

**ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA SENZORA BLIZINE UZ  
KORIŠTENJE PROGRAMABILNOG LOGIČKOG KONTROLERA I  
ROBOTSKE JEDINICE "RV-2AJ"**

**TESTING PROXIMITY SENSOR CHARACTERISTICS USING  
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER AND ROBOT  
UNIT "RV-2AJ"**

**Džemila Badnjar, magistar mašinstva  
Mašinski fakultet, Univerzitet u Zenici,  
Zenica, Bosna i Hercegovina**

**r. prof. dr. sc. Malik Čabaravdić,  
v. as. mr. Dženana Tomašević,  
Mašinski fakultet-Univerzitet u Zenici  
Zenica, Bosna i Hercegovina**

**prof. dr. sc. Almir Osmanović,  
Mašinski fakultet-Univerzitet u Tuzli  
Tuzla, Bosna i Hercegovina**

**REZIME**

*U današnjoj industrijskoj proizvodnji svi proizvodni procesi se pokušavaju automatizirati u većoj ili manjoj mjeri. Porastom automatizacije došlo je do sve veće potrebe za senzovima blizine bez kojih automatizirani sistemi ne bi bili mogući. Senzori blizine poboljšavaju radni kapacitet i kvalitetu samog rada. Odgovorni su za mjerenje radnih parametara, praćenje radnih operacija, identifikaciju kvarova i još mnogo toga. U ovom radu je prikazan eksperiment ispitivanja karakteristika i primjene senzora blizine. Za realizaciju eksperimenta mjerenja karakteristika senzora blizine korištena je robotska jedinica „Mitsubishi Melfa RV-2AJ“ i programabilni logički kontroler sa senzovima blizine ,smješteni u laboratoriji Mašinskog fakulteta Univerziteta u Zenici.*

**Ključne riječi:** senzori blizine, PLC, robotska jedinica RV-2AJ

**ABSTRACT**

*In today's industrial production, all production processes are attempted to be automated to a greater or lesser extent. With the increase in automation, there was an increasing need for proximity sensors, without which automated systems would not be possible. Proximity sensors improve work capacity and quality of work itself. They are responsible for measuring operating parameters, monitoring work operations, identifying faults and much more. This paper presents an experiment of testing the characteristics and application of the proximity sensor. The "Mitsubishi Melfa RV-2AJ" robotic unit and a programmable logic controller with proximity sensors, located in the laboratory of the Faculty of Mechanical Engineering, University of Zenica, were used for the implementation of the experiment measuring the characteristics of proximity sensors.*

**Keywords:** proximity sensors, PLC, robotic unit RV-2AJ

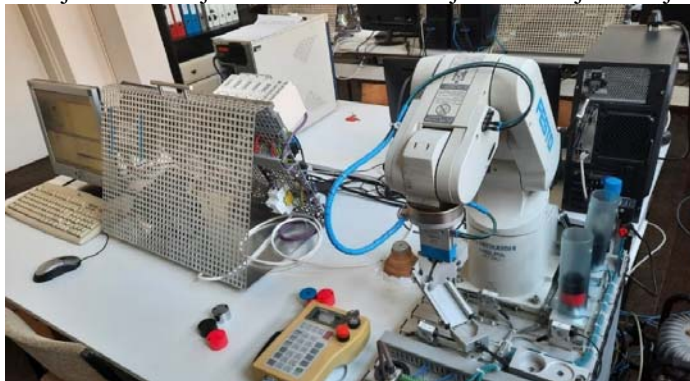
**1. UVOD**

Mjerenje zauzima značajno mjesto kod industrijskih procesa, jer nam daje kvantitativne informacije o procesu, odnosno objektu kojim se upravlja. Mjerenje određenih mehaničkih,

