

# LABORATORIJSKI MODEL POKRETNE TRAKE ZA SORTIRANJE PROIZVODA

## LABARATORY MODEL OF CONVEYOR BELT FOR PRODUCT SORTING

Davor Gadže<sup>1</sup>, Krešimir Krklec<sup>2</sup>, Ivan Šulekić<sup>1</sup>, Srđan Jelčić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Omco Croatia d.o.o.

### SAŽETAK

Ovaj rad opisuje mogućnosti i važnost automatskog sortiranja objekata. Za prepoznavanje boje objekta koristi se RGB senzor, a za razvrstavanje objekata koje se vrši preciznim pomicanjem pokretne trake koristi se servo motor. Istosmjerni motor upravljani tranzistorskim pretvaračem pokreće transportnu traku čija se brzina mjeri inkrementalnim enkoderom. Mikrokontroler Arduino Uno upravlja brzinom istosmjernog motora, a samim time i položajem objekta na pokretnoj traci.

**Ključne riječi:** Pokretna traka, sortiranje, automatsko upravljanje

### ABSTRACT

This paper describes the possibilities and significance of automated object sorting. For color object detection a RGB sensor is used and for object sorting on the conveyor end servo drive is used. Single quadrant chopper-fed DC motor drives the conveyor and speed is measured with incremental encoder. Speed control is performed by Arduino Uno development board.

**Keywords:** conveyer belt, sorting, automation

## 1. UVOD

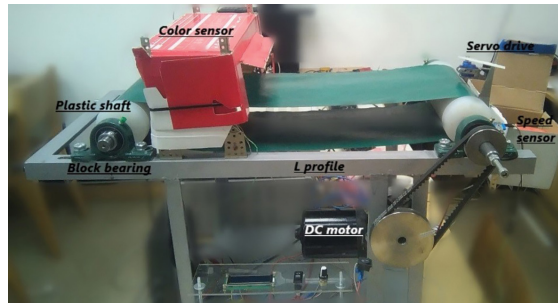
### 1. INTRODUCTION

Cilj ovog rada je prikazati kako izgraditi pokretnu traku i regulirati brzinu pomicanja. Prilikom izrade konstrukcije modela potrebno je pojedine dijelove postaviti pod točno određenim kutom i na točno određenoj udaljenosti kako bi se osigurao

pravilan rad. Laboratorijski model je namijenjen da prikaže funkcionalnost sustava, za upotrebu u stvarnom pogonu potrebno je ojačati pojedine dijelove, primjerice remen pokretne trake.

Regulacija brzine vrtnje potrebna je kako bi se osigurala stabilnost predmeta koji se transportira pokretnom trakom.

Slika 1 prikazuje laboratorijski model pokretne trake.



Slika 1 Laboratorijski model pokretne trake [1]

Figure 1 Laboratory model of conveyor belt [1]

## 2. IZRADA KONSTRUKCIJE

### 2. CONSTRUCTION ASSEMBLY

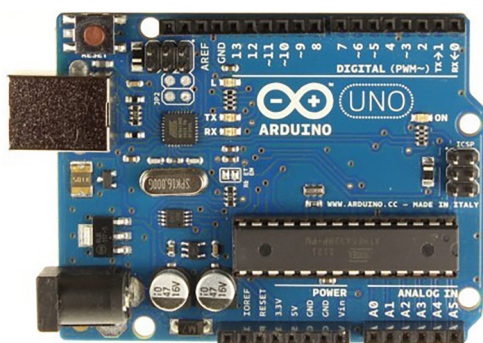
Konstrukcija laboratorijskog modela izrađena je od aluminijskih L profila koji osiguravaju dovoljnu čvrstoću i omogućuju jednostavno pričvršćivanje ostalih mehaničkih dijelova. Zbog male mase i izdržljivih fizičkih svojstava pokretna traka napravljena je od tanke cerade. Obje osovine pokretne trake imaju utor na krajevima kako cerada ne bi sklznula s osovine prilikom postavljanje predmeta na rub. Pogonska osovina je postavljena nepomično, a stražnja osovina

ima mogućnost podešavanja preko zatezača postavljenih na oba ležaja kako bi se osiguralo pravocrtno gibanje pokretne trake.

### 3. UPRAVLJANJE BRZINOM ISTOSMJERNOG MOTORA

#### 3. DC MOTOR SPEED REGULATION

Sustav za upravljanje brzinom vrtnje sastoji se od mikroupravljača Arduino Uno, tranzistorskog pretvarača i istosmjernog motora sa stalnim magnetima.



