

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: 512/2011

Вукашин М. Мартиновић

Експериментално испитивање и анализа дејства пројектила малих калибра на циљу

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Дамир Јерковић дипл. инж. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да изврши експериментално испитивање и анализу дејства пројектила малих калибара на циљу. Представити теоријске основе за пенетрацију пројектила која се се изучава у оквиру балистике на циљу. Представити план извођења експеримента, мерну опрему, врсту муниције и материјале плоча приликом рада. На основу података из експеримента и података преузетих од произвођача панцирних плоча, извршити прорачун опитног коефицијента и одредити његов интервал. На основу добијених вредности извршити анализу резултата.

Препоручена литература:

- [1] Елек, П. *Балистика на циљу*, радни материјал, Машински факултет, Београд 2014.
- [2] Срђан Станојковић, *Анализа параметара дејства пројектила на заштитној опреми*, дипломски рад N-249, Војна академија, Београд, 2011.
- [3] *Први Партизан Ужице*, Каталог
- [4] 700-en-Armox: The Steel You Want between You and risk V2-2015, AplusM
- [5] J. Bernetič, B. Kosec, G. Kosec, Z. Burzić. B. Podlipec, A. Nagode, B. Karpe, S. Kanalec, F. Vodopivec, L. Kosec, *Phenomena In Penetrating Piercing Bullets In Armored Steel Plate*, METABK 55(1) 95-98 (2016).

Крагујевац, 2015

ментор:

Др Дамир Јерковић дипл. инж.

САДРЖАЈ

Резиме/Abstract	1
УВОД	2
1. МОДЕЛ ИСПИТИВАЊА ДЕЈСТВА ПРОЈЕКТИЛА	3
1.1. Експериментални модели	3
1.2. Полуемпиријски модел	5
1.3. Материјали коришћени за израду испитних плоча	6
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА ДЕЈСТВА ПРОЈЕКТИЛА	8
2.1. Циљ испитивања и мерна опрема	8
2.2. Муниција коришћена за испитивање	10
2.3. Програм испитивања дејства пројектила на циљу	11
3. ПРОРАЧУН ДЕЈСТВА ПРОЈЕКТИЛА НА ЦИЉУ	19
3.1. Одређивање опитног коефицијента K за калибар 5,56 mm	19
3.2. Одређивање опитног коефицијента K за калибар 7,62 mm	21
3.3. Прорачун лимитне брзине	21
3.4. Прорачун опитног коефицијента на основу података произвођача плоче	22
4. АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ИСПИТИВАЊА И ПРОРАЧУНА	24
4.1. Графичка интерпретација добијених резултата	25
ЗАКЉУЧАК	31
ЛИТЕРАТУРА	32
Прилог 1	33
Прилог 2	35
Прилог 3	37

Abstract

The paper is presented the experimental testing and the analysis of the effects of small caliber projectiles on a bulletproof steel target.

The theoretical basics related to projectile penetration, which is studied in the area of terminal ballistics are presented. The measuring equipment used in this experiment is described, as the applied ammunition and characteristics and mechanical properties of used materials. According to the data derived from the experimental research and the data provided by manufacturer, the semi-empirical parameter is calculated, which is the crucial for the penetrability estimation. Presented calculation is provided the comparative analysis of obtained results is shown for 5.56 mm and 7.62 mm caliber.

Key words: bullet, caliber, penetration, coefficient, penetrability

Резиме

У овом раду је извршено експериментално испитивање и анализа дејства пројектила малих калибара на циљу од панцирног челика.

Представљене су теоријске основе везане за пенетрацију пројектила која се изучава у оквиру балистике на циљу. Описана је мерна опрема са којом је рађено у експерименту, примењена муниција, као и карактеристике и механичка својства материјала. На основу података из експеримента и података преузетих од произвођача панцирних плоча, извршен је прорачун параметра неопходног за одређивање пробојности. Након прорачуна дата је упоредна анализа добијених резултата за калибар 5,56 mm и 7,62 mm, укључујући оригинална експериментална мерења у складу са светски нормираним стандардима за испитивање заштитних материјала за специфичне примене у одбрамбеним системима.

Кључне речи: зрно, калибар, пенетрација, коефицијент, пробојност

УВОД

Под пробијањем (пенетрацијом) се подразумева процес који започиње ударом пенетратора у препреку и наставља се његовим кретањем кроз структуру препреке. При томе се под пенетратором подразумева свако тело намењено за пробојно дејство, док се препреком сматра средина изложена истом дејству.

Значај проучавања пенетрације огледа се у њеној примени која има два вида. Основно поље примене је војна техника, с обзиром да је пробијање један од важнијих механизма којим се баве конструкција пројектила, односно балистика на циљу. Разматрање процеса пробијања има фундаментални значај за оптимизацију пројектила пробојног дејства, као и за пројектовање панцирне заштите. Са друге стране, постоје и бројне цивилне примене процеса пробијања као што су заштита објеката (нпр. нуклеарних електрана), те примене у рударству и грађевинарству. Војне апликације су свакако најбитнији циљ и најзначајнији покретач истраживања у области пенетрације. Војна индустрија се развија неупоредиво брже од осталих научно истраживачких делатности, сакупљајући сва знања у циљу обезбеђења опремљености и ефикасности јединица при реализацији задатака.

Пробојност пројектила се може одредити аналитичким, емпиријским или нумеричким приступом. Емпиријски приступ се заснива на формирању одговарајућих релација између релевантних величина на бази експериментално утврђених зависности. Овај приступ је по правилу захтеван у погледу цене експерименталних истраживања, али су добијене релације веома поуздане. На основу таквих једначина у раду ће бити извршен прорачун дејства пројектила малих калибара на циљу. Разматрање процеса пробијања незамисливо је без свестраних експерименталних испитивања, док су теоријска истраживања мултидисциплинарна, будући да обухватају велики део механике крутог и деформабилног тела (отпорност материјала, теорију еластичности и пластичности, простирање таласа деформације итд.).

Циљ рада је експериментално испитивање и одређивање ефеката пројектила малих калибара стрељачког наоружања при дејству на панцирне челике. У раду ће бити презентована анализа дејства пројектила на циљу као и прорачун коефицијента потребан за одређивање пробојности препреке познатих карактеристика.

Истраживање је реализовано кроз неколико задатака: дефинисање параметара који карактеришу дејство зрна на циљу (кинетичка енергија, брзина, маса), израчунавање параметара дејства зрна на циљу за одабране врсте пушчаних зрна и анализа добијених резултата.

1. МОДЕЛ ИСПИТИВАЊА ДЕЈСТВА ПРОЈЕКТИЛА

Балистика је научна дисциплина која се бави проучавањем кретања пројектила. Њен назив потиче од грчке речи *balein* што значи бацити. Разликујемо неколико фаза кретања класичних пројектила. Прву етапу чини кретање пројектила у цеви оруђа/оружја када сила притиска гасовитих продуката сагоревања барутног пуњења доминантно утиче на кретање пројектила. Феноменима карактеристичним за период кретања пројектила у цеви бави се унутрашња балистика. У случају невођених ракетних пројектила постоји извесна аналогија ове фазе са активном фазом лета ракетног пројектила (период лета ракете у коме ради ракетни мотор). Прелазна балистика бави се првенствено сложеним гасодинамичким појавама које утичу на кретање пројектила непосредно по напуштању цеви оруђа. Слободно кретање пројектила после изласка из цеви оруђа под дејством гравитационе силе и аеродинамичких сила и момената (у случају ракетних пројектила могу да делују још и погонска и управљачке силе) предмет је проучавања спољне балистике. Коначно, финална фаза кретања пројектила која подразумева његово дејство, односно интеракцију са циљем изучава се у оквиру балистике на циљу (eng. terminal ballistics).

Као и многе инжењерске дисциплине, балистику на циљу карактеришу три основна приступа истраживању.

Емпиријски приступ се заснива на формирању одговарајућих релација између релевантних балистичких величина на бази експериментално утврђених зависности. Овај приступ је у правилу захтеван у погледу цене експерименталних истраживања, али су добијене релације веома поуздане. Оне се, међутим, не могу примењивати изван одмена у коме су извршени експерименти.

Аналитички приступ базира се на примени основних физичких законитости на разматрани терминално балистички процес. Резултат представља мање или више сложен аналитички модел, који може бити исказан у форми једне релације, али и врло сложених система за чије је решавање неопходно формирање комплексних рачунарских програма. Ове моделе одликује инжењерски прихватљива тачност и најчешће шири домен примене него у случају емпиријских домена.

Нумерички приступ је најмодернији и подразумева примену физичких закона одржања на дискретизовану структуру која се разматра. Примена рачунара и одговарајућег симулационог софтвера омогућава решавање комплексних једначина за системе са веома великим бројем степени слободе.

Резултати у највећој мери зависе од тачности коришћених модела понашања материјала. У истраживањима се често користи комбиновани метод који подразумева примену најмање два приступа (нпр. емпиријски и нумерички) у циљу добијања квалитетног модела који верно описује разматрани процес. Ваља напоменути да су за изучавање балистике на циљу неопходна сазнања из различитих научних дисциплина као што су: механика деформабилног тела, динамика гасова, теорија ударних таласа, физика експлозије, конструкција пројектила итд. [1]

1.1. Експериментални модели

Као што је напоменуто, балистика на циљу се бави интеракцијом пројектила и циља. Процес започиње контактом пројектила и препреке. Проучавају се инертни пројектили – пројектили који не садрже експлозивно пуњење, тј. пројектили чије се дејство заснива искључиво на принципу претварања њихове кинетичке енергије у користан рад. Традиционално, основни задатак балистике на циљу је управо био одређивање релација које омогућавају одређивање кључних процеса пробијања (односно пенетрације или перфорације).

Једино поуздан метод одређивања пробојности панцирних пројектила јесте експериментални полигонски метод: гађањем у оклоп познатих карактеристика. Ефекат на оклопу изазван дејством панцирног пројектила разврстава се у четири категорије: пробој, продор, задор и рикошет.

Под *пробојем* се подразумева ефект при коме је пројектил оставио у оклопу отвор пречника који није мањи од $D = d - 2 \text{ (mm)}$ (d - калибар пројектила).

Продор је такав ефект на оклопу који карактерише отвор неправилног облика, површине мање од највећег попречног пресека пројектила: кроз отвор пролазе само делови разбијеног пројектила, а не и цео пројектил, као што је случај код пробоја.

Задор је ефект који настаје у случају заустављања пројектила у оклопу или у случају разбијања тела пројектила током пробијања. На супротној страни од места поготка остаје на оклопу избочина са или без прскотина.

Рикошет је последица клизања пројектила по површини оклопа: на месту поготка остаје елипсasti траг врло мале дубине.

Експериментално одређивање пробојности обухвата одређивање граничне брзине пробоја оклопа дате дебљине. Гранична брзина пробоја представља управо ону брзину при којој се пројектил, након пробијања оклопа дате дебљине зауставља одмах иза оклопа. У полигонској пракси одређивање граничне брзине пробоја своди се на одређивање условне граничне брзине која представља аритметичку средину брзине при којој је добијен пробој и брзине при којој је добијен задор.

