

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета одбране у Београду

Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Унутрашње балистичко пројектовање

Број индекса: 320/2018



Јована М. Милутиновић

**КРЕИРАЊЕ СИСТЕМА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО
ОДРЕЂИВАЊЕ ПАРАМЕТАРА ПОЧЕТНЕ БРЗИНЕ
ПРОЈЕКТИЛА**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др пп Небојша Христов, дипл. инж

Датум одбране: _____

2. _____

Оцена: _____

3. _____

Крагујевац, 2019.године

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

1. Изврши класификацију средстава за регистровање почетне брзине
2. Опише математичке моделе за креирање система
3. Опише софтверско решење са програмом који је креиран
4. Изврши прорачун одређивања почетне брзине пројектила балистичким клатном
5. Изврши поређење резултата са измереним вредностима хронографа

Препоручена литература

1. Церовић П., Суботић З., Зауоставна моћ пројектила као елемент оптимизације избора калибра стрељачког оружја и муниције у развоју, ОТЕХ 2007, Београд 2007.
2. Светлана Марковић, Компаративна анализа метода одређивања дејства на циљу модела стрељачког наоружања, дипломски рад N-321, Војна академија, Београд, 2017,
3. Вукашина Мартиновић, Експериментално испитивање и анализа дејства пројектила малих калибра на циљу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.

У Крагујевцу, 2019.

Ментор:

др пп Небојша Христов, дипл. инж

Резиме:

У оквиру рада је описан значај почетне брзине пројектила, средства за регистровање почетне брзине, као и конструкција система балистичког клатна. Затим су дати математички модели за креирање система, где се до података за математичке моделе долази преко софтверског решења програма Ардуино који је коришћен у овом раду. Применом приближне методе добијају се вредности почетне брзине које се упоређују са вредностима почетне брзине добијене хронографом. Разлика у брзинама одређена је процентуално.

Summary:

The paper describes the importance of the initial velocity of the projectile, the means of recording the initial velocity as well as the construction of the ballistic pendulum. Then mathematical models are given to create the system, the data for the mathematical models is obtained through a software solution using the Arduino software used in this work. Using the approximate method, the initial velocity values are obtained which are compared with the initial velocity values obtained by the chronograph. The difference in speeds is determined as a percentage.

САДРЖАЈ:

1. Увод.....	5
2. Средства за регистровање почетне брзине.....	6
2.1. Метода рамова	6
2.2. Електромагнетна метода.....	7
2.3. Фотоелектрична метода	7
2.4. Врсте хронографа	9
2.4.1. Хорнед.....	9
2.4.2. Оквир хронограф.....	10
2.5. Балистичко клатно.....	10
2.5.1. Креирање система балистичког клатна	14
3. Математички модели за креирање система.....	17
3.1. Приближни метод.....	17
3.2. Егзактни метод.....	18
4. Софтверско решење са деловима програма који је креиран	21
4.1. Микропроцесорска платформа.....	23
4.2. Енкодер.....	24
4.2.1. Обрада сигнала добијених са енкодера	25
5. Регистровање и прорачун брзине пројектила балистичким клатном	26
5.1. Испитивање	26
6. Поређење резултата са измереним вредностима хронографом и анализа	31
7. Закључак.....	33
Литература:	34
Прилог	35

1. Увод

Балистика је наука о кретању пројектила под дејством погонског пуњења. Дели се на унутрашњу и спољну балистику. Унутрашња балистика проучава појаве и процесе који се одигравају унутар цеви, динамичке и термодинамичке карактеристике погонског пуњења. Спољна балистика проучава кретање пројектила од тренутка напуштања уређаја за лансирање (цеви, лансера) до завршне тачке лета. И за унутрашњу и за спољну балистику почетна брзина пројектила представља релевантан балистички параметар.

Почетна брзина пројектила представља битан аспект у оквиру балистичких карактеристика, јер већина осталих карактеристика као што су стабилност лета, дomet, пробојност и дејство пројектила на циљ зависе од ње. Почетна брзина пројектила представља тренутак када пројектил својим задњим пресеком напушта уста цеви. Код класичних пројектила се почетна брзина усваја и као максимална брзина, разлика може бити до 2%, а код реактивних пројектила се она узима као стартна брзина.

За мерење почетне брзине, у зависности од примењене методе заснива се на временском интервалу Δt за који пројектил пређе познато растојање L између две препреке. Када су обе величине познате, лако се може одредити средња брзина $v_{0sr} = \frac{L}{\Delta t}$. Услов да је $v_{0sr} \rightarrow v_0$ јесте уколико је вредност пређеног пута L довољно мала. Методе које се користе за мерење почетне брзине се деле према начину функционисања рада баријера.

Поред ове методе постоје и друге методе за одређивање почетне брзине пројектила. Једна од тих метода је одређивање кинетичке енергије пројектила познате масе на устима цеви. Управо примена ове методе је тема овог рада.

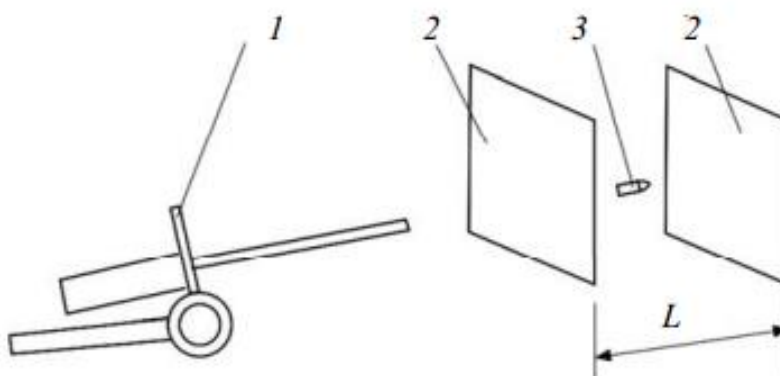
2. Средства за регистровање почетне брзине

Методе које се користе за одређивање почетне брзине пројектила су следеће:

- 1) Метода рамова;
- 2) Електромагнетна метода;
- 3) Фотоелектрична метода;
- 4) Радиоинтерферометријска метода;
- 5) Метода балистичког клатна.

2.1. Метода рамова

Прво примењивана метода је била метода рамова, принцип функционисања се заснивао на рамовима који су заправо представљали баријере. Рамови су имали танке мерилне мембране, а растојање између рамова је било мање од калибра пројектила који се испитивао. Након постављања рамова потребно је било мембране рамова прикључити у електрично коло осцилоскопа или хронометра, ово се вршило како би се могло детектовати време проласка кроз мембране. Примењивањем ове методе добијало се растојање између баријера као и тачно време проласка, самим тим на основу обрасца који је споменут раније се једноставно може израчунати средња почетна брзина пројектила. На слици 1 се може видети шема методе рамова.

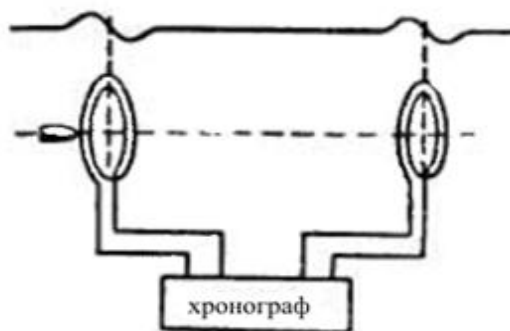


Слика 1. Шема методе рамова[1]

1 – оружје-оружје, 2 – рамови за регистровање проласка, 3 – пројектил

2.2. Електромагнетна метода

Електромагнетна метода се, као и што само име каже, заснива се на основама електромагнетних поља или фотоефеката. Пролазак пројектила се детектује кроз електромагнетно поље соленоида и услед својих особина, односно магнетних активности, мења параметре електромагнетног поља, чиме се ствара електромагнетна сила, која се може детектовати хронографом. Међутим, недостатак ове методе је што се детектују само проласци пројектила од магнетно фероактивних материјала, самим тим примена новијих материјала као што су неке врсте композитних и керамичких материјала за израду специјалних врста пројектила неће бити детектовани. На слици 2 је приказана шема електромагнетне методе.