hemijskih, bioloških i procesnih veličina se provodi pomoću različitih uređaja kao što su senzori, mjerni pretvarači, različite vrste prijemnika itd. Senzori su veoma minijaturni, imaju dobre tehničke karakteristike i sposobnost obrade signala [11]. Primjenjuju se prvenstveno za provjeru rada, procjenu stanja rada i nadzor procesa, pa se mogu koristiti prije, u toku i poslije procesnih operacija. Jedno nedavno istraživanje pokazuje razvoj kompaktnog senzora blizine koji detektira udaljenosti i ugao nagiba površine objekta, sa greškom udaljenosti, od tačke do tačke manjom od 31  $\mu\text{m}$  i vremenom mjerenja manjim od 1 ms [1]. Pored senzora, postoje i drugi elementi koji mogu doprinijeti poboljšanju proizvodnje. Jedan od njih je i programabilni logički kontroler (PLC). PLC-ovi su podigli stepen automatizacije proizvodnih procesa tako što su izbacili stare relejne sisteme koji su bili glomazni i neefikasni [12]. Skratili su prazan hod u proizvodnim pogonima, smanjili su i potrošnju električne energije koja je bila potrebna za upravljanje sistemom. Zbog brzine PLC uređaja, vrijeme trajanja ciklusa proizvodnih procesa je smanjeno što na kraju rezultira većom produktivnošću proizvodnog procesa. U ovome radu prikazano je ispitivanje osobina i kriterija upotrebe senzora blizine. Ispitivanje osobina i kriterija upotrebe senzora blizine je izvršeno pomoću PLC-a i robotske jedinici "RV-2AJ" smještene u laboratoriji Fakulteta. Pomoću robotske jedinice donošeni su predmeti do senzora blizine smještenih na radnoj stanici PLC-a, na osnovu čega su testirane osobine senzora blizine. U današnje vrijeme primjena induktivnih i kapacitivnih senzora blizine u brojnim aplikacijama je implementirana pomoću PLC-a [8].

## 2. MJERENJE KARAKTERISTIKA SENZORA BLIZINE

Za ispitivanje osobina senzora blizine korištena je robotska jedinica "RV-2AJ" i programabilni logički kontroler. "RV-2AJ" je kompaktni industrijski robot razvijen pomoću Mitsubishijeve napredne tehnologije. Zbog svoje svestranosti i fleksibilnosti industrijski roboti su bitna komponenta automatiziranih proizvodnih sistema[14]. S druge strane, ove karakteristike čine robote vrlo složenim i krhkim strojevima. Robot prikazan na slici 1. je "RV-2AJ". Ovaj tip robota ima pet rotacijskih spojeva koji mu daju pet stepeni slobode kretanja, tj. kretanje po x,y,z osi te translacija i rotacija. Jedno nedavno istraživanje prikazuje razvoj sistema dual-mode rada senzora blizine, koji je sastavljen od induktivnog i kapacitivnog tipa senzora, koji mogu pomoći robotu „RV-2AJ“ da razlikuje različite objekte i istovremeno dobije informacije o udaljenosti objekta [2].



Slika 1. Oprema laboratorije Fakulteta korištena za mjerenje osobina senzora blizine

Robot RV-2AJ je ustvari robotska ruka koja ima nosivost od 2 kg i doseg od 410 mm. A ponovljivost ovog robota je oko 0,02 mm. Da bi se robot povezo sa radnom stanicom PLC-a kreiran je računarski programski kod u softveru CIROS studio. Pomoću CIROS programa mogu se modelirati određeni procesi, simulirati robotske ćelije i automatizirati proizvodni procesi. U kodu prvo je definisana tačka *PI*, to je tačka u prostoru, u koju dolazi robot, zatim se definiše ulazno-izlazni signal *IO-input/output* pod imenom „*rampa*“, tipa bit 0 i 1. Ovo definisanje koda se odnosi na senzor robota koji će da reaguje na predmet. Kada se taj uslov ispuni kod se