Емпиријске (квазианалитичке) релације представљају најједноставније моделе пробијајања који се могу веома успешно примењивати у одговарајућим, најчешће строго дефинисаним и уским доменама. У наставку ће бити представљене најпознатије и најчешће коришћене емпиријске релације које омогућавају одређивање релевантних параметара пенетрације.

SRI формула

Веома обимна експериментална истраживања спроведена у Stanford Research Institute-у (1963) била су првенствено концентрисана на пробијање плоча од меког челика крутим пројектилима са равним врхом, при релативно малим ударним брзинама. Минимална потребна кинетичка енергија пенетратора одређена је SRI формулом:

$$\frac{E}{d} = \frac{\sigma_0 H^2}{10,3} \left(42,7 + \frac{s}{H} \right) \quad (1.1)$$

где је σ_0 – граница кидања (највећи напон при испитивању на истезање) материјала препреке, док је s – распон препреке (најмања удаљеност између ослонца на које је препрека учвршћена). Област примене SRI формула ограничена је следећим условима:

- релативна дебљина препреке у односу на пречник $H/d = 0.1 \div 0.6$
- релативна дебљина препреке у односу на њен распон $H/s = 0.002 \div 0.05$
- виткост пенетратора $L/d = 10 \div 50$
- однос распона препреке и пречника пенетратора $s/d = 5.0 \div 8.0$

- ударана брзина пенетратора $V_0 = 21 \div 122 \text{ m/s}$

BRL формула

Експериментална истраживања америчког Ballistic reasrch Institute-a (1968) довела су до једначине за потребну енергију пенетратора у облику

$$E = 1,4 \cdot 10^9 (Hd)^{1.5} \quad (1.2)$$

Формула је сасвим блиска резултату J. de Marre-a и представља специјалан случај њене генерализације, с тим што је опитни коефицијент експлицитно наведен. Величине у једначинама (1.1) и (1.2) су у SI јединицама.

На бази великог броја експерименталних података и уз коришћење идеје о минималној потребној кинетичкој енергији пројектила као кључном параметру који дефинише пробојност, развијен је већи број емпиријских модела. [1]

1.2. Полуемпиријски модел

За прорачун моћи пробијања још увек се користе приближне методе засноване на експерименталним истраживањима и теоријским апроксимацијама.

Прорачун лимитне брзине према полуемпиријској формули Жакоб Де Марреа најпознатија је полуемпиријска формула која се користи за утврђивање пробојности и квалитета оклопа, иако не узима све факторе од којих зависи пробојност. Предпостављајући аналогију између отпора оклопа при пробијању телом пројектила и отпора при пробоју пробојцем, дошао је до следећег односа:

$$\frac{mv_{lim}^2}{2} = ke^2 d\pi \quad (1.3)$$

m	—	маса пројектила,
V_{lim}	—	гранична ударна брзина,
e	—	дебљина препреке
d	—	калибар
k	—	коефицијент пропорционалности

Овај однос знатно одступа од реалних резултата, јер је извршена аналогија између чисто импулсивног дејства пројектила и динамичког дејства пробојца. Корелацијом постојећих односа у формули (1.3) дошао је до следеће формуле за одређивање потребне ударне брзине пројектила, да се изврши пробијање оклопа задате дебљине:

$$V_{lim} = k \frac{e^{0.75} d^{0.7}}{m^{0.5}} \quad (1.4)$$

Претходни израз (1.4), може се представити у општем облику:

$$V_{\text{lim}} = k \frac{e^n d^p}{m^q} \quad (1.5)$$

За експоненте n , p и q се према различитим ауторима узимају различите вредности. Вредности експонената n , p и q зависе од: масе, материјала, калибра и облика пројектила и од карактеристика циља, као што су димензије, облик, стање површине, материјал од ког је израђен и други. Вредности експонената дате су у табели 1, односе се на пројектиле великих калибара. У литератури не постоје вредности експонената за мале калибре стрелачког оружја. За одређивање ових коефицијената потребно је спровести експериментално истраживање.

Табела 1.1 Вредности експонената

Аутор		Вредности експонената		
		n	p	q
1.	Jacob de Marre	0,75	0,7	0,5
2.	Euler	1	0,5	0,5
3.	Noble	0,5	1	0,5
4.	Krupp	2/3	2/3	0,5

Коефицијент K назива се опитним коефицијентом, зависи од особина оклопа и од конструкционих особина тела пројектила који врши пробијање. Његова стварна вредност се може одредити само експерименталним путем. Вредност коефицијента K износи 1024 за обичне ваљане челике, 2500 за каљене челике, док за пројектиле од каљеног никлованог челика износи 5800. Његова вредност се углавном креће од 1600 до 3600 за случај оклопа од хомогеног панцирног челика и савремене панцирне пројектиле. Поред овог коефицијента дати су још дебљина оклопа e и калибар тела пројектила. Ова формула даје задовољавајуће резултате ако се располаже експериментално одређеним вредностима коефицијента K за оклоп познатог квалитета и дати тип пројектила. Међутим задовољавајући резултати применом ове формуле добијају се у ограниченим условима: ако се гранична ударна брзина пројектила не разликује за више од $\pm 15\%$ и ударни угао за више од $\pm 10\%$ од ударне брзине и ударног угла при коме је утврђена вредност коефицијента K . Није тешко закључити да формула важи само за случај пробијања вертикалног оклопа $\alpha = 90^\circ$. [2]

1.3 Материјали коришћени за израду испитних плоча

Ради утврђивања вредности потребних за одређивање опитних коефицијената, као и ради утврђивања експерименталних резултата параметара дејства на циљу, вршено је испитивање са одређеним врстама челичних плоча.

Прва врста плоче коришћене током испитивања је ARMOX 500T заштитна плоча. Она представља комбинацију добрих балистичких особина са одличном жилавошћу. ARMOX 500T је доступан у дебелинама од 3 до 80 mm.

Табела 1.2 Механичка својства, [3]:

Дебљина	Тврдоћа HBW	Енергија лома - 400C 1) 10x10 mm test specimen 2) Min. (J)	Напон течења R _{p0.2} min MPa	Затезна чврстоћа R _m MPa	Издужење A5 Min %	Издужење A50 Min %
3 - 80	480 - 540	25	1250	1450 - 1750	8	10

Тестирано по Бринелу према EN ISO 6506-1 после сваке термичке обраде појединачно.

Табела 1.3 Хемијски састав [3]:

C, max%	Si, max%	Mn, max%	P, max%	S, max %	Cr, max%	Ni, max%	Mo, max%	B, max%
0,32	0,4	1,2	0,015	0,010	1,0	1,8	0,7	0,005

Друга врста плоче коришћене за испитивање је PROTAC 500M. То је напредни оклопни челик са великом тврдоћом и одличном жилавошћу за најбоље перформансе.

Табела 1.4 Механичка својства, [4]:

Дебљина	Напон тецења R _{p0.2} [MPa]	Затезна чврстоћа R _m [MPa]	Издужење [%]	Температура тестирања [°C]	Енергија лома [J]	Тврдоћа HB
6 - 60	1300	1800	10	-40	30	514 - 555

Табела 1.5 Хемијски састав [4]:

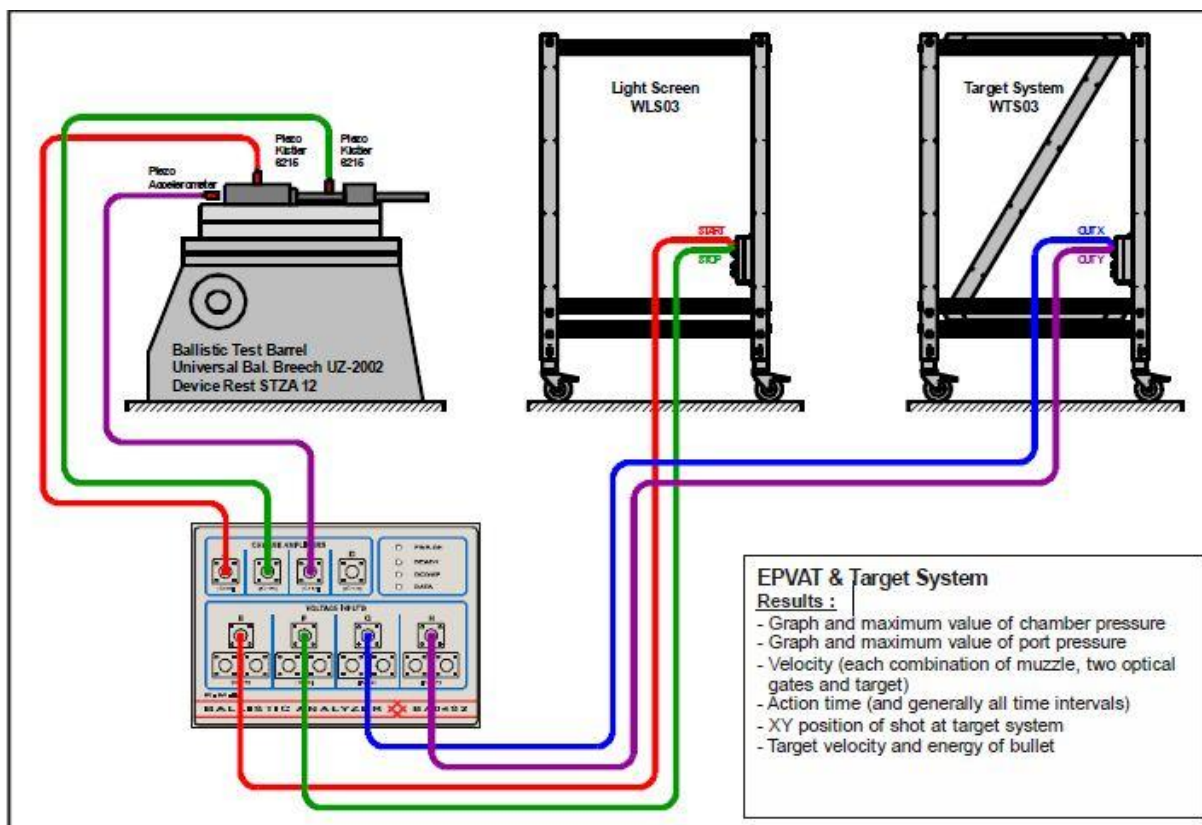
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
0,33	1,0	0,8	0,02	0,003	1,3	3,5	0,5	0,004

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА ДЕЈСТВА ПРОЈЕКТИЛА

2.1. Циљ испитивања и мерна опрема

Циљ експеримента је испитивање пробојности челичних плоча PROTAC 500M, железара Равне Словенија и ARMOX 500T, земља порекла Шведска. Муниција која је коришћена током вршења опита је: 7,62x39 mm FMJ, 5,56x45 mm M193, 7,62x39 mm API, 7,62x54R API и 12,7x108 API mm. Експеримент је вршен у фабрици Застава оружја у опитном тунелу по узору на два стандарда: VPAM и STANAG, са различитим нивоима заштите. Плоче су постављене под углом од 90° у односу на осу симетрије цеви и на њих је пуцано из опитних цеви које одговарају датим калибрима. Разлог зашто је пуцано из опитних цеви, а не из пушака, је тај што циљ испитивања није оружје већ анализа дејства пројектила малих калибара на циљу. Такође, гађањем из опитних цеви остварују се бољи услови као што су већа стабилност цеви тј. мање осцилације приликом опалења и применом опитних цеви могуће је измерити притисак барутних гасова у самој цеви. Плоче су различитих дебљина што ће бити приказано у табелама. Након извршеног пуцања на самим плочама је извршена анализа пробио/није пробио. Детаљније карактеристике челика нису дате зато што је то фабричка тајна. Коришћеним стандардима су тачно утврђени услови гађања, као што су даљине на којима се налазе плоче, број метака у серији, врста коришћене муниције, итд., што ће бити представљено у даљем раду.