Slika 2 Arduino Uno R3 upravljačka pločica [2]

Figure 2 Arduino Uno R3 board [2]

#### 3.1 MIKROUPRAVLJAČ ARDUINO UNO 3.1 ARDUINO UNO MICROCONTROLLER

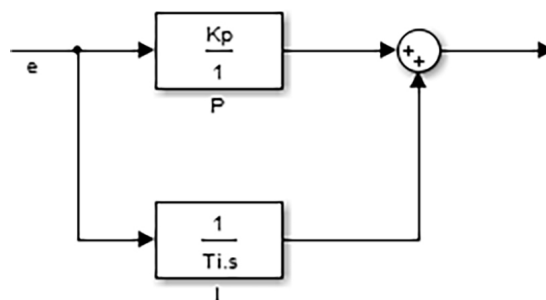
PI regulator izveden je programski unutar mikrokontrolera koji se bazira na ATmega328P čipu. Razvojna pločica Arduino Uno R3 prikazana je na slici 2, karakteristike mikroupravljača vidljive su u tablici 1.

Tablica 1 Karakteristike mikroupravljača Atmega 328P [2]

Table 1 Technical characteristic of ATmega238P[2]

Naziv mikroupravljača	ATmega328p
Radni napon	5V
Napajanje	7-12V
Digitalni I/O pinovi	14 (6 PWM izlaza)
Analogni ulazi	6
Flash memorija	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Radna frekvencija	16 MHz

Regulator je implementiran unutar korištene PID biblioteke funkcija. Budući da se radi o procesu prvog reda, moguće je postići dobru regulaciju samo sa PI regulatorom. Parametri regulatora određeni su eksperimentalnom metodom. Ova metoda koristi razliku između referentne vrijednosti koju postavlja mikroupravljač i povratnu vrijednost koju očitava enkoder.



Slika 3 Blok shema paralelnog PI regulatora [1]

Figure 3 Parallel PI regulator block scheme [1]

Tijekom podešavanja regulatora proporcionalno djelovanje se postepeno povećava dok se ne dobije blago prekoračenje željene brzine vrtnje, zatim se integracijska konstanta smanjuje. Glavni cilj je da sustav što brže dostigne zadanu brzinu vrtnje, ali da zadrži blagi start kako bi predmeti na pokretnoj traci ostali stabilni. Dozvoljeno je blago prekoračenje brzine vrtnje prilikom pokretanja uz uvjet da regulator u što kraćem vremenu prilagodi brzinu zadanu.

Prijenosna funkcija PI regulatora:

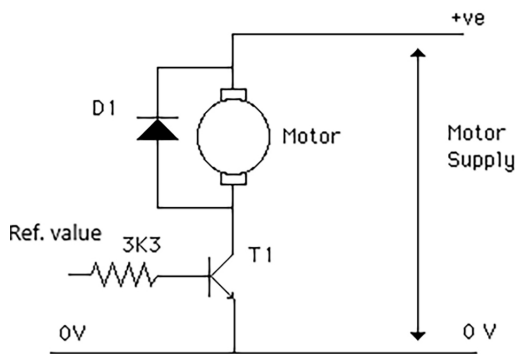
$$F(s) = K * \frac{1+sT}{sT} = 0.8 * \frac{1+0.65s}{0.65s} = 0.8 * \left( \frac{1}{0.65s} + 1 \right) = 0.8 + \frac{1.54}{s} \quad (1)$$

Izlazni signal iz regulatora je PWM (Pulsno-širinska modulacija) s podesivim radnim ciklusom koji se može namjestiti pomoću potencijometra.

#### 3.2 TRANZISTORSKI PRETVARAČ 3.2 SINGLE QUADRANT CHOPPER

Za kontrolu brzine istosmjernog motora koristi se tranzistorski pretvarač. Mikrokontroler, koji služi kao regulator, na svom izlazu generira PWM signal koji se dovodi na ulaz tranzistorskog pretvarača. Frekvencija upravljačkog signala ovisi o referentnoj vrijednosti koja se zadaje preko

potencijometra, dok vremensko trajanje ovisi isključivo o PI regulatoru.



Slika 4 Električna shema tranzistorskog pretvarača i istosmjernog motora [2]

Figure 4 Electrical scheme of single quadrant chopper and DC motor [2]

Izlazni napon kreće se u rasponu 0-24V i dovodi se na armaturu istosmjernog motora.

