13/2, а све избочине на њој су мање од 1 mm.

Стандардно се израђује са „плитким“ удубљењем за налегање, што омогућава да се у простор на задњем делу сонде дода уређај за подешавање тежине. Типична излазна снага сонде је 150 mW. Фреквенцијски опсег рада сонде је у интервалу од 850 до 950 MHz. Сонда може радити на температури од -15°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Време снимања телеметрије је мање од 100 ms. Сонда се испоручује монтирана са самосталном резервном батеријом која има рок трајања већи од 10 година, дајући кориснику могућност пуњења. [9]



Слика 9 – Сонда за мерење угаоне брзине пројектила [9]

На слици 10 се могу видети главни делови YAW сонде.

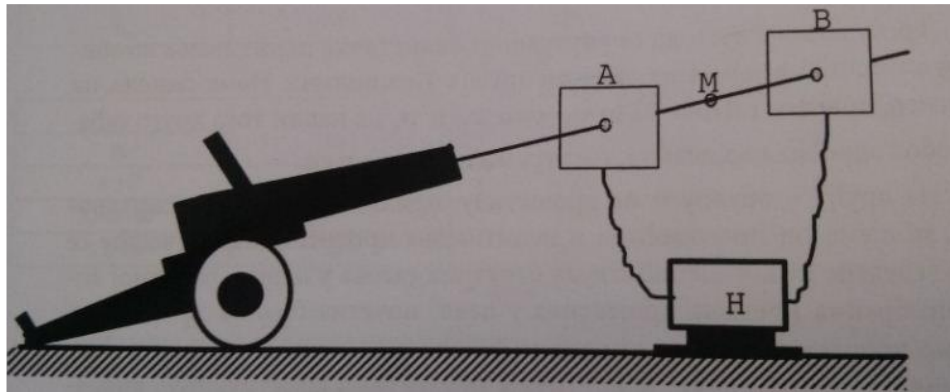


Слика 10 – Главни делови сонде [9]

3.3. Мерење брзине и убрзања пројектила

3.3.1. Одређивање брзине пројектила мерењем времена које му је потребно да пређе пут између две тачке, чије је растојање познато

При практичним гађањима на полигону почетна брзина се одређује тако да се мери брзина пројектила на неком растојању од уста цеви, а затим се изводи тзв. свођење на уста цеви. Поступак се огледа у следећем: у два тачкама (слика 11) постављају се детектори који се везују са хронометром (Н). Детектор у тачки А има задатак да покрене хронометар, а детектор у тачки В да га искључи. Тако хронометар региструје време прелета пута АВ.



Слика 11 – Уређај за мерење почетне брзине [3]

Данас се као детектори користе фото – ћелије или четвртасти рамови кроз које тече струја, тако да се при пролазу намагнетисаног пројектила индукује електромагнетно поље и ствара могућност добијања импулса за покретање, односно заустављање хронометра. Растојање између детектора назива се база и обично износи 2 или 4 m. Први детектор поставља се на неколико метара од уста цеви. Ако се претпостави да је пренос између АН и ВН тренутан, а и укључивање и искључивање и функционисање хронометра, онда хронометар даје вредност времена (t), које је било потребно пројектилу да пређе пут од А до В. Средња брзина пројектила на путу између тачке А и В, како се то на слици види, количник је:

$$v = \frac{\overline{AB}}{t}$$

Ако су тачке А и В близу, брзина одговара тачки М, која је на средини АВ. Ако је дужина базе x, а измерено време t, онда је, с обзиром на дужину базе, брзина у тачки на средини базе:

$$v_M = \frac{x}{t}$$

Пад брзине од уста цеви до тачке М одређује се методом прорачуна путање у спољној балистици и износи:

$$\Delta v_0 = \frac{id^2\delta}{m\delta_0} D(v)_{x_M}$$

где су:

i – коефицијент облика пројектила, d – калибар, m – маса пројектила, δ – густина ваздуха у условима гађања, δ_0 – густина ваздуха при стандардним условима, $D(v)$ – функција зависна од усвојеног закона отпора и x_M – растојање од уста цеви до тачке М.

Према томе, почетна брзина је:

$$v_0 = v_M + \Delta v_0$$

Ако се гађа под неким углом елевације θ_0 , тада се рачуна и губитак почетне брзине због деловања Земљине теже:

$$\Delta v_g = \frac{g * tg\theta_0}{v_M} * x_h$$

где су:

g – убрзање Земљине теже и x_h – хоризонтално растојање средине базе од уста цеви.

Тада је:

$$v_0 = v_M + \Delta v_0 + \Delta v_g$$

У пракси се за целу групу метака мери брзина v_M , налази се средња вредност брзине за целу групу и тек онда се она своди на уста цеви. Тачност мерења зависи од тачности којом се мери дужина базе $\overline{AB}$ и време лета. Грешка мерења базе је 0.05 %, тако да се добија брзина са тачношћу 0.1 % v_0 . Да би се искључиле могуће грешке, брзина се мери са два хронометра. Од добијене две вредности узима се средња вредност ако се међусобно не разликују за више од:

- 3 m/s за брзине до 600 m/s
- 0.5 % за брзине преко 600 m/s.

Ако то није испуњено или ако један хронометар откаже, узима се у обзир само једна брзина уколико је она у оквирима брзина дате групе метака. Ако горњи услов није испуњен, а обе измерене вредности излазе из оквира дате групе метака, гађање се прекида и тражи се узрок (неисправна апаратура, грешка у лабораторији муниције), па се након отклањања неисправности наставља гађање. Уколико нема неисправности узима се као меродавна вредност која је ближа датој групи метака.

Почетна брзина може да се одреди снимањем излетања пројектила из уста цеви помоћу ултра брзе камере и обрадом филма, али то може да се ради само при специјалним опитима, када се испаљује врло мали број метака. За стандардна испитивања то се економски не исплати. У новије време се све више развијају нови типови бројача – хронометара, који користе развој савремене електронике.

Данас постоји хронометар са више меморија, који може мерити брзину пројектила испалених у рафалу и размак опаљивања (каденцу) и одмах срачуна тако да се може прочитати време или брзина. Такав систем за мерење брзине састоји се од: бројача – хронометра, исправљача који може бити уграђен у бројач, детектора, апарата за магнетисање пројектила и повезујућих каблова. Бројач служи за читавање времена и контролу рада.

Повезан је детекторима и извором за напајање струјом. Исправљач даје потребне напоне за напајање система – апаратуре. Детектори могу бити соленоидни рамови или фото – хелијски детектор. Соленоидни рамови су детектори који су најчешће у употреби због тога што се при датој дужини мерне базе добија највећа тачност, а рамови су у механичком погледу најпростији детектори. Могу бити са једним или више намотаја. Са једним намотајем су бољи за рад, јер не примају атмосферске и друге сметње (од радио – уређаја и електричних машина) и мање су подложни неисправностима.

Ако се соленоидни рамови употребљавају као детектори, онда се пројектил претходно мора намагнетисати. Проласком пројектила кроз рамове бројач – хронометар прима импулсе у тачки А и укључује се, а пријемом импулса у тачки В се искључује. Фото – хелијски детектори се користе за мерење почетних брзина при дневној светлости. Они могу бити са сталном или променљивом базом. Стална база је 2 или 1 метар, а променљива се бира између 4 и 20 метара. Дужа база даје већу тачност, али се користи за мање елевације. Слабост методе мерења времена док пројектил прође растојање између два детектора је у томе што се цела група метака (5 до 10) мора испалити само под једном елевацијом, која не може бити преко 15° , тако да није погодна за рад у трупи. [3]

3.3.2. Мерење брзине пројектила на бази Доплеровог ефекта електромагнетних таласа

Мерење брзине овом методом остварује се на основу следећег принципа: уређај емитује електромагнетне таласе одређене таласне дужине, који се рефлектују од пројектила. Разлика фреквенције ових таласа директно је пропорционална брзини пројектила. Постоје две врсте уређаја: преносни тип и превозни тип. Уређај преносног типа је масе око 10 *kg*. Мери брзину у једној или двома тачкама на почетном делу путање. Одстојање тачака од уста цеви оруђа може да се бира на 10, 20 или 30 метара.

Брзину мери на елевацијама од 0 до 85° . Подручје мерења брзине је од 50 до 1500 *m/s*. Максимална грешка мерења је око 0.2 % v_0 . Показивање брзине је директно у *m/s*. Напаја се из мреже 220 *V*, 50 *Hz* или из акумулатора од 12 или 24 *V*. Температурно подручје употребе је од -30 до $+50^\circ\text{C}$. Поставља се на лафет оруђа или на треношцу поред оруђа (оружја).

Може да мери брзине свих калибра од 4.5 *mm* па навише. Предност оваквог уређаја у односу на описане бројаче са детекторима је у томе што нема детектора, те може мерити брзину код свих елевација. Нарочито је погодан за трупу, приликом режимирања оруђа и пуњења (гађања за упоређивање). Има више произвођача ових уређаја (Француска, Данска, Норвешка и др.), са врло сличним карактеристикама. И ови се уређаји, као и сви остали, усавршавају, тако да већ данас постоје уређаји са рачунаром и меморијом, који могу да мере брзину пројектила у рафалу и своде је на брзину на устима цеви оруђа.

Уређај превозног типа мери брзину дуж путање, на даљини 10 000, 20 000, 40 000 калибара, а са специјалном антеном и филтрима и до 80 000 калибара. Мери брзину класичних и ракетних пројектила на активном и пасивном делу путање.

