

RAZVOJ SISTEMA SA DALJINSKIM UPRAVLJANJEM I MONITORINGOM VENTILA ZA GRANIČNI USLOV: UKLJUČENO, ISKLJUČENO NAPAJANJE ENERGIJOM**DEVELOPMENT OF SYSTEM WITH REMOTE CONTROL AND MONITORING OF VALVES FOR BOUNDARY CONDITION: ON, OFF POWER SUPPLY**

Zlatko Vasić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast: INDUSTRIJSKO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj - Jedna mogućnost uštede vazduha pod pritiskom kao energenta jeste da se ne drži sistem pod pritiskom kada proizvodnja ne radi. Realizacijom graničnog uslova uključen/isključen dovod vazduha pod pritiskom (sistem je pod napajanjem/sistem nije pod napajanjem) može da se ostvari potencijalna ušteda od 2% do 10% uz malu investiciju. U tu svrhu, u okviru rada opisan je i realizovan pneumatski sistem sa daljinskim upravljanjem i praćenjem stanja elektropneumatskog ventila. Ideja i realizacija ostvarenog sistema u potpunosti ide u smeru koncepta Industrije 4.0 pri čemu se teži ka unapređenju proizvodnog procesa i uštedi energije.

Ključne reči: *Pneumatika, upravljanje na daljinu*

Abstract – One possibility to save compressed air as an energy source is not to keep the system under pressure when production is not running. By realizing the boundary condition compressed air supply on/off (the system is under power / the system is not under power), a potential saving of 2% to 10% can be achieved with a small investment. For this purpose, a pneumatic system with remote control and monitoring of the state of the electro-pneumatic valve was described and realized within the scope of the work. The idea and implementation of the realized system is completely in the direction of the concept of Industry 4.0, where the aim is to improve the production process and save energy.

Keywords: *Pneumatics, Remote control*

1. UVOD

Automatizacija igra značajnu ulogu u svakodnevnom životu ljudi. Ona ima za cilj da olakša svakodnevne poslove u bilo kojoj sferi primene obavljajući umne i fizičke poslove umesto čoveka. Razvojem IoT (Internet of Things) i Mesh mreža, konkretno industrijska automatizacija dobija na sve većem značaju. Povećava se prisutnost novih tehnologija umrežavanja rada industrijskih sistema i mašina koje imaju potencijal da značajno olakšaju svakodnevne poslove i stvore velike uštede sistemima. IoT tehnologija, kao koncept Industrije 4.0, dobija na sve većem značaju uz učestalost razvoja informacionih tehnologija, uvođenjem novih vidova bežične komunikacije i razvojem mikrokontrolera i mikroprocesora. IIoT (Industrial Internet of Things) postaje kompetentno tržište koje je svakako u ekspanziji.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Jovan Šulc, vanr. prof.

IoT zahteva brz i efikasan transport informacija. Ove informacije se transportuju u vidu poruka preko internet protokola koji je posebno prilagođen za vid komunikacije sistema prema mašini ili mašine prema mašini.

Ovaj rad je sačinjen od više celina. Prvi deo rada se odnosi na odeljak o pneumatici, pneumatskom upravljanju, pneumatskim komponentama i energetske efikasnosti pneumatskih sistema. Zatim naredni odeljak govori o upravljanju na daljinu koje obuhvata IoT (kao i IIoT), WiFi (kao način komunikacije) i MQTT protokol (koji podržava realizovan sistem). U narednim odeljcima prikazan je opis realizovanog sistema, način rada sistema, kao i sve hardverske komponente koje se koriste za realizaciju sistema. Takođe, je prikazan postupak 3D štampe hardverske kutije za zaštitu hardverskih komponenta. Preostalim odeljcima obuhvaćen je softverski deo sistema sa aplikacijom i prikazane su sve moguće funkcije rada realizovanog sistema. Prikazan je i programski kod kao i radno okruženje u kojem je napisan program. Na kraju rada je dat odeljak sa zaključcima i pravcima daljih istraživanja.

Očekuje se da će se korišćenjem ovog realizovanog sistema značajno uticati na produktivnost proizvodnje i povećati energetska efikasnost sistema vazduha pod pritiskom, čime će se podstaći industrijski rast i uštede energije.