Мерна опрема која је коришћена су: балистички анализатор, и две баријере (оптичке капије). За мерење брзине и притиска коришћен је балистички анализатор, за кога ће бити укратко дат принцип рада. Основна шема балистичког анализатора је дата на слици 2.1. [5]



Слика 2.1 Шема балистичког анализатора

EPVAT и циљни резултати система:

- График и максимална вредност притиска у комори
- График и максимална вредност порт притиска
- Брзина (свака комбинација од уста цеви, две оптичке капије и мета)
- Време акције (и генерално сви временски интервали)
- X Y координате хица у циљном систему
- Циљна брзина и енергија метка

Стандардни ВА04 је обично повезан тако да се мерење започиње након што прими сигнал из коморе под притиском (што је најпоузданији покретач).

Оптичка капија за мерење брзине WLS03 је смештена на произвољној раздаљини (произвољна раздаљина је раздаљина између отвора цеви и центра оптичке капије). Капија са виртуелном метом WTS03 који мери падну(ударну) брзину и прецизност смештена је такође на произвољној удаљености од отвора цеви.

БА ради другачије од осталих балистичких анализатора (мерача). Он не даје директно било каква нумеричка читавања, већ прво мери реалну зависност свих типова сигнала. У зависности од метода који се формира у програму ВА Control, овај уређај, користећи дате зависности израчунава потребна нумеричка читавања за било коју комбинацију примљених сигнала. Добијени излазни подаци могу бити директно намењени за употребљену БА конекцију:

- График притиска p_c
- График притиска p_p
- график убрзања
- график брзине на баријери
- слика погодака

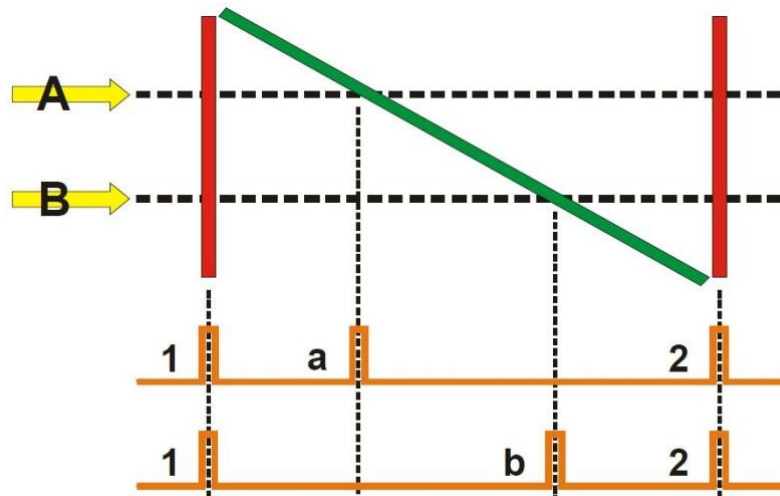
У зависности од креираног метода ВА Control израчунава ове нумеричке резултате:

- Вредност и време максималног притиска p_c
- Вредност и време максималног притиска p_p
- Почетна брзина
- Падна брзина
- Координате и статистичку процену сваког хица (виртуелна мета)

Намењен је за приказ брзине у зависности од пређеног пута (могуће је израчунати падну брзину и V_0). Поред тога, могуће је континуирано пратити квалитет сигнала из свих сензора и у случају неке аномалије, могуће је утврдити њен узрок. Уколико су нумерички подаци лоши (погрешни), не треба понављати рунду (поступак) већ треба модификовати метод.

Баријера са виртуелном метом ради по принципу конверзије (претварања) позиције пројектила у временски интервал, што се може мерити помоћу балистичког анализатора ВА04S/S2/SE. Програм конвертује временске интервал у у XY координате, филтрира буку, приказује резултате до мете и израчунава статистичке податке.

Баријера са виртуелном метом WTS03 садржи два вертикална отвора (на улазном и излазном оквиру), који мери временски интервал само у зависности од брзине пројектила и независно од позиције пројектила. Два непаралелна отвора (један хоризонталан и један вертикалан – X и Y координате) су смештена између вертикалних отвора. Ови непаралелни отвори генеришу импулсе који су зависни од позиције пројектила. Типични сигнали једног таквог отвора и два вертикална отвора су приказани на слици за два различита пројектила А и Б. Координате пројектила могу бити израчунате из односа интервал 1-2 и 1-а (или 1-2 и 1-б). [5]



Слика 2.2 Оптичка капија са виртуелном метом

2.2. муниција коришћена за испитивање

Стрељачка муниција је намењена за уништавање и онеспособљавање незаклоњене и слабо заклоњене живе силе, лако оклопљених и неоклопљених моторних возила и других техничких материјалних средстава, за паљење лако запаљивих средстава, обележавање путање зрна и друге специјалне ефекте. Пројектили стрељачке муниције не поседују никакво разорно пуњење тако да на циљ делују преносећи своју кинетичку енергију. Зато је за њих уобичајен назив – *зрно*. [6] Зрно је најважнији елемент целог система стрелац-оружје-метак. Савремена зрна стрељачког метка углавном имају кошуљицу и језгро. Кошуљица је најчешће израђена од томбака (легура слична месингу, европски назив „tombac“, док је амерички назив „gilding metal“). Поред томбака, кошуљице се израђују и од меког челика пресвученог танким слојем бакра или неком легуром бакра. Језгро је од олова са 10% антимона ради повећања чврстоће. Ово су карактеристике углавном обичних зрна и служе за дејство против живе силе. Специјална зрна се знатно разликују од обичних у зависности од намене и конструкције. [2]

Муниција коришћена у експерименту је производ домаће фабрике српске одбамбене индустрије Први партизан, Ужице. Употребљене су следеће врсте муниције са датим карактеристикама:

Табела 2.1 Приказ муниције [7]

Калибар (mm)	Маса зрна (g)	Почетна брзина (m/s)	Кинетичка енергија (J)
5,56x45 (222 Remington)	3,24	955	1480
7,62x39 FMJ	8	750	2250
7,62x54R	9,7	865	3630
7,62x39 API	7,55	740	2067
12,7x108 API	48,3	820	16240



*Слика 2.3 Коришћена муниција, редом 5,56x45 M193,
7,62x39 FMJ, 7,76x39 API, 7,62x54R API, 12,7x108 API*

2.3. Програм испитивања дејства пројектила на циљу

Експеримент је вршен тако што су по три метка, на унапред усвојеној мети, испаљивана у плоче различитих дебљина које си прчвршћиване на металну конструкцију. Тачке на мети су обележене тако да кад се споје добија се троугао. Испитивање је рађено у затвореном тунелу где нема утицаја атмосферских услова. Детаљнији услови и преглед вршења опита дат је следећом табелом.

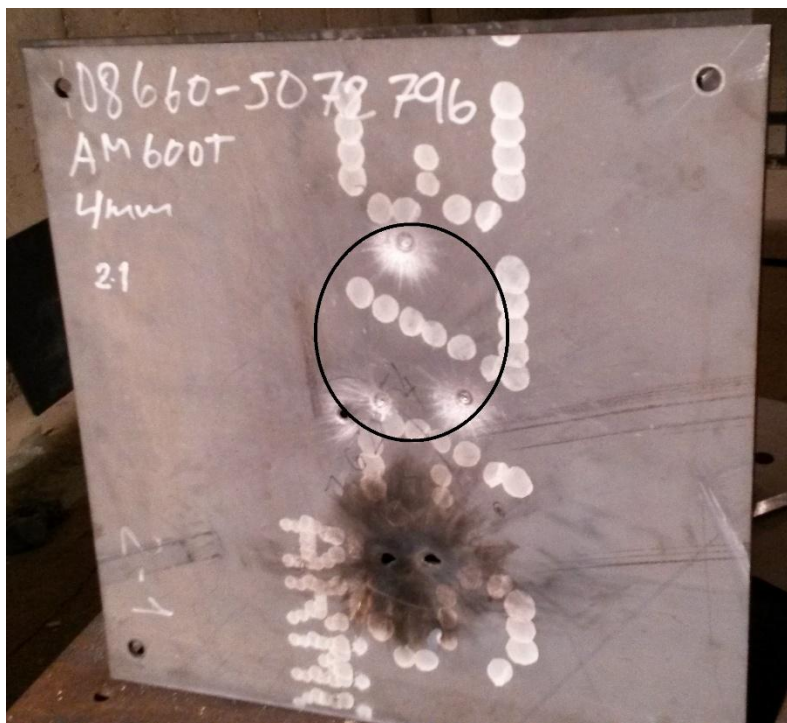
Табела 2.2 План извођења експеримента

Број плоче	Материјал	Димензије опитне плоче	Ниво заштите: STANAG/VPAM	УСЛОВИ ТЕСТИРАЊА			
				Оруђе	Метак	Растојање	Ударна брзина зрна m/s
2-1	ARMOX 500T	4 mm 500x500 mm	VPAM 6	Опитна цев 7.62x39	7.62x39 FMJ	10 m	720±10
3-1	PROTAC 500	4 mm 500x500 mm	VPAM 6	Опитна цев 7.62x39	7.62x39 FMJ	10 m	720±10
8-1	ARMOX 500T	7 mm 500x500 mm	STANAG 1	Опитна цев 5.56x45	5.56x45 M193	30 m	937±20
			VPAM 8	Опитна цев 7.62x39	7.62x39 BZ API	10 m	740±10
9-1	PROTAC 500M	8 mm 500x500 mm	STANAG 1	Опитна цев 5.56x45	5.56x45 M193	30 m	937±20
10-1	ARMOX 500T	8 mm 500x500 mm	STANAG 1	Опитна цев 5.56x45	5.56x45 M193	30 m	937±20
11-1	PROTAC 500	10 mm 500x500 mm	STANAG 2	Опитна цев 7.62x39	7.62x39 API	30 m	695±20
12-1	ARMOX 500T	10 mm 500x500 mm	STANAG 2	Опитна цев 7.62x39	7.62x39 API	30 m	695±20
9-1 + 3-1	PROTAC 500M + PROTAC 500	8 mm + 4mm	STANAG 3	Опитна цев 7.62x54R	7.62x54R API	30 m	854±20
12-1 + 5-1	ARMOX 500T + ARMOX 500T	10 mm + 6 mm	STANAG 3	Опитна цев 12.7x108	12.7x108 API	30 m	800±20

Прва колона у табели представља број са којом је обележена плоча у коју је пуцана серија од три метка. Друга колона даје увид о материјалу плоче чије су основне карактеристике дате у првој глави. Трећа колона даје информацију о дебљини плоче. Колона ниво заштите казује који је стандард примењен приликом испаливања поменуте серије и о ком нивоу заштите се ради у оквиру усвојеног стандарда. Колоне које спадају у услове гађања дају податке о врсти оруђа из ког је гађано, врсту примењене муниције, растојање плоче од уста цеви оруђа као и ударну брзину зрна у тренутку сусрета са препреком. Подаци о ударним брзинама дати су у прилогу 1.