Prijenosna funkcija tranzistorskog pretvarača:

$$F(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{U_a * \frac{T_{on}}{\tau}}{U_a} = \frac{T_{on}}{\tau} = f_{ch} * T_{on} = 31,25 * 10^3 * T_{on} \quad (2.)$$

### 3.3 ISTOSMJERNI MOTOR

#### 3.3 DC MOTOR

Istosmjerni motor sa stalnim (permanentnim) magnetima koristi se kao pogonski dio regulacijskog kruga. Poznati su podaci motora:

- Nazivni napon: 24 V
- Nazivna brzina vrtnje: 75 RPM
- Nazivna snaga 78,5 W
- Nazivna struja: 10A

Navedeni podaci nisu dovoljni da se odredi prijenosna funkcija motora. Mjerenjem ovisnosti između brzine vrtnje putem tahogeneratora i napona armature istosmjernog motora dobiveni su podaci za određivanje prijenosne funkcije. Podaci su obrađeni pomoću MATLAB-ovog programskog paketa System Identification Toolbox, a rezultat je prijenosna funkcija istosmjernog motora kao i cijelog laboratorijskog modela budući da su prilikom provedbe mjerenja pogonski mehanizam pokretne trake i motor bili povezani remenskim prijenosom.

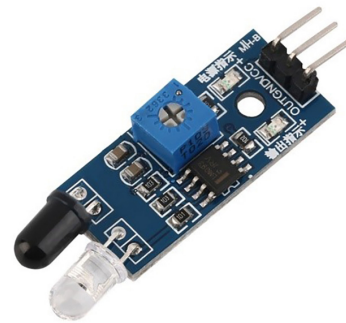
Prijenosna funkcija istosmjernog motora:

$$F(s) = \frac{\omega(s)}{U_a(s)} = \frac{K_p}{(1+sT_{p1})} = \frac{4,84}{1+0.5856s} \quad (3.)$$

### 3.4 INFRACRVENI SENZOR

#### 3.4 INFRARED SENSOR

Brzina vrtnje istosmjernog motora mjeri se infracrvenim senzorom, koji je prikazan na slici 5. Senzor služi kao povratna veza regulacijskog kruga za PI regulator. Izlaz senzora spojen je na mikrokontroler koji mjeri vrijeme između dobivenih impulsa i na taj način određuje brzinu pokretne trake.



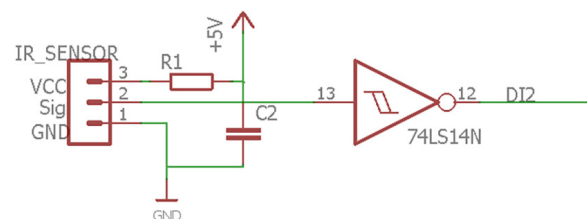
Slika 5 Infracrveni senzor [1]

Figure 5 Infrared sensor [1]

Prijenosna funkcija infracrvenog senzora kao mjernog člana je:

$$F(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta \omega(s)} = \frac{5-0}{120-80} = 0,125 \quad (4.)$$

Maksimalna brzina koju senzor može očitati je 120 rad/s. Zbog smetnji koje se događaju prilikom mjerenja brzine između mikrokontrolera i senzora dodan je RC filter i Schmittov okidni sklop. Električna shema prikazana je na slici 6.



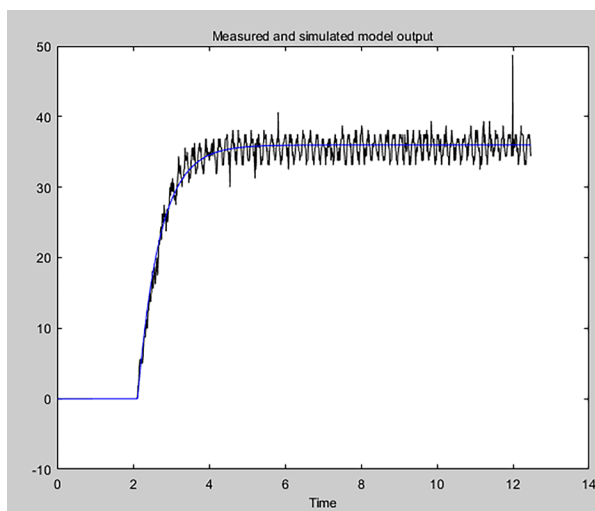
Slika 6 Električna shema infracrvenog senzora, RC filtera i schmittovog okidača [1]