Овај уређај је врло сложен и користи се само на опитним полигонима. Број мерења у секунди може да се регулише: 10, 25, 50 или 100 мерења. Уређај је снабдевен рачунским системом са меморијом и даје брзину у бројном и графичком облику у функцији времена и пређеног пута. У новије време се све више користе радар за мерење почетне брзине пројектила. [3]

3.3.3. Светлосна баријера

Мерење почетне брзине пројектила може се мерити светлосном баријером, која носи ознаку „ **LS – 04** “ (слика 12а) и производ је компаније „ **Prototypa** “ из Чешке. Овом баријером се такође може мерити и брзина гађања. Мерење се врши помоћу оптичког скенирања пројектила, док пролази кроз баријеру. Поседује интегрисану јединицу за оцену података, која је опремљена **WLAN** комуникационим модулом и мрежом. Приказ добијених података се обавља на стандардном рачунару (desktop, notebook). Софтвер за оцену података је прилагођен Windows оперативном систему. Има могућност непосредног приказа резултата измерене брзине пројектила и брзине гађања. Што се тиче приказа информација, може обрађивати и приказати минималне, максималне и средње статистичке вредности. Такође, софтвер на рачунару, који је повезан са баријером врши графичку презентацију добијених података, у зависности од времена. Обрада података се може вршити и на бежичном екрану осетљивом на додир.

Мерење почетне брзине може се вршити у опсегу од 20 до 2000 m/s. Има могућност мерења теоријске и практичне брзине гађања. Теоријска износи око 20 000 метака у минути, док практична брзина гађања износи од 60 до 3000 метака у минути. Баријера се користи за све калибре од 4.5 до 20 mm. Димензије баријере су: ширина 1 m и висина 2 m.

Поред наведене баријере, постоји још светлосних баријера које производи компанија „ **Prototypa** “. Једна од њих модел „ **LS – 01L** “ (слика 12б). По карактеристикама је веома слична моделу „ **LS – 04** “, али се ипак разликује у неколико особина.

За израчунавање пада почетне брзине неопходно је користити две светлосне баријере. Опсег мерења почетне брзине износи од 50 до 2500 m/s. Опсег мерења брзине гађања износи од 60 до 3000 метака у минути. Може се користити за калибре од 2 до 12 mm. Димензије баријере су 150×500 mm. Основа баријере је 0.5 m. [10]



Слика 12а – „ **LS – 04** “ [10]



Слика 12б – „ **LS – 01L** “ [10]

3.3.4. Доплеров радарски систем „ DRS – 1 “

Доплеров радарски систем „ **DRS – 1** “ (слика 13) је такође производ компаније „ **Prototypa** “ из Чешке и користи се за мерење брзине пројектила. Може се користити за средства калибра од 20 до 100 mm где је опсег мерења брзине од 50 до 2000 m/s, а код мерења брзине за калибре мање од 20 mm постоји тачно одређена удаљеност, до које се врши мерење, као што је: 5.56 mm до 60 m, 7.62 mm до 100 m, 9 mm до 150 m, а 12.7 mm до 200 m. Тачност мерења је 0.2 %. Фреквенција мерења је 24.15 GHz. Сноп зрака који се емитује са радара је под углом од 12°. Радар поседује заштиту са ознаком „ **IP63** “. Ради на принципу Доплеровог ефекта, који представља појаву која се јавља ако се извор зрачења фреквенције f (циљ) премешта у односу на пријемник услед чега прима сигнал са фреквенцијом помереном у односу на фреквенцију циља. [10]



Слика 13 – Доплеров радарски систем „ DRS – 1 “ [10]

3.3.5. Мерач убрзања са инерционим давачима „ DFuze “

Балистичари већ дужи временски период користе сензорске пакете који садрже телеметријске предајнике или регистраторе података за мерење параметара кретања пројектила на целој путањи. Ова метода се показала као веома поуздана, због своје високе тачности. Истраживачка лабораторија америчке војске (АРЛ) и њен претходник, америчка лабораторија за балистичко истраживање (БЛР), развили су телеметријске системе за добијање података од сензора за мерење стања пројектила у лету. Први такав систем је користио оптичке детекторе на ротирајућим пројектилима.

Механички уређаји, инерцијални сензори и други типови претвараача су већ дуго били доступни, али до последње две деценије нису могли да се користе на пројектилима, који су лансирани из оруђа. Ово није било могуће, зато што хардвер тих уређаја није био дизајниран тако да испуњава неопходне захтеве, као што су: величина, тежина, трошкови развоја и израде и издржљивост током лансирања и кретања до циља.

Са револуцијом микроелектронике, отпочео је и развој мањих и способнијих компонената за индустријску и потрошачку употребу.

Уређај за аеробалистичку дијагностику „ **DFuze** “ (слика 14) је патентиран 2002. године од стране компаније „ **АРЛ** “. Представља технолошку модификацију **YAW** сонде, чији је облик дизајниран према НАТО стандарду и компатибилан са артиљеријским пројектилима. Садржи високо квалитетне минијатурне сензоре, микроелектронику, аквизицију података, напајање и телеметријске компоненте потребне за добијање и пренос жељених података добијених мерењем. Стандардни сензорски модел „ **DFuze** “ дизајниран 2003. године поседује три ортогонална транслациона мерача убрзања, три ортогонална ветроактивна магнетометра, три ортогонална сензора угаоне брзине, четири оптичка сензора, мрежу коју чине четири мерача убрзања и сензор температуре.



Слика 14 – „ *DFuze* “ [11]

Постоје разни дизајни овог уређаја, који се данас рутински израђују, да би се прилагодили свим врстама пројектила, монтирани на различитим местима и опремили различитим сензорима, како би задовољили одређене захтеве за различите врсте експеримената.

Генерално, подаци се снимају на месту тестирања и касније обрађују како би се добила временска историја стања пројектила. Вредности угаоне брзине се добијају **YAW** **сондом**. Транслациона убрзања на различитим деловима путање пројектила добијају се из више мерача убрзања. Вредности притисака на одређеним местима на телу пројектила добијају се од претварача притиска. Температура унутар тела добијена је од претварача температуре. [11]

3.3.6. Балистички хронограф

Балистички хронограф (слика 15) мери и приказује брзину пројектила који пролази кроз њега. Већина балистичких хронографа састоји се од улаза, процесора и дисплеја. Под улазом се подразумевају сензори који детектују пролаз пројектила и повезани су са процесором. Када се сензори активирају, процесор детектује промену и одређује који сензор се активирао. Процесор користи временску промену да би одредио време пролаза између сензора.

Када се сви сензори активирају процесор има довољно информација (време пролаза и познато растојање између сензора) да би одредио брзину пројектила који пролази кроз систем. Одређену брзину процесор сада може проследити дисплеју да би била видљива. Модерни хронографи најчешће се састоје од две сензорске површине које се називају **екранима**, а садрже оптичке сензоре који детектују пролазак пројектила. Испаљени пројектил пролази кроз оба екрана, а време потребно да пројектил прође кроз оба екрана мери се електронски. Тачност представља велики проблем, јер рад хронографа у многоме зависи од околних услова односно осветљења и сенке пројектила, што може представљати извор грешке при мерењу. [12]



Слика 15 – Балистички хронограф [12]

На слици 16 се може видети шема рада балистичког хронографа.



Слика 16 – Шема рада балистичког хронографа [12]

3.4. Мерење атмосферских услова

Савремени метеоролошки радар је незаменљиво средство у осматрању, мерењу и проучавању динамике ваздушних система, а посебно јаке конвективне облачности, која се широм наше планете перманентно изучава. Принцип рада заснива се на законитостима ширења електромагнетних таласа у простору и њихово одбијање о предмете који им се налазе на путу.

Примена радара у метеорологији се заснива на својству одбијања радио таласа од крупних водених капи и ледених честица, које се налазе у облаку или у зони са падавинама.

Само радарима се могу добро измерити метеоролошки процеси у малим запреминама атмосфере, односно савремене технике обраде сигнала омогућују довољно тачне информације о падавинама и струјањима. Метеоролошки радар саопштава две основне групе информација, а то су: информације о падавинама и информације о ваздушним струјањима. У метеорологији се данас најчешће примењују три основне врсте радара зависно од радног фреквенцијског подручја рада: **S – band** ($f = 2000 - 3000 \text{ MHz}$), **C – band** ($f = 5000 - 6000 \text{ MHz}$) и **X – band** ($f = 8000 - 12\,000 \text{ MHz}$) радар. Свако фреквенцијско подручје има своје погодности и недостатке у коришћењу.

Савремени радар имају уграђен доплер пријемник за мерење брзине и смера ветра унутар облака и турбуленцију у атмосфери до 120 km . Доплеров ефекат је појава која се јавља ако се извор зрачења фреквенције f (циљ) премешта у односу на пријемник услед чега прима сигнал са фреквенцијом помереном у односу на фреквенцију циља.

Данас савремени радар врше дигитализацију пријемног сигнала и имају показиваче у боји, али се користе и старији које је такође могуће модификовати на ову могућност. Рефлектовани сигнали од метеоролошких циљева у којима су присутне капљице воде или кристали леда и које прими антена преко склопке, шаљу се у пријемник са којег се одводе на три типа показивача, и то: **панорамски (PPI)**, **амплитудни (I)** и **показивач вертикалног развоја (RHI)**. Коришћење аутоматизованог радара за препознавање потенцијално градоносних облака је један од главних предуслова за успешну заштиту од града и истраживања.