Слика 2. Шема електромагнетне методе [1]

2.3. Фотоелектрична метода

Метода заснована на детектовању тренутка проласка прекидањем светлосног снопа површином пројектила представља фотоелектричну методу. Оно што одликује ову методу, а самим тим представља и предност у односу на претходне методе, јесте висока прецизност и брзина, а може се и примењивати за мерење брзине пројектила од различитих материјала (укључујући и неметале). Што се тиче спектра таласних дужина, примењују се различити спектри као и поларитети светлости, од видљивог спектра, инфрацрвене, ласерски извори и сл. Услов за овакву методу и постављање ових баријера јесте интензитет осветљености, могу се користити и вештачки извори светлости (различити рефлектори), могу се користити у затвореном простору (лабораторијама), као и на отвореним полигонима.

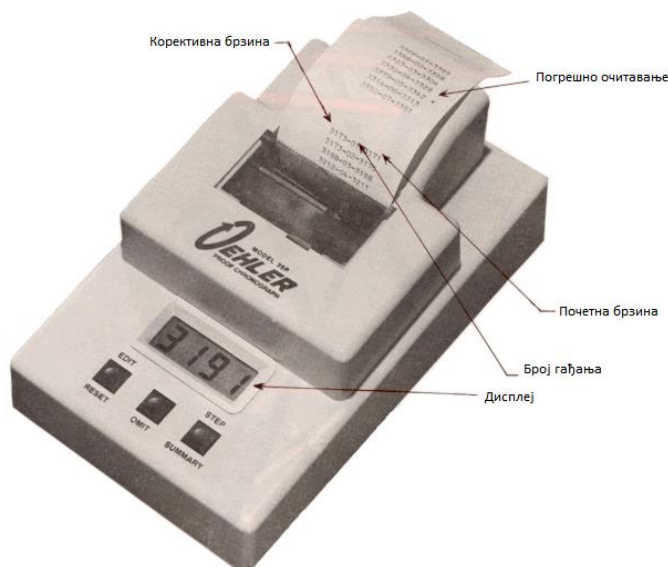
Један од уређаја који функционише на принципу фотоелектричне методе јесте хронограф. Он обично поседује две фотоелектричне баријере, а по потреби се може поставити и трећа, она омогућава одређивање две брзине, упоређивање тих брзина и одређена упозорења о уоченој грешци. Мерни уређаји засновани на оваквом раду су

једноставне конфигурације и директно интегрисани са софтверским микропроцесором преко ког се врши директно читавање измерених података са егзактним показатељима екстремних вредности, усредњене вредности, стандардне девијације и процентуалним одступањима, што веома олакшава њихову примену. На слици 3 је приказана једна врста хронографа марке Oehler 35 P.



Слика 3. Хронограф Oehler 35 P[1]

Како би се лакше читавали подаци, хронограф садржи такозвани штампач који се уграђује како би се на њему извршило читавање података. Штампач са дисплејом је приказан на слици 4.



Слика 4. Штампач са дисплејем [1]

Поред наведених примера и метода у слободној продаји се могу наћи неке врсте хронографа помоћу којих купци одређених оружја могу да провере тачност декларације произвођача, односно да утврде тачну почетну брзину оружја. Који је принцип функционисања овог уређаја који представља неку врсту камере? Принцип је следећи: пројектил пролази кроз два оквира хронографа, а оперативни принцип уређаја односи се на укупну количину генератора импулса (који мери време лета пројектила између предњег и последњег оквира). Како би се израчунало време лета, потребно је број импулса поделити са осцилаторном фреквенцијом, а брзина пројектила се може добити дељењем растојања у метрима између првог и последњег оквира кроз одређени тренутак у секундама. Мерењем брзине пројектила у лету ваздушне пушке, потребно је размотрити неке од чињеница које имају утицај на њено кретање. То су: ниво притиска у цилиндру, маса пројектила, материјал пројектила, хабање цилиндра, температурни услови. Приликом вршења мерења препоручује се састављање балистичких табела, које помажу да се изврше одређене корекције које су потребне.

2.4. Врсте хронографа

2.4.1. Хорнед

Главне предности овог типа хронографа су приступачна цена и једноставна употреба, такође је и погодан за било који тип ваздушног оружја. Недостатак му је што при коришћењу из руке постоје непрецизности у мерењима. Разлог томе је динамичка позиција оружја у односу на осу уређаја. На слици 5 је приказана ова врста хронографа.



Слика 5. Хорнед хронограф [2]

2.4.2. Оквир хронограф

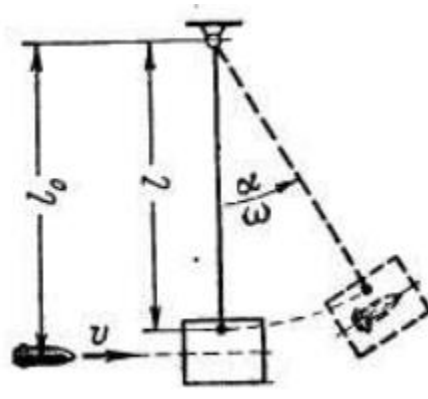
Изглед овог хронографа је у облику запреминске металне структуре са два зида. Пројектил пролази кроз ова два зида, уређај мери брзину пројектила преко растојања баријера и показује резултат на екрану. Главна предност му је компатибилност са свим врстама ватреног и ваздушног оружја и могућност обављања мерења на различитим растојањима. Међутим, недостатак му је мала површина баријера хронографа. На слици 6 је приказан овај хронограф.



Слика 6. Оквир хронограф [2]

2.5. Балистичко клатно

Поред свих поменутих метода, могуће је вршење мерења почетне брзине и на основу закона одржања енергије тј. одређивање кинетичке енергије пројектила. Једна од најпознатијих и настаријих метода јесте примена балистичког клатна (слика 7).

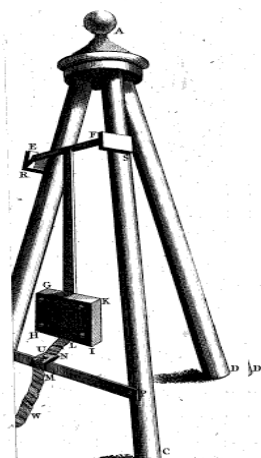


Слика 7. Балистичко клатно [1]

Помоћу балистичког клатна се мерењем момента пројектила може добити брзина и кинетичка енергија. Са појавом савременијих уређаја, као што су споменути хронографи, употреба балистичког клатна је знатно смањена. Први конструктор је био Бенџамин Робинс у 18 веку. Принцип функционисања балистичког клатна је следећи: испаљени пројектил погађа шупљи цилиндар, који је напуњен пластичном масом, песком или глином. Цилиндар је повезан за осовину која је покретна и монтирана у лежајевима (као клатно), тако да може да се заокреће напред – назад. Када пројектил удари у цилиндар, он се заокрене за одређени угао, који се читава на скали, на основу чега се може прерачунати брзина зрна.

