

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: 301/2018

Александра Б. Живковић

**КРЕИРАЊЕ АУТОМАТИЗОВАНОГ СИСТЕМА ЗА
ОДРЕЂИВАЊЕ ПРЕЦИЗНОСТИ И ТАЧНОСТИ
ПОГОДАКА СТРЕЉАЧКОГ НАОРУЖАЊА**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

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

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

**Крагујевац,
септембар 2019. год.**

КРЕИРАЊЕ АУТОМАТИЗОВАНОГ СИСТЕМА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПРЕЦИЗНОСТИ И ТАЧНОСТИ ПОГОДАКА СТРЕЉАЧКОГ НАОРУЖАЊА

Задатак:

Примарни задатак је креирање аутоматизованог система за одређивање тачности и прецизности погодака стрелачког наоружања. Тачност и прецизност су елементарни параметри код обуке и примене наоружања. Аутоматизовани систем ће бити конципиран на основу нематеријалне мете високе резолуције на бази оптоелектронских ИЦ сензора, који су повезани са микропроцесорском платформом за регистровање и обраду података са тачним позиционирањем просторног положаја проласка пројектила. Позициони систем треба да буде сачињен од две оптичке баријере у хоризонталној и вертикалној равни. Одговарајућим алгоритмом ће бити креиран систем за детекцију и регистровање групе погодака, као статистичке вредности примарних параметара тачности и прецизности. Компоненте за израду система су комерцијалне, а на основу задатог алгоритма ће бити креирано софтверско решење за обраду резултата.

Ментор:
пп доцент др Небојша Христов, дипл. инж.

Крагујевац, 2019.

Резиме:

У овом раду је приказан поступак пројектовања нематеријалне мете, на основу које је могуће одредити два најважнија параметара стрелачког оружја, тачност и прецизност. Сама суштина предмета овог рада јесте израда јефтинијег и приступачнијег система за одређивање тачности и прецизности, у односу на постојећа решења.

Кључне речи: тачност, прецизност, ИЦ диода, фототранзистор.

Abstract:

In this paper is presented process of designing non-material target system, for determination two the most important parameters of firearms, accuracy and precision. The essence of the subject is the development of a cheaper and more affordable system for determining accuracy and precision than existing solutions.

Keywords: accuracy, precision, IR diode, phototransistor.

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
2. ПОСТОЈЕЋА РЕШЕЊА	2
3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ.....	3
4. АУТОМАТИЗОВАН СИСТЕМ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПРЕЦИЗНОСТИ И ТАЧНОСТИ ПОГОДАКА СТРЕЉАЧКОГ НАОРУЖАЊА	6
4.1. Предајни сензори.....	7
4.2. Пријемни сензори.....	10
4.3. Микропроцесорска платформа Arduino Due	13
4.4. Хоризонтални и вертикални поларизациони филтер.....	16
4.5. Хоризонтални и вертикални рам	18
4.6. Рачунар	19
4.7. Помоћне компоненте.....	20
5. ПРОГРАМСКА РЕШЕЊА.....	22
6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ	27
ЗАКЉУЧАК	29
ЛИТЕРАТУРА	32
ПРИЛОЗИ.....	33

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Тачност и прецизност су основни параметри који се користе при оцењивању употребе стрелачког оружја. Одређивање наведених параметара ограничено је методама и поузданошћу мерне опреме. Упркос нумеричким и теоријским методама, експериментално одређивање и даље представља најпоузданији и најтачнији поступак одређивања поменутих параметара. Одређивање тачности и прецизности оружја представља стандардни поступак који изводе фабрике наоружања и муниције.

Конвенционалне експерименталне методе се изводе гађањем из стрелачког оружја на материјалну мету. Као резултат добијају се погоци метка на мети. Материјална мета која се користи при опитима израђена је од посебне врсте материјала и одређених димензија. Удаљеност мете од оружја које се испитује зависи од калибра, брзине пројектила, врсте оружја и тражених опитних услова. Испитивање се састоји од групе погодака, обично три групе, док се свака група састоји од десет погодака. Група погодака на материјалној мети може се визуелно описати као слика погодака. Како би се на основу слике погодака одредили параметри тачности и прецизности, неопходно је измерити удаљеност сваког поготка у односу на стандардну величину и положај центра мете и положај осталих погодака.

Параметри прецизности зависе од стандарда и могу се описати кроз неколико типова мерила: распон слике погодака („полупериметар“), средње радијално скретање, полупречник боље половине погодака, вероватно скретање, појас језгра, итд. Наведене мере прецизности изведене су из статистичких параметара и расподеле вероватноће према статистичким методама.

Прецизност оружја дефинише се на основу слике погодака. Уколико је слика погодака мања, односно уколико су погоци груписани на мети тако да нема превеликог одступања у положају, прецизност је велика. Међутим, уколико је слика погодака већа, односно има одступања у положају погодака на мети, прецизност оружја је мања.

Тачност оружја дефинише се на основу растојања средњег поготка од центра мете. Уколико се средњи погодак подудара са центром мете, сматра се да је оружје тачно. Међутим, ако подударност између средњег поготка и центра мете не постоји, такво оружје се сматра нетачним.

Дизајн уређаја са карактеристикама аутоматске детекције поготка и рачунарске обраде откривених резултата, према примењеном математичком моделу, представља циљ овог мастер рада. Такав уређај пружа бројне погодности као што су: повећање поузданости и брзине, смањење времена обраде и повећање сигурности током експерименталних истраживања.

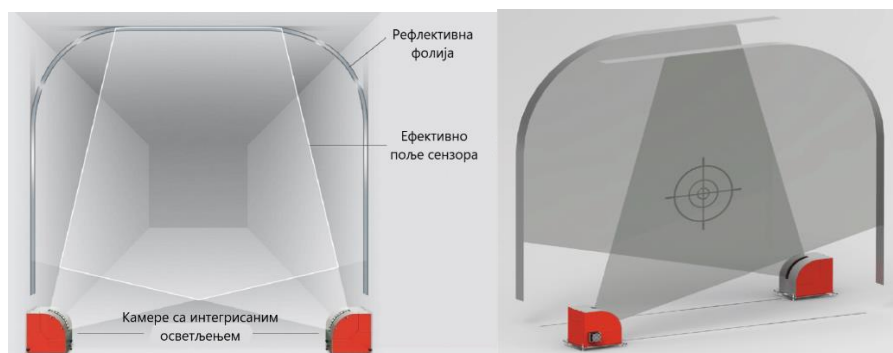
2. ПОСТОЈЕЋА РЕШЕЊА

У овом поглављу мастер рада су описана постојећа решења савремених система за одређивање тачности и прецизности стрелачког оружја. Као примери најсавременијих и најпоузданијих уређаја издвојени су:

1. „B590“ оптички систем и
2. „POTSS-2011“ оптички систем.

„B590“ оптички систем је производ аустријске компаније „HPI“ и представља оптички систем за мерење. Веома је прецизан инструмент за одређивање координата појединих хитаца. Осим одређивања координата метка при појединачној паљби, овај систем може одредити и координате метака у режиму рафалне паљбе. Посебно је дизајниран за стрелане у затвореном простору, али уз одговарајуће услове може да се користи и на отвореном.

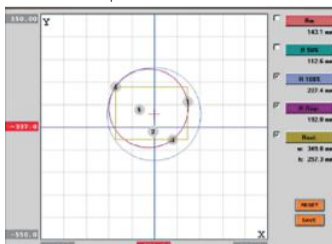
Оптички систем „B590“ састоји се од две брзе камере, на којима је интегрисано осветљење, и рефлектујуће фолије постављене наспрам камера. На слици 1 је приказан оптички систем са свим наведеним елементима и начин формирања ефективног поља сензора.



Слика 1. „B590“

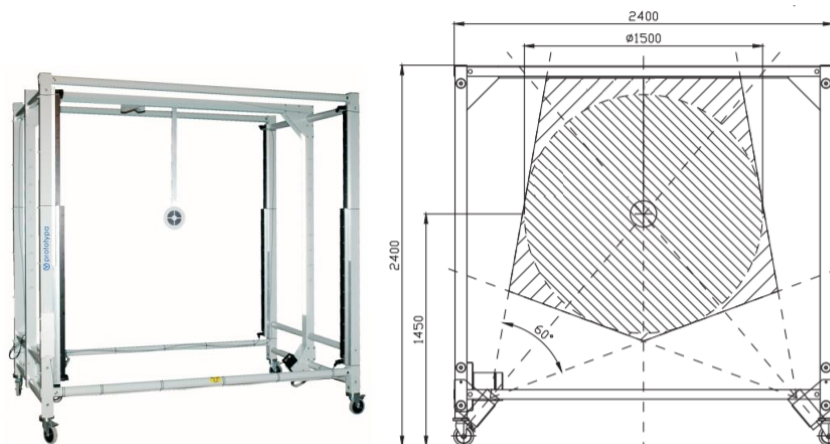
Камере са LED осветљењем су постављене под углом од 60° , тако да формирају светлосну завесу. Наспрам извора светлости постављена је фолија, чија је намена да рефлектује светлост ка камери. Како се светлост са камера не би мешала, неопходно је да између камера постоји растојање, што је и приказано на слици 1 десно. Принцип рада овог система заснива се на ефекту сенке, односно када пројектил прође кроз светлосну завесу формира се сенка. У том тренутку, брза камера се укључује, слика сенку и шаље дигиталне сигнале. Захваљујући јасном геометријском положају камера, може се прецизно одредити положај проласка пројектила. Подаци се преносе дигиталним или путем радио сигнала на процену и обраду података.

Резултати се приказују и обрађују помоћу софтвера BWF3000/B590. Кориснички интерфејс софтвера је приказан на слици 2.



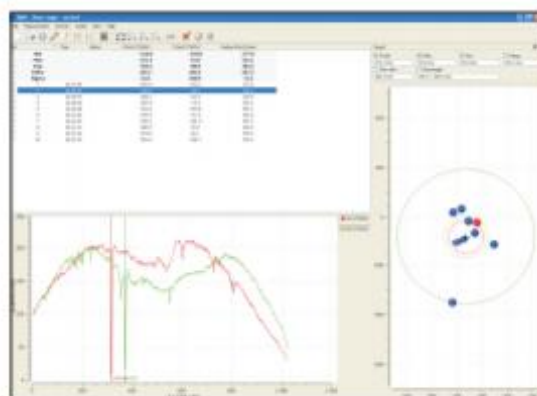
Слика 2. Кориснички интерфејс софтвера BWF3000/B590

Други пример уређаја који се примењује за одређивање позиције метка јесте производ чешке компаније „Prototypa“. Изглед „POTSS-2011“ система са габаритним димензијама и основним елементима, приказан је на слици 3.



Слика 3. „POTSS-2011“

Систем се састоји од два детектора положаја која су постављена под углом од 60° . Тако постављени формирају ефективно поље. Када метак прође кроз формирано поље, детектори добијају сигнал. Тај сигнал се аутоматски обрађује путем BMS софтвера, који приказује резултате. Кориснички интерфејс BMS софтвера са резултатима је приказан на слици 4.



Слика 4. Кориснички интерфејс софтвера BMS

Предности описаних система су:

- могућност промене подручја сензора,
- амбијентална светлост не утиче на систем,
- једноставно повезивање са рачунаром,
- непосредна презентација резултата,
- једноставна статичка калибрација,
- висока прецизност,
- мерење у подзвучном и надзвучном опсегу,
- мерење појединих хитаца и рафала,
- могућност мерења муниције свих калибара и
- мерење на различитим удаљеностима.

3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ

Као што је већ написано, одређивање тачности и прецизности је од круцијалног значаја приликом оцењивања стрелачког наоружања. Параметри прецизности се одређују на основу средњег поготка. Средњи погодак је средиште слике поготка, тачније тачка која се добија пресеком ординате и апсцисе средњег одступања свих погодака у групи. Ордината средњег поготка је аритметичка средина одступања свих погодака по висини, док је апсциса средњег поготка аритметичка средина одступања свих погодака по правцу.