2. O PNEUMATICI

Pneumatika predstavlja naučno - tehnološku disciplinu koja izučava primenu vazduha pod pritiskom, koji rezultuje određeno kretanje ili mehanički rad. Sa pojavom i potrebom povećanja automatizacije radnih procesa, pneumatika i pneumatski sistemi dobijaju sve više na značaju, a takođe sve više pronalaze primenu u industrijskim sistemima. Pored električne energije, vazduh pod pritiskom je postao jedan od osnovnih prenosnika energije u oblasti industrijskih sistema [1].

2.1. Pneumatski sistem

Velika prednost primene pneumatskih sistema jeste da pružaju visoke brzine rada izvršnih organa (aktuatora), dug vek trajanja pneumatskih komponenti i pouzdanost pri radu, sigurnost od preopterećenja, jednostavne regulacije brzina i sila izvršnih organa, jednostavnost održavanja, zadovoljenje ekoloških procesa.

Dobro konstruisan i upravljan sistem za proizvodnju, pripremu i distribuciju vazduha pod pritiskom (jedinstvena celina pneumatskog sistema) može znatno da uštedi energiju, smanji troškove održavanja i poveća produktivnost industrijskog sistema. U opštem slučaju pneumatski sistemi

su sačinjeni od elemenata za proizvodnju i pripremu vazduha, elemenata za distribuciju vazduha, izvršnih elemenata, upravljačkih elemenata, signalnih elemenata i pomoćnih elemenata.

2.2. Energetska efikasnost pneumatskog sistema

Energetski efikasan sistem vazduha pod pritiskom je rezultat dobrog projektovanja, upravljanja i održavanja sa ciljem da se obezbedi minimalan gubitak pritiska u distributivnom sistemu, optimalan kvalitet vazduha pod pritiskom i energetska upotreba vazduha pod pritiskom na mestima potrošnje. Sistemski prilaz povećanju energetske efikasnosti automatizovanih sistema vazduha pod pritiskom započinje detaljnim pregledom (oditom) i analizom sistema za proizvodnju, skladištenje i distribuciju vazduha pod pritiskom (sistemске karakteristike, karakteristike potrošnje i karakteristike proizvodnje vazduha pod pritiskom) sa jedne strane i analize potrošača sa druge strane [2].

Najveći gubici u sistemu vazduha pod pritiskom se mogu podeliti u četiri grupe: gubici nastali curenjem vazduha iz sistema, prekomernom potrošnjom vazduha u sistemu (neadekvatna upotreba), padom pritiska u sistemu (ΔP), trenjem između kliznih površina pneumatskih komponenti.

3. DALJINSKO UPRAVLJANJE

Posmatrano iz tehničkog aspekta, pod pojmom „daljinsko upravljanje“ ili „upravljanje na daljinu“ opisuju se postupci, tehnike i sistemi koji omogućavaju upravljanje objektima, procesima ili njihovim sastavnim delovima na daljinu [3].

Za implementaciju daljinskog upravljanja, potrebno je razviti odgovarajuće softversko rešenje koje će omogućiti upravljanje sistemom. Razlika u odnosu na klasično upravljanje je to što se ova vrsta upravljanja odvija sa lokacija koje se nalaze na udaljenijim rastojanjima od objekata upravljanja. Objekat upravljanja i upravljački objekat nemaju direktni kontakt jer se između njih nalazi telekomunikacioni ili mrežni sistem koji omogućava prenos podataka i signala. Upravljanje na daljinu danas se primenjuje u industrijskim sistemima, za realizaciji tzv. „pametnih“ sistema.

Daljinsko upravljanje je primenjivo i prilikom aktiviranja glavnog pneumatskog razvodnog ventila, gde pored pneumatske ili ručne aktivacije, u većini slučajeva može biti primenjena i električna aktivacija. Kod električnog aktiviranja glavnog razvodnika, moguće je daljinski odnosno bežično upravljati glavnim razvodnikom. Prednost daljinskog odnosno bežičnog upravljanja pneumatskim razvodnikom je nepostojanje vodova kojima se upravlja, što može biti prednost u industrijskim sistemima gde nesmotrenim reakcijama ili nepažljivim rukovanjem može doći do presecanja vodova, tj. do prestanka komunikacije sa glavnim razvodnikom i gubitka kontrole nad istim.