Као што је већ споменуто, након судара (пројектила са клатном) долази до осциловања, а потенцијална енергија се добија на основу достигнуте висине клатна. Ова потенцијална енергија је иста као и кинетичка енергија у тренутку судара. Међутим, кинетичка енергија клатна након судара није једнака кинетичкој енергији пре судара, што није случај са моментом. Код момента је другачија ситуација, односно момент пројектила пре судара је једнак моменту клатна након судара. Након одређивања момента и масе пројектила, лако се може одредити и његова почетна брзина.

На више начина се може вршити угао отклона код балистичког клатна. Конструктор првог балистичког клатна Бенџамин Робинс је на свом моделу поставио траку кроз прорез, при чему је дужина повучене траке једнака луку осциловања плоче. Замисао је била да на основу дужине лука, може да се израчуна вертикално померање плоче и самим тим добије и промена потенцијалне енергије, што се може видети на слици 8.



Слика 8. Балистичко клатно са траком [6]

Поред ове методе, касније су се појавиле неке савременије методе тј. неки електронски уређаји који функционишу на принципу промене угла у временском домену који се називају инклинометри или електронске либеле. Инклинометар (приказан на слици 9) функционише тако што се поставља на ослонцу клатна који је повезан са котрљајним лежајем. Спада у групу микросистема, односно састоји се од микро масе која виси на еластичној вези. Функционише тако што са променом угла сензора долази до померања тега, који условљава промену капацитивности, а мерни опсег је $\pm 90^\circ$ са резулацијом регистровања 0.05° .



Слика 9. Инклинометар SST810 Vigor [6]

Поред угла са инклинометром се могу детектовати и осцилације клатна, као и њихова амплитуда. Помоћу тога се може добити брзина пројектила на основу протеклог времена од почетка осциловања до достигнуте амплитуде и угла отклона:

$$\omega = \frac{\theta}{t},$$

$$v = \omega \cdot R_b,$$

$$v_p = \frac{M}{m_d} \cdot \omega \cdot R_b,$$

где су:

v_p – брзина пројектила,

v – брзина клатна,

M – комбинована маса клатна и пројектила,

m_d – маса пројектила и

R_b – растојање од тачке вешања до тачке удара.

Поред споменутих уређаја, за регистровање отклона клатна се могу користити и савремене брзе камере. На слици 10 приказан је један пример такве камере. Њена предност у односу на обичне камере је могућност снимања далеко већом брзином што омогућава снимање свих кретања великих брзина.



Слика 10. Брза камера Fps 1000 HD [1]

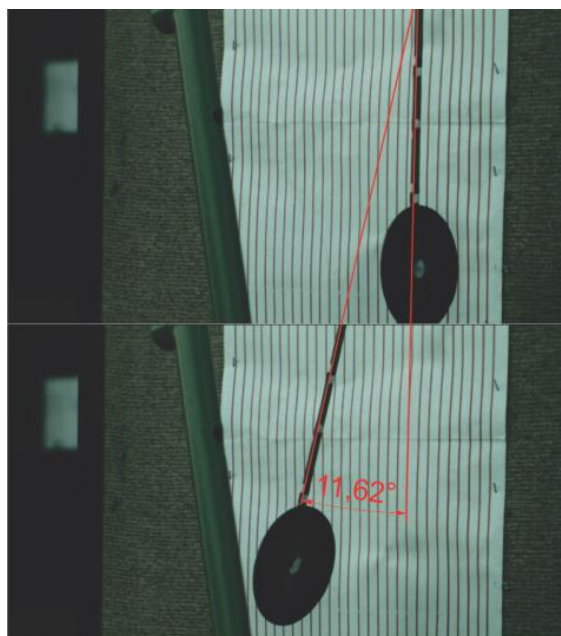
Што се тиче самих ознака у називу камере, оне представљају карактеристике те камере. У овом случају Fps представља број слика по секунди, што значи да ова камера бележи око 1000 фотографија по секунди, док је код обичних камера тај број око 30 – 60. Из тог разлога њена предност је што се приликом толико великог броја фотографија може уочити и ако дође до промене неког најситнијег детаља. Наравно, поред својих предности, ова камера има и одређене недостатке који се огледају у обезбеђивању велике количине меморије како би се сачувала толика количина фотографија.

Након прикупљених снимака одређује се тренутак удара и покретање клатна као и завршни фрејм крајњег положаја клатна, тако да се на основу тога може одредити време кретања клатна, као и угао отклоне. Време кретања једнако је:

$$t = n_2 - n_1 ,$$

где су n_1 , n_2 фрејм удара и крајњег положаја.

Самим тим, упоређивањем крајњег и почетног положаја, долази се до величине угла отклоне клатна што се може видети на слици 11. Када су познати угао отклоне и време кретања може се израчунати средња угаона брзина клатна, на основу чега се може доћи и до брзине клатна, односно пројектила. У овом раду се као модел користи енкодер за регистровање брзине.



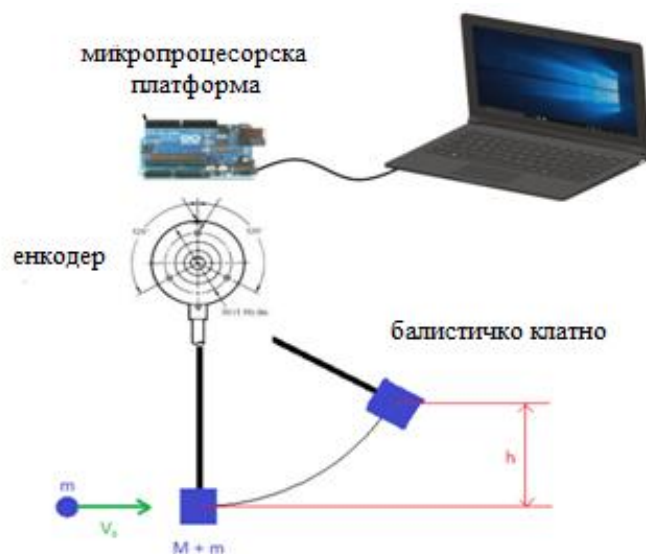
Слика 11. Почетни и крајњи положај клатна [1]

2.5.1. Креирање система балистичког клатна

За потребе пројектовања балистичког клатна, потребно је било одрадити одређене делове по одговарајућим димензијама. Поред направљених делова, потребна је била и набавка одређених електронских уређаја како би цео склоп система функционисао.

Систем се састоји од:

- 1) рама,
- 2) посуде са глином,
- 3) полуге,
- 4) микропроцесорске платформе и
- 5) енкодера.



2.5.1.1. Рам

При пројектовању овог система, рам заузима позицију носеће конструкције, већина осталих делова је различитом везом причвршћена за рам. Рам је облика правоугаоника, тако да може бити постављен у вертикалном положају тј. рам је тако и постављен, док се остали делови монтирају на рам у том облику. Рам је конструисан тако да оптимизује габарите лако је преносив и применљив на различитим локацијама.



Слика 13. Рам конструкције

2.5.1.2. Посуда са глином

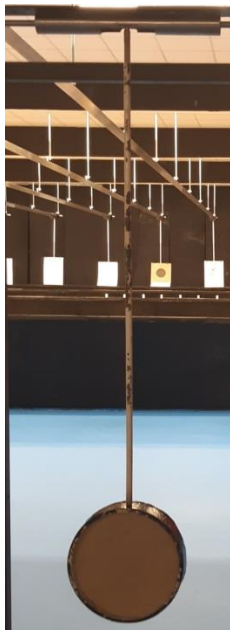
Облик посуде је најближи облику чаше. Посуда је следећих димензија: пречник 150 mm, дубина посуде 50 mm, а дебљина дна и зидова по 5 mm. Посуда је направљена од челичне цеви наведеног пречника, док је дно заварено. Веза посуде са ослоном осовином је остварена преко полуге са навојним везама. Посуда се пуни глином, из разлога добијања тачности резултата приликом испитивања система. Због свог специфичног састава и структуре, пројектили приликом испљивања остају у глини и на тај начин долази до осциловања посуде и полуге, а даљом применом осталих делова система и до жељених резултата.