nastavlja. Sljedeći korak jeste tačka  $P2$ . To je tačka u koju mini robot dolazi i uzima predmet, nakon što senzor robota registruje predmet. Kao predmet u eksperimentu korišten je plastični cilindar određenog prečnika ( $d=4\text{ cm}$ ). Plastični predmet se različitim brzinama, koje su navedene u tabeli 1., kreće do senzora blizine. Nakon što je mini robot uzeo predmet odnosi ga pomoću komande  $MOV$  u tačku  $P3$ , tj. u tačku kontakta sa ultrazvučnim senzorom blizine. Nakon ultrazvučnog senzora blizine mini robot odnosi predmet do sljedećeg senzora, tj. tačke  $P4$  u kojoj predmet ostvaruje kontakt s optičkim senzorom blizine. Zatim dolazi iz tačke  $P4$  do kapacitivnog senzora blizine, tj. tačke  $P5$ . Nakon kapacitivnog senzora, predmet ostvaruje kontakt sa induktivnim senzorom blizine u tački  $P6$ . Posljednje linije programskog koda se odnose na operacije kada mini robot vraća predmet u spremnik. Za mjerenje osobina senzora blizine predstavljeni su ulazni i izlazni faktori u tabeli 1. Ulazni faktori su: *boja i brzina*. Mjerenje je vršeno na tri različita nivoa, to su: *donji nivo (-1), osnovni nivo (0) i gornji nivo (+1)*. Kao izlazna veličina mjerenja osobina senzora uzet je opseg (*range*) djelovanja senzora.

Tabela 1. Ulazni faktori

|                           | -1     | 0       | +1          |
|---------------------------|--------|---------|-------------|
| Faktor A-boja ( $x_1$ )   | crna   | crvena  | siva (sjaj) |
| Faktor B-brzina ( $x_2$ ) | 50mm/s | 100mm/s | 200mm/s     |

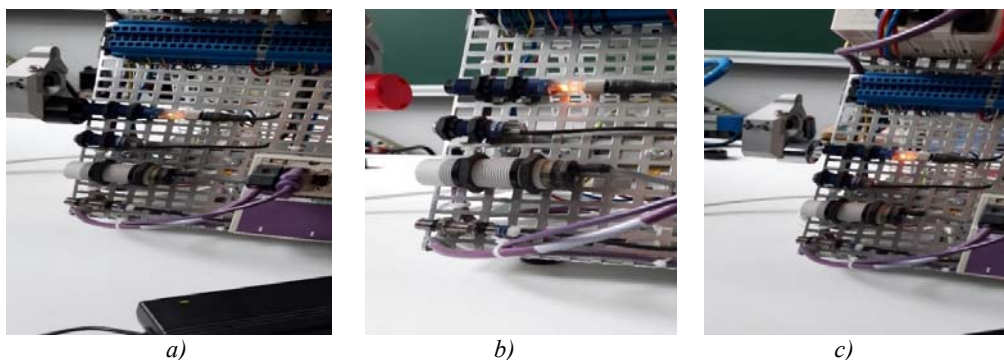
Prvi korak koji je neophodan za sprovođenje eksperimentalnog dijela jeste određivanje plan-matrice. Koristiti će se potpuni faktorni plan eksperimenta sa  $2^k = 2^3$  sa trostrukim ponavljanjem eksperimenta u svakoj tački plana. Matrica plana eksperimenta i rezultati eksperimenta su dati tabelom 2.