Након завршеног гађања по претходно представљеном плану добијени су резултати. На плочама се налази више серија испалине муниције због уштеде материјала приликом испитивања, тако да ће за одговарајућу ознаку из табеле 2.2 погоци бити обележеним црним кругом.

На плочи број 2-1 остале су избочине, односно структура челика није нарушена, што се може видети на слици 2.4. Према нивоу заштите VPAM 6, плоча има заштитно својство у датим условима.



Слика 2.4 Плоча 2-1 након гађања

На плочи 3-1 нема пробоја (слика 2.5) и према нову заштите VPAM 6 ова плоча штити.



Слика 2.5 Плоча 3-1 након гађања а) предња страна б) задња страна

У плочу 8-1 (слика 2.6) је пуцано са две различите муниције 5,56x45 mm M193, ниво заштите STANAG 1 и 7,62x39 mm API, ниво заштите VPAM 8 и са обе је добијен пробој што значи да дата плоча по стандардима не представља заштиту.



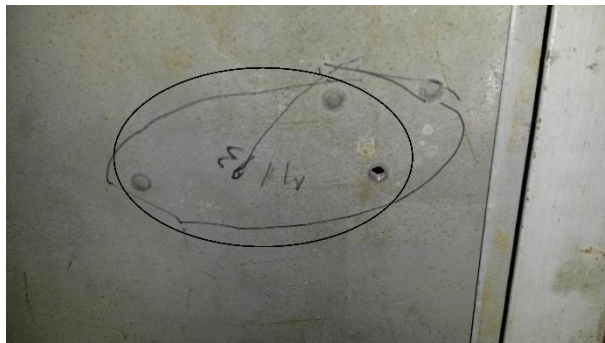
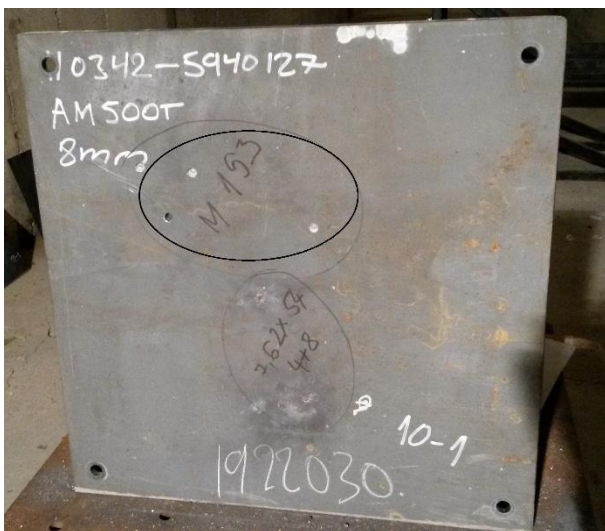
а) б)
Слика 2.6 Плоча 8-1 након гађања а) 5,56x45 mm M193 б) 7,62x39 API

Плоча 9-1 (слика 2.7) нема пробоја и нема отисака позади, по узетом стандарду задовољава у потпуности заштитно својство.



Слика 2.7 Плоча 9-1 након гађања

Код плоче 10-1 (слика 2.8) се јавља специфичан случај, код првог поготка је кренуо чеп и пошто је нарушена структура челика то се сматра продором, други погодак карактерише избочина и код трећег долази до класичног пробоја. Према нивоу заштите STANAG 1 ова плоча не испуњава заштитне услове.



а) б)
Слика 2.8 Плоча 10-1 након гађања а) предња страна б) задња страна

Плоча 11-1 (слика 2.9) је према узетом нивоу заштите издржала гађање без пробоја и према томе има заштитно својство.



Слика 2.9 Плоча 11-1 након гађања

На плочи 12-1 (слика 2.10) нема пробоја нити отисака са задње стране након гађања и према усвојеном нивоу заштите плоча штити.



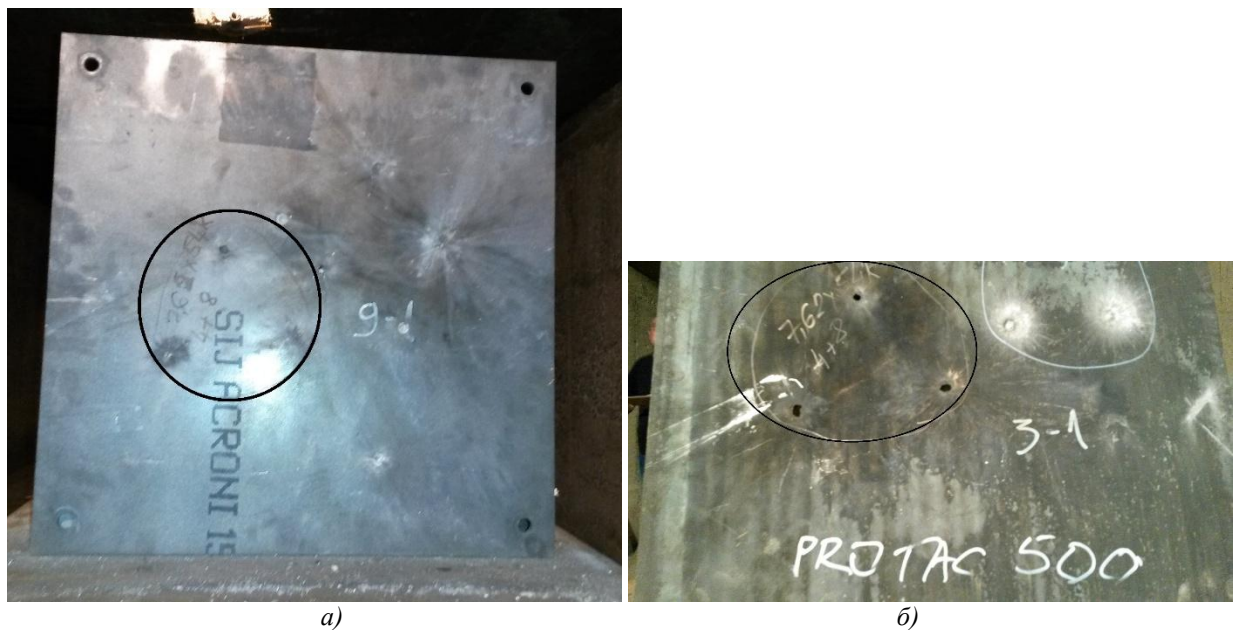
Слика 2.10 Плоча 12-1 након гађања

Задње две групе гађања извршене су на „сенвич“ оклопу. „Сенвич“ оклоп (слика 2.11) представља две паралелне плоче, различитих дебљина, постављене на растојању од 30 mm.



Слика 2.11 Начин спајања плоча у „сендвич“

Оклоп састављен од две плоче 9-1 и 3-1 (слика 2.12) према задатом нивоу заштите штити за сва три поготка, без отисака на унутрашњој плочи.



Слика 2.12 Плоче 9-1 + 3-1 након гађања а) унутрашња плоча б) спољашња плоча

Код оклопа састављеног од плоча 12-1 и 5-1 (слика 2.13а и 2.13б) се јавља не тако чест случај, први погодак је заштитио док су друга два направила пробој.



Слика 2.13а Спољашња плоча



Слика 2.136 Унутрашња плоча

Након извршеног експеримента обрађени подаци ће бити искоришћени за одређивање опитног коефицијента, поменутог у првој глави у полуемпиријском моделу, који ће омогућити да се додатне оцене пробојности сведу на аналитичке изразе и упореде са конвенционалним типовима плоча од стандардних састава обичних или панцирних челика што би омогућило анализу и евентуално предвиђање без вршења неког новог експеримента. Опитни коефицијент ће се добити у наредној глави прорачуном дејства пројектила на циљу. Добијени подаци експерименталним путем су од изузетног значаја за потврду тачности или одређеног одступања аналитичких израза. Цена овог експеримента није дата због поверљивости података фабрике.

3. ПРОРАЧУН ДЕЈСТВА ПРОЈЕКТИЛА НА ЦИЉУ

Задатак рада је да се изврши анализа пробојности и да се на основу експерименталних података и већ постојећих података одреди вредност опитног коефицијента K , који зависи од карактеристика зрна и карактеристика препреке. На основу резултата испитивања је могуће добити интервал вредности опитног коефицијента, према наведеној теорији, с обзиром да зависи од материјала (препреке и тела - пенетратора), али и од експонената које су одредили различити аутори.

Коефицијент K се рачуна инверзно (одлучено је да се вредност израчуна на тај начин како би теорија била испоштована, а сходно томе да су нам ти резултати значајни и за касније) на основу података о ударној брзини добијених експерименталним путем. Након анализе резултата добијених експериментом, подаци ће бити искоришћени за прорачун опитног коефицијента K полуемпиријском методом представљеном у првој глави. Опитни коефицијент ће се добити тако што ће се у формули (1.5) Jacob de Marre-а, за прорачун пробојности, за лимитну брзину узети вредност добијена експерименталним путем (измерена на балистичком анализатору приликом сусрета са препреком – Прилог 1), а коефицијент K ће се рачунати као непозната.

Плоче погодне за анализу и добијање граница коефицијента K , за метак 5,56x45 M193 су:

8-1 (добијен пробој), 9-1 (остварена заштита) и 10-1 (добијен пробој), а за метак 7,62x39 API су: 8-1 (добијен пробој) и 11-1 (остварена заштита). Наведене плоче су погодне зато што представљају граничне случајеве, при којима са већом поузданошћу могу претпоставити лимитне вредности брзине, односно могућност прорачуна опитног коефицијента са становишта, леве и десне односно доње и горње границе интервала очекиваних вредности.

3.1. Одређивање опитног коефицијента K за калибар 5,56 mm

Опитни коефицијент за плочу ARMOX 500T

Табела 3.1 Испитивање: 8-1 ARMOX 500T STANAG1 5.56x45 M193

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина пробоја	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.07	0.0556	0.00324	937	2962
Euler	1	0.5	0.5	0.07	0.0556	0.00324	937	3231
Noble	0.5	1	0.5	0.07	0.0556	0.00324	937	3626
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.07	0.0556	0.00324	937	3360

Табела 3.2 Испитивање: 10-1 ARMOX 500T STANAG1 5.56x45 M193

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина пробоја	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (g)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.08	0.0556	0.00324	936.989	2680
Euler	1	0.5	0.5	0.08	0.0556	0.00324	936.989	2827
Noble	0.5	1	0.5	0.08	0.0556	0.00324	936.989	3391
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.08	0.0556	0.00324	936.989	3008

На основу претходно приказаних резултата уочава се да минимална вредност опитног коефицијента потребног за пробијање плоче ARMOX 500T познатих карактеристика износи 2680, а максимална 2962 по Jacob de Marre-у (исти начин поређења важи и за остале ауторе), што говори да се у том интервалу добија лимитна брзина за пробијање дате панцирне плоче.