Слика 14. Посуда са глином

2.5.1.3. Полуга

Полуга служи за спајање посуде са осовином у ослонцима рама. Веома је једноставне конструкције, димежија од 1000 mm и пречника 5 mm. Материјал полуге је челик.



Слика 15. Полуга

2.5.1.4. Осовина са ослонцима

Положај осовине са ослонцима је на раму, са овом осовином се врши повезивање између полуге и енкодера, што се може видети на слици 16.



Слика 16. Осовина са ослонцима

3. Математички модели за креирање система

Применом балистичког клатна могуће су две методе одређивања брзине:

- 1) приближни метод и
- 2) егзактни метод.

3.1. Приближни метод

На основу познате масе клатна и пројектила, као и гравитационог убрзања могуће је прерачунати потенцијалну енергију клатна у највишој тачки осциловања:

$$\Delta E_p = M \cdot g \cdot \Delta h ,$$

при чему је:

$$\Delta h = R(1 - \cos\theta),$$

где су:

M – комбинована маса клатна и пројектила,

g – гравитационо убрзање,

Δh – промена висине и

R – растојање од тачке вешања до центра масе клатна.

Када се у изразу за потенцијалну енергију примени израз за промену висине, добија се следећи израз:

$$\Delta E_p = M \cdot g \cdot R(1 - \cos\theta).$$

Одмах након судара ова потенцијална енергија једнака је кинетичкој енергији клатна:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_p^2 ,$$

где је v_p^2 брзина кретања клатна након судара на квадрат.

Израз за момент клатна након судара је:

$$P_p = M \cdot n \cdot P .$$

У једначини за кинетичку енергију се може применити израз за момент, након чега се добија следећи израз:

$$E_k = \frac{P_p^2}{2 \cdot M}.$$

Даљим решавањем једнакости добија се:

$$P_p = \sqrt{2 \cdot M \cdot E_k}.$$

Такође, момент клатна након судара једнак је моменту пројектила пре судара:

$$P_b = m \cdot v_b.$$

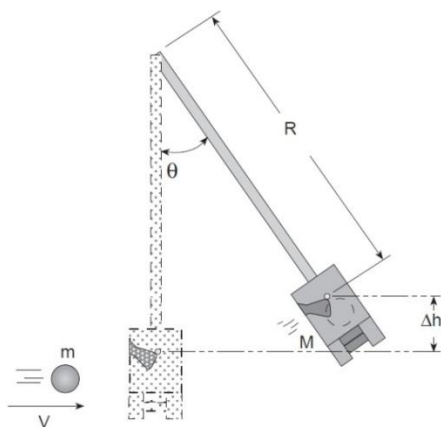
Након изједначавања једначина за моменте и заменом кинетичке енергије потенцијалном добија се следећи израз:

$$m \cdot v_b = \sqrt{2 \cdot M^2 \cdot g \cdot R \cdot (1 - \cos\theta)}.$$

Из ове једнакости се може представити израз за почетну брзину:

$$v_b = \frac{M}{m} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot R \cdot (1 - \cos\theta)}.$$

На слици 17 је приказано графички шта се дешава када дође до судара пројектила са клатном.



Слика 17. Графички приказ судара пројектила са клатном [1]

3.2. Егзактни метод

Израз за потенцијалну енергију се добија на исти начин као и код приближног метода:

$$\Delta E_p = M \cdot g \cdot \Delta h,$$

при чему је:

$$\Delta h = R(1 - \cos\theta),$$

где су:

M – комбинована маса клатна и пројектила,

g – гравитационо убрзање,

Δh – промена висине и

R – растојање од тачке вешања до центра масе клатна.

Међутим, код ове методе се израз за кинетичку енергију базира на једнакошћу за ротациону кинетичку енергију:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2,$$

где је I момент инерције тела.

Израз за момент количине кретања клатна једнак је:

$$L_p = I \cdot \omega.$$

Затим израз за момент количине кретања клатна се замени у изразу за кинетичку енергију:

$$E_k = \frac{L_p^2}{2 \cdot I},$$

одакле следи да је:

$$L_p = \sqrt{2 \cdot I \cdot E_k}.$$

Код егзактне методе момент количине кретања клатна једнак је моменту количине кретања пројектила пре судара:

$$L_b = m \cdot R_b^2 \cdot \omega = m \cdot R_b \cdot v,$$

где је R_b растојање између тачке вешања и пројектила.

Пошто су ова два момента једнака за њих важи следећа једнакост:

$$m \cdot R_b \cdot v = \sqrt{2 \cdot I \cdot M \cdot g \cdot R \cdot (1 - \cos\theta)},$$

$$v = \frac{1}{m \cdot R_b} \cdot \sqrt{2 \cdot I \cdot M \cdot g \cdot R \cdot (1 - \cos\theta)}.$$

Потребно је одредити момент инерције I , а на основу другог Њутновог закона познато је:

$$I \cdot \alpha = -R \cdot M \cdot g \cdot \sin\theta ,$$

где су:

I – обртни момент и

α – угаоно убрзање.

Сила у центру масе клатна једнака је $M \cdot g$, а компонента те силе у правцу осциловања клатна је:

$$F = -M \cdot g \cdot \sin\theta ,$$

одакле следи једнакост обртног момента:

$$I \cdot \alpha = -R \cdot M \cdot g \cdot \sin\theta .$$

Када су у питању мали углови θ , важи да је $\sin\theta \approx \theta$, на основу тога се добија:

$$\alpha \approx -\frac{M \cdot g \cdot R}{I} \cdot \theta ,$$

пошто је:

$$\alpha = -\omega^2 \cdot x .$$

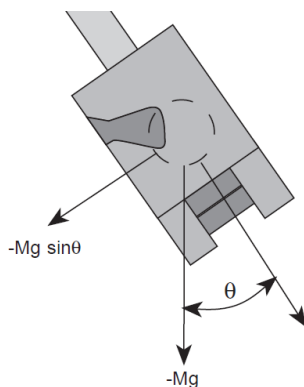
Упоређивањем претходне две једначине добија се следећи израз:

$$\omega^2 = \frac{M \cdot g \cdot R}{I} .$$

Даљим решавањем ове једначине, може се добити једнакост за момент инерције I :

$$I = \frac{M \cdot g \cdot R}{\omega^2} = \frac{M \cdot g \cdot R \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2} ,$$