Средњи погодак не мора да се поклапа са стварним поготком. Теоријски сваки погодак има извесно одступање од средњег поготка. Поступак одређивања средњег поготка је следећи:

1. хоризонтална права АВ се повлачи кроз седиште најнижег поготка на мети тако да њена дужина буде равна или већа од хоризонталне пројекције групе погодака;
2. кроз средиште крајњег поготка повлачи се вертикална права CD толике дужине да се на њу могу пројектовати сви погоци који се налазе на мети;
3. измерити ординате свих погодака у односу на праву АВ. Ординате се мере до средишта сваког поготка. Збир свих овако добијених ордината подељен бројем поготка n даје ординату средњег поготка, тј.:

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, i = 1, 2, \dots, n \quad 1.$$

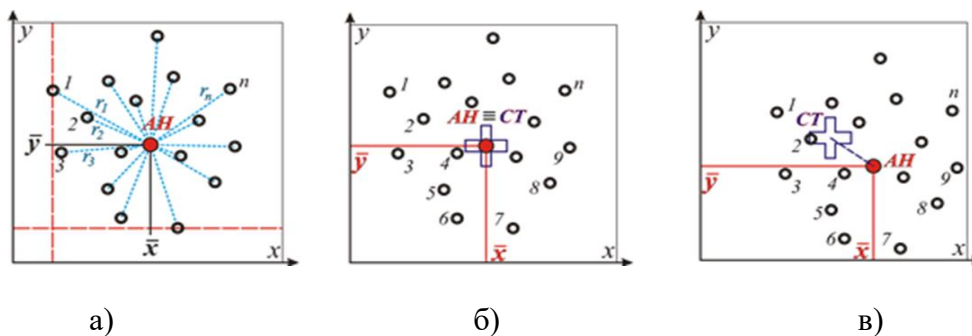
Вертикална координата средњег поготка је просечна вредност свих погодака у вертикалном правцу - висина.

4. На исти начин се добија и апсциса средњег поготка:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, i = 1, 2, \dots, n \quad 2.$$

Хоризонтална координата средњег поготка је просечна вредност свих погодака у хоризонталном смеру – ширини.

Средњи погодак је тачка одређена као пресек вертикалне и хоризонталне осе просечних вредности координата погодака. Одређивање средњег поготка се може извршити графичким или нумеричким путем, у зависности од броја погодака.



Слика 5. Слика погодака

На слици 5 а) приказан је средњи погодак (означен црвеном тачком АН), који је одређен на основу свих погодака из групе (означени тачкама 1,2,3...n). На слици 5 а), такође су приказана радијална одступања појединих погодака (означени као: $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$). На слици 5 б) приказано је подударање центра мете (означен белим крстићем СТ) и средњег поготка. Када се средњи погодак подудара са центром мете, то значи да је оружје тачно. На слици 5 в) је приказано одступање средњег поготка од центра мете, што доводи до закључка да се ради о нетачном оружју, односно о оружју са ниском тачношћу и прецизношћу.

За одређивање прецизности оружја на основу средњег поготка, неопходно је одредити средње радијално скретање погодака (R_s). Средње радијално скретање је аритметичка средина радијалних одступања појединих погодака од средњег поготка (r_i). Средње радијално скретање погодака и радијално одступање појединих дати су изразима 3 и 4.

$$R_s = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}, i = 1, 2, \dots, n \quad 3.$$

$$r_i = \sqrt{(\bar{x} - x_i)^2 + (\bar{y} - y_i)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad 4.$$

На основу вредности средњег радијалног скретања и радијалног скретања појединих погодака, могуће је одредити параметре тачности и прецизности. Уколико је вредност средњег радијалног скретања мања, то значи да оружје има боље карактеристике.

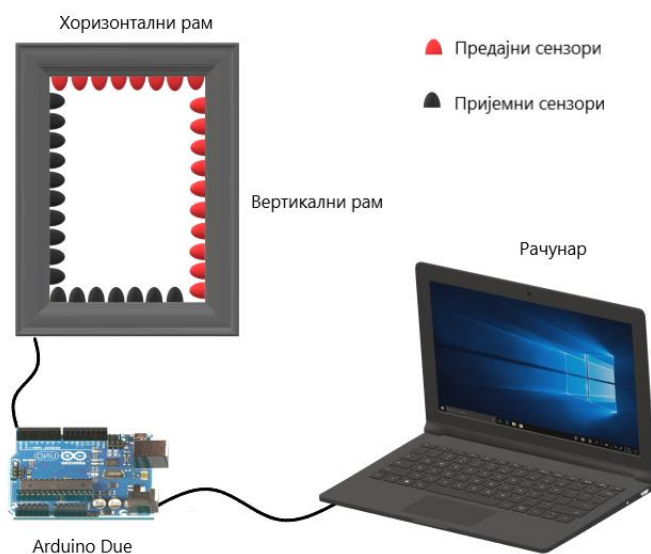
Процена прецизности и тачности оружја, на основу позиције средњег поготка у односу на центар мете, и на основу вредности средњег радијалног скретања је:

1. висока тачност и висока прецизност – средњи погодак се подудара са центром мете и мала вредност средњег радијалног скретања;
2. висока тачност и ниска прецизност – средњи погодак се подудара са центром мете и велика вредност средњег радијалног скретања;
3. ниска тачност и висока прецизност – средњи погодак се не подудара са центром мете и мала вредност средњег радијалног скретања;
4. ниска тачност и ниска прецизност – средњи погодак се не подудара са центром мете и велика вредност средњег радијалног скретања.

На основу наведеног, евидентно је да одређивање параметара тачности и прецизности конвенционалним методама захтева доста прорачуна и времена. Самим тим, произашла је потреба за уређајем који ће омогућити аутоматско одређивање круцијалних параметара на основу описаног математичког модела. У даљем тексту биће описан прототип идејног решења, његове компоненте и функције.

4. АУТОМАТИЗОВАН СИСТЕМ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПРЕЦИЗНОСТИ И ТАЧНОСТИ ПОГОДАКА СТРЕЉАЧКОГ НАОРУЖАЊА

У овом поглављу је описан систем, односно конструкција за аутоматско одређивање параметара прецизности и тачности стрелачког наоружања. Сама потреба за наведеним системом настала је на основу потребе за једноставнијим и бржим одређивањем наведених параметара, у односн на конвенционалне методе, које захтевају доста прорачуна, а самим тим и доста времена. На слици 6 је приказано концептуално решење аутоматизованог система.



Слика 6. Упрошћења шема идејног решења

Идејно решење система састоји се од следећих компоненти:

1. предајни сензори,
2. пријемни сензори,
3. микропроцесорска платформа Arduino Due,
4. вертикални поларизациони филтер,
5. хоризонтални поларизациони филтер,
6. вертикални рам,
7. хоризонтални рам,
8. рачунар и
9. помоћна компоненте.

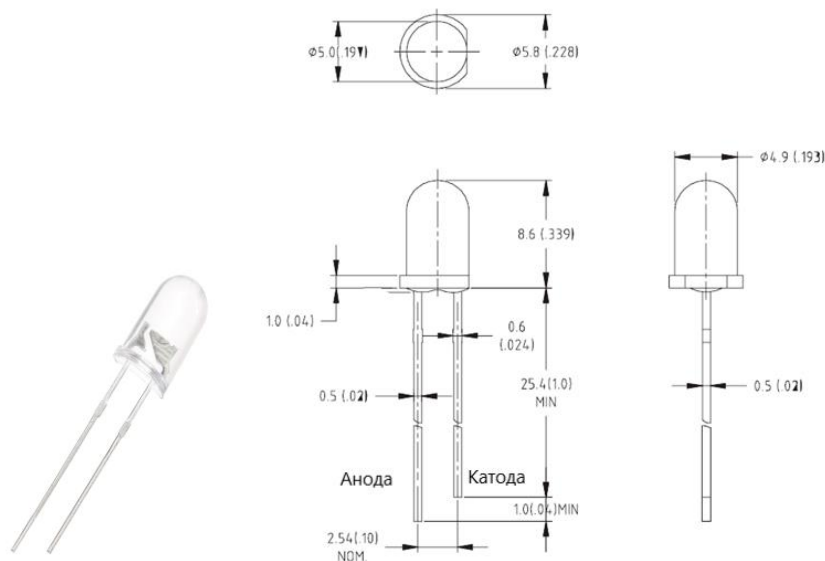
Принцип функционисања система заснива се на прекиду сигналне комуникације између предајних сензора и пријемних сензора. Дужност рачунарске платформе Arduino Due је да региструје прекид сигнала између сензора и да прикаже резултате. Основна намена рачунара јесте напајање компоненти посредством платформе.

У даљем тексту биће описане све компоненте система. Поред описа дате су и њихове намене и значај у систему за аутоматско одређивање прецизности и тачности.

4.1. Предајни сензори

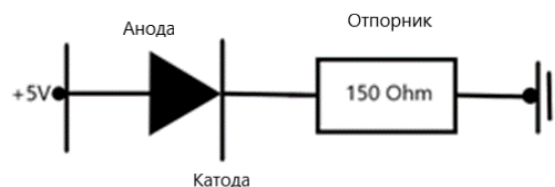
Као предајни сензори, односно компоненте које емитују сигнал, примењене су инфрацрвене диоде (у даљем тексту ИЦ диоде), односно диоде које емитују инфрацрвену светлост (у даљем тексту ИЦ светлост). ИЦ диоде спадају у групу светлећих диода, а диоде су пројектоване тако да електрична енергија може да протиче само у једном смеру. Представљају електронску компоненту, полупроводник, чија је основна карактеристика да електричну енергију конвертују у ИЦ светлост. Диоде су пројектоване тако да електрична ИЦ светлост није видљива голим оком. Имају широк дијапазон примене за даљинско управљање, пренос података између уређаја, функционисање опреме за ноћни вид...

На слици 7 са леве стране је приказан изглед ИЦ диоде ознаке „5 mm Round Infrared Chip LED T-1 3/4“, док са десне стране су дате њене величине у милиметрима и инчима (врдности у загради).



Слика 7. ИЦ диода „5 mm Round Infrared Chip LED T-1 3/4“ и њене димензије

Основна намена ИЦ диода у аутоматском систему за одређивање прецизности и тачности погодака стрељачког наоружања јесте емитовање ИЦ светлости и побуђивање пријемних сензора, који се налазе на супротној страни рама. ИЦ диоде се леме на тест плочу и помоћу проводника се повезују са напоном и отпорником. Шема на основу које се повезују ИЦ диоде је приказана на слици 8.



Слика 8. Шема за повезивање ИЦ диоде

На основу слике 8, следи објашњење и начин повезивања предајних сензора. Анода ИЦ диоде се повезује на извор напајања. Као извор напајања може се користити спољни извор у виду батерија, или у виду рачунара преко Arduino Due платформе. Катода диоде

се повезује на отпорник отпорности 150 Ома, док је други крај отпорника повезан на уземљење. Тако повезана ИЦ диода успешно емитује ИЦ светлост, која је од круцијалног значаја за аутоматски систем.

Приликом креирања аутоматизованог система за одређивање тачности и прецизности стрељачког наоружања, коришћена је једна ИЦ диода (у даљем тексту пробна ИЦ диода), која је повезана на Arduino Due платформу (приказано на слици 15). На основу пробне ИЦ диоде, извршена су тестирања сигналне комуникације између ње и повезаних фототранзистора.

У табели 1 су дате карактеристике ИЦ диоде.

Табела 1. Карактеристике ИЦ диоде „5 mm Round Infrared Chip LED T-1 3/4“

Параметар	Ознака	Максимална вредност	Јединица
Расипање снаге	PD	100	mW
Вредност радне струје	IFP	100	A
Вредност струје	IF	35	mA
Повратни напон	VR	5	V
Радна температура	Topr	-40°C до +85°C	
Температура складиштења	Tstg	-40°C до +100°C	
Температура лемљења	Tsld	260°C 5 секунди	

У табели 2 су приказани резултати испитивања поузданости ИЦ диоде. Испитивање компоненте је изведено на температури од 25° С.

Табела 2. Испитивање ИЦ диоде „5 mm Round Infrared Chip LED T-1 3/4“

Тест	Време теста/циклуса	Услови испитивања	Укупно узорак	Број лоших узорак
Издржљивост на температури лемљења	6 минута	$T_{sld}=260\pm5^{\circ}\text{C}$ 5 секунди	25	1
Температурни шок	300 циклуса	$+100^{\circ}\text{C}$ 5 минута 10 секунди -10°C 5 минута	25	1
Температурни циклус	300 циклуса	$+100^{\circ}\text{C}$ 15 минута 10 секунди -10°C 15 минута	25	1
Висока температура складиштења	1000 часова	100°C	25	1
Ниска температура складиштења	1000 часова	-40°C	25	1
Радни век	1000 часова	$IF=20\text{ mA}$	25	1
Висока температура/висока влажност	1000 часова	$85^{\circ}\text{C}/85\%\text{RH}$	25	1

На слици 9 је приказано колико је угаоно расипање ИЦ светлости ИЦ диоде.