Tabela 2. Matrica plana eksperimenta i rezultati mjerenja

| Eksperimentalne tačke | Plan-matrica i kodirane vrijednosti |             |             |              | Rezultati eksperimenta |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------------------|
|                       | $x_0$                               | $x_1 (A)\#$ | $x_2 (B)\#$ | $x_1 x_2 \#$ |                        |
| 1                     | 1                                   | -1          | +1          | -1           | 22.1                   |
| 2                     | 1                                   | +1          | -1          | -1           | 35                     |
| 3                     | 1                                   | -1          | -1          | +1           | 30                     |
| 4                     | 1                                   | +1          | +1          | +1           | 60.3                   |
| 5                     | 1                                   | +1          | -1          | -1           | 49.6                   |
| 6                     | 1                                   | +1          | -1          | -1           | 64.6                   |
| 7                     | 1                                   | -1          | -1          | +1           | 42.4                   |
| 8                     | 1                                   | +1          | +1          | +1           | 47.4                   |

## 2.1. Mjerenje karakteristika ultrazvučnog senzora blizine

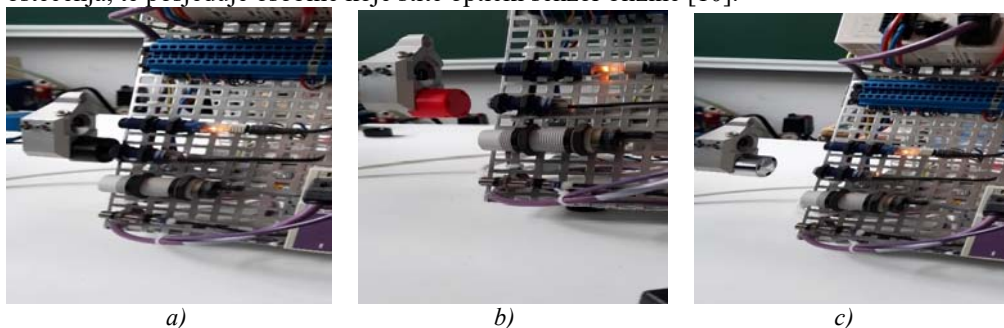
Prve dvije tačke eksperimenta se odnose na ultrazvučni senzor blizine. *Slika 2.* prikazuje opseg djelovanja ultrazvučnog senzora blizine na tri različita nivoa eksperimenta. Na *slici 2. a)* crni predmet se nalazi u tački dodira sa ultrazvučnim senzorom blizine, tj. u tački  $P3$ , pa ultrazvučni senzor blizine detektuje predmet. *Slika 2. b)* prikazuje da se crveni predmet nalazi na udaljenosti  $35\text{ mm}$  od ultrazvučnog senzora blizine, tj. predmet je izašao izvan opsega djelovanja senzora, pa ultrazvučni senzor blizine ne detektuje predmet. Kao posljednji korišteni predmet na gornjem nivou eksperimenta uzet je sivi plastični predmet čiji materijal daje određeni odsjaj. *Slika 2. c)* prikazuje opseg djelovanja ultrazvučnog senzora blizine na sivi plastični predmet, predmet se nalazi u tački dodira sa ultrazvučnim senzorom blizine, tj. u tački  $P3$ , te senzor detektuje predmet. Ultrazvučni senzor detektira predmet/metu sve dok predmet ne izađe izvan opsega djelovanja. Kako se tehnološki svijet eksponencijalno razvijao posljednjih desetljeća, nosiva elektronika je rastuća industrija i po veličini i po značaju. Ultrazvučni senzori su precizni, imaju širok raspon osjeta, mogu raditi u teškim okruženjima, ali imaju veoma sporo vrijeme odziva i skloni su smetnjama u ultrazvuku [5].



Slika 2. Opseg djelovanja ultrazvučnog senzora blizine na tri različita nivoa eksperimenta