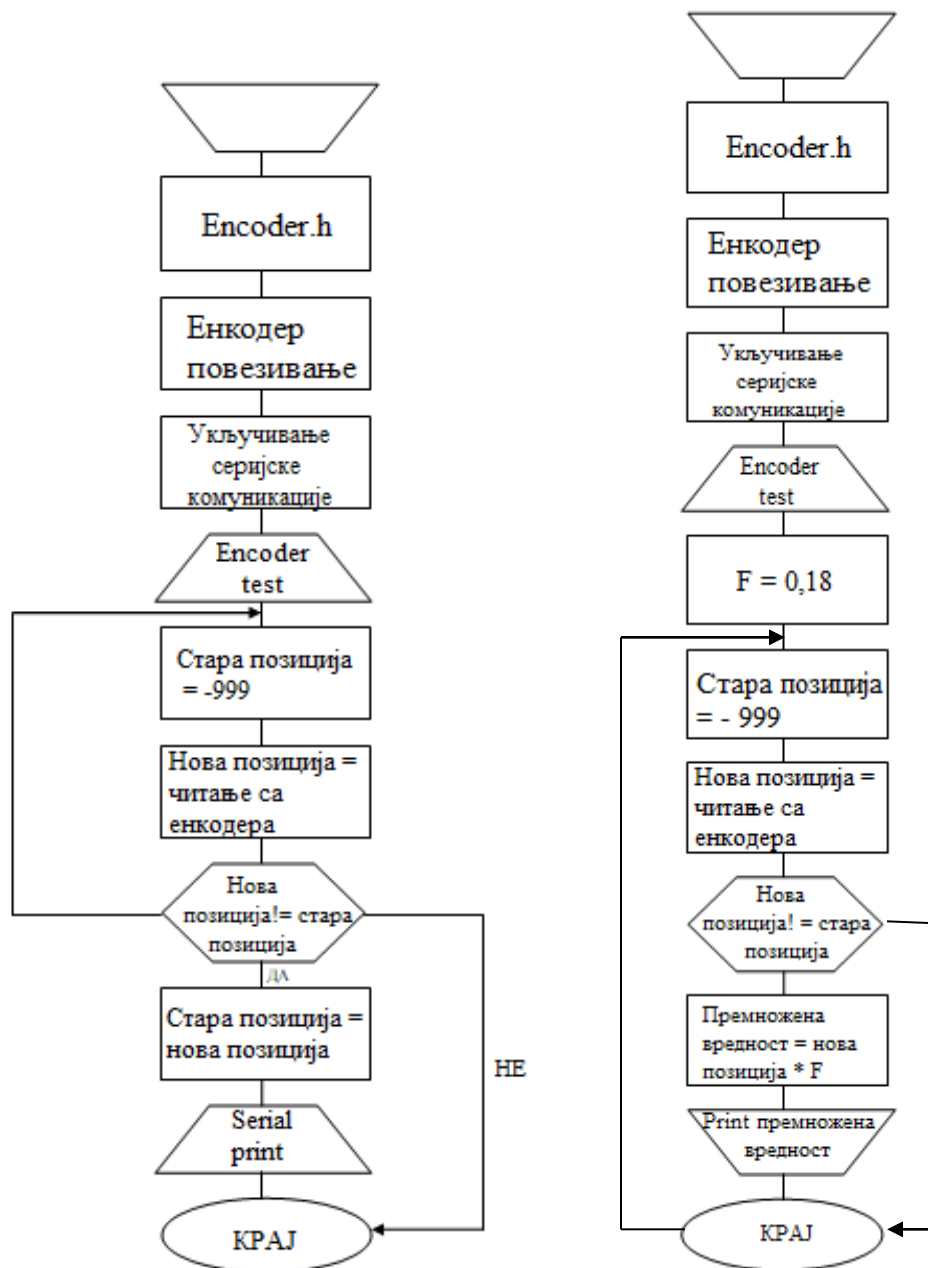
где је T период клатна.

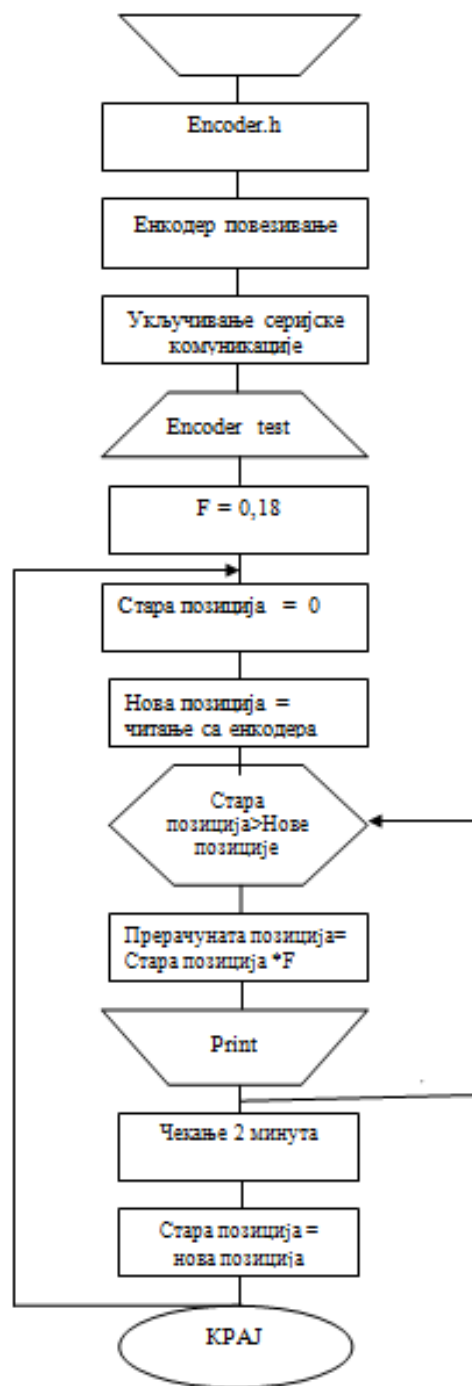


Слика 18. Компоненте силе [1]

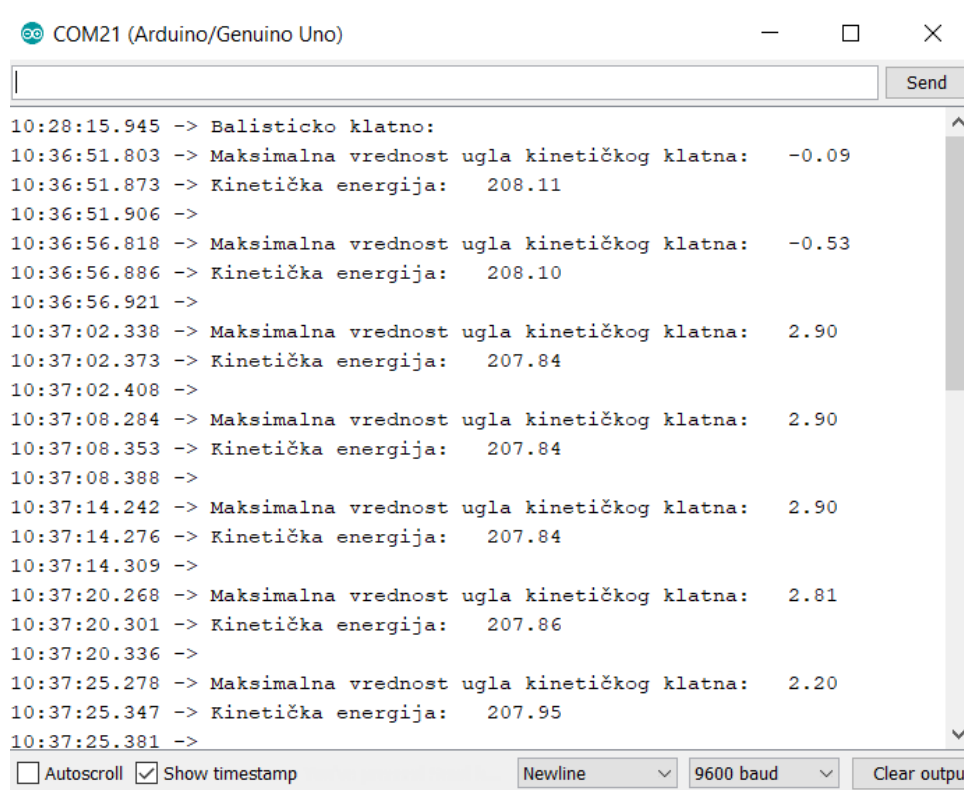
4. Софтверско решење са деловима програма који је креиран

Преко програма Arduino креирано је програмско решење помоћу кога је извршено меморисање ротирања клатна, односно угао. Микропроцесорска платформа ArduinoUno је директно повезана са рачунаром, а другим крајем је повезана са енкодером и на тај начин долази до преноса података о углу до рачунара. Потребно је било креирати алгоритам који ће испратити ротирање клатна. Алгоритми за основни програм:





На слици 19 је приказан изглед окружења програма и на који начин се долази до угла – на рачунару се постави одговарајућа команда у програму, а након испаленог пројектила програм избаци резултате за угао и кинетичку енергију.



