



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U  
NOVOM SADU



Srđan Tegeltija

**Mobilni nadzorni sistemi sa  
proširenom realnošću i  
integriranim industrijskim  
Internetom stvari**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2018



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, <b>РБР:</b>	
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>	
Тип документације, <b>ТД:</b>	Монографска документација
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	Текст, штампани материјал
Врста рада, <b>ВР:</b>	Докторска дисертација
Аутор, <b>АУ:</b>	Срђан Тегелтија
Ментор, <b>МН:</b>	Др Стеван Станковски, редовни професор
Наслов рада, <b>НР:</b>	Мобилни надзорни системи са проширеном реалношћу и интегрисаним Индустијским интернетом ствари
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	српски
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	српски/енглески
Земља публиковања, <b>ЗП:</b>	Република Србија
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	АП Војводина
Година, <b>ГО:</b>	2018.
Издавач, <b>ИЗ:</b>	Ауторски репринт
Место и адреса, <b>МА:</b>	Факултет техничких наука, 21000 Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, <b>ФО:</b> (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	6/125/205/3/65/0/0
Научна област, <b>НО:</b>	Мехатроника
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	Мехатроника, роботика и аутоматизација
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	SCADA, мобилне технологије, проширена реалност, индустријски Интернет ствари, одржавање система
<b>УДК</b>	
Чува се, <b>ЧУ:</b>	Библиотека Факултета техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Важна напомена, <b>ВН:</b>	



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Извод, **ИЗ:**

У дисертацији је представљено истраживање усмерено ка проблему унапређења рада постојећих индустријских SCADA система. У фокус истраживања су постављени задаци класичних SCADA система као што су: прикупљање података о постројењу, складиштење и анализа података, као и приказ података о постројењу и на који начин се ови задаци могу унапредити кроз примену постојећих мобилних технологија, технологија Интернета ствари, као и технологија проширене реалности. Као резултат истраживања предложен је нови модел мобилних надзорних система са проширеном реалношћу и интегрисаним индустријским Интернетом ствари. Предложени модел омогућава реализацију нових система надзора индустријских постројења базираних на Индустрији 4.0 као и једноставну интеграцију у постојеће индустријске системе. Предложени нови модел надзорних система је општи модел и његова велика предност је универзалност и отвореност за примену нових мобилних технологија, технологија Интернета ствари, као и технологија проширене реалности. Он такође има својсво флексибилности зато што се може применити за различите структуре предузећа, као и различите производне процесе. Предложени нови модел омогућава следљивост прикупљених података о индустријским постројењима и производним процесима двосмерно, од сензора и актуатора ка менаџменту постројења, као и од менаџмента постројења ка сензорима и актуаторима. Омогућена је имплементација различитих алгоритама обраде података, независних од предложеног новог модела надзорних система, са циљем детектовања грешака или потенцијалних проблема у раду индустријског постројења. Предложени модел омогућава увид у податке о постројењу не само лицима задуженим за надзор и одржавање постројења, већ и произвођачима индустријске опреме који добијају информације о опреми у реалним условима омогућавајући унапређење квалитета индустријске опреме. За анализу и обраду података прикупљених о индустријском постројењу и процесу модел омогућава имплементацију више алгоритама истовремено, чиме је могуће међусобно поредити алгоритме са различитим параметрима обраде података.

Датум прихватања теме, **ДП:**

22.09.2016.

Датум одбране, **ДО:**

Чланови комисије, **КО:**

Председник: др Иван Бекер, редовни професор

Члан: др Драган Кукољ, редовни професор

Члан: др Гордана Остојић, ванредни професор

Члан: др Љубомир Миладиновић, редовни професор

Члан, Др Стеван Станковски, редовни професор

Потпис ментора



UNIVERSITY OF NOVI SAD ● FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES  
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO:</b>	
Identification number, <b>INO:</b>	
Document type, <b>DT:</b>	Monographic documentation
Type of record, <b>TR:</b>	Text, printed material
Contents code, <b>CC:</b>	PhD thesis
Author, <b>AU:</b>	Srđan Tegeltija
Mentor, <b>MN:</b>	Stevan Stankovski, PhD, full professor
Title, <b>TI:</b>	Mobile Supervision Systems With Augmented Reality And Integrated Industrial Internet of Things
Language of text, <b>LT:</b>	Serbian
Language of abstract, <b>LA:</b>	Serbian/English
Country of publication, <b>CP:</b>	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP:</b>	AP of Vojvodina
Publication year, <b>PY:</b>	2018.
Publisher, <b>PB:</b>	Author reprint
Publication place, <b>PP:</b>	Faculty of Technical Sciences, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, <b>PD:</b> <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/grap hs/appendixes)</small>	6/125/205/3/65/0/0
Scientific field, <b>SF:</b>	Mechatronics
Scientific discipline, <b>SD:</b>	Mechatronics, Robotics and Automation
Subject/Key words, <b>S/KW:</b>	SCADA, mobile technology, augmented reality, industrial Internet of Things, system maintenance
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD:</b>	Library of the Faculty of Technical Sciences
Note, <b>N:</b>	



## KEY WORDS DOCUMENTATION

Abstract, **AB:**

In this doctoral dissertation, a research oriented to the problem of improvement existing industrial SCADA systems is presented. The research is focused on the tasks of classical SCADA systems such as data acquisition, data storage and analysis, and displays of acquired plant data and how these tasks can be improved by applying existing mobile technologies, Internet technology, and technology of augmented reality. As a result of the research, a new model of mobile supervision systems with augmented reality and integrated industrial Internet of Things was proposed. The proposed model enables the implementation of new supervision systems in industrial plants based on Industry 4.0 concept, as well as simple integration into existing industrial plants. The proposed new model of supervision systems is a general model and its great advantage is the universality and openness to the application of new mobile technologies, the Internet of Things technology, and technology of augmented reality. It also has its own flexibility because it can be applied to different company structures and different production processes. The proposed new model enables the traceability of collected data on industrial plants and production processes in two ways, from sensors and actuators to plant management, as well from plant management to sensors and actuators. It is possible to implement different data processing algorithms, independent of the proposed new model of control systems, with the aim of detecting errors or potential problems in the operation of industrial plants or production processes. The proposed model provides insight into plant data not only for plant monitoring and maintenance personnel but also for industrial equipment manufacturers who receive information on equipment in real-world conditions, enabling improvement of the quality of industrial equipment. For the analysis and processing of data collected on industrial plants and production processes, the proposed model enables the implementation of several algorithms at the same time, thus making it possible to compare different algorithms with different data processing parameters.

Accepted by the Scientific Board on, **ASB:**

22.09.2016.

Defended on, **DE:**

Defended Board, **DB:**

President: Ivan Beker, PhD, full professor

Member: Dragan Kukulj, PhD, full professor

Member: Gordana Ostojić, PhD, associate professor

Member: Ljubomir Miladinović, PhD, full professor

Member, Mentor: Stevan Stankovski, PhD, full professor

Mentor's sign

## Sažetak

U disertaciji je predstavljeno istraživanje usmereno ka problemu unapređenja rada postojećih industrijskih SCADA sistema. U fokus istraživanja su postavljeni zadaci klasičnih SCADA sistema kao što su: prikupljanje podataka o postrojenju, skladištenje i analiza podataka, kao i prikaz podataka o postrojenju i na koji način se ovi zadaci mogu unaprediti kroz primenu postojećih mobilnih tehnologija, tehnologija Interneta stvari, kao i tehnologija proširene realnosti. Kao rezultat istraživanja predložen je novi model mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari. Predloženi model omogućava realizaciju novih sistema nadzora industrijskih postrojenja baziranih na Industrij 4.0 kao i jednostavnu integraciju u postojeće industrijske sisteme. Predloženi novi model nadzornih sistema je opšti model i njegova velika prednost je univerzalnost i otvorenost za primenu novih mobilnih tehnologija, tehnologija Interneta stvari, kao i tehnologija proširene realnosti. On takođe ima svojsvo fleksibilnosti zato što se može primeniti za različite strukture preduzeća, kao i različite proizvodne procese. Predloženi novi model omogućava sledljivost prikupljenih podataka o industrijskim postrojenjima i proizvodnim procesima dvosmerno, od senzora i aktuatora ka menadžmentu postrojenja, kao i od menadžmenta postrojenja ka sensorima i aktuatorima. Omogućena je implementacija različitih algoritama obrade podataka, nezavisnih od predloženog novog modela nadzornih sistema, sa ciljem detektovanja grešaka ili potencijalnih problema u radu industrijskog postrojenja ili proizvodnog procesa. Predloženi model omogućava uvid u podatke o postrojenju ne samo licima zaduženim za nadzor i održavanje postrojenja, već i proizvođačima industrijske opreme koji dobijaju informacije o opremi u realnim uslovima omogućavajući unapređenje kvaliteta industrijske opreme. Za analizu i obradu podataka prikupljivih o industrijskom postrojenju i procesu model omogućava implementiranje više algoritama istovremeno, čime je

moguće međusobno porediti algoritme sa različitim parametrima obrade podataka.

## Abstract

In this doctoral dissertation, a research oriented to the problem of improvement existing industrial SCADA systems is presented. The research is focused on the tasks of classical SCADA systems such as data acquisition, data storage and analysis, and displays of acquired plant data and how these tasks can be improved by applying existing mobile technologies, Internet technology, and technology of augmented reality. As a result of the research, a new model of mobile supervision systems with augmented reality and integrated industrial Internet of Things was proposed. The proposed model enables the implementation of new supervision systems in industrial plants based on Industry 4.0 concept, as well as simple integration into existing industrial plants. The proposed new model of supervision systems is a general model and its great advantage is the universality and openness to the application of new mobile technologies, the Internet of Things technology, and technology of augmented reality. It also has its own flexibility because it can be applied to different company structures and different production processes. The proposed new model enables the traceability of collected data on industrial plants and production processes in two ways, from sensors and actuators to plant management, as well from plant management to sensors and actuators. It is possible to implement different data processing algorithms, independent of the proposed new model of control systems, with the aim of detecting errors or potential problems in the operation of industrial plants or production processes. The proposed model provides insight into plant data not only for plant monitoring and maintenance personnel but also for industrial equipment manufacturers who receive information on equipment in real-world conditions, enabling improvement of the quality of industrial equipment. For the analysis and processing of data collected on industrial plants and production processes, the proposed model enables the implementation of several algorithms at the same time, thus making it



possible to compare different algorithms with different data processing parameters.

# Zahvalnica

Ovim putem bih hteo da se zahvalim svom mentoru prof. dr Stevanu Stankovskom i prof. dr Gordani Ostojić za ukazano poverenje i strpljenje, kao i za neizmernu pomoć i podršku koju su mi pružili tokom izrade ove disertacije.

Zahvaljujem se i svojoj porodici na velikoj podršci koju su mi pružali tokom studija.

Veliku zahvalnost dugujem i svojim kolegama, dr Ivani Šenk, dr Laslu Tarjanu, Nikoli Đukiću i Branislavu Tejiću za ukazanu pomoć tokom izrade ove disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem i svojim prijateljima za ukazanu pomoć i strpljenje tokom izrade ove disertacije.

Srđan Tegeltija

Posvećeno mojoj porodici

# Sadržaj

1	Uvod.....	- 1 -
1.1	Predmet istraživanja .....	- 1 -
1.2	Cilj istraživanja i hipoteze.....	- 4 -
1.3	Mogućnost primene očekivanih rezultata .....	- 5 -
1.4	Kratak sadržaj disertacije .....	- 6 -
2	Aktuelno stanje u oblasti.....	- 8 -
2.1	SCADA sistemi .....	- 8 -
2.1.1	SCADA hardver .....	- 9 -
2.1.2	SCADA softver.....	- 11 -
2.2	Tehnologija industrijskog Interneta stvari .....	- 14 -
2.3	Mobilne tehnologije .....	- 21 -
2.3.1	Senzorski moduli .....	- 22 -
2.3.2	Komunikacioni moduli .....	- 26 -
2.3.3	Primena mobilnih telefona.....	- 52 -
2.4	Koncept proširene realnosti .....	- 53 -
2.5	Održavanje sistema .....	- 60 -
3	Model mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.....	- 62 -
3.1	Prikupljanje podataka.....	- 66 -
3.2	Skladištenje i obrada podataka .....	- 69 -
3.3	Prikaz rezultata obrade podataka.....	- 73 -
4	Studije slučaja i validacija modela .....	- 76 -
4.1	Filter vazduha .....	- 79 -
4.2	Pneumatski cilindar .....	- 87 -
4.3	Trofazni asinhroni motor .....	- 90 -
5	Zaključak i pravci daljeg istraživanja.....	- 94 -
6	Literatura.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Lista slika

Slika 2-1 Šematski prikaz SCADA sistema.....	- 8 -
Slika 2-2 Piramida automatizacije .....	- 10 -
Slika 2-3 Primer jednostavnog procesa prikazan na SCADA terminalu .	- 12 -
Slika 2-4 Primer složenog procesa prikazan na SCADA terminalu .....	- 13 -
Slika 2-5 Šematski prikaz koncepta Interneta stvari .....	- 15 -
Slika 2-6 Tehnički prikaz IoT sistema .....	- 16 -
Slika 2-7 Mikroročunar Raspberry Pi, mikrokontrolerski uređaj Arduino i Wi-Fi komunikacioni modul ESP8266.....	- 18 -
Slika 2-8 Sinergija IoT, BigData i analitike.....	- 19 -
Slika 2-9 Referentni model sistema Interneta stvari .....	- 20 -
Slika 2-10 Evolucija mobilnih telefona kroz istoriju .....	- 22 -
Slika 2-11 Ekran osetljiv na dodir .....	- 23 -
Slika 2-12 Princip rada kapacitivnog i rezistivnog ekrana osetljivog na dodir	- 24 -
Slika 2-13 Manipulacija objektima korišćenjem detekcije više dodira na ekranu.....	- 25 -
Slika 2-14 Izgled USB konektora.....	- 31 -
Slika 2-15 Termalna kamera Flir One Pro povezana sa mobilnim telefonom preko USB konekcije.....	- 32 -
Slika 2-16 USB C kabel.....	- 33 -
Slika 2-17 Primer razmene podata izmedju aplikacije na računaru I telefona IrDA komunikacionim interfejsom .....	- 34 -
Slika 2-18 Lokalna bežična mreža (WLAN) .....	- 35 -
Slika 2-19 Uticaj interferencija na slenje podataka .....	- 37 -
Slika 2-20 Raspored kanala u WLAN mreži .....	- 39 -
Slika 2-21 Primer pokrivanja većeg područja WLAN mrežama bez ometanja .....	- 40 -
Slika 2-22 AP kao most između žičane i bežične mreže.....	- 40 -
Slika 2-23 Bluetooth uređaji povezani u okviru piconet i skaternet mreže.-	42 -
Slika 2-24 Konekcija između glavnog uređaja i klijenata u BLE topologiji.-	43 -
Slika 2-25 Omogućavanje razmene podataka između klasične Bluetooth komunikacije i BLE komunikacije .....	- 44 -
Slika 2-26 Spektar kanala klasične Bluetooth komunikacije .....	- 46 -