Код мерења атмосферских услова за балистичка испитивања може се користити радар на бази Доплеровог ефекта „**B481 HPI**“ (слика 17). Може се користити за калибре веће од 3 mm . Мерење брзине врши се у опсегу од 20 до 2000 m/s . Прецизност мерења је мања од 0.1% . Може мерити следеће величине: брзину у односу на време, брзину у односу на растојање, убрзање у односу на време и убрзање у односу на растојање. Дизајниран је у неколико варијанти. Прва варијанта је модел са акустичким сензором, друга је са чворном кутијом и трећа садржи софтверски модул. [13]



Слика 17 – Доплеров радарски систем „**B481 HPI**“ [14]

4. Метода испитивања средстава стрељачког наоружања балистичким анализатором

Познавање утицаја околине од пресудног је значаја за процену дејства пројектила на циљ. За метак малог калибра, брзина током лета прецизно је мерена деценијама коришћењем светлосне баријере, кроз коју пролази пројектил. Извештај у коме се налазе подаци добијени мерењем, моделовањем и предвиђањем кретања метака малих калибара, пре него што ударе у циљ, добија се помоћу **ASAP** (Antiballistics Security and Protection) **s3 – Wall**, односно баријере са ознаком **s3**, коју је развила наведена компанија. **ASAP** користи напредни хардвер за снимање серије инфрацрвених дигиталних фотографија. Фотографије се обрађују помоћу алгорита у рачунару, да би се одредио број потребних пројектила за испитивање и прецизно пројектовала путања лета у тродимензионалном координатном систему, чији се почетак налази на устима цеви. Резултати анализе су прилично непосредни и могу се прегледати током тестирања.

Након судара са метом, балистички учинак пројектила у великој мери зависи од бројних фактора, од којих су: брзина удара, оријентација метка, конструкција метка, материјал циља, оријентација циља и геометрија путање кретања. Оријентација циља се лако контролише, јер је мета обично стационарна при тестирању муниције малих калибара. Брзина метка је мерена коришћењем преграде за детекцију, која поседује прецизност од 1 ft/s. Оријентација метка представља изазовнију информацију, која се мора прецизно одредити.

Постоје два важна аспекта утицаја оријентације који се морају разјаснити. Први је угао закривљености, који представља угаону разлику између нормалног вектора површине циља и вектора брзине долазног пројектила. За већину пројектила, перформансе пенетрације се побољшавају, како се угао нагиба приближава нули.

Током испитивања, угао нагиба се може контролисати оријентацијом површине циља, тако да буде нормална на трајекторију метка у тачки удара. Други аспект утицаја оријентације који треба разматрати је нападни угао. Нападни угао представља угаону разлику између вектора брзине пројектила и његове уздужне осе. Током лета, уздужна оса аксијално – симетричног статички – стабиланог пројектила ротира око вектора брзине, што представља тзв. епициклично кретање. Приликом процене дејства пројектила на циљ, нападни угао је од посебне важности, јер ниже вредности ове величине доводе до побољшања перформанси пенетрације.

Следећи део, који се налази у извештају, описује конвенционалне методе које се користе за мерење оријентације пројектила у лету. Овде је описана аутоматска метода за анализу помоћу фотограметрије, користећи оружје са малим калибром, и може се видети преглед поступака калибрације алгоритама за анализу слике на рачунару, поновна тродимензионална пројекција и процес мерења који се користи при епицикличном кретању.

Постоји неколико конвенционалних метода које се користе за мерење оријентације малог калибра у лету. Картице направљене од пластике, папира или картона постављају се на различите локације дуж трајекторије. Облик рупе настале након проласка пројектила кроз картицу упоређује се са шаблоном, како би се проценио угао оријентације на тој локацији. Након сваког завршеног теста, потребно је променити пробушене картице новим.

Такође, за испитивање се користе видео канали са кораком високе брзине. Да би се та брзина обезбедила, камере се постављају на локацију циља, ради снимања метка непосредно пре удара.

Након завршеног теста, резултате добијене у анализатору оператер обрађује у софтверу, тако што означава различите тачке на пројектилу. Како би се спречило било какво оштећење приликом опита, ови скупни системи морају бити заштићени дебелим стаклом, али мана ове заштите је смањење могућности добијања прецизнијих резултата и отежано подешавање опреме.

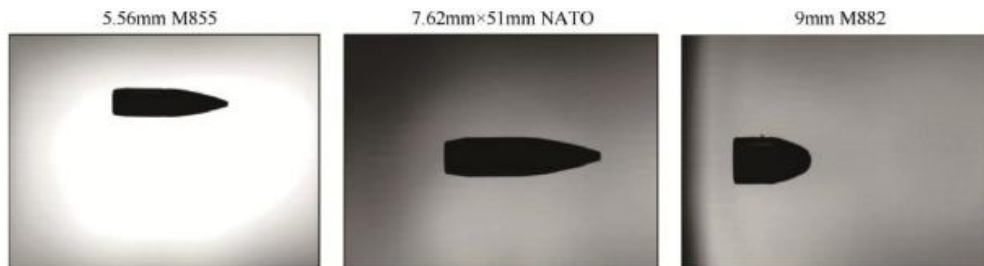
Још софистицираније методе мерења оријентације укључују снимање сенки и радиографију. Ове слике настају краткотрајним импулсима светлости или рендгенских зрака, које су сличне фотографијама. Сlike се прикупљају између снимака, претходно дигитализоване, а затим се обрађују у односу на шаблон како би се развила оријентација и историја положаја на свакој страници. Показало се да су тачности ових система у оквиру 0.14° на датој станици, што резултира тачностима између 0.24° и 0.41° . Неки опсег има још боље тачности приликом дејства на циљ, јер може имати и више од 30 освенчених станица. Време потребно за анализу може бити значајно, због прикупљања и дигитализације података.

Муниција великог калибра, која се користи за артиљеријска средства и минобацаче може имати инструменте за мерење оријентације са инерцијалним сензорима или детекцијом сунчеве светлости. Ови системи су јако скупни због своје тачности. Код великих калибара користи се метода аутоматског покретања видео снимака, односно видео анализа (**ALVA**). Користи се за обраду видео снимака пројектованих у видном пољу. Овај систем се ослања на рачунарске технике за анализирање видео записа са ортогоналних приказа лансирања. У сваком видео окружењу, облик пројектила се идентификује са тачношћу израженој у пикселима. Када се подаци комбинују, може се измерити иницијална историја оријентације пројектила. Показало се да је тачност система **ALVA** отприлике 0.1° .

ALVA је прво дизајниран да одреди прву максималну слику погодака артиљеријских пројектила, али је касније модификован тако да може одредити обртно кретање пројектила, аеродинамичке коефицијенте, мерење стабилности и трансформације облика путање лета. [15]

4.1. Аутоматска анализа фотограметрије

У компанији „**Picatinny Arsenal**“, инжењери су 2014. године купили софистицирани систем за мерење времена са опремом за осветљење, која представља производ компаније „**Sydor Technologies**“. Склопљена структура овог система која представља покретни систем, користи импулсе осветљења са екрана за мерење брзине, како би побудила уређаје за инфрацрвене зраке, док се метак креће. Током овог процеса системи камере снимају слике метка који је обојен сивом бојом у току лета. Пример добијених слика након опита може се видети на слици 18. Коришћени систем се може видети на слици 19. Резолуција, контраст и жижна даљина камера су више него довољни да прецизно измере оријентацију. [15]



Слика 18 – Примери добијених слика коришћењем ASAP система [15]



Слика 19 – Покретни систем компаније „Picatinny Arsenal“ [15]

4.2. Калибрација система

Сврха поступка калибрације је развијање критичне трансформације за сваки систем камера који уноси координате пиксела у координатни систем распона. Ово садржи оружје, циљ и разне екстремне тачке на покретном систему. Пружа се могућност одређивања положаја сваке камере. На сличан начин, на покретном систему се поставља граница за калибрацију и врши испитивање његових екстремних тачака.

Калибрациона табла садржи прозирну пластичну плочу која се појављује у видном пољу сваког фотоапарата. Плоча садрже матрицу тачака, која подсећа на тамне кругове када су инфрацрвени уређаји осветљени, што је приказано на слици 20.



Слика 20 – 2D приказ калибрационих плоча са матрицом тачака [15]

Пошто су позиције тачака познате у односу на испитиване екстремне тачке на калибрационој табли, положај сваке тачке је такође познат.

У овом тренутку се снимају калибрације за сваку камеру. Сlike се обрађују аутоматизованим алгоритмима у рачунару, који се ослања на „**Hough Transform**“ анализу (за кругове) како би пронашли тачке на сликама. Познавање локације сваке пронађене тачке и координата пиксела за сваки центар пронађених тачака омогућава израчунавање трансформације између координата слике (XY) и координата домета.