The screenshot shows the 'COM21 (Arduino/Genuino Uno)' serial monitor window. The output text is as follows:

```
10:28:15.945 -> Balisticko klatno:
10:36:51.803 -> Maksimalna vrednost ugla kinetičkog klatna: -0.09
10:36:51.873 -> Kinetička energija: 208.11
10:36:51.906 ->
10:36:56.818 -> Maksimalna vrednost ugla kinetičkog klatna: -0.53
10:36:56.886 -> Kinetička energija: 208.10
10:36:56.921 ->
10:37:02.338 -> Maksimalna vrednost ugla kinetičkog klatna: 2.90
10:37:02.373 -> Kinetička energija: 207.84
10:37:02.408 ->
10:37:08.284 -> Maksimalna vrednost ugla kinetičkog klatna: 2.90
10:37:08.353 -> Kinetička energija: 207.84
10:37:08.388 ->
10:37:14.242 -> Maksimalna vrednost ugla kinetičkog klatna: 2.90
10:37:14.276 -> Kinetička energija: 207.84
10:37:14.309 ->
10:37:20.268 -> Maksimalna vrednost ugla kinetičkog klatna: 2.81
10:37:20.301 -> Kinetička energija: 207.86
10:37:20.336 ->
10:37:25.278 -> Maksimalna vrednost ugla kinetičkog klatna: 2.20
10:37:25.347 -> Kinetička energija: 207.95
10:37:25.381 ->
```

At the bottom of the window, the settings are: ☐ Autoscroll, ☒ Show timestamp, Newline (dropdown), 9600 baud (dropdown), and Clear output button.

Слика 19. Излазни подаци у програму [8]

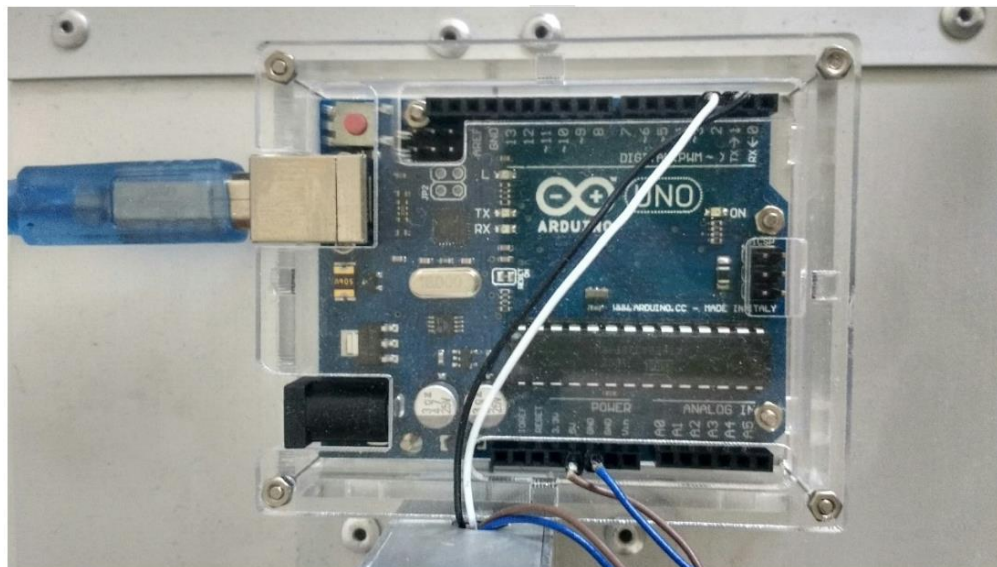
4.1. Микропроцесорска платформа

Као микропроцесорска платформа користи се ArduinoUno. То је микропроцесорска платформа коју је развио Arduino.cc и која је електронска платформа отвореног кода, углавном базирана на AVR микроконтролеру Atmega328.

Први пројекат Arduino покренут је 2003. године у Институту за интерактивни дизајн Ивреа 2003, где су David Cuartielles i Massimo Banzi имали намеру да студентима и стручњацима пруже јефтин и флексибилан начин контроле одређеног броја уређаја у стварном свету.

Тренутна верзија Arduino Uno долази са УСБ интерфејсом, 6 аналогних улазних пинова, 14 И/О дигиталних портова који се користе за повезивање са спољним електронским колама. Од 14 И/О портова, 6 пинова се може користити за ПВМ излаз. То омогућава дизајнерима да контролишу и осете екстерне електронске уређаје у стварном свету. Ова плоча долази са свим функцијама потребним за покретање контролера и може се директно повезати с рачунаром путем УСБ кабла који се користи за пренос кода на контролер помоћу IDE (Integrated Development Environment) софтвера, углавном развијеног за програмирање Arduino. IDE је подједнако компатибилан са Windows, MAC или Linux системима, међутим, боље је користити Windows. Програмски језици као што су C и C++ користе се у IDE-у. Осим УСБ-а, за напајање плоче може се користити и батерија или AC - DC адаптер.

Arduino Uno плоче су прилично сличне другим плочама у Arduino породици у погледу употребе и функционалности, међутим, Uno плоче не долазе са FTDI УСБ Serial драјвером. Доступне су многе верзије Uno плоча, али Arduino Nano V3 и Arduino Uno су најуобичајеније верзије које долазе са Atmega328 8-битним AVR Atmel микроконтролером, где је РАМ меморија 32КВ. Када је природа и функционалност задатка сложена, Микро СД картица се може додати у плоче како би се на тај начин спремило више информација.



Слика 20. Микропроцесорска платформа Arduino Uno[6]

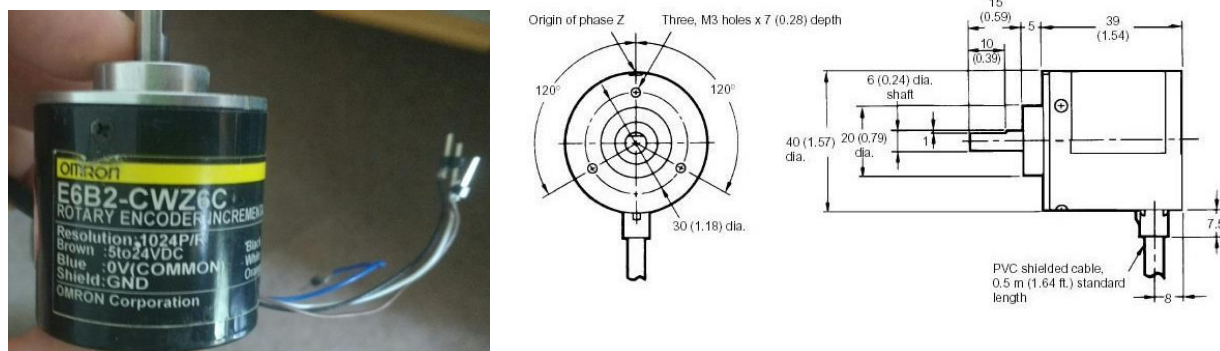
4.2. Енкодер

Енкодери су обртни машински елементи за примену у електротехници и електроници као бројачи обртаја, мерачи угла помераја, регистарски елементи смера обртања итд.