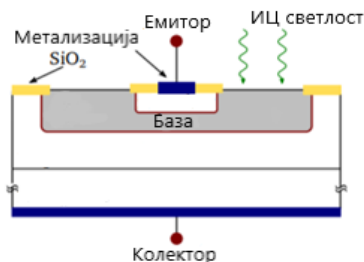


Слика 9. Интензитет зрачења ИЦ диоде „5 mm Round Infrared Chip LED T-1 3/4“

На основу резултата тестирања из табеле 2, доноси се закључак да је поузданост тестираних ИЦ диода 90%, што је задовољавајуће. Све наведене карактеристике и резултати испитивања допринели су да описана ИЦ диода буде имплементирана у аутоматски систем за одређивање тачности и прецизности стрељачког наоружања.

4.2. Пријемни сензори

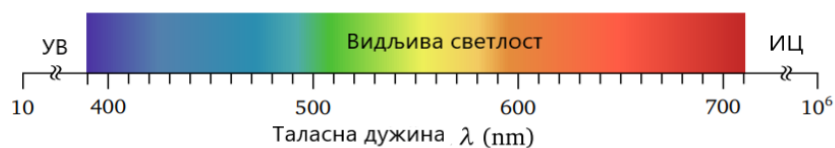
Фототранзистор јесте биполарни транзистор који припада групи оптоелектронских компоненти. На слици 10 је приказана шема и принцип рада фототранзистора. Када на базу фототранзистора доспе ИЦ светлост, колекторска струја се мења. Управо због те карактеристике се примењују као електронски сензор и појачавач. Фототранзистор је начињен од полупроводног материјала. База фототранзистора је отворена за улаз светлости. Ако су фотони светлости, који падају довољно високе фреквенције (довољне енергије), створиће струју базе, која појачана постаје струја колектора.



Слика 10. Шема фототранзистора

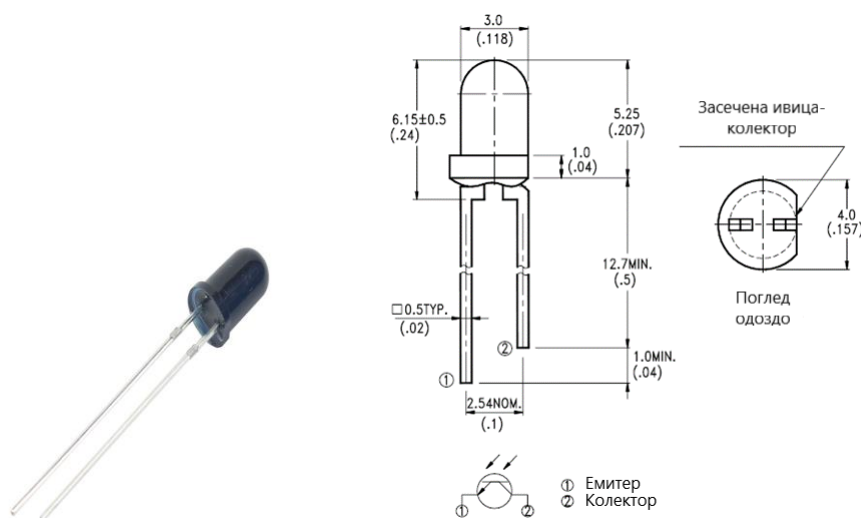
Рад различитих полупроводничких детектора зрачења (фоторесистори, диоде, фототранзистори, фототиристори) базира се на основу интерног фотоелектричног ефекта, који се састоји у томе што се под утицајем светлости у полупроводнику генерише прегруписавање носилаца наелектрисања-електрона и шупљина. Ови додатни носиоци ће повећати електричну проводљивост. Таква проводљивост, узрокована помоћу фотона, назива се фотопроводност. Код метала, феномена фотопроводности практично нема, јер они имају огромну концентрацију електрона и проводљивост се не може значајно повећати под утицајем зрачења. У неким уређајима, због фотогенерисаних електрона и шупљина настаје електромоторна сила (скраћено ЕМС), која се зове фото-ЕМС. Као резултат прегруписавања електрона и шупљина у полупроводницима настају фотони, а под одређеним условима, полупроводнички елементи могу да функционишу као извор зрачења. Фототранзистор, односно осетљиви полупроводнички детектор зрачења, сличан је по структури биполарном транзистору и обезбеђује унутрашње појачање. Подразумева се да се састоји од фотодиоде и транзистора. За разлику од биполарног транзистора, фототранзистори немају електрични контакт са базом, а базна струја контролише се променом њене осветљености. Из тог разлога структурно фототранзистор има само два излаза - емитер и колектор.

Спектар светлости на који фототранзистор може да реагује јесте распон светлости од 750 nm до 3 nm, означена црвеном бојом на слици 11. ИЦ светлост обухвата електромагнетско зрачење са таласним дужинама већим од таласне дужине видљиве црвене светлости, а мањим од таласне дужине радио таласа.



Слика 11. Спектар светлости

У овом пројекту аутоматизованог система за одређивање тачности и прецизности стрелачког наоружања, примењен је фототранзистор ознаке „LTR-4206E“. Изглед и димензије поменутог фототранзистора приказане су на слици 12. Димензије су дате у милиметрима и инчама (вредности у заграда).



Слика 12. Фототранзистор „LTR-4206E“

У табели 3 су дате карактеристике поменутог фототранзистора.

Табела 3. Карактеристике фототранзистора „LTR-4206E“

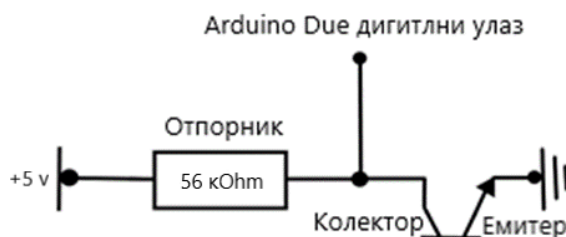
Параметар	Ознака	Максимална вредност	Јединица
Расипање снаге	PD	100	mW
Колектор-емитер напон	/	30	V
Емитер-колектор напон	/	5	V
Радна температура	T _{opr}	-40°C до +85°C	
Температура складиштења	T _{stg}	-55°C до +100°C	
Температура лемљења	T _{sld}	260°C 5 секунди	

На слици 13 је приказана осетљивост фототранзистора на ИЦ светлост, односно колика је релативна осетљивост у односу на снагу угла под којим је могуће осетити емитовану ИЦ светлост. На основу карактеристика приказаних табелом 3 и осетљивошћу, описани фототранзистор се показао најпогоднијим пријемним сензором за креирање аутоматизованог система за одређивање прецизности и тачности погодака стрелачког наоружања.



Слика 13. Осетљивост фототранзистора „LTR-4206E“

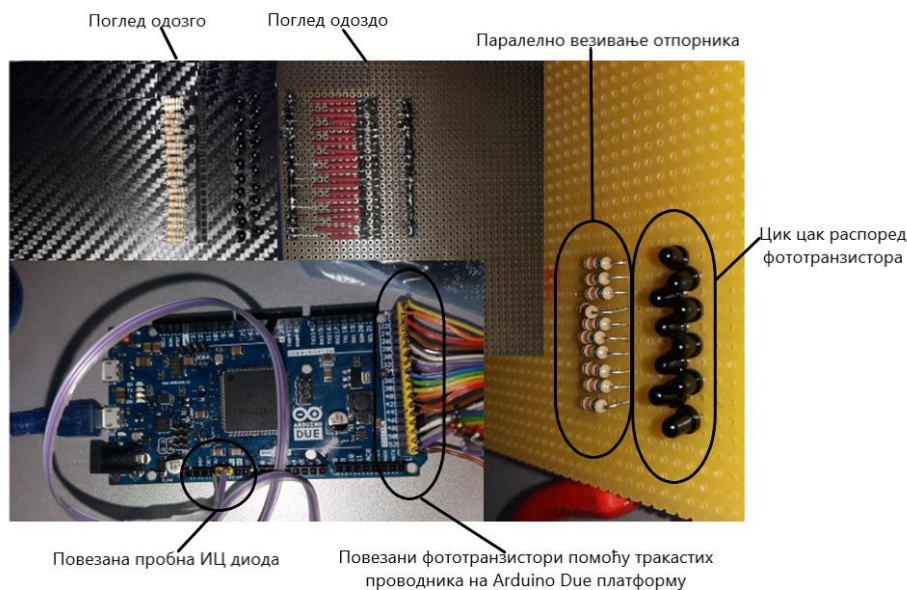
Као и предајне компоненте, и фототранзистори се залемљују на тест плочу, према шеми приказаној на слици 14.



Слика 14. Шема за повезивање фототранзистора „LTR-4206E“

За повезивање пријемних сензора примењује се отпорник отпорности 56 кило Ома. Један крај отпорника повезан је на напајање, односно на рачунар преко Arduino Due платформе (пин 5V слика 16). Други крај отпорника је повезан у петљу коју сачињавају колектор фототранзистора и дигитални улаз Arduino Due платформе. Емитер фототранзистора је повезан на уземљење на Arduino Due платформи (пин GND слика 16). Сваки фототранзистор је повезан на пинове дигиталног улаза помоћу тракастих проводника, што је и приказано на слици 15.

Лемљење пријемних и предајних компоненти извршено према цик цак распореду, јер је тим распоредом могуће повезати највећи број компоненти. Фототранзистори су залемљени у два реда, тако да не постоји размак између редова. Фототранзистори у једном реду су залемљени тако да постоји размак од 2,54 mm (0,1”), док други ред фототранзистора почиње управо у том размаку. Распоред повезивања фототранзистора приказан је на слици 15. Такође, на тој слици су приказана и оба погледа тест плоче, повезаност фототранзистора на дигиталне пинове платформе и повезаност пробне ИЦ диоде.



Слика 15. Повезани фототранзистори „LTR-4206E“

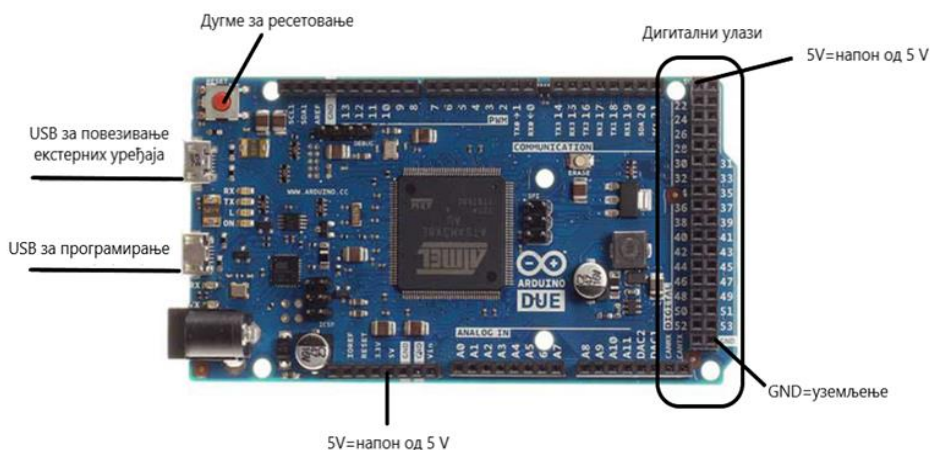
4.3. Микропроцесорска платформа Arduino Due

Основна функција Arduino Due платформе у овом пројекту јесте да прати сигналну комуникацију између фототранзистора и ИЦ диоде, и да повеже поменуте компоненте са рачунаром. Корисничко окружење софтвера омогућава кориснику да управља компонентама.

Основни задаци микропроцесорске платформе Arduino Due у овом пројекту су:

1. напајање пробне ИЦ диоде,
2. детектовање сигнала фототранзистора,
3. преношење детектованих сигнала на рачунар,
4. обрада резултата и
5. управљање повезаним сензорима помоћу Arduino софтвера.