Овај процес аутоматски исправља неусаглашеност фотоапарата, неусаглашеност облика и неке врсте аберација објектива. Сферне аберације се могу исправити и ако су системи за фотоапарат прекалибрирани. Поступак постављања, мерења и калибрације камере траје само 30 минута. Када се заврши калибрација, табла за калибрацију се уклања и тестирање муниције може почети. [15]

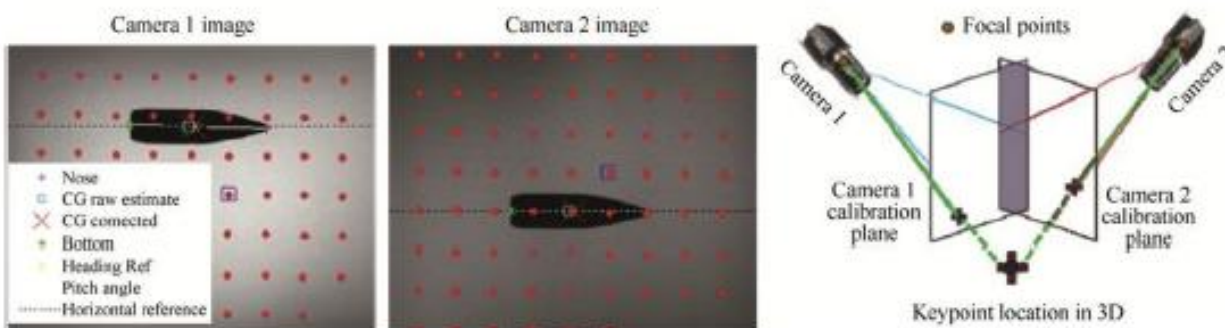
4.3. Анализа у рачунару

Када метак прође кроз портал, снимљене фотографије приказују силуету облика метка. Ове слике се анализирају помоћу прилагођене верзије **ALVA** методе. Овај приступ користи детекцију ивица и морфолошке операције за сегментирање пиксела, који одговарају облику метка. Дистрибуција пиксела се затим анализира, како би се одредиле локације основе и врха пројектила, као и посматрани угао нагиба. Једина модификација која је направљена за **ASAP** систем је пут којим се мери центар масе пројектила. Пошто се пројектил може видети на неколико степени ка или од камере, може се догодити да је значајна површина основе пројектила видљива на фотографији, што отежава проналажење тачног мерења за локацију основе дуж осе пројектила.

На срећу, ортогонално видно поље из додатне камере омогућава мерење тачке ка другој камери или даље од ње. Односи између угла закретања ка или од фотоапарата и локације центра масе су емпиријски одређени, користећи рачунарске дизајнерске моделе специфичне за тип пројектила који се испитује.

Кључне тачке се идентификују у свакој слици, а затим се конвертују у тродимензионални координатни систем, користећи јединствену трансформацију тог фотоапарата. Замишљени вектор се затим може извући из фокалне тачке фотоапарата на појединачну тачку, евентуално пролазећи кроз раван, где је била плоча за калибрацију.

Коначна реконструкција тродимензионалног положаја кључне тачке се израчунава као пресек најмањих квадрата два имагинарна вектора из две ортогоналне камере, што је приказано на слици 21. [15]



Слика 21 – Анализирани парови слика и 3D пројекција кључних тачака [15]

Последњи корак у процесу рачунарске анализе је одређивање оријентације пројектила у 3D координатном систему.

Положај било које кључне тачке дуж осе пројектила познат је само на удаљености од једног пиксела, што је у геометрији и камерама које се користе у **ASAP** – у приближно 0.045 mm. Опажени угао нагиба у 2D сликама се мери на основу поларне дистрибуције близу 100 000 пиксела. Због тога, уместо одузимања две кључне тачке у 3D координатном систему за одређивање оријентације користи се алгоритам који пројектује оријентацијски вектор центра масе на 2D слици у раван 3D слике. [15]

4.4. Епициклично кретање

Одређена локација центра масе и оријентација метка на свакој од четири станице се уклапају у линеаризовани аеробалистички модел пројектила. Да би се то постигло, вектор брзине пројектила се мора прво израчунати. Прорачун се постиже постављањем равне линије кроз четири познате локације центра масе у 3D координатном систему. Када је вектор брзине одређен, од сваког вектора оријентације се одузима како би се одредио релативни вектор правца кретања $\vec{P}$.

$$\begin{aligned}\alpha_{nagiba} &= tg^{-1} \left(\frac{\vec{P}_{DR}}{\vec{P}_{UP}} \right) \beta_{mereno} \\ &= tg^{-1} \left(\frac{\vec{P}_{DR}}{\vec{P}_{CR}} \right)\end{aligned}$$

Величине епицикличних осцилација могу се моделирати као пригушене или нерешене. У случају пригушених осцилација, изрази који описују очекивани епициклични корак (α) и правац (β) изведени су на следећи начин:

$$\alpha = K_F e^{-\lambda_F(x-x_0)} \cos(\phi_{F0} + \dot{\phi}_F(x-x_0)) + K_S e^{-\lambda_S(x-x_0)} \cos(\phi_{S0} + \dot{\phi}_S(x-x_0))$$

$$\beta = K_F e^{-\lambda_F(x-x_0)} \sin(\phi_{F0} + \dot{\phi}_F(x-x_0)) + K_S e^{-\lambda_S(x-x_0)} \sin(\phi_{S0} + \dot{\phi}_S(x-x_0))$$

где је:

$(x - x_0)$ – пређена путања

$\dot{\phi}_{F,S}$ – брза и спора фреквенција епицикличног кретања

$\lambda_{F,S}$ – већа и мања брзина пригушивања

Ове вредности се одређују помоћу аеродинамичких и инерцијалних карактеристика метка у контексту центрифугалне брзине пројектила. Такве вредности обично се генеришу помоћу софтвера за балистику, као што је „ **PRODAS** “. Брзина лета се користи за одређивање параметара кретања из табела података састављених пре испитивања. [15]

4.5. Мерење осетљивости и студије екстраполације

Крајња сврха **ASAP** анализе је да процени угао дејства пројектила на циљ. Тестирањем помоћу **Sydor** система обухваћени су различити циљеви, од којих се неки постављају на растојању већем од једног метра од покретног система, како би се спречило оштећење опреме. За процену осетљивости нападног угла спроведена је детаљна симулациона студија типа **Монте – Карло**. Да би се анализа извршила, генерисане су две номиналне епцикличне трајекторије, једна са релативно великим вредностима нападног угла (6°) и једна са релативно малим вредностима нападног угла (2°). Очекивани ниво и вредности на свакој станици одређени су на основу ових номиналних путања.

У сваком понављању симулације, постојале су мале грешке код правих вредности нагиба у распону од $\pm 0.08^\circ$ и у корацима од 0.01° . Укупно је испитано 40 320 комбинација могућих пертурбација. Најгори утицај нападног угла било које од ових комбинација резултирао је разликом између предвиђеног нападног угла и номиналног нападног угла од 0.135° .

Интересантно је да су резултати и за веће и за мање нападне углове на путањи пројектила веома слични, што указује на то да нападни угао није превише осетљив на величине на почетку кретања. Такође је израчунато стандардно одступање ових грешака на свакој дистанци од циља. Највећа стандардна девијација је утврђена на мање од 0.06° на циљу. [15]

4.6. Закључак

ASAP метода анализе је знатно бржа од било које друге методе тестирања. Такође, представља јефтинију опцију за тестирање муниције малог калибра, у односу на друге методе које захтевају обимно ручно подешавање и пост – процесирање.

Аутоматизована природа анализе омогућује процену резултата на лицу места у моментима опаљења. Као што је показано, прецизна техника калибрације и софистицирани алгоритми рачунарске анализе могу проценити вредност нападног угла на мети до тачности од 0.06° .

Истражује се и могућност снимања више слика пројектила из сваке камере. **ASAP** алгоритми се тренутно ослањају на претходно успостављену аеродинамичку и инерцијалну карактеризацију муниције.

Међутим, повећање броја мерних станица ће на крају омогућити потпуну аеродинамичку карактеризацију нове експерименталне муниције, која се може обавити на лицу места, на прецизан и потпуно аутоматизован начин. [15]

5. Метода испитивања артиљеријског наоружања савременим техникама

Аеробалистичка карактеризација је пресудан корак у дизајнирању и развоју артиљеријских пројектила. У целини или делимично, ове карактеризације се често постижу током експерименталног тестирања лета пројектила, при чему је главни задатак да се током лета одреде вредности аеродинамичких коефицијената који се појављују у диференцијалним једначинама, које описују то кретање.

Када се измере све величине везане за оријентацију и брзину пројектила током лета и додају сви амбијентални услови, може се математичким путем добити параметри потребни за формирање модела са 6 степени слободе кретања пројектила. Верност ових модела је директно повезана са квалитетом претходног мерења. Ови модели служе као основа за оптимизацију перформанси оружја и користе се такође за формирање таблица гађања, које ће војници користити како би прецизно усмерили своје оруђе/оружје.

Постоји неколико начина на које инжењери, који се баве балистиком прикупљају податке о перформансама лета пројектила. Ове методе се деле на оне где се пројектил посматра помоћу одређене опреме, која се налази на земљи и оне где се директно на пројектил стављају уређаји за посматрање његовог кретања. Најранији експеримент у коме се вршило праћење пројектила у лету извршен је 1948. године. Током експеримента, пројектил је био опремљен радио – предајником. Варијације јачине сигнала, кога је станица добијала од пројектила коришћене су за приближно оцењивање његовог понашања. Аеробалистичка дијагностика (**DFuze**) патентирана је од стране америчке војне истраживачке лабораторије 2002. године и укључује више транслационих и угаоних сензора покрета и телеметрије за континуално прикупљање и емитовање података. Ови подаци се снимају и процесирају.

Овај део дипломског рада описује савремену методу за балистичка мерења, коришћењем више спољних видео камера, које је развио „ **Центар за истраживање и развој наоружања** “, а у том пројекту је учествовала и поморска постдипломска школа. Када се подаци о видео запису стекну, због аутоматизованости методе, може се у року од неколико минута обезбедити подаци добијени гађањем.