Slika 2-27 Primer rasporeda kanala u ISM radio opsegu kako bi se obezbedio nesmetan rad Wi-Fi, BLE i ZigBEE komunikacionih tehnologija u okviru istog prostora.....	- 48 -
Slika 2-28 Primer RFID sistema .....	- 49 -
Slika 2-29 Mobilni telefon sa NFC tehnologijom i sva tri moda rada .....	- 52 -
Slika 2-30 Kontinuum stvarnosti i virtualnosti .....	- 54 -
Slika 2-31 Ivan Sutherland - HMD sistem.....	- 55 -
Slika 2-32 Primer proširene realnosti zasnovane na markeru.....	- 57 -
Slika 2-33 Primer proširene realnosti zasnovane na lokaciji .....	- 57 -
Slika 2-34 Primer proširene realnosti zasnovane na projekciji.....	- 58 -
Slika 2-35 Primer proširene realnosti bazirane na superimpoziciji .....	- 58 -
Slika 2-36 Neke od komercijalno dostupnih naočara namenjenih proširenoj realnosti .....	- 59 -
Slika 2-37 Primer primene naočara namenjenih za proširenu realnost u industrijskoj automatizaciji.....	- 60 -
Slika 3-1 Arhitektura mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.....	- 64 -
Slika 3-2 Usporedni prikaz predloženog modela mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari i referentnog modela Interneta stvari.....	- 65 -
Slika 3-3 Blok šema upravljanja procesom.....	- 67 -
Slika 3-4 Načini prikupljanja podataka u okviru podsistema za prikupljanje podataka .....	- 68 -
Slika 3-5 Dijagram strukture podataka mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari .....	- 70 -
Slika 3-6 Načini vraćanja podataka u okviru podsistema za prikaz rezultata obrade podataka .....	- 74 -
Slika 4-1 Linija za montažu sinter ležaja.....	- 76 -
Slika 4-2 Linija za montažu vodenih pumpi .....	- 77 -
Slika 4-3 Princip rada filtera vazduha .....	- 80 -
Slika 4-4 Pad pritiska na filterskom elementu u zavisnosti od protoka... -	80 -
Slika 4-5 Porast pada pritiska na filterskom elementu usled povećanja zasićenosti filterskog elementa nečistoćama.....	- 81 -
Slika 4-6 Ušteda koja se postiže redovnom zamenom filterskog elementa... -	82 -
Slika 4-7 Princip merenja pada pritiska na filterskom elementu.....	- 82 -
Slika 4-8 Filter vazduha na liniji za montažu vodenih pumpi sa markerom u vidu QR koda .....	- 83 -
Slika 4-9 Filter vazduha ispravan .....	- 84 -
Slika 4-10 Filter vazduha zaprljan .....	- 84 -
Slika 4-11 Notifikacija da je filter vazduha zaprljan .....	- 85 -

Slika 4-12 Lokacija filtera vazduha u okviru linije za montažu vodenih pumpi-85 -	
Slika 4-13 Uputstvo za zamenu filterskog elementa u formi proširene realnosti .....	- 86 -
Slika 4-14 Procena termina zamene filterskog elementa.....	- 86 -
Slika 4-15 Pneumatski cilindar sa markerom u vidu QR koda .....	- 88 -
Slika 4-16 Status pneumatskog cilindra ispravan .....	- 89 -
Slika 4-17 Previsok pritisak u pneumatskom cilindru .....	- 89 -
Slika 4-18 Notifikacija o nepravilnom radu pneumatskog cilindra .....	- 90 -
Slika 4-19 Uputstvo za servisiranje pneumatskog cilindra u formi proširene realnosti .....	- 90 -
Slika 4-20 Trofazni asinhroni motor sa markerom u vidu QR koda.....	- 92 -
Slika 4-21 Notifikacija sa informacijom o oštećenju ležaja trofaznog asinhronog motora .....	- 93 -
Slika 4-22 Uputstvo za servisiranje trofaznog asinhronog motora u formi proširene realnosti .....	- 93 -

## Lista tabela

Tabela 1 Mobilne tehnologije kroz generacije i teoretske brzine prenosa podataka .....	- 27 -
Tabela 2 Specifikacije USB standarda .....	- 29 -
Tabela 3 Uporedni prikaz 802.11 standarda.....	- 38 -



## Lista skracenica

AP – Access Point

AR – Augmented Reality

BLE – Bluetooth Low Energy

BYOD – Bring Your Own Device

COTS – Commercial of the Shelf

HMI - Human–Machine Interface

IoT – Internet of Things

NFC – Near Field Communication

RFID – Radio Frequency Identification

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

WiFi – Wireless Fidelity

# 1 Uvod

## 1.1 Predmet istraživanja

Sve veći broj kriterijuma koja su industrijska postrojenja morala da zadovolje (produktivnost, efikasnost, smanjenje troškova, smanjenje zagađenja, itd.) uticali su na to da industrijska postrojenja postanu veoma složeni i kompleksni sistemi. Današnja industrijska postrojenja sastoje se od velikog broja senzora, aktuatora, upravljačkih jedinica, automatizovanih mašina i uređaja. Kako bi se svi ovi elementi objedinili u jednu celinu, odnosno kako bi se omogućio uvid u rad celog industrijskog postrojenja na jednostavan način, nastali su sistemi za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka, odnosno SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sistemi [1], [2]. Danas se SCADA sistemi pored industrijskih sistema koriste i u neindustrijskim sistemima [3], [4]. SCADA sistem podatke o postrojenju prikazuje operateru u vidu mimičkih dijagrama, odnosno operater može da vidi šematski izgled industrijskog postrojenja kojim se upravlja, prikazan jednostavnim elementima u formi linija i složenijih grafičkih simbola koji predstavljaju elemente procesa [5]. Pored trenutnog stanja industrijskog postrojenja i procesa, SCADA sistemi pružaju mogućnost uvida u istorijske podatke o postrojenjima i procesima omogućavajući analizu podataka sa ciljem unapređenja rada sistema kako bi se smanjili troškovi proizvodnje i povećao kvalitet proizvoda. Nedostatak postojećih SCADA sistema ogleda se u tome da omogućavaju prikupljanje i analizu podataka samo u okviru jednog preduzeća bez obzira na broj lokacija na kojima se sprovode poslovni procesi preduzeća.

Osnovu rada SCADA sistema predstavlja prikupljanje podataka o proizvodnim postrojenjima i procesima koji se u njima odvijaju. Kod jednostavnijih industrijskih postrojenja postoje lokalni SCADA sistemi koji prikupljaju podatke samo o jednom postrojenju. Međutim postoje i složeni

industrijski sistemi koji se sastoje od više nezavisnih celina (npr. fabrike u različitim gradovima ili državama, itd.). Kod takvih sistema potrebno je realizovati distribuirani SCADA sistem koji bi omogućio upravljanje radom nezavisnih celina sa jedne lokacije. Kako bi se efikasno prikupljali podaci iz takvih sistema primena tehnologija Interneta stvari može biti značajna. Pojam Internet stvari (Internet of Things, IoT) se odnosi na mrežu fizičkih objekata ili „stvari” sa ugrađenim sensorima, aktuatorima, upravljačkom logikom i mogućnošću povezivanja preko Interneta [6], [7]. Tehnologije Interneta stvari omogućavaju objektima, odnosno komponentama industrijskog postrojenja, razmenu podatka sa: proizvođačima, operaterima kao i sa drugim komponentama industrijskog sistema. Smatra se da će do 2020. godine biti povezano međusobno 50 milijardi uređaja [8]. Trend razvoja Interneta stvari zahvata i industrijske sisteme, odnosno razvoj industrijskog Interneta stvari kao deo četvrte industrijske revolucije (Industrija 4.0) [9]–[11]. Tehnologije industrijskog Interneta stvari omogućavaju prikupljanje podataka o industrijskom postrojenju i procesima koji se odvija u industrijskom postrojenju i na osnovu obrade podataka u oblaku i rezultata obrade podataka mogu korigovati upravljanje procesom proizvodnje [12], [13].

Stanje industrijskog sistema i proizvodnog procesa prikazuje se korisnicima na SCADA računarima i terminalima. Podešavanje svakog od podsistema i provera stanja industrijskog postrojenja i procesa može biti otežana ukoliko se terminali SCADA sistema nalaze udaljeni (dalje od postrojenja, ili udaljeni od mašine). Rešenje ovog problema je korišćenje HMI (Human–Machine Interface) panela na svakom od podsistema industrijskog postrojenja ili korišćenjem prenosivih HMI panela [14]. Kako bi se dodatno smanjili troškovi postoji trend uvođenja klasičnih mobilnih telefona i tablet uređaja u industrijske sisteme kao deo primene koncepta BYOD (Bring Your Own Device) i COTS (Commercial Off-The-Shelf). Koncept BYOD [15]–[19] omogućava zaposlenima da donose svoje uređaje na posao. Koncept COTS [20]–[22] bazira se na korišćenju komercijalno dostupnih proizvoda bez

razvoja čime su uređaji dostupniji, jeftiniji, lako i brzo zamenljivi. U [23]–[26] prikazana je primena mobilnog telefona u SCADA sistemima. Upotreba mobilnog telefona kao HMI uređaja ima višestruke prednosti kao što su dostupnost na tržištu, relativno niska cena, veliki broj ugrađenih funkcionalnosti (senzorskih i komunikacionih modula), dostupnost informacija o industrijskom postrojenju u svakom trenutku i na bilo kom mestu.

Kako mobilni telefoni danas poseduju brze procesore i mogućnost prikaza 3D grafike, koncept proširene realnosti (Augmented Reality, AR) se sve češće primenjuje i na mobilnim telefonima [27]. Proširena realnost je koncept koji omogućava da se informacijama iz stvarnog sveta pridruže računarski generisani podaci (slike, tekst, itd.) koji se objedinjeni u jednu celinu prikazuju na ekranima računara ili mobilnih telefona, ili se računarski generisane slike projektuju na stvarne objekte. Primenom koncepta proširene realnosti korisnikovo viđenje sveta se proširuje dodatnim informacijama. Primer primene proširene realnosti su virtuelni turistički vodiči [28]. Primena mobilnih telefona i tehnologija proširene realnosti poslednjih godina postaje sve popularnija u zadacima vezanim za održavanje industrijskih postrojenja.

Održavanje industrijskih postrojenja i njihovih komponenata (senzora, aktuatora, mašina i alata) postaje veoma zahtevno po pitanju utroška vremena, materijala, delova i ljudskog rada [29]. Sve ovo direktno utiče na povećanje troškova proizvodnje. Primena mobilnih telefona kao i tehnologije proširene realnosti omogućava prikaz: uputstava o servisiranju i održavanju postrojenja, informacija o lokalizaciji i identifikaciji komponenata sistema koje je potrebno servisirati ili zameniti, kao i procedurama servisiranja i zamene komponenata. Ovo omogućava da se servis i zamena komponenti obave jednostavnije i brže čime se omogućava brže puštanje u rad proizvodnog postrojenja, odnosno smanjuje vreme sistema u otkazu, a samim tim i smanjuju troškovi [30]–[32].

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije će biti usmeren prema unapređenju SCADA sistema u industrijskim sistemima kombinujući klasične sisteme za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka sa mobilnim tehnologijama, tehnologijama industrijskog Interneta stvari kao i tehnologijama proširene realnosti sa osvrtom na održavanje sistema.

Istraživanje obuhvaćeno ovom disertacijom baviće se mogućnošću primene mobilnih telefona, kao i koncepta proširene realnosti u sistemima industrijske automatizacije, odnosno u SCADA sistemima. Primena mobilnih telefona i proširene realnosti omogućila bi efikasnije podešavanje parametara rada podsistema industrijskog postrojenja, kao i održavanje podsistema industrijskog postrojenja. Pored toga bilo bi omogućeno lakše i jednostavnije upoznavanje novih radnika sa podsistemima industrijskog postrojenja.

## **1.2 Cilj istraživanja i hipoteze**

Glavni cilj istraživanja je realizacija novog modela sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka baziranog na mobilnim tehnologijama, tehnologijama industrijskog Interneta stvari i tehnologijama proširene realnosti. Novi model sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka primenom tehnologija industrijskog Interneta stvari omogućio bi prikupljanje informacija o proizvodnom procesu (parametri procesa, parametri alata i mašina,..) i slanje podataka u udaljenu bazu podataka koja se nalazi na cloud-u (oblak). Primenom različitih metoda obrade podataka vršila bi se procena stanja komponenti industrijskog postrojenja od značaja. Rezultati procene stanja komponenti industrijskog postrojenja bi se prikazivali na ekranu mobilnog telefona osobe zadužene za održavanje pogona ili procesa primenom tehnologija proširene realnosti, kao kombinacija slika stvarnog sveta i generisanih slika. Očekuje se da bi se primenom novog modela sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka baziranog na mobilnim tehnologijama, tehnologijama industrijskog Interneta stvari i tehnologijama proširene realnosti omogućilo smanjenje troškova održavanja sistema.

Hipoteze koje su postavljene su sledeće:

H1 – Predloženi novi model sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka bazira se na mobilnim tehnologijama, tehnologijama industrijskog Interneta stvari i tehnologijama proširene realnosti, i moguće ga je u potpunosti primeniti korišćenjem postojećih komponenata navedenih tehnologija.

H2 – Predloženi model mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari omogućava realizaciju novih sistema za nadzor industrijskih postrojenja baziranih na Industriji 4.0.

H3 - Predloženi model mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari moguće je integrisati u postojeće industrijske sisteme.

### **1.3 Mogućnost primene očekivanih rezultata**

Osnovni doprinos disertacije je realizacija novog modela sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka baziranog na mobilnim tehnologijama, tehnologijama industrijskog Interneta stvari i tehnologijama proširene realnosti.

Primena očekivanih rezultata se pre svega može očekivati u industrijskim sistemima, gde je potrebno imati pristup informacijama kako o pojedinačnim mašinama, tako i o celokupnom proizvodnom postrojenju i procesu proizvodnje u svakom trenutku i na bilo kojoj lokaciji. Realizovani sistem bi omogućio da relevantni podaci budu prikazani na mobilnom telefonu osobe zadužene za nadzor industrijskog sistema. Ovo bi omogućilo blagovremeno održavanje mašina, kao i brzo reagovanje u slučaju otkaza na nekoj mašini i zastoja u proizvodnom procesu. Pored toga, bilo bi omogućeno preventivno održavanje industrijskog postrojenja, kao i brzo i efikasno otklanjanje otkaza kako bi proizvodno postrojenje što pre bilo pušteno u rad, čime se troškovi svode na minimum.

Pristup podacima o komponentama industrijskog postrojenja imali bi i sami proizvođači komponenti koji na osnovu tih podataka mogu izvršiti modifikacije komponenti kako bi same komponente koje se ugrađuju u industrijska postrojenja bile pouzdanije.

## **1.4 Kratak sadržaj disertacije**

Doktorska disertacija je organizovana u šest poglavlja.

U prvom poglavlju dat je uvod u oblast istraživanja. Predstavljene su predmet istraživanja i ciljevi istraživanja koji su sprovedeni u okviru disertacije i definisane su hipoteze.

U drugom poglavlju su data osnovna teorijska razmatranja sa aktuelnim stanjem tehnike u oblasti istraživanja. U okviru drugog poglavlja, predstavljene su sistemi za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka kao i mobilne tehnologije, tehnologije industrijskog Interneta stvari, tehnologije proširene realnosti kao i kratak uvod u metode održavanja industrijskih postrojenja koje su potrebne za sprovođenje istraživanja.

