



**UNIVERZITET CRNE GORE**  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

---



Ivan Martinović

**IMPLEMENTACIJA FLEKSIBILNOG SISTEMA ZA  
KONTROLU KVALITETA PROIZVODNJE NA PRIMJERU  
FABRIKE BIORAZGRADLJIVE AMBALAŽE**

**-MASTER RAD-**

Podgorica, septembar 2020

## **PODACI I INFORMACIJE O MAGISTRANTU**

Ime i prezime: Ivan Martinović

Datum i mjesto rođenja: 03.08.1995. godine, Cetinje

Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godine završetka studija: Elektronika, Telekomunikacije i Računari, 2017. godine

## **INFORMACIJE O MASTER RADU**

**Naziv postdiplomskog studija:** Elektronika

**Naslov rada:**

**„IMPLEMENTACIJA FLEKSIBILNOG SISTEMA ZA KONTROLU KVALITETA  
PROIZVODNJE NA PRIMJERU FABRIKE BIORAZGRADLJIVE AMBALAŽE”**

**Fakultet na kojem je rad odbranjen:** Elektrotehnički fakultet Podgorica

## **UDK, OCJENA I ODBRANA MASTER RADA**

Datum prijave master rada: 23.04.2020. godine

Datum sjednice vijeća na kojoj je prihvaćena tema: 20.07.2020. godine

Komisija za ocjenu teme i podobnosti magistranda: prof.dr. Veselin N. Ivanović, prof. dr. Zoran Mijanović, doc.dr. Milena Đukanović

Mentor: prof. dr Zoran Mijanović

Komisija za ocjenu rada: prof.dr. Veselin N. Ivanović, prof. dr. Zoran Mijanović, doc.dr. Milena Đukanović

Komisija za odbranu rada: prof.dr. Veselin N. Ivanović, prof. dr. Zoran Mijanović, doc.dr. Milena Đukanović

Lektor:

Datum odbrane:

Datum promocije:

## SAŽETAK

Kvalitet predstavlja filozofiju poslovanja koja omogućava dugoročan opstanak i razvoj kompanije. Ključ je uspješnosti i osnovni je faktor razlikovanja uspješnih od neuspješnih preduzeća. Ovaj magistarski rad prikazuje način na koje nove tehnologije mogu biti od pomoći u kontroli kvaliteta proizvodnje. Akcentat je stavljen na razvoju adekvatnog fleksibilnog sistema koji je svoju primjenu našao u fabrici biorazgradljive ambalaže „Garmin“.

Realizacija ovog sistema omogućena je kroz prikupljanje adekvatnih podataka. Podaci su prikupljeni kako iz primarnih (iskustvenih) tako i iz sekundarnih izvora (naučne i stručne literature). Istraživanje je usmjereno na stvaranju dvije zasebne cjeline: hardvera i softvera. Pomenuta dva zasebna sistema su metodom sinteze omogućila formiranje jedinstvene funkcionalne cijeline, čija je funkcionalnost praktično verifikovana i nakon čega je određena analiza dobijenih rezultata.

Ovako kreirani sistem omogućava objedinjavanje svih relevantnih podataka sa proizvodne linije kao i adekvatnu reprezentaciju prikupljenih podataka. Njegova praktična vrijednost je od izuzetnog značaja imajući na umu da se može primjeniti u konkretnom industrijskom okruženju. Takođe, sastavni dio realizovanog sistema su inovativna rješenja kao što je hardver koji omogućava stvaranje sopstvenog Access point-a u cilju bežične dijagnostike.

Ključne riječi: kvalitet, kontrola kvaliteta proizvodnje, bežična komunikacija, hardver, softver

## **ABSTRACT**

The quality represents business philosophy which allows long-term existence and development of the company. It is the key for a success and it is a fundamental factor in distinguishing successful from unsuccessful businesses. This master's thesis shows how new technologies can be helpful in production quality control. Emphasis is placed on the development of an adequate flexible system that has found its application in the biodegradable packaging factory "Garmin".

System is based on the collected data from both primary (experiential) and secondary (scientific and professional literature) sources. This research is focused on creating two separate entities: hardware and software. The mentioned two separate systems enabled the formation of a unique functional unit by the method of synthesis, which functionality was practically verified and after which the analysis of the obtained results was determined.

The system created in this way enables the consolidation of all relevant data from the production line as well as an adequate representation of the collected data. Its practical value is extremely important bearing in mind that it can be applied in a specific industrial environment. Also, an integral part of the implemented system are innovative solutions, such as hardware that allows creation of Access Point for wireless diagnostics.

Key words: quality, quality control, wireless, hardware, software

# SADRŽAJ

SAŽETAK .....	
ABSTRACT.....	
1. UVOD.....	1
2. ISTORIJA, STANJE I PERSPEKTIVA KONTROLE KVALITETA .....	2
2.1. Istorija razvoja kontrole kvaliteta .....	2
2.2. Stanje i perspektiva kontrole kvaliteta .....	4
3. ARHITEKTURA SISTEMA ZA KONTROLU KVALITETA.....	5
3.1. Internet stvari (IoT-Internet of Things).....	6
3.1.1. Definicija i Arhitektura IoT .....	9
3.1.2. Industrijski Internet of Things (IIoT-Industrial Internet of Things) .....	11
3.2. Komunikacija u Industrijskim Postrojenjima.....	12
3.2.1. OSI (Open System Interconnection) referentni model.....	13
4. REALIZACIJA SISTEMA ZA KONTROLA KVALITETA PROIZVODNJE .....	17
4.1. Proces proizvodnje u fabrici biorazgradljive ambalaže .....	17
4.2. Realizacija hardvera.....	21
4.2.1. Dizajniranje odgovarajuće električne šeme na osnovu utvrđenih funkcionalnih zahtjeva .....	22
4.2.1.1. Wi-Fi modul ESP01-ESP8266.....	23
4.2.1.2. Pomjerački registar (Shift register) 74HC165.....	25
4.2.1.3. Prekidački (Step down) regulator LM2596.....	28
4.2.2. Realizacija hardverskog rješenja na osnovu predložene šeme.....	29
4.2.2.1. Instrukcije za prikupljanje podataka sa proizvodne linije.....	31
4.2.2.2. Instrukcije za slanje podataka .....	34
4.2.3. Verifikacija realizovanog hardverskog rješenja.....	37
4.3. Dodaci hardvera.....	39
4.4. Realizacija softvera.....	42
4.4.1. Realizacija servera namijenjenog za sakupljanje i skladištenje podataka.....	43
4.4.2. Realizacija softvera za kontrolu kvaliteta proizvodnje .....	48
5. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA.....	60
6. ZAKLJUČAK.....	63
REFERENCE.....	64

## 1. UVOD

Privreda predstavlja osnovnu djelatnost jednog društva, a težnja svih privrednih subjekata jeste uspješnost poslovanja. Jedan od ključnih činioca koji omogućava postizanje uspjeha jeste kvalitet. **Kvalitet je bio, jeste i ostaće garancija uspješnosti** [1]. Gledajući kroz vrijeme kvalitet je mijenjao svoj značaj. U savremenom dobu gdje je sve više razvijenih društava, čije su kvantitativne potrebe zadovoljene, kvalitet ima najveći značaj. Pojavom novih tehnologija, a prije svega informaciono-komunikacionih, omogućena je adekvatna kontrola kvaliteta.

Ovaj magistarski rad prikazuje jedan od načina na koji nove tehnologije mogu pomoći u kontroli kvaliteta. Akcenat je stavljen na razvoju adekvatnog fleksibilnog sistema koji je svoju primjenu našao u fabrici biorazgradljive ambalaže „Garmin“. Dosadašnja kontrola kvaliteta proizvodnje u fabrici bila je povjerena zaposlenom-kontroloru, čije je djelovanje imalo nedostataka. Nedostaci su se ogledali u neobjektivnom i nepreciznom sagledavanju činjeničnog stanja. Nakon uvođenja realizovanog sistema tih nedostataka neće biti, već će se podaci koji su direktno sakupljeni sa proizvodne linije vjerno prezentovati. Kako bi se prikupili neophodni podaci potrebno je bilo projektovati odgovarajuće hardversko rješenje koje će biti montirano na industrijska postrojenja. Takođe, sastavni dio ovog istraživanja jeste i realizacija softvera čija je uloga da prikupljene podatke adekvatno prezentuje i omogući kontinualno praćenje proizvodnje. Praćenje proizvodnje ne podrazumijeva samo reprezentaciju podataka o mašinama nego i o radnicima. Podaci o radnicima su značajni imajući na umu da je za postizanje boljeg kvaliteta neophodno zalaganje svih zaposlenih. Na taj način realizovano rješenje omogućava cjelovito sagledavanje trenutnog stanja u kompaniji sa označavanjem crnih tačaka u proizvodnom ciklusu.

U drugom poglavlju ovog rada predstavljena je istorija, stanje i perspektiva kontrole kvaliteta. Ovo poglavlje omogućava pregled razvoja kvaliteta kroz vrijeme sa naznakom na ključne događaje. Takođe prikazano je i trenutno stanje i perspektiva kontrole kvaliteta kako bi se uočio značaj i prostor za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

U trećem poglavlju ovog rada predstavljena je arhitektura realizovanog sistema. Ovo poglavlje sadrži pregled tehnologija na osnovu kojih je omogućena realizacija sistema.

U četvrtom poglavlju ovog rada predstavljena je realizacija sistema u konkretnom industrijskom okruženju kakvo je fabrika biorazgradljive ambalaže „Garmin“.

Peto poglavlje ovog rada fokusirano je na diskusiju dobijenih rezultata. Rezultati su prikupljeni u realnim uslovima, tj. nakon montiranja sistema u industrijsko okruženje.

## **2. ISTORIJA, STANJE I PERSPEKTIVA KONTROLE KVALITETA**

### **2.1. Istorija razvoja kontrole kvaliteta**

Još od davnina ljudi su brinuli o kvalitetu vodeći prije svega računa o sigurnosti sakupljene hrane i oružlja sa kojim su se branili. Prvi pisani izvori govore o postojanju kvaliteta u starom Egiptu gdje je donijet prvi poznati dekret o propisanoj standardnoj jedinici dužine [1]. Što se tiče Evrope i ostalih djelova svijeta prvi pisani dokument o postojanju kvaliteta javljili su se dosta kasnije. Za vrijeme vladavine engleskog kralja Edgara I Miroljubivog 959. godine, propisano je da sve mjere moraju da se slažu sa etalonima koji su bili čuvani u Londonu i Vinčesteru [1], [2]. Takođe na teritoriji današnje Crne Gore rano se pominju mjerne jedinice. U povelji Balša III iz 1410. godine koja se odnosi na manastir Moračnik na Skadarskom jezeru, pominje se “gumno soli” i “kabao soli” koji su prilagani ovom manastiru [1]-[3].

Sve do pojave prve industrijske revolucije, koja je promijenila pogled na kvalitet i menadžment, kvalitet su određivali zanatlije (pojedinci) [2], [4]. Početkom 20. vijeka uvodi se princip naučnog menadžmenta čiji je tvorac Frederik Tejlor (*Frederick Winslow Taylor*), koji je prvi primijenio naučne metode za racionalizaciju i povećanje produktivnosti rada [1], [2]. Taj period obilježava i formiranje nacionalnih standardizacionih tijela u Engleskoj, Njemačkoj i Sjedinjenim Američkim Državama, gdje se intenzivira uvođenje zanimanja „kontrolor kvaliteta“. Važni doprinos razvoju kontrole kvaliteta u ovom periodu dao je i Henri Ford (*Henry Ford*) koji je razvio koncept samouočavanja grešake pri sklapanju automobila, kao i samoprovjeravanje i procesnu kontrolu, što je sve zajedno značajno doprinosilo i povećanju produktivnosti [1],[2].

Kako su prvu polovinu 20. vijeka obilježila ratna dešavanja kvalitet je svoj značaj zadržao samo u vojnoj industriji. Nakon Drugog svjetskog rata pojedine zemlje manje poklanjaju pažnju kvalitetu. Japan za to vrijeme uviđa da jedino kvalitetom može konkurisati na tržištu i osloboditi se epiteta loših i jeftinih proizvoda i uz pomoć eksperata W. Edwards Deming i Joseph M. Juran razvijaju koncept “totalnog kvaliteta” [1], [2], [5], [6]. Ovaj koncept je podrazumijevao da se kvalitet ne postiže inspekcijom krajnjeg proizvoda već da je pažnju potrebno usmjeriti na unapređenje organizacije kompletnog procesa [6]. Koliko je ovaj koncept dao rezultate najbolje

govori činjenica da je Japan u roku od jedne decenije postao svjetski lider u kvalitetu i druga ekonomija [7].

Uvidjevši uspjeh Japana na Zapadu se 80-tih godina prošlog vijeka podiže svijest o značaju kvaliteta. Na osnovama koncepta “totalnog kvaliteta” razvijenog u Japanu razvija se novi koncept totalnog upravljanja kvalitetom (TQM - *Total Quality Management*). Taj koncept je podrazumjevao postizanje kvaliteta uzimajući u obzir zahtjeve i interese svih zainteresovanih strana organizacije (kupce, zaposlene, akcionare, dobavljače, društvo) [1],[2],[8]. Sa razvojem TQM razvija se i serija ISO 9000 standarda koji treba da obezbijedi okvir koji olakšava dostizanje kvaliteta [1], [2]. Pored ovih standarda pojedine kompanije su razvijale sopstveni, kao na primjer *Motorola* koja je na taj način izašla iz krize i tako postala lider u kvalitetu. Standard koji su oni razvili naziva se “šest-sigma” i predstavlja skup mjera koje imaju za cilj da se eliminiše varijabilnost procesa i usluga i rasipanje smanji na 3.4 defekta u milion [1], [5], [9].



Slika 1. – Šema razvoja kontrole kvaliteta



## 2.2. Stanje i perspektiva kontrole kvaliteta

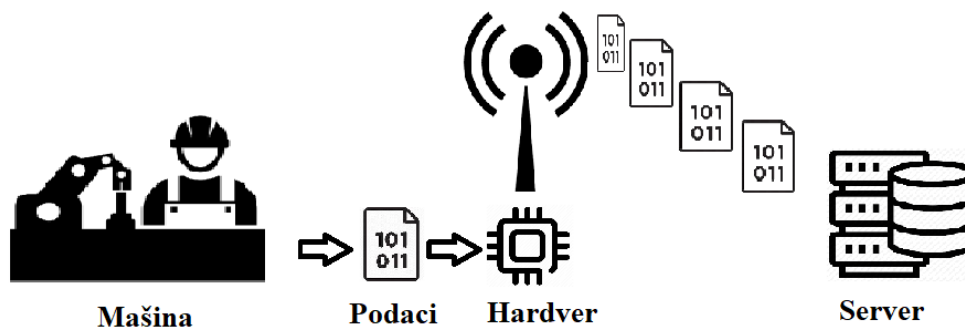
Trenutno živimo u doba četvrte industrijske revolucije koja je kao i svaka prethodna promijenila pogled na značaj kvaliteta. Četvrta industrijska revolucija treba da podstakne razvoj društva i privrede kroz upotrebu tehnologija kao što su Veštačka inteligencija (*AI-Artificial intelligent*), Mašinsko učenje (*Machine learning*), IoT (*Internet of things*), nanotehnologija, robotika, 3D štampa, itd [10]-[14]. Podstaknute ovom revolucijom razvijene zemlje donose strateške planove. Tako Njemačka donosi strateški plan pod nazivom “Industrija 4.0” sa ciljem modernizacije proizvodnje u svim industrijskim granama. Kao odgovor na “Industrija 4.0” Kina predstavlja strategiju “Made in China 2025” kojom želi takav tehnološki razvoj da postane vodeća tehnološka sila do 2025. godine. Želeći da stvori visoki kvalitet proizvoda i povezivanje industrije sa internetom SAD kao odgovor na “Industrija 4.0” daje strategiju “Advanced Manufacturing Partnership 2.0“. Japan promoviše razvoj i implementaciju robotske industrije sa ciljem povećanja produktivnosti i daje svoju strategiju “Revitalization and Robots Strategy“ kao odgovor na “Industrija 4.0”. [15]

Tehnologije koje karakterišu četvrtu industrijsku revoluciju aktivno se primjenjuju u kontroli kvaliteta. Tako je u SAD jedan pivski brend upotrijebio vještačku inteligenciju i mašinsko učenje kako bi eliminisao uzroke smanjenja kvaliteta u procesu proizvodnje [16]. Mašinsko učenje i vještačka inteligencija omogućavaju stvaranje digitalnog modela koji je u stanju da generiše digitalni prediktivni kvalitet i na taj način istakne potencijalne propuste u kvalitetu. Predloženi sistem u ovom magistarskom radu bazira se na konceptu IoT (Internet of Things) koji ima za cilj povezivanje svih industrijskih postrojenja u jednu mrežu [17]. Ovakav način povezivanja omogućava sakupljanje podataka sa proizvodne linije u realnom vremenu. Sakupljanje podataka u predloženom sistemu obavlja se uz pomoć mikrokontrolera koji nije standardan u industriji [18]. Koliko je ovaj koncept koristan najbolje govori primjer kompanije Caterpillar (CAT) koja je svoju efikasnost u proizvodnji unaprijedila za 45% uvođenjem IoT [19]. Siemens je takođe razvio svoj operativni sistem nazvan Mindsphere koji se bazira na cloud IoT [19]. Taj sistem objedinjuje podatke iz svih vitalnih djelova fabrike, a zatim ih obrađuje kako bi se dobili korisni rezultati.

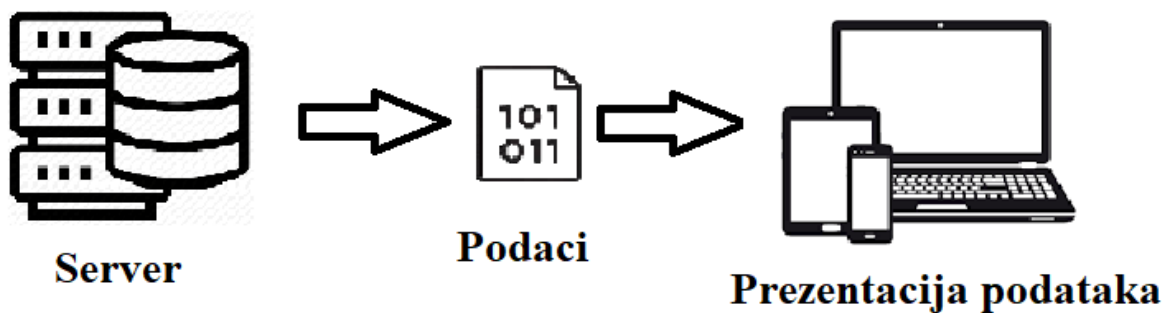
### 3. ARHITEKTURA SISTEMA ZA KONTROLU KVALITETA

U ovom radu predložen je dizajn sistema za kontrolu kvaliteta proizvodnje koji je realizovan za potrebe fabrike biorazgradljive ambalaže. Osnovni zadatak prilikom dizajniranja predloženog sistema bio je da se obezbijedi adekvatno prikupljanje i prezentovanje podataka sa proizvodne linije. Dizajniranje predloženog sistema predstavljao je pravi izazov imajući na umu da se tokom proizvodnog ciklusa generiše velika količina različitih podataka. Prema tome potrebno je obezbijediti skladištenje i prezentaciju samo onih podataka koji su od značaja u procesu kontrole kvaliteta proizvodnje.

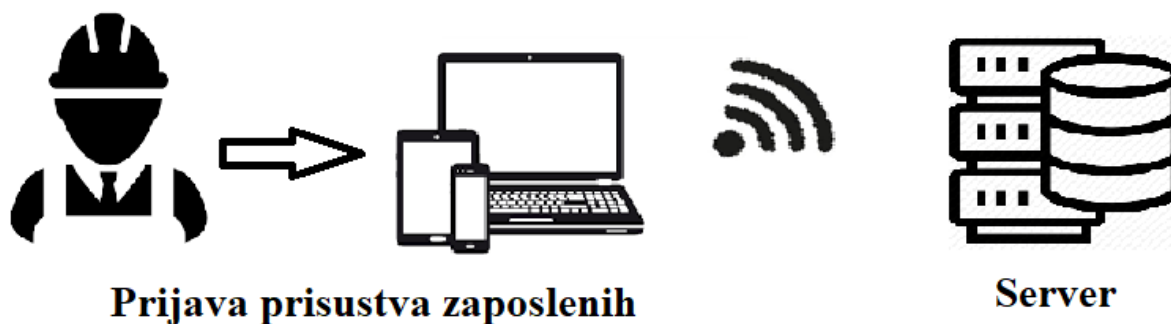
Predloženi sistem može se podijeliti na dva dijela. Prvi dio se odnosi na kreiranje hardvera čija je uloga prikupljanje i slanje podatka ka glavnom serveru. Za slanje prikupljenih podataka odabrana je bežična komunikacija. Motiv za uvođenjem bežične komunikacije u industrijskom okruženju leži u potrebi za eliminisanjem potrebe za ožičenjem. Projektovanje sistema sa velikim brojem kablova nije praktično, iz razloga što ograničava fleksibilnost samog sistema. Uvođenjem bežične komunikacije moći će se na praktičan način utvrditi da li ova vrsta komunikacija može da parira uobičajeno korišćenim žičanim načinima povezivanja u industriji kao što su: ethernet, RS485, RS422, itd. Nakon uspostavljanja komunikacije između hardvera i glavnog servera odabrani podaci će se kontinuirano skladištiti u bazi podataka. Dizajniranjem drugog dijela sistema omogućiće se čitanje podataka iz baze podataka i njihovo prezentovanje. Prezentacija treba da obezbijedi adekvatno praćenje kvaliteta proizvodnje što podrazumijeva jednostavno i jasno uočavanje dobrih i loših strana u proizvodnom ciklusu. Osim informacija koje su direktno vezane sa proizvodne linije sistem će omogućiti i evidenciju prisustva zaposlenih u kompaniji.



Slika 2. – Prvi dio predloženog sistema



*Slika 3. – Drugi dio predloženog sistema*



*Slika 4. – Dio sistema koji omogućava evidenciju prisustva zaposlenih*

### **3.1. Internet stvari (*IoT-Internet of Things*)**

„Više je nego vjerovatno da će dnevne novine na koje je domaćinstvo pretplaćeno biti štampane 'bežično' u kući tokom noći. Upravljanje domaćinstvom – problemi grijanja, osvetljenja i uređaja u domaćinstvu – biće oslobođeni svakog rada kroz blagotvornu bežičnu snagu...