Опитни коефицијент за плочу PROTAC 500M

Табела 3.3 Испитивање: 9-1 PROTAC 500M STANAG1 5.56x45 M193

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина (заштитио)	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.08	0.0556	0.00324	929.474	2659
Euler	1	0.5	0.5	0.08	0.0556	0.00324	929.474	2805
Noble	0.5	1	0.5	0.08	0.0556	0.00324	929.474	3364
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.08	0.0556	0.00324	929.474	2984

3.2. Одређивање опитног коефицијента K за калибар 7,62 mm

Опитни коефицијент за плочу ARMOX 500T

Табела 3.4 Испитивање: 8-1 ARMOX 500T VPAM8 7.62x39 API

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина пробоја	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.07	0.0762	0.00755	740	2864
Euler	1	0.5	0.5	0.07	0.0762	0.00755	740	3328
Noble	0.5	1	0.5	0.07	0.0762	0.00755	740	3189
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.07	0.0762	0.00755	740	3280

Табела 3.5 Испитивање: 12-1 ARMOX 500T STANAG2 7.62x39 API

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина (заштитио)	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.1	0.0762	0.00755	712.459	2110
Euler	1	0.5	0.5	0.1	0.0762	0.00755	712.459	2243
Noble	0.5	1	0.5	0.1	0.0762	0.00755	712.459	2569
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.1	0.0762	0.00755	712.459	2349

Опитни коефицијент за плочу PROTAC 500M

Табела 3.6 Испитивање: 11-1 PROTAC 500M STANAG2 7.62x39 API

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина (заштитио)	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.1	0.0762	0.00755	711.928	2109
Euler	1	0.5	0.5	0.1	0.0762	0.00755	711.928	2241
Noble	0.5	1	0.5	0.1	0.0762	0.00755	711.928	2567
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.1	0.0762	0.00755	711.928	2347

3.3. Прорачун лимитне брзине

Коефицијенти добијени прорачуном биће искоришћени за добијање лимитне брзине довољне за пенетрацију зрна у препреку, за плоче код којих није остварен пробој у извршеном експерименту. Да би били сигурни да ће се добити пробој лимитном брзином за коефицијент K узеће

се максимална вредност у добијеном интервалу. Увођењем тих вредности за коефицијент K у прорачун за добијање лимитне брзине пенетрације плоча које су издржале ударне брзине у извршеном опиту добијени су следећи резултати:

Табела 3.7 Лимитна брзина за 9-1 PROTAC 500M STANAG1 5.56x45 M193

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Опитни коефицијент	Лимитна брзина
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (g)	K	V_{lim} (m/s)
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.08	0.0556	0.00324	2962	1035.699
Euler	1	0.5	0.5	0.08	0.0556	0.00324	3231	1070.857
Nobble	0.5	1	0.5	0.08	0.0556	0.00324	3626	1001.695
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.08	0.0556	0.00324	3360	1046.822

Табела 3.8 Лимитна брзина за 11-1 PROTAC 500M STANAG2 7.62x39 API

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Опитни коефицијент	Лимитна брзина
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (g)	K	V_{lim} (m/s)
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.1	0.0762	0.00755	2864	966.9593
Euler	1	0.5	0.5	0.1	0.0762	0.00755	3328	1057.143
Nobble	0.5	1	0.5	0.1	0.0762	0.00755	3189	884.4692
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.1	0.0762	0.00755	3280	994.9479

Табела 3.9 Лимитна брзина за 12-1 ARMOX 500T STANAG2 7.62x39 API

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Опитни коефицијент	Лимитна брзина
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (g)	K	V_{lim} (m/s)
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.1	0.0762	0.00755	2864	966.9593
Euler	1	0.5	0.5	0.1	0.0762	0.00755	3328	1057.143
Nobble	0.5	1	0.5	0.1	0.0762	0.00755	3189	884.4692
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.1	0.0762	0.00755	3280	994.9479

3.4. Прорачун опитног коефицијента на основу података произвођача плоче

Након добијен опитних коефицијената на основу ударне брзине из експеримента, приступило се прорачуну коефицијента K , такође инверзно, на основу података о ударној брзини из

базе података произвођача преузете са њиховог сајта. Прорачун коефицијента је такође вршен у зависности од аутора експонената. Добијени резултати биће приказани табеларно само за одређену врсту метка са пратећим коефицијентом, док је табела са детаљима прорачуна дата у прилогу 2.

Табела 3.10 Подаци од произвођача плоче [8]

Калибар	Маса (g)	Ударна брзина (m/s)	Дебљина плоче (mm)
7.62x39 API	7.55	695	12
7.62x51 M80	9.8	833	8.5
5.56x45 SS109	4	900	8.5
5.56x45 M193	3.24	937	8.5

Табела 3.11 Подаци од произвођача плоче [9]

Калибар	Маса	Ударна брзина	Дебљина плоче
.308 Winchester (7.62x51)	8.4	931	20.8

Табела 3.12 Вредности коефицијента K

Метак	K (по J.deMarre-y)
7.62x39 API	1796
7.62x51 M80	3176
5.56x45 SS109	2733
5.56x45 M193	2561
.308 Winchester (7.62x51)	1679

Резултати добијени у претходним табелама анализираће се у наредној глави уз одређивање граница интервала опитног коефицијента што је и циљ целокупног прорачуна.

4. АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ИСПИТИВАЊА И ПРОРАЧУНА

За упоредну анализу опитних коефицијената K за одабране врсте муниције, користићемо резултате прорачуна коефицијената добијених на основу података из експеримента, упоређујући их са коефицијентом добијеним прорачуном на основу података преузетих са сајта произвођача. У стандардима је дефинисана врста муниције, њена маса и почетна брзина, од које у већини случајева, не долази до пробоја панцирних плоча. Прорачун је вршен према формули Jacob de Marre-a. Резултати добијени овом формулом, инверзним путем, дали су резултате коефицијента K , који представља особине пројектила и препреке и зависи од експонената n , p и q и од остварене брзине приликом сусрета са панцирном плочом.

Одређивање граница интервала извршиће се за калибар 5,56 mm и 7,62 mm и за сваки од аутора експонената појединачно.

За коефицијент K , по експонентима, добијене вредности биће приказане у табелама и сортиране од најмање ка највећој за дати калибар (вредности се односе на податке добијене експерименталним путем).

Табела 4.1 Вредности опитног коефицијента

		K			
Калибар	Мерење	J. de Marre	Euler	Nobble	Krupp
5.56 mm	1	2659	2805	3364	2984
	2	2680	2827	3391	3008
	3	2962	3231	3626	3360
7.62 mm	1	2109	2241	2567	2347
	2	2110	2243	2569	2349
	3	2864	3328	3189	3280

Наредна табела односиће се на вредности коефицијената K добијених на основу података са сајта произвођача.

Табела 4.2 Вредности опитног коефицијента

		K			
Калибар	Мерење	J. de Marre	Euler	Nobble	Krupp
5.56 mm	1	2561	2661	3290	2860
	2	2733	2840	3511	3052
7.62 mm	1	1679	1486	2288	1763
	2	1796	1823	2455	1969
	3	3176	3514	3712	3580

Анализа претходно представљених резултата за калибар 5,56 mm:

- средња вредност коефицијента добијена експерименталним путем је 3075
- средња вредност коефицијента добијена прорачуном преузетих података је 2939
- максимална вредност коефицијента добијена експерименталним путем је 3626

- минимална вредност коефицијента добијена експерименталним путем је 2659
- максимална вредност коефицијента добијена прорачуном преузетих података је 3511
- минимална вредност коефицијента добијена прорачуном преузетих података је 2561

Анализа претходно представљених резултата за калибар 7,62 mm:

- средња вредност коефицијента добијена експерименталним путем је 2600
- средња вредност коефицијента добијена прорачуном преузетих података је 2437
- максимална вредност коефицијента добијена експерименталним путем је 3328
- минимална вредност коефицијента добијена експерименталним путем је 2109
- максимална вредност коефицијента добијена прорачуном преузетих података је 3712
- минимална вредност коефицијента добијена прорачуном преузетих података је 1486

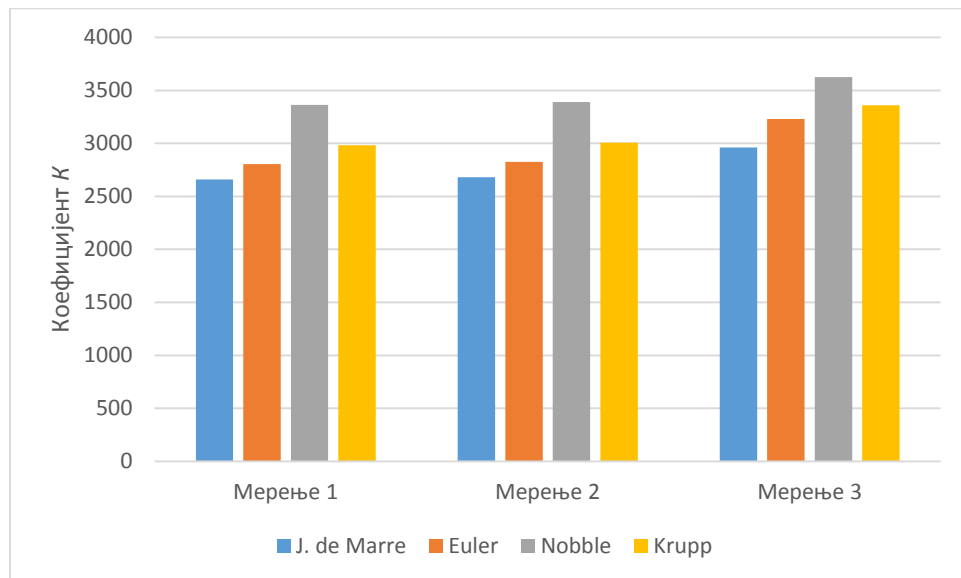
Поређењем ових вредности се види да су за калибар 5,56 mm добијени доста приближни резултати па се за коначан интервал опитног коефицијента K усвајају вредности од 2561 до 3626, што зависи као што је већ речено од карактеристика препреке и врсте муниције за дати калибар.

Поређењем резултата за калибар 7,62 mm се добијају нешто веће разлике у односу на на 5,56 mm али треба имати у виду да овај калибар иде и у варијанти за већом чауром па самим тим и већим барутним пуњењем. Коначан интервал коефицијента K се креће у границама од 1486 до 3712.