## 2.2. Mjerenje karakteristika optičkog senzora blizine

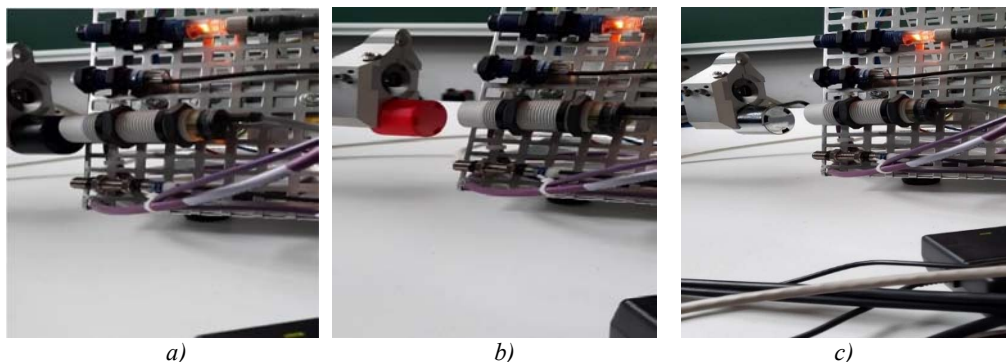
U ovom poglavlju rada prikazano je mjerenje karakteristika optičkog senzora blizine. Opseg djelovanja optičkog senzora blizine na tri različita nivoa eksperimenta prikazan je na slici 3. Na slici 3. a) crni predmet se nalazi u tački dodira sa optičkim sensorom blizine, tj. u tački  $P_4$ , te optički sensor blizine detektuje predmet. Slika 3. b) prikazuje trenutak kada se crveni predmet našao izvan opsega djelovanja optičkog senzora blizine, pa sensor ne detektuje predmet. Na slici 3. c) prikazan je trenutak kada se sivi predmet nalazi na udaljenosti 60.3 mm od optičkog senzora blizine, te optički sensor blizine ne detektira predmet. U jednom nedavnom istraživanju prikazan je razvoj zaštitne maske optičkog senzora blizine koja ima veliku otpornost na razna oštećenja, te posjeduje osobine koje štite optički sensor blizine [10].



Slika 3. Opseg djelovanja optičkog senzora blizine na tri različita nivoa eksperimenta

## 2.3. Mjerenje karakteristika kapacitivnog senzora blizine

Naredna slika prikazuje opseg djelovanja kapacitivnog senzora blizine na tri različita nivoa eksperimenta. Slika 4. a) prikazuje tačku kontakta kapacitivnog senzora blizine i crnog plastičnog predmeta, pri najmanjoj brzini kretanja predmeta. Kapacitivni sensor reaguje na predmet u svim tačkama, sve dok predmet ne izađe izvan opsega djelovanja senzora. Kapacitivni sensor reaguje i na predmet crvene boje, što je prikazano na slici 4. b). Na slici 4 c) sivi predmet se našao izvan opsega djelovanja kapacitivnog senzora, tj. na udaljenosti 64.6 mm te kapacitivni sensor blizine ne reaguje na predmet. Kapacitivni senzori blizine su veoma jednostavni, jeftini i vrlo energetske učinkoviti što je prikazano u jednom nedavno provedenom istraživanju [7]. Jedna od mana kapacitivnih senzora blizine jeste velika osjetljivost na radno okruženje kao što su naprimjer promjene u ambijentalnim varijablama temperaturi, vlažnosti, osvjetljenje ili promjene u prisutnosti unutarnjih predmeta što može umanjiti tačnost senzorskih podataka. Kapacitivni senzori blizine su i prikladni za određene obrazovne projekte zbog svoje niske cijene i jednostavnog dizajna [9]. Nakon kapacitivnog senzora blizine, slijedi induktivni sensor blizine PLC-a, što je prikazano u narednom poglavlju rada.