Kada se bežičnost savršeno primijeni, cijela Zemlja biće pretvorena u ogroman mozak, što u stvari i jeste, s obzirom na to da su sve stvari čestice jedne stvarne i ritmične cjeline.“ Proročanske riječi izjavio je Nikola Tesla za časopis Collier's Magazine, 30. januara 1926. godine [20]. U ovoj izjavi se jasno može prepoznati opis IoT (*Internet of Things*) sistema koji predstavlja vodeći trend

u informaciono komunikacionim tehnologijama. Iako je Tesla dao nemerljiv doprinos razvoju IoT koncepta neki od izuma koje su prethodili njegovim otkrićima su [21]:

- Izum elektromagnetnog telegrafa koji je kreiran 1832. godine od strane Barona Šilinga (*Baron Schilling*);
- Izum koda koji je omogućavao komunikaciju na udaljenost 1200m unutar njemačkog grada Gotingena (Göttingen). Kod su kreirali Karl Friedrich Gaus (*Carl Friedrich Gauss*) i Vilhelm Veber (*Wilhelm Weber*) 1833. godine;
- Samuel Mors (*Samuel Morse*) 1844. godine šalje prvu javnu telegrafsku poruku, morseovim kodom, sadržine „Šta je Bog stvorio“ („What hath God wrought?“) od Vašingtona D.C. (*Washington, D.C.*) do Baltimora (*Baltimore*).

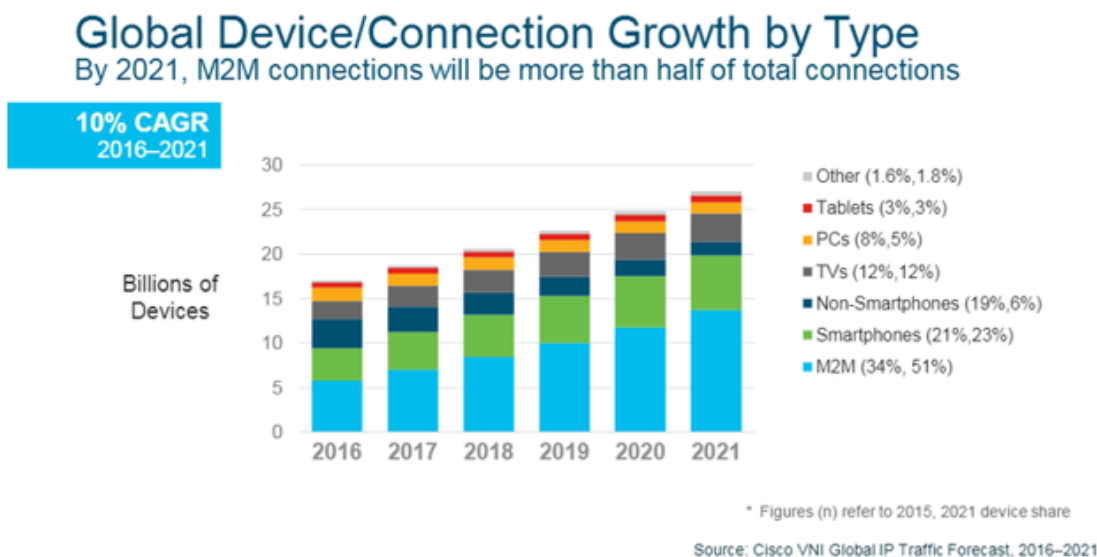
Podsticaj ka razvoju IoT (*Internet of Things*) koncepta dali su i pioniri u kompjuterskim naukama kao što su Alan Turing (*Alan Turing*) i Karl Steinbuč (*Karl Steinbuch*). Karl Steinbuč je svojevremeno izjavio „Za nekoliko decenija računari će biti sadržani u gotovo svaki industrijski proizvod“.[21]

Međutim nijedano otkriće nije toliko prokrčilo put ka uspostavljanju koncepta IoT kao što je otkriće Interneta. Počeci razvoja interneta vezuju se za istraživanja koja su sprovedena na Univerzitetu MIT a odnosila su se na packet-switching tehnologiju. [22]

U 20. vijeku razvoj tehnologije diktirala je vojna industrija. Nastavljajući tu praksu za razvoj Interneta najzaslužnije je Ministarstvo odbrane SAD-a čija je agencija ARPA (U.S. Department of Defense *Advanced Research Projects Agency*) počela sa razvojem ARPANET (*Advanced Research Project Agency Network*) mreže. Razvojem ARPANET mreže trebalo je obezbijediti nesmetanu komunikaciju u svim uslovima čak i u slučaju nuklearnog napada. Rad na ovom projektu rezultirao je otkrićima na kojim se temelji Interneta kakav danas poznajemo. Jedno od najznačajnijih otkrića jeste razvoj mrežnih protokola.[23]

Nakon svih ovih otkrića kojima je takođe neophodno dodati i otkriće World Wide Web stvoren je preduslov za kreiranje IoT uređaja. Prvi IoT uređaj kreirao je Džon Romki (*John Romkey*) 1990. godine. Romki je realizovao toster koji se mogao uključiti i isključiti preko Interneta. Komunikacija sa računarom ostvarena je preko TCP/IP protokola.[24]

Krajem dvadesetog vijeka skovan je termin „Internet of Things“ od strane Kevina Aštona (*Kevin Ashton*). Ašton je nakon nekoliko godina izjavio „Mogao bih pogriješiti, ali prilično sam siguran da je fraza "Internet stvari" prvi put spomenuta kao naslov prezentacije koju sam 1999. napravio u Procter & Gamble (P&G).“ [25]. Iako je termin nastao 1999. godine na osnovu mišljenja Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) IoT je svoj život započeo 2008. godine kada je broj uređaja koji su povezani na internet premašio broj ljudi na planeti Zemlji [26]. Predviđanja su da će do 2021. godine na internet biti povezano 25 milijardi uređaja (Slika 5). Rast broja povezanih uređaja pratiće i rast globalnog tržišta IoT tehnologija [27]. Prema podacima kompanije Global Data predviđa se da će do 2021. godine tržište dostići vrijednost od 222 milijarde dolara sa prosječnom godišnjom stopom rasta od čak 20%. [28]



Slika 5. – Razvoj Internet of Thingsa (IoT) kroz vrijeme uzimajući u obzir broj povezanih uređaja na Internetu [27]

### 3.1.1. Definicija i Arhitektura IoT

Veliki broj međunarodnih organizacija se bavi definisanjem IoT koncepta, a o njemu ne postoji jedinstvena definicija koja bi ga u potpunosti opisala jer se on svakodnevno unapređuje. Međunarodna unija za telekomunikacije (ITU) predstavlja najuticajnijiu organizaciju koja je definisala IoT i to kao globalnu infrastrukturu za informaciono društvo, omogućavajući napredne usluge povezivanjem (fizičkih i virtuelnih) stvari zasnovanih na postojećim i razvijajućim se interoperabilnim informacijama i komunikacione tehnologije.[29]

Kao što ne postoji jedinstvena definicija koncepta Internet stvari tako ne postoji ni jedinstvena arhitektura koja je univerzalno prihvaćena. Različite arhitekture su predložili različiti istraživači a najjednostavnija je takozvana troslojna arhitektura (*Three-Layer Architecture*). Troslojna arhitektura sadrži tri sloja i to:

- Percepcijski sloj (*Perception layer*),
- Mrežni sloj (*Network layer*),
- Aplikacioni sloj (*Application layer*).

Percepcijski sloj predstavlja najniži IoT sloj koji omogućava povezivanje fizičkih uređaja. Uređaj predstavlja pametnu stvar koja ima sposobnost da prikuplja podatke iz okruženja. Prikupljene podatke uređaj dalje šalje na obradu i to samo onim uređajima sa kojima je međusobno povezan. Prilikom kreiranja uređaja krajni cilj je stvaranje inteligentnih stvari koji će imati sposobnost proaktivnog ponašanja i rasuđivanja.[29-30]

Mrežni sloj je odgovoran za povezivanje uređaja sa drugim pametnim stvarima, mrežnim uređajima i serverima. Njegove karakteristike se takođe koriste za prenos i obradu podataka sakupljenih od strane senzora.[29]

Aplikacioni sloj omogućava primjenu specifičnih servisa i njihovu realizaciju na strani korisnika. Na ovom sloju definišu se primjene IoT koncepta poput pametnog zdravlja, pametne proizvodnje, itd. Kako bi se omogućio razvoj pametnih okruženja i smislenu primenu IoT koncepta neophodno je konstantno usavršavanje aplikacija i servisa.[29-30]

Opisana troslojna arhitektura prikazuje glavnu ideju Internet stvari. Ova arhitektura nije dovoljna za istraživanje IoT-a jer se često želi prikazati detaljnija struktura Interneta stvari. Prema

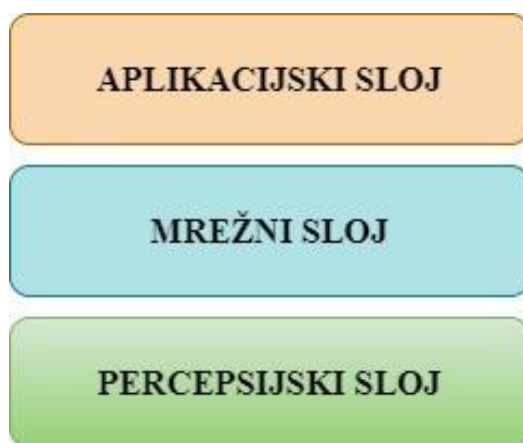
tome u literaturi se često srijeću više slojevite arhitekture. Jedan od takvih primjera je petoslojna arhitektura (*Five-layer*) koja se sastoji od sledećih slojeva:

- Percepcijski sloj (*Perception layer*),
- Transportni sloj (*Transport layer*),
- Sloj za obradu (*Processing layer*),
- Aplikacioni sloj (*Application layer*),
- Poslovni sloj (*Business layer*).

U poređenju petoslojne arhitekture sa troslojnom arhitekturom može se uočiti da su percepcijski i aplikacioni sloj identični. Razlika se ogleda u sloju za obradu i poslovnom sloju.[29]

Transportni sloj omogućava prenos podataka koristeći različite tipove mreža (RFID, 4G, NFC, Wi-Fi, Bluetooth...) od sloja percepcije prema sloju obrade i obratno. Osnovna uloga sloja obrade je skladištenje, analiziranje i procesuiranje ogromne količine podataka pristiglih sa transportnog sloja. Takođe ovaj sloj može da pruža razne usluge nižim slojevima koristeći različite tehnologije (baze podataka, big data). Najviši sloj u petoslojnoj arhitekturi Internet stvari omogućava upravljanje čitavim IoT sistemom, uključujući aplikacije, modele poslovanja i profita i privatnost korisnika.[29-30]

Na osnovu gore navedenog lako se može uočiti da predloženi sistem za kontrolu kvaliteta proizvodnje po svojoj arhitekturi predstavlja IoT sistem.



Slika 6. – Troslojna arhitektura IoT-a

### 3.1.2. Industrijski *Internet of Things* (IIoT-Industrial Internet of Things)

Internet of Things predstavlja koncept koji omogućava povezivanje svih uređaja u jednu mrežu sa ciljem dobijanja potrebnih podataka u realnom vremenu. Ovaj koncept je svoju primjenu našao u raznim oblastima života i na osnovu toga može se podijeliti u tri kategorije [31]:

- Potrošački IoT (*Consumer IoT*),
- Komercijalni IoT (*Commercial IoT*),
- Industrijski IoT (*Industrial IoT*).

U ovom radu fokus je stavljen na razvoju industrijskog IoT sistema koji će svoju primjenu naći u konkretnom industrijskom okruženju. Primjenom IIoT želi se omogućiti bolja efikasnost i pouzdanost u radu industrijskog postrojenja. Na primjeru prikupljanja podataka u toku proizvodnog ciklusa u rudarskoj industriji lako se može zaključiti da je potreba za praćenjem proizvodnog ciklusa stara koliko i sama proizvodnja. Na samim počecima kao pokazatelj kvaliteta vazduha u rudnicima se koristila ptica-kanarinac (Slika 7). Ptica se zajedno sa rudarima nalazila u unutrašnjosti rudnika i ukoliko bi ptica uginula rudari bi napuštali rudnik. Razvojem tehnologija danas je omogućeno da se prikupljeni podaci sa senzora u realnom vremenu šalju ka kontrolnoj sobi gdje se vrši analiza omogućavajući predviđanje mogućih posledica po rudare. [31]



*Slika 7. – Rudar u ruci drži pticu koja je koršćena za procjenu kvaliteta vazduha*



IIoT uključuje razne tehnologije koje su sastavni dio četvrte industrijske revolucije. Filozofija koja se primjenjuje kod IIoT pretpostavlja da su pametne mašine bolje od ljudi jer tačno, dosljedno prikupljaju i prenose podatke. Prikupljeni podaci mogu omogućiti kompanijama da se brže izbore sa neefikašnoću i problemima štedeći na taj način vrijeme i novac. Kako je u industriji najvažnije održivo poslovanje uticaj IIoT-a na globalno ekonomsko tržište je veliko. Kao i svaki sistem koji se realizuje i IIoT sistem ima nedostatke. Predviđa se da će 25% sajber napada biti usmjerenih ka IoT sistemima. Ovi sistemi su posebno osjetljivi jer ukoliko se upadne u samo jedan dio sistema omogućit će se pristup cijelom sistemu.[31]

### **3.2. Komunikacija u Industrijskim Postrojenjima**

Razvoj programabilnih kontrolera 60-tih godina prošlog vijeka rezultirao je revolucijom u industriji. Njihova primjena je omogućila automatizaciju proizvodnje koja je rezultirala stvaranjem fleksibilnog i isplativog proizvodnog sistema. Stvaranje isplativog sistema je u direktnoj korelaciji sa postizanje što veće efikasnosti, a sve uz pomoć analize mnoštva podataka stvorenih tokom proizvodnje. Prikupljanje i slanje podataka prethodi samom postupku analize. Prikupljanje podataka omogućavaju sami kontroleri, dok se je za slanje podataka zadužena odgovarajuća komunikaciona mreža.[32]

Komunikacione mreže možemo podijeliti prema području pokrivenosti na:

- LAN (*Local Area Network*),
- WAN (*Wide Area Network*).

Mreža lokalnog područja djeluje na prostoru manjem od 5km. Ova vrsta mreže je često vezana za jedan prostor i obično je vlasništvo jedne organizacije. Osnovna uloga mreža širokog područja jeste povezivanje više LAN mreža kako bi se omogućila komunikacija između korisnika i uređaja u različitim mrežama. Pokrivenost WAN mreže je u području većem od 25 km omogućujući na taj način povezivanje gradova pa čak i cijelih država.[32]

Kako bi se kreirala bilo koja komunikaciona mreža neophodno je izvršiti povezivanje uređaja u njoj. Uređaji se mogu povezati bežičnim ili žičanim putem. Predloženi sistem u ovom radu kreira LAN mrežu bežičnim povezivanjem uređaja. Ovako kreirana mreža naziva se WLAN

(Wireless LAN) mreža. Prva WLAN mreža kreirana je 1971. godine na Univerzitetu u Havajima pod nazivom ALOHAnet. Osnovni zadatak ove mreže bio je da obezbijedi komunikaciju između sedam računara koji su bili raspoređeni po Havajskim ostrvima. Kako je oprema za ovu mrežu bila ekstremno skupa primjenu je našla jedino u slučajevima kada nije bilo moguće obezbijediti žičanu konekciju. Razvojem tehnologije situacija se promijenila do te mjere da je WLAN mreža postala neizostavni dio LAN mreže. Svoju primjenu WLAN mreža je našla i u industriji. Opravdanje za njenu upotrebu u ovoj privrednoj grani leži u činjenici da njena primjena osigurava nisku cijenu instalacije, najmanje moguće troškove tokom rada kao i visoku pouzdanost.[32]

### 3.2.1. OSI (Open System Interconnection) referentni model

Komunikacione mreže predstavljaju složeni sistem koji omogućava razmjenu informacija u različitim oblicima (video signali, fajlovi, govorni signali...). Sami početak razvoja komunikacionih mreža bio je haotičan. Ne konzistentnost u kreiranju mreža rezultiralo je nemogućnosti međusobne komunikacije. Suočeni sa ovim problemom Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO-*International Organization for Standardization*) razvila je model koji ima zadatak da pomogne u realizaciji kompatibilnih mreža. Model koji je razvijen za ove potrebe naziva se OSI model. Ovaj model olakšava razumjevanje na koji način informacije putuju kroz mrežu. [32-33]

OSI referentni model podijeljen je u sedam komunikacionih slojeva koji na ponaosob na svojstven način obavljaju određenu transformaciju podataka.

- Aplikacijski sloj
- Sloj Prezentacije
- Sloj Sesije
- Transporni sloj
- Mrežni sloj
- Sloj veze
- Fizički sloj

**Aplikacijski sloj** predstavlja sloj koji je najbliži korisniku i u direktnoj je interakciji sa njim. U okviru ovog sloja se nalaze programi (aplikacije) koji sakrivaju aktivnosti koje se dašavaju u nižim slojevima. Primjer ovakvih programa su programi za slanje e-mail-ova, prenos datoteka itd. [32]

**Sloj Prezentacije** omogućava da informacije koje se razmjenjuju između dva sistema budu čitljive za oba aplikacijska sloja. Osim ove funkcije prezentacijski sloj je zadužen za sigurnost podataka i racionalno korišćenje mrežnog kapaciteta. Sigurnost podataka se postiže metodom kriptovanja/dekriptovanja podataka, dok se racionalno korišćenje mrežnog kapaciteta postiže komprimovanjem/dekomprimovanjem podataka. [32-33]

**Sloj Sesije** omogućava uspostavljanje, upravljanje i prekidanje veze između dva uređaja koji međusobno komuniciraju. Karakteristične funkcije koje ovaj sloj obavlja su:

- Prijavljivanje (login)
- Autorizacija
- Sinhronizacija
- Odjavljivanje (logout)

U praksi se često srijeće primjer klijent/server komunikacije gdje klijent predstavlja stranu koja traži neku uslugu a server stranu koja pruža uslugu. Kako bi se ostvarila ova komunikacija neophodno je da se uspostavi sesija između klijenta i servera na taj način što će se klijent predstaviti na odgovarajući način na osnovu čega će server donijeti odluku da li klijent može da dobije informacije koje zahtijeva. Kako bi se sesija zatvorila neophodno je da se klijent odjavi. Primjeri protokola sesijskog sloja su: ASP (AppleTalk sesijski protokol), NFS (Network File System) itd. [32]

**Transportni sloj** omogućava segmentiranje podataka koji stižu od strane pošiljaoca i ponovno spajanje podataka na strani primaoca. Osnovni zadaci ovog sloja su uspostavljanje veze tj. konekcije i kontrola toka podataka. Uspostavljanje veze je značajno jer jedan uređaj može da komunicira u isto vrijeme sa više uređaja. Prema tome zadatak transportnog sloja jeste da raspodijeli podatke namijenjene različitim aplikacijama u okviru istog uređaja. Kako bi se ostvarila konekcija neophodno je poznavanje portova koji predstavljaju krajnje tačke konekcije. Karakteristika svakog porta su broj porta i logička adresa uređaja. Ovo znači da će se podatak koji je poslat kroz jedan port pojaviti na definisanom udaljenom portu. Kontrola toka podataka je značajna jer se na ovaj način osigurava da svi podaci koji su poslani od strane pošiljaoca stignu u istom rasporedu do primaoca. Neki od protokola koji pripadaju transportnom sloju su: TCP (Transmission Control Protocol), **UDP (User Datagram Protocol)**, itd. [32]

U ovom magistarskom radu predložena je upotreba UDP protokola. UDP protokol predstavlja alternativu TCP protokolu a jedna od ključnih razlika je ta što UDP protokol ne posjeduje nikakvu kontrolu grešaka ili mehanizme za ispravljanje grešaka prilikom prijenosa podataka. Slanje UDP paketa se ostvaruje pomoću takozvanih datagrama. UDP paket se sastoji od zaglavlja i poruke. U zaglavlje se uključuje broj izvorišnog porta, broj destinacijskog porta, veličina datagrama i kontrolna suma (opciono). UDP protokol je svoju primjenu našao u onim aplikacijama gdje je brzina prenosa značajnija nego pouzdano slanje. U sistemu koji je predložen u ovom magistarskom radu poruke se šalju kontinuirano u malim vremenskim razmacima tako da nam je od interesa bilo stvaranje efikasnog sistema, na koji par izgubljenih paketa nemaju uticaja. [32]

**Mrežni sloj** obezbjeđuje prenos podataka između uređaja koji ne moraju da dijele zajednički prenosni medijum. Osnovni zadaci mrežnog sloja su rutiranje i segmentacija podataka. Rutiranje se zasniva na određivanju putanje slanja informacija a na osnovu logičke adrese izvorišnog i odredišnog uređaja. Segmentacija podataka se ogleda u tome da mrežni sloj na strani pošiljaoca dijeli podatke dobijene od višeg nivoa na segmente i zatim ih zajedno sa logičkim adresama izvorišta i odredišta spaja u datagrame. Protokoli koji spadaju u mrežnom sloju su: IP (Internet Protocol), IPX (Internetwork Packet Exchange), itd. [32]

**Sloj veze** je zadužen za kreiranje komunikacionog linka koji treba da obezbijedi pouzdani prenos podataka između uređaja koji su povezani fizičkom komunikacionom linijom. Ovaj sloj se može podijeliti na dva podsloja:

- Kontrola logičke veze
- Kontrola pristupa medijumu

Kontrola logičke veze omogućava pakovanje podataka u okvire (frame) i kontrolu ispravnosti prenosa. Ovaj podsloj je zadužen za rješavanje problema kao što su: pakovanje podataka, adresiranje čvorova, kontrola ispravnosti prenosa i eliminacija dupliranih okvira i kontrola toka. U ovom radu ćemo se osvrnuti na rješavanje problema adresiranja čvorova. Svaki uređaj u mreži definiše jedinstvena fizička adresa na osnovu koje je omogućeno prepoznavanje u mreži. Prilikom slanja podataka u okviru se nalazi izvorišna i odredišna fizička adresa ili više odredišnih adresa. Ukoliko se u okviru nalazi jedna fizička adresa kao odredišna radi se o unicast prenosu. Međutim ukoliko podatke trebaju da prihvate svi uređaji u mreži radi se o broadcast prenosu, dok se za multicast prenos smatra ona prenos podataka koji su namijenjeni određenom podskupu uređaja.

Kontrola pristupa medijumu-MAC (*Media Access Control*) reguliše način na koji više emitera mogu pristupiti zajedničkom fizičkom mediju. Ovaj podsloj ovom zadatku pristupa koristeći sledeće načine: multipleksiranje na vremenskoj osnovi, centralizovana arbitraža, detekcija kolizija. [32]

**Fizički sloj** je zadužen za prenos podataka preko fizičkog medijuma, tj. žičane ili bežične veze. Ovaj sloj definiše električne karakteristike signala kao i spregu uređaja u prenosnom mediju čak do nivoa utičnica i raspodjele pinova na konektorima. [32]



*Slika 8. – OSI referentni model*

## 4. REALIZACIJA SISTEMA ZA KONTROLA KVALITETA PROIZVODNJE

Nakon pregleda arhitekture sistema u ovom poglavlju će biti izložen postupak realizacije sistema za kontrolu kvaliteta proizvodnje koji je realizovan za potrebe fabrike biorazgradljive ambalaže „Garmin“. Realizacija sistema je podijeljena u dva segmenta i to realizaciju hardvera i realizaciju softvera.