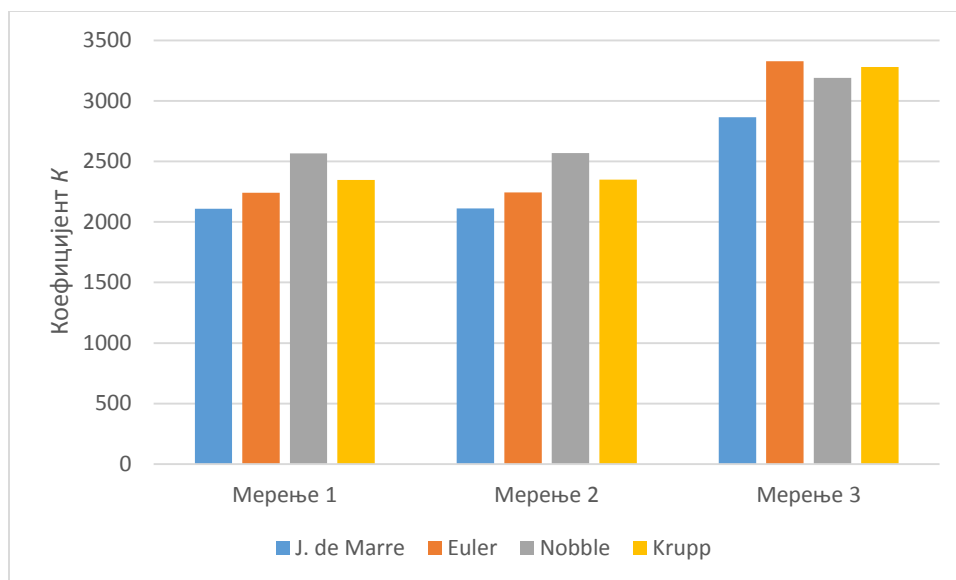
Ове границе су нешто веће од вредности коефицијента K који се среће у литератури. Разлози за веће вредности коефицијента лежи у чињеници да се да се тежи ка стварању што мањих дебљина панцирних плоча са што бољим механичким карактеристикама што за директну последицу има повећање лимитне брзине која ја ће остварити пробој а брзина је директно пропорционална коефицијенту K .

4.1. Графичка интерпретација добијених резултата

На сликама 4.1 и 4.2, је представљена вредност коефицијента K добијена прорачуном експерименталних вредности. Са дијаграма се лакше уочава разлика добијених вредности.



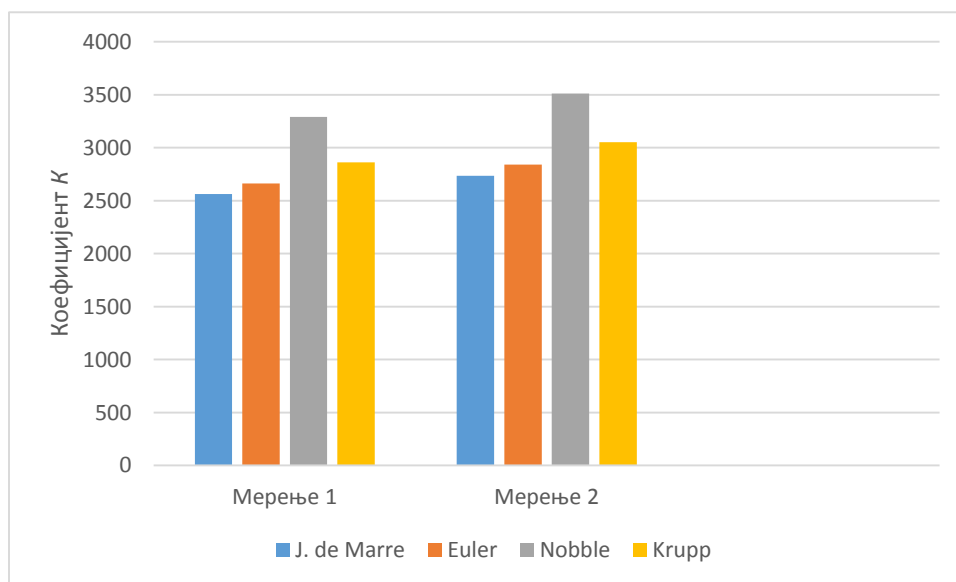
Слика 4.1 Графички приказ коефицијента по ауторима за калибар 5,56 mm



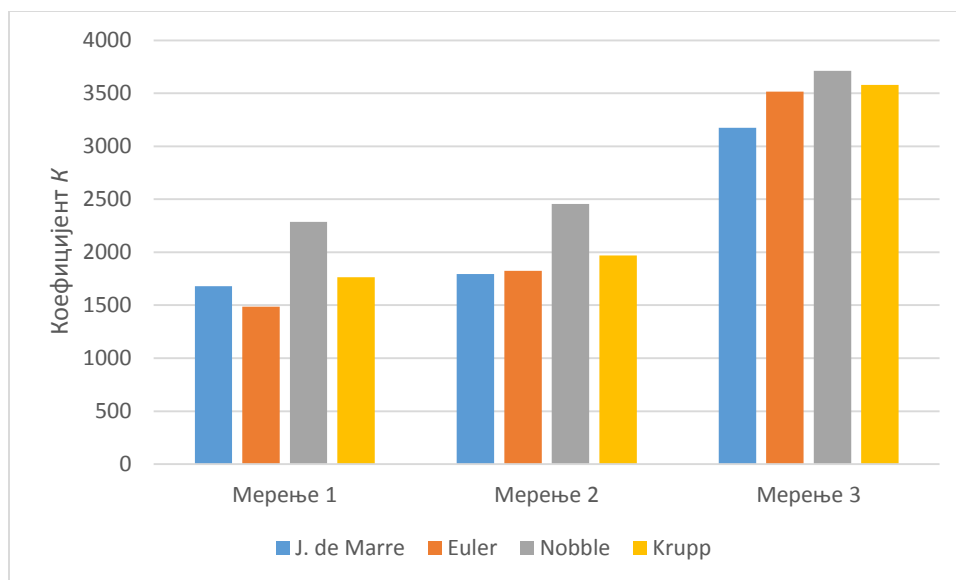
Слика 4.2 Графички приказ коефицијената по ауторима за калибар 7,62 mm

Из приложеног се види да се мања одступања добијају код калибра 7,62 mm у односу на 5,56 mm, а самим тим ће и резултати бити поузданији приликом прорачуна пенетрационих способности.

Слике 4.3 и 4.4 дају вредност коефицијента K добијену прорачуном подизвођачких вредности.



Слика 4.3 Графички приказ коефицијента по ауторима за калибар 5,56 mm



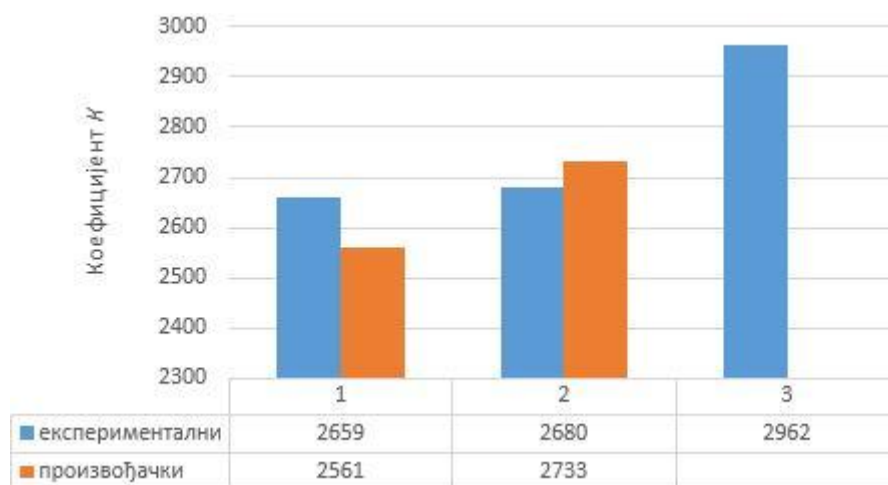
Слика 4.4 Графички приказ коефицијента по ауторима за калибар 7,62

За калибар 5,56 mm је био мањи статистички узорак па зато само две вредности. Овде се такође уочавају мања одступања резултата за калибар 7,62 mm, као што је био случај код резултата добијених из експерименталних података. У овом случају су добијене још приближније вредности.

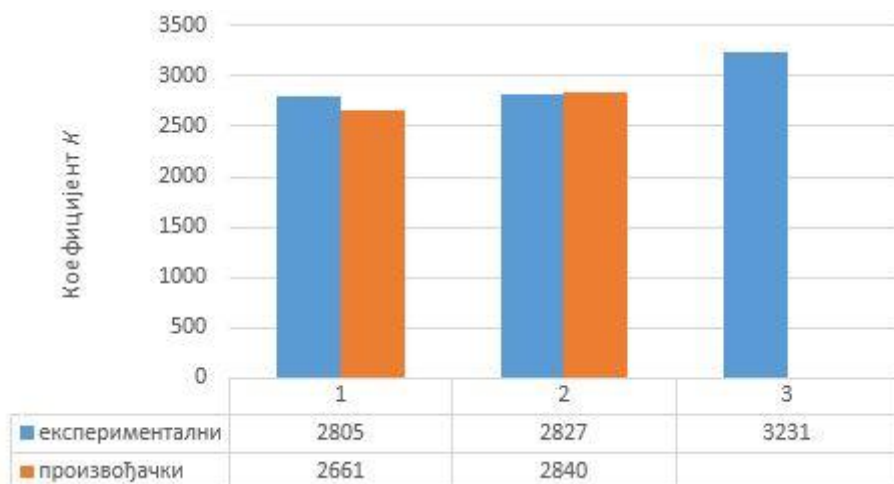
Даљом анализом се уочава да вредности добијене по Krupp-овим експонентима имају највеће одступање у односу на остале ауторе код којих су добијене приближне вредности коефицијента.

Наредни дијаграми представљају упоредни приказ коефицијената према сваком аутору појединачно и према калибру. На истом дијаграму приказане су експерименталне и произвођачке вредности опитног коефицијента K .