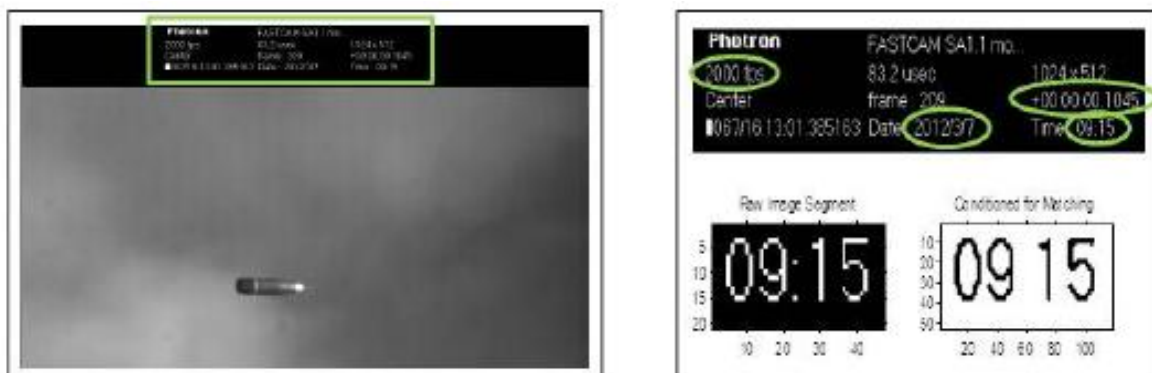
Због овога, добијени подаци о пројектилу не морају се користити само за аеродинамичку карактеризацију, већ се могу употребити и као помоћ за још боље усаглашавање опреме пре гађања, како би се испитивање извршило на најбољи могући начин. [16]

5.1. Експериментални метод заснован на испитивању кретања пројектила помоћу видео записа обрађених у рачунару

Код многих експеримената који се врше ради испитивања артиљеријских пројектила, софистицирани оптички инструменти, као што су „ **Trajectory Tracker** “ или „ **Flight Follower** “ користе се за снимање видео записа пројектила на целом току путање. Ови системи користе ротирајућа огледала и ултра брзе камере. Експериментални метод и систем за одређивање правца кретања пројектила патентиран је 2002. године. Аутоматски видео метод почиње сакупљањем важних информација из заглавља, који је део сваког видео оквира.

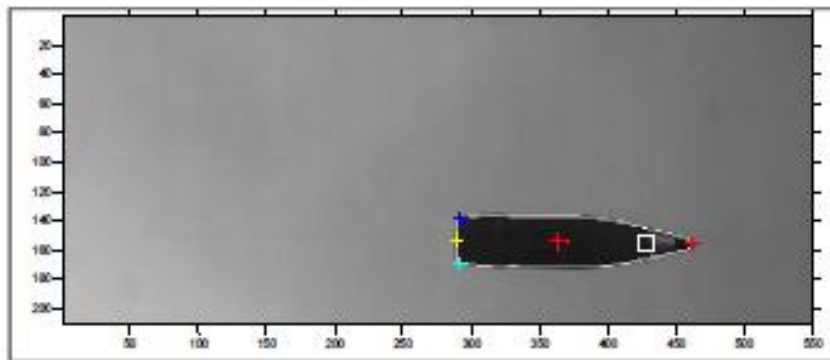
У заглављу се налази опција за подешавање мерног опсега, у коме ће се вршити тестирање, а поред тога, налази се и мерач времена у коме се усаглашавају подаци добијени од независних система у различитом временском периоду.

На слици 22 се може видети пример видео оквира и неке од информација које су извучене помоћу софтвера. [16]



Слика 22 – Пример видео оквира и приказ дела добијених информација [16]

Користећи секвенцу морфолошких операција и алгоритама у рачунарима, облик пројектила је идентификован у сваком оквиру видео записа, што се може видети на слици 23. Са тачношћу од 1 подпиксела утврђени су централни тренутак и положај врха пројектила, означени великим и малим црвеним знаком „+“. Из релативног положаја ове две тачке, мери се видљиви угао нагиба пројектила у оквиру. Након тога, врши се корекција историје углова нагиба, да би се узело у обзир свако одступање између угла вектора брзине пројектила и хоризонталне осе у видео оквиру.

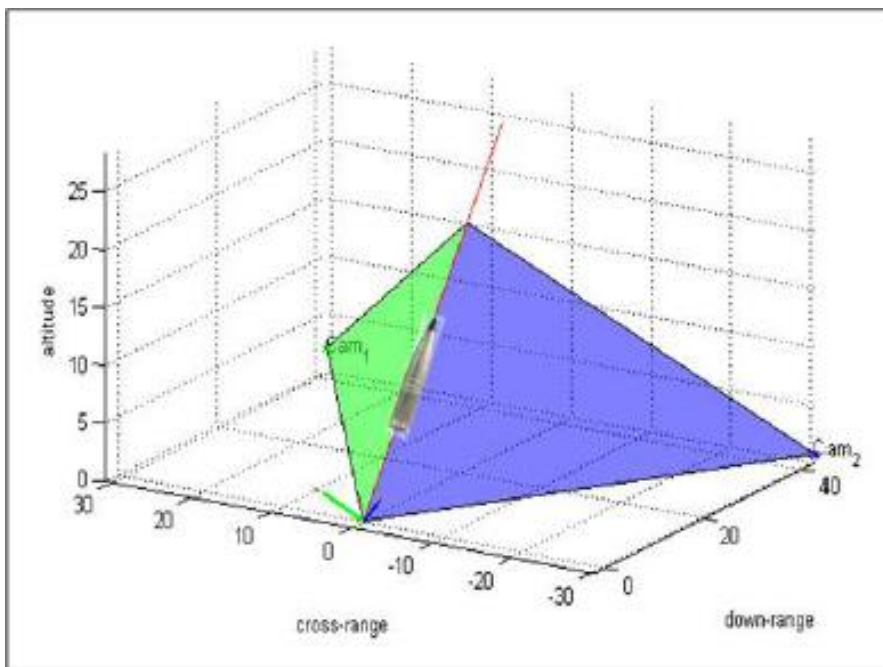


Слика 23 – Сегментација облика пројектила и одређивање кључних тачака [16]

Када два различита видео система пружају истовремену слику из различитих перспектива, историја оријентације пројектила током почетне фазе слободног лета може се проценити у било ком жељеном координатном систему. Познавањем локација оруђа и камере, и углова под којима је усмерена камера за сваки оквир, видео подаци се могу мапирати у координатни систем фиксиран на устима цеви оруђа, у којем се најчешће описују трајекторије. Ово се може видети на слици 24.

Пројектилу се на тај начин процењују пређена локација и надморска висина, а у заглављу оквира добијају се (елевација - $\vec{P}_\theta$ и азимут - $\vec{P}_\psi$. Компоненте нападног угла ($\vec{P}_\alpha$) и угла пропињања ($\vec{P}_\beta$) се рачунају на следећи начин:

$$(\vec{P}_\alpha, \vec{P}_\beta) = \left((\vec{V}_\theta - \vec{P}_\theta), \left[\frac{\vec{V}_\psi - \vec{P}_\psi}{\cos \vec{P}_\theta} \right] \right).$$



Слика 24 – Мапирање видео података на фиксираним координатном систему [16]

5.2. Оцена резултата заснованих на методи видео записа

У почетку је коришћен аутоматизован видео метод, употребом синтетичких видео снимака лансирања пројектила, који се обрађују у рачунарском софтверу. Ови видео снимци су дизајнирани тако да одговарају предвиђеним тестирањем видео записима у резолуцији, трајању сигнала и интензитету амбијенталне светлости. Када су синтетички видео снимци анализирани, измерени угао нагиба је био тачан, уз занемарљива одступања за сваки оквир. Ови резултати су потврдили поступак добијања облика пројектила, математичке формулације и операције мапирања видео методом.

Међутим, приликом коришћења аутоматизованог видео метода са стварним видео снимком за тестирање, постоје потенцијални извори грешке који утичу на квалитет видео снимка, што није био случај са синтетичким видео записима. Поједине аберације сочива могу искривити слику у сваком снимљеном оквиру. Непосредна бука током процеса снимања видео записа и потенцијално дрмање камере могу деградирати квалитет слике.

У октобру 2012. године спроведен је експеримент у коме су употребљени пројектили калибра 155 mm. Коришћено је десет пројектила овог калибра, а сврха експеримента била је аеродинамичка карактеризација лета пројектила. Сви коришћени пројектили су имали на себи телеметријске уређаје.

Што се тиче топа, он је обавезно имао на врху цеви гасну кочницу, да би било обезбеђено одређивање свих аеродинамичких коефицијената и деривата. Већи углови елевације пружили су бољу могућност за упоређивање резултата видео методом и **POINTER** обрадом. Опрема за експеримент се може видети на слици 25. [16]

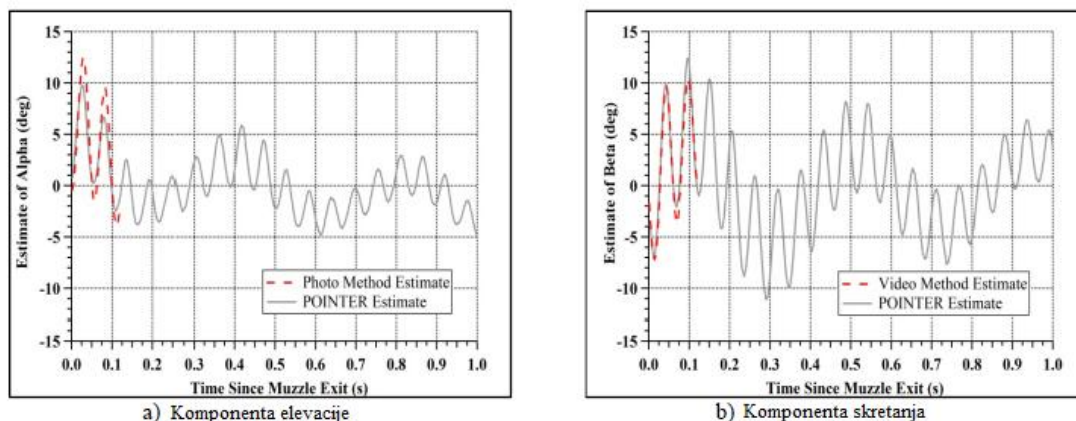


Слика 25 – Опрема која се користи током експеримента [16]

Од 10 пројектила, 6 је поседовало **DFuze**, који укључују оптичке и магнетне сензоре, чији су излазни подаци потребни за **POINTER** обраду. За два пројектила релативна оријентација вектора Сунца, вектора Земље и вектора брзине пројектила није била погодна за постизање тачних мерења оријентације пројектила преко **POINTER** обраде. Истовремено, било је проблема са прикупљањем видео података за неке од летова. У два случаја, огледало се није померило правилном брзином, што је довело до тога да метак изађе из видљивог простора. Такође, у једном од циклуса, Сунце је било директно у видном пољу једне од камера, што је довело до тога да се велики део лета не сними. У два циклуса, упркос коришћењу половичне гасне кочнице, кретање пројектила није било довољно за валидно мерење. Сходно томе, само два циклуса мерења су дала квалитетне резултате за поређење.