3.1. Internet stvari (IoT) i IIoT

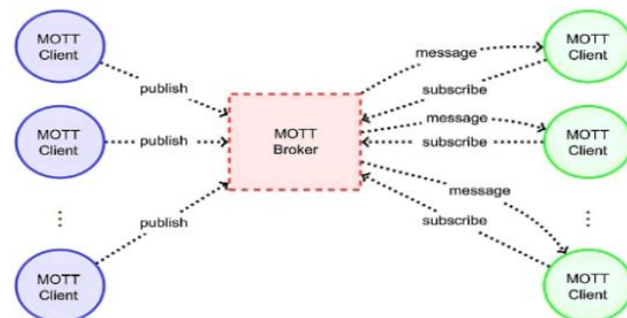
Pojam IoT se odnosi na globalnu vrstu mreže koja povezuje bilo koji uređaj sa Internetom putem određenog protokola, gde se vrši razmena informacija u cilju postizanja pametnog prepoznavanja, pozicioniranja, praćenja, nadzora i upravljanja sistemima. Jednostavnije se može reći da pokretanje procesa može biti realizovano bez direktne veze sa čovekom. IoT kombinuje povezanost sa senzorima, uređajima i ljudima i uključuje interakciju između čoveka i

mašine, softvera i hardvera. IIoT je posebna kategorija IoT-a koja se fokusira na primenu rešenja u modernim industrijama (Industrija 4.0) i inteligentnoj proizvodnji. IIoT pruža rešenja i funkcije koje razvijaju uvid i sposobnost praćenja i kontrole procesa industrijskih preduzeća. Usluge i aplikacije IIoT-a pružaju mnogobrojna rešenja za efikasnije upravljanje sistemom. Primarni fokus je optimizacija operacija sistema kao što su održavanje i automatizacija procesa. Pametne mašine primenom IIoT mogu samostalno da nadgledaju i predvide moguće neusaglašenosti u proizvodnji, što rezultira smanjenjem zastoja i porastom proizvodne efikasnosti.

3.2. MQTT protokol

MQTT je vodeći TCP/IP Machine-to-Machine/IoT komunikacioni protokol za Industriju 4.0 koji obezbeđuje razmenu podataka unutar mreže uređaja. To je komunikacioni model za objavljivanje/prijavlivanje, sa brzim vremenom odgovora. Dobar je izbor i za male uređaje sa malom potrošnjom energije, i prenosom podataka sa malim propusnim opsegom [4].

MQTT predstavlja dvosmerni komunikacioni protokol, koji koristi model *publish/subscribe*, ima niska mrežna opterećenja i može se implementirati na uređaje male snage kao što su mikrokontroleri koji se mogu koristiti u daljinskom upravljanju. Kod modela *publish/subscribe* postoje dve vrste klijenata, prvi je objavljivač koji je snabdevač informacija, a drugi je pretplatnik koji dobija informacije. Razmena podataka se ostvaruje preko servera odnosno Broker-a (slika 1).



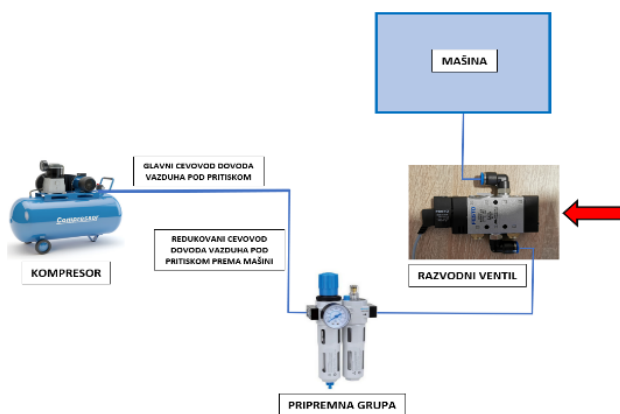
Slika 1. Prikaz modela rada MQTT protokola

MQTT Broker predstavlja centralnu komunikacionu tačku, sa klijentima (objavljivač i pretplatnik) i komunicira preko internet veze ili lokalne mreže. Sistem funkcioniše tako što objavljivač šalje poruku Broker-u sa identifikatorom koji predstavlja oblast ili temu poruke, a zatim Broker dobijenu poruku prosleđuje svim pretplatnicima na datu temu (Topic). Broker server koji je podignut prilikom izrade ovog rada je HiveMQ Community Edition. MQTT predstavlja aplikativni protokol u čijem je jezgri TCP/IP protokol, što znači da razmena podataka između klijenta i servera započinje nakon što klijent uspostavi TCP/IP vezu sa serverom na određenom mrežnom portu.