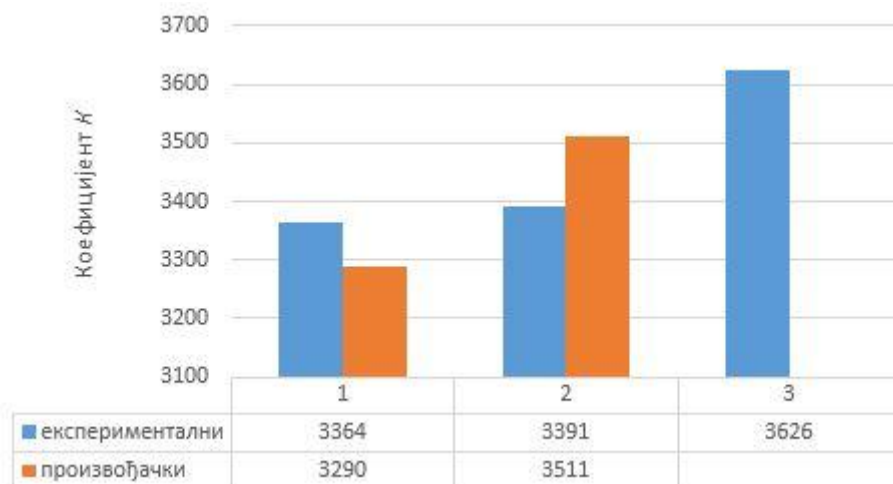
Дијаграми за калибар 5,56 mm:



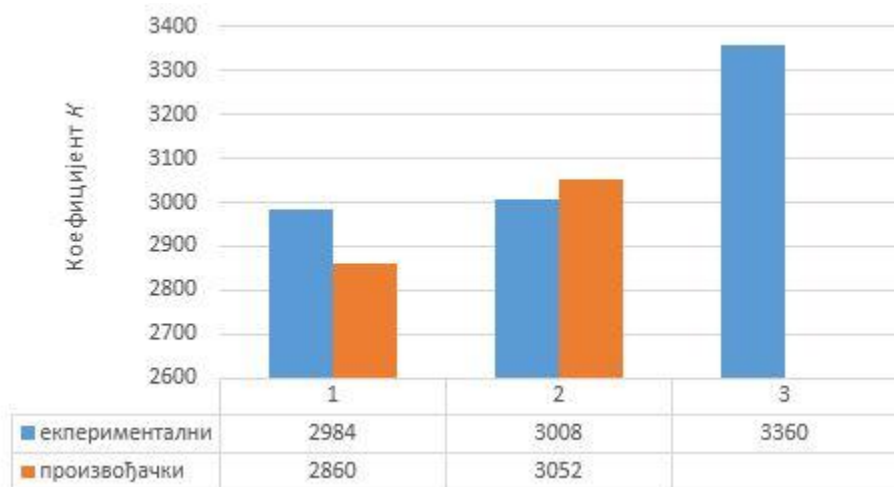
Слика 4.5 Упоредни приказ коефицијента по J. de Marre-у



Слика 4.6 Упоредни приказ коефицијента по Euler-у

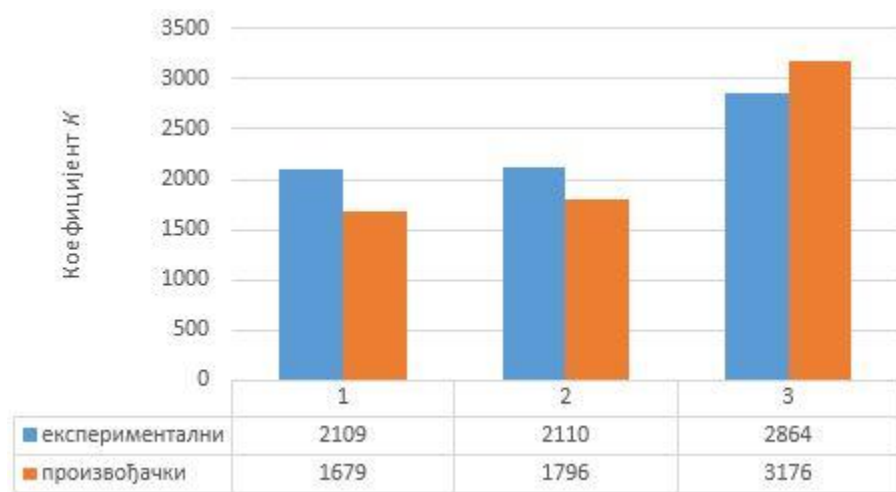


Слика 4.7 Упоредни приказ коефицијента по Nobble-у

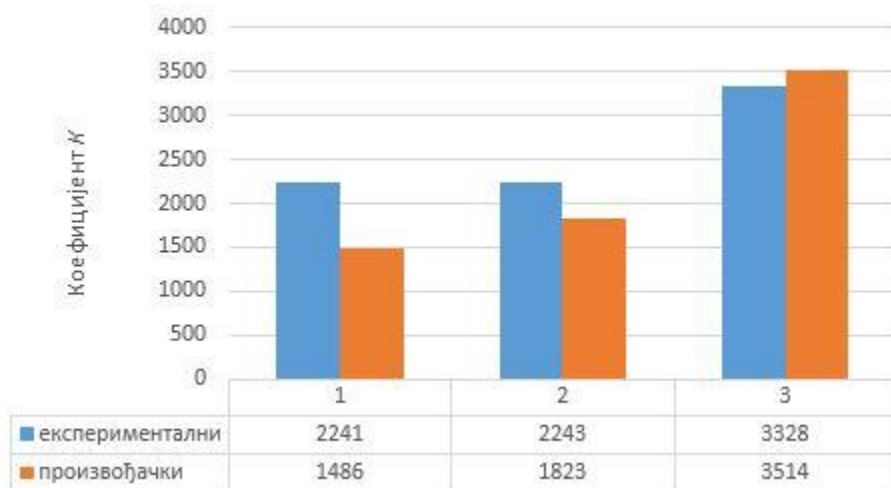


Слика 4.8 Упоредни приказ коефицијента по Krupp-у

Дијаграми за калибар 7,62 mm:



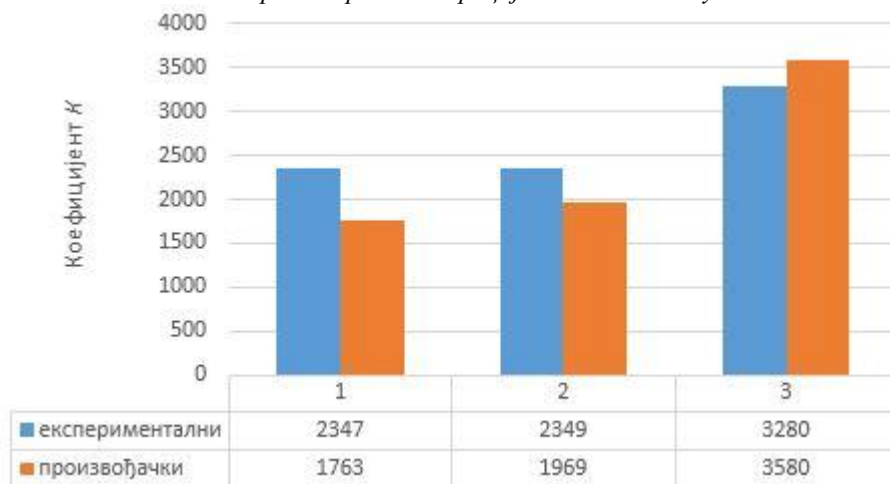
Слика 4.9 Упоредни приказ коефицијената по J. de Marre-у



Слика 4.10 Упоредни приказ коефицијената по Euler-у



Слика 4.11 Упоредни приказ коефицијента по Nottle-y



Слика 4.12 Упоредни приказ коефицијента по Krupp-y

ЗАКЉУЧАК

У овом раду је извршено експериментално испитивање и анализа дејства пројектила малих калибра на циљу. Циљеви су били панцирне плоче различитих дебљина направљене од стране два различита произвођача. Прво се приступило извођењу експеримента у опитном тунелу Застава оружја, где су прикупљени потребни подаци и обрађени за даљи рад односно прорачун опитног коефицијента K и његових граница интервала, што је био уједно главни задатак овог рада. Прорачун је рађен посредством најпознатије полуемпиријске релације Jacob de Marre-a, за прорачун пробојности пројектила који пенетрацију врше искључиво својом кинетичком енергијом оствареном у тренутку сусрета са препреком.

Формула J. de Marre-a даје сасвим задовољавајуће резултате уколико се располаже експериментално одређеном вредношћу коефицијента K за оклоп познатог квалитета и дати тип пројектила. Ова формула не искључује полигонско одређивање пробојности већ омогућује доношење ширих закључака на основу мањег броја експерименталних резултата. Карактеристике зрна као што су маса и почетна брзина имају највећи утицај на вредност опитног коефицијента. За повећање пробојности потребно је повећати кинетичку енергију пројектила приликом поготка, а смањити површину на коју делује та енергија.

Након извршеног прорачуна и добијања вредности коефицијента дошло се до следећих закључака. За калибар 5,56 mm добијен је мањи интервал граница вредности опитног коефицијента, док су одступања по ауторима већа. Код калибра 7,62 mm добијен је обрнут случај, добијен је већи интервал граница, али су одступања коефицијента мања. Ово запажање карактерише и експерименталне и произвођачке вредности.

Даљом упоредном анализом експерименталних и произвођачких резултата по ауторима експонената, појединачно се закључује, да се за калибар 5,56 mm најмање разлике добијају применом de Marre-ових експонената, а највећа код Nobble-a. У калибру 7,62 mm најмања разлика резултата се добија применом Nobble-ових експонената, док се највећа разлика остварује Euler-овим експонентима.

Сагледавајући коефицијенте добијене у неким другим истраживањима доноси се коначан закључак да су добијени резултати у границама дозвољених вредности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Елек, П. *Балистика на циљу*, радни материјал, Машински факултет, Београд 2014.
- [2] Срђан Станојковић, *Анализа параметара дејства пројектила на заштитној опреми*, дипломски рад N-249, Војна академија, Београд, 2011.
- [3] Data Sheet 195en Armox 500T 2014-03-06
- [4] Data sheet: PROTAC 500M Protection and Safety performance
- [5] *Балистичка мерења*, стручна пракса – извештај- ментор Бранко Јаћимовић дипл. инж., студенти Вукашин Мартиновић и Предраг Пантовић, Крагујевац, 2015.
- [6] Раденко Димитријевић, *Препознавање убојних средстава* – Тема 4, предавања на ВА Београд и ФИН Крагујевац, 2015. године
- [7] *Први Партизан Ужице*, Каталог
- [8] 700-en-Armox: The Steel You Want between You and risk V2-2015, AplusM
- [9] J. Bernetič, B. Kosec, G. Kosec, Z. Burzić. B. Podlipec, A. Nagode, B. Karpe, S. Kanalec, F. Vodopivec, L. Kosec, *Phenomena In Penetrating Piercing Bullets In Armored Steel Plate*, METABK 55(1) 95-98 (2016).