У будуће, када треба вршити експеримент, неопходно је да се изабере добра локација за смештање оруђа, добри временски услови и добро подешавање елемената гађања. Слика 26 даје историју лета пројектила обрађену преко **POINTER** обраде и видео методом за први експериментални круг. Излаз магнетних сензора обично даје процене угаоне брзине од неколико десетина Hz, а обрада оптичких сензора даје угаоне процене брзине коју даје тренутна брзина кретања пројектила и број оптичких сензора око пројектила.

У овом случају, ротација пројектила је приближно 226 Hz, а на самом пројектилу налазила су се четири оптичка сензора. **POINTER** је вршио обраду брзином од 904 процена по секунди. Фреквенција процена видео методе је стопа фрејмова по секунди. За овај експеримент та стопа је износила 2000 фрејмова по секунди. [16]



Слика 26 – Историја промене компоненте нападног угла [16]

На овим сликама могу се видети процене α и β углова за први експериментални пројектил током прве секунде лета. Време изласка из цеви процењено је коришћењем инфрацрвеног сензора у радару за праћење. Процене видео методом су ограничене на интервал покривености камером, који се завршио након приближно 120 ms времена летења, док **POINTER** обрада може пружити процене вредности на читавој путањи.

5.3. Предности и недостаци коришћених метода

Значајно ограничење методе аутоматске видео анализе јесте да постоји компромис између количине снимљеног лета пројектила и резолуције у видео оквирима из сваке камере. У конфигурацији која је тестирана, системи камере су постављени на 40 m од азимуталне линије ватре. Ово је омогућило снимање 2 циклуса опаћења, али није прикупљено довољно података да би се карактерисао комплетан циклус прецесије. Кратка дужина снимљеног лета је погодна за мерење података на почетку путање, али су за аеробалистичку карактеризацију потребни знатно дужи видео записи.

Ако су камере постављене на 133 m од линије ватре, прецизно мерење ће бити омогућено. Мана повећаног растојања је та, што ће код камера које се користе за експеримент број пиксела који покривају пројектил бити сведен на тачку, што отежава сегментацију и мерење угла пропињања. Овај недостатак би се могао решити повећањем резолуције видео снимка са повећањем растојања, или помоћу више камера са истом резолуцијом које су постављене на одређеном размаку једна од друге дуж путање пројектила. Ово ће омогућити мерење додатних аеродинамичких коефицијената.

Како су видео и **POINTER** методе математички сличне, оне су подложне сличним геометријским ограничењима која утичу на прецизност њихових углова. За методу видео анализе идеално је имати два ортогонална погледа на пројектил, чији је вектор брзине колинеаран са пресеком две равни слике. За пројектиле током лета вектор брзине се очигледно мења, како се пројектил креће по својој путањи.

Такође се мења и нападни угао. Мана видео методе је та што, ако је камера усмерена према Сунцу долази до нарушавања квалитета слике. Због тога се доста радило на побољшању методе видео анализе. Почео се примењивати алгоритам аутоматске калибрације објектива, како би се супротставио ефектима аберације.

Такође, развијен је аутоматизовани алгоритам за израчунавање стопе ротације мерењем периода између узастопних видљивости експерименталних пројектила. Ова мерења се могу извршити коришћењем било које ознаке на површини пројектила, која се може уочити на камери. За експерименте у којима се мере углови користи се нова метода, коју су развиле и патентирале компаније „ **ARDEC** и **NPS** “. У овом поступку, слике добијене из више камера се обрађују помоћу компјутеризованих алгоритама, како би се добила историја углова. Мерења направљена помоћу овог система могу се упоређивати са мерењима добијеним помоћу **DFuze/POINTER** система, зато што се добијају идентични резултати. Помоћу ове видео методе подаци се могу добити након пар минута од добијања видео записа. Таква могућност мерења у реалном времену би могла значајно утицати на економичност експеримента на терену. Примарно ограничење ове методе је мала количина покривености током лета пројектила, која се постиже употребом две камере, али уз већу покривеност је могуће добити додатне аеробалистичке коефицијенте. [16]

6. Анализа резултата испитивања

На почетку овог рада обрађена је теорија о спољнобалистичким испитивањима. Ту су приказани циљ, класификација и главне намене ових испитивања у које спадају: мерење параметара кретања пројектила од напуштања уста цеви, до дејства на циљ, прикупљање и обрада података, помоћу којих се касније састављају таблице гађања. Да би се добили жељени подаци, неопходно је да буду испуњени одређени услови у погледу места за постављање инструмената, муниције, ватреног средства, опреме за испитивање и временских услова. По питању места за постављање инструмената, постоје правила која налажу да она морају омогућавати несметано осматрање и да су довољно удаљена од места пада пројектила.

Што се тиче цеви ватрених средстава, бирају се по посебном упутству, и не могу се користити за друге намене. Балистичка цев се бира међу новим или мало истрошеним цевима и мора да задовољава захтеве и ПКП. Свака цев мора поседовати књижицу у коју се уносе подаци мерени пре и после гађања. Муницију треба сортирати тако да се за балистичко испитивање употребе пројектили једног знака масе, који се међусобно разликују само за један знак масе. Темпирање муниције се врши на пласманима, у специјално уређеним просторијама. За време темпирања муниција остаје у сандуцима, подигнута од пода за најмање 0.5 m, или се вади из сандука на дрвене сталаже. Мора бити удаљена од топлотних извора и прозора за више од 0.5 m.

Сви апарати за мерење и контролу морају се повремено баждарити, тј. мора им се проверити тачност помоћу државног еталон апарата. Ово баждање мора да буде уведено у књижицу дотичног мерног апарата и оверено од лица које га баждари. Мерење може да се врши тек када се руковалац апарата извести да је апарат проверен. Контрола апарата је обавезна сваког дана пре почетка мерења, а треба да се врши и у току гађања, када из групе метака одскочи макар један метак. При мерењу одређених величина мерни уређаји морају да обезбеде одређену тачност мерења (σ).

Спољнобалистичко гађање се мора вршити кад нема падавина и наглог мењања струја атмосфере, ветра који прелази вредност прописану стандардима и када је спољна температура ваздуха мања од -10°C .

Након дефинисања потребних услова за реализацију испитивања, речено је нешто о начинима његовог извођења. Постоје четири начина за реализацију, а то су: гађање на дomet, гађање на вертикалну мету, гађање са темпирном муницијом и специјална испитивања.

Посета војном полигону „**Никинци**“ омогућила ми је да се још боље упознам са оним што сам научио и прочитао о спољнобалистичким испитивањима. Могао сам видети реалну слику ватреног положаја средства, на који начин се врши припрема коришћене апаратуре и муниције, какво је понашање самих учесника у испитивању и слично. Коришћена је опрема од познатих светских произвођача.

Циљ мог задатка био је да темељно опишем опрему која се користи код испитивања артиљеријског и пешадијског наоружања. Приказао сам опрему за мерење притиска, брзине, убрзања, угаоне брзине и атмосферских услова. Схватио сам да се за мерење брзине најчешће користе светлосна баријера код пешадијског наоружања и Доплеров радарски систем код артиљеријских средстава. За мерење притиска доминирају производи фабрике „**Kistler**“. После описа опреме, један од главних задатака мог дипломског рада био је опис методе испитивања средстава стрељачког наоружања балистичким анализатором.

Овде сам објаснио конвенционалне метода за испитивање оријентације пројектила током лета. Испитивање малокалибарских средстава реализује се методом фотограметрије, док се испитивање већих калибара стрељачког наоружања врши „**ALVA**“ методом. Код методе фотограметрије постоје системи камера, који снимају пројектил током лета и обојеног у сиво га приказују на екрану. Резолуција, контраст и жижна даљина омогућавају камерама да врло прецизно снимају пројектил. Добијене фотографије се касније прикупљају у балистичком анализатору и обрађују у рачунару. Метода „**ALVA**“ ради на принципу аутоматског покретања видео снимака. Овај систем се ослања на рачунарске технике за анализирање видео записа са ортогоналних приказа лансирања. У сваком видео окружењу, облик пројектила се идентификује са тачношћу израженој у пикселима. Када се подаци комбинују, може се измерити иницијална историја оријентације пројектила. Показало се да је тачност система **ALVA** отприлике 0.1° .