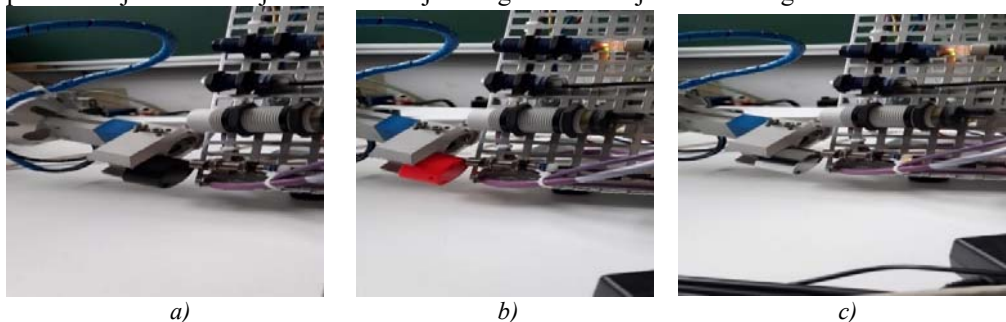


Slika 4. Opseg djelovanja kapacitivnog senzora blizine na tri različita nivoa eksperimenta

## 2.4. Mjerenje karakteristika induktivnog senzora blizine

Slika 5. a) i b) prikazuje tačku kontakta induktivnog senzora blizine sa crnim i crvenim predmetom. Induktivni senzor blizine ne reaguje na predmet. Razlog tome je to što je materijal predmeta plastika. Čak ni najmanja brzina kretanja predmeta nije omogućila da induktivni senzor reaguje na predmet. Pored tačke dodira predmeta i senzora, senzor ne reaguje na predmet ni udaljavanjem predmeta od senzora.

Induktivni senzor blizine reaguje na sivi predmet u tački dodira predmeta i senzora, tj. u tački P6, što je prikazano na slici 5 c). Na osnovu čega može se zaključiti da induktivni senzor blizine detektira predmet koji u sebi sadrži bar malu količinu metala. U ovom slučaju sivi predmet presvučen je tankim slojem metala što je omogućilo reakciju induktivnog senzora blizine.



Slika 5. Opseg djelovanja induktivnog senzora blizine na tri različita nivoa eksperimenta

## 3. ZAKLJUČAK

Kao što se moglo vidjeti iz prikazanih rezultata induktivni senzor blizine je reagovao samo na jedan predmet, i to samo u tački dodira predmeta sa senzorom. Razlog tome je materijal predmeta. Induktivni senzori blizine se široko koriste u aplikacijama gdje je potrebno detektirati metalne predmete/objekte, kao što su naprimjer određene sigurnosne aplikacije/primjene, pakiranje proizvoda te se primjenjuju u svrhu automatizacije proizvodnje. Ovaj tip senzora ima i uska ograničenja kada su u pitanju neke daljnje primjene. Ograničenja induktivnih senzora blizine se odnose samo na detekciju metalnih predmeta. Kao još jedno ograničenje primjene induktivnih senzora blizine može se navesti osjetljivost senzora na performanse vanjskih objekata kao što su naprimjer drugi senzor u blizini, ekstremne temperature, hemikalije i fizički nestabilna oštra okruženja [13]. Nažalost, navedeni nedostaci su dovoljni da bi došlo do određenih prekida primjene induktivnih senzora blizine u određenim granama industrije. Induktivni senzori detektiraju samo metalne predmete, a kapacitivni senzori detektiraju i nevodljive materijale kao što su staklo, tekućine i plastika. Induktivni senzori koriste magnetska polja pod utjecajem metalnih predmeta, a kapacitivni senzori mjere promjene u električnim