### 4.1. Proces proizvodnje u fabrici biorazgradljive ambalaže

Kako bi realizacija sistema za kontrolu kvaliteta proizvodnje bila uspješna samom postupku realizacije prethodilo je upoznavanje sa procesom proizvodnje u fabrici (Slika 9). Ovaj dio u cjelokupnom radu bio je ključan jer je omogućio spoznaju koje podatke tokom proizvodnog ciklusa treba sakupiti.



*Slika 9. – Proizvodni pogon fabrike biorazgradljive ambalaže „Garmin“*

Proces proizvodnje u fabrici biorazgradljive amalaže može se podijeliti u četiri faze:

- **Dobijanje plastične folije**
- **Štampanje**
- **Rezanje folije**
- **Reciklaža**

Prvu fazu procesa proizvodnje u fabrici biorazgradljive ambalaže čini dobijanje plastične folije. Kako bi se realizovao ovaj proces neophodno je obezbijediti adekvatnu sirovinu u vidu plastičnih zrna. Sirovina se topi na oko 200 °C nakon čega se uz pomoć ekstrudera pod velikim pritiskom izduvava kroz otvor formirajući oblik folije koji se namotava na rolni. Takođe sastavni dio ovog procesa jeste jonizator koji omogućava jonizaciju vazduha i bombardovanje folije ubrzanim jonima u cilju stvaranja pora na samoj foliji koje omogućavaju bolje zadržavanje štampe. Kako se sistem za kontrolu kvaliteta proizvodnje projektuje sa ciljem da se vjerno sakupe i prezentuju podaci koji opisuju određeni segment proizvodnje, podaci koji su značajni za ovu fazu proizvodnje su napon na jonizatoru i dužina proizvedene folije.



*Slika 10. – Ekstruderi*

Drugu fazu proizvodnog ciklusa predstavlja štampanje plastične folije. U ovoj fazi proizvodnje pored štampanja natpisa i slika štampanju se i markeri koji definišu mjesta na kojima će folija biti porezana. Podaci koji karakterišu ovu fazu proizvodnje su istezanje folije i dužina odštampane folije.



*Slika 11. – Mašine koje omogućavaju štampanje folije*

Treću fazu proizvodnog ciklusa čini rezanje folije. Rezanje folije je omogućeno na osnovu prethodne faze gdje su markerima označena mjesta za rezanje. Mašina koja omogućava rezanje folije naziva se sjeckalica a podatak koji je bitan u ovoj fazi proizvodnje je broj odsječenih ambalaža.





*Slika 12. – Mašine koja omogućava rezanje folije-sjeckalice*

U procesu proizvodnje pored finalnog proizvoda uvijek postoji određena količina otpada-škarta. Obim stvorenog škarta oslikava kvalitet i isplativost proizvodnje. Idealna situacija je kada se stvaraju male količine škarta koje se ponovo koriste u proizvodnom ciklusu. Na ovaj način se stvara proizvodnja bez većih gubitaka. U konkretnom industrijskom postrojenju za proizvodnju biorazgradljive ambalaže omogućena je reciklaža škarta. Reciklaža podrazumijeva da se uz pomoć

regeneratora škart topi i vraća na početak proizvodnog ciklusa. Mana ovog postupka je stvaranje folije koja je lošijeg kvaliteta. Ambalaže stvorene ovim postupkom imaju sekundarnu primjenu.



*Slika 13. – Postrojenja koja omogućavaju reciklažu plastične ambalaže*

## **4.2. Realizacija hardvera**

Upoznavanjem procesa proizvodnje u fabrici biorazgradljive ambalaže stekao se preduslov za uspješnu realizaciju sistema za kontrolu kvaliteta proizvodnje. U ovom dijelu biće izložena realizacija hardvera.

Realizacija hardverskog rješenja može se podijeliti u nekoliko etapa:

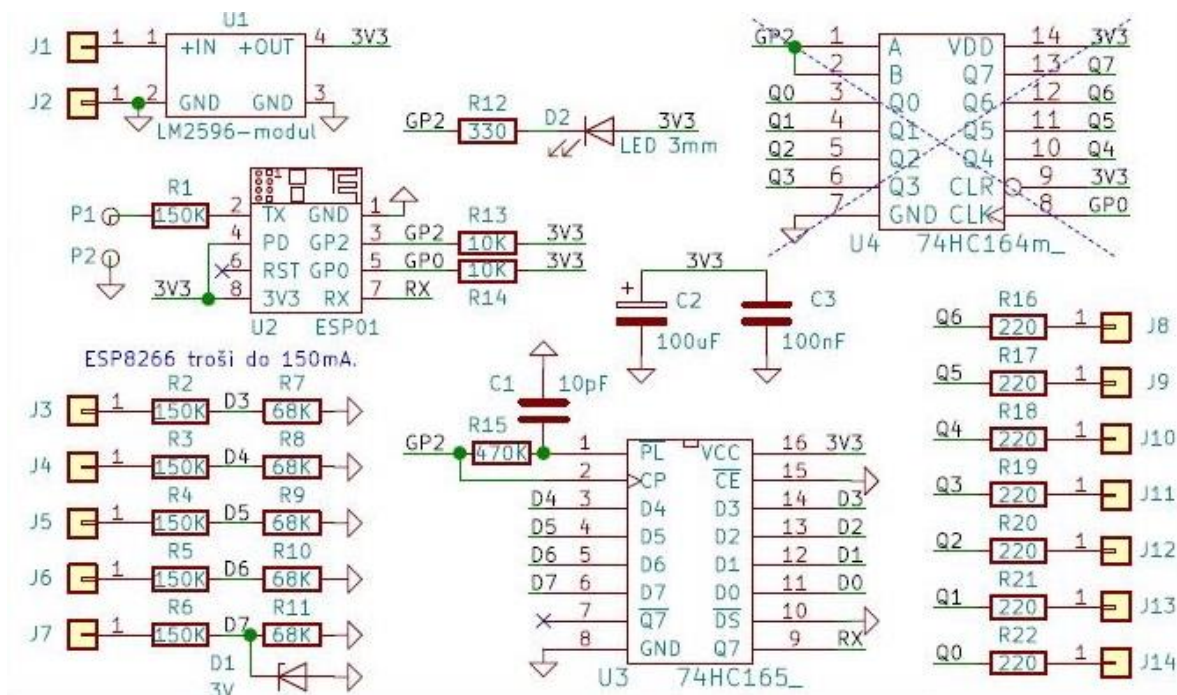
- Dizajniranje odgovarajuće električne šeme na osnovu utvrđenih funkcionalnih zahtjeva.
- Realizacija hardverskog rješenja na osnovu predložene šeme.
- Verifikacija realizovanog hardverskog rješenja.

#### **4.2.1. Dizajniranje odgovarajuće električne šeme na osnovu utvrđenih funkcionalnih zahtjeva**

Prvi korak u realizaciji hardvera predstavlja dizajniranje odgovarajuće električne šeme. Osnovni elementi svake električne šeme su električne komponente koje su međusobno povezane na odgovarajući način sa ciljem obavljanja određenih funkcija. Kao što je već napomenuto osnovna funkcija našeg hardverskog rješenja jeste prikupljanje podataka sa proizvodne linije. Podaci koji se sakupljaju sa proizvodne linije čine binarni signali. Prema tome realizovani hardver treba da omogući sakupljanje i interpretaciju takvih signala. Dio koji se tiče interpretacije podataka veoma je značajan imajući na umu da proizvodnu liniju čine različite mašine kod kojih različite vrijednosti signala imaju različita značenja. Pored pomenutih funkcija hardver treba takođe da omogući slanje podataka prema glavnom serveru. Komunikaciona mreža koja je odabrana za komunikaciju između hardvera i glavnog servera temelji se na bežičnom načinu razmjene podataka.

Na osnovu svega navedenog kreirana je električna šema koja je prikazana na slici 14. Komponente koje su međusobno povezane u cilju obavljanja pomenutih funkcija su:

- Wi-Fi modul ESP01-ESP8266
- Pomjerački registar (shift register) 74HC165
- Prekidački regulator (Step down) LM2596
- LED diode
- Kondenzatori i otpornici



Slika 14. – Električna šema hardverskog rješenja

#### 4.2.1.1. Wi-Fi modul ESP01-ESP8266

Centralnu poziciju našeg hardvera zauzima Wi-Fi modul. Ovaj modul je zadužen za sakupljanje, inerpertaciju i slanje podataka neophodnih za adekvatnu kontrolu proizvodnog ciklusa. Pomenute funkcije Wi-Fi modul realizuje uz pomoć ESP8266 čipa (Slika 15). Ovaj čip je baziran na 32-bitnoj RISC arhitekturi pod nazivom Xtensa LX106 Diamond koji radi na 80 megaherca. Takođe je omogućen overklok do 160 megaherca, nakon čega se ne garantuje stabilnost u radu. Posjeduje 96 kilobajta radne memorije, 64 kilobajta memorije za instrukcije i eksterni čip fleš memorije kapaciteta 512 kilobajta. Ovako korišćena arhitektura mikrokontrolera interesantna je jer dozvoljava kreiranje sopstvenih instrukcija u okviru mikrokoda. Osim samostalne primjene, kao što je slučaj kod našeg hardvera, ovi moduli mogu da se koristi kao dodaci za povezivanje mikrokontrolera bežičnom Wi-Fi vezom.[34]

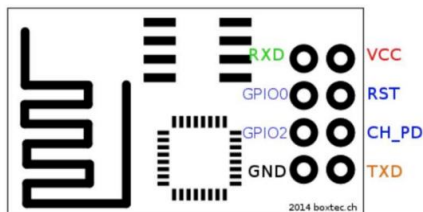


Slika 15. – ESP8266 ESP-01 modul

Modul ESP-01 predstavlja prvi modul AI-Thinker kompanije koji se pojavio na tržištu. Kao što je već napomenuto, ovaj modul se može koristiti nezavisno od drugih mikrokontrolera za prikupljanje senzorskih podataka. Ovo je omogućeno uz pomoć dva GPIO porta (Slika 16). Jedan od nedostataka koji posjeduju ovi moduli odnosi se na nemogućnost dovođenja elektronike u stanje takozvanog „dubokog sna”, koje je vrlo važno za ekonomičan utrošak električne energije.[34]

Tabela 1: Raspored i funkcije pinova ESP8266 ESP-01 modula

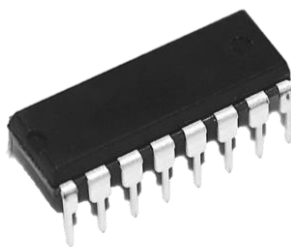
R.b.	Pin	Funkcija
1.	GND	Masa
2.	TX	UART slanje podataka
3.	GPIO2	GPIO port 2
4.	CH_PD	Aktiviranje modula
5.	GPIO0	GPIO port 0
6.	RST	Eksterni reset signal
7.	RX	UART prijem podataka
8.	Vcc	Konektor napajanja



Slika 16. – Raspored pinova ESP8266 ESP-01

### 4.2.1.2. Pomjerački registar (Shift register) 74HC165

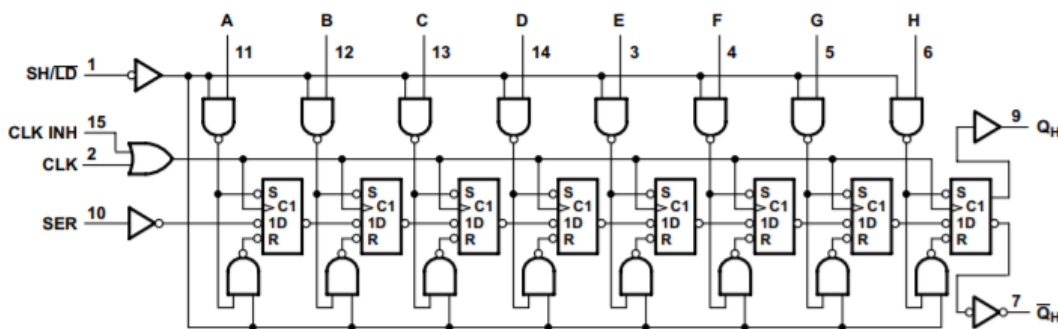
Samostalno korišćenje Wi-Fi modula ESP01 pokazalo se nemogućim u pogledu sakupljanja podataka. Osnovno ograničenje koje je rezultiralo donošenjem ovakvog zaključa jeste mali broj (dva) ulazno/izlaznih pinova. Kako bi se prevazišlo pomenuto ograničenje iskorišćen je pomjerački registar 74HC165 (Slika 17) koji ima za cilj povećanje ulazno/izlaznih pinova.



Slika 17. – Izgled pomjeračkog registra (shift register) 74HC165

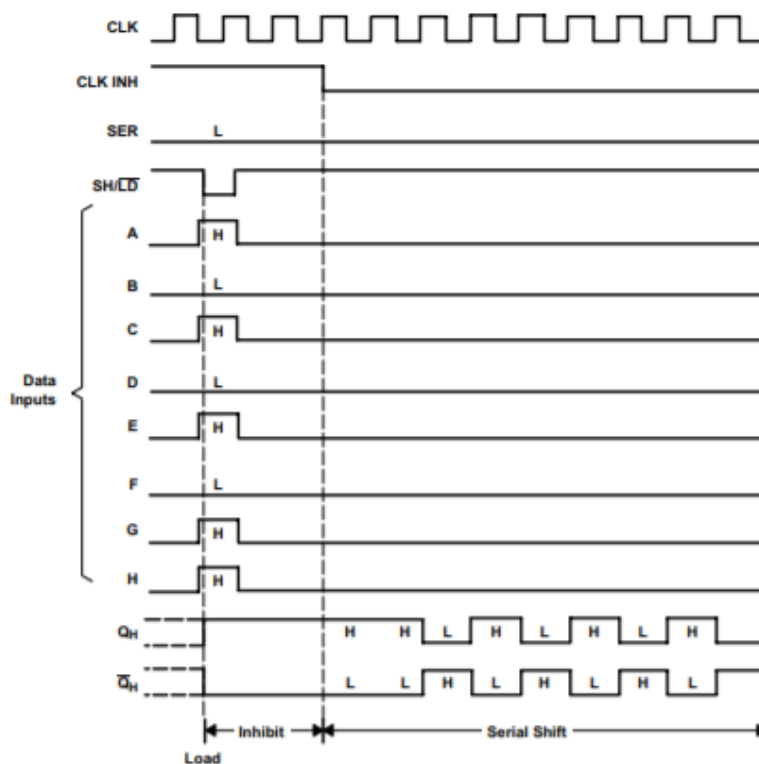
U suštini registar predstavlja digitalni sistem koji se sastoji od osnovnih memorijskih elemenata (flip-flova), koji se upotrebljavaju za smještanje odgovarajućih bitova memorijske riječi. U svakom flip-flopu smješta se po jedan bit posmatrane riječi što znači da će se u registru od  $n$  flip-flova može smjestiti  $n$ -tobitni podatak. Upis binarnog podatka u registar se može izvršiti na dva načina [35]:

1. Istovremenim (paralelnim) dovođenjem svih bitova podataka na ulaze odgovarajućih flip-flova-*Paralelni registri*
2. Sekvencijalnim (rednim-bit po bit) dovođenjem bitova na ulaz registra-*Pomjerački (shift) registri*



Slika 18. – Šematski prikaz pomjeračkog registra 74HC165

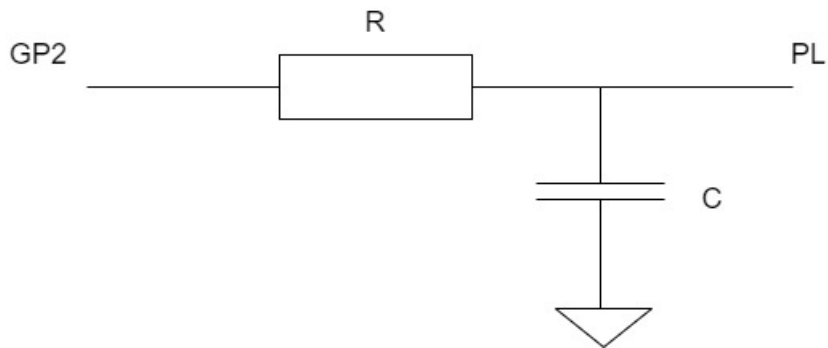
Kao što je već napomenuto u našem hardveru implementiran je pomjerački registar 74HC165. Ovaj registar predstavlja 8 bitni parallel-load pomjerački registar čijom je primjenom broj ulazno/izlaznih pinova Wi-Fi modula povećan za 7. Prateći blok šemu (Slika 18) i vrijednosti karakterističnih signala (Slika 19) može se uočiti način funkcionisanja ovog registra. Funkcionisanje registra može se podijeliti u dvije faze. Prvu fazu čini upis podataka u registar. Podaci se sa paralelnih ulaza (A-H) upisuju u registar dovođenjem signala SH/LD (shift/load) na nizak naponski nivo. Kada se upisuju podaci uticaj svih ostalih signala je zanemaren. Nakon upisa podataka u registar neophodno je podatke proslijediti ka serijskom izlazu ( $Q_H$ ). Kako bi se ovo omogućilo potrebno je aktivirati CLK signal čija će svaka promjena signala sa niskog na visoki naponski nivo izazvati prenos podataka ka izlazu  $Q_H$ . [36]



Slika 19. – Karakteristični signali pomjeračkog registra 74HC165

U našem hardveru implementirano je elegantno rješenje koje omogućava kontrolu rada registra sa samo jednim pinom (signalom) Wi-Fi modula. Ovo je postignuto koristeći RC kolo.

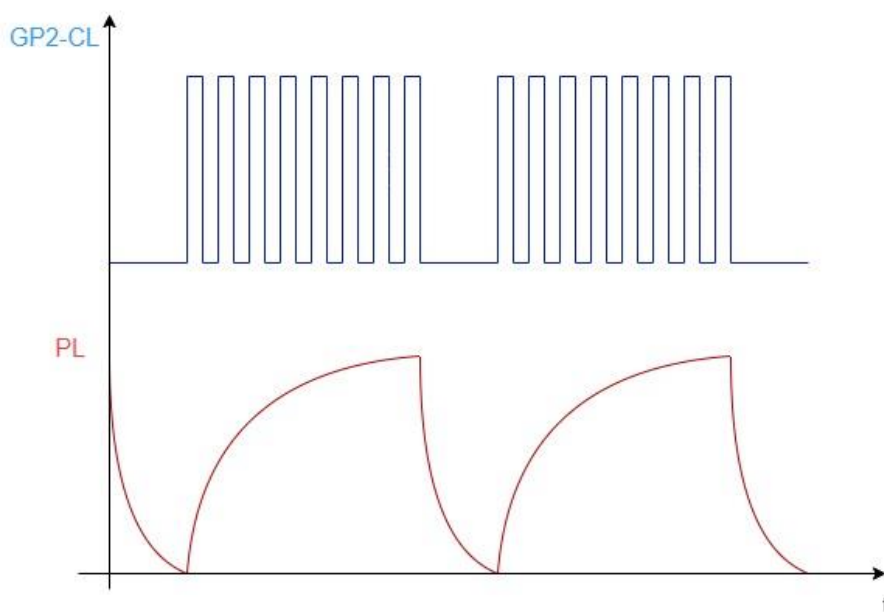
Karakteristike ovog kola primijenjene su za kontrolu signala SH/LD (šema PL), dok se signal CLK (šema CL) kontroliše direktno sa pina Wi-Fi modula (GPIO2).



Slika 20. – RC kolo

$$PL(t) = GP2 * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \dots (1)$$

$$\tau = R * C \dots (2)$$

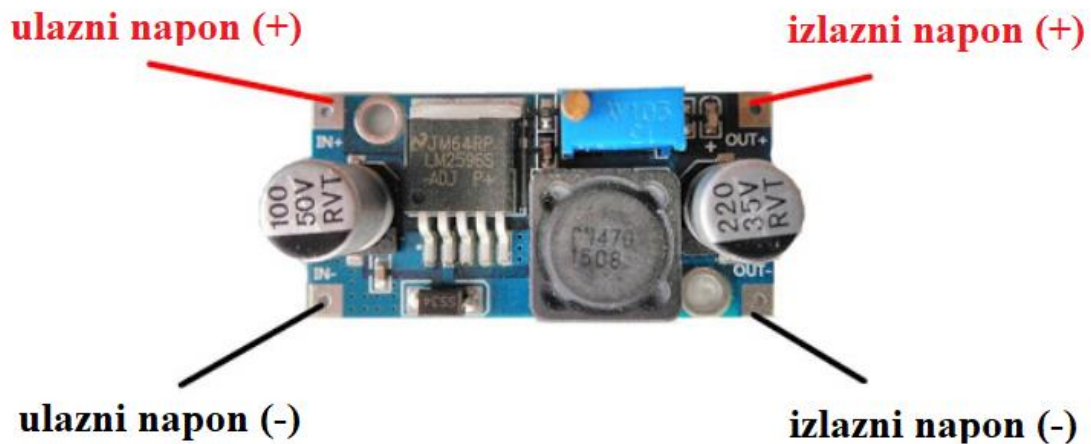


Slika 21. – Signali koji omogućavaju ispravno funkcionisanje pomjeračkog registra 74HC165 u sprezi sa Wi-Fi modulom



### 4.2.1.3. Prekidački (Step down) regulator LM2596

Hardver koji se primjenjuje u industrijskom okruženju treba da posjeduje napajanje koje je prilagođeno industrijskom standardu. Većina komponenti koje su korišćene u okviru našeg hardvera imaju radni napon 3.4V-5V. Kako bi se obezbijedilo funkcionisanje ovih komponenti u industrijskom okruženju čiji je standardna vrijednost napona 24V potrebno je u okviru našeg hardvera dodati sep down regulator dc-dc (Slika 22).