U trećem poglavlju je prikazan predlog modela sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka baziranog na mobilnim tehnologijama, tehnologijama industrijskog Interneta stvari i tehnologijama proširene realnosti.

U četvrtom poglavlju je dat opis eksperimenata. Izvršena je detaljna analiza dobijenih rezultata istraživanja i diskusija koja prati postavljene hipoteze istraživanja. Analiziran je predstavljene model sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka baziran na mobilnim tehnologijama, tehnologijama industrijskog Interneta stvari i tehnologijama proširene realnosti, sa diskusijom o njegovim prednostima i nedostacima.

U petom poglavlju dati su zaključci koji su izvedeni na osnovu rada i istraživanja u okviru ove disertacije. Poseban akcenat je stavljen na

doprinosu disertacije, kao i na otvorena nova istraživačka pitanja i pravce istraživanja. Date su preporuke za primenu dobijenih rezultata u praksi, odnosno predlozi za realizaciju modela sistema za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka baziranog na mobilnim tehnologijama, tehnologijama industrijskog Interneta stvari i tehnologijama proširene realnosti, sa navedenim mogućnostima i ograničenjima postignutog sistema.

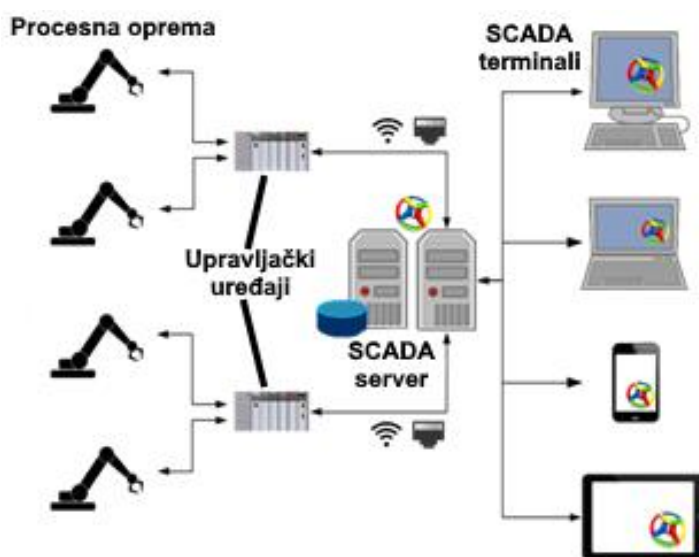
U šestom poglavlju dat je pregled korišćene literature.



## 2 Aktuelno stanje u oblasti

### 2.1 SCADA sistemi

Vremenom industrijski procesi i industrijska postrojenja postajali su sve složeniji, sa veoma velikim brojem senzora i aktuatora. Kako bi se složeni industrijski procesi i postrojenja mogli pratiti i kontrolisati nastali su SCADA sistemi. SCADA sistemi predstavljaju sisteme zadužene za nadzor, upravljanje, prikupljanje i analizu podataka o nekom objektu upravljanja [1], [5], [33]. Složeni industrijski sistemi mogu da se sastoje od više podsistema koji mogu biti udaljeni od nekoliko metara do nekoliko hiljada kilometara. Kako bi se ovi podsistemi povezali u jednu celinu koristi se telemetrija koja omogućava slanje naredbi i informacija kao i primanje informacije o nadzoru sa udaljenih lokacija [34]. SCADA obuhvata prikupljanje informacija o objektima upravljanja, analizu informacija o objektima i upravljanje objektima, a zatim i prikaz prikupljenih informacija SCADA operaterima na računarima i terminalima. Potrebne upravljačke akcije zatim se prenose nazad u postrojenje. Na slici 2-1 predstavljena je pojednostavljena šema SCADA sistema [35].



Slika 2-1 Šematski prikaz SCADA sistema

Osnovni elementi SCADA sistema su hardverski podsistem i softverski podsistem.

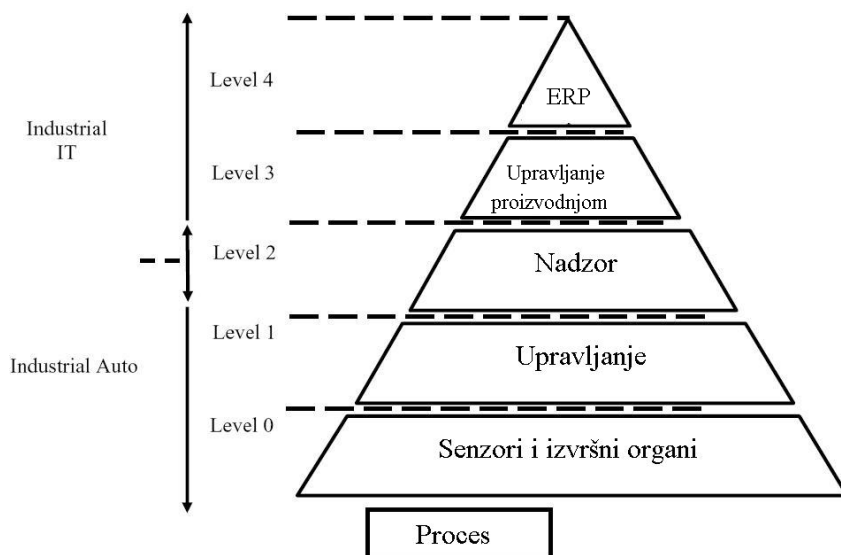
### **2.1.1 SCADA hardver**

Hardverski podsistem SCADA sistema obuhvata kompletnu hardversku infrastrukturu koji je potrebno instalirati za potrebe nadzora i upravljanja industrijskim postrojenjima i procesima (senzori, aktuatori, upravljačke jedinice, komunikaciona infrastruktura, SCADA računari i terminali).

SCADA sistem sastoji se od brojnih udaljenih upravljačkih i terminalnih jedinica. Najčešće korišćene udaljene upravljačke jedinice u industriji su programabilno logički kontroleri (Programmable Logic Controller - PLC) [36]–[39]. Pomoću senzora, programabilno logički kontroleri prikupljaju podatke o proizvodnom procesu i industrijskom postrojenju i na osnovu prikupljenih podataka upravljaju radom aktuatora kako bi se obezbedilo normalno odvijanje proizvodnog procesa [40], [41]. Takođe, prikupljene podatke o proizvodnom procesu i industrijskom postrojenju programabilno logički kontroleri prosleđuju glavnoj računarskoj stanici putem komunikacionog sistema. Analogne vrednosti koje se nadziru u okviru SCADA sistema su: temperatura, nivo, protok fluida, pritisak i brzine rotacija vratila motora. Digitalne vrednosti koje SCADA sistem nadzire su vrednosti sa: senzora nivoa, senzora pritiska i releja. Komunikacioni sistem omogućava put komunikacije između glavne računarske stanice i uređaja na udaljenim mestima. Realizacija komunikacionog sistema može biti u formi žičane veze (telefonska linija, optičko vlakno, Ethernet mreža, itd.) ili bežične veze (GSM (Global System for Mobile communications), GPRS (General Packet Radio Service), radio, satelitski, Wi-Fi (Wireless Fidelity), itd.). Za efikasan i siguran prenos podataka koriste se industrijski protokoli za razmenu podataka koju omogućavaju otkrivanje i otklanjanje grešaka [42]–[47]. U glavnoj računarskoj stanici, prikupljeni podaci o proizvodnom procesu i industrijskom postrojenju se obrađuju i prikazuju operateru omogućujući mu da vrši nadzor i upravljanje proizvodnim procesom i industrijskim postrojenjem. Ukoliko se radi o

jednostavnijem industrijskom postrojenju, glavna računarska stanica može biti samo jedan računar sa SCADA softverom za prikaz podataka. Ukoliko je u pitanju složeniji industrijski sistem, glavna računarska stanica može biti sistem koji se sastoji od većeg broja serverskih računara, računara sa SCADA softverom i SCADA terminala za pristup podacima, tj. HMI uređaja. Na osnovu rezultata obrade podataka SCADA može poslati podatke programabilnom logičkom kontroleru, ukoliko je potrebno izvršiti korekciju upravljanja aktuatorima, automatski ili na zahtev operatera. Obrada i analiza prikupljenih podataka omogućava optimizaciju odvijanja proizvodnog procesa i rada industrijskog postrojenja, odnosno omogućava efikasnije, pouzdanije i sigurnije izvođenje operacija.

U suštini SCADA sistemi predstavljaju vezu između procesne opreme (senzora, aktuatora, upravljačkih uređaja) i menadžmenta industrijskog postrojenja što je prikazano na piramidi automatizacije (slika 2-2).



Slika 2-2 Piramida automatizacije

### 2.1.2 SCADA softver

SCADA softver se može podeliti u dve vrste, vlasnički i otvoreni SCADA softveri. Kompanije koje proizvode industrijski hardver razvijaju vlasnički SCADA softver za komunikaciju sa njihovim hardverom, i nude klijentima SCADA sistem kao rešenje "ključ u ruke". Glavni nedostatak ovakvih SCADA sistema je veliko oslanjanje na dobavljača hardverske opreme, kao i podrška za hardverske komponente drugih proizvođača. Otvoreni SCADA softverski sistemi su stekli popularnost zbog interoperabilnosti koju omogućavaju. Interoperabilnost se ogleda u mogućnosti kombinovanja hardverske opreme različitih proizvođača na istom sistemu. WonderWare [48], CopaData [49] samo su primeri proizvođača otvorenih SCADA softverskih paketa dostupnih na tržištu.

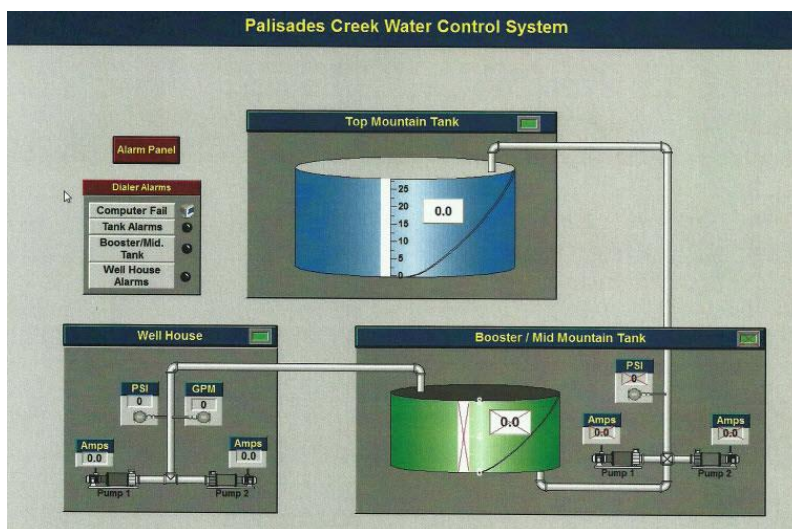
Ključni podsistemi SCADA softvera treba da obezbede:

- definisanje veličina,
- definisanje grafičkih elemenata,
- definisanje alarma,
- generisanje trendova,
- generisanje izveštaja,
- implementaciju komunikacionih protokola.

Definisanjem veličina, definišu se i njihove osobina kao što su donje i gornje granične vrednosti veličina, vreme očitavanja, kao i definisanje sa kojim fizičkim portom PLC-a je povezan senzor koji očitava tu vrednost ili aktuator. Moguće je definisati ulazne veličine, izlazne veličine kao i memorijske veličine. Izmerene vrednosti fizičkih veličina, koje se javljaju u okviru procesa, predstavljaju ulazne veličine. Sve vrednosti koje se šalju ka izvršnim uređajima tj. aktuatorima predstavljaju izlazne veličine. Memorijske veličine predstavljaju pomoćne veličine koje služe za proračune i upravljanje proizvodnim procesom i industrijskim postrojenjem čije se vrednosti računaju

kombinovanjem ulaznih, izlaznih i drugih memorisjkih veličina primenom odgovarajućih matematičkih formula.

Definisanjem grafičkih elemenata definiše se način prikaza stanja industrijskog postrojenja, u takvom obliku da bude pregledan za čoveka (operatera) kako bi se omogućilo pravovremeno reagovanje na svaku neželjenu promenu stanja sistema. Ideja je da se svaka nepravilnost odvijanja procesa u industrijskom postrojenju uoči pogledom na ekran, čime se omogućava brzo reagovanje operatera i sprečavanje neželjenog odvijanja procesa u industrijskom postrojenju. Za olakšano uočavanje promena u industrijskom postrojenju ili procesu, vrednosti veličina se prikazuju najčešće u formi brojeva i grafičkih animacija. Izvršavanje određenih aktivnosti od strane operatera treba takođe da bude omogućeno u okviru grafičkog prikaza sistema (na primer pokretanje izvršavanja definisane funkcionalnosti klikom miša na određeni objekat). Na slici 2-3 dat je primer prikaza jednostavnog procesa na SCADA terminalu [50]. Na slici 2-4 dat je primer prikaza složenog procesa na SCADA terminalima [51].



Slika 2-3 Primer jednostavnog procesa prikazan na SCADA terminalu



Slika 2-4 Primer složenog procesa prikazan na SCADA terminalu

Definisanjem alarma definišu se sva alarmna stanja (nedozvoljena/ neželjena stanja) u kom se industrijsko postrojenje ili proces mogu naći. Sve nedozvoljene ili kritične vrednosti veličina predstavljaju alarmna stanja. Alarmna stanja mogu biti i sve nedozvoljene aktivnosti operatera. Osobine svakog alarma koje se definišu su: lokacija nastanka događaja u postrojenju ili procesu, poruka alarma (opis alarmnog stanja), stepen opasnosti alarmnog stanja, itd. Prilikom otklanjanja alarmnog stanja koje nastaje u industrijskom postrojenju ili procesa potrebno je izvršiti akcije potvrde i brisanja alarma.

Generisanje trendova omogućava definisanje svih veličina čije vrednosti je potrebno pratiti u realnom vremenu kao i istorijski prikaz promena vrednosti veličina u toku određenog perioda. Trendovi treba da omoguće i prikaz više veličina istovremeno. Potrebno je omogućiti i arhiviranje trendova.

Generisanje izveštaja omogućava definisanje svih promena stanja industrijskog postrojenja i postrojenja koje potrebno prikazati u formi izveštaja. Izveštaji mogu biti generisani za određeni vremenski period prema

zahtevu korisnika SCADA aplikacije, odnosno mogu biti: dnevni, mesečni, tromesečni, godišnji i sl.

Implementacija komunikacionih protokola treba da omogući implementaciju svih komunikacionih protokola potrebnih za ostvarivanje veze svih upravljačkih uređaja i SCADA sistema.