На слици 16 је приказана микропроцесорска платформа Arduino Due, са означеним микро-USB улазима, дигиталним улазима, пиновима за напон и уземљење и дугметом за ресетовање [4].



Слика 16. Arduino Due платформа

Један од два микро-USB улаза је USB хост, намењен за повезивање екстерних USB периферија. Други микро-USB улаз је намењен за потребе програмирања. Управо је тим микро-USB улазом Arduino Due платформа повезана са рачунаром. Тиме је омогућено програмирање преко Arduino софтвера. Сваки фототранзистор се повезује на пине дигиталног улаза, уоквирени на слици 16. Дигитални улази су приказани бројевима: 22, 24, 26, 28, 30, 31, 32...53, и има их тридесет. Што значи да се на једној Arduino Due платформи може повезати тридесет фототранзистора, односно могуће је добити тридесет сигнала.

Напајање Arduino Due се врши преко микро-USB конектора са спољним изворима енергије. У овом експерименту, као извор напајања искоришћен је рачунар. Основне техничке спецификације компоненте дате су у табели 4.

Табела 4. Техничке спецификације платформе Arduino Due

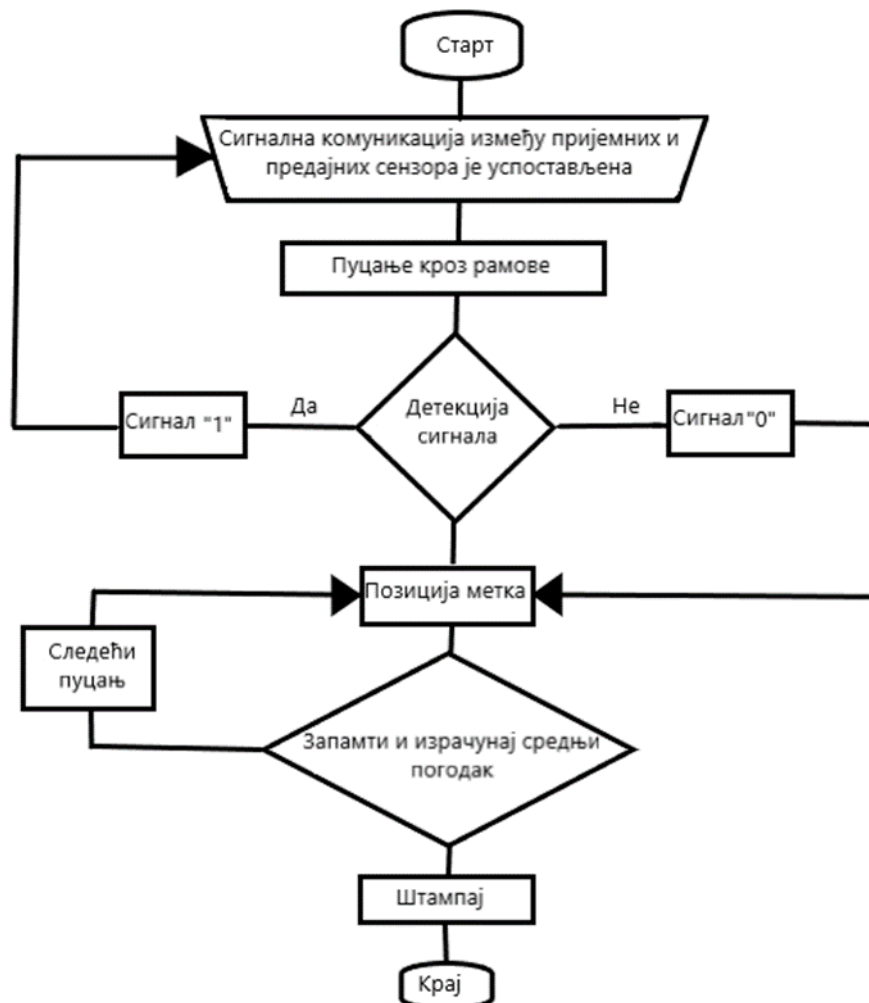
Техничке спецификације платформе Arduino Due	
Микропроцесор	AT91SAM3X8E
Радни напон	3,3V
Улазни напон (препоручене вредности)	7-12V
Улазни напон (доња и горња граница)	6-16V
Дигитални улази	54
Аналогни улази	12
Аналогни излази	2 (DAC)
Укупна излазна струја	130 mA
Струја н пину 3,3 V	800 mA
Струја н пину 5 V	800 mA
Флеш меморија	512 KB
SRAM меморија	96 KB
Брзина протока	84 MHz
Дужина	101,52 mm
Ширина	53,3 mm
Тежина	36 g

За програмирање се користи Arduino IDE окружење. Програмирање у софтверу Arduino пружа широк спектар могућности. За потребе овог пројекта могуће је написати програм у Arduino софтверу и добити податке о фототранзистору који је изгубио сигнал приликом проласка метка кроз рамове.

За управљање и за мониторинг неопходно је програмско решење. Програми за Arduino Due се пишу C/C++ програмским језиком. Сам софтвер поседује библиотеку са већ исписаним кодовима. У највећем броју случаја постојеће кодове треба само преправити, како би одговарали постављеним захтевима. Две основне функције у писању програма на Ардуино платформи су:

1. `setup()` - функција која се извршава једном на почетку и служи за почетна подешавања.
2. `loop()` – функција која се извршава у петљи све време док се не искључи платформа.

Идејно решење алгоритма овог пројекта је приказано на слици 17. Суштина програма који се примењује у овом пројекту јесте да покаже који фототранзистор је изгубио сигнал због проласка метка.



Слика 17. Идејно програмско решење

1. Први корак у алгоритму јесте успостављање сигналне комуникације између пријемних и предајних сензора хоризонталног и вертикалног рама. Када је сигнална веза успостављена, то значи да су оба рама са пријемним и предајним сензорима оформљена, и да је могуће извршити следећи корак.
2. Други корак јесте пуцање и пролазак метка кроз оба рама.
3. Проласком метка кроз рамове, доћи ће до губитка сигнала на одређеним фототранзисторима. Задатак програмског решења јесте да на корисничком интерфејсу програма, за фототранзисторе који су изгубили конекцију прикаже 0, а за остале 1.
4. Следећи задатак је да на основу изгубљених сигнала на фототранзисторима израчуна позицију метка, односно хоризонталну и вертикалну координату метка.
5. Идејно програмско решење садржи и петљу, чији је задатак да након завршеног одређивања позиције једног метка поново изврши радну операцију.

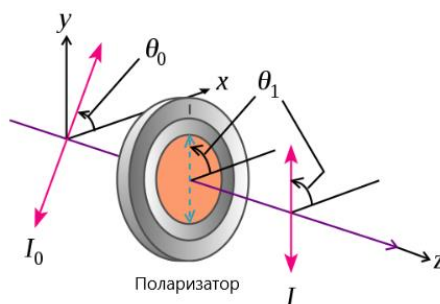
6. Након жељеног броја хитаца, задатак програма јесте да запамти позиције свих метака и да на основу математичког модела, описаног у поглављу 3, одреди координате средњег поготка.
7. Завршни корак јесте штампање резултата.

4.4. Хоризонтални и вертикални поларизациони филтер

Извори ИЦ светлости емитују неполаризовану ИЦ светлост, односно светлост која нема усмерено дејство. Та карактеристика је пожељна код уређаја за даљинска управљања, као што су на пример даљински управљачи за телевизор или клима уређаје. Корисник не мора наменски да усмерава управљач тачно ка ИЦ сензору који се налази у ТВ или клима уређају, већ је сноп ИЦ зрака веома широк тако да ИЦ сензор може да препозна ИЦ светлост са велике удаљености.

Међутим та карактеристика ИЦ извора није пожељна у аутоматизованом систему за одређивање тачности и прецизности стрељачког наоружања. У наведеном систему је постављен захтев, да сноп ИЦ светлости једне ИЦ диоде директно пада на један фототранзистор постављен са супротне стране рама. Односно неполаризовану светлост неопходно је поларизовати тако да буде директно усмерена са извора светлости на пријемник.

Поларизација ИЦ светлости се обавља помоћу поларизационог филтера, односно поларизатора. Поларизатор представља оптички филтер. Његова намена је пропуштање светлосних таласа одређене поларизације, док светлосне таласе других поларизација блокира. На слици 18 приказан принцип Малусовог закона.



Слика 18. Малусов закон

Малусов закон гласи: када се савршен поларизатор постави у поларизовани сноп зрака, јачина светлости која пролази кроз поларизатор је:

$$I = I_0 \cos^2 \theta_i \quad 5.$$

где је: I_0 -почетна јачина светлости а θ_i -угао снопа почетне светлости са осом поларизатора.

У пракси долази до губитка светлости у поларизатору, а стварни пренос ће бити нешто нижи (око 38% за поларизаторе полароидног типа, и знатно већи од 49,9% за неке врсте призми). Ако се два поларизатора поставе један за другим (други поларизатор се углавном назива анализатор), међусобни угао између њихових поларизационих оси даје вредност угла θ у Малусовом закону. Ако су две осе поларизатора ортогоналне, поларизатори су укрштени, и у теорији не долази до преноса светлости. Ниједан поларизатор није савршен, а ни пренос снопа светлости није тачан. Ако се између укрштених поларизатора постави прозирни објекат, било какви ефекти поларизације у узорку биће приказани као повећање преноса. Овај ефекат се користи у полариметрији за мерење оптичке активности узорка.

На слици 19 је приказан поларизациони филтер на основу Малусовог закона. ИЦ извор светлости емитује неполаризовану светлост која наилази на поларизатор. Поларизациони филтер је направљен са хоризонталним правоугаоним отворима. Овако конципиран поларизатор припада групи линеарних поларизатора. Намена поларизатора је да претвара неполаризовани сноп у поларизован са једном линеарном поларизацијом. Када неполаризована светлост наиђе на поларизатор са хоризонталном поларизацијом, светлосни зраци се претварају у вертикално поларизовану светлост, односно хоризонтални филтер неће пропустити хоризонталне и дијагоналне зраке, већ само вертикалне компоненте снопа зрака. Након поларизације светлости на пријемнику доспева поларизована светлост која делује само у вертикалном правцу, односно њена вертикална компонента се преноси, док се хоризонтална компонента апсорбује и рефлектује.



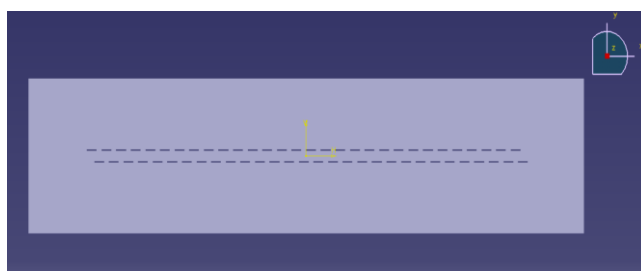
Слика 19. Филтер за поларизацију светлости

На основу датих објашњења, за потребе креирања аутоматизованог система за одређивање тачности и прецизности стрелачко наоружања, пројектована су два поларизациона филтера: хоризонтални и вертикални, који се заснивају на Малусовом закону. На слици 20, приказан је вертикални поларизациони филтер, односно филтер са вертикалним правоугаоним отворима. У прилогу 1 дат је технички цртеж поларизационог филтера.



Слика 20. Вертикални поларизациони филтер

На слици 21 је приказан хоризонтални поларизациони филтер, односно филтер са хоризонталним правоугаоним отворима. Његов технички цртеж је дат прилогом 2.



Слика 21. Хоризонтални поларизациони филтер

Поларизациони филтери се постављају паралелно један наспрам другог, тако да заједно сачињавају једну целину, односно један поларизациони филтер. Као целина поставља се испред ИЦ извора, како би се светлост поларисала и имала директан сноп зрака на свим фототранзисторима. Отвори на плочама су пројектовани тако да у постављеном стању, сваки фототранзистор добија индивидуални поларисани сноп ИЦ светлости, без могућности да дође до мешања светлости.

3D модели поларизационих филтера израђени су у програму за моделирање CATIA V5R21. Конвертовање CATIA фајлова у фајлове са екстензијом „.dxf“, омогућава израду поларизационих филтера на ласеру, те је сама израда наведених филтера једноставна и брза.