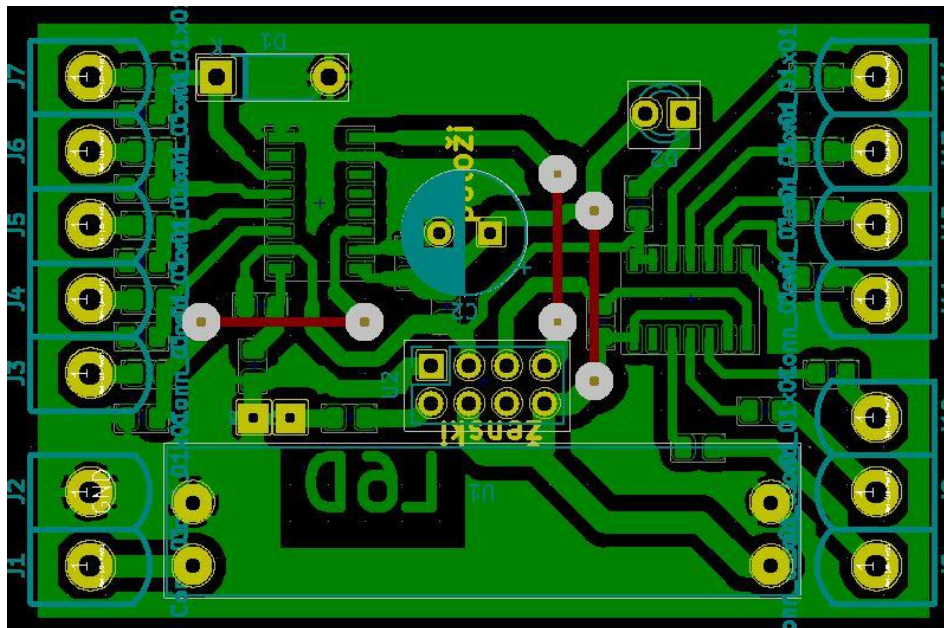
Slika 22. – Step down regulator LM2596

U predloženom hardverskom rješenju iskorišćen je step down regulator LM2596 koji posjeduje sledeće karakteristike [37-38]:

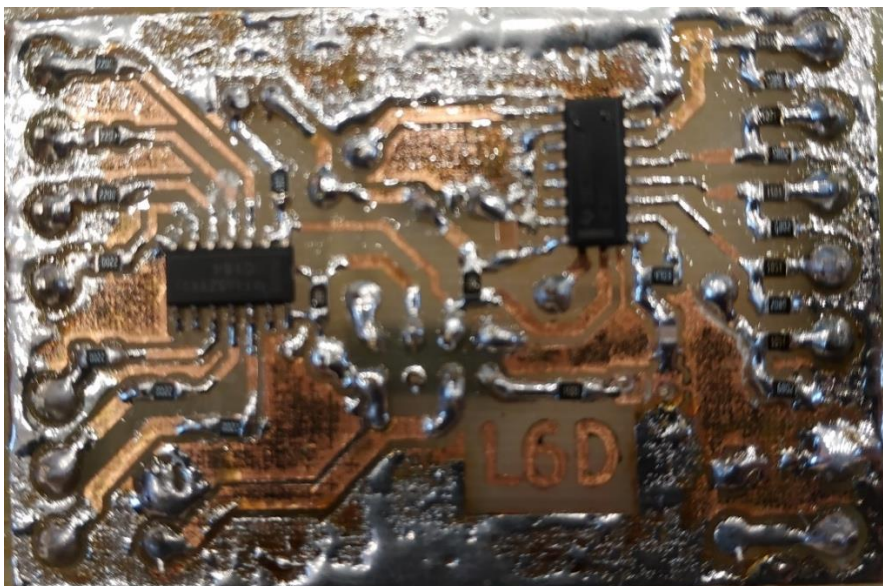
- Ulazni napon : +4-40Vdc
- Izlazni napon: +1.23-35Vdc
- Izlazna struja: 2A, (3A max)
- Efikasnost: do 92% (kada je izlazni napon podešen na max)
- Prekidačka frekvencija (Switching frequency): 150kHz
- Temp: -40 - +85 °C (izlazna snaga manja od 10W)
- Veličina: 43.6mm x 21mm x 14mm

#### 4.2.2. Realizacija hardverskog rješenja na osnovu predložene šeme

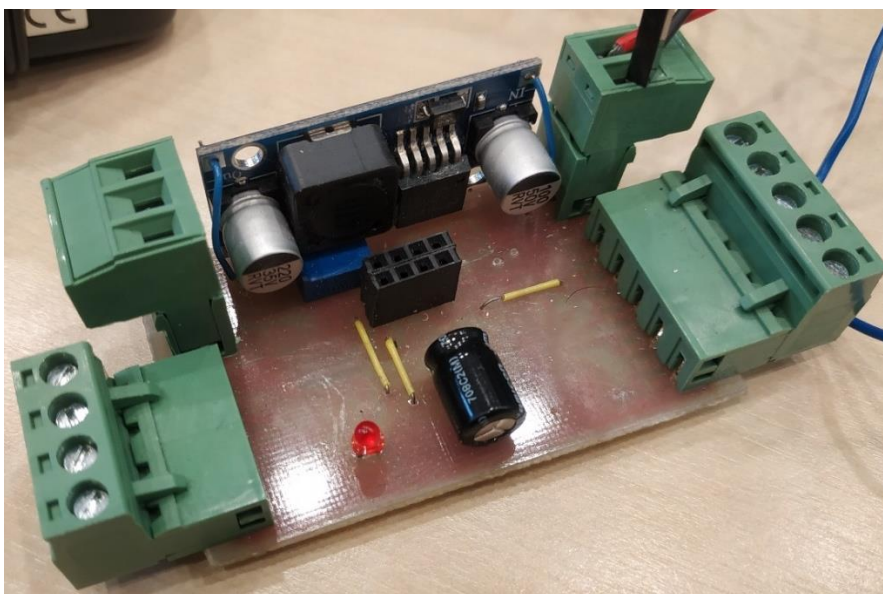
Nakon dizajniranja adekvatne električne šeme pristupilo se izradi cjelokupnog hardvera. Proces izrade hardvera, između ostalog, zahtijevao je poznavanje procesa rada PCB (Printed Circuit Board) laboratorije jer je za potrebe ovog istraživanja napravljena štampana ploča. Izrada štampane ploče ima za cilj da objedini sve neophodne komponente prikazane na električnoj šemi, slika 14. U nastavku su prikazane slike štampane ploče od projektovanja (layout), slika 23, pa sve do finalnog izgleda.



Slika 23. – Prikaz layout hardverskog rješenja



*Slika 24. – Izgled hardverskog rješenja-odozdo*



*Slika 25. – Izgled hardverskog rješenja-odozgo*

Realizacijom štampane ploče koja sadrži neophodne komponente stvorena je kompaktna cjelina. Kako bi štampana ploča postala funkcionalna neophodno je osposobiti funkcionisanje Wi-Fi modula koji predstavlja centralni dio našeg hardvera. Funkcionisanje Wi-Fi modula temelji se na Arduino platformi što znači da je za ispravno funkcionisanje Wi-Fi modula (cijelog hardvera)

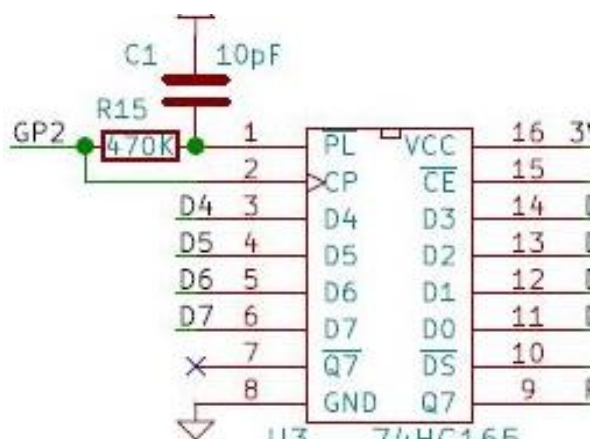
neophodno obezbijediti adekvatne instrukcije u vidu koda. Na osnovu funkcionalnih zahtjeva hardvera pisanje instrukcija za Wi-Fi modul podijelili smo na dva dijela i to:

- Pisanje instrukcija za prikupljanje podataka
- Pisanje instrukcija sa slanje podataka

Nakon realizacije ovih instrukcija potrebno je obaviti njihovu sintezu u jedan kod čija će se verifikacija obaviti nakon prebacivanja istog na Wi-Fi modul.

#### 4.2.2.1. Instrukcije za prikupljanje podataka sa proizvodne linije

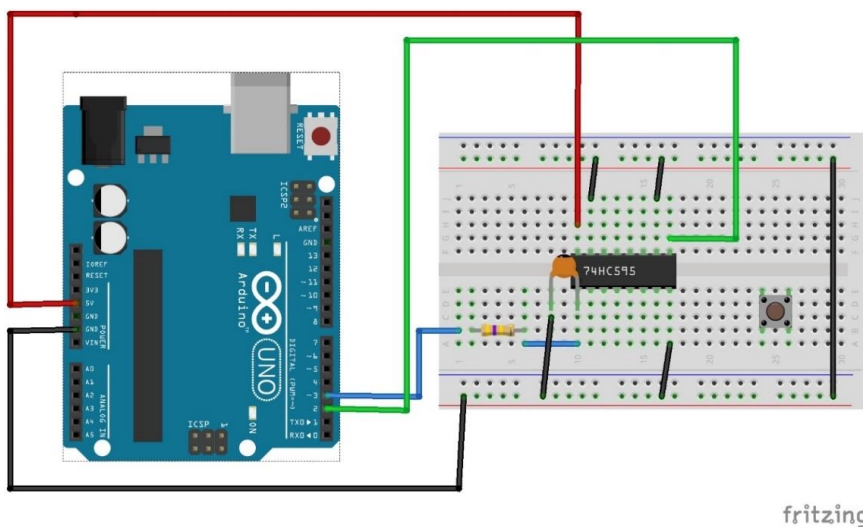
Prikupljanje podataka sa proizvodne linije predstavlja jednu od najvažnijih funkcija našeg hardvera. Komponente koje se koriste za ovu svrhu su pomjerački registar 74HC165 i Wi-Fi modul ESP-01. Osnovna uloga pomjeračkog registra je povećanje broja ulazno/izlaznih pinova, tj. obezbjeđivanje dovoljnog broja priključaka za signale koji su od interesa za kontrolu proizvodnje. Kao što je opisano u podpoglavljju 4.2.1.2 kontrola rada pomjeračkog registra omogućena je pomoću dva signala PL i CP. Wi-Fi modul omogućava kontrolu ovih signala i to pomoću GP2 signala, kao što se vidi na slici. Takođe, uloga Wi-Fi modula je prosleđivanje podataka sa izlaza pomjeračkog registra dijelu koji se odnosi na slanje. Prema tome u ovom dijelu hardvera potrebno je obezbijediti instrukcije koje će u kombinaciji sa RC kolom omogućiti ispravno funkcionisanje pomjeračkog registra. Prilikom kreiranja ovih instrukcija umjesto Wi-Fi modula u kombinaciji sa pomjeračkim registrom iskorišćena je mikrokontrolerska pločica Arduino Uno. Upotreba ove pločice nudi veću fleksibilnost u radu.



Slika 26. – Šematski prikaz pomjeračkog registra u okviru predloženog hardverskog rješenja

Proces kreiranja instrukcija omogućen je korišćenjem Arduino platforme u kombinaciji sa razvojnom pločicom na kojoj su međusobno povezane sledeće komponente:

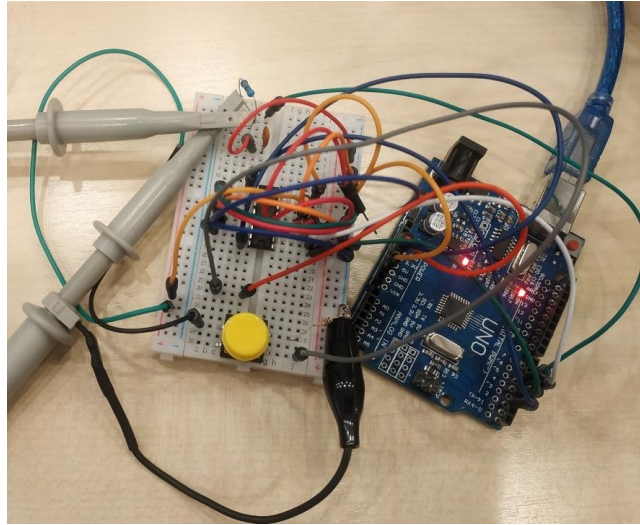
- Arduino Uno
- Pomjerački registar (shift register) 74HC165
- RC kolo
- Taster



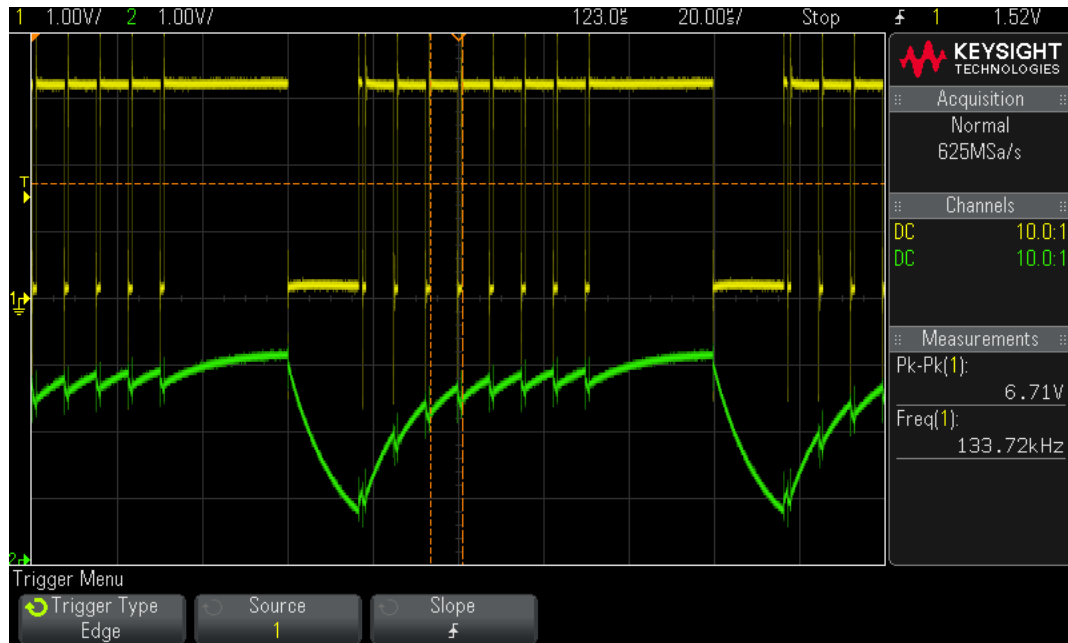
*Slika 27. – Konfiguracija koja omogućava testiranje funkcionalnosti pomjeračkog registra 74HC165*

Konfiguracija prikazana na slici 27 pruža stvaranje koda čija će pouzdanost biti zagarantovana. Signali koji služe za upravljanje radom registra snimaju se osciloskopom dok se sama funkcionalnost registra provjerava primjenom tastera na različite ulaze. Signali koji služe za upravljanje pomjeračkim registrom trebaju da izgledaju shodno opisu u podpoglavlju 4.2.1.2. Osnovni problem u ovom dijelu realizacije koda ogledao se u dobijanju neadekvatnih oblika signala (Slika 28) koji su rezultirali nepravilnim funkcionisanjem pomjeračkog registra. Nakon sprovedene analize koda utvrđeno je da je problem sa komandama koje služe za kontrolu signala GP2. Prema tome potrebno je koristiti direktni pristup portu a ne preko komande `digitalWrite(GP2,LOW/HIGH)`. Kao što se vidi na slici 29 primjenom direktnog pristupa portu

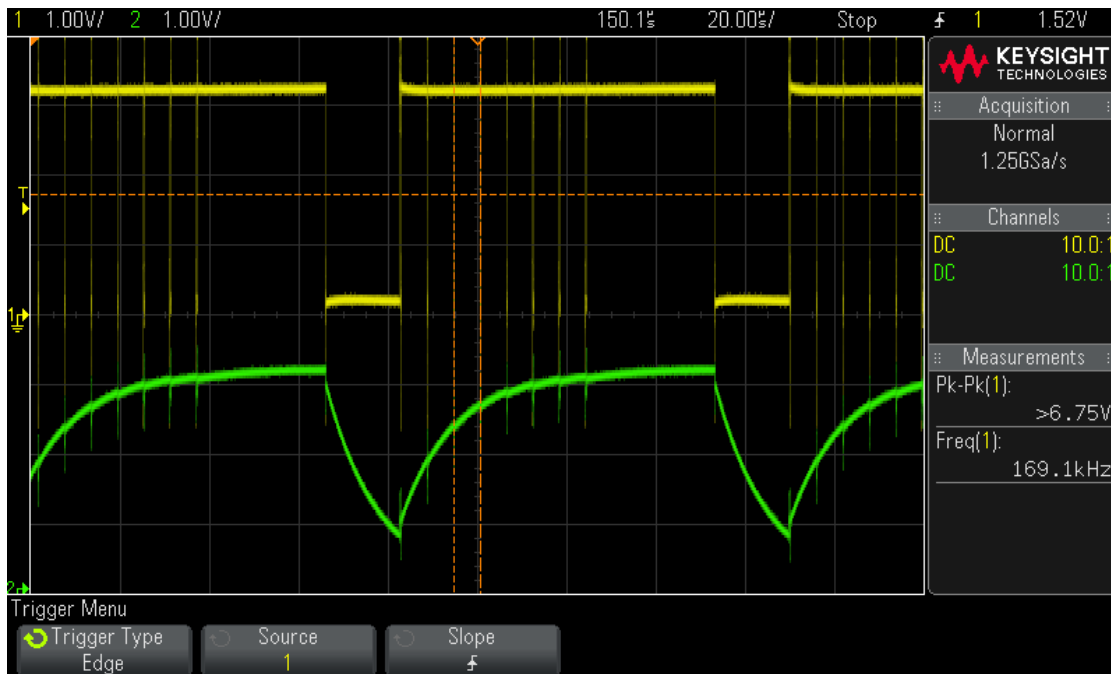
riješen je problem sa nepravilnim oblikom kontrolnog signala pomjeračkog registra. Nakon prebacivanja koda na Wi-Fi modul utvrđeno je da ovaj problem nije toliko izražen, prije svega jer je brzina rada modula 80MHz dok je Arduino Uno mikrokontrolera 16MHz.



*Slika 28. – Konfiguracija koja omogućava testiranje funkcionalnosti pomjeračkog registra 74HC165*



*Slika 28. – Prikaz signala za kontrolu rada pomjeračkog registra 74HC165 bez direktnog pristupa portu*

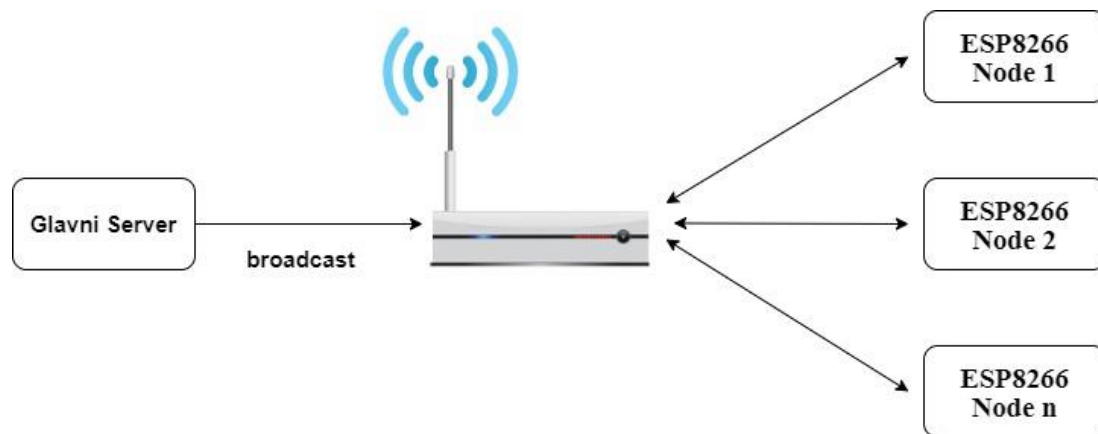


Slika 29. – Prikaz signala za kontrolu rada pomjeračkog registra 74HC165 sa direktnog pristupa portu

#### 4.2.2.2. Instrukcije za slanje podataka

Realizacijom koda koji se odnosi na prikupljanje podataka sa proizvodne linije omogućen je samo dio definisanih funkcionalnosti predloženog hardvera. U cilju omogućavanja pune funkcionalnosti u ovom podpoglavlju biće prikazan način kreiranja koda koji treba da omogući slanje podataka ka glavnom serveru. Kako bi se ovo realizovalo potrebno je odabrati komunikacionu mrežu i protokol kojim će se vršiti razmjena podataka. U prethodnom dijelu prikazano je da centralni dio našeg hardvera zazumi Wi-Fi modul pa prema tome prirodno je da se za razmjenu podataka koristi bežična komunikaciona mreža. Uvođenje bežične komunikacije u industrijskom okruženju omogućiće eliminisanje potrebe za ožičenjem. Ovo je značajno majući na umu da projektovanje sistema sa velikim brojem kablova nije praktično prije svega jer ograničava fleksibilnost samog sistema. Pored bežične komunikacije potrebno je takođe odabrati komunikacioni protokol koji će definisati pravila razmjene podataka. U ovom radu odabran je UDP (User Datagram Protocol) protokol. UDP protokol predstavlja jednostavan protokol koji obezbeđuje osnovne funkcije transportnog sloja OSI modela. Ovaj protokol se koristi prije svega kod aplikacija kod kojih prispjeće paketa i održavanje redosleda nije od velike važnosti. Kao što

je prikazano na slici komunikacija kod našeg sistema zasniva se na UDP broadcast komunikaciji. Ovako odabrana komunikacija imaju svoju praktičnu opravdanost. Prije svega jer proizvodni ciklus čini veliki broj mašina na kojima su montirani hardverski dodaci koji omogućavaju prikupljanje i slanje podataka. Slanje podataka obavlja se uz pomoć glavnog servera koji šalje poruke ka svim mašinama koje nakon prijema poruke odgovaraju slanjem neophodnih podatka za kontinuirano praćenje proizvodnog ciklusa. Ukoliko bi se koristio standardni način slanja UDP paketa za  $n$  mašina trebao bi glavni server da pošalje  $n$  poruka. Kako bi se ovo prevazišlo iskorišćeno je elegantno rješenje koje omogućava slanje samo jedne poruke u formi UDP broadcast paketa koji se automatski prosleđuje svim mašinama koje čine proizvodni ciklus. Kreirani kod sa slanje podataka treba da omogući prijem ovih poruka i odgovor na njih. Odgovor se sastoji od bitnih podataka za praćenje proizvodnje kao i podataka koji su karakteristični za svaku mašinu ponaosob, kao npr. ID mašine. Uvođenjem jedinstvenog ID-a omogućeno je glavnom serveru dobijanje informacija o pošiljaocu pruke (mašini).