Figure 6 Electrical scheme of IR sensor, RC filter and Schmitt trigger [1]

## 4. POVRATNA VEZA REGULACIJE BRZINE VRTNJE

### 4. SPEED REGULATION FEEDBACK LOOP

Za podešavanja referentne vrijednosti koristi se potenciometar s izlaznim naponom 0-5 V, spojen na analogni ulaz mikroupravljača koji očitava namješteni napon. Ako je referentna vrijednost postavljena na 5 V, tada je brzina vrtnje istosmjernog motora 120 rad/s, ili ako je referentna vrijednost postavljena na 0 V, brzina vrtnje je 80 rad/s. Izlaz mjernog elementa je kvadratni signal (PWM) koji se zatim programski matematički pretvara u broj od 80 do 120 rad/s. Regulator zatim koristi razliku referentne vrijednosti i izlaza mjernog elementa u povratnoj vezi. Radni ciklus upravljačkog signala iz regulatora mijenja se ovisno o razlici referentne vrijednosti i izmjerene vrijednosti povratne veze. Upravljački signal dovodi se na tranzistorski pretvarač koji napaja istosmjerni motor. Brzina motora ovisi o radnom ciklusu PWM signala.



Slika 7 Vremenski odziv brzine motora [1]

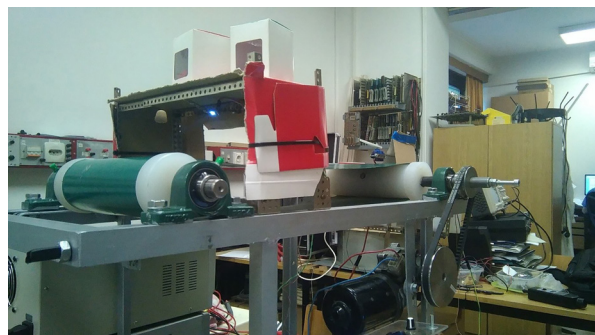
Figure 7 Speed control time response [1]

## 5. SENZOR ZA RASPOZNAVANJE BOJA

### 5. COLOR SENSOR

Boja predmeta na pokretnoj traci se određuje pomoću RGB senzora koji je montiran na postolju iznad same pokretne trake. Senzor je prekriven kako bi se umanjio utjecaj okolnog svjetla s ciljem

dobivanja što preciznijeg očitavanja boja. Slika 8 prikazuje smještaj senzora na laboratorijskom modelu.



Slika 8 Smještaj RGB senzora na modelu [1]

Figure 8 Position of colour sensor [1]

Senzor kao izlaznu vrijednost vraća vrijednost crvene, zelene i plave boje kao i intenzitet svjetlosti. Filter za blokiranje infracrvenog svjetla smješten je na foto diodama koje očitavaju boje, smanjuje IC spektralnu komponentu dolaznog svjetla i omogućuje točno mjerenje boja. U kombinaciji s kućištem oko senzora, visoka osjetljivost samog senzora, širok dinamički raspon i infracrveni filter čine ovaj uređaj idealnim za korištenje u raznim uvjetima osvjetljenja. Funkcijski blok senzora prikazan je na slici 9.

## 6. SERVO MEHANIZAM

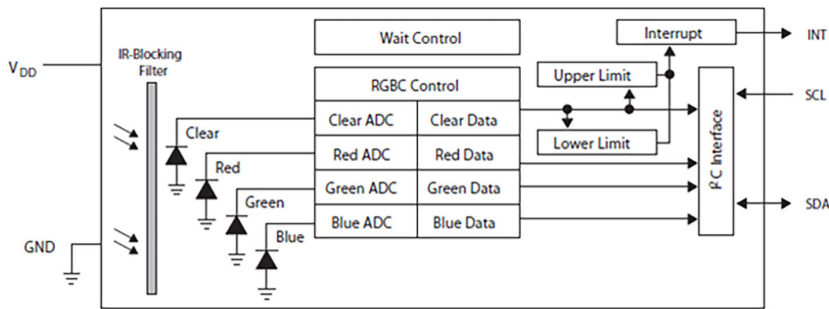
### 6. SERVO DRIVE

Servo sustav se nalazi na kraju pokretne trake i služi za razvrstavanje predmeta ovisno o njihovoj boji. Za potrebe ovog rada korišten je mali servo motor koji pretvara dobiveni napon u linearni ili kutni pomak. Servo motor za upravljanje koristi dolazni PWM signal koji mu daje mikroupravljač.