4.5. Хоризонтални и вертикални рам

Хоризонтални и вертикални рам практично представљају постоља чија је основна намена монтажа свих делова у једну целину. Рамови заправо представљају стандардне L профиле. Једноставним заваривањем два профила одговарајућих димензија добија се основа рамова на којој се надограђују остали делови. На слици 22 је приказана илустрација вертикалног рама. Назив вертикални рам је добијен јер је његова намена постављање пријемних и предајних компоненти, које се примењују за одређивање вертикалне позиције проласка метка.

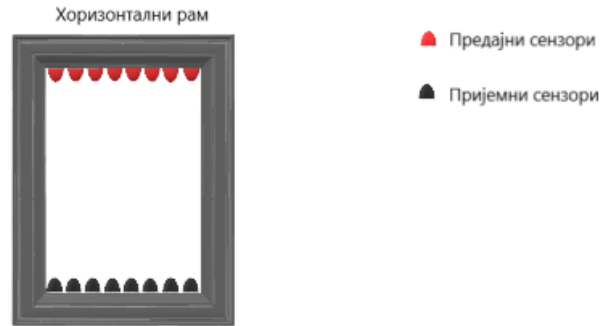


Слика 22. Вертикални рам

На слици 18 је приказана илустрација хоризонталног рама, чија је основна намена постављање компоненти за одређивање хоризонталне позиције проласка метка.

Пријемни и предајни сензори, залемљени за тест плочу, се постављају унутар профила. Како би се тест плоча са сензорима правилно позиционирала на профилу, неопходно је избушити отворе на истој. Ти отвори треба да одговарају и отворима на профилима, како би се помоћу дистанцера остварила чврста веза између рамова и тест плоче са компонентама.

Димензије рамова нису прецизиране, јер су у директној зависности од броја пријемних и предајних компоненти. Што је број сензора већи, веће су габаритне димензије рамова, а и резолуција система. У супротном, уколико се поставља мањи број компоненти, габаритне мере ће такође бити мање, а и сама резолуција система.



Слика 23. Хоризонтални рам

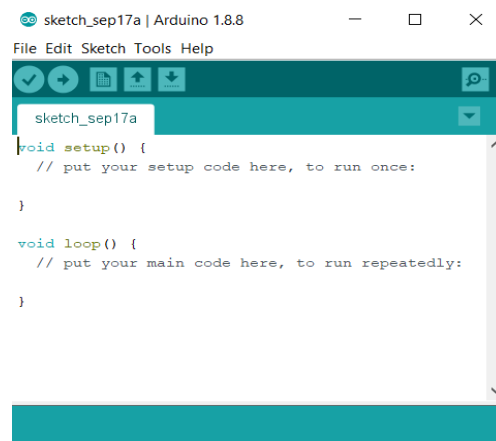
Хоризонтални и вертикални рам се постављају према слици 24. Између рамова неопходно је обезбедити одговарајући зазор (растојање x на слици 24), како не би дошло до евентуалног мешања светлости ИЦ извора са оба рама. Овако постављени рамови, са свим претходно описаним компонентама, представљају саму срж идејног решења аутоматизованог система за одређивање тачности и прецизности стрељачког наоружања.



Слика 24. Начин постављања рамова

4.6. Рачунар

Основна улога рачунара у овом систему јесте да обезбеди кориснику управљање и мониторинг компонентама које су повезане на микропроцесорску платформу Arduino Due. Како би корисник могао управљати наведеном платформом, неопходно је поседовати Arduino софтвер. Кориснички интерфејс софтвера је приказан на слици 25.



Слика 25. Кориснички интерфејс софтвера Arduino

Као што се и види на слици 25, приказане су две основне команде програма описане у поглављу 4.3.

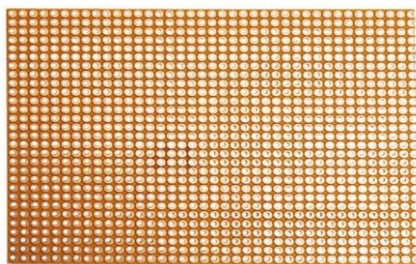
Поред описане функције, рачунар се у овом раду примењује и за напајање компоненти преко Arduino Due платформе, што је и описано у поглављима 4.1. и 4.2.

4.7. Помоћне компоненте

У помоћне компоненте система спадају следећи елементи:

1. тест плоче,
2. отпорници,
3. флексибилни каблови са конекторима,
4. летвице,
5. микро-USB конектори,
6. термо скупљајући бужир и
7. прибор за лемљење.

Тест плоча јесте компонента на коју се леме електронски елементи. Размак између отвора на плочи јесте 2,54 mm. Изглед тест плоче је приказан на слици 26. Димензије тест плоча зависе од броја залемљених компоненти. У овом пројекту дужина активних делова јесте 150 mm. Могуће је једноставно смањити њене димензије ломљењем преосталог простора.



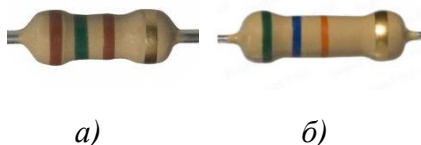
Слика 26. Тест плоча

Отпорници представљају пасивну електронску компоненту, која се користи као основни елемент електричних мрежа и електронских уређаја. Основна карактеристика отпорника је, као што и сам назив каже, стварање отпорности при проласку електричне енергије. Употребљава се да би се обезбедио одговарајући отпор, који би ограничио проток електричне енергије и контролисао напон у струјном колу.

У овом истраживању примењене су две врсте отпорника:

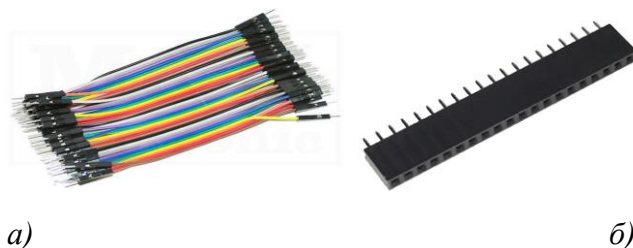
1. 150 Ома (за пробну ИЦ диоду) и
2. 56 кило Ома (за фототранзисторе).

На слици 27 а) је приказан отпорник мање отпорности, док је на 27 б) отпорник веће отпорности.



Слика 27. Отпорници

За повезивање фототранзистора, залемљених за тест плочу, и дигиталних пинова на платформи, примењују се конектори приказани на слици 28 а). Један крај конектора се убацује у летвицу залемљену у тачки чвора (приказано на слици 14), како би се остварила веза са Arduino Due платформом. Други крај конектора се убацује у дигиталне улазе (приказано на слици 12). Као што је објашњено, летвице се залемљују у чворну тачку шеме фототранзистора. Изглед летвице је приказан на слици 28 б).



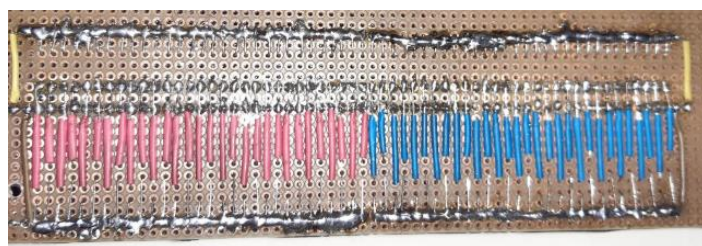
Слика 28. Флексибилни конектори а) и летвица б)

Микро-USB конектори се примењују за конекцију између микро-USB улаза за програмирање на Arduino Due платформи (приказан на слици 16) и рачунара. Микро USB конектор је приказан на слици 29.



Слика 29. Микро USB конектор

Термо скупљајући бужир омогућава изолацију залемљених елемената, како не би дошло до нежељених спојева. На слици 30 су приказани залемљени елементи са примењеним термо скупљајућим бужиром.



Слика 30. Термо скупљајући бужир на залемљеним компонентама

Лемљење је основи вид спајања електричних компоненти у овом раду. Поступак лемљења се изводи помоћу електричне лемилнице, калаја и пасте за лемљење.

5. ПРОГРАМСКА РЕШЕЊА

Након описивања свих компоненти које су саставни делови аутоматизованог система за одређивање тачности и прецизности стрелачког наоружања, у овом делу дати су алгоритми програмских решења. За потребе овог пројекта исписана су два програма и један потпрограм. Алгоритам првог програма је приказан на слици 31, док је програмско решење дато прилогом 3. Битно је напоменути да је за потребе овог истраживања имплементирано четири Arduino Due платформе, и због тога постоје четири „Тест“ програма који се веома мало разликују. Разлика је у делу програма где се сензори бројно именују, део који се разликује је болдиран у прилогу 3. „Први Тест“ програм има сензоре од 1 до 30, други „Други Тест“ програм од 31 до 60, „Трећи Тест“ од 61 до 90 и „Четврти тест“ од 91 до 120.

Први програм који је описан у овом раду јесте „Тест“ програм на основу којег се проверава повезаност фототранзистора. За време тестирања повезаности фототранзистора неопходна је и пробна ИЦ диода, која побуђује фототранзисторе.

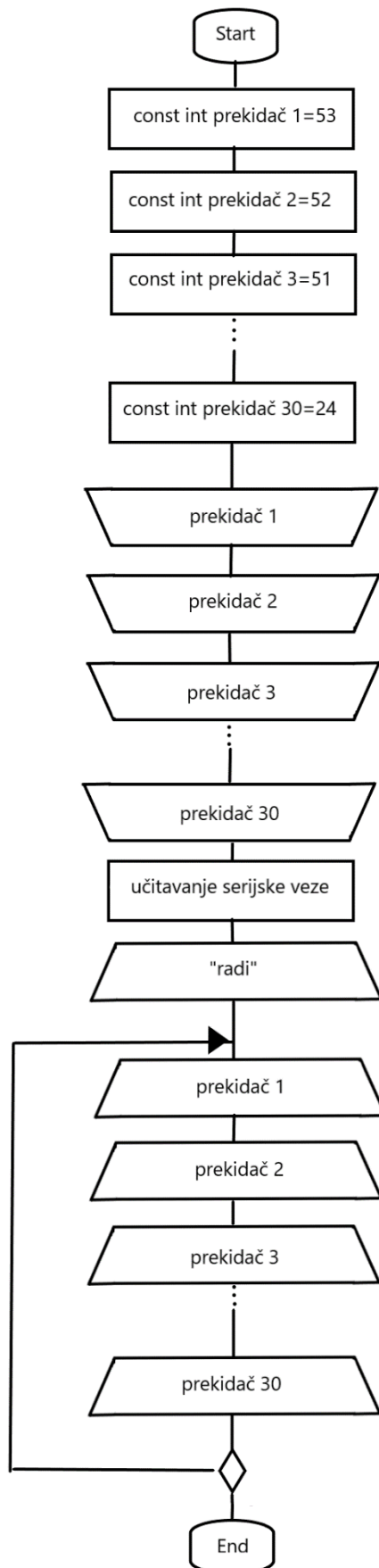
На самом почетку програма „Тест“ проглашавају се константне величине, тако што се испред величина додаје префикс „const int“. Тако проглашена величина се не може променити. Константне величине у овом програму су: „prekidač 1“, „prekidač 2“, ... „prekidač 30“.

Улазне величине у програму јесу управо прекидачи, односно фототранзистори повезани на дигиталне пинове платформе. На једној микропроцесорској Arduino Due платформи постоји тридесет дигиталних улаза, сваки дигитални улаз има своју ознаку (53, 52, 51,...24). Један фототранзистор се повезује на један дигитални улаз, тако да је могуће повезати тридесет фототранзистора, односно тридесет прекидача се проглашавају улазним величинама.

Следећи корак у програму јесте укључивање серијске комуникације између повезаних фототранзистора и платформе. Уколико је серијска комуникација успешно успостављена, програм ће на интерфејсу приказати „radi“.