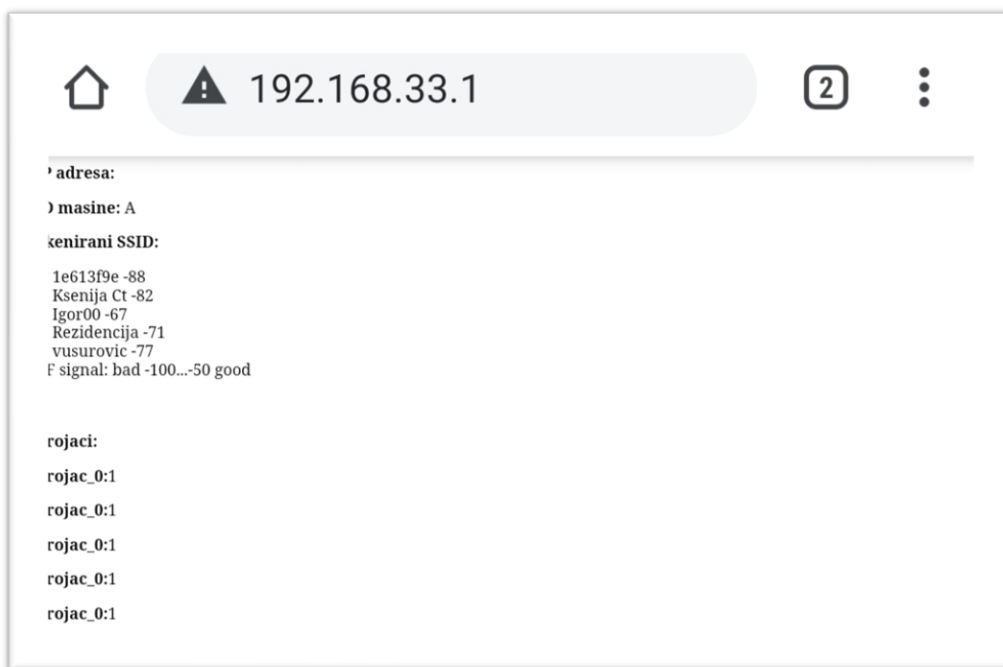


*Slika 30. – Grafički prikaz komunikacije između glavnog servera i industrijskih postrojenja*

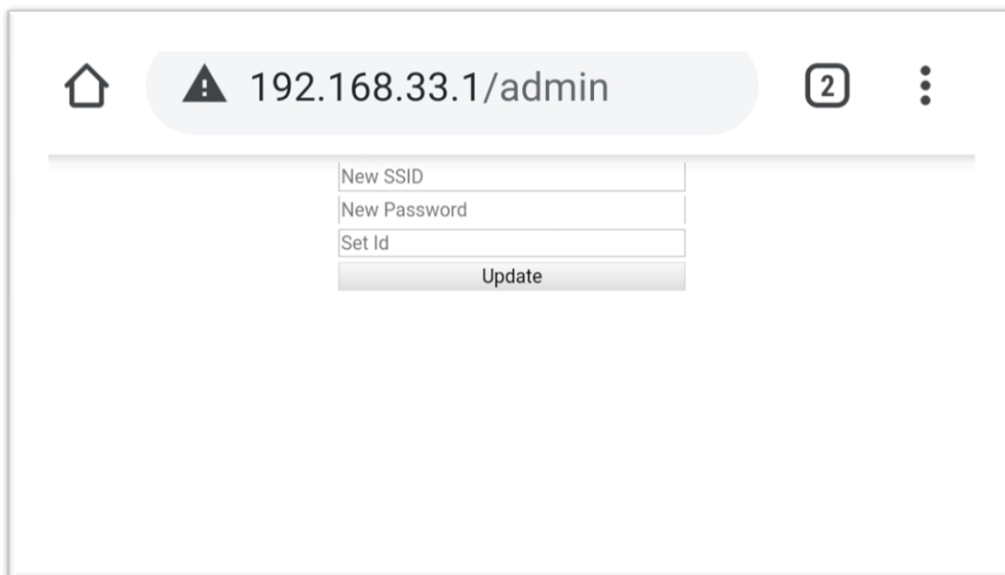
Komunikacija između mašina i glavnog servera obavlja se posredstvom rutera. Posjedovanjem opcije Access point ruter omogućava povezivanje svih mašina u jednu komunikacionu mrežu. Ovakva realizacija je jedino moguća ukoliko se osim konfiguracije rutera obezbijedi pravilno konfigurisanje Wi-Fi modula. Ovaj modul se konfigurira kroz pisanje instrukcija koje definišu mode rada modula. Modul je potrebno konfigurirati u stanica (station) modu koji zahtijeva podatke vezane za Access point rutera i to: ime mreže i šifra mreže. Kao u



svakoj mrežnoj konfiguraciji tako i u ovoj prekidi su mogući iz različitih razloga. Jedan od mogućih slučajeva u kojem dolazi do prekida komunikacije jeste promjena konfiguracijskih parametara rutera. U ovom slučaju u cilju ostvarenja ponovne konekcije potrebno je ponovo programirati Wi-Fi modul sa novim podacima o konekciji. Nedostatak ovog rješenja leži u činjenici da je za ponovno programiranje modula potrebno isključenje postrojenja i fizičko otklanjanje hardvera sa mašine. Kako bi se prevazišao ovaj problem realizovano je inovativno rješenje koje omogućava promjenu konfiguracijskih parametara bez fizičkog kontakta sa postrojenjem. Ovo je omogućeno koristeći Access point mode u koji Wi-Fi modul prelazi nakon prekida konekcije sa ruterom. Ovaj mode omogućava Wi-Fi modulu stvaranje sopstvenog Access pointa na koji se mogu povezati drugi uređaji koji posjeduju mogućnost ostvarenja Wi-Fi konekcije. Nakon ostvarivanja konekcije sa Wi-Fi modulom uređaj može da dobije sve potrebne dijagnostičke podatke (Slika 31) kao i polja za unos novih konfiguracijskih podataka rutera (Slika 32). Unosom tačnih konfiguracijskih podataka hardver se resetuje i prelazi u station mode gdje ostvaruje novu konekciju sa ruterom. Ostvarivanjem ove konekcije omogućena je nesmetana komunikacija sa glavnim serverom.



*Slika 31. – Prikaz web stranice koju obezbeđuje Wi-Fi modul nakon prelaska u Access Point mod rada*

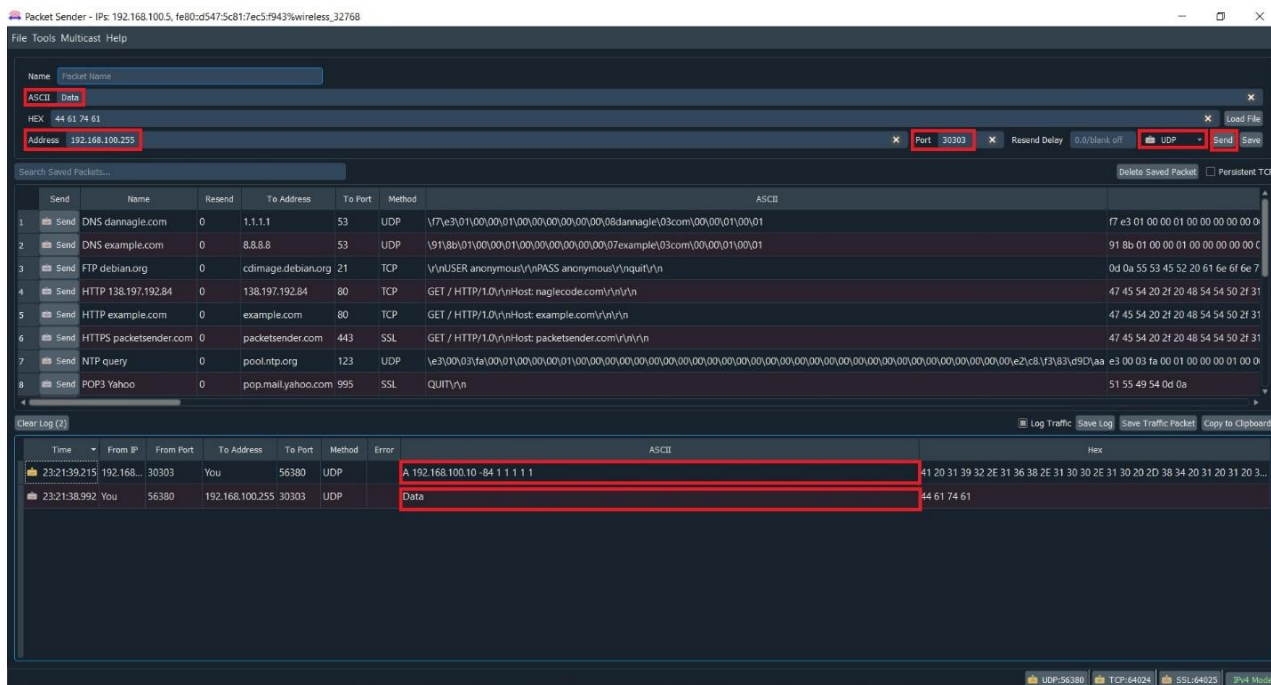


*Slika 32. – Prikaz web stranice koju omogućava unos novih konfiguracionih parametara rutera i definisanje jedinstvenog id-a mašine*

### **4.2.3. Verifikacija realizovanog hardverskog rješenja**

Nakon realizacije hardvera potrebno je izvršiti verifikaciju istog. Verifikacija je veoma značajna imajući na umu da će se sistem primjenjivati u realnim uslovima. Prema tome potrebno je provjeriti funkcionalnost hardvera kako bi se moglo reći da je realizacija uspješna. Kako je za provjeru funkcionalnosti hardvera neophodan glavni server kao njegova zamjena iskorišćena je PC aplikacija „Packet Sender“ (<https://packetsender.com/download#show>). Verifikacija je osim primjene pomenute aplikacije (Slika 33-34) podrazumijevala dovođenje signala različitih vrijednosti na ulaze hardvera. Slanjem UDP broadcast paketa sakupljeni su podaci sa hardvera koji su se nakon prikaza na aplikaciji upoređivali sa realnim stanjem (Slika 35). Nakon izvršene verifikacije utvrđeno je da hardver pokazuje dobre funkcionalne karakteristike. Nakon uspješne verifikacije pristupilo se realizaciji softvera koji će omogućiti kompletiranje sistema za kontrolu kvaliteta proizvodnje.



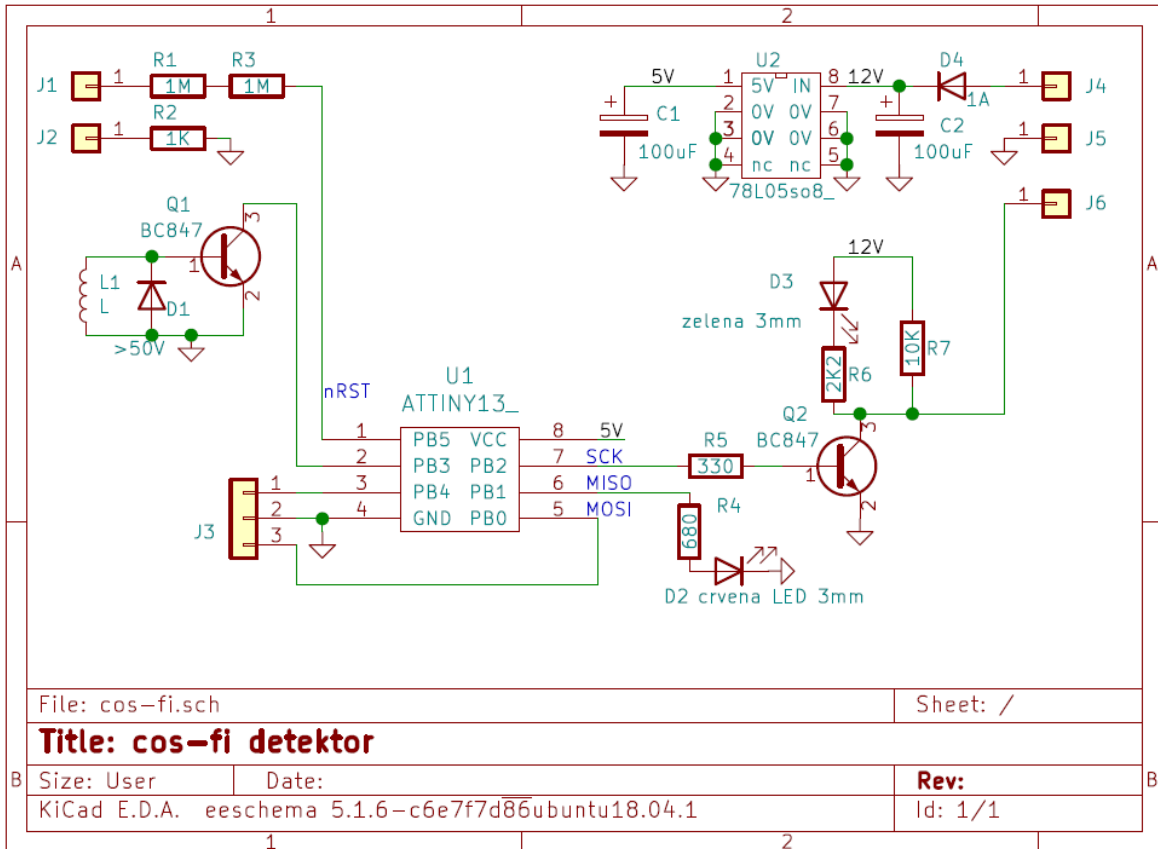


*Slika 35. – Aplikacija koja se koristi za verifikaciju realizovanog hardverskog rješenja omogućava slanje broadcast UDP paketa*

### 4.3. Dodaci hardvera

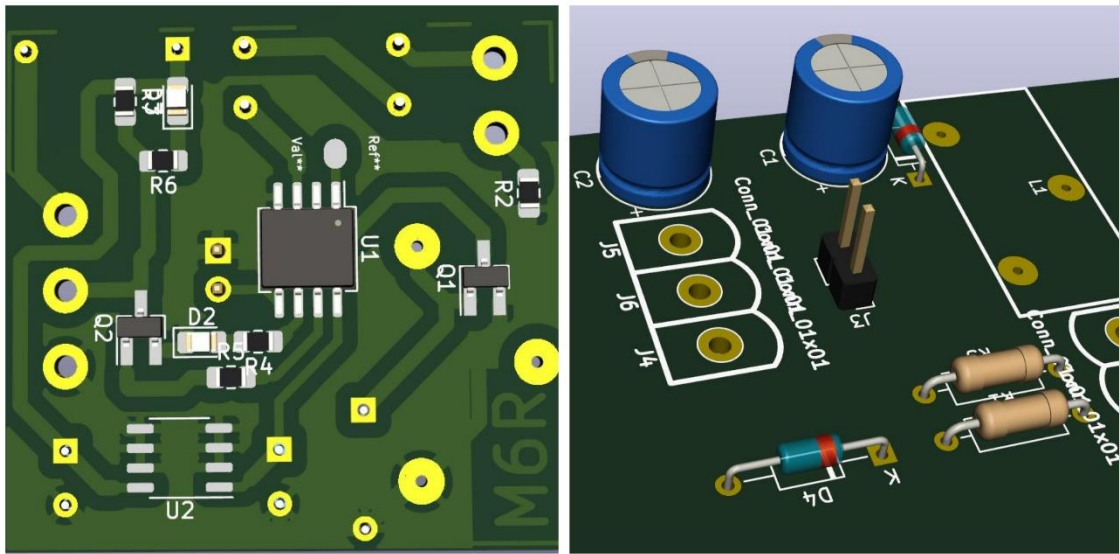
Realizovano hardversko rješenje koje je nastalo kao rezultat istraživanja na ovoj magistarskoj tezi predstavlja rješenje koje se primjenjuje na svim industrijskim postrojenjima. Međutim, stvaranje univerzalnog hardverskog rješenja je praktično nemoguće. Prema tome ovo važi i za naše rješenje kojem je potrebno obezbijediti određene dodatke kako bi mogao da relizuje sakupljanje podataka sa svih industrijskih postrojenja. Jedan od takvih dodataka biće prikazan u ovom dijelu.

Postrojenje koje je zahtijevalo projektovanje dodatnog hardvera u cilju prikupljanja neophodnih podataka jeste mašina koja je uključena u procesu reciklaže. Ova mašina pomoću svojeg motora melje plastičnu ambalažu koja dalje ide na obradu. Parametar koji je značajan u procesu kontrole kvaliteta proizvodnje kod ovog postorjenja jeste način rada motora. Kontrolisanjem ovog parametra želi se eliminisati situacija u kojoj motor nije optereće a mašina je priključena na električnu mrežu, tj. eliminisanje bespotrebnog utroška električne energije.

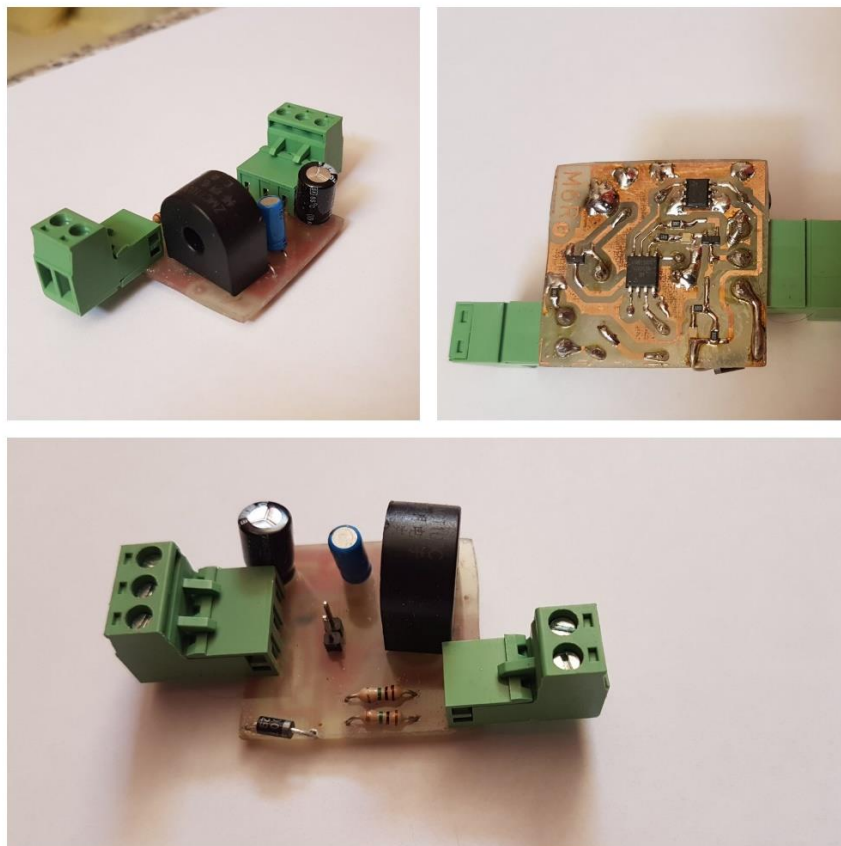


Slika 36. – Električna šema  $\cos\phi$  detektora

Način funkcionisanja dodatka  $\cos\phi$ , čija je električna šema prikazana na slici 36, zasniva se na mjerenju fazne razlike između napona i struje. Na ovaj način se određuje da li se motor ponaša kao induktivno ili kapacitivno opterećenje. Ukoliko se motor ponaša kao induktivno opterećenje struja u motoru zaostaje za naponom, odnosno aktivna snaga dominira u odnosu na reaktivnu. Dominacija aktivne snage označava da je motor opterećen. Ukoliko se motor ponaša kao kapacitivno opterećenje struja prednjači naponu i reaktivna snaga dominira u odnosu na aktivnu. Dominacija reaktivne snage označava da motor nije opterećen. Na osnovu predložene električne šeme može se uočiti da centralni dio ovog hardverskog dodatka predstavlja mikrokontroler čija je uloga da odredi da li dominira reaktivna ili aktivna snaga. Ukoliko dominira aktivna snaga ovo hardversko rješenje na svojem izlazu kreira niz digitalnih impulsa koje centralni hardver preuzima i obrađuje. U situaciji kada motor nije opterećen, tj. kada dominira reaktivna snaga u odnosu na aktivnu na izlazima dodatnog hardvera biće konstantna vrijednost logičke nule.



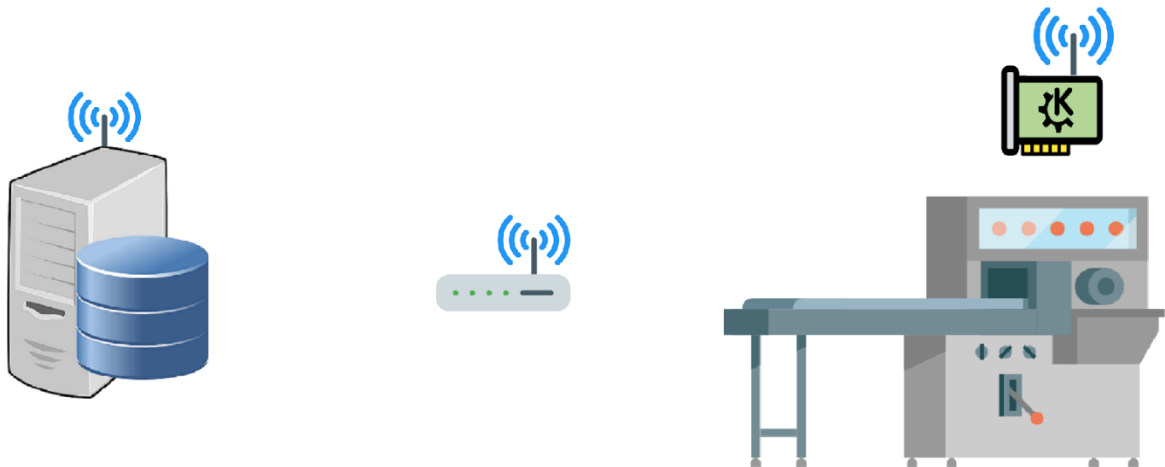
Slika 37. – Prikaz layout-a  $\cos\phi$  detektora



Slika 38. – Izgled  $\cos\phi$  detektora

#### 4.4. Realizacija softvera

U cilju kompletne realizacije sistema koji je osnova ovog istraživačkog rada potrebno je obezbijediti adekvatna softverska rješenja. Softverska realizaciju u ovom magistarskom radu podijeljena je u dva dijela. Prvi dio se odnosi na kreiranje servera koji je u direktnoj komunikaciji sa industrijskim postrojenjima, slika 39. Ovaj server treba da obezbijedi prikupljanje i skladištenje podataka neophodnih za kontinuirano praćenje proizvodnog ciklusa. Drugi dio softverske realizacije posvećen je stvaranju korisničkog okruženja koje će omogućiti praćenje proizvodnog ciklusa, slika 40.