## **2.2 Tehnologija industrijskog Interneta stvari**

Današnji svet komunikacija je nezamisliv bez Interneta. Internet je sistem umreženih računarskih mreža na globalnom nivou koji je transformisao funkcionisanje komunikacionih sistema [52]. U početku je komunikacija putem Interneta bila jednosmerna, odnosno postojala je jasna podela između onih koji stvaraju podatke i onih koji preuzimaju i koriste podatke. Podaci su bili statični, odnosno sadržaj na Internet prezentacijama se mogao samo čitati ili slušati bez mogućnosti izmena od strane korisnika. Vremenom ta granica se izbrisala i danas je moguće istovremeno stvarati i koristiti podatke na Internetu. Implementiranjem društvene komponente u okviru Internet komunikacije omogućeno je aktivno učešće korisnika u stvaranju podataka kroz objavljivanje slika i video zapisa kao i komentara itd. (*Facebook, Instagram*, itd.). Danas su društvene mreža najposećeniji sajtovi kojima ljudi pristupaju i najveći deo sadržaja na Internetu postavljaju pojedinačni korisnici. Višesmerna komunikacija između ljudi se odvija putem računara i mobilnih uređaja. Da bi neki podatak bio dostupan na Internetu (tekst, fotografija, video zapis), neko mora da kreira taj podatak i da ga postavi na Internet. Iza koncepta Interneta stvari stoji osnovna ideja da se kreiranje podataka i njihovo postavljanje na Internet obavlja bez potrebnih akcija od strane ljudi, tj. da ljudima budu obezbeđeni gotovi podaci na osnovu kojih će se donositi neka odluka, kao i da se ostvari ušteda vremena potrebnog za obavljanje jednostavnih, svakodnevnih poslova. Koncept Internet stvari (IoT) podrazumeva da se običnim i pametnim uređajima, pa čak i živim bićima (biljkama, životinjama, ljudima) dodeljuju identifikacioni brojevi i mogućnost da potpuno samostalno komuniciraju i razmenjuju podatke preko Interneta.

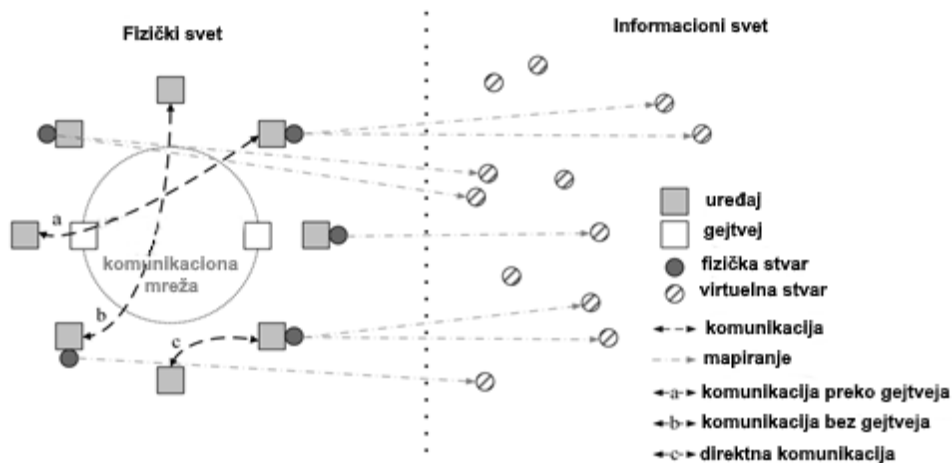
Informaciono-komunikacione tehnologije omogućavaju povezivanje “u svakom trenutku” i “na svakoj lokaciji”, dok je primenom koncepta Interneta stvari omogućeno i povezivanje “bilo čega“. Na slici 2-5 dat je šematski prikaz IoT koncepta.



Slika 2-5 Šematski prikaz koncepta Interneta stvari

Konceptom Interneta stvari sam Internet se menja od mreže milijarde računara koji međusobno komuniciraju, u mrežu koja povezuje veoma veliki broj digitalnih uređaja, odnosno svakodnevnih objekata koji se u konceptu Interneta stvari nazivaju “stvari“. Svaki objekat fizičkog sveta ili informacionog sveta koji poseduje mogućnost identifikacije i integracije u komunikacione mreže naziva se “stvar” [53]. Fizička ”stvar” (objekat iz realnog sveta) se u informacionom svetu može mapirati na jednu ili više virtuelnih ”stvari”, za razliku od virtuelne “stvari“ koja može da postoji nezavisno od fizičke “stvari”. Svaki deo opreme namenjen za komunikaciju, koji poseduje mogućnost detektovanja stanja (senzor), mogućnost uticanja na svoju okolinu (aktuator), i mogućnost skladištenja i obrade podataka naziva se “uređaj”. Jedna “stvar” može da se sastoji od više “uređaja”. “Uređaji“ su namenjeni za prikupljanje podataka o svojoj okolini, prosleđivanje podataka dalje ka informaciono-komunikacionim mrežama radi naknadne obrade i na osnovu rezultata obrade uticanja na svoju okolinu. Na slici 2-6 dat je tehnički prikaz IoT sistema [53].





Slika 2-6 Tehnički prikaz IoT sistema

Koncept Interneta stvari nije rezultat jedne nove tehnologije već kombinacija više tehnologija koje, kada se kombinuju, omogućavaju vezu između virtualnog i fizičkog sveta. Te tehnologije su:

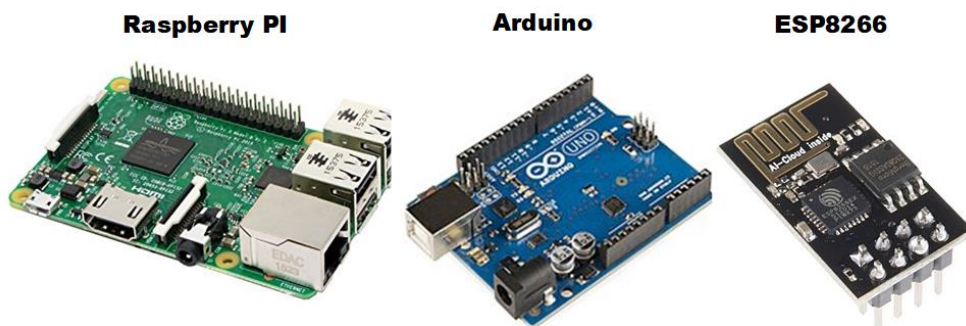
- Senzorika;
- Obrada podataka;
- Aktuacija;
- Komunikacija i saradnja;
- Adresabilnost;
- Identifikacija;
- Lokalizacija;
- Korisnički interfejs.

Ugrađeni senzori omogućavaju fizičkim stvarima koje podržavaju koncept Interneta stvari da prikupljaju podatke o svojoj okolini. Ugrađena procesorska ili mikrokontrolerska jedinica može da izvršava jednostavnu obradu podataka i da na osnovu rezultata obrade podataka, pomoću ugrađenih aktuatora utiče na svoju okolinu. Odnosno, pametni objekti mogu se koristiti za daljinsko upravljanje procesima u stvarnom svetu putem Interneta [54]. Komunikacija putem ugrađenih komunikacionih modula

omogućava pametnim objektima komunikaciju putem Interneta sa nekim Internet servisima ili sa drugim pametnim objektima sa ciljem razmene podataka, pružanja usluga i ažuriranja stanja. Bežične komunikacione tehnologije kao što su: GSM, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) i LTE (Long-Term Evolution) [55], Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee i UWB (Ultra Wide Band) [56] i mnogi drugi standardi bežičnog umrežavanja u razvoju, naročito onih koji se odnose na WPAN (Wireless Personal Area Network) tehnologije, imaju veliki značaj. Identifikacija objekata je omogućena na osnovu njihove jedinstvene oznake (najčešće je oznaka adresa objekta). Adresabilnost omogućava da se svakom objektu dodeli jedinstvena adresa, kako bi se objektima moglo pristupiti otkrivanjem ili pretragom, a time i daljinski proveravati njihovo stanje i vršiti konfiguracija. Primena RFID (Radio Frequency Identification) tehnologija [57], [58], NFC (Near Field Communication) tehnologije [59]–[61] i optički čitljivih bar kodova (jednodimenzionalnih bar kodova i dvodimenzionalnih kodova QR kodova, DataMatrix kodova) [62]–[64] su primeri tehnologija pomoću kojih i pasivni objekti, koji nemaju ugrađene energetske resurse ili imaju ograničene energetske resurse, mogu biti identifikovani uz pomoć posrednika kao što je RFID čitač ili mobilni telefon. Identifikacija omogućava povezivanje objekata sa informacijama koje su povezane sa određenim objektom i koji se može preuzeti sa servera, pod uslovom da je posrednik povezan sa mrežom (slika 2-5). Lokalizacija omogućava pametnim objektima da na neki način budu svesni svoje fizičke lokacije ili omogućava njihovo lociranje na mapama. GPS (Global Positioning System) ili mobilna telefonska mreža su prikladne tehnologije za postizanje lokalizacije [65]–[67]. Pored toga, moguće je primeniti metod merenja vremena prenosa podataka kao i jačine signala kod bežičnih mreža [68], [69] ili primeniti RFID čitače sa poznatim koordinatama, kao i optičke tehnologije za lokalizaciju objekata [70]. Korisnički interfejs omogućava pametnim objektima da mogu komunicirati sa ljudima. Ljudi mogu sa pametnim objektima komunicirati direktno preko ugrađenih komandi i ekrana na pametnim objektima ili pomoću sistema za prepoznavanje glasa,

slike i gestikulacije. Indirektna komunikacija sa pametnim objektom odvija se preko mobilnog uređaja ili računara preko veb interfejsa.

Većinu mogućnosti pametnih objekata kao što su: prikupljanje podataka, implementacija logike/inteligencije za obradu podataka, ugradnja aktuatora, identifikacija, lokalizacija i korisnički interfejs je danas veoma lako ostvariti. Postoji veoma veliki broj dostupnih hardverskih i softverskih rešenja koji to omogućavaju (mikro računari, komunikacioni moduli, ekrani, itd.) Primer uređaja koji omogućavaju realizaciju pametnog objekta su mikroracunar Raspberry Pi, mikrokontrolerski uređaj Arduino i Wi-Fi komunikacioni modul ESP8266 prikazani na slici 2-7 [71].

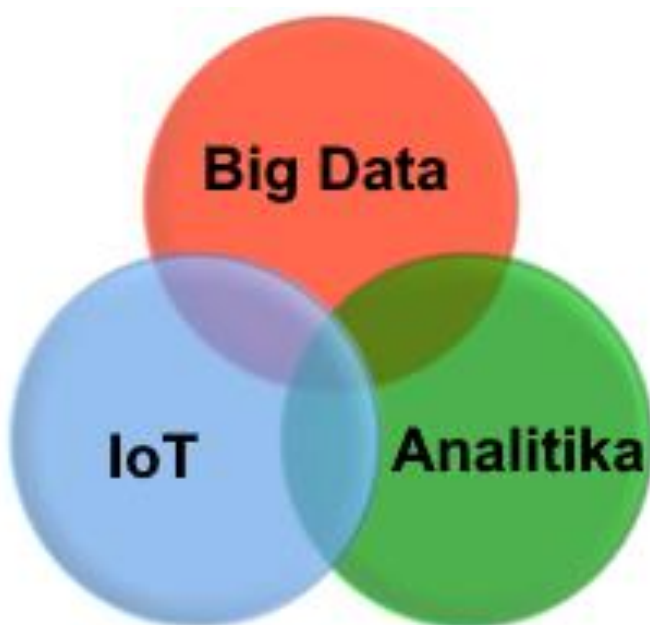


Slika 2-7 Mikroracunar Raspberry Pi, mikrokontrolerski uređaj Arduino i Wi-Fi komunikacioni modul ESP8266

Koncept Interneta stvari trenutno ima veliku primenu u neindustrijskim sistemima kao što su pametne kuće i pametne zgrade [72], pametni gradovi [73], [74], zdravstvo [75], itd.

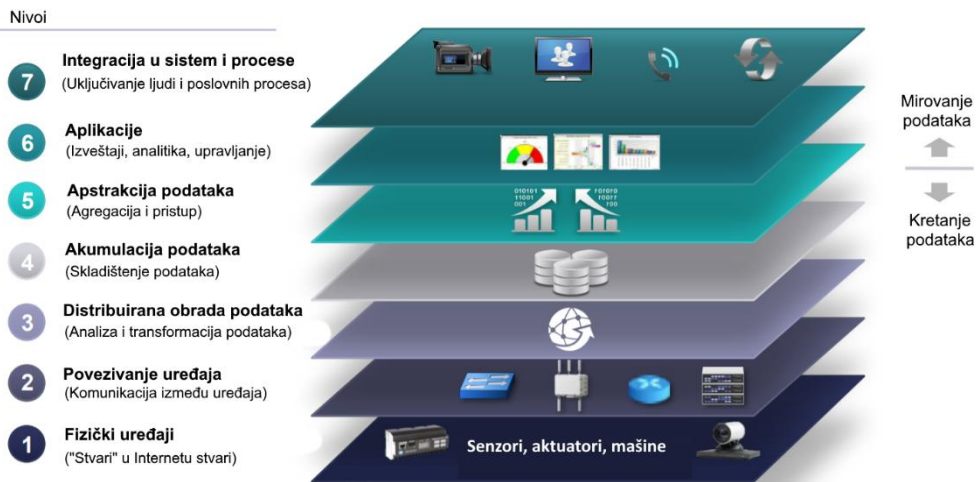
Kako veliki broj senzora i povezanih uređaja u okviru IoT koncepta generiše veliku količinu podataka javlja se problem skladištenja i obrade podataka. Kako bi ovaj problem bio rešen osmišljen je koncept „velike količine podataka“ (Big Data), koji omogućava skladištenje velike količine podataka, kao i metode efikasne analize podataka [76]–[79]. Odnosno, postoji sinergija između koncepta Interneta stvari, velike količine podataka i analitike (slika 2-

8), gde svaki koncept međusobno utiče jedan na drugi i poboljšava ga [80], [81].



Slika 2-8 Sinergija IoT, BigData i analitike

U sistemima Interneta stvari, podaci se generišu na većem broju različitih uređaja, obrađuju se na različite načine, prenose se na različite lokacije i sa njima se postupa u zavisnosti od potrebne primene. Kako bi se održala jednostavnost i omogućila skalabilnost sistema Interneta stvari definisan je referentni model sistema Interneta stvari, kroz koji su definisani zadaci koji treba da se obavljaju na svakom nivou referentnog modela sistema Interneta stvari, odnosno definisane su funkcionalnosti potrebne kako bi sistem Interneta stvari bio potpun [82]. Na slici 2-9 prikazan je referentni model sistema Interneta stvari.



Slika 2-9 Referentni model sistema Interneta stvari

Prikazani referentni model sistema Interneta stvari sastoji se od sedam nivoa. Referentni model sistema Interneta stvari ne ograničava obim ili lokalitet svojih komponenti. Na primer svaki element bi mogao biti implementiran u okviru jednog uređaja ili bi mogao biti distribuiran širom sveta. Svaki proces koji se pojavljuje na svakom nivou referentnog modela sistema Interneta stvari može da varira od jednostavnog do složenog u zavisnosti od potrebe. Nivo 1 definiše fizičke uređaje i kontrolere koji upravljaju radom većeg broja fizičkih uređaja. U suštini to su "stvari" u sistemu Interneta stvari, a uključuju širok spektar krajnjih uređaja, koji šalju i primaju informacije. Nivo 2 definiše komunikaciju i povezanost kako bi se obezbedio pouzdan i pravovremeni prenos informacija (između uređaja na nivou 1 i mreža, između različitih mreža, kao i između mreže i obrade podataka niskog nivoa na nivou 3). Nivo 3 definiše funkcionalnosti koje proizilaze od potrebe za pretvaranjem tokova podatka u informacije koje su pogodne za skladištenje i obradu podataka višeg nivoa na nivou 4 (analiza i transformacija podataka velikog obima). Nivo 4 definiše funkcionalnosti potrebne za skladištenje podataka u bazama podataka za naknadnu obradu, odnosno transformiše podatke u kretanju u podatke koji miruju. Nivo 5 definiše funkcije za apstrakcije podataka čiji je fokus transformacija podataka i njihovo

skladištenje na načine koji omogućavaju razvoj jednostavnijih aplikacija. Nivo 6 je nivo aplikacija, na kojem se vrši tumačenje informacija. Softver na ovom nivou stupa u interakciju sa nivoom 5 i podacima u mirovanju, tako da nema potrebe za veoma velikom brzinom prenosa podataka tj. za prenosom podataka u realnom vremenu. Nivo 7 definiše uključivanje ljudi i poslovnih procesa. Sistem Interneta stvari i informacije koje on stvara, ima malu vrednost osim ako ne prouzrokuje izvršenje neke aktivnosti, koja često zahtevaju ljude i procese. Aplikacije (nivo 6) daju ljudima prave informacije, u pravom trenutku, kako bi svoje zadatke obavljali jednostavnije i uspešnije.