4. ODABRANO REŠENJE SISTEMA

Rešenje sistema se bazira na primeni daljinskog, bežičnog upravljanja pneumatskim sistemom u cilju povećanja energetske efikasnosti sistema vazduha pod pritiskom. Kako bi se smanjile ljudske greške i propustu u oblasti štednje i racionalne potrošnje vazduha pod pritiskom, potrebno je gde god je moguće (svaka mašina koja koristi

vazduh pod pritiskom za rad) uvesti automatizovan način aktiviranja elektromagnetnog razvodnog ventila. Razvodni ventil je potrebno postaviti između pripreme grupe i mašine (slika 2) i na taj način automatskim uključivanjem ili isključivanjem propuštati vazduh pod pritiskom do mašine. U zavisnosti od radnog stanja u kojem se nalazi mašina, kao i od vremena koje se troši na pauze operatera, promenu smena, itd. treba da se obezbedi automatizovano zatvaranje ili otvaranje dovoda vazduha do mašine. Za slučaj koji se odnosi na statičku i dinamičku potrošnju vazduha pod pritiskom (mašina nije u svom radnom ciklusu, a ima dovod vazduha pod pritiskom), obezbeđen je automatizovan sistem koji prepoznaje da mašina određeni vremenski period nije radila (sleeping mode). Na osnovu toga je omogućeno zatvaranje razvodnog ventila kako bi se dovod vazduha prekinuo. Takvi slučajevi su zastoji, sitni kvarovi, itd.



Slika 2. Pozicija postavljanja razvodnog ventila u sistemu

4.1. Opis sistema

Razvijeno daljinsko upravljanje poseduje dva režima rada (ručni i automatski režim rada).

Kod automatskog režima rada je obezbeđen izbor vremenskog upravljanja razvodnim ventilom, gde se tačno definiše od strane korisnika, izbor vremena kada želi da se pusti vazduh u sistem, kao i izbor vremena kada želi da se izvrši odzračivanje sistema.

Ručni režim rada se odnosi na ručno aktiviranje razvodnog ventila (taster na ekranu aplikacije).

Za slučaj da mašina nije u aktivnom režimu rada, odnosno u dinamičkom režimu rada (uslov na primer 15 min), razvodni ventil dovoda vazduha pod pritiskom se deaktivira.

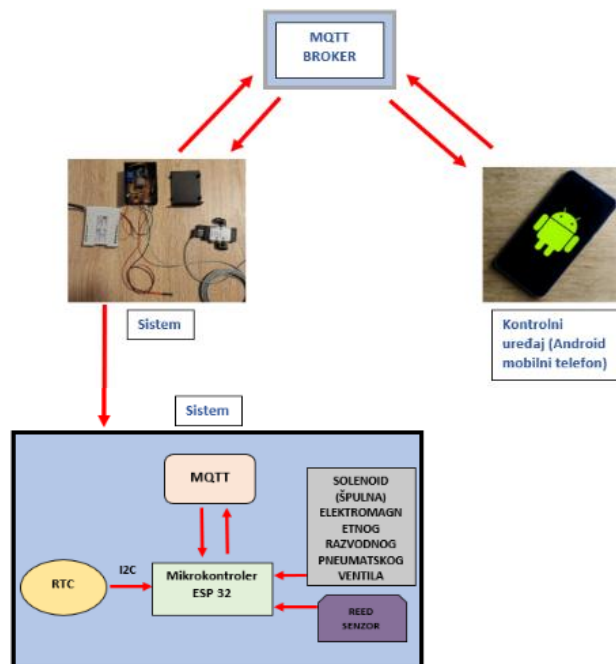
Sistem ima opciju izbora željenih dana u nedelji (preko aplikacije), gde je moguće aktivirati/deaktivirati sve dane u kojima mašina radi/ne radi.