*Slika 39. – Funkcionalni prikaz servera koji omogućava prikupljanje i skladištenje podataka sa industrijskih postrojenja*



*Slika 40. – Funkcionalni prikaz servera koji omogućava kontinualnu kontrolu kvaliteta proizvodnje*

#### 4.4.1. Realizacija servera namijenjenog za sakupljanje i skladištenje podataka

U ovom dijelu magistarskog rada biće predstavljena realizacija servera namijenjenog za sakupljanje i skladištenje podataka. Način komunikacije servera sa industrijskim postrojenjima opisan je u podpoglavlju 4.2.2.2. Pored realizacije opisanog potrebno je dodati dio koji se odnosi na skladištenje sakupljenih podataka u naročito kreiranoj bazi.

Baza koja je kreirana u toku našeg istraživanja imenovana je kao *nadzor-2020*. Kreirana baza i njoj pripadajuće tabele trebaju da sadrže podatke koji će omogućiti funkcionisanje cjelokupnog sistema. U cilju skladištenja prikupljenih podataka koristi se tabela *info\_masine*, slika 41. Većina polja koja su sastavni dio ove tabele popunjavaju se uz pomoć podataka koje obezbjeđuje servera za prikupljanje i skladištenje podataka sa proizvodne linije. Međutim set podataka koji se sakupljaju sa proizvodne linije ne sadrže podatke za sva polja tabele *info\_masine*. Prema tome polja za koje nedostalju podaci popunjavaju se unaprijed definisanim default vrijednostima. Na osnovu tabele 2 može se uočiti da se ovo odnosi na polja *radnik\_id* i *datum\_vrijeme*.

Tabela 2: Prikaz strukture tabele *info\_mašine* koja je sastavni dio baze podataka *nadzor-2020*

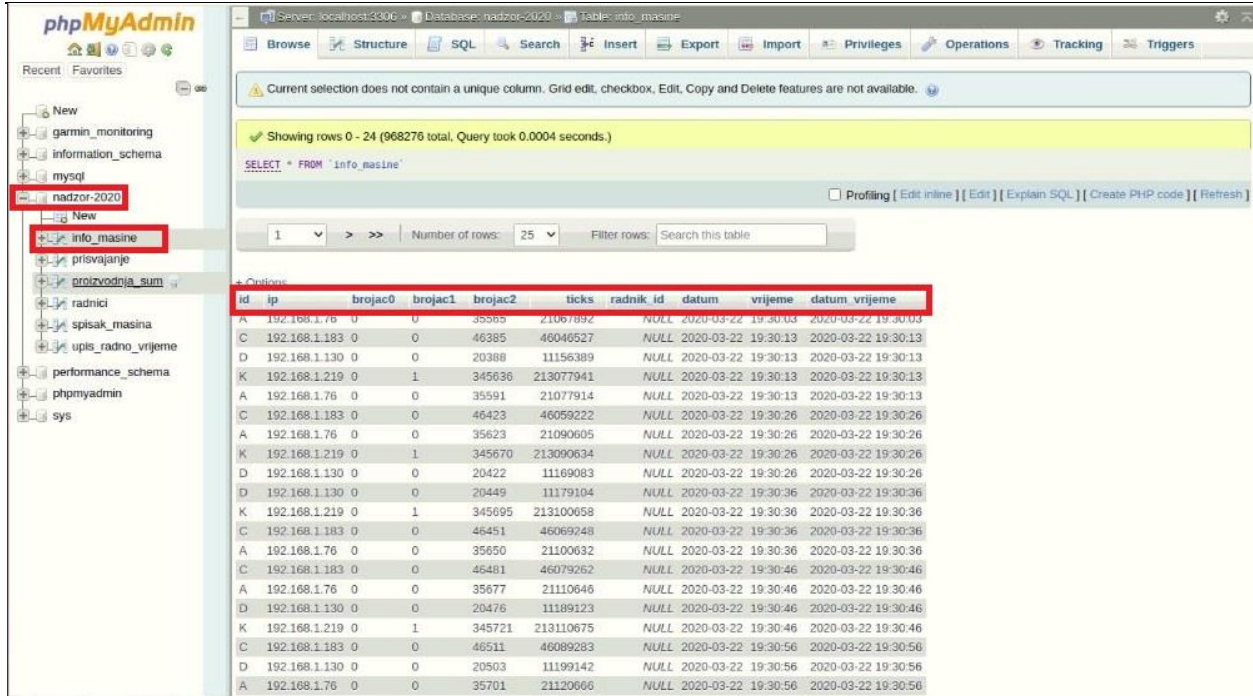
Polje	Tip podatka	Default vrijednosti
Id	varchar(200)	None
Ip	varchar(200)	None
brojac0	varchar(200)	None
brojac1	varchar(200)	None
brojac2	varchar(200)	None
ticks	int(11)	None
radnik_id	varchar(200)	NULL
datum	date	None
vrijeme	time	None



datum\_vrijeme

timestamp

CURRENT\_TIMESTAMP



Current selection does not contain a unique column. Grid edit, checkbox, Edit, Copy and Delete features are not available.

Showing rows 0 - 24 (968276 total, Query took 0.0004 seconds.)

SELECT \* FROM `info\_masine`

Number of rows: 25 Filter rows: Search this table

id	ip	brojac0	brojac1	brojac2	ticks	radnik_id	datum	vrijeme	datum_vrijeme
A	192.168.1.76	0	0	35565	21067892	NULL	2020-03-22	19:30:03	2020-03-22 19:30:03
C	192.168.1.183	0	0	46385	46046527	NULL	2020-03-22	19:30:13	2020-03-22 19:30:13
D	192.168.1.130	0	0	20388	11156389	NULL	2020-03-22	19:30:13	2020-03-22 19:30:13
K	192.168.1.219	0	1	345636	213077941	NULL	2020-03-22	19:30:13	2020-03-22 19:30:13
A	192.168.1.76	0	0	35591	21077914	NULL	2020-03-22	19:30:13	2020-03-22 19:30:13
C	192.168.1.183	0	0	46423	46059222	NULL	2020-03-22	19:30:26	2020-03-22 19:30:26
A	192.168.1.76	0	0	35623	21090605	NULL	2020-03-22	19:30:26	2020-03-22 19:30:26
K	192.168.1.219	0	1	345670	213090634	NULL	2020-03-22	19:30:26	2020-03-22 19:30:26
D	192.168.1.130	0	0	20422	11169083	NULL	2020-03-22	19:30:26	2020-03-22 19:30:26
D	192.168.1.130	0	0	20449	11179104	NULL	2020-03-22	19:30:36	2020-03-22 19:30:36
K	192.168.1.219	0	1	345695	213100658	NULL	2020-03-22	19:30:36	2020-03-22 19:30:36
C	192.168.1.183	0	0	46451	46069248	NULL	2020-03-22	19:30:36	2020-03-22 19:30:36
A	192.168.1.76	0	0	35650	21100632	NULL	2020-03-22	19:30:36	2020-03-22 19:30:36
C	192.168.1.183	0	0	46481	46079262	NULL	2020-03-22	19:30:46	2020-03-22 19:30:46
A	192.168.1.76	0	0	35677	21110646	NULL	2020-03-22	19:30:46	2020-03-22 19:30:46
D	192.168.1.130	0	0	20476	11189123	NULL	2020-03-22	19:30:46	2020-03-22 19:30:46
K	192.168.1.219	0	1	345721	213110675	NULL	2020-03-22	19:30:46	2020-03-22 19:30:46
C	192.168.1.183	0	0	46511	46089283	NULL	2020-03-22	19:30:56	2020-03-22 19:30:56
D	192.168.1.130	0	0	20503	11199142	NULL	2020-03-22	19:30:56	2020-03-22 19:30:56
A	192.168.1.76	0	0	35701	21120666	NULL	2020-03-22	19:30:56	2020-03-22 19:30:56

Slika 41. – Prikaz tabele info\_mašine u phpMyAdmin

Server za prikupljanje i skladištenje podataka realizovan je koristeći okruženje Node.js. Ovo okruženje omogućava izvršavanje JavaScript kodova. U nastavku će biti prikazan dio koda koji omogućavaju sakupljanje podataka sa proizvodne linije i njihovo skladištenje u bazi podataka *nadzor-2020*.

```
Udp server receive message : K 192.168.1.88 -60 0 0 1 1 167643 89905260
server got: D 192.168.1.67 -56 0 0 0 0 1686 1006054 from 192.168.1.67:30303
[ 'D', '192.168.1.67', '-56', '0', '0', '0', '0', '1686', '1006054' ]
Udp server receive message : D 192.168.1.67 -56 0 0 0 0 1686 1006054
```

Slika 42. – UDP paket koji se šalje sa industrijskih postrojenja ka glavnom serveru

```

s.on("message", function (message,rinfo) {
  console.log("server got: " + message + " from " + rinfo.address + ":" + rinfo.port);

  // Create output message.
  var output = "Udp server receive message : " + message + "\n";
  var poruka=String(message);
  var porukaArr=poruka.split(" ");
  console.log(porukaArr);
  id=porukaArr[0];
  ip=rinfo.address;
  brojac=porukaArr[5];
  brojac1=porukaArr[6];
  brojac2=porukaArr[7];
  ticks=porukaArr[8];

  // Print received message in stdout, here is log console.
  process.stdout.write(output);
  var datetime = new Date();
  let date = ("0" + datetime.getDate()).slice(-2);
  let month = ("0" + (datetime.getMonth() + 1)).slice(-2);
  let year = datetime.getFullYear();
  let hours = datetime.getHours();
  let minutes = datetime.getMinutes();
  let seconds = datetime.getSeconds();
  let datum = year + "-" + month + "-" + date;
  let vrijeme=hours + ":" + minutes + ":" + seconds;
  if(id!="Data"){
    var sql = "INSERT INTO info_masine (id, ip, brojac0, brojac1, brojac2,ticks, datum,
vrijeme) VALUES
("+id+", "+ip+", "+brojac+", "+brojac1+", "+brojac2+", "+ticks+", "+datum+", "+vrijeme+"
)";
    con.query(sql, function (err, result) {
      if (err) throw err;
      console.log("1 record inserted");
    });
  }
});

s.on('listening',function(err){
  s.setBroadcast(true);
s.send(discover,0,discover.length,30303,"192.168.1.255",function(err,bytes){
  if (err != null) console.log(err);

```

```

        console.log("Sent!");
    });
});
function intervalFunc() {
    s.setBroadcast(true);
    s.send(discover,0,discover.length,30303,"192.168.1.255",function(err,bytes){
        if (err != null) console.log(err);
        console.log("Sent!");
    });
}
setInterval(intervalFunc,10000);

```

Pored dijela koda koji je zadužen za sakupljanje i skladištenje podataka sa proizvodne linije u okviru servera realizovan je dio koji omogućava provjeru funkcionalnosti hardvera koji je montiran na industrijska postrojenja. Ova provjera se zasniva na kreiranju jednostavne web stranice (Slika 43) koja će omogućiti tabelarni prikaz onih mašina koje komuniciraju sa serverom. U nastavku je prikazan taj dio koda.

```

//create the server for browser access
const server = http.createServer((req, res)=>{ //html string that will be send to browser var reo
='<html><head><title>Server</title></head><body><h1>Server</h1>{ ${table} }</body></ht
ml>';

//sets and returns html table with results from sql select //Receives sql query and callback
function to return the table function setResHtml(sqls, cb){

    pool.query(sqls, (err, res, cols)=>{
        if(err) throw err;
        //var Stanje="OFF";
        var table = ""; //to store html table
        //create html table with data from res.
        for(var i=0; i<res.length; i++){
            /*if(niz[i]!=res[i].br){
                niz[i]=res[i].br;
                Stanje="ON";
            }*/
            table +=<tr><td>+ (i+1) +</td><td>+ res[i].id +</td><td>+ res[i].ip +</td></tr>';
        }
        table ='<table border="1"><tr><th>Nr.</th><th>ID</th><th>IP
Address</th></tr>'+ table +'</table>';

```

```

    //con.release(); //Done with mysql connection
    return cb(table);
  });
}
let sqls='SELECT DISTINCT id,ip FROM `info_masine` WHERE datum_vrijeme>=
NOW() - INTERVAL 60 SECOND ORDER BY id'

setResHtml(sqls, resql=>{
  reo = reo.replace('{{table}}', resql);
  res.writeHead(200, {'Content-Type':'text/html; charset=utf-8'});
  res.write(reo, 'utf-8');
  res.end();
});
});

server.listen(8080, ()=>{
  console.log('Server running at //localhost:8080/');
});

```

← → ↻ 🌐 localhost:8080

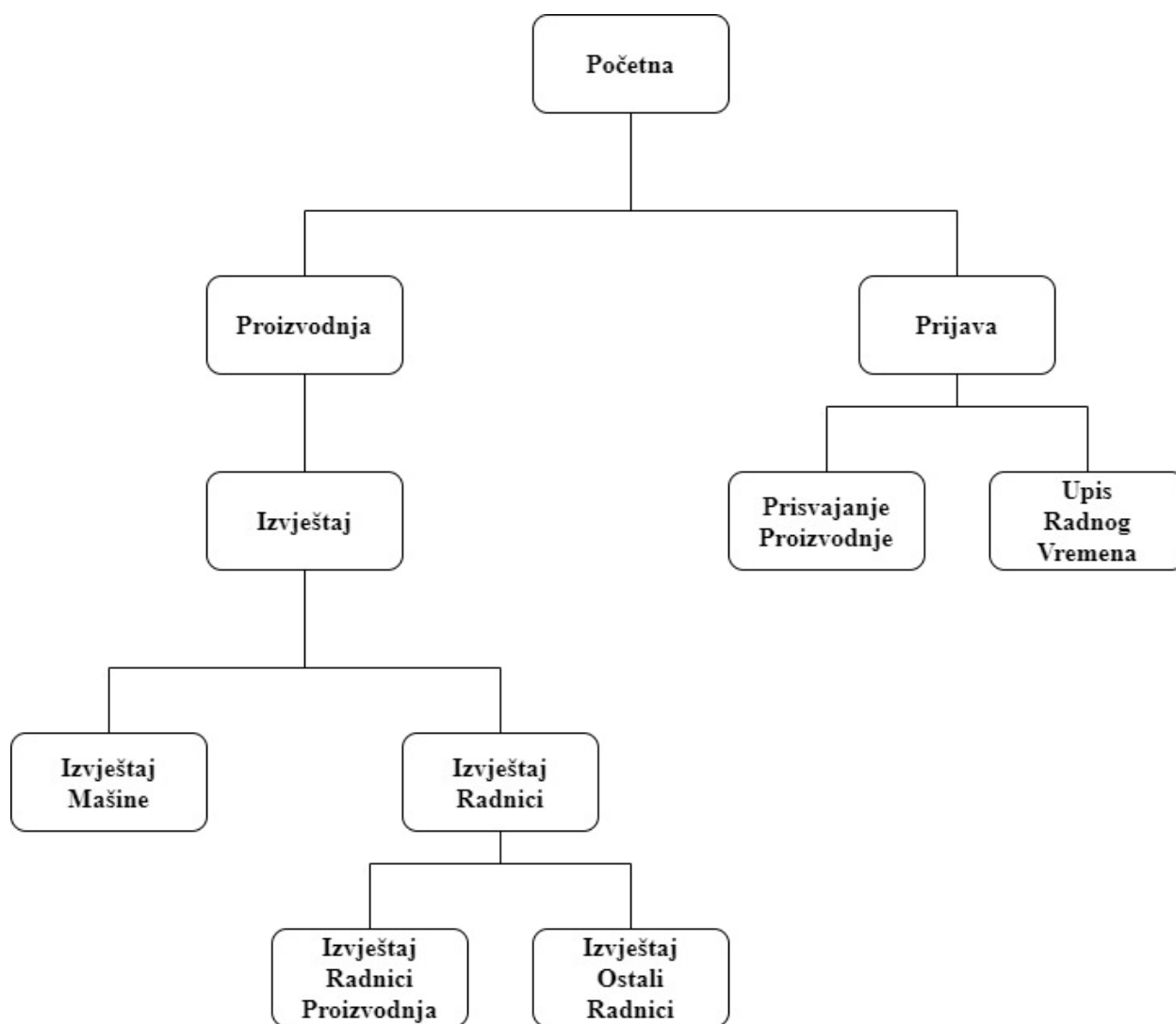
# Server

Nr.	ID	IP Adress
1	A	192.168.1.68
2	D	192.168.1.67
3	F	192.168.1.66
4	K	192.168.1.88

Slika 43. – Prikaz web stranice koju obezbeđuje glavni server u dijagnostičke svrhe

#### 4.4.2. Realizacija softvera za kontrolu kvaliteta proizvodnje

Kako bi se obezbijedila kontinuirana kontrola kvaliteta proizvodnje potrebno je realizovati kvalitetno softversko rješenje. Kvalitet softvera prije svega se odnosi na lako uočavanje nedostataka u proizvodnom ciklusu. Softver je realizovan koristeći Node.js okruženje koje pruža mogućnost kreiranja backend i frontend. Koristeći njegove mogućnosti cjelokupno softversko rješenje kreirano je koristeći samo jedan programski jezik. U nastavku će biti prikazan funkcionalni opis softverskog rješenja. Struktura korisničkog dijela prikazana je na slici 44.

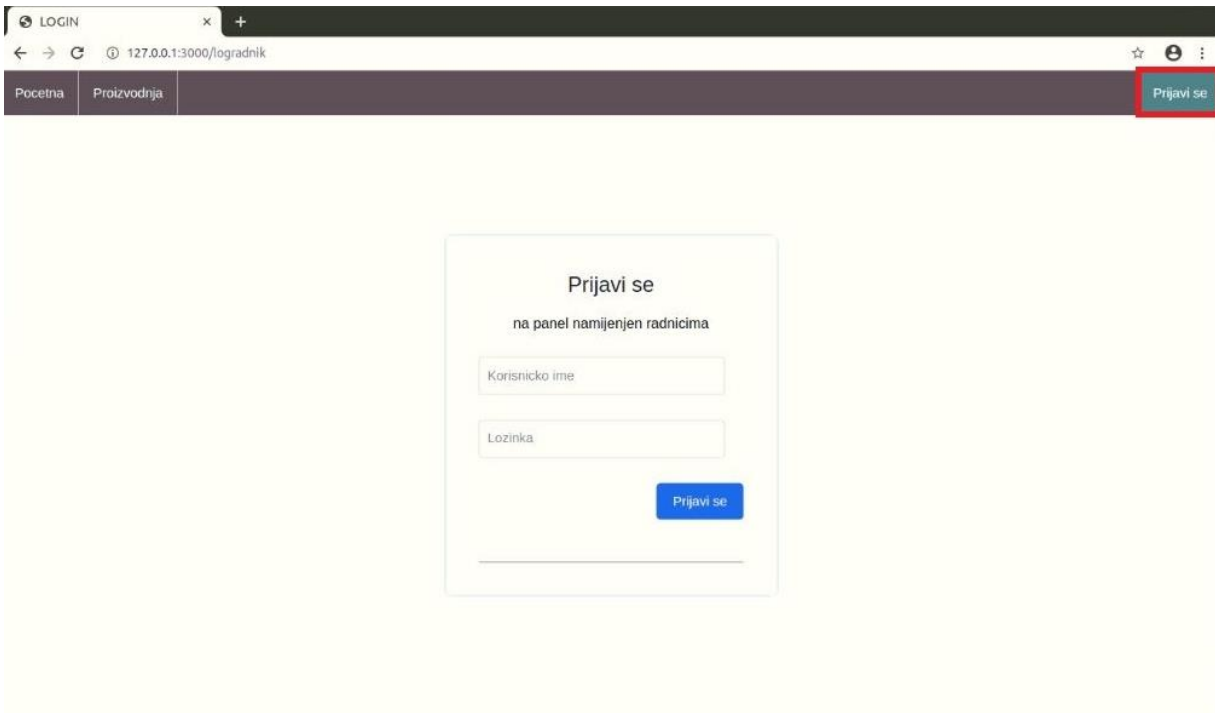


Slika 44. – Struktura softvera namijenjenog za kontrolu kvaliteta proizvodnje

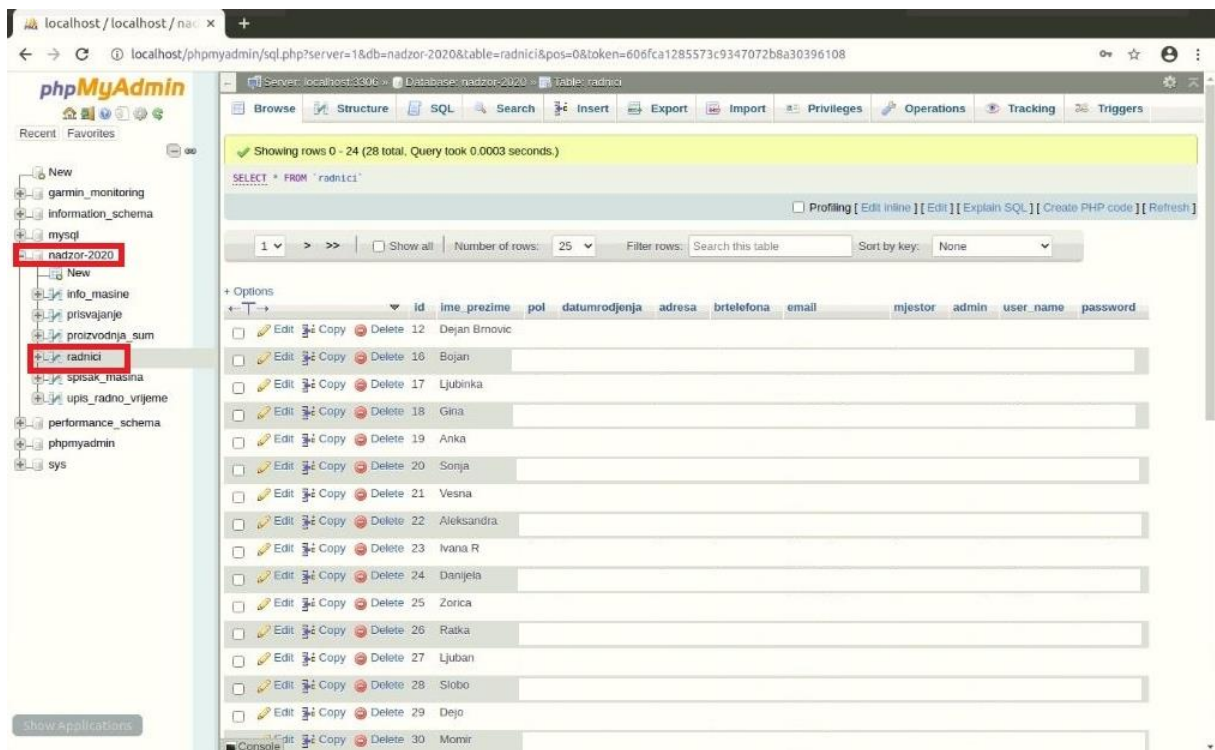
Ulaskom na preglednik (web browser) i pokretanjem odgovarajuće web stranice prikazuje se početna stranica kao na slici 45. U gornjem dijelu web stranice nalazi se meni koji nudi više opcija. Ukoliko odaberemo opciju *Prijavi se* prikazaće se forma koja nudi unos korisničkog imena (username) i lozinke (password), slika 46. Ovi podaci su jedinstveni za svakog radnika i kreirani su od strane administratora. Podaci koji su vezani za ovu login formu čuvaju se u tabeli *radnici* (Slika 47) koja pripada bazi podataka *nadzor-2020*. Radnici su klasifikovani prema radnom mjestu. Ova klasifikacija u tabeli *radnici* definisana je poljem *mjestor*. Na osnovu vrijednosti podatka koji se nalazi u ovom polju može se odrediti da li radnik radi u proizvodnji ili na nekim drugim poslovima u okviru fabrike.