Poslednjih godina koncept Interneta stvari ima sve veću primenu i u industrijskim sistemima kao deo četvrte industrijske revolucije, odnosno koncepta Industrija 4.0 [83]–[87]. Koncept Interneta stvari omogućava prikupljanje podataka sa mašina i procesa i skladištenje podataka. Na osnovu analiza uskladištenih podataka, kao i trenutne vrednosti izmerenih vrednosti promenljivih u realnom vremenu, može se uvideti stanje industrijskog postrojenja, uticati na tok odvijanja proizvodnog procesa, u kratkom roku prilagoditi proizvodnju željama kupaca, korigovati logistiku kako bi se pravovremeno izvršila nabavka sirovina ili dostava proizvoda kupcima u zavisnosti od trenutnih potreba postrojenja [13], [88]–[94].

## **2.3 Mobilne tehnologije**

Mobilni telefoni svojom pojavom doneli su revoluciju u načinu komunikacije. Omogućili su da ljudi međusobno budu povezani, odnosno dostupni u bilo kom trenutku i na bilo kojoj lokaciji. U početku mobilni telefoni su bili jednostavni uređaji. Posedovali su jednostavan korisnički interfejs i omogućavali su izvršavanje jednostavnih zadataka kao što su uspostavljanje telefonskih poziva i slanje kratkih tekstualnih poruka. Vremenom su mobilni telefoni evoluirali u složenije uređaje. Zahvaljujući visokom stepenu integracije komponenti, u relativno malim kućištima današnjih mobilnih

telefona nalazi se veoma veliki broj funkcionalnosti koji u kombinaciji sa naprednijim operativnim sistemima omogućavaju razvoj korisničkih aplikacija za obavljanje veoma velikog broja različitih zadataka. Danas su najpopularniji operativni sistemi Android i iOS [95]–[98] koji poseduju servise za distribuciju aplikacija. U [99] dat je istorijski razvoj mobilnih telefona. Na slici 2-10 prikazana je evolucija mobilnih telefona kroz istoriju.



Slika 2-10 Evolucija mobilnih telefona kroz istoriju

Aktuelni mobilni telefoni opremljeni su višejezgarnim procesorima, gde broj jezgara ide čak i do osam, a takt na kojem procesori rade ide i do 2,5 GHz [100]. Pored toga u aktuelne mobilne telefone ugrađuje se i relativno velika količina RAM (Random-access memory) memorije, kod nekih modela i do 6 gigabajta (GB), dok kapacitet memorije za skladištenje podataka ide i do 256 GB. Kombinacija brzog procesora i velike količine memorije omogućavaju mobilnim telefonima obradu relativno velike količine podataka [101]–[103]. Pored ovoga, mobilni telefoni poseduju ugrađen veliki broj senzorskih i komunikacionih modula.

### 2.3.1 Senzorski moduli

Senzori koji se najčešće ugrađuju u današnje mobilne telefone su ekran osetljiv na dodir, senzor ambijentalnog osvetljenja, akcelerometar, žiroskop,

digitalni kompas, barometar, senzor temperature i vlažnosti vazduha, GPS prijemnik, kamera, mikrofoni, senzor broja otkucaja srca, pedometar i senzor otiska prsta. U [104]–[107] nalazi se pregled senzora koji se ugrađuju u mobilne telefone.

Ekрани današnjih mobilnih telefona imaju dvostruku funkciju. Osnovna funkcija ekrana je da prikaže različite informacije korisniku telefona. Današnji mobilni telefoni poseduju ekrane od 9 do 15 cm (od 3,5 do 6 inča), a veličina ekrana tablet uređaja ide od 17 do 31 cm (od 7 do 12,2 inča). Veličina ekrana mobilnog telefona direktno utiče na udobnost prilikom rada sa mobilnim telefonom [108]. Pojavom ekrana osetljivih na dodir, ekрани mobilnih telefona koriste se i za zadavanje komandi čime se izbegla upotreba klasičnih tastatura. Ovim je omogućeno da najveći deo mobilnog telefona zauzme sam ekran (slika 2-11).

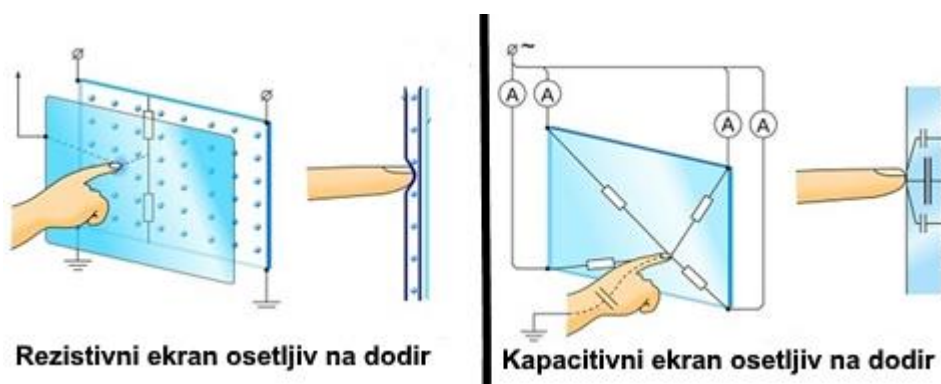


Slika 2-11 Ekran osetljiv na dodir

Ekрани osetljivi na dodir sastoje se od ekrana koji prikazuje informacije korisniku preko koga se postavljaju senzorski elementi koji detektuju mesto dodira. Iako postoji više tehnologija izrade senzorskih elemenata za detektovanje mesta dodira tj. postoji više tipova ekrana osetljivih na dodir



[109], kod mobilnih telefona u upotrebi su bile dve dominante tehnologije izrade, rezistivni ekrani osetljivi na dodir (bazirani na promeni otpornosti) i kapacitivni ekrani osetljivi na dodir (bazirani na promeni kapacitivnosti). Na slici 2-12 prikazani su principi rada kapacitivnih i rezistivnih ekrana osetljivih na dodir.



Slika 2-12 Princip rada kapacitivnog i rezistivnog ekrana osetljivog na dodir

Zbog velikog broja prednosti, danas se na mobilnom telefonu koriste najčešće kapacitivni ekrani osetljivi na dodir. Za razliku od rezistivnih ekrana osetljivih na dodir koji zahtevaju veći pritisak kao bi se ostvario kontakt između provodnih elektroda i detektovao dodir (dolazi do ugibanja ekrana), kod kapacitivnih ekrana dovoljno je samo prisloniti prst na ekran kako bi se detektovao dodir. Pored toga kapacitivni ekrani mogu detektovati više od jednog dodira istovremeno (detekcija i do 10 prstiju). Detekcija više istovremenih dodira omogućava dodatnu manipulaciju sadržajem ekrana kao što su rotiranje prikaza, uvećanje i umanjenje prikaza i mnoge druge. Na slici 2-13 prikazana je manipulacija objektima korišćenjem detekcije više dodira na ekranu.



Slika 2-13 Manipulacija objektima korišćenjem detekcije više dodira na ekranu

Kako kod kapacitivnih ekrana ne dolazi do ugibanja površine ekrana, na ovu površinu se mogu postaviti različiti zaštitni slojevi koji štite ekran od oštećenja. Jedan od najčešće korišćenih zaštita za ekrane mobilnih telefona predstavlja staklo GorillaGlass kompanije Corning [110].

Senzor ambijentalnog osvetljenja koristi se za automatsko podešavanje jačine osvetljenja ekrana kako bi prikaz ekrana bio prijatan za rad korisnika bez obzira da li je mrak ili jako sunce.

Akcelerometar i žiroskop služe za određivanje orijentacije telefona u prostoru. Pomoću promene orijentacije telefona mogu se takođe zadavati komande za rad uređaja. Na primer postavljanjem telefona na sto sa ekranom na dole može se aktivirati automatsko isključivanje zvuka zvona, ili da se na poziv odgovori tako što se telefon protrese. Promenom orijentacije telefona može se upravljati radom uređaja [111].

Barometar služi za određivanje atmosferskog pritiska i pomoću njega se može proceniti nadmorska visina, kao i procena da li će biti padavina ili ne.

Pomoću GPS prijemnika može se odrediti tačna lokacija telefona u prostoru omogućavajući da se mobilni telefon koristi kao uređaj za navigaciju, ili da se automatski izvrše željene aktivnosti na određenim lokacijama.

Mobilni telefoni poseduju i ugrađene kamere. Veliki broj aktuelnih modela mobilnih telefona ima ugrađene dve kamere. Primarna kamera nalazi se sa

zadnje strane i njena osnovna funkcija je fotografisanje i snimanje video fajlova. Rezolucija kamere ide i do 20 megapiskela. Sekundarna kamera nalazi se sa prednje strane telefona i koristi se prilikom uspostavljanja video poziva.

Mikrofon služi prilikom snimanja tona kod audio i video zapisa, kao i za komunikaciju prilikom uspostavljanja poziva.

Senzor broja otkucaja srca meri puls i ima primenu kod aplikacija koje mogu da prate sportske aktivnosti ili kod aplikacija koje prate zdravstveno stanje korisnika. Pedometar omogućava računanje napravljenog broja koraka i ima primenu kod aplikacija koje prate sportske aktivnosti korisnika.

Senzor otiska prsta ima funkcionalnost vezanu za bezbednost i omogućava identifikaciju korisnika telefona, otključavanje mobilnog telefona ili određenih resursa telefona (pristup zaključanim aplikacijama, zaključanim memorijskim lokacijama za smeštanje podataka, itd.)

### **2.3.2 Komunikacioni moduli**

Prvi mobilni telefoni, tj. mobilni telefoni prve generacije bili su bazirani na analognim tehnologijama za komunikaciju i omogućavali su samo uspostavljanje poziva tj. prenos glasa. Uvodjenjem mobilne telefonije druge generacije prešlo se na digitalne komunikacione sisteme, čime je omogućeno i slanje i poruka. U početku su se uglavnom koristile SMS (Short Message Service) poruke dužine do 160 alfanumeričkih karaktera, a zatim je omogućeno slanje i multimedijalnih poruka pomoću kojih je omogućeno slanje teksta, kao i audio i video zapisa. Pored uspostavljanja poziva i slanja poruka, mobilni telefoni omogućili su i povezivanje na Internet. Vremenom je dolazilo do unapređenja komunikacionih tehnologija koje mobilni telefoni podržavaju, tako da danas mobilni telefoni omogućavaju pristup Internetu veoma velikim brzinama, tako da je pored prenosa glasa omogućen prenos i

velike količine podataka. U tabeli 1 prikazan je razvoj mobilnih tehnologija kroz generacije i njihove maksimalne teoretske brzine prenosa podataka [112].

Simbol	Generacija	Standard	Pun naziv	Maksimalna teoretska brzina prijema podataka	Maksimalna teoretska brzina slanja podataka
<b>2G</b>	2	GSM	Global System for Mobile Communications	14,4 Kbit/s	14,4 Kbit/s
<b>G</b>	2	GPRS	General Packet Radio Service	53,6 Kbit/s	26,8 Kbit/s
<b>E</b>	2	EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	217,6 Kbit/s	108,8 Kbit/s
<b>3G</b>	3	UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	384 Kbit/s	128 Kbit/s
<b>H</b>	3	HSPA	High-Speed Packet Access	7,2 Mbit/s	3,6 Mbit/s
<b>H+</b>	3	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 6	14,4 Mbit/s	5,76 Mbit/s
<b>H+</b>	3	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 7	21,1 ili 28 Mbit/s	11.5 Mbit/s
<b>H+</b>	3	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 8	42,2 Mbit/s	11.5 Mbit/s
<b>H+</b>	3	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 9	84,4 Mbit/s	11.5 Mbit/s
<b>H+</b>	3	HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access - Release 10	168,8 Mbit/s	23 Mbit/s
<b>4G</b>	4	LTE	Long Term Evolution	100 Mbit/s	50 Mbit/s
<b>4G</b>	4	LTE-A	Long Term Evolution - Advanced	1 Gbit/s	500 Mbit/s

Tabela 1 Mobilne tehnologije kroz generacije i teoretske brzine prenosa podataka

Pored komunikacionog modula za pristup mobilnim mrežama u mobilne telefone ugrađuje se i veliki broj drugih komunikacionih modula, žičanih i bežičnih.

### 2.3.2.1 RS-232 interfejs

Prvi komunikacioni interfejs koji je ugrađivan na mobilne telefone bila je RS-232 serijska veza, koja je omogućavala vezu mobilnog telefona i PC

računara sa ciljem ažuriranja podataka na telefonima, prenosa datoteka, pristup Internetu upotrebom mobilnog telefona kao modema, upravljanje telefonom slanjem AT komandi, itd. Prednost ove komunikacije je jednostavnost i pouzdanost. Nedostaci ove komunikacije su ograničena brzina prenosa podataka koja je na mobilnim telefonima iznosila 19200 baud/sec. Najveći problem ovakvog načina povezivanja telefona i računara je bio u tome da je svaki proizvođač implementirao svoje konektore na telefonima koji su se čak razlikovali i na različitim modelima mobilnih telefona istog proizvođača. Vremenom je na mobilnim telefonima RS-232 serijska veza zamenjena USB (Universal Serial Bus) vezom kao i mnogim bežičnim komunikacionim modulima kao što su Bluetooth komunikacija, Wi-Fi komunikacija, NFC komunikacija i IR (Infra Red) komunikacija. Iako je RS-232 komunikacioni interfejs vremenom zamenjen bržim komunikacionim interfejsima, RS-232 i danas ima veliku primenu u industrijskim sistemima zbog svoje jednostavnosti i pouzdanosti.