Kompletno rešenje sistema se bazira na mikrokontroleru koji, putem mobilnog uređaja, daljinski upravlja i prati stanje elektromagnetnog pneumatskog razvodnog ventila. Upravljanje je moguće ostvariti u lokalno.

Sistem se sastoji iz tri glavne celine, to su hardverska kutija sa komponentama i mikrokontrolerom, MQTT server (Brooker) i upravljački uređaj tj. android mobilni telefon. Na slici 3, je prikazan blok dijagram sistema.

Na korisničkom računaru je potrebno podignuti server MQTT. Neophodno je da se računar poveže na lokalnu mrežu na kojoj se nalazi i upravljački uređaj (mobilni

telefon sa aplikacijom) kao i realizovani sistem. Upravljački uređaj poseduje instaliranu aplikaciju MQTT Dashboard. U aplikaciju se unose parametri servera (IP adesa i port servera). Ciklus konekcije između svih ovih celina se bazira na principu da se svaka od celina uspešno konektuje na jednu (zajedničku) WiFi mrežu i da se potom potvrdi da je konekcija uspešno izvršena. Logičke operacije u sistemu izvršava mikrokontroler, koji se putem WiFi konektuje na mrežu. Nakon toga se vrši uparivanje MQTT servera sa mikrokontrolerom i sa mobilnim telefonom.

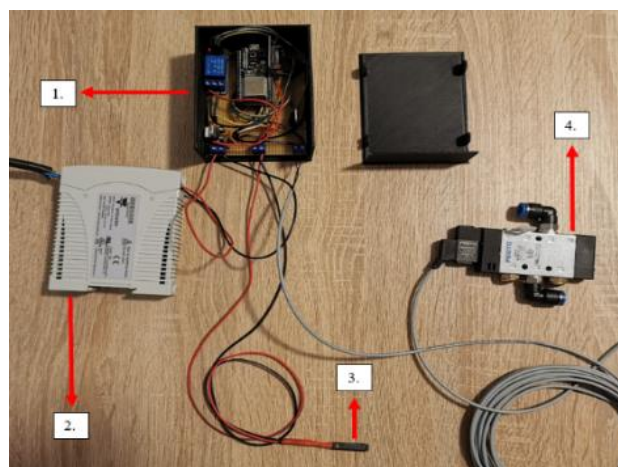


Slika 3. Blok dijagram realizovanog sistema

Vizuelnim prikazom na telefonu se vrši potvrda da je konekcija uspešno izvršena. Kada se sve konekcije uspešno izvrše tek onda se pokreće glavni program rada sistema za udaljeno uključivanje i isključivanje razvodnog ventila.

4.2 Komponente hardverskog dela sistema

Komponente koje čine sistem (prikaz na slici 4) su:



Slika 4. Komponente (hardver) realizovanog sistema

1. Hardver, kutija u kojoj se nalazi namenski kreirana PCB ploča sa implementiranim mikrokontrolerom

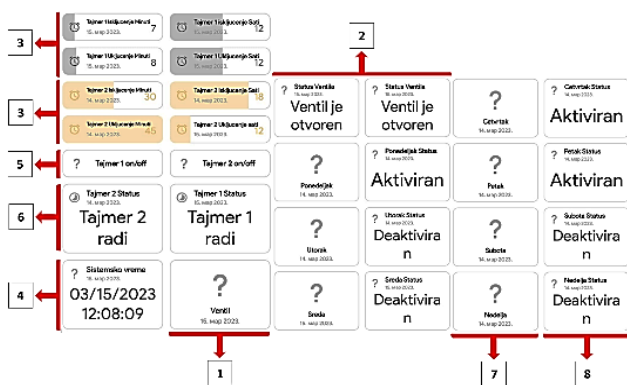
ESP32, relejom, RTC modulom, mosfet tranzistorom, linearnim naponskim regulatorom,

2. napajanje,
3. Reed senzor i
4. elektromagnetni pneumatski razvodni ventil.