Постоје следеће врсте енкодера:

- инкрементални, који служе за класично бројање обртаја вратила мотора (спојени су на сам мотор неким од модела зупчастих спојева; ови енкодери броје од нуле, па на горе и сваки обртај је нови број импулса; имају различиту резолуцију, рецимо 1000 импулса у минути; да би се одредио број обртаја потребан је бројачки елемент, јер сам енкодер то није);
- декрементални, који служе за бројање са регистровањем смера и могу имати више канала;
- апсолутни, такозвани редувантни енкодери, који служе за мерење угла помераја са памћењем последње позиције (рецимо, уређај је ротирао за 45 степени и ту се задржао обављајући неку функцију; апсолутни енкодер памти да је стао на померају од 45 степени и ако се покрене за још 45 он зна да је тренутно на положају од 90 степени од референтног положаја; то се користи код уређаја код којих би грешка у мерењу била фатална).

Енкодер коришћен за потребе овог система је омрон од 2000 импулса по кругу и спада у групу инкременталних енкодера. Максимална брзина му је од 6000 o/min, док му је фреквенција одзива 0 – 100KHz и функционише на радној температури од 10 до 70° С.



Слика 21. Енкодер Омрон 1024 [7]

Табела 1. Карактеристике енкодера [7]

Произвођач:	OMRON
Тип:	E6B2-CWZ6C
Излазни сигнал:	четвртке
Резолуција:	1024 пулса по ротацији
Улазни напон:	5 -12 VDC
Тип:	инкрементални
Максимална брзина обртаја:	6000 rpm
Дозвољено радијално оптерећење:	5 N
Дозвољено аксијално оптерећење:	3 N
Дужина кабла:	50 cm
Пречник осовине:	6 mm
Фреквенција одзива:	0 – 100 KHz

4.2.1. Обрада сигнала добијених са енкодера

Да би се омогућило управљање погоном помоћу РС рачунара, у лабораторијски модел уграђени су додатни електронски склопови. У рачунар је уграђен склоп за прилагођавање, извршена је оптичка изолација рачунара и инвертора, уграђени су бројачки склопови за мерење ширине и броја импулса давача и остварена веза рачунара са A/D и D/A конверторима.

У рачунар је уграђена картица за прилагођавање по шеми приложеној у упутству за РС – "IBM Technical Reference". Улога ове картице јесте да омогући адресирање елемената на спољним картицама и да пренесе податке у оба смера (од елемента ка процесору и обратно). Микропроцесор компјутера комуницира са картицама преко такозваних улазно – излазних портова. То практично значи да микропроцесор, ако хоће нешто да саопшти хардверу на картици, на адресну магистралу поставља неку адресу и истовремено активира сигнал који се зове IOWR (input/output write), а ако хоће да узима податак са картице, онда уз одређену адресу активира сигнал IORD (input/output read). На тај начин, свака од периферија

добија своје "име" (заправо адресу) по коме ће се одазивати. За потребе прототипских картица IBM је одвојио место на адресама од 300 Hex до 31FHex.

5. Регистровање и прорачун брзине пројектила балистичким клатном

5.1. Испитивање

Након што је завршена комплетна конструкција са свим потребним деловима, извршено је испитивање у просторијама стрељане Војне академије у Београду. За потребе испитивања коришћена је муниција Eley. 22LR (слика 20), која је испаливана ваздушном малокалибарском пушком, јер је циљ испитивања био за мале калибре.



Слика 22. Коришћена муниција

Како би се дошло до прецизнијих резултата, испалиено је више пројектила, тачније 2 серије по 16 пројектила, на основу којих је могуће направити слику погодака и на прави начин утврдити резултати испитивања. Помоћу конструкције балистичког клатна, након сваког испаливања пројектила, добија се угао заокретања клатна, на основу којег се даљим прорачуном може добити почетна брзина. Истовремено при испитивању балистичког клатна коришћен је и већ постојећи хронограф који одмах избацује почетну брзину пројектила, како би се могли упоредити резултати. На следећим сликама можете видети како је изгледало испитивање.



Слика 23. Изглед конструкције балистичког клатна повезаног са рачунаром



Слика 24. Подешавање софтвера након сваког испаљеног пројектила

Преко програма Arduino направљено је програмско решење преко којег се добија вредност угла и кинетичка енергија. Једини недостатак програма је што се мора рестартовати након сваког испаљеног метка, а подаци морају бити сачувани како би се касније извршио прорачун. Поред чуваних података, пратили су се и погодци на мети који су дати у табели и на свакој слици се виде по два нова поготка.

Табела 2. Бележење погодака на мети

I серија	II серија
	





На основу добијеног угла преко софтвера направљеног у програму Arduino могуће је урадити прорачун за почетну брзину приближном методом. Оно што нам је познато јесу одређене димензије које се односе на масу клатна и пројектила, као и одређена растојања. Маса клатна је 5,2 kg, маса пројектила 40 грејна. У табели 3 су дати углови и вредност почетне брзине добијене приближном методом након сваког испаљеног пројектила.

Табела 3. Прорачун почетне брзине преко угла, без коефицијента одступања

	I серија	V _b	II серија	V _b
1.	2,99	321,39	2,46	261,13
2.	2,37	261,13	2,29	241,05
3.	2,20	241,05	2,29	241,05
4.	2,29	241,05	2,29	241,05
5.	2,29	241,05	2,20	241,05
6.	2,55	281,22	2,20	241,05
7.	2,11	241,05	2,37	261,13
8.	2,29	241,05	2,55	281,22
9.	1,93	220,96	2,29	241,05
10.	2,02	221,96	2,37	261,13
11.	2,11	241,05	2,37	261,13
12.	2,11	241,05	2,37	261,13
13.	2,20	241,05	2,02	221,8
14.	2,20	241,05	2,55	281,22
15.	2,11	241,05	2,55	281,22
16.	2,46	261,13	2,64	289,86

Како бисмо утврдили поузданост методе требамо прерачунати колики су губици услед трења, отпора у лежајевима, затим губици услед материјала који је коришћен на месту гађања, а то су глина и гума. У првој серије су се преко глине налазила два слоја гуме, а у другој серији само један слој. Из тог разлога потребно је увести корекцију за коефицијент слабљења. Вредности овог коефицијента дати су у табели 4.

Табела 4. Коефицијент слабљења

	I серија	II серија
1.	0,99	1,24
2.	1,24	1,33
3.	1,32	1,33
4.	1,13	1,35
5.	1,34	1,24
6.	1,33	1,15
7.	1,45	1,34
8.	1,45	1,23
9.	1,33	1,24
10.	1,34	1,23
11.	1,33	1,15
12.	1,23	1,1

Када су добијене вредности коефицијента слабљења, те вредности треба помножити са брзином добијеном приближном методом, како би се могла одредити разлика између брзине добијене прорачуном и брзине коју је хронограф регистровао. Након убацивања коефицијента у једначину за почетну брзину приближном методом, добијене су вредности дате у табели 5.