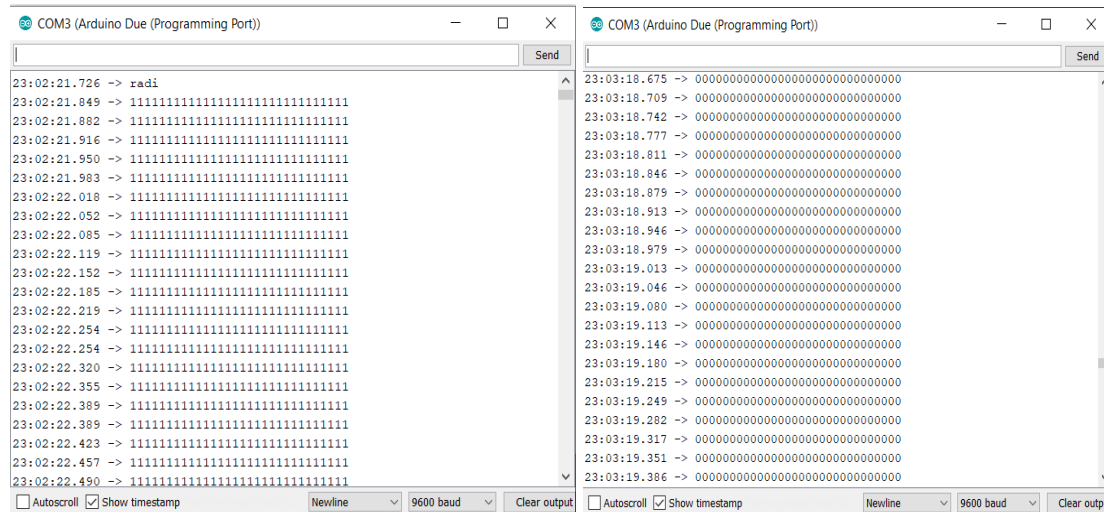
Када је комуникација успостављена, следи провера функционалности повезаних фототранзистора, што је и циљ овог програма. У овом кораку постоји бесконачна петља, која функционише све док је микропроцесорска платформа укључена. Уколико ИЦ светлост не делује на фототранзисторе, односно постоји препрека између ИЦ извора и фототранзистора, на екрану се исписује 1. Међутим, уколико се та препрека уклони и ИЦ светлост неометано побуђује фототранзисторе, на екрану се исписује 0.

Брзина преноса је 9600 baud-a, што значи да програм толико брзо обрађује податке да се резултати исписују у тренутном времену.



Слика 31. Алгоритам „Тест“ програма

На слици 32 а) су приказани резултати програма са временским назнакама. Први ред показује да је серијска комуникација успешно повезана. У осталим редовима је приказано да на тридесет фототранзистора није доспела ИЦ светлост, и зато је исписано 1 за све фототранзисторе. На слици 32 б) су приказани резултати у тренутку укључивања ИЦ извора. ИЦ светлост је доспела на све фототранзисторе, те је програм исписао 0.



а) б)
Слика 32. Резултати „Тест“ програма

Други програм формиран за ово истраживање јесте „Главни“ програм, чија је намена да прикаже на ком је фототранзистору дошло до прекида ИЦ светлости. На слици 33 је приказан алгоритам „Главног“ програма, док је у прилогу 4 дато програмско решење. Такође, и код овог програма постоје четири варијанте са истим разликама које су назначене за „Тест“ програм.

Први корак у програму јесте задавање вредности сензора када има сигнала, односно када ИЦ светлост успешно доспева до сензора. Префикс „int“ испред константе означава да вредност мора бити цео број, односно број без децималног зареза. Као у „Тест“ програму, врши се проглашавање константних величина и почетак серијске комуникације између фототранзистора и микропроцесорске платформе.

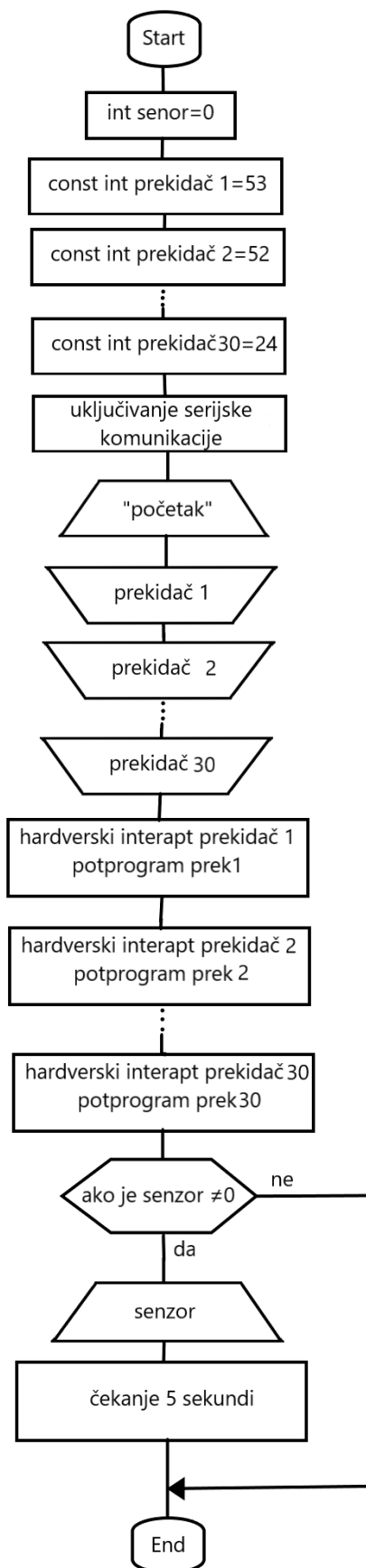
Уколико је серијска комуникација успешно успостављена, на корисничком интерфејсу се приказује „поčetак“.

Када су константне величине проглашене и комуникација успостављена, врши се унос улазних података. Као и у претходном програму, тридесет прекидача, односно тридесет фототранзистора представљају улазне величине.

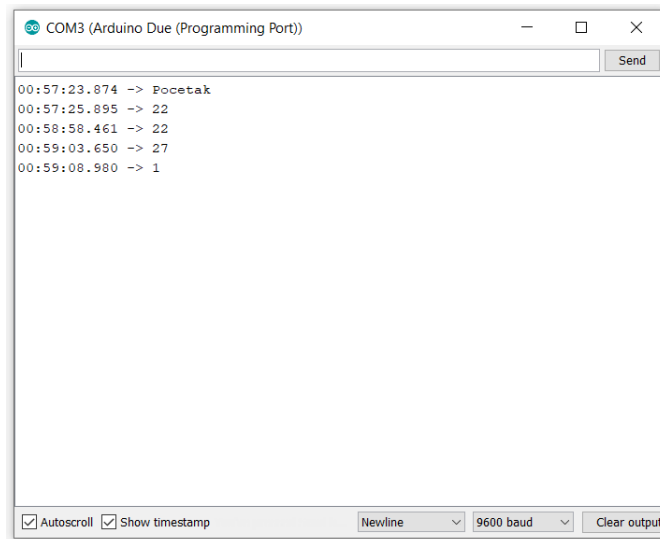
На основу функције „interrupt” и потпрограма, чији је алгоритам приказан на слици 35, могуће је одредити на који фототранзистор не делује ИЦ светлост.

Следећи корак у алгоритму јесте услов. Уколико је вредност сензора различита од вредности која је дата на самом почетку програма, програм ће приказати ознаку фототранзистора, односно сензора који нема сигнал.

Последња фаза алгоритма јесте да након задатог чекања од пет секунди, поново извршава радну операцију, све док је микропроцесорска платформа укључена.



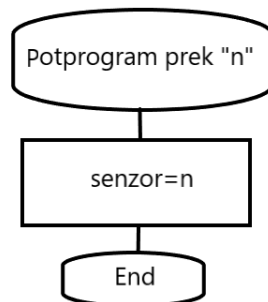
Слика 33. Алгоритам „Главног“ програма



Слика 34. Решења „Главног“ програма

На слици 34 је приказан кориснички интерфејс софтвера са резултатима „Главног“ програма. У првом реду је приказано да је серијска комуникација успешно успостављена. У наредним редовима су приказане бројне вредности фототранзистора, који су изгубили ИЦ светлост.

Помоћни програм „Главног“ програма има улогу да у току обраде података именује сензоре, односно фототранзисторе.



Слика 35. Алгоритам потпрограма

6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ

Поред детаљно описане конструкције аутоматског система за одређивање тачности и прецизности стрелачког наоружања, у склопу овог мастер рада урађено је и испитивање наведене конструкције.

Испитивање је изведено у стрелјани Војне Академије, а као оружје је примењена малокалибаркса пушка. Поставка експеримента постављена је на растојању од 6 m од места са којег је извршено гађање.

Пре самог почетка описа експеримента, битно је нагласити да су поједине компоненте идејног решења изостављене. Компоненте које нису имплементиране у испитивање су:

1. хоризонтални рам,
2. вертикални рам,
3. хоризонтални поларизациони филтер,
4. вертикални поларизациони филтер и
5. ИЦ диоде.

На слици 36 је приказана поставка експеримента.



Слика 36. Поставка експеримента

Као што се може видети са слике, за потребе овог пројекта искоришћене су четири микропроцесорске платформе, што значи да је примењено сто двадесет фототранзистора. Половина фототранзистора је постављена за вертикалну детекцију, док је друга половина за хоризонталну. На слици 37 је приказан једна тест плоча са шездесет фототранзистора и две микропроцесорске платформе. Наведене компоненте престављају једну од две активне компоненте система за регистровање проласка метка.



Слика 37. *Активне компоненте система*

Као извор ИЦ светлости у експерименту искоришћена је ИЦ лампа и камера за ноћно осматрање. Наведене компоненте су приказане на слици 38. ИЦ лампа је постављена тако да делује на хоризонталну активну компоненту, док је камера за ноћно виђење постављена да делује на вертикалну активну компоненту.



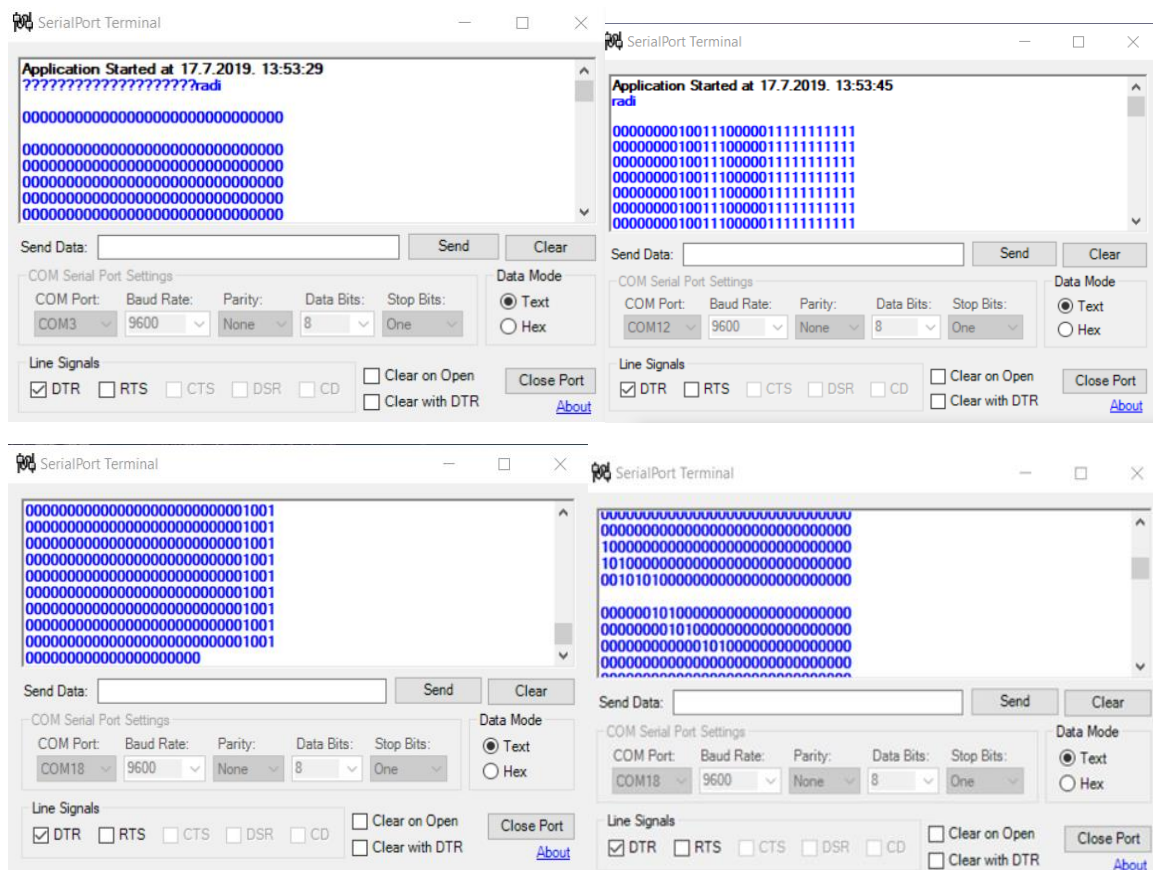
а)