Servo je zapravo implementacija automatiziranog upravljačkog sustava (ACS), ne pomiče se dok ne dobije ulazni signal kao referentnu vrijednost pozicije. Kada dobije ulazni signal servo sustav radi sljedeće

- Regulator će pretvoriti ulazni signal u referentni napon, koji odgovara položaju pogonske osovine
- Upravljačka elektronika će očitati položaj osovine mjerenjem napona potenciometra koji je povezan s osovinom

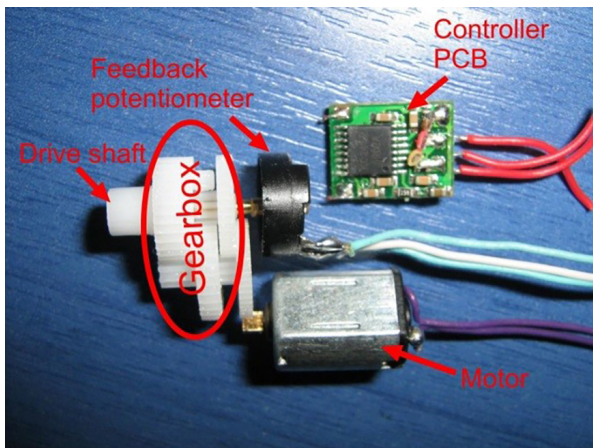




*Slika 9 Funkcijski blok dijagram RGB senzora [6]*

*Figure 9 Functional block diagram of color sensor [6]*

- Ako su naponi jednaki, položaj je ispravan i nema potrebe za promjenom položaja.
- Ako su naponi različiti, upravljač će pokrenuti motor u jednu ili u drugu stranu, ovisno u koju stranu je potrebno zakrenuti osovinu dok ne dođe u željeni položaj.
- Servo sustav nikad nije u stanju mirovanja već neprestano provjerava ima li pomaka osovine zbog vanjskih smetnji te po potrebi ispravlja položaj da odgovara zadanom položaju



*Slika 10 Servo sustav [7]*

*Figure 10 Inside of a servo drive [7]*

## 7. PRINCIP RADA

### 7. PRINCIPLES OF OPERATION

Kada se sustav pokrene, mikroupravljač pokreće motor pokretne trake koristeći unaprijed zadane parametre PI regulatora i provjerava u kojem je položaju potencijetar za referencu brzine te u odnosu na to mijenja parametre PI regulatora i brzinu vrtnje motora. Servo sustav za razvrstavanje predmeta postavlja se u sredinu. Nakon što predmet prođe ispod senzora za raspoznavanje boja, mikroupravljač daje nalog servo sustavu da

se pomakne na određenu poziciju i na taj način preusmjeri predmet koji je na pokretnoj traci.

## 8. ZAKLJUČAK

### 8. CONCLUSION

Laboratorijski model pokretne trake za razvrstavanje proizvoda prema boji namijenjen je edukaciji budući da se parametri regulatora mogu lako mijenjati što dovodi do promjene brzine i te se brzine mogu lako pratiti i izvesti zaključci o ponašanju sustava na temelju izvedene promjene. Model se može lako nadograditi kao i izvesti sa drugom opremom za upravljanje ukoliko je potrebno.

Prednosti korištenja ovakvog sustava su:

- Arduino platforma i programsko okruženje su jednostavni za programiranje i korištenje. Kompatibilan je s mnogim operacijskim sustavima.
- Jednostavno je mijenjati elemente i njihove parametre u programskom kodu.
- Moguće je mjeriti signale i njihove vrijednosti između mikroupravljača i ostalih elemenata sustava i prikazivati ih na računalu ili na zaslonu.

Također postoje i neki nedostaci:

- nizak radni napon, mala snaga i osjetljivost na smetnje okolne elektronike.
- ATmega328P nema dovoljno interrupt pinova stoga je potrebno koristiti programski algoritam za stalnu provjeru promjene stanja na digitalnim ulazima prilikom svakog hardverskog interrupta.

Moguće je napraviti poboljšanja na modelu:

- Sigurnosna zaštita koja onemogućuje diranje pokretnih dijelova modela kako bi se smanjila

moogućnost ozlijede prilikom rada.