### **2.3.2.2 USB komunikacija**

Ranije su računari koristili veliki broj različitih portova za komunikaciju sa perifernim uređajima (RS232 port, paralelni port, PS/2 port, itd). Svaki od korišćenih portova imao je svoje karakteristike, kao i prednosti i mane u odnosu na ostale. Nedostatak svega toga je bio otežan rad korisnicima kao i potreba za postojanjem većeg broja različitih kablova kako bi se komuniciralo sa perifernim uređajima. Kao zamena za veliki broj komunikacionih portova i potencijalnih problema oko povezivanja perifernih uređaja i konfigurisanja parametara komunikacije definisan je USB standard [113]–[115]. USB je industrijski standard koji definiše kablove, konektore i protokole razmene podataka za povezivanje, komunikaciju i napajanje između računara i perifernih uređaja. USB interfejs je zamišljen tako da olakša rad korisnicima tj. da omogući uključivanje i isključivanje uređaja pod naponom (hot swapp) i

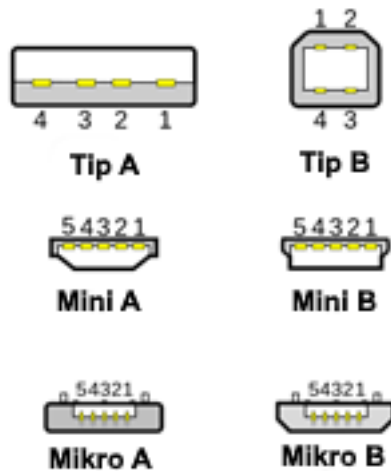
princip priključi-i-koristi (plug and play). Uključivanje i isključivanje uređaja pod naponom omogućava povezivanje perifernih uređaja sa računarom dok je računar uključen bez potrebe za gašenjem računara ili restartovanjem operativnog sistema. Priključi-i-koristi omogućava da prilikom povezivanja, operativni sistem automatski prepozna o kom se uređaju radi i da po potrebi instalira odgovarajuće drajvere za rad uređaja bez potrebe za bilo kakvom dodatnom aktivnošću od strane korisnika. Veći broj kompanija se udružio u organizaciju USB-IF [116] (USB Implementers Forum), od kojih su najpoznatije Hewlett-Packard, NEC, Microsoft, Apple Inc., Intel, and Agere Systems, čije su glavne aktivnosti promocija USB standarda, definisanje novih specifikacija standarda kao i sprovođenje programa usklađenosti kojim se testiraju uređaji da li zadovoljavaju u potpunosti USB standarde. Tokom razvoja USB standarda definisano je nekoliko verzija prikazanih u tabeli. Svaka nova verzija USB standarda donela je napredak u brzini prenosa podataka kao i povećanje električne struje koju port može da da na svom izlazu. Prednost USB standarda je ta što svaka nova verzija standarda zadržava kompatibilnost sa starijom verzijom. U tabeli 2 prikazane su specifikacije USB standarda [117].

USB specifikacija - Verzije				
Verzija	Naziv	Godina uvođenja	Brzina prenosa podataka	Mogućnost napajanja
<b>USB v1.1</b>	-	1998.	12 Mbps	150 mA pri 5 V (0,75 W)
<b>USB v2.0</b>	High-Speed USB	2000.	480 Mbps	500 mA pri 5 V (2,5 W)
<b>USB v3.0</b>	SuperSpeed USB	2008.	5 Gbps	1,5 A pri 5 V (7,5 W)
<b>USB v3.1</b>	Superspeed+ USB	2013.	10 Gbps	20 A pri 5 V (100 W), 5 A pri 20V (100 W)

Tabela 2 Specifikacije USB standarda

U samom početku USB nije imao veliku primenu. Prvi uređaji koji su bili bazirani na USB 1.1 verziji bili su računarske periferije kao što su miševi i tastature koji su radili u režimu male brzine (Low Speed 1,5 Mbps). Na štampačima, skenerima i drugim zahtevnijim perifernim uređajima USB interfejs (Hi Speed 12Mbps) ugrađivan je kao opcija pored klasičnih komunikacionih interfejsa (serijski i paralelni interfejs). Definisanjem USB 2.0 verzije omasovljena je upotreba USB interfejsa na uređajima i sve više uređaja je imalo USB kao jedini komunikacioni interfejs. Povećanje maksimalne struje koju USB port može da isporuči uticalo je na to da se USB interfejs implementira i na mobilnim telefonima omogućavajući da se preko istog interfejsa vrši komunikacija i punjenje baterija mobilnih telefona. Ovim rešenjem se eliminisala upotreba različitih komunikacionih portova kao i različitih konektora za punjenje baterija mobilnih telefona što je omogućilo smanjenje dimenzija mobilnih telefona.

USB komunikacija je osmišljena tako da je jedan uređaj glavni (host) na koji se povezuju ostali uređaji (slave). Kako bi se razlikovali uređaji, USB standard je definisao različite izgledne konektora. Na glavnom uređaju koristi se tip A konektora, a na ostalim uređajima se nalazi tip B konektora. Na računarima i uređajima najčešće je u upotrebi standardna veličina konektora. Za implementaciju USB interfejsa na mobilnim telefonima i drugim uređajima manjih dimenzija definisani su USB mini i mikro konektori. Na slici 2-14 prikazni su izgledi USB konektora.



Slika 2-14 Izgled USB konektora

Najveća prekretnica u implementaciji USB interfejsa na mobilnim telefonima predstavlja definisanje USB OTG (On The Go) standarda koji dozvoljava USB uređajima dvostruku ulogu (glavni i ostali uređaji) po potrebi [118]. Ovo je omogućilo da mobilni telefoni imaju ulogu glavnog uređaja na koje mogu da se povezuju USB uređaji (miševi, tastature, prenosne USB fleš memorije, štampači, kamere itd.). Prilikom povezivanja dva USB uređaja koji podržavaju OTG standard na početku uspostavljanja veze jedan automatski postaje glavni uređaj, a drugi podređeni uređaj. Tokom razmene podataka uređaji mogu menjati uloge na osnovu HNP (Host Negotiation Protocol) protokola. Na slici 2-15 prikazana je termalna kamera Flir One Pro koja se povezuje sa mobilnim telefonom putem USB konekcije [119].





Slika 2-15 Termalna kamera Flir One Pro povezana sa mobilnim telefonom preko USB konekcije

Iako je USB komunikacioni interfejs omogućio jednostavnije povezivanje uređaja, jer istovremeno omogućava i komunikaciju sa uređajima kao i napajanje uređaja električnom energijom kroz isti kabel, USB interfejs ima i određenih nedostataka. Prvi nedostatak vezan je za postojanje velikog broja konektora. Postoje A i B tip konektora koji u zavisnosti da li se nalaze na uređaju ili kablu mogu biti u muškoj ili ženskoj izvedbi. Pored toga postoje tri veličine konektora standardna, mini i mikro veličina. Drugi nedostatak je da prilikom povezivanja konektori moraju biti odgovarajuće orijentisani. Treći nedostatak predstavlja ograničenje električne struje koju USB port može da da na izlazu (kod klasične USB komunikacije 1,5 A na 5 V, tj 7,5 W). Kako bi se eliminisali ovi nedostaci definisan je USB C tip konektora koji sve više ulazi u upotrebu (slika 2-16).



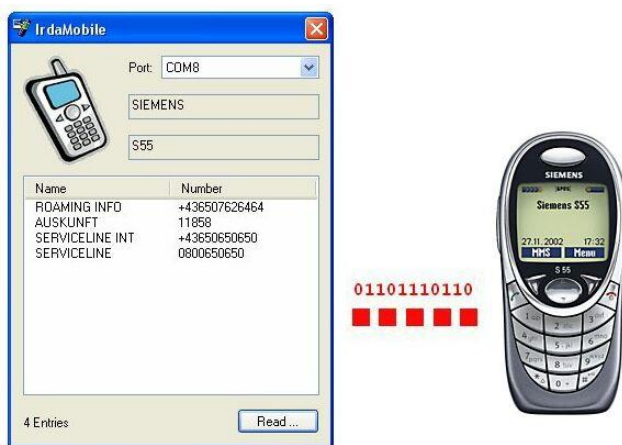
Slika 2-16 USB C kabel

Prednost USB C konektora je ta što isti tip konektora se nalazi i na glavnom i na drugim uređajima, odnosno na USB C kabele na oba kraja se nalaze dva identična konektora. Nije potrebno voditi računa o orijentaciji konektora. Ograničenje u snazi koju USB C port može isporučiti iznosi 100 W.

### **2.3.2.3 Infracrveni komunikacioni modul (InfrRed, IR)**

Kako su mobilni telefoni dobijali sve više funkcija (mogućnost fotografisanja i snimanja video zapisa, itd.) nastala je potreba za međusobnim povezivanjem mobilnih telefona sa ciljem razmene podataka. Kako je povezivanje telefona kablovima nepraktično, nastala je ideja o bežičnom povezivanju telefona. Prvi sistem za bežičnu razmenu podataka na mobilnim telefonima predstavlja sistem za razmenu podataka baziran na infracrvenoj svetlosti. Kako bi se standardizovala komunikacija pomoću infracrvene svetlosti 1993. godine oko 50 kompanija se udružuje u asocijaciju pod nazivom IrDA (Infrared Data Association) [120]. IrDA nudi specifikacije za kompletan set protokola za bežične infracrvene komunikacije, a naziv IrDA takođe se odnosi na taj skup protokola. Glavni razlog korištenja IrDA-e bio je bežični prenos podataka pomoću jednostavnog principa „usmeri i šalji podatke“. IrDa komunikacija ima veoma veliku primenu i industrijskim sistemima, jer je otporna na elektromagnetne smetnje i omogućava veoma veliku brzinu prenosa podataka. Na slici 2-17 prikazan je primer razmene

podata između aplikacije na računaru i mobilnog telefona IrDA komunikacionim interfejsom.



Slika 2-17 Primer razmene podata izmedju aplikacije na računaru i telefona IrDA komunikacionim interfejsom

Iako IrDA specifikacija definiše veliki broj protokola kod mobilnih telefona dva najkorišćenija protokola su IrCOMM (Infrared Communications Protocol) koji omogućava uređaju da emulira serijski ili paralelni port i OBEX (Object Exchange) protokol koji omogućava razmenu objekata kao što su multimedijalni fajlovi (fotografije, audio i video zapisi), vCard (virtuelna vizit karta), vCalendar kao i razmenu aplikacija.

Ovaj vid komunikacije omogućava razmenu podataka na rastojanju od 1 m u standardnoj izvedbi i do 20 cm kod uređaja male snage. Brzine komunikacija u početku su išle od 2,4 do 115,2 kbit/s, a kasnijim razvojem standardna omogućene su i brzine i do 1 Gbit/s.

Prednosti IrDA komunikacije su jednostavnost i pouzdanost, a nedostaci su potreba za postojanjem optičke vidljivosti između prijemnika i predajnika kao i mali domet. Vremenom IrDA komunikacija je u mobilnim telefonima zamenjena drugim tipovima bežične komunikacije, ali u poslednje vreme se ponovo ugrađuje u mobilne telefone, više kao marketinški trik u

formi IR blastera (samo predajnik) omogućavajući mobilnim telefonima da se koriste kao univerzalni daljinski kontroleri za uređaje u domaćinstvu (televizori, klima uređaji, itd.).

#### **2.3.2.4 Wi-Fi tehnologija**

Wi-Fi predstavlja tehnologiju bežičnog povezivanja uređaja radio talasima u nelicenciranim ISM (Industrial, Scientific, Medical) opsezima od 2,4 GHz (2,4 – 2,4835 GHz) i 5 GHz (5,725 – 5,875 GHz) [121]. Ova tehnologija omogućava kreiranje bežičnih lokalnih mreža (Wireless Local Area Network, WLAN) (slika 2-18). Proizvođači Wi-Fi opreme udruženi su u organizaciju pod nazvom Wi-Fi Alliance [122]. Wi-Fi Alliance zadužena je za promociju Wi-Fi tehnologije i interoperabilnost. Wi-Fi Alliance takođe definiše inovativne Wi-Fi tehnologije i programe bazirane na odgovarajućim standardima, vrši sertifikaciju proizvoda koji treba da zadovoljavaju standarde kvaliteta, performansi, sigurnosti i mogućnosti i na taj način osigurava globalno poštovanje pravila. Sada postoje više Wi-Fi uređaja u upotrebi nego što postoji ljudi na Zemlji, a više od polovine Internet prometa prolazi kroz Wi-Fi mreže.

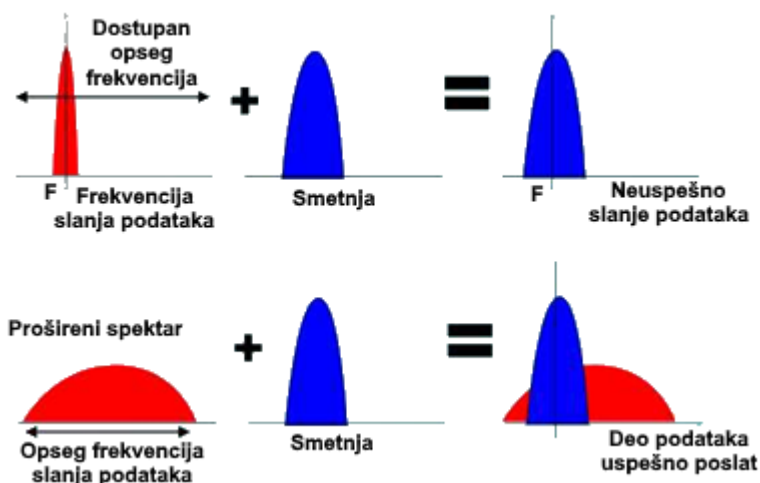


Slika 2-18 Lokalna bežična mreža (WLAN)

Iako su ranije postojali pokušaji bežičnog umrežavanja uređaja, revoluciju u bežičnom povezivanju uređaja omogućili su uređaji bazirani na standardu 802.11 koji definisan je od strane IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) instituta [123], [124]. 802.11 nije pojedinačna specifikacija, već predstavlja skup specifikacija koje se stalno razvijaju i nadograđuju sa nazivima poput 802.11a, 802.11b, 802.11g i tako dalje. U početku izraz Wi-Fi se odnosio samo na sisteme zasnovane na 802.11b specifikaciji, ali je u međuvremenu odlučeno da se bilo koji uređaj 802.11x specifikacije može nazvati Wi-Fi uređajem čak i ako neke Wi-Fi 802.11x specifikacije nisu međusobno kompatibilne.

Veliki problem bežičnog umrežavanja, tj. bilo koje bežične tehnologije za komunikaciju, jeste efikasno korišćenje raspoloživog raspona radio frekvencija. Iako svaki od standarda bežičnog umrežavanja koristi različite tehnike kako bi se to postiglo, svi oni dele zajednički pristup – prošireni spektar (spread spectrum). Osnovna tehnika komunikacije radio talasima je da predajnik i prijemnik rade na istoj frekvenciji kreirajući jedinstven komunikacioni kanal između uređaja koji razmenjuju podatke. Međutim, umrežavanje uređaja ne zahteva poseban kanal između svakog para uređaja, jer svaki uređaj treba da prenese podatke samo kada ima spreman paket podataka za slanje drugom uređaju. To omogućuje zajedničko korišćenje jednog komunikacionog kanala za više uređaja. Žičane i bežične mreže koriste CSMA (Carrier Sense Multiple Access) tehniku, što znači da svaki uređaj pre slanja paketa sa podacima osluškuje komunikacioni kanal da vidi da li drugi uređaj šalje podatke. CSMA tehnika bi bila dovoljna ako nije bilo dodatnog problema svojstvenog korišćenju komunikacije radio talasima, a to je interferencija usled drugih uređaja koji rade na istoj frekvenciji. Radio talasi nisu poput signala u mrežnom kabeu, oni se šire, odbijaju se od raznih prepreka i stvaraju ih drugi izvori. Na primer, WiFi mreže koriste ISM opseg od 2,4 GHz koji takođe koriste drugi uređaji kao što Bluetooth komunikacioni moduli, mikrotalasne pećnice, daljinski uređaji za kapije i garažna vrata, itd.