Још један од главних задатака био је да опишем методе испитивања артиљеријског наоружања савременим техникама. Код ове врсте испитивања схватио сам да је потребно уградити сензоре директно на пројектил. Један од таквих сензора је „**DFuze**“ дизајниран 2003. године који поседује три ортогонална транслациона мерача убрзања, три ортогонална ветроактивна магнетометра, три ортогонална сензора угаоне брзине, четири оптичка сензора, мрежу коју чине четири мерача убрзања и сензор температуре. Генерално, подаци се снимају на месту тестирања и касније обрађују како би се добила временска историја стања пројектила

Претходно наведена опрема се може користити за испитивање муниције и наоружања на разним војним полигонима, балистичким тунелима у фабрикама за производњу, опитним центрима, институтима и другим сличним институцијама. За испитивање муниције код стрељачког наоружања користи се следећа опрема: балистички хронограф, веома брза камера (на пример **Fps 1000 HD**), балистички анализатор, разни сензори за мерење брзине и убрзања (светлосна баријера, Доплеров радар), опрема за мерење пада почетне брзине, опрема за мерење промене нападног угла, пиезоелектрични сензори за мерење притиска итд. За испитивање кретања пројектила код артиљеријског наоружања, поред брзих камера, постоје сензори који се монтирају директно на пројектил, као што је на пример **DFuze**. Ова испитивања захтевају веома прецизно мерење параметара атмосфере (интензитет ветра, температура, ваздушни притисак, влажност ваздуха) и предвиђање временских промена, зато што постоје тачно прописани услови под којима се испитивања врше.

Правилно постављени и добро усаглашени сви елементи опреме омогућавају правилно и прецизно мерење. Добијени резултати показују понашање пројектила у току лета и дејство на циљу. Самим тим, ако дође до одступања неког податка од дозвољене вредности, то може бити знак инжењерима да пројектил није адекватно конструисан, те се након тога врше преправке. Такође, не мора бити проблем само у муницији, већ и ватрено средство може имати неку ману. Неправилност рада ватреног средства се открива упоређивањем добијених вредности са вредностима у табели гађања, за одређене елементе гађања.

Спољнобалистичка испитивања могу доста допринети развоју и усавршавању муниције и наоружања. При испитивању проверавају се: тачност и прецизност, квалитет израде, правилан рад делова средства, дејство на циљу, утицај разних сила на пројектил током лета, унутрашња напрезања делова средства итд. Поред свега овога, спољнобалистичка испитивања омогућавају састављање таблица гађања.

Након завршетка експеримената врши се исправљање недостатака или модификација муниције и наоружања. Наоружање и муниција у потпуности морају испуњавати одређене стандарде. Неки од комерцијалних стандарда су: **EPVAT**, **SAAMI**, **C.I.P**, **ISO** и **STANAG**. На нашим просторима, некада је на употреби био стандард **SNO**, док се у данашњици користи стандард **SORS**.

Стандард **EPVAT** представља НАТО стандард за контролу сигурности и квалитета муниције. **EPVAT** представља скраћеницу од „ **Electronic Pressure Velocity and Action Time** “. Време деловања представља време од почетка сагоревања барута до изласка пројектила кроз уста цеви. Тестирање се врши помоћу најсавременијих инструмената и рачунара. За разлику од европске **C.I.P.** процедуре, која се односи само на сигурност корисника, НАТО процедуре за испитивање муниције обухватају функционално тестирање квалитета у односу на намеравану употребу. [17]

Процедура **C.I.P.** је скраћеница од „ **Commission Internationale Permanente** “ и користи се за проверу малокалибарског оружја. Пре испитивања врши се провера димензија и толеранција чауре. Обавезно се врши и визуелни преглед цеви. Ако муниција и оружје испуњавају ове услове, прелази се на испаливање метака из оружја. При овом процесу, муниција садржи већу количину барутног пуњења, тако да створи 25 % већи притисак од максималног притиска прописаног стандардом **C.I.P.**

За пиштоље и револвере, барутно пуњење треба да произведе 30 % већи притисак, од максималног притиска прописаног стандардом **C.I.P.** Овај стандард такође прописује процедуре којима ће се вршити припрема муниције и ватреног средства, а затим и испитивање. [18]

SAAMI представља скраћеницу од „ **The Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute** “. То је удружење америчких произвођача ватреног оружја и муниције, које прописује различите индустријске стандарде. Извршена је јасна подела на стандарде за муницију и оне за ватрена средства. Институција **SAAMI** послује заједно са европском организацијом **C.I.P.** како би развили међународно признате стандарде.

Ова организација такође прописује и нека правила о коришћењу ватерних средстава, од којих су: врх цеви увек мора бити усмерен у правом смеру, ватрено оружје увек мора бити празно када се не користи, никада се не треба ослањати на сигурносне механизме у средству, користити само исправну муницију, никако не треба самостално мењати и модификовати ватрено оружје, неопходно је увек носити заштитне наочаре и антифоне на ушима током испитивања, пре коришћења средства добро се упознати са његовим карактеристикама итд. [19]

ISO је скраћеница од „ **Internacional Organization for Standardization** “ односно у преводу значи „ **Међународна организација за стандардизацију** “ са седиштем у Женеви, која се бави издавањем индустријских и комерцијалних стандарда. До сада је издато преко 20 000 стандарда, који покривају све од индустријских производа и технологије до сигурности хране, пољопривреде и здравствене заштите. Стандарди помажу предузећима да повећају продуктивност смањујући грешке и трошење материјала. **ISO 9000** је међународни стандард који садржи захтеве за систем управљања квалитетом у пословној организацији, које организација мора испунити да би ускладила своје пословање са међународно признатим нормама. [20]

Систем управљања квалитетом према **ISO 9001 : 2008** стандарду, заснива се на осам принципа управљања. Ови принципи се могу користити од стране менаџмента, као оквир за усмеравање организације у правцу побољшања перформанси. Принципи су изведени из колективног искуства и знања стручњака широм света који учествују у раду.

ISO 9001 је погодан за све организације које желе да побољшају начин управљања, без обзира на величину или делатност организације. Сврха овог стандарда је повећање ефикасности организације кроз примену процесног приступа. Његова предност је обезбеђење веза између појединачних процеса, сектора и њихове интеракције.

У НАТО – у Споразум о стандардизацији (**STANAG**) „ **Standardization Agreement** “ дефинише процесе, процедуре, услове и услове за заједничке војне или техничке поступке или опрему између земаља чланица алијансе. Свака НАТО држава ректификује **STANAG** и спроводи у својој војсци. Сврха овога је пружање заједничких оперативних и административних процедура и логистике, тако да се земље могу међусобно снабдевати. **STANAG** се објављује на енглеском и француском језику, који представљају два службена језика НАТО – а. [21]

На нашим просторима један од стандарда који се користи је **SORS**. При пројектовању и исказивању потреба за модернизацијом, мора се узети у обзир жељени ниво оперативне способности у погледу баланса између оперативне способности и укупних трошкова животног века борбених средстава, којима овакав поступак омогућава продужење ресурса за дефинисани временски експлоатациони период.

SORS 9000/2005 дефинише захтеве за обезбеђење расположивости, погодности, поузданости и прилагођености за имплементацију у постојећи систем интегрисаног логистичког обезбеђења. Поред тога **SORS** прописује и разрађује активности којима се на најефикаснији и најекономичнији начин долази до жељених резултата. Стандарди обухватају све фазе реализације, почевши од процеса планирања, програмирања, пројектовања, развоја, производње, уградње, употребе, праћења и одржавања па до повлачења из употребе након истека употребне вредности средстава НВО. **SORS** су применљиви за средства која су резултат сопственог развоја и истраживања, кооперативног развоја, набавке пројекта на тржишту, освајања по лиценци, набавке готовог производа и комбинованог модела опремања. [22]

У војним опитним и производним центрима Републике Србије налази се велики број разноврсне опреме за спољнобалистичка испитивања која је произведена у њима или купљена од страних произвођача. Технички опитни центар (**ТОЦ**) за мерење почетне брзине пројектила пешадијског наоружања користи светлосне баријере чешке фабрике „ **Prototypa** “. За мерење брзине артиљеријског пројектила, на употреби је балистички радар „ **BS 750** “ компаније „ **Weibel** “. „ **Yugoimport S.D.P.R** “ производи сензоре за испитивање метеоролошких услова. Један од њих је метео – сензор који носи ознаку „ **MS – 3/D** “ (слика 27). Овај уређај може мерити брзину ветра са тачношћу $\pm 10 \%$, правац ветра са тачношћу $\pm 5^\circ$, температуру ваздуха у опсегу од -10°C до $+85^\circ\text{C}$ са тачношћу $\pm 2^\circ\text{C}$, апсолутни атмосферски притисак у опсегу од 750 до 1100 mBar са тачношћу $\pm 1.5 \text{ mBar}$ и релативну влажност ваздуха са тачношћу $\pm 10 - 90 \%$. Улазни напон уређаја је 18 – 40 VDC, а потребне карактеристике за рад су: 24 VDC, 200 – 800 mA и 5 – 19 V. Радна температура је од -30°C до $+60^\circ\text{C}$. Димензије уређаја су: висина 180 mm, висина врха 73 mm, база 50×50 mm и тежина 505 g. [23]



Слика 27 – Метео – сензор „ MS – 3/D “ [23]

Још један од производа фабрике „ **Yugoimport S.D.P.R** “ је радарски систем за мерење брзине пројектила „ **MVRS** “ (слика 28), који је првенствено намењен за прецизно мерење брзине пројектила код самоходних топ – хаубица **155 mm НОРА Б52** и **122 mm СОКО**, али се може користити и код других самоходних или вучених средстава.