5. SOFTVER REALIZOVANOG SISTEMA

U aplikaciji na mobilnom telefonu, MQTT Dashboard, kreiran je upravljački deo sa tasterima, dugmićima i slajderima. Za unošenje parametara u aplikaciju je potrebno samo upisati temu i podatak koji se šalje ili prima na uređaj preko servera. Aplikaciju je moguće prilagoditi bilo kojoj vrsti sistema. Na slici 5, je prikazan korisnički interfejs realizovane aplikacije. Aplikacija sadrži sledeće funkcije:

1. Aktivacija ručnog režima sistema preko tastera (pozicija 1) i vizuelna identifikacija stanja ventila putem prozora na aplikaciji „Status ventila“ (pozicija 2);
2. Podešavanja oba tajmera se vrši pomoću dva slajdera (slika 5, pozicija 3) tj. zadavanjem željenog vremena koje se odnosi na automatsku aktivaciju i deaktivaciju solenoida ventila. Na prozoru aplikacije se može vizuelno pratiti trenutno sistemsko vreme (RTC komponenta) i datum (pozicija 4);



Slika 5. Korisnički interfejs aplikacije MQTT Dashboard

3. Aktivacija i deaktivacija željenog tajmera (pozicija 5), putem tastera za svaki od tajmera (tajmer 1 i tajmer 2). Status tajmera moguće je utvrditi putem prozora aplikacije (pozicija 6);
4. Aktivacija ili deaktivacija dana u nedelji, sedam tastera na aplikaciji za svaki dan (pozicija 7). Prikaz stanja aktivnih dana u nedelji je ostvaren preko sedam prozora aplikacije za svaki dan (pozicija 8).

5.1. Programski kod

Za potrebe programskog koda korišćene su sledeće biblioteke: <WiFi.h> Wireless biblioteka za uspostavljanje bežične mreže, <PubSubClient.h> za MQTT (održavanje MQTT komunikacije sa broker serverom), <RtcDS1307.h> za RTC modul (čitanje podataka sa RTC modula), <Wire.h> za serijsku komunikaciju (komunikacija sa I2C uređajem tj. RTC modulom)

Za programiranje je korišćen programski jezik C (uz nadogradnju potrebnih biblioteka), kojim se piše u razvojnom okruženju Arduino IDE sa ekstenzijom za ESP mikrokontroler (instalirane su namenske nadogradnje razvojnog okruženja koje omogućavaju programiranje mikrokontrolera ESP32 i njegove bežične mogućnosti).

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je jedan od načina realizacije daljinskog upravljanja razvodnim ventilom u cilju uštede vazduha pod pritiskom. Opisan je celokupan hardverski i softverski deo. U odeljku koji čini hardverski deo sistema prikazana je konstrukcija sistema, kao i osnovne komponente potrebne za izvođenje eksperimenta. Pored toga, opisan je i kontroler koji se koristi za upravljanje i praćenje statusa razvodnog ventila.

Pored opisa osnovnih delova, dat je i opis o načinu povezivanja PC-računara sa serverom, mobilnom aplikacijom i hardverom sistema. Prikazana je upravljačka blok šema. Predstavljen je i softverski deo u kome su opisani delovi koji su korišćeni za kreiranje korisničke aplikacije, i za programiranje mikrokontrolera. Na samom kraju, dato je objašnjenje kako celokupan sistem funkcioniše. Kao što je u samom uvodu rečeno buduća istraživanja na ovom sistemu biće ispitivanje isplativosti sistema i ispitivanje energetske efikasnosti sistema.

7. LITERATURA

- [1] Dudić, S., Šešlija, D., Milenković, I., Šulc, J., Reljić, V., Bajči, B., „Zbirka rešenih zadataka sa teorijskim osnovama iz pneumatskog upravljanja“, Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2017.
- [2] Dudić, S., Šešlija, D., Milenković, I., Šulc, J., Reljić, V., „Energetska efikasnost pneumatskih sistema“, Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2021.
- [3] Tomić, J., Milovanović, M., „Virtualna instrumentacija primenom LabVIEW programa“ Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2012.
- [4] <https://tipteh.com/rs/mqtt/> (pristupljeno u julu 2023.)

Kratka biografija:

Zlatko Vasić rođen je u Gnjilanu 1998. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Industrijskog inženjerstva - Automatizacija procesa rada odbranio je 2023. godine. Kontakt: zlatkovaisc04@gmail.com