Табела 5. Вредности почетне брзине са коефицијентом слабљења

	I серија	II серија
1.	318,18	323,8
2.	323	320,6
3.	318,19	320,6
4.	317,78	325,42
5.	323	323,8
6.	320,6	317,79
7.	320,39	323
8.	321,84	321,19
9.	320,6	323,8
10.	323	321,19
11.	320,6	323,4
12.	321,2	318,85

6. Поређење резултата са измереним вредностима хронографом и анализа

Упоредо са мерењем почетне брзине пројектила балистичким клатном, мерила се почетна брзина преко балистичког хронографа OEHLE 35P, који даје тачну вредност, а растојање од баријере до клатна је 7m. Вршене су две серије испитивања од по 16 пројектила. У следећој табели ће бити приказана промена брзине мерене хронографом.

У табели 6 ће бити приказани упоредни резултати почетних брзина, у првој колони ће бити вредности добијене хронографом, а у другој колони ће бити вредности добијене прорачуном.

Табела 6. Упоредни приказ брзине мерене хронографом и добијене прорачуном

	V _х (хронограф)	V (прорачун)	Разлика у процентима
1.	317,2 m/s	318,18 m/s	0,3 %
2.	323,8 m/s	323,8 m/s	0 %
3.	323,4 m/s	323 m/s	0,12 %
4.	319,3 m/s	318,19 m/s	0,35 %
5.	320 m/s	320,6 m/s	0,19 %
6.	317,4 m/s	317,78 m/s	0,12 %
7.	322,1 m/s	323 m/s	0,28 %
8.	321,4 m/s	320,6 m/s	0,25 %
9.	321,3 m/s	320,39 m/s	0,28 %
10.	322,2 m/s	321,84 m/s	0,11 %
11.	321,5 m/s	320,6 m/s	0,28 %
12.	323,3 m/s	323 m/s	0,09 %
13.	322,8 m/s	323 m/s	0,06 %
14.	322,3 m/s	323 m/s	0,22 %
15.	320,9 m/s	320,6 m/s	0,09 %
16.	320,6 m/s	321,2 m/s	0,19 %
17.	324 m/s	323,8 m/s	0,06 %
18.	321,8 m/s	320,6 m/s	0,37 %
19.	321,1 m/s	320,6 m/s	0,16 %
20.	325,8 m/s	325,42 m/s	0,12 %
21.	324,5 m/s	323,8 m/s	0,22 %
22.	323,7 m/s	317,79 m/s	1,83 %
23.	322,3 m/s	323 m/s	0,22 %
24.	320,7 m/s	321,19 m/s	0,15 %
25.	323,8 m/s	323,8 m/s	0 %
26.	320,7 m/s	321,19 m/s	0,15 %
27.	324 m/s	323,4 m/s	0,19 %
28.	319,6 m/s	318,85 m/s	0,23 %

Након добијених резултата и упоредном анализом почетних брзина добијених хронографом и прорачуном приближном методом на основу процената се може видети да грешка мерења помоћу балистичког клатна не прелази 1%. До вредности за грешку мерења се долази тако што се разлика у процентима сабере и на крају тај број се подели са укупним бројем опаљења. Узрок ове грешке може бити разлика у растојању хронографа и балистичког клатна (хронограф је био ближи, па су самим тим и резултати прецизнији).

7. Закључак

Као што је претходно споменуто, овај модел балистичког клатна је првенствено намењен за мерење почетне брзине малокалибарских оружја. Пројектована конструкција не захтева коришћење великог броја делова, а и делови који се користе нису сложене конструкције, што се може и уочити са слика у претходном делу рада. Самим тим једноставност конструкције представља предност овако конструисаног балистичког клатна. Главну улогу у конструкцији представља енкодер, који је заслужан за одређивање угла заокрета, а на основу чега следе и остали прорачуни. Такође, и са аспекта цене, ова конструкција има предности због своје једноставности и делова које је могуће једноставно набавити или направити. Након урађеног прорачуна на основу добијеног угла помоћу приближне методе добијен је коефицијент одступања у односу на вредност мерену хронографом и то одступање је дато у претходном поглављу, а затим је тај коефицијент искоришћен за добијање брзине преко прорачуна. Из табеле 6 се може приметити да вредности добијене хронографом се не разликују много од вредности добијене прорачуном, може се рећи да је грешка око 1%. Може се приметити да је грешка много мања од предвиђене.

Након и током испитивања могло се уочити на који начин је могуће урадити побољшања конструкције, шта треба променити или применити нешто друго. Прво побољшање се огледа у коришћењу глине, тј. уместо глине боље је применити песак или неку врсту гуме како би резултати били још тачнији. Остали делови су углавном оставили добар утисак приликом испитивања. Наравно, могуће је применити бољи енкодер, који ће бити већег капацитета.

У овом примеру примењивана је само једна врста малокалибарског оружја. Како би се добила комплетна слика ефикасности, потребно је извршити тестирање на више врста оружја, а затим се може дати коначна оцена целокупног система.

Још један од утицаја на грешку мерења јесте и коефицијент слабљења, тј. његовим прецизнијим одређивањем би се вероватно добили још прецизнији резултати.

Литература:

- [1] Церовић П., Суботић З., Зауоставна моћ пројектила као елемент оптимизације избора калибра стрељачког оружја и муниције у развоју, ОТЕХ 2007, Београд 2007.
- [2] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model ME-6830/ME-6831,
Roseville 1993,
- [3] СветланаМарковић, Компаративна анализа метода одређивања дејства на циљу модела стрељачког наоружања, дипломски рад N-321, Војна академија, Београд, 2017,
- [4] Вукашина Мартиновић, Експериментално испитивање и анализа дејства пројектила малих калибара на циљу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- [5] <http://kako.rabotavnete.com/struchnak-134/kako-izmeriti-brzinu-metka.html>
- [6] <https://www.controlvoltage.net/arduino-arduino-uno-r3-development-board.html>
- [7] <https://012lab.com/proizvod/rotary-encoder-1024-p-r-quadrature>
- [8] The Application of the Ballistic Pendulum for the Bullets Velocity Measurements

Прилог

Програм који је коришћен је дат у следећем прилогу:

```
/* Encoder Library
 * http://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Encoder.html
 *
 *
 */

#include <Encoder.h>

float kineticka;      //vrednost kinetičke energije koju program izračunava
float potencijalna;   //vrednost potencijalne energije koju program izračunava
float masa = 2154 ; //uneti tačnu masu klatna + proјetila  !!!
float duzina = 5 ;   // uneti vednost dužine klatna!!!
float otpor = 24 ;    //uneti vrednost otpora u ležaju  !!!

// Change these two numbers to the pins connected to your encoder.
// Best Performance: both pins have interrupt capability
// Good Performance: only the first pin has interrupt capability
// Low Performance: neither pin has interrupt capability

Encoder myEnc(2, 3);

// avoid using pins with LEDs attached

void setup() {
```

```
Serial.begin(9600);

Serial.println("Balisticko klatno:");

}

long oldPosition = 0;

void loop() {

    long newPosition = myEnc.read();

    if (newPosition < oldPosition) { //promeniti znak zavisnosti od poloaja klatna
        oldPosition = newPosition;

        float ugao = newPosition / 11.377; //proracunavanje izmerenog ugla promeniti znak po potrebi
        Serial.print("Maksimalna vrednost ugla kinetičkog klatna: ");
        Serial.println(ugao);

        double ugaor =ugao * 3.1459/180; //pretvaranje ugla u radijanima

        potencijalna =masa * 10 * duzina *cos(ugaor); // formula za izracunavanje potencijalne
        energije !!!

        kineticka = potencijalna * otpor;          // formula za izracunavanje kineticke energije !!!
        Serial.print("Kinetička energija: ");
        Serial.println(kineticka);
        Serial.println("");

        delay(5000);          // čekanje programa za novo merenje
    }
}
```

```
newPosition = myEnc.read();  
oldPosition = newPosition;  
}
```