Брзина пројектила се израчунава применом обраде дигиталних сигнала. Мери се у опсегу од 150 до 1500 m/s. У случају падавина, наведени опсег је смањен за 25 %. Има могућност мерења са каденцом од максимално 20 пројектила у минути, а подаци се директно приказују на конзоли. Уређај поседује могућност меморисања података за 1000 различитих врста пројектила. Може радити у свим метеоролошким условима, дању и ноћу. Димензије и облик му омогућавају интеграцију на било које оружје или борбено возило, а такође поседује статив за самостално коришћење. [23]



Слика 28 – Радарски систем „ MVRS “ [24]

У фабрици „Застава оружје“ се за мерење брзине и притиска користи уређај под називом балистички анализатор модел „**BA04S2**“ (слика 29). Циљни резултати система су: максимална вредност притиска и график, максимална вредност подпритиска и график, вредности брзине за сваку комбинацију (од уста цеви, две оптичке капије и мета), сви временски интервали, циљна брзина и енергија метка. Стандардни „**BA04S2**“ је обично повезан тако да мерење започиње након што се прими сигнал из коморе под притиском. Оптичка капија **V10** се смешта на растојању од 10 m између уста цеви и центра оптичке капије. Капија са виртуелном метом која мери брзину **V25** и прецизност **T25** смешта се на удаљеност од 25 m од уста цеви. Овај тип балистичког анализатора не даје директно било каква нумеричка читавања, већ прво мери реалну зависност свих типова сигнала.

У зависности од метода који се формирају у програму **BA Control**, овај уређај, користећи дате зависности израчунава потребна нумеричка читавања за било коју комбинацију примљених података. Добијени излазни подаци могу бити директно намењени за употребљену ВА конекцију: график притиска p_c , график притиска p_p , график убрзања, график брзине на баријери и слика погодака.

У зависности од креираног **BA Control** израчунавају се ови нумерички резултати: вредност и време максималног притиска p_c , вредност и време максималног притиска p_p , брзина **V10**, брзина **T25** и координате и статистичка процена сваког хица (виртуелна мета).



Слика 29 – Балистички анализатор „BA04S2“ [3]

У фабрици „Застава оружје“ се користи светлосна баријера „**WTS03**“ (слика 30). Она представља баријеру са виртуелном метом која ради по принципу конверзије позиције пројектила у временски интервал, што се може мерити помоћу претходно наведеног балистичког анализатора. Програм конвертује временски интервал у XY координате, филтрира буку, приказује резултате до мете и израчунава статистичке податке. Баријера са виртуелном метом садржи два вертикална отвора, који мере временски интервал само у зависности од брзине пројектила и независно од позиције пројектила.

Два непаралелна отвора (један хоризонталан и један вертикалан) су смештена између вертикалних отвора. Ови непаралелни отвори генеришу импулсе који су зависни од позиције пројектила. [3]



Слика 30 – *Светлосна баријера са вертикалном метом „ WTS03 “ [3]*

7. Закључак

Спољнобалистичка испитивања представљају сва испитивања ватрених средстава и муниције при којима се врше мерења елемената путање невођеног пројектила или параметара на путањи. Такође, омогућавају састављање таблица гађања, са којима се касније упоређују добијени подаци. Након извршених испитивања, можемо видети понашање пројектила на целој путањи лета и упоредити са таблицом гађања. Усавршене мерне методе и средства смањила су потребан број пројектила за испитивање, а тиме и трошкове.

Испитивања се врше на полигонима, који представљају специјално уређене терене, намењене за њихову реализацију. За реализацију испитивања се користе полигонска оруђа, која морају да испуњавају услове, који се постављају за поједине врсте опита. Да би се извршило испитивање, неопходно је да муниција, ватрено средство и мерна опрема буду припремљени на прописан начин. Такође, испитивање се извршава под тачно прописаним атмосферским условима, како би се добили најпрецизнији резултати и спречило било какво оштећење опреме.

Спољнобалистичка испитивања се врше следећим поступцима: гађањем на домет, гађањем на вертикалну мету, гађањем са темпирном муницијом и гађањем са посебно припремљеним мерењем. Опрема за испитивање је веома разноврсна и њом се могу мерити: притисак, температура, почетна брзина, убрзање, угаона брзина, промена нападаног угла, атмосферски услови, време кретања пројектила, напрезања у пројектилу и друге величине. Мерење притиска се најчешће обавља пиезоелектричном методом, а мерење брзине пројектила врши се најчешће радарима на бази Доплеровог ефекта. За мерење брзине стрељачке муниције користе се разне светлосне баријере и балистички хронографи. Постоје и сензори који се монтирају директно на пројектил, као што су: **YAW сонда** и **DFuze**. Да би се снимио лет пројектила од напуштања уста цеви до удара у циљ, неопходно је имати веома брзе камере.

При испитивању стрељачке муниције, за прикупљање података са свих радара и сензора, користи се балистички анализатор, који је директно повезан са рачунаром. У рачунару постоји софтвер који обрађује добијене податке и приказује их графички или табеларно.

У овом раду јер приказано мерење притиска за калибар 12.7 mm пиезоелектричном методом, помоћу два сензора притиска: **Kistler 6215** и **PCB 117B104**. Резултати испитивања су приказани дијаграмом, на коме се налазе три кривуље. Поред овога описане су и метода испитивања средстава стрељачког наоружања балистичким анализатором и метода испитивања артиљеријског наоружања савременим техникама.

Код методе са балистичким анализатором приказана је аутоматска анализа фотограметрије, калибрација система, анализа у рачунару, епициклично кретање и мерење осетљивости. Анализа у рачунару вршена је помоћу методе **ALVA**.

Код методе испитивања артиљеријских средстава савременим техникама урађен је експериментални метод заснован на испитивању кретања пројектила помоћу видео записа обрађених у рачунару. Након тога је дата оцена резултата испитивања и на крају су приказане предности и недостаци методе.

На крају рада одрађена је анализа резултата испитивања која приказује следеће:

- у којим се врстама институција користи опрема која је наведена у раду;
- како се може употребити за развој, пројектовање, производњу и проверу квалитета и
- која се опрема користи у нашим одбрамбеним, индустријским, експерименталним и развојним капацитетима.

У овој анализи су описани и стандарди који се користе при пројектовању и контроли квалитета. Ту се налазе комерцијални страни (**EPVAT**, **SAAMI**, **C.I.P**, **ISO** и **STANAG**) и домаћи војни (**SNO** и **SORS**). На крају анализе могу се видети поједини уређаји за испитивање кретања пројектила пешадијског и артиљеријског наоружања који се користе у нашим производним и опитним центрима.

8. Литература

- [1] Књига „ Спољна балистика “, проф. др Душан Регодић, пуковник, дипл. инж. Београд 2006.
- [2] Скрипта „ Мерење притиска код испитивања наоружања “, април 2017.
- [3] Рад стручне праксе, Предраг Пантовић, Вукашин Мартиновић, Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2015.
- [4] <http://www.ecnmag.com/sites/ecnmag.com/files/legacyimages/ECN/Products>, август 2017.
- [5] <http://file5.hi1718.com/product/16/09/17/214523237.jpg>, август 2017.
- [6] Скрипта „ Experimental techniques for ballistic pressure measurements and recent development in means of calibration “, L. Elkarous, F. Coghe, M. Pirlot, J. C. Golinval, август 2017.
- [7] <https://www.kistler.com/rs/en/>, август 2017.
- [8] <http://pcbpiezotronics.co.uk/Products.aspx?m=117B30>, август 2017.
- [9] Скрипта „ Telemetry sistem for YAW, precession and spin measurement of projectiles over complete trajectory “, август 2017.
- [10] <http://www.prototypa.com>, август 2017.
- [11] Мастер рад „ Methods for the determination of aerodynamic parameters and trajectory reconstruction of the orion command module from scale model aeroballistic flight data“, Thomas Sebastian, North Carolina State University, Raleigh 2008.
- [12] Дипломски рад „ Компаративна анализа метода одређивања дејства на циљу модела стрелачког наоружања “, Светлана Марковић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд 2017.
- [13] <https://pgprs-info.com/index.php/o-djelatnosti/meteoroloski-radari>, август 2017.
- [14] http://www.hpi-gmbh.com/redesign/img/prod_09.jpg, август 2017.
- [15] Скрипта „ Measurement of bullet impact conditious using automated in – flight photography system “, Ryan J. Decker, Marco Duca, Shawn Spickert – Fulton, Design and Engineering Center New York in USA, 2017.
- [16] Скрипта „ Pitch and Yaw trajectory measurement comparasion between automated video analysis and onboard sensor data analysis techniques “, Rayan J. Decker, Bradford S. Davis, Thomas E. Harkins, Army Research Laboratory, септембар 2013.
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/NATO_EPVAT_testing, август 2017.

- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Commission_Internationale_Permanente, аргуст 2017.
- [19] [https://en.wikipedia.org/wiki/Sporting_Arms_and_Ammunition_Manufacturers%](https://en.wikipedia.org/wiki/Sporting_Arms_and_Ammunition_Manufacturers%2C), аргуст 2017.
- [20] https://sh.wikipedia.org/wiki/Međunarodna_organizacija_za_standardizaciju, аргуст 2017.
- [21] https://en.wikipedia.org/wiki/Standardization_Agreement, аргуст 2017.
- [22] [http://www.jusk.rs/pdf/9.%20GODISNJA%20KONFERENCIJA/3%](http://www.jusk.rs/pdf/9.%20GODISNJA%20KONFERENCIJA/3%20), аргуст 2017.
- [23] <http://www.yugoimport.com>, аргуст 2017.
- [24] http://www.yugoimport.com/sites/default/files/slika-6_5.gif, аргуст 2017.