- Ugraditi neovisno napajanje zbog jednostavnosti korištenja na mjestu gdje postoji strujna priključnica. Nije potrebno istosmjerno laboratorijsko napajanje 24V.

## 9. REFERENCE

### 9. REFERENCES

- [1.] Krklec K., Laboratorijski model pokretne trake za sortiranje proizvoda, završni rad, Zagreb 2017, Tehničko veleučilište u Zagrebu
- [2.] "ARDUINO Tutorials", [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc), 2017.
- [3.] "Mosfet", [www.talkingelectronics.com/index.](http://www.talkingelectronics.com/index/), 2017.
- [4.] N. Perić, "Automatsko Upravljanje", FER, Zagreb, 1998.
- [5.] M. Fruk, G. Vujisić, T. Špoljarić, "Parameter Identification of Transfer Functions Using MATLAB", 35th International Convention, MIPRO, ISBN 978-953-233-073-1, CD 978-953-233-076-2, Opatija, 2012.
- [6.] "TCS3472"- [https://.adafruit.com.pdf](https://adafruit.com/pdf), 2017
- [7.] "RC servo"- [http://pcbheaven.com/wikipages/RC\\_Servos/](http://pcbheaven.com/wikipages/RC_Servos/)

## AUTORI · AUTHORS

• **Davor Gadže** - rođen 05.07.1972. god u Zenici, maturirao 1990. god MIOC u Zagrebu, diplomirao 1996. god FER u Zagrebu na smjeru elektrostrojarstvo i automatizacija, magistrirao 2002 na istom fakultetu. Radio prvih 9 godina kao asistent na matičnom fakultetu, a od 2005. god radi na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu kao viši predavač. Područja interesa su mu projektiranje i nadzor električnih instalacija, nužni izvori napajanja i mjerenja prijelaznih pojava na NN.

### Korespondencija · Correspondence

davor.gadze@tvz.hr

• **Krešimir Krklec** - Rođen 06.11.1995. god u Celju, Slovenija, maturirao 2014. god u Krapini, završni rad obranio 2017. god., a diplomski 2019. god., oboje na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu. Radi od 2018. god u Omco Croatia d.o.o.

Područja interesa su mu robotika, automatizacija.

### Korespondencija · Correspondence

kkrklec0@gmail.com

• **Ivan Šulekić** - Rođen je 08.09.1983 godine u Zagrebu. U Zagrebu završava osnovnu školu i Srednju školu Sesvete (Elektrotehničku) gdje stječe zvanje tehničar za računalstvo. Po završetku srednje škole 2002. godine upisuje Fakultet elektrotehnike i računalstva, Sveučilišta u Zagrebu. Studij završava 2008 godine s temom diplomskog rada Modernizacija postrojenja Elektrolize tvornice Aluminij u Mostaru pod mentorstvom dr.sc. Gorislava Ercega. Primarni interesi rada su upravljanje, regulacija, nadzor i projektiranje elektroinstalaterskih radova u građevinarstvu i industriji. Aktivno se koristi računalom za gotovo sve svrhe. U svome radu se aktivno koristi engleskim jezikom. Nakon studija radi u raznim privatnim tvrtkama kao inženjer za puštanje u pogon, razvojni inženjer. servisni inženjer, ispitivač električnih instalacija i stručnjak zaštite na radu. Na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu izvodi nastavu iz Automatskog Upravljanja, Elemenata automatizacije i Sustava automatizacije. Tijekom rada na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu sudjeluje u nadzoru i projektiranju raznih elektroinstalaterskih radova u građevinarstvu i industriji. 2020 godine objavljuje stručni članak Decision tree algorithm for control of compressor multiset in refrigeration industry koji je objavljen u časopisu MIPRO 2020.

### Korespondencija · Correspondence

ivan.sulekic@tvz.hr

• **Srdan Jelčić** - Rođen je 18. 10. 1981 godine u Puli. Nakon završene Opće gimnazije Pula upisuje i završava Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu. Nakon završenog fakulteta 2010 godine zapošljava se u brodogradilištu Uljanik d.d. U početku radi kao ispitivač električnih uređaja, a zatim kao konstruktor projektant. Nakon zatvaranja brodogradilišta Uljanik završava tečaj za AutoCad specijalistu u Alegbri. U HEP grupi 2019 godine radi na priključcima kao inženjer u terenskoj jedinici. Na Tehničkom veleučilištu Zagreb započinje s radom u prosincu 2020 godine.

### Korespondencija · Correspondence

srдан.jelcic@tvz.hr