Najjednostavnije rešenje za pouzdan prenos podataka je dodeljivanje komunikacionog kanala za svaki uređaj, ali to je neefikasno jer će većina frekventnog prostora biti neiskorišćena većinu vremena. Bolji način deljenja frekventnog opsega jeste tehnika proširenog prenosa podataka preko svih frekvencija - prošireni spektar. Prenosjenjem podataka preko opsega frekvencija, smetnja na odabranim frekvencijama samo narušava deo komunikacije i to se može otkriti, a izgubljeni podaci mogu se ponovo poslati (slika 2-19). Ako su podaci koncentrisani u jednoj frekvenciji onda smetnje mogu uzrokovati potpuni gubitak podataka. Prenosom podataka preko niza frekvencija deo podataka će sigurno biti uspešno prenet.



Slika 2-19 Uticaj interferencija na slanje podataka

Najjednostavnija metoda proširenog spektra je skakanje frekvencija (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) gde predajnik i prijemnik menjaju frekvencije po unapred definisanoj sekvenci bar dva puta u sekundi. Izvorna 802.11 specifikacija koristila je FHSS metodu ili, kao alternativu, nešto napredniju metodu proširenog spektra direktnom sekvencom (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) koja koristi matematičke funkcije za prenos podataka preko niza frekvencija [125], [126]. U teoriji DSSS metoda omogućava bolje iskorišćenje propusne širine kanala, a samim tim i veću

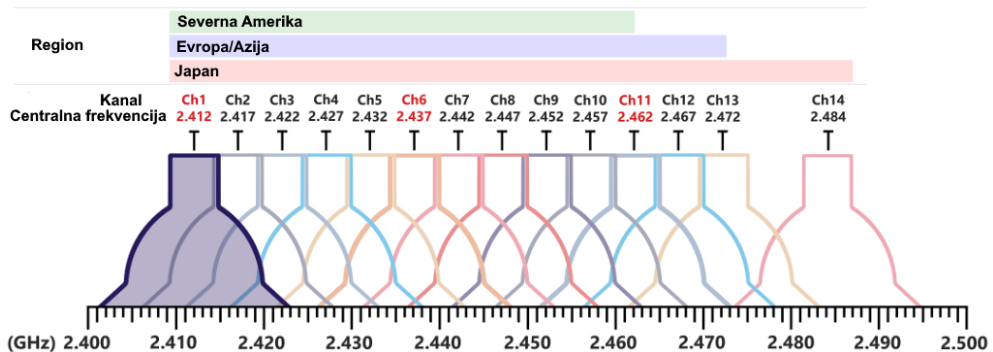
brzinu prenosa podataka, ali je implementacija složenija i skuplja. 802.11b WiFi specifikacija koristi DSSS metodu u ISM opsegu od 2,4 GHz i postiže brzinu prenosa podataka od 11 Mbps u poređenju sa 2 Mbps koju postiže DSSS metoda u izvornoj 802.11 Wi-Fi specifikaciji. 802.11a Wi-Fi specifikacija koristi veći frekvencijski raspon, ISM opseg od 5 GHz, i koristi još napredniju tehniku proširenog spektra, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [127]. U principu veća frekvencija znači i višu brzinu prenosa podataka, a 802.11a postiže brzine i do 54 Mbps, ali postoje nedostaci. Viša frekvencija ne putuje toliko daleko i zahteva više energije za slanje podataka. 802.11g Wi-Fi specifikacija uvodi OFDM u ISM opseg od 2,4 GHz bez gubitka brzine. 802.11n Wi-Fi specifikacija dodaje više antena za poboljšanje upravljanja signalom i smanjenje smetnji i teoretski omogućava brzine prenosa i do 600 Mbps. U tabeli 3 dat je uporedni prikaz 802.11 standarda [128].

Standard	Frekvencija [GHz]	Širina kanala [MHz]	Modulacija	Brzina prenosa podataka
802.11	2,4	20	DSSS, FHSS	2 Mbit/s
802.11b	2,4	20	DSSS	11 Mbit/s
802.11a	5	20	OFDM	54 Mbit/s
802.11g	2,4	20	DSSS, OFDM	54 Mbit/s
802.11n	2,4 i 5	20 i 40	OFDM	600 Mbit/s

Tabela 3 Uporedni prikaz 802.11 standarda

Najpopularniji standardi za bežičnu komunikaciju koriste ISM frekventni opseg od 2,4 GHz i dele ga na isti način i koriste jednu od metoda proširenog spektra kako bi ga podelili. Wi-Fi specifikacija ISM opseg od 2,4 GHz deli na 14 kanala čije su centralne frekvencije razdvojene za po 5 MHz. U Severnoj Americi je dostupno samo prvih 11 kanala, u Evropi i Aziji je dostupno prvih 13 kanala, dok je u Japanu moguće koristiti svih 14 kanala. Kada se uspostavlja WLAN bežična mreža podešava se kanal na kom će

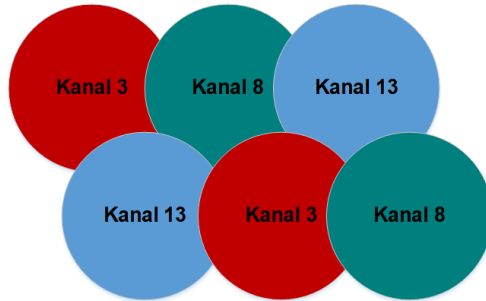
raditi. Iako kanali mogu biti odvojeni samo za 5 MHz, širina svakog kanala je 20 MHz (slika 2-20).



Slika 2-20 Raspored kanala u WLAN mreži

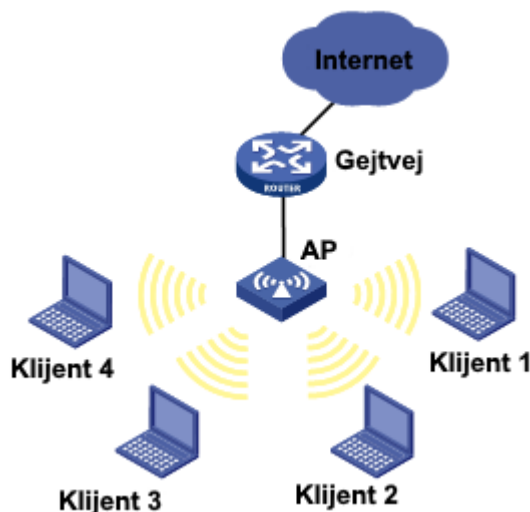
Analizom slike 2-20 može se primetiti da postoji preklapanje kanala, kao posledica toga što je razmak između centralnih frekvencija kanala manji od širine kanala. Ukoliko dve bliske WLAN mreže (na primer u istoj zgradi) rade na bliskim kanalima, obe mreže će koristiti frekvencije koje se preklapaju. Bez tehnika proširenog spektra ove dve mreže uopšte ne bi funkcionisale. Međutim, u mnogim slučajevima dve takve mreže mogu funkcionisati deleći isti frekventni opseg korišćenjem metoda proširenja spektra, ali uz smanjenu brzinu prenosa podataka. Da bi se izbegli ovi problemi, bežične mreže koje se nalaze unutar dometa drugih mreža trebaju biti postavljene na nepreklapajuće kanale, na primer kanali 1, 6 i 11. Kombinacije kanala koje se nepreklapaju su i {2,4,12}, {3,8,13}, {4,9,14} i {5,10,14}. Ponavljanjem uzorka mogu se pokriti velika područja s bežičnim mrežama bez ometanja (Slika 2-21).





Slika 2-21 Primer pokrivanja većeg područja WLAN mrežama bez ometanja

Uz radio vezu, kao dela bežičnog umrežavanja, postoji i mogućnost integrisanja bežičnih mreža sa žičanim mrežama. Za to se koriste AP (Access Point) uređaji. AP je samostalan uređaj koji ne zahteva računar za rad. AP je master uređaj i upravlja svim prenosima podataka unutar mreže. AP poseduje algoritme upravljanja i prenosi posebne upravljačke pakete svojim klijentima kako bi se najbolje iskoristila dostupna širina opsega kanala. AP se takođe spaja na žičanu mrežu i deluje kao most između žičane i bežične mreže koji prenosi pakete podataka u oba smera (slika 2-22). Dva AP-a nikada ne komuniciraju jedan sa drugima putem bežične veze i uvek razmenjuju podatke međusobno putem žičane mreže.



Slika 2-22 AP kao most između žičane i bežične mreže

Za ralikom od žičanih mreža, bežične mreže imaju dodatni problem vezan za sigurnost i bezbednost podataka, jer se podaci emituju radio talasima. Sigurnost u obliku privatnosti ekvivalentne žičanoj (Wired Equivalent Privacy, WEP) dizajnirana je u svim standardima kako bi, kako njeno ime sugerise, učinile bežičnu mrežu sigurnijom kao što je i žičana mreža. Za bezbednost WiFi mreže postoje i dodatni protokoli kao što su WPA (WiFi Protected Access) i WPA2 protokoli.

WLAN mreže zbog svojih prednosti koje se ogledaju u dometu, brzini prenosa podataka, kao i bezbednosti, pored primene u kućama, hotelima, kafićima za pristup Internetu i lokalnoj mreži, imaju sve veću primenu i u industrijskim sistemima za potrebe umrežavanja mašina i opreme kako u lokalnim mrežama tako i u omogućavanju komunikacije između mašina i opreme putem Interneta [129]–[131]. WiFi tehnologije predstavljaju i jedan od često korišćenih komunikacionih tehnologija za komunikaciju komponenti u okviru koncepta Interneta stvari [132].

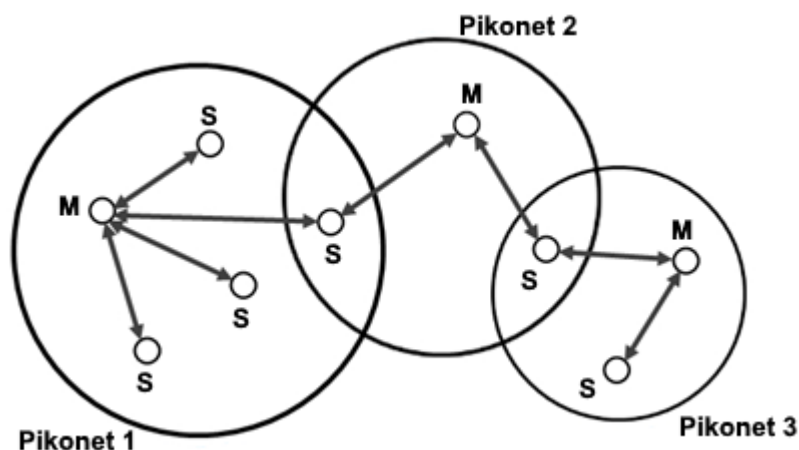
### **2.3.2.5 Bluetooth tehnologija**

Bluetooth tehnologija osmišljena je sa ciljem zamene komunikacionih kablova ekonomičnom metodom bežične komunikacije. Bluetooth SIG Inc. je organizacija koja ima više od 17.000 kompanija članica koje zajednički razvijaju Bluetooth standarde [133]. Na tržištu Bluetooth uređaja proizvođači moraju biti članovi SIG-a i njihovi proizvodi moraju proći određene testove kako bi se utvrdilo da li zadovoljavaju Bluetooth standarde (Bluetooth Qualification Program).

Bluetooth predstavlja tehnologiju radio veze kratkog dometa između mobilnih uređaja, čije su ključne osobine robustnost, mala potrošnja i niska cena što je omogućilo da Bluetooth tehnologija bude jedna od najčešće implementiranih bežičnih komunikacionih tehnologija u mobilnim uređajima

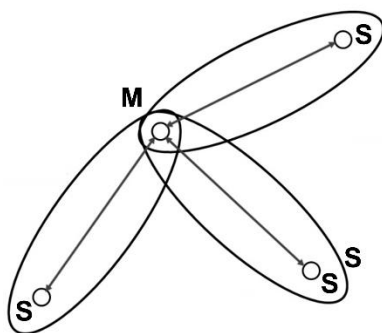
[134]. Bluetooth radi u globalnom nelicenciranom ISM radio frekventnom opsegu od 2,4 GHz. Iako je tokom razvoja usvojeno više verzija standarda Bluetooth tehnologije danas se najčešće mogu naći verzija v2.1+EDR (Enhanced Data Rate), usvojena 2007. godine, koja je omogućila veću propusnu moć protoka podataka, i Bluetooth verzija v4.0, usvojena 2010. godine, čija je glavna karakteristika veoma niska potrošnja energije (Bluetooth Low Energy, BLE), odnosno mogućnost brzog kreiranja jednostavnih konekcija i duži rad baterijski napajanih uređaja.

Iako je BLE nasledio nekoliko klasičnih karakteristika klasične Bluetooth tehnologije, sa aspekta tehnologije i implementacije veoma se razlikuju. Klasična Bluetooth specifikacija definiše jedinstvenu strukturu za širok raspon uređaja koji se međusobno povezuju [135], [136]. Bluetooth funkcioniše primarno pomoću ad-hoc pikoneta (piconet). Glavni uređaj (master) upravlja do sedam klijent uređaja (slave) u okviru pikoneta. Piconet u osnovi predstavlja skup uređaja povezanih putem Bluetooth veze. Klijenti (S) komuniciraju s glavnim uređajem (M), ali međusobno ne komuniciraju. Međutim, klijent uređaj može učestvovati u jednom ili više pikoneta. Više povezanih pikoneta sačinjava "scatternet", što je prikazano na slici 2-23.



Slika 2-23 Bluetooth uređaji povezani u okviru pikonet i skaternet mreže

U BLE topologiji [137], svaki klijent komunicira na zasebnom fizičkom kanalu sa glavnim uređajem. Za razliku od klasičnog Bluetooth pikoneta, gde svi klijenti oslušuju dolazne konekcije i moraju biti stalno u stanju pripravnosti, BLE klijent inicira konekciju i tako kontroliše kada trošiti energiju. BLE glavni uređaj (M), za koji se pretpostavlja da ima manje ograničenje u potrošnji energije, oslušuje oglašavanje klijent uređaja (S) i uspostavlja konekciju što je prikazano na slici 2-24.



Slika 2-24 Konekcija između glavnog uređaja i klijenata u BLE topologiji

Prilikom implementacije današnjih Bluetooth uređaja postoje dve mogućnosti implementacije uređaja:

- Jednostruki način rada: ovakvi uređaji poseduju isključivo ili klasičnu Bluetooth komunikaciju ili BLE (Bluetooth Smart) komunikaciju, i mogu komunicirati samo sa uređajima istog tipa;
- Dvostruki način rada: uređaji s dvostrukim načinom rada, takođe su poznati kao Bluetooth Smart Ready uređaji, uključuju i klasičnu Bluetooth komunikaciju kao i BLE komunikaciju.