б)

Слика 38. *ИЦ лампа а) камера за ноћно осматрање б)*

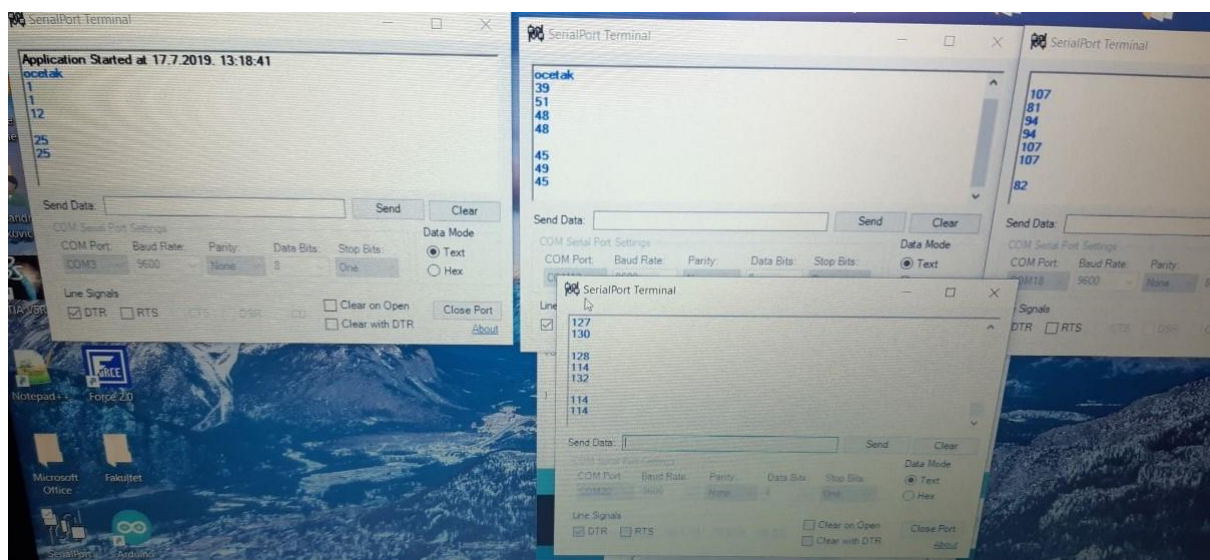
Након повезивања описаних компоненти, извршена је провера повезаности фототранзистора. Софтвер Arduino микропроцесорске платформе може да управља само једном платформом. Пошто се систем састоји од четири платформе које раде заједно у исто време, неопходан је софтвер који ће омогућити мониторинг свих Arduino Due платформа. Због наведених разлога примењен је софтвер Serial Port Terminal.

Након провере, извршена су гађања из оружја, тако да метак прође кроз оптичким рам, који су формирале активне компоненте постављене хоризонтално и вертикално. Резултати „Тест“ програма и „Главног“ програма приказани су на слици 39 и 40.



Слика 39. Резултати „Тест“ програма преко програма Serial Port Terminal

На слици 39 је могуће видети како је идејно решење успело да региструје пролазак метка.



Слика 40. Резултати „Главног“ програма преко програма Serial Port Terminal

На слици 40 су приказани фототранзистори који су изгубили сигнал због проласка метка.

ЗАКЉУЧАК

Принцип рада идејног решења се заснива на сигналној комуникацији између предајних и пријемних сензора. Све компоненте идејног решења су комерцијалне и јефтине, тако да је то велика предност у односу на постојећа решења. Фототранзистори су тако распоређени, размак између њих је свега 2,54 mm, да успешно региструју пролазак метка пречника 4,5 mm, 5,56 mm, 7,62 mm па навише.

На основу истраживања и анализе свих саставних компоненти, идејно решење представља веома корисно средство за оцену стрелачког наоружања у односу на класично одређивање параметара уз помоћ материјалне мете. Унапређене карактеристике су:

- скраћено време опита,
- аутоматско генерисање резултата параметара прецизности и тачности,
- ниска цена компоненти идејног решења и
- вечна употреба.

Поред конвенционалних метода одређивања тачности и прецизности, данас се у свету примењују савремени системи за аутоматско одређивање наведених параметара. Такви системи су веома поуздани и тачни, али оно што је њихов главни недостатак је превисока цена.

Сама суштина креирања идејног решења, јесте да замени конвенционалне методе и да функционише на принципу савремених аутоматских система, који су описани у поглављу 2. Идејно решење и савремени описани системи имају заједничке карактеристике као што су:

- аутоматско детектовање проласка метка,
- могућност детектовања метака при појединачној и рафалној паљби,
- мерење муниције свих калибара,
- приказивање резултата у тренутном времену,
- могућност мерења на различитим удаљеностима и
- једноставна повезаност са рачунаром.

Иако је принцип рада система прост, систем има релативно сложену конструкцију и доста делова. Као главни недостатак креираног аутоматског система издваја се осетљивост система на механичке утицаје конектора. Још један недостатак овог система јесте осетљивост фототранзистора на друге изворе светлости. Опите са овим системом би требало изводити у мрачим просторијама и да систем буде изолован од спољних механичких утицаја.

Смернице за даљи развој идејног решења су:

1. једноставнији начин повезивања компоненти;
2. креирање корисничког интерфејса који ће омогућити визуелну илустрацију мете и слике погодака формиране на испитивању;
3. дорада „Главног“ програма тако да осим што јавља који сензор је изгубио сигнал, израчуна и његову координату;
4. креирање програма за аутоматску калкулацију средњег поготка, на основу описаног математичког модела;

5. креирање програма за аутоматско одређивање средњег радијалног одступања средњег поготка од центра мете;

Испитивање идејног решења, које је изведено на Војној Академији, проглашено је успешним. Иако идејно решење није имало првобитно описане компоненте, недостатак поларизационих филтера и ИЦ диода није спречило регистрацију метка.

Оно што је велика предност овог система јесте и његов широк спектар могућности примене. Креиран је и применљив за различите сврхе као што су: вежбе гађања стрељачког наоружања, истраживање и развој малокалибарског оружја и управљање квалитетом муниције. Једноставном модификацијом и применом одговарајућих програма, систем може бити примењен и у друге сврхе, сем оне које су описане у овом мастер раду.

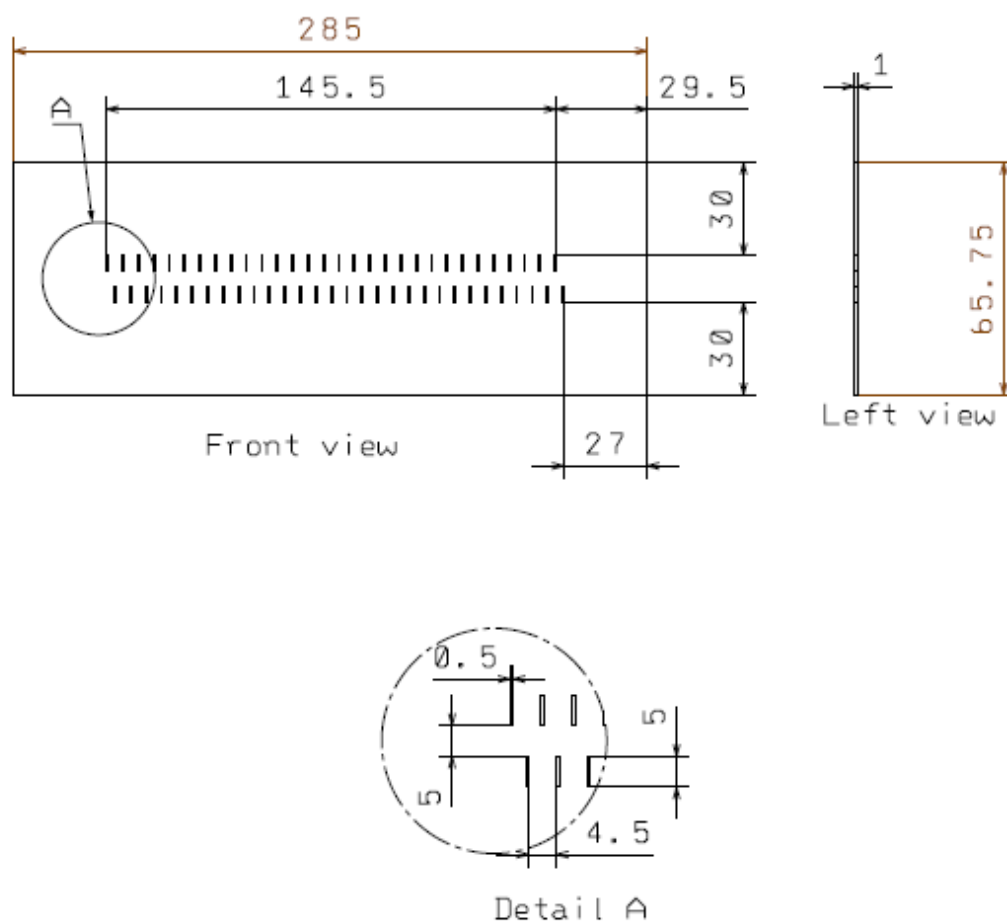
ЛИТЕРАТУРА

- [1] Regodić D, 2007, Exterior Ballistics Measurements in book Exterior Ballistics (in Serbian) VIZ, Belgrade
- [2] <https://www.luckylight.cn/en/products/infrared-led/ir-emitter/>
- [3] <https://www.mgelectronic.rs/ProductFilesDownload?Id=6904>
- [4] <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoDue>
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Polarizer>
- [6] <http://www.ballisticmeasurements.com/b590-optical-target-system-ex.php>
- [7] <http://www.kav.co.in/sites/default/files/POTSS2011%20Optical%20Target%20Scoring%20System.pdf>
- [8] Христов Н, Јерковић Д, Богдановић Б, Живковић А, Милутиновић Ј, 2019, "Automatic Measurement of Precision and Accuracy from the Hit Pattern of Small Arms using Electronic Target System"

ПРИЛОЗИ

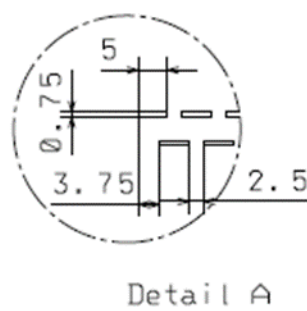
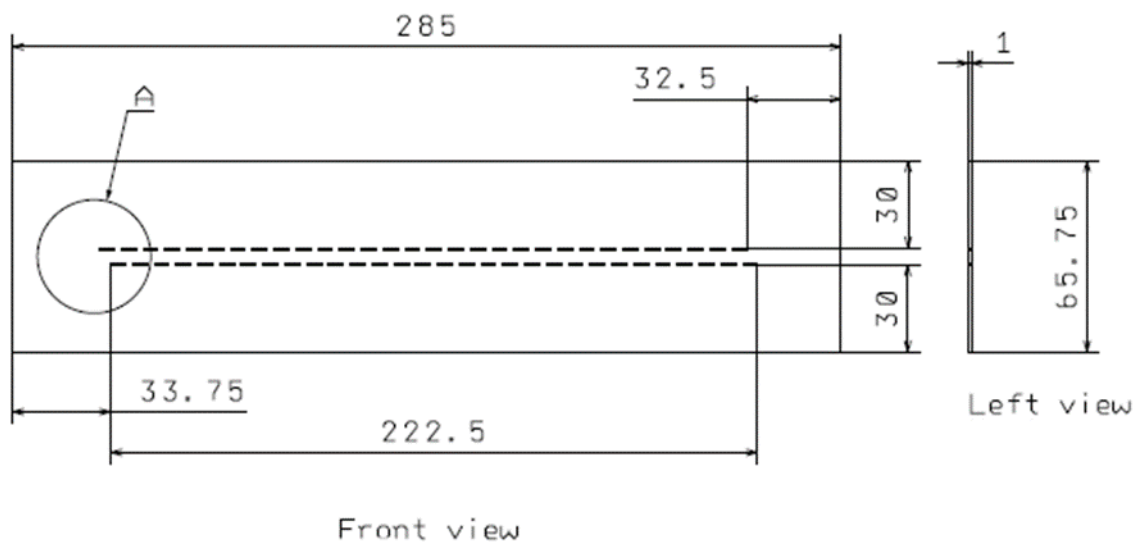
Прилог 1