Прилог 1

Слика 5.1 Вредности добијене мерном опремом

Measurement Name :
2015-08-27_T 2-1 VPAM 6

4 (V10)		
Round	Time [ms]	Velocity [m/s]
1	1.3852	721.930
2	1.3962	716.249
3	1.3980	715.324
Avg	1.3931	717.834
SD	0.00692	3.5769
Max	1.3980	721.930
Min	1.3852	715.324
Delta	0.0128	6.606
Wk[J]		1030.572



 prototypa

Слика 5.2 Вредности добијене мерном опремом

Measurement Name :
2015-08-27_T 3-1VPAM 6

4 (V10)		
Round	Time [ms]	Velocity [m/s]
1	1.4026	712.985
2	1.3908	718.992
3	1.3921	718.315
Avg	1.3952	716.764
SD	0.00642	3.2904
Max	1.4026	718.992
Min	1.3908	712.985
Delta	0.0117	6.007
Wk[J]		1027.502



 prototypa

Слика 5.3 Вредности добијене мерном опремом

Measurement Name :
2015-08-20_T 9-1 STANAG 1

Round	4 (V30)	
	Time [ms]	Velocity [m/s]
1	1.0708	933.867
2	1.0894	917.959
3	1.0677	936.597
Avg	1.0760	929.474
SD	0.01172	10.0654
Max	1.0894	936.597
Min	1.0677	917.959
Delta	0.0217	18.638
Wk[J]		1727.845



Слика 5.4 Вредности добијене мерном опремом

Measurement Name :
2015-08-20_T 10-1STANAG 1

Round	4 (V10)	
	Time [ms]	Velocity [m/s]
1	1.0663	937.853
2	1.0762	929.167
3	1.0594	943.948
Avg	1.0673	936.989
SD	0.00847	7.4284
Max	1.0762	943.948
Min	1.0594	929.167
Delta	0.0169	14.781
Wk[J]		1755.898



Слика 5.6 Вредности добијене мерном опремом

Measurement Name :
2015-08-20_T 11-1 STANAG 2

Round	4 (V10)	
	Time [ms]	Velocity [m/s]
1	1.4156	706.437
2	1.3987	714.974
3	1.3998	714.373
Avg	1.4047	711.928
SD	0.00944	4.7644
Max	1.4156	714.974
Min	1.3987	706.437
Delta	0.0169	8.536
Wk[J]		1013.683



Слика 5.7 Вредности добијене мерном опремом

Measurement Name :

2015-08-20_T 12-1 STANAG 2

4 (V30)		
Round	Time [ms]	Velocity [m/s]
1	1.3894	719.710
2	1.4131	707.664
3	1.4084	710.005
Avg	1.4037	712.459
SD	0.01253	6.3873
Max	1.4131	719.710
Min	1.3894	707.664
Delta	0.0237	12.046
Wk[J]		1015.197



Слика 5.8 Вредности добијене мерном опремом

Measurement Name :

2015-08-20_T 9-1+ 3-1 STANAG 3

4 (V10)		
Round	Time [ms]	Velocity [m/s]
1	1.1861	843.079
2	1.1668	857.021
3	1.1595	862.439
Avg	1.1708	854.180
SD	0.01375	9.9878
Max	1.1861	862.439
Min	1.1595	843.079
Delta	0.0266	19.360
Wk[J]		1459.246



Прилог 2

Табела 5.1 ARMOX 500T STANAG 7.62x39 API

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина (заштитио)	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.12	0.0762	0.00755	695	1796
Euler	1	0.5	0.5	0.12	0.0762	0.00755	695	1823
Nobble	0.5	1	0.5	0.12	0.0762	0.00755	695	2288
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.12	0.0762	0.00755	695	1969

Табела 5.2 ARMOX 500T STANAG 7.62x51 M80

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина (заштитио)	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.085	0.0762	0.0098	833	3176
Euler	1	0.5	0.5	0.085	0.0762	0.0098	833	3514
Nobble	0.5	1	0.5	0.085	0.0762	0.0098	833	3712
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.085	0.0762	0.0098	833	3580

Табела 5.3 ARMOX 500T STANAG 5.56x45 SS109

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина (заштитио)	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.085	0.0556	0.004	900	2733
Euler	1	0.5	0.5	0.085	0.0556	0.004	900	2840
Nobble	0.5	1	0.5	0.085	0.0556	0.004	900	3511
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.085	0.0556	0.004	900	3052

Табела 5.4 ARMOX 500T STANAG 5.56x45 M193

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина (заштитио)	Опитни коефицијент
	n	p	q	e (dm)	d (dm)	m (kg)	V (m/s)	K
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.085	0.0556	0.00324	937	2561
Euler	1	0.5	0.5	0.085	0.0556	0.00324	937	2661
Nobble	0.5	1	0.5	0.085	0.0556	0.00324	937	3290
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.085	0.0556	0.00324	937	2860

Табела 5.5 PROTAC 500 VPAM .308 Winchester (7.62x51)

Аутор	Експоненти			Дебљина плоче	Калибар	Маса зрна	Брзина (заштитио)	Опитни коефицијент
	n	p	q					
J.de Marre	0.75	0.7	0.5	0.208	0.0762	0.0084	931	1679
Euler	1	0.5	0.5	0.208	0.0762	0.0084	931	1486
Nobble	0.5	1	0.5	0.208	0.0762	0.0084	931	2455
Krupp	0.83	0.67	0.5	0.208	0.0762	0.0084	931	1763

Прилог 3

Слика 5.9 VPAM Стандард



VPAM Prüfrichtlinie APR 2006



Prüfstufen VPAM APR 2006	Anwendung bei		Zum Vergleich *)		Waffenart (Beispiele)	Patrone	Angaben zur Prüfmunition				Auszüge aus den Prüfbedingungen		
	VPAM FM 2007 VPAM BRV 2009 VPAM BSW 2006 VPAM HVN 2009		DIN EN 1052 (SR) DIN EN 1522/23 (FB) VPAM BRV 1999 (VR) STANAG 4509 AEP55 (Laval)				Kaliber	Art	Masse [g] Härte [HRC]	Hersteller / Typ	Schuss- entfernung *) [m]	Geschoss- geschwindigkeit V [m/s]	Geschoss- energie [Joule]
1	PM 1 VR 1	BSW 1 HVN 1	SR 1 FB 1 VR 1 (SRV 1999)				.22 lr	L/RN	2,60 ± 0,1	Winchester	10 ± 0,5	360 ± 10	168
2	PM 2 VR 2	BSW 2 HVN 2					9mm Luger	FMJ/RN/SC verzinkt	8,00 ± 0,1	DAG DM 41	5 ± 0,5	360 ± 10	518
3	PM 3 VR 3	BSW 3 HVN 3	SR 2 FB 2 VR 2 (SRV 1999)				9mm Luger	FMJ/RN/SC (verzinkt)	8,00 ± 0,1	DAG DM 41	5 ± 0,5	415 ± 10	689
4	PM 4 VR 4	BSW 4 HVN 4	SR 3 FB 3 VR 3 (SRV 1999)				.357 Mag.	FMJ/CB/SC	10,20 ± 0,1	Glaco	5 ± 0,5	430 ± 10	943
			SR 4 FB 4 VR 4 (SRV 1999)				.44 Rem. Mag.	FMJ/FN/SC	15,50 ± 0,1	Speer	5 ± 0,5	440 ± 10	1510
5	PM 5 VR 5	BSW 5 HVN 5					.357 Mag.	FMJ/CB	7,10 ± 0,1	DAG Spartal	5 ± 0,5	580 ± 10	1194
6	PM 6 VR 6	BSW 6 HVN 6					7,62 x 39	FMJ/PB/FeC	8,00 ± 0,1 Kern 3,60	M 43	10 ± 0,5	720 ± 10	2074
7	PM 7 VR 7	BSW 7 HVN 7	SR 5 FB 5 VR 5 (SRV 1999)	Stangag Level 1 wenn zusätzlich 6,56 x 45 mm (Typ: M103)			.223 Rem. (5,56 x 45)	FMJ/PB/SCP	4,0 ± 0,1	MEN SS109	10 ± 0,5	960 ± 10	1805
			SR 6 FB 6 VR 6 (SRV 1999)				.308 Win (7,62 x 51)	FMJ/PB/SC	9,55 ± 0,1	MEN DM 111	10 ± 0,5	830 ± 10	3289
8	PM 8 VR 8	BSW 8 HVN 8		Stangag Level 2			7,62 x 39	FMJ/PB/HCI	7,70 ± 0,1 Kern 4,10 Härte 52	BZ	10 ± 0,5	740 ± 10	2108
9	PM 9 VR 9	BSW 9 HVN 9	SR 7 FB 7 VR 7 (SRV 1999)				.308 Win (7,62 x 51)	FMJ/PB/HCI	9,70 ± 0,2 Kern 4,00 ± 0,1 Härte 52 ± 2	MEN/CSC FNB 80	10 ± 0,5	820 ± 10	3261
10	PM 10 VR 10	BSW 10 HVN 10		Stangag Level 3			7,62 x 54 R	FMJ/PB/HCI	10,40 ± 0,1 Kern 5,30 Härte 53	B 32	10 ± 0,5	860 ± 10	3846
11	PM 11	BSW 11 HVN 11					.308 Win (7,62 x 51)	FMJ/PBW C	8,40 ± 0,1 Kern 5,90	Nammo AP 8	10 ± 0,5	930 ± 10	3633
12	PM 12	BSW 12 HVN 12					.308 Win (7,62 x 51)	FMJ/PBW C	12,70 ± 0,1 Kern 5,00 Härte 1300/140 10	Ruag SWISS P AP	10 ± 0,5	810 ± 10	4166
13	PM 13	BSW 13 HVN 13					.50 Browning (12,7 x 99)	FMJ/PB/HCI	43,00 ± 0,5 Kern 25,30 Härte 52 ± 2	Ruag SWISS P	nicht vorgegeben	930 ± 20	18595
14	PM 14	BSW 14 HVN 14		Stangag Level 4 wenn zusätzlich 20 mm P8P			14,5 x 114	FMJ/PB/HCI	63,40 ± 0,5	B 32	nicht vorgegeben	911 ± 20	26308

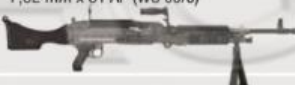
*) Die Normen DIN EN 1052 (Sonderverglasung im Bauwesen) und DIN EN 1522/23 (Fender und Türen) sowie STANAG 4509 AEP 55 und VPAM BRV 1999 sind zum Vergleich angeführt. Anforderungen und Prüfbedingungen sind teilweise von der VPAM abweichend.

**) Sofern es hinsichtlich Geschossenergie, Penetration und Aufschlagpunkt notwendig ist, kann die Schussanforderung bei den Prüfstufen 1-12 angepasst werden.

FMJ: Stahlgewehrpatrone, FMJ: Kupfer-Vollmetall, CB: Kugelkopf, FN: Spitzkopf, FB: Flachkopf, L: Vollblei, SC: Blei-Wachskern, FeC: Eisen-Kern, SCP: Blei-Wachskern mit Stahlpanzer, HC: Stahlhaken, WC: Wolframkernteil, FMs: Vollmetall, I: Incendiar (Brandstift)

Beschussamt Ulm - Albstraße 74 - D-89081 Ulm
 0731 / 96851-0 beschussamt@rpt.bwl.de www.beschussamt-ulm.de www.vpam.eu

Слика 5.10 STANAG Стандарт

NATO STANAG 4569									
LEVEL	KE THREAT				LEVEL	KE THREAT			
	Ammunition	Vproof (m/s) ±20m/s	Azimuth	Elev.		Ammunition	Vproof (m/s) ±20m/s	Azimuth	Elev.
1	7,62 mm x 51 NATO ball 	833	0 – 360°	0 – 30°	2	7,62 mm x 39 API BZ 	695	0 – 360°	0 – 30°
	5,56 mm x 45 NATO SS109 	900			3	7,62 mm x 54R B32 API 	854	0 – 360°	0 – 30°
	5,56 mm x 45 M193 	937			4	7,62 mm x 51 AP (WC core) 	930		
								14,5 mm x 114 API/B32 	911