poljima uzrokovane dielektričnim konstantom različitih materijala. Za razliku od induktivnog senzora blizine, kapacitivni, ultrazvučni i optički senzori blizine su detektirali sva tri korištena predmeta u eksperimentu. S obzirom da su osnovni i gornji nivo eksperimenta imali manje brzine kretanja predmeta, to je rezultiralo da senzori bolje i tačnije reaguju na predmet. Pri većim brzinama kretanja bilo je tačaka u kojima predmet nije izašao izvan opsega djelovanja senzora, ali senzor bezuspješno reaguje na predmet, zbog same brzine kretanja. Kapacitivni senzori blizine u odnosu na induktivne, imaju širi spektar primjena, kao što su naprimjer: kontrola vlage, nedestruktivno/automatsko reagovanje. Kapacitivni senzori blizine su dosta otporniji na različita fizička i hemijska okruženja. U nedavnom istraživanju [3] prikazan je razvoj hardvera sistema koji osigurava vještačko dodirno osjetilo antropomorfnog robota. Ovim istraživanjem je utvrđeno da je većina kapacitivnih senzora blizine, ugrađenih kako na hvataljkama antropomorfnih robota, tako i na robotima drugih tipova, implementirana u smislu tehnologije mikroelektromehaničkim sistemima (MEMS). Pored kapacitivnih senzora blizine i ultrazvučni senzori blizine daju mogućnosti beskontaktnog otkrivanja, bez utjecaja boje i prozirnosti objekta, nisu ugroženi mjestima s ekstremnim uslovima, pa čak otkrivaju i predmete u mračnim okruženjima sa veoma niskom potrošnjom struje. Nedostaci ultrazvučnih senzora blizine se ogledaju samo kroz ograničeni opseg detekcije, što se moglo vidjeti iz prikazanih rezultata eksperimenta. Za razliku od ultrazvučnih senzora blizine, optički senzori blizine se odlikuju velikom osjetljivošću, te nemaju određenih elektromagnetskih smetnji. Jedna veoma bitna karakteristika optičkih senzora jeste primjena u vakuumu. Jedan od nedostataka optičkih senzora blizine jeste osjetljivost na onečišćenja poput prašine i maziva. Optički senzori blizine mogu detektirati objekte do 10 m udaljenosti, kao i čvrste, tekuće, praškaste i neprozirne materijale. Imaju veoma širok radni raspon, kao i sposobnost detekcije malih objekata koji se nalaze na znatnoj udaljenosti s dobrom tačnošću pozicioniranja [4].

#### 4. REFERENCE

- [1] Keisuke K., Makoto S., Taku S.: High-speed high-precision proximity sensor for detection of tilt, distance and contact – IEEE Robotics and Automation Letters, Volume: 3, Issue: 4, October 2018
- [2] Wenging K., Ying H., Xiao Z.: A dual-mode proximity sensor with combination of inductive and capacitive sensing units – ISSN 0260-22888, January 2018
- [3] Nikita P., Ekaterina C., Nikolai P., Alexandra S.: Circuit schematics of a capacitive proximity sensor – IEEE Conference Publication, January 2020
- [4] Satoshi T.: A tactile and proximity sensor by optical and electrical measurement – IEEE Conference 28-31 October 2013
- [5] Jing G. : A comprehensive analysis of different types of proximity sensor in wearable electronic devices – Applied and Computational Engineering, May 2024
- [6] Tania K., Cesar F., Gabriel R.: Proximity sensor for measuring social interaction in a school environment – IEEE Conference Publication, July 2024
- [7] Reza M., Paniz H., Saeed M., Hamid D.: Recent advances on capacitive proximity sensors: from design and materials to creative application – Journal C, Volume 8, Issue 2., May 2022
- [8] Dorina P., Ioan M.G., Anca P.: Study, testing and application of proximity sensors for experimental training on measurement systems – International Carpathian Control Conference, July 2017
- [9] Aaron D.S.: A simple capacitive proximity sensor experiment for exploring the effects of body capacitance and earth ground – IEEE, Volume 55, Issue 4, September 2018
- [10] Hikaru A.: A fast optical proximity sensor skin that contains an analog computing circuit and can cover an entire link – IEEE, Pages 1083-1099, 26 July 2023
- [11] Popović M., "Senzori i mjerenja", Sarajevo 2004
- [12] Bolton W. (Fourth editiona 2006): Programmable Logic Controllers
- [13] Zaimović-Uzunović N., "Mjerna tehnika", Mašinski fakultet, Zenica 2006
- [14] Mitsubishi Industrial Robot, RV-1A/RV-2AJ series "MELFA BFP-A8050-K"