Технички цртеж вертикалног поларизационог филтера



Прилог 2

Технички цртеж хоризонталног поларизационог филтера



Прилог 3

Програмско решење „Тест“ програма

```
const int prekidac1 = 53; // pin za prekidacconst
const int prekidac2 = 52; // pin za prekidacconst
const int prekidac3 = 51; // pin za prekidacconst
const int prekidac4 = 50; // pin za prekidacconst
const int prekidac5 = 49; // pin za prekidacconst
const int prekidac6 = 48; // pin za prekidacconst
const int prekidac7 = 47; // pin za prekidacconst
const int prekidac8 = 46; // pin za prekidacconst
const int prekidac9 = 45; // pin za prekidacconst
const int prekidac10 = 44; // pin za prekidacconst
const int prekidac11 = 43; // pin za prekidacconst
const int prekidac12 = 42; // pin za prekidacconst
const int prekidac13 = 41; // pin za prekidacconst
const int prekidac14 = 40; // pin za prekidacconst
const int prekidac15 = 39; // pin za prekidacconst
const int prekidac16 = 38; // pin za prekidacconst
const int prekidac17 = 37; // pin za prekidacconst
const int prekidac18 = 36; // pin za prekidacconst
const int prekidac19 = 35; // pin za prekidacconst
const int prekidac20 = 34; // pin za prekidacconst
const int prekidac21 = 33; // pin za prekidacconst
const int prekidac22 = 32; // pin za prekidacconst
const int prekidac23 = 31; // pin za prekidacconst
const int prekidac24 = 30; // pin za prekidacconst
const int prekidac25 = 29; // pin za prekidacconst
const int prekidac26 = 28; // pin za prekidacconst
const int prekidac27 = 27; // pin za prekidacconst
const int prekidac28 = 26; // pin za prekidacconst
const int prekidac29 = 25; // pin za prekidacconst
```

```
const int prekidac30 = 24;    // pin za prekidacconst
```

```
int sensorValue = 0; // variable to store the value coming from the sensor
```

```
void setup() {  
    // initialize the LED pin as an output:  
    pinMode(prekidac1, INPUT);  
    pinMode(prekidac2, INPUT);  
    pinMode(prekidac3, INPUT);  
    pinMode(prekidac4, INPUT);  
    pinMode(prekidac5, INPUT);  
    pinMode(prekidac6, INPUT);  
    pinMode(prekidac7, INPUT);  
    pinMode(prekidac8, INPUT);  
    pinMode(prekidac9, INPUT);  
    pinMode(prekidac10, INPUT);  
    pinMode(prekidac11, INPUT);  
    pinMode(prekidac12, INPUT);  
    pinMode(prekidac13, INPUT);  
    pinMode(prekidac14, INPUT);  
    pinMode(prekidac15, INPUT);  
    pinMode(prekidac16, INPUT);  
    pinMode(prekidac17, INPUT);  
    pinMode(prekidac18, INPUT);  
    pinMode(prekidac19, INPUT);  
    pinMode(prekidac20, INPUT);  
    pinMode(prekidac21, INPUT);  
    pinMode(prekidac22, INPUT);  
    pinMode(prekidac23, INPUT);  
    pinMode(prekidac24, INPUT);  
    pinMode(prekidac25, INPUT);  
    pinMode(prekidac26, INPUT);
```

```
pinMode(prekidac27, INPUT);
pinMode(prekidac28, INPUT);
pinMode(prekidac29, INPUT);
pinMode(prekidac30, INPUT);

Serial.begin(9600); // ukljucivanje komunikacije sa racunaro
Serial.println("radi");
}

void loop() {

  Serial.print(digitalRead(prekidac1));
  Serial.print(digitalRead(prekidac2));
  Serial.print(digitalRead(prekidac3));
  Serial.print(digitalRead(prekidac4));
  Serial.print(digitalRead(prekidac5));
  Serial.print(digitalRead(prekidac6));
  Serial.print(digitalRead(prekidac7));
  Serial.print(digitalRead(prekidac8));
  Serial.print(digitalRead(prekidac9));
  Serial.print(digitalRead(prekidac10));
  Serial.print(digitalRead(prekidac11));
  Serial.print(digitalRead(prekidac12));
  Serial.print(digitalRead(prekidac13));
  Serial.print(digitalRead(prekidac14));
  Serial.print(digitalRead(prekidac15));
  Serial.print(digitalRead(prekidac16));
  Serial.print(digitalRead(prekidac17));
  Serial.print(digitalRead(prekidac18));
  Serial.print(digitalRead(prekidac19));
  Serial.print(digitalRead(prekidac20));
  Serial.print(digitalRead(prekidac21));
```

```
Serial.print(digitalRead(prekidac22));  
Serial.print(digitalRead(prekidac23));  
Serial.print(digitalRead(prekidac24));  
Serial.print(digitalRead(prekidac25));  
Serial.print(digitalRead(prekidac26));  
Serial.print(digitalRead(prekidac27));  
Serial.print(digitalRead(prekidac28));  
Serial.print(digitalRead(prekidac29));  
Serial.println(digitalRead(prekidac30));  
// delay(500); // cekanje na očitavanje u milisekundama:  
}
```

Прилог 4

Програмско решење „Главног“ програма

```
int senzor = 0; //vrednost senzora koji je prekinut
```

```
const int prekidac1 = 53; // pin za prekidacconst
const int prekidac2 = 52; // pin za prekidacconst
const int prekidac3 = 51; // pin za prekidacconst
const int prekidac4 = 50; // pin za prekidacconst
const int prekidac5 = 49; // pin za prekidacconst
const int prekidac6 = 48; // pin za prekidacconst
const int prekidac7 = 47; // pin za prekidacconst
const int prekidac8 = 46; // pin za prekidacconst
const int prekidac9 = 45; // pin za prekidacconst
const int prekidac10 = 44; // pin za prekidacconst
const int prekidac11 = 43; // pin za prekidacconst
const int prekidac12 = 42; // pin za prekidacconst
const int prekidac13 = 41; // pin za prekidacconst
const int prekidac14 = 40; // pin za prekidacconst
const int prekidac15 = 39; // pin za prekidacconst
const int prekidac16 = 38; // pin za prekidacconst
const int prekidac17 = 37; // pin za prekidacconst
const int prekidac18 = 36; // pin za prekidacconst
const int prekidac19 = 35; // pin za prekidacconst
const int prekidac20 = 34; // pin za prekidacconst
const int prekidac21 = 33; // pin za prekidacconst
const int prekidac22 = 32; // pin za prekidacconst
const int prekidac23 = 31; // pin za prekidacconst
const int prekidac24 = 30; // pin za prekidacconst
const int prekidac25 = 29; // pin za prekidacconst
const int prekidac26 = 28; // pin za prekidacconst
```

```
const int prekidac27 = 27;  // pin za prekidacconst
const int prekidac28 = 26;  // pin za prekidacconst
const int prekidac29 = 25;  // pin za prekidacconst
const int prekidac30 = 24;  // pin za prekidacconst
```

```
int sen1 = 0;
int sen2 = 0;
int sen3 = 0;
int sen4 = 0;
int sen5 = 0;
int sen6 = 0;
int sen7 = 0;
int sen8 = 0;
int sen9 = 0;
int sen10 = 0;
int sen11 = 0;
int sen12 = 0;
int sen13 = 0;
int sen14 = 0;
int sen15 = 0;
int sen16 = 0;
int sen17 = 0;
int sen18 = 0;
int sen19 = 0;
int sen20 = 0;
int sen21 = 0;
int sen22 = 0;
int sen23 = 0;
int sen24 = 0;
int sen25 = 0;
int sen26 = 0;
```

```
int sen27 = 0;
int sen28 = 0;
int sen29 = 0;
int sen30 = 0;

void setup() {

  Serial.begin(9600); // ukljucivanje komunikacije sa racunaro
  Serial.println("Pocetak");

  pinMode(prekidac1, INPUT);
  pinMode(prekidac2, INPUT);
  pinMode(prekidac3, INPUT);
  pinMode(prekidac4, INPUT);
  pinMode(prekidac5, INPUT);
  pinMode(prekidac6, INPUT);
  pinMode(prekidac7, INPUT);
  pinMode(prekidac8, INPUT);
  pinMode(prekidac9, INPUT);
  pinMode(prekidac10, INPUT);
  pinMode(prekidac11, INPUT);
  pinMode(prekidac12, INPUT);
  pinMode(prekidac13, INPUT);
  pinMode(prekidac14, INPUT);
  pinMode(prekidac15, INPUT);
  pinMode(prekidac16, INPUT);
  pinMode(prekidac17, INPUT);
  pinMode(prekidac18, INPUT);
  pinMode(prekidac19, INPUT);
  pinMode(prekidac20, INPUT);
  pinMode(prekidac21, INPUT);
  pinMode(prekidac22, INPUT);
```

```
pinMode(prekidac23, INPUT);  
pinMode(prekidac24, INPUT);  
pinMode(prekidac25, INPUT);  
pinMode(prekidac26, INPUT);  
pinMode(prekidac27, INPUT);  
pinMode(prekidac28, INPUT);  
pinMode(prekidac29, INPUT);  
pinMode(prekidac30, INPUT);  
delay(1000); // cekanje na očitavanje u milisekundama:
```

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac1), prek1, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac2), prek2, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac3), prek3, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac4), prek4, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac5), prek5, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac6), prek6, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac7), prek7, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac8), prek8, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac9), prek9, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac10), prek10, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac11), prek11, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac12), prek12, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac13), prek13, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac14), prek14, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac15), prek15, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac16), prek16, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac17), prek17, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac18), prek18, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac19), prek19, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac20), prek20, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac21), prek21, RISING);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac22), prek22, RISING);
```

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac23), prek23, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac24), prek24, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac25), prek25, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac26), prek26, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac27), prek27, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac28), prek28, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac29), prek29, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(prekidac30), prek30, RISING);
delay(1000); // cekanje na očitavanje u milisekundama:
}

void loop() {
if ( senzor != 0 ){
  Serial.println(senzor);
  //delay(1); // cekanje na očitavanje u milisekundama:

  delay(5000); // cekanje na očitavanje u milisekundama:
  senzor = 0;
}

}

void prek1()
{
  senzor = 1;
}

void prek2()
{
  senzor = 2;
}
```

```
void prek3()
{

    senzor = 3;
}
```

```
void prek4()
{

    senzor = 4;

}
```

```
void prek5()
{

    senzor = 5;
}
```

```
void prek6()
{

    senzor = 6;
}
```

```
void prek7()
{

    senzor = 7;
}
```

```
void prek8()
```

```
{  
  
    senzor = 8;  
}  
  
void prek9()  
{  
  
    senzor = 9;  
}  
void prek10()  
{  
  
    senzor = 10;  
}  
void prek11()  
{  
  
    senzor = 11;  
}  
void prek12()  
{  
  
    senzor = 12;  
}  
void prek13()  
{  
  
    senzor = 13;  
}  
void prek14()  
{
```

```
    senzor = 14;  
}
```

```
void prek15()  
{
```

```
    senzor = 15;  
}
```

```
void prek16()  
{
```

```
    senzor = 16;  
}
```

```
void prek17()  
{
```

```
    senzor = 17;  
}
```

```
void prek18()  
{
```

```
    senzor = 18;  
}
```

```
void prek19()  
{
```

```
    senzor = 19;  
}
```

```
void prek20()  
{
```

```
    senzor = 20;
```

```
}  
void prek21()  
{  
  
    senzor = 21;  
}  
void prek22()  
{  
  
    senzor = 22;  
}  
void prek23()  
{  
  
    senzor = 23;  
}  
void prek24()  
{  
  
    senzor = 24;  
}  
void prek25()  
{  
  
    senzor = 25;  
}  
void prek26()  
{  
  
    senzor = 26;  
}  
void prek27()
```

```
{  
  
    sensor = 27;  
}  
void prek28()  
{  
  
    sensor = 28;  
}  
void prek29()  
{  
  
    sensor = 29;  
}  
void prek30()  
{  
  
    sensor = 30;  
}
```