*Slika 45. – Početna stranica realizovanog softvera*

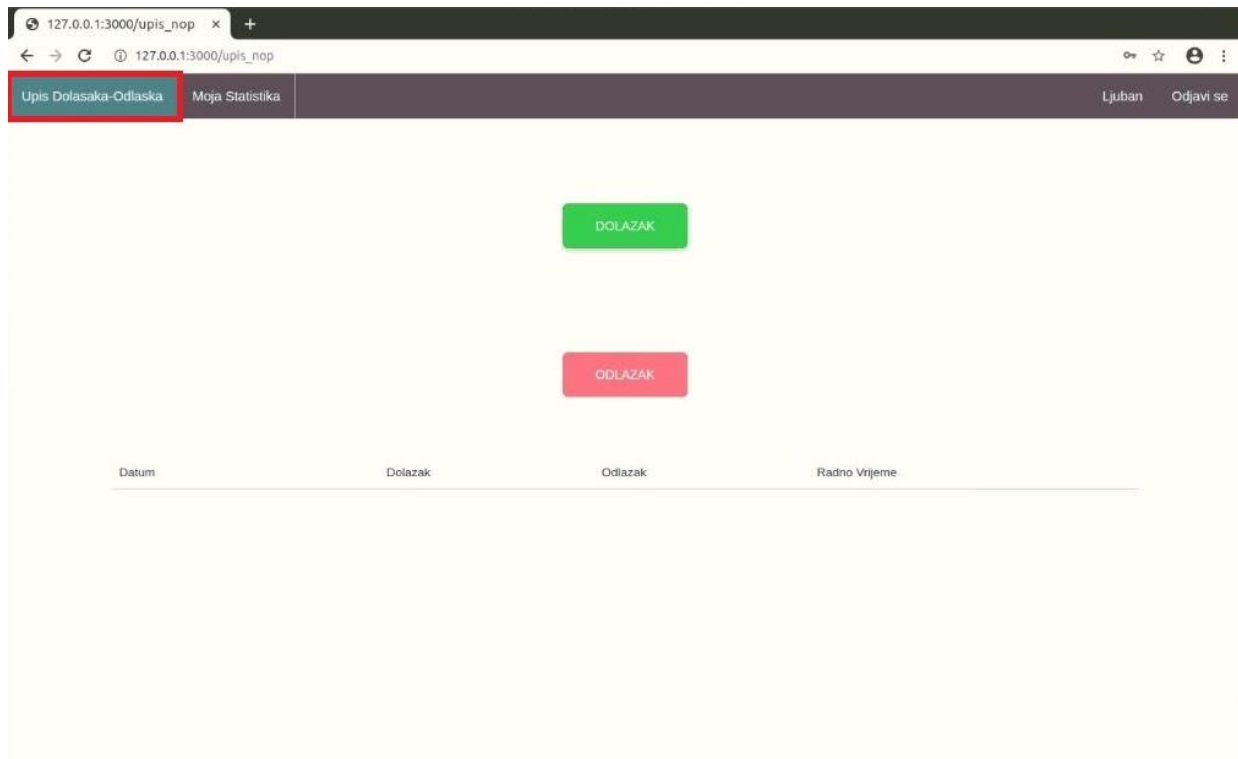


Slika 46. – Login forma koja omogućava ulazak u panel namijenjen radnicima



Slika 47. – Prikaz tabele radnici u phpMyAdmin

Svim radnicima koji ne rade u proizvodnji nakon pravilnog unosa podataka u login formi prikazaće se stranica za upis vremena provedenog na radnom mjestu, slika 48. Zaposleni dolaskom na posao upisuje početak radnog vremena pomoću zelenog dugmeta *Dolazak*. Upisano vrijeme se prikazuje u tabeli koja se nalazi na istoj web stranici. Nakon završetka radnog vremena zaposleni treba da prijavi svoj odlazak uz pomoć crvenog dugmeta (button) *Odlazak*. Svi zabilježeni unosi čuvaju se u bazi podataka *nadzor-2020* u posebno kreiranoj tabeli *upis\_radno\_vrijeme*, slika 49.



*Slika 48. – Stranica koja omogućava upis vremena provedenog na radnom mjestu.*



Showing rows 25 - 49 (738 total. Query took 0.0004 seconds.)

```
SELECT * FROM `upis_radno_vrijeme`
```

Number of rows: 25 | Filter rows: Search this table | Sort by key: None

	id	id_radnika	dolazak	odlazak	radno_vrijeme	radno_vrijeme_ms	datum
<input type="checkbox"/>	50	37	07:23:29	15:26:22	08:02:53	28973000	2020-04-29
<input type="checkbox"/>	51	28	09:07:47	15:09:02	06:01:15	21675000	2020-04-29
<input type="checkbox"/>	52	39	14:45:21	23:06:28	08:21:07	30067000	2020-04-29
<input type="checkbox"/>	53	40	15:00:05	22:54:57	07:54:52	28492000	2020-04-29
<input type="checkbox"/>	54	42	15:03:27	23:06:48	08:03:21	29001000	2020-04-29
<input type="checkbox"/>	55	38	22:42:21	22:43:06	00:00:45	45000	2020-04-29
<input type="checkbox"/>	56	37	09:49:21	15:07:01	05:17:40	19060000	2020-04-30
<input type="checkbox"/>	57	41	13:37:35	13:37:35	00:00:00	0	2020-04-30
<input type="checkbox"/>	58	39	14:44:47	23:28:11	08:43:24	31404000	2020-04-30
<input type="checkbox"/>	59	41	06:51:14	07:13:19	00:22:05	1325000	2020-05-01
<input type="checkbox"/>	60	27	07:00:16	15:16:00	08:15:44	29744000	2020-05-01
<input type="checkbox"/>	61	42	15:06:12	23:03:28	07:57:16	28636000	2020-05-02
<input type="checkbox"/>	62	35	23:09:04	23:15:08	00:06:04	364000	2020-05-02
<input type="checkbox"/>	63	34	23:10:49	23:11:20	00:00:31	31000	2020-05-02
<input type="checkbox"/>	64	41	07:13:21	14:12:54	06:59:33	25173000	2020-05-03
<input type="checkbox"/>	65	42	15:05:22	23:12:32	08:02:16	24230000	2020-05-03

Slika 49. – Prikaz tabele upis\_radno\_vrijeme u phpMyAdmin

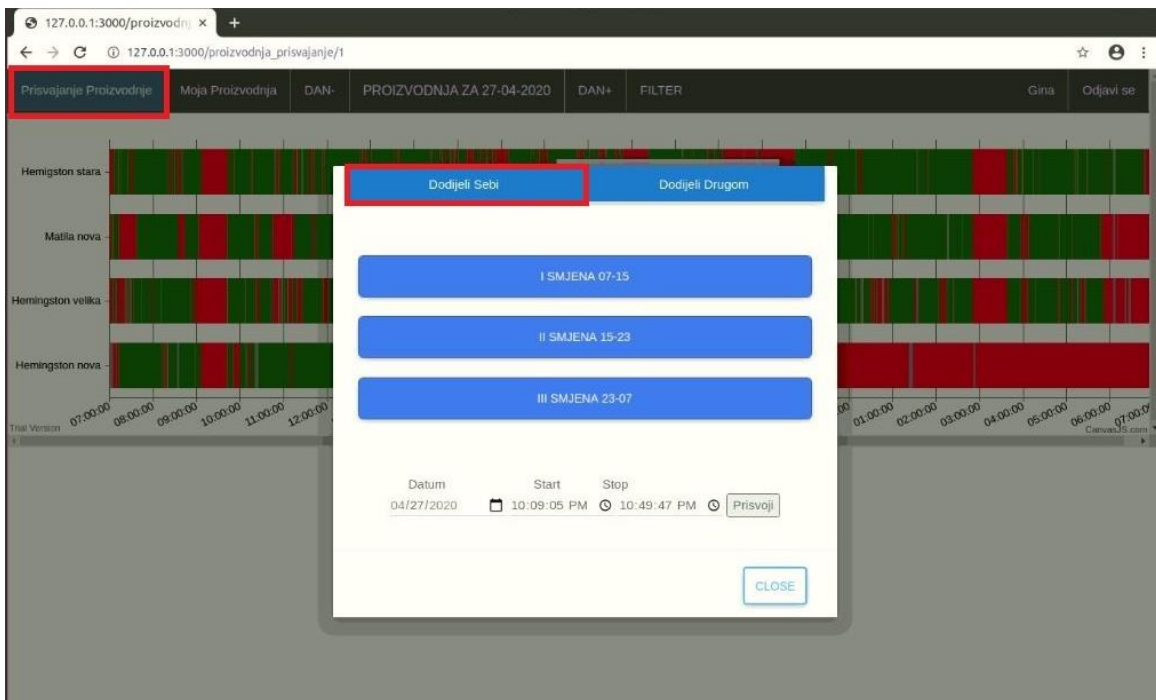
Za radnike koji su aktivni učesnici u proizvodnom procesu nakon unosa korisničkog imena (username) i lozinke (password) prikazati će se stranica koja omogućava prisvajanje proizvodnje, slika 50. Prisvajanje proizvodnje podrazumijeva upis radnog vremena koje je radnik proveo radeći na određenom industrijskom postrojenju. Ovo je veoma značajno imajući na umu da je za postizanje boljeg kvaliteta potrebno zalaganje svih aktera proizvodnog procesa. Na stranici koja omogućava prisvajanje proizvodnje prikazani su grafici koji prikazuju aktivnosti mašina u odnosu na vremenski period (hh:mm:ss). Kako bi se obezbijedio bolji pregled proizvodnog ciklusa, koji će od izuzetnog značaja biti tokom kontrole kvaliteta proizvodnje, odabrane su tri boje koje prikazuju stanja u kojima se mašine mogu nalaziti:

- Zelena boja označava aktivno učešće mašine u proizvodnom procesu.
- Crvena boja označava pasivno učešće mašine u proizvodnom procesu koji podrazumijeva utrošak električne energije bez proizvodnje.
- Siva boja označava prekid komunikacije između mašine i glavnog servera

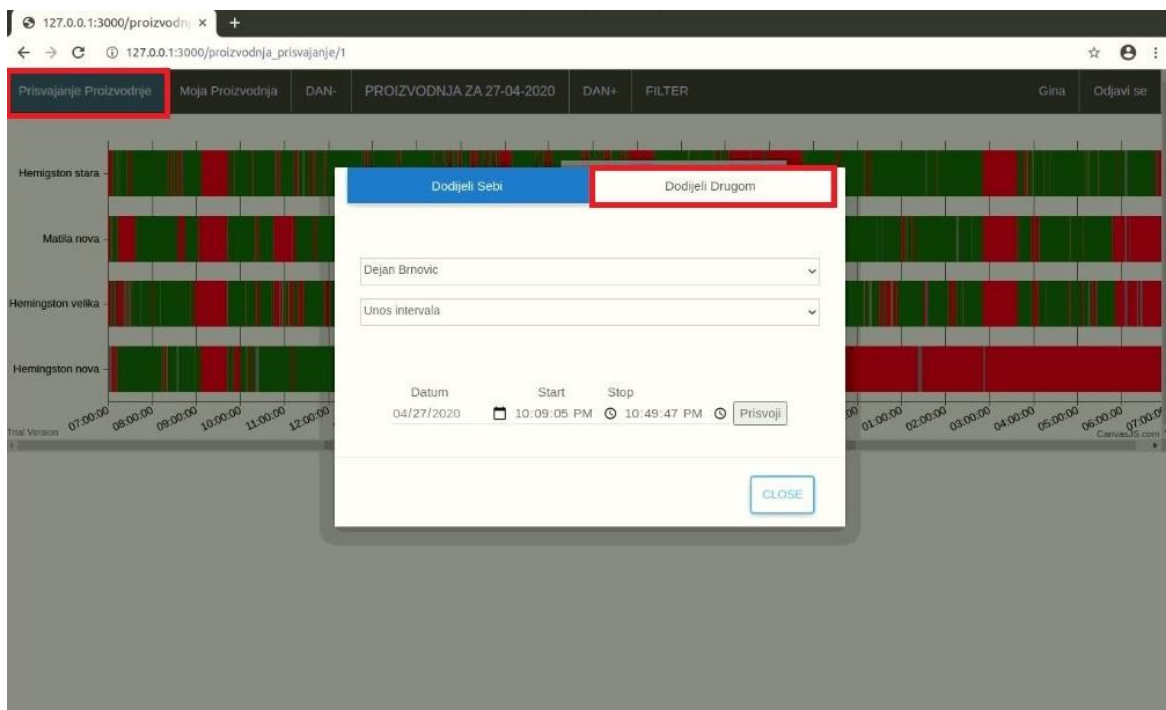
Odabirom mašine i datuma proizvodnje radniku se pruža mogućnost da prisvoji proizvodnju po smjenama ili po određenim vremenskim intervalima koji se mogu definisati u posebnim poljima namijenjenim za to, slika 51. Osim prisvajanja proizvodnje zaposleni može da dodijeli proizvodnju i drugom zaposlenom (Slika 52). Pored prisvajanja omogućeno je odricanje proizvodnje što podrazumijeva oslobađavanje greškom prisvojene proizvodnje (Slika 53). Proces prisvajanja/odricanja proizvodnje zasniva se na unošenju izmjena u tabeli *info\_masine* iz baze podataka *nadzor-2020*. U podpoglavlju 4.3.1. opisana je struktura ove tabele. Podsjećanja radi u ovoj tabeli se upisuju podaci koje sakuplja glasni server sa proizvodne linije. Međutim u setu podataka koji se sakuplja ne nalaze se podaci za sva polja ove tabele pa se za takva polja koriste njihove default-ne vrijednosti. Ovo se naročito odnosi na polje *radnik\_id* čija je default-na vrijednost NULL. Nakon odabira intervala koji se želi prisvoji u tabeli se selektuju sve kolone koje pripadaju tom intervalu i default-na vrijednost NULL se mijenja sa jedinstvenim brojem id radnika, slika 54. Ukoliko je odabran proces odricanja proizvodnje obavlja se inverzna operacija, jedinstveni id radnika se mijenja sa default-nom vrijednošću NULL.



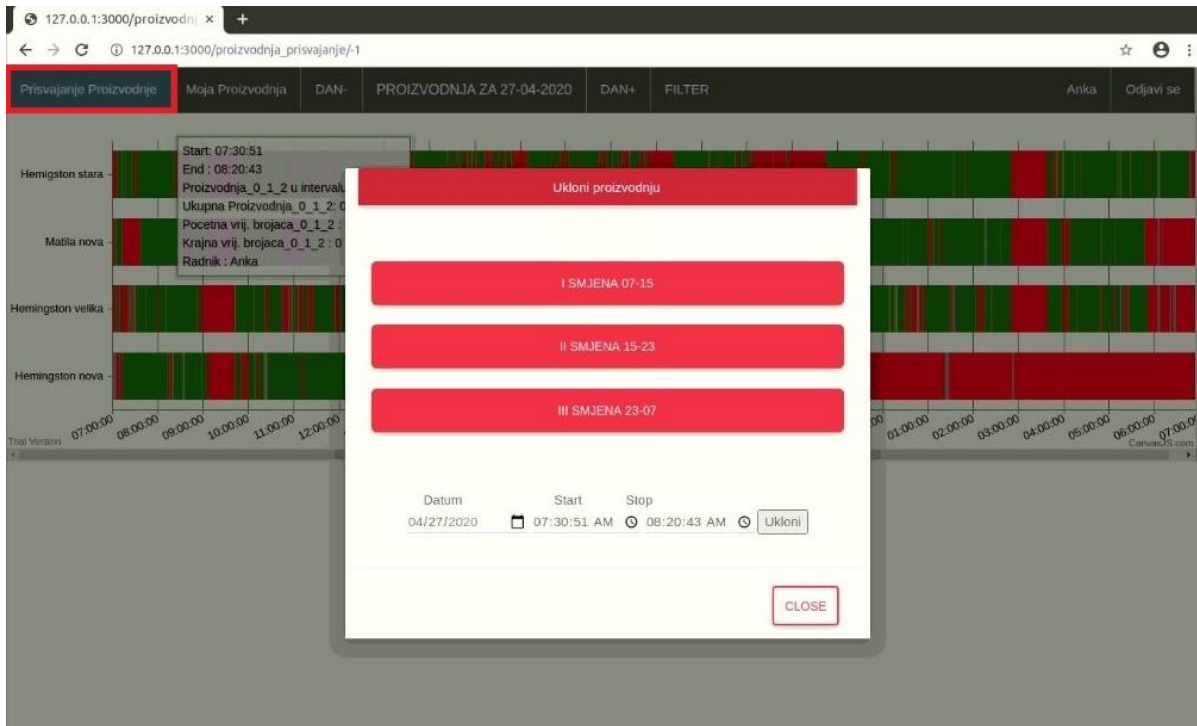
Slika 50. – Stranica koja omogućava radnicima prisvajanje proizvodnje



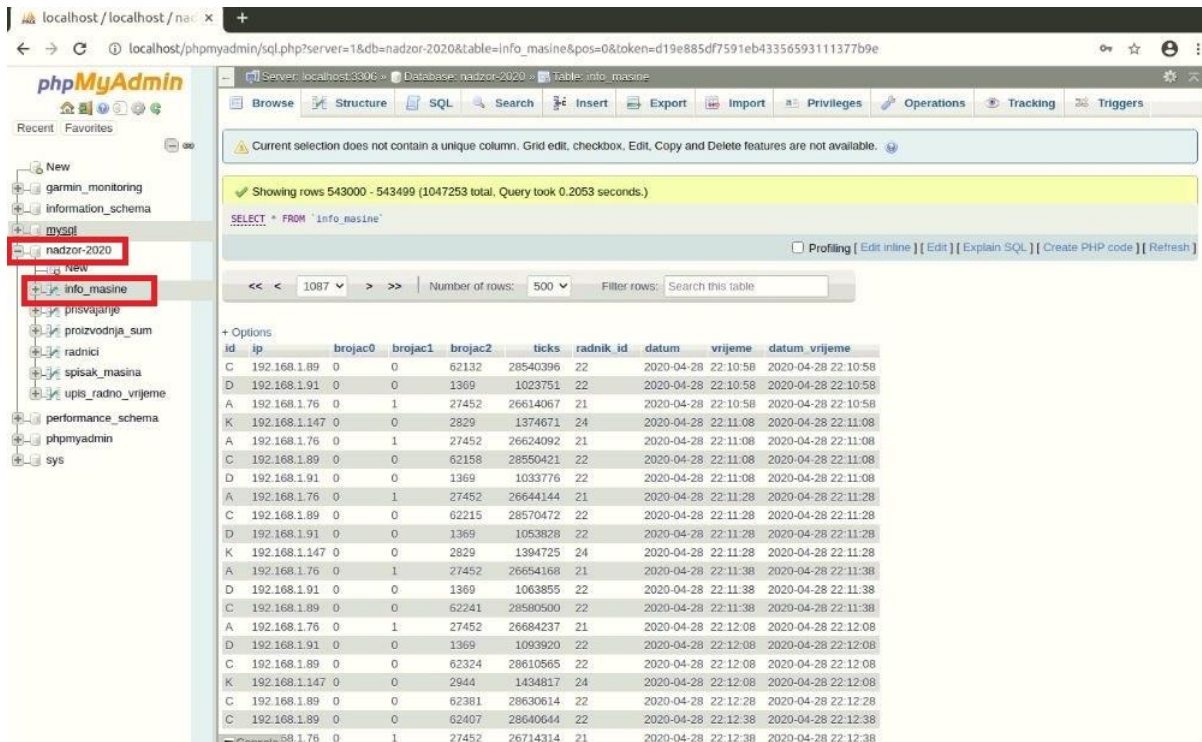
*Slika 51. – Stranica koja omogućava radnicima prisvajanje proizvodnje po smjenama ili vremenskim intervalima*



*Slika 52. – Stranica koja omogućava radnicima dodjelu proizvodnje drugom zaposlenom*



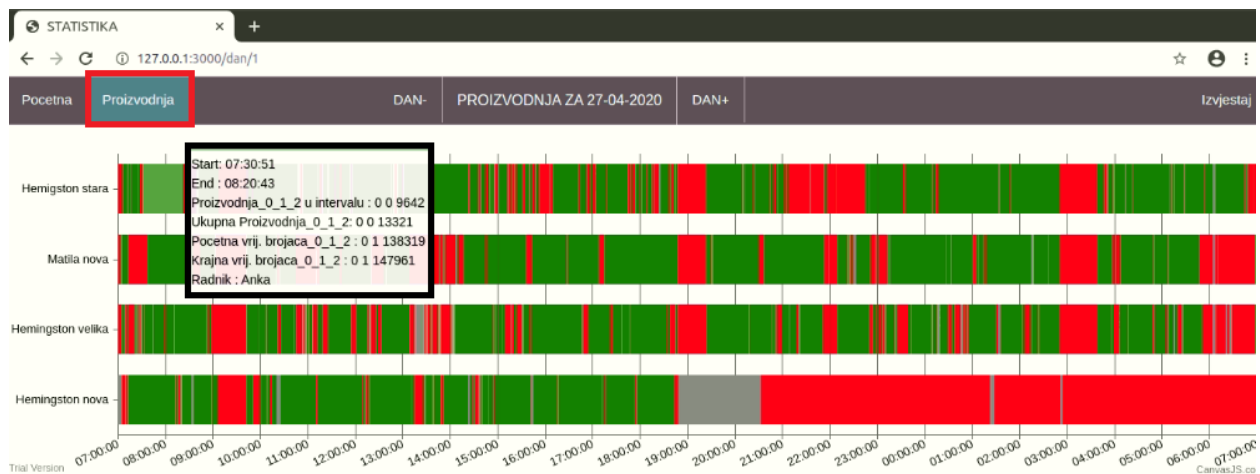
Slika 53. – Stranica koja omogućava radnicima odricanje prisvojene proizvodnje



Slika 54. – Prikaz tabele info\_mašine u phpMyAdmin

Prethodno prikazana rješenja koja su implementirana u ovom softveru namijenjena su zaposlenim. Uz adekvatno korišćenje ovih mogućnosti poslodavac će imati cjelokupnu sliku proizvodnog procesa. Dio koji je namijenjen poslodavcu implementiran je kroz opciju *Proizvodnja* koja se nalazi u glavnom meniju. Odabirom ove opcije poslodavcu je omogućen prikaz aktivnosti svih industrijskih postrojenja. Vremenski interval u kojem se mogu pratiti aktivnosti mašina je 24h (07:00-07:00) uz mogućnost promjene datuma. Kako bi se pružio cjelokupni prikaz proizvodnje i svih aktera u njoj omogućeno je kreiranje više izvještaja i to:

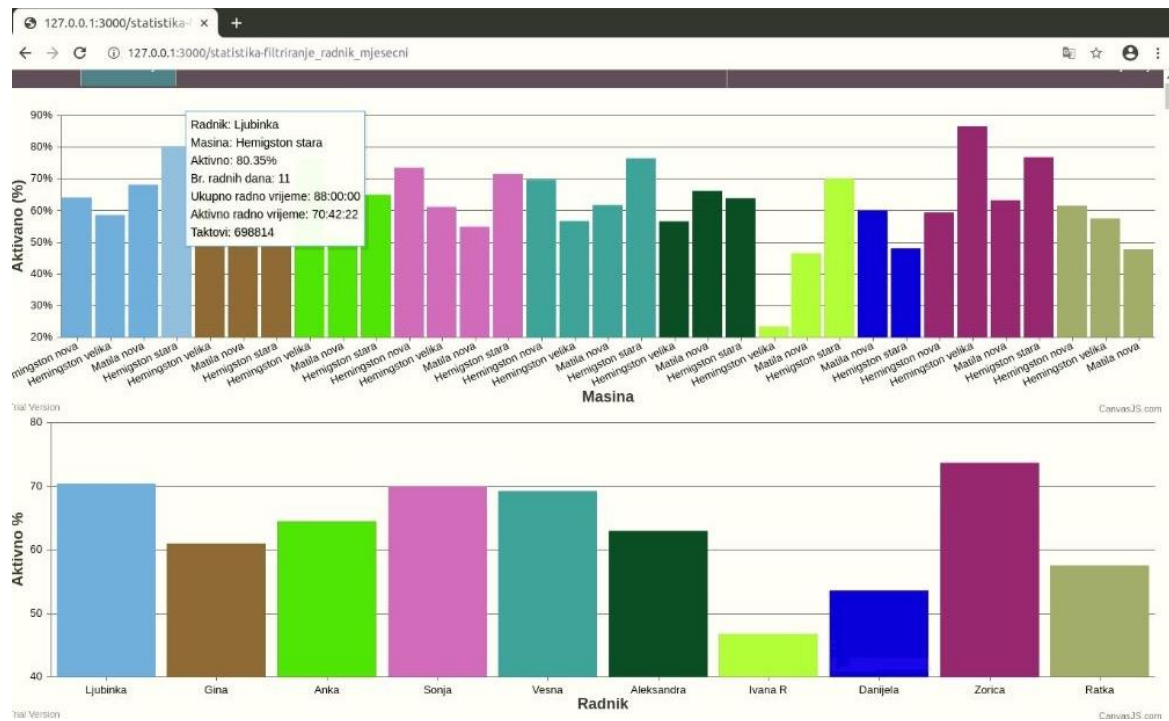
- Izvještaj za mašine koji daje informacije o statusu mašina u odabranom vremenskom intervalu (Slika 56)
- Izvještaje za radnike koji obuhvata:
  - izvještaje za radnike koji učestvuju u proizvodnji (Slika 57-59)
  - izvještaj za one radnike koji obavljaju druge poslove u okviru fabrike. (Slika 60-61)
  -



Slika 55. – Stranica koja omogućava kontinuiranu kontrolu kvaliteta proizvodnje



Slika 56. – Izvještaj koji daje informacije o statusu mašina u odabranom vremenskom intervalu



Slika 57. – Izvještaje za radnike koji učestvuju u proizvodnji prvi dio

### Tabela Radnici

Ime i Prezime	Aktivno	Br. radnih dana	Ukupno radno vrijeme	Aktivno radno vrijeme	Taktovi
Ljubinka	70.40%	20	216:00:00	152:04:00	1356390
Gina	61.02%	34	392:00:00	239:11:45	2035686
Anka	64.50%	33	272:00:00	175:27:04	1597790
Sonja	69.98%	36	368:00:00	257:31:14	1960804
Vesna	69.27%	39	392:00:00	271:32:57	2187554
Aleksandra	63.00%	34	328:00:00	206:38:17	1801389
Ivana R	46.78%	4	48:00:00	22:27:15	207862
Danijela	53.61%	12	104:00:00	55:45:28	468216
Zonca	73.70%	38	360:00:00	265:18:52	2550591
Ratika	57.57%	32	352:00:00	202:38:29	1375180

### Tabela Radnici/Masine

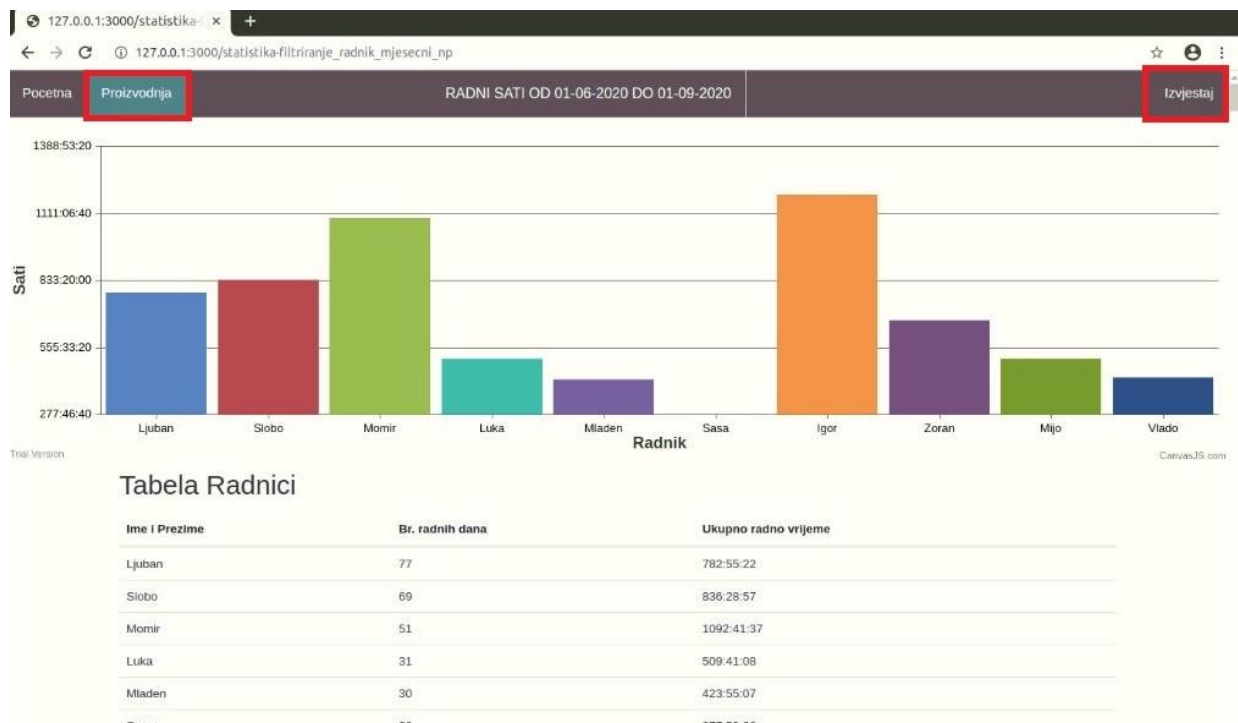
Ime i Prezime	Masina	Aktivno	Br. radnih dana	Ukupno radno vrijeme	Aktivno radno vrijeme	Taktovi
Ljubinka	Hemingston nova	64.19%	9	72:00:00	46:12:49	316767
Ljubinka	Hemingston velika	58.66%	4	32:00:00	18:46:17	203353
Ljubinka	Matila nova	68.23%	3	24:00:00	16:22:32	137456

Slika 58. – Izvještaje za radnike koji učestvuju u proizvodnji drugi dio

### Tabela Prisustva

Ime i Prezime	Masina	Proizvedeno	Datum proizvodnje	Pocetak rada	Kraj rada	Radno vrijeme	Aktivno vrijeme	Aktivno(%)	Vrijeme Upisa
Ljubinka	Hemingston nova	59384	Sun Apr 12 2020 00:00:00	07:00:00	15:00:00	08:00:00	06:15:20	78.19	Mon Apr 13 2020 12:58:30
Ljubinka	Hemigston stara	65395	Sun Apr 12 2020 00:00:00	07:00:00	15:00:00	08:00:00	06:25:30	80.31	Mon Apr 13 2020 12:58:21
Ljubinka	Hemingston velika	70073	Wed Apr 15 2020 00:00:00	15:00:00	23:00:00	08:00:00	06:29:44	81.19	Wed Apr 15 2020 22:58:11
Ljubinka	Hemigston stara	61653	Fri Apr 17 2020 00:00:00	23:00:00	07:00:00	08:00:00	07:15:34	90.74	Fri Apr 17 2020 07:02:01
Ljubinka	Hemigston stara	66806	Sat Apr 18 2020 00:00:00	23:00:00	07:00:00	08:00:00	07:04:02	88.34	Sat Apr 18 2020 06:57:38
Ljubinka	Hemingston nova	30967	Mon Apr 20 2020 00:00:00	07:00:00	15:00:00	08:00:00	06:27:46	80.78	Mon Apr 20 2020 15:05:50
Ljubinka	Hemingston velika	46186	Tue Apr 21 2020 00:00:00	07:00:00	15:00:00	08:00:00	04:33:45	57.03	Tue Apr 21 2020 14:52:35
Ljubinka	Matila nova	48200	Tue Apr 21 2020 00:00:00	07:00:00	15:00:00	08:00:00	05:29:37	68.67	Tue Apr 21 2020 14:52:41
Ljubinka	Hemingston nova	26348	Wed Apr 22 2020 00:00:00	15:00:00	23:00:00	08:00:00	05:54:30	73.85	Wed Apr 22 2020 22:55:34
Ljubinka	Matila nova	39761	Thu Apr 23 2020 00:00:00	15:00:00	23:00:00	08:00:00	04:58:24	62.17	Thu Apr 23 2020 22:38:28

Slika 59. – Izvještaje za radnike koji učestvuju u proizvodnji treći dio



Slika 60. – Izvještaje za radnike koji ne učestvuju u proizvodnji prvi dio

Ime i Prezime	Dolazak	Odlazak	Radno vrijeme	Datum
Ljuban	06:59:16	15:00:38	08:01:22	Mon Jun 01 2020
Ljuban	08:02:50	15:00:00	06:57:10	Tue Jun 02 2020
Ljuban	07:54:08	15:20:28	07:26:20	Wed Jun 03 2020
Ljuban	06:52:56	15:05:24	08:12:28	Thu Jun 04 2020
Ljuban	06:57:39	15:05:28	08:07:49	Fri Jun 05 2020
Ljuban	06:55:55	15:01:25	08:05:30	Sat Jun 06 2020
Ljuban	10:30:13	12:42:00	02:11:47	Sun Jun 07 2020
Ljuban	06:58:02	15:01:18	08:03:16	Mon Jun 08 2020
Ljuban	06:51:32	15:25:08	08:33:36	Tue Jun 09 2020
Ljuban	06:58:38	15:11:58	08:13:20	Wed Jun 10 2020
Ljuban	06:53:21	15:20:49	08:27:28	Thu Jun 11 2020
Ljuban	06:52:13	15:04:45	08:12:32	Fri Jun 12 2020
Ljuban	06:55:15	15:20:42	08:25:27	Mon Jun 15 2020
Ljuban	06:53:48	15:00:00	08:06:12	Tue Jun 16 2020

Slika 61. – Izvještaje za radnike koji ne učestvuju u proizvodnji drugi dio



## 5. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Realizacijom sistema za kontrolu kvaliteta proizvodnje i njegovom primjenom u fabrici biorazgradljive ambalaže „Garmin“ stekli su se uslovi za dobijane rezultata koji će pomoći u donošenje zaključka o opravdanosti sprovedenog istraživanja. Međutim, kako bi se mogli izvući relevantni zaključci neophodno je da sistem ima određeni kontinuitet rada u industrijskom postrojenju.

Sprovedeno istraživanje u ovom magistarskom radu omogućilo je na pravi način prikaz kako se nove tehnologije a prije svega informaciono-komunikacione mogu upotrijebiti u procesu kontrole kvaliteta proizvodnje. Koristeći nove tehnologije omogućeno je objedinjavanje svih relevantnih podataka sa proizvodne linije kao i njihova adekvatna reprezentacija. Realizacijom hardvera koji je uz male izmjene prilagodljiv svim industrijskim postrojenjima postignuta je željena fleksibilnost. Takođe primjenom bežične komunikacije omogućeno je jednostavno održavanje implementiranog sistema u industrijskom okruženju. U poređenju sa standardnim žičanim načinima povezivanja (RS232, RS422,...) bežični način komunikacije pokazao se kao bolji izbor prije svega zbog otklanjanja potrebe za ožičenjem. Nakon sprovedene analize uočena je mogućnost izostanka slanja podataka sa proizvodne linije. Međutim ovo ne predstavlja problem jer se izostankom nekog paketa informacija ne urušava mogućnost kvalitetne kontrole proizvodnog ciklusa. Problem može nastati ukoliko u većem vremenskom intervali dolazi do izostanka informacija sa nekog industrijskog postrojenja. U cilju rješavanja ovakvih situacija kreirani sistem posjeduje veliki broj dijagnostičkih alata. Prva mogućnost je provjera glavnog servera, tj. provjera da li je ostvarena komunikacija između glavnog servera i hardvera na određenom industrijskom postrojenju. Druga mogućnost je direktna dijagnostika na hardveru i za ovu potrebnu realizovano je inovativno rješenje koje omogućava ostvarivanje bežične komunikacije sa hardverom.

Prikupljeni podaci sa proizvodne linije šalju se glavnom serveru nakon čega se skladište u bazi podataka. Opterećenje glavnog servera je analizirano koristeći mogućnost njegovog monitoringa. Analizirana su opterećena procesora (CPU), memorije(memory), kao i mreže (network). Analiza ovih parametara je sprovedena prije (Slika 59) i nakon uključanja (Slika 60) realizovanog softverskog rješenja. Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da je opterećenje procesora glavnog servera nakon uključanja softvera povećalo za 6.5%, memorije za 5.6%.



Slika 62. – Monitoring glavnog servera prije uključenja aplikacija



Slika 63. – Monitoring glavnog servera nakon uključenja aplikacija

U ovom dijelu magistarskog rada predstavljena je analiza dobijenih rezultata sa tehničkog aspekta. Tema koja je obrađena ovim magistarskim radom veoma aktuelna i sa ekonomskog stanovišta. Posebno imajući na umu da je povećanje kvaliteta proizvodnje praćeno poboljšanjem ekonomskih pokazatelja preduzeća.

## 6. ZAKLJUČAK

Istraživanje koje je sprovedeno za potrebe ovog magistarskog rada usmjereno je na projektovanje sistem koji je svoju primjenu našao u fabrici biorazgradljive ambalaže. Realizovani sistem omogućava prikupljanje i prezentaciju podataka sa proizvodne linije. Sagledavajući cjelokupni sistem može se zaključiti da je sistem pouzdan. Primjena bežične komunikacije u cilju slanja prikupljenih podataka može se smatrati jedan od njegovih nedostataka. Upotreba bežične komunikacije donosi sa sobom rizik od spoljnog napada što može imati katastrofalne posljedice za industriju. Međutim, iako ima nekih nedostataka kao i u svim sistemima upotreba bežične komunikacije je ipak neophodno i njeno korišćenje donosi brojne benefite kao što su: ekonomski isplativija i brža montaža, razmjena podataka bez fizičkog povezivanja ulaza uređaja, fleksibilnost sistema, itd.

Dalje istraživačke aktivnosti biće usmjerene na prilagođavanju realizovanog sistema drugim granama industrije. Krajnji cilj jest podizanje kvaliteta u cjelokupnoj privredi Crne Gore.

## REFERENCE

- [1] Z. Krivokapić, "Sistem Menadžmenta Kvalitetom ", pp. 4, ISBN 13:978-0-12-391404-0, Univerzitet Crne Gore, 2011.
- [2] R. Luburić, "Kvalitet i Upravljanje Operativnim Rizikom Centralnih Banaka", pp. 27-57, ISBN 978-86-85815-15-7, Centralna Banka Crne Gore, 2016.
- [3][http://www.montenegrina.net/pages/pages1/istorija/crnojevici/cetinjski\\_ljetopis\\_kao\\_istorijski\\_zvo\\_r.htm](http://www.montenegrina.net/pages/pages1/istorija/crnojevici/cetinjski_ljetopis_kao_istorijski_zvo_r.htm), (poslednji put pristupano: 05.04.2020).
- [4] [https://sr.wikipedia.org/sr-el/Industrijska\\_revolucija](https://sr.wikipedia.org/sr-el/Industrijska_revolucija), (poslednji put pristupano: 05.04.2020).
- [5] V. Manojlović, "Hardverska i Softverska Rješenja za Automatizaciju Nadzora Procesa Proizvodnje", magistarski rad, Univerzitet Crne Gore – Elektrotehnički Fakultet, 2016.
- [6] A. B. Godfrey, J. M. Juran, "Juran's Quality Handbook", ISBN 978-0-07-162972-0, McGraw-Hill, 2010.
- [7] <https://asq.org/quality-resources/history-of-quality#development>, (poslednji put pristupano: 05.04.2020).
- [8] J. M. Kelly, "Total Quality Management: A How-To Program for The High-Performance Business", ISBN 978-8174890030, Infotech, 2000.
- [9] D. Tran, "Factors in The Successful Implementation of Six Sigma in Canadian Manufacturing Firms", University Ottawa, 2006.
- [10] <https://www.pilgrimquality.com/blog/smart-quality-management-impact-industry/>, (poslednji put pristupano: 10.04.2020).
- [11] <https://tulip.co/blog/quality/how-to-reduce-cost-of-quality-with-industry-4-0/>, (poslednji put pristupano: 10.04.2020).
- [12] N. H. M. Zaidin, M. N. Md Diah, P. H. Yee, S. Sorooshian, "Quality Management in Industry 4.0 Era", pp. 82-91, Journal of Management and Scienc, 2018.

- [13] I. Nikolova-Jahn, "Quality Management and Requirements of the Fourth Technical Revolution", pp. 82-91 , ISSN 2534-8582, International Scientific Journal "INDUSTRY 4.0", 2019.
- [14]<https://www.labsys.rs/sr/clanak/industrija-40-i-upravljanje-kvalitetom-moderne-proizvodnje>, (poslednji put pristupano: 10.04.2020).
- [15] I. Karabegović, E. Karabegović "Implementacija „Industrije 4.0“ primjenom robota i digitalne tehnologije u proizvodnim procesima u Kini", pp. 231-255 , DOI: 10.5937/tehnika1802225K, Tehnika, 2018.
- [16] <https://www.iot-now.com/2018/09/17/88236-raising-quality-standards-4-0-industrial-revolution/>, (poslednji put pristupano: 10.04.2020).
- [17] I. Martinović " Implementacija Digitalne Kombinacione Brave ", pp. 89-92, Inženjerska komora Crne Gore, 2019. 15
- [18] I. Martinović, Z. Mijanović, R. Dragović Ivanović "Primjena Arduina u Industriji ", pp. 55-65, Inženjerska komora Crne Gore, 2019.
- [19] <https://www.hitechnectar.com/blogs/examples-industrial-internet-of-things/>, (poslednji put pristupano: 12.04.2020).
- [20] <https://paleofuture.gizmodo.com/nikola-teslas-incredible-predictions-for-our-connected-1661107313>, (poslednji put pristupano: 20.05.2020).
- [21] [postscapes.com/iot-history/](https://postscapes.com/iot-history/), (poslednji put pristupano: 20.05.2020).
- [22] <https://en.wikipedia.org/wiki/Internet>, (poslednji put pristupano: 20.05.2020)
- [23] <https://en.wikipedia.org/wiki/DARPA>, (poslednji put pristupano: 20.05.2020)
- [24] [https://livinginternet.com/i/ia\\_myths\\_toast.htm](https://livinginternet.com/i/ia_myths_toast.htm), (poslednji put pristupano: 20.05.2020)
- [25] <http://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>, (poslednji put pristupano: 25.05.2020)
- [26] [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf), (poslednji put pristupano: 25.05.2020)

- [27] <https://www.zdnet.com/article/report-iot-devices-to-dominate-connected-device-landscape-by-2021/>, (poslednji put pristupano: 25.05.2020)
- [28] <https://www.windpowerengineering.com/global-iot-market-to-reach-318-billion-by-2023-says-globaldata/>, (poslednji put pristupano: 25.05.2020)
- [29] <https://www.hindawi.com/journals/jece/2017/9324035/>, (poslednji put pristupano: 25.05.2020)
- [30] P. Aswale, A.Shukla, P.Bharati, S.Bharambe, S.Palve "An Overview of Internet of Things: Architecture, Protocols and Challenges", pp. 27-57, ISBN 978-981-13-1742-2, Springer, 2018.
- [31] S. Munirathinam "Industry 4.0: Industrial Internet of Things (IIOT)", pp. 129-164, ISBN 978-0-12-818756-2,2020.
- [32] <http://es.elfak.ni.ac.rs/mps/materijal/7-IM.pdf>, (poslednji put pristupano: 15.06.2020)
- [33] S. Munirathinam "OSI: A Model for Computer Communications Standards", ISBN 978-0136371335, Hardcover-Facsimile, 1990
- [34] <http://www.microchip.ua/wireless/esp01.pdf>, (poslednji put pristupano: 25.06.2020)
- [35] S. Munirathinam "OSI: A Model for Computer Communications Standards", ISBN 978-0136371335, Hardcover-Facsimile, 1990
- [36] Lj. Stanković, V.N. Ivanović, M. Radonjić "Osnovi Računarstva", Autorsko izdanje, 2014
- [37] [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1599929087333&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1599929087333&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F), (poslednji put pristupano: 25.06.2020)
- [38] <https://components101.com/regulators/lm2596-3a-step-down-voltage-switching-regulator>, (poslednji put pristupano: 25.06.2020)