Da bi dva Bluetooth uređaja bila kompatibilna, tj. da bi mogla komunicirati međusobno moraju podržavati iste profile (servise). Profili su definicije mogućih aplikacija i određuju opšte ponašanje koje Bluetooth uređaji koriste za komunikaciju s drugim Bluetooth uređajima [138]–[140]. Profili se temelje na Bluetooth standardu kako bi jasnije odredili kakve podatke Bluetooth modul šalje. Bluetooth profili obično sadrže informacije poput zavisnosti od

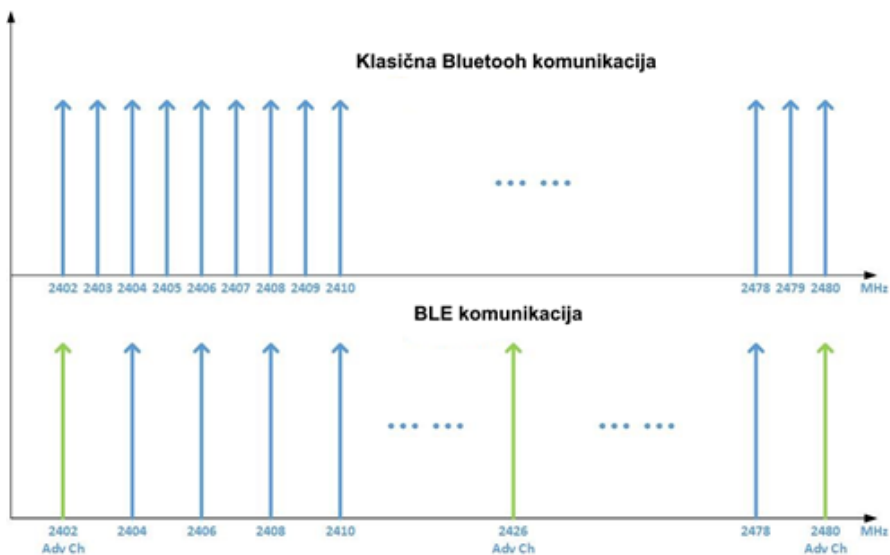
drugih profila i predloženim formatima korisničkog interfejsa. Kompatibilnost između klasične Bluetooth komunikacije i BLE komunikacije zahteva implementaciju dvostrukog načina rada bar na jednom uređaju (slika 2-25).



Slika 2-25 Omogućavanje razmene podataka između klasične Bluetooth komunikacije i BLE komunikacije

Za Bluetooth komunikaciju postoji veliki broj usvojenih Bluetooth profila koji opisuje mnoge različite, najčešće korištene aplikacije. Primeri Bluetooth profila su: Advanced Audio Distribution Profile (A2DP) koji definiše prenos audio signala sa jednog na drugi Bluetooth uređaj, Audio/Video Remote Control Profile (AVRCP) koji definiše standardni interfejs za upravljanje televizorima i Hi-Fi uređajima, Basic Imaging Profile (BIP) koji definiše način razmene slika između uređaja i uključuje mogućnost konverzije slika i promene dimenzija slika kako bi bile prikladne za uređaj koji ih prima, Basic Printing Profile (BPP) za slanje teksta, slika i drugih podataka za štampanje na štampačima, Health Device Profile (HDP) za komunikaciju sa medicinskim uređajima. Pored ovih profila postoje mnogi drugi profili [138], [139]. Za razliku od klasičnog Bluetooth-a gde se mogu koristiti isključivo usvojeni Bluetooth profili, BLE nudi fleksibilnost u korišćenju sveobuhvatnog skupa prihvaćenih profila ili može da se koristi Generic Attribute Profile (GATT) za kreiranje novih profila. Ta fleksibilnost pomaže u razvoju novih inovativnih aplikacija koje održavaju interoperabilnost s drugim Bluetooth uređajima.

Kako bi se otklonile potencijalne smetnje od uređaja koji rade na istoj frekvenciji (Wi-Fi, ZigBEE, mikrotalasne pećnice, itd.), Bluetooth koristi tehniku skakanja frekvencija Frequency Hopping Code Division Multiple Access (FH-CDMA) [134], [141]. ISM radio opseg 2,4 GHz koristi opseg frekvencija od 2402 MHz do 2480 MHz. Kod klasične Bluetooth komunikacije ovaj opseg podjeljen je na 79 kanala širine po 1 MHz, pri čemu se svaki novi kanal odabira svakih 625  $\mu$ s (1600 puta u sekundi). BLE isti frekvencijski opseg deli na 40 kanala širine po 2 MHz sa istom učestanošću promene kanala, tj. 1600 puta u sekundi. Svaki par uređaja za komunikaciju ima sopstvenu pseudo-slučajnu šemu promene kanala, koja se određuje tokom početnog povezivanja uređaja i koja je odabrana tako da se izbegnu smetnje u komunikaciji. U okviru pikoneta svi uređaji usklađuju svoje frekvencije prema glavnom uređaju. Promena kanala, tj. skakanje frekvencija, smanjuje potencijalne greške u Bluetooth komunikaciji izazvane drugim radio-baziranim sistemima komunikacije kao i drugim izvorima smetnji. Pored ovoga Bluetooth koristi i tehniku adaptivnog skakanja fekvencija (Adaptive Frequency Hopping, AFH) koja detektuje potencijalne smetnje po kanalima. Na primer, ukoliko neki drugi komunikacioni sistem prenosi podatke na istom komunikacionom kanalu, kanal se dodaje na listu zabranjenih kanala. Posle određenog vremena ponovo se pokušava komunikacija na zabranjenim kanalima ukoliko je bila u pitanju privremena smetnja. Adaptivno skakanje frekvencija sprečava Bluetooth komunikaciju da ometa druge komunikacione sisteme koji rade na istoj frekvenciji. Na slici 2-26 prikazan je spektar kanala klasične Bluetooth i BLE komunikacije.



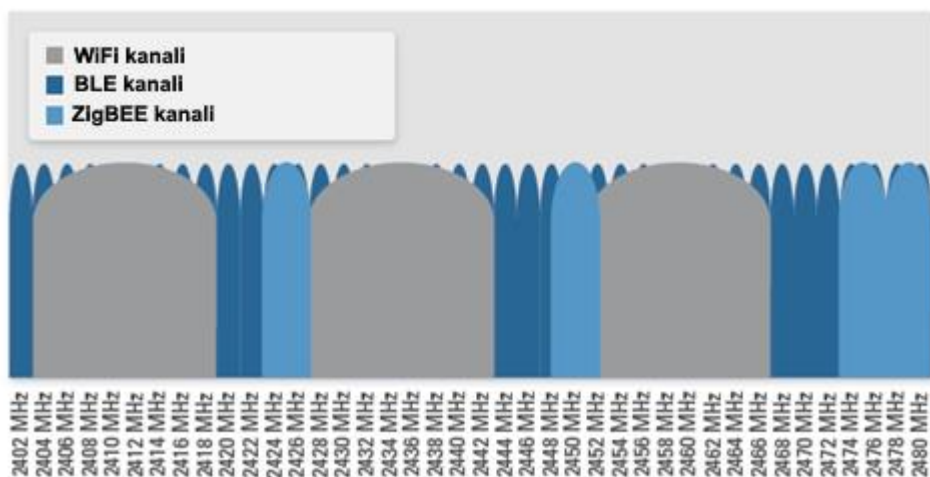
Slika 2-26 Spektar kanala klasične Bluetooth komunikacije

Bluetooth podržava unapred ispravljanje grešaka (Forward Error Correction, FEC) i ponovni prenos paketa. Neispravna Bluetooth konekcija (usled slabijeg signala, veće udaljenosti uređaja) može dovesti do povećane učestanosti pojave grešaka u prenetim podacima. U okviru FEC paketa prenose se dodatne informacije, koje prijemnik može koristiti za korekciju neispravnih paketa. FEC smanjuje učestalosti pojave grešaka u prenosu podataka. Zatim se primenjuje šema ponovnog slanja paketa u okviru automatskog ponavljanje zahteva (automatic repeat request, ARQ) gde se svaki paket proverava zbog potencijalnih grešaka. Ponovni prenos paketa se obavlja ako su paketi izgubljeni ili nije potvrđen njihov prijem. Ovi postupci omogućavaju siguran prenos podataka.

Budući da Bluetooth podržava pakete sa i bez FEC-a, moguće je konfigurisati vezu za odabir paketa samo s FEC-om. Broj ponovljenih prenosa takođe utiče na veličine paketa koji se koriste. U nekim okruženjima i aplikacijama može biti efikasnije obezbediti prenos malih paketa. Zbog svojih karakteristika, kao što su pouzdanost i robustnost, Bluetooth tehnologija ima

veliku primenu i u industrijskim sistemima. Otporna je na interferencije koje mogu nastati u industrijskim sistemima zbog visokonaponskih vodova, uređaja za zavarivanje, elektromagnetnih polja elektromotora i mnogih drugih. Interferencije koje mogu nastati usled drugih komunikacionih sistema koji rade u istom ISM radio opsegu od 2,4 GHz takođe imaju mali uticaj na pouzdanost Bluetooth komunikacije, tj. omogućena je koegzistencija sa drugim komunikacionim tehnologijama. Primer još jedne tehnologije koja radi u ISM radio opsegu od 2,4 GHz je ZigBEE tehnologija. ZigBEE je tehnologija koja je takođe definisana IEEE standardom (IEEE 802.15.4). ZigBEE tehnologija podrazumeva komunikaciju koja se može ostvariti preko 16 kanala, svaki je širok 5 MHz i radi s DSSS-om. Moguće je paralelno koristiti Wireless LAN, Bluetooth i ZigBEE tehnologije, iz razloga što postoji prostor za manji broj ZigBEE kanala između tri nepreklapajuća bežična LAN kanala kako bi se dobila konfiguracija bez smetnji, a ima i dovoljno prostora za veliki broj Bluetooth kanala. Moguće je i unapred odabrati kanale koji se ne smeju koristiti (lista zabranjenih kanala) kako bi se izbegle smetnje kod drugih bežičnih sistema koji se koriste u istom prostoru. Na slici 2-27 dat primer rasporeda kanala u ISM radio opsegu kako bi se obezbedio nesmetan rad Wi-Fi, BLE i ZigBEE komunikacionih tehnologija u okviru istog prostora.

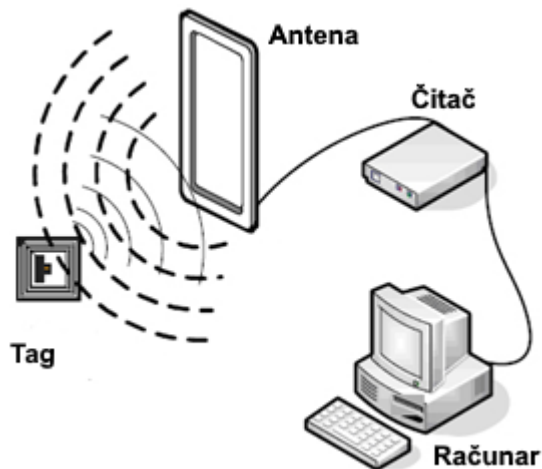




Slika 2-27 Primer rasporeda kanala u ISM radio opsegu kako bi se obezbedio nesmetan rad Wi-Fi, BLE i ZigBEE komunikacionih tehnologija u okviru istog prostora.

### 2.3.2.6 NFC tehnologija

NFC je tehnologija bežične komunikacije kratkog dometa bazirana na RFID tehnologiji. Po definiciji, RFID je metoda jedinstvenog prepoznavanja objekata pomoću radio talasa [58], [142]–[144]. RFID sistem u osnovi sadrži tag (elektronska oznaku), čitač i antenu. Čitač šalje komande tagu putem antene, a tag na osnovu komande vraća odgovor čitaču (slika 2-28). Odgovor od strane taga može biti UID-jedinstvena identifikaciona oznaka taga ili podaci koji se nalaze u memoriji taga.



Slika 2-28 Primer RFID sistema

RFID tagovi mogu biti aktivni ili pasivni. Aktivni RFID tagovi sadrže sopstveni izvor energije (baterijsko napajanje), dajući im mogućnost emitovanja signala sa rasponom čitanja do 100 metara. Njihov veliki domet čitanja čini aktivne RFID tagove idealnim za mnoge industrijske primene, gde je važno lociranje predmeta i druga poboljšanja u logistici. Pasivni RFID tagovi nemaju vlastiti izvor energije. Umesto toga, oni se napajaju energijom elektromagnetnog polja koju prenosi RFID čitač putem antene. Budući da radio talasi moraju biti dovoljno snažni da bi mogli napajati tagove, pasivni RFID tagovi imaju domet čitanja od bliskog kontakta do 25 metara. Pasivni RFID tagovi rade prvenstveno u tri frekventijska područja: niska frekvencija (Low Frequency, LF) 125-134 kHz, visoka frekvencija (High frequency, HF) 13,56 MHz i ultra visoke frekvencije (Ultra High Frequency, UHF) od 856 MHz do 960 MHz. Veliki nedostatak RFID tehnologije vezan je za bezbednost podataka [145], [146].

NFC uređaji rade na istoj frekvenciji (13,56 MHz) kao i HF RFID čitači i tagovi [59]–[61], [147]. Kao fino obrađena verzija HF RFID-a, NFC uređaji iskoristili su ograničenja kratkog dometa čitanja ove radio frekvencije. Budući da NFC uređaji moraju biti u neposrednoj blizini, obično ne više od nekoliko centimetara, NFC je postao popularan izbor za sigurnu komunikaciju između

potrošačkih uređaja kao što su pametni telefoni [148]. NFC nadopunjuje mnoge popularne bežične tehnologije, koristeći ključne elemente postojećih standarda za tehnologije beskontaktnih kartica (ISO/IEC 14443A, ISO/IEC 14443B, JIS-X 6319-4 i ISO 15693). NFC može biti kompatibilan sa postojećom infrastrukturom beskontaktnih kartica i omogućava potrošaču korišćenje jednog uređaja u različitim sistemima. NFC uređaji mogu čitati pasivne NFC tagove, a neki NFC uređaji mogu čitati pasivne HF RFID tagove koje su u skladu sa ISO 15693 standardom.

Proširivanje mogućnosti tehnologije beskontaktnih kartica, NFC omogućava uređajima da dele informacije na udaljenosti manjoj od 4 centimetra s maksimalnom brzinom komunikacije do 424 kbps. Korisnici mogu podeliti poslovne kartice, izvršiti transakcije, pristupiti informacijama iz pametnog postera ili osigurati kredencijale za sisteme kontrole pristupa jednostavnim dodiranjem NFC taga sa čitačem.

Za razliku od RFID tehnologije u kojoj postoji jasna granica između čitača i tagova kod NFC tehnologije uređaji mogu biti pasivni i aktivni.

Za izradu pasivnih NFC tagova koriste se pasivni NFC čipovi. Za rad pasivnih NFC tagova nije potrebno eksterno napajanje. NFC čitači elektromagnetnom indukcijom generišu energiju potrebnu za rad pasivnih tagova. Primer pasivnih NFC tagova su beskontaktna platna kartica. Da bi pasivni tag mogao raditi potrebno je da bude napajan od strane NFC čitača.

Za izradu aktivnih NFC tagova koriste se aktivni NFC čipovi. Aktivnim NFC čipovima potrebno je obezbediti napajanje. Najčešće aktivni NFC čipovi se integrišu u veći sistem kao što je npr. mobilni telefon. Da bi aktivni čipovi funkcionisali potrebno je da dobiju instrukcije od nadređenog uređaja ili aplikacije.

Aktivni NFC čip podržava tri različita moda rada:

1) Mod čitanja/pisanja

U ovom modu aktivni uređaji rade kao NFC čitači, odnosno mogu i da čitaju informacije sa pasivnog taga ili da upisuju podatke na pasivan tag.

2) Emulacija taga

U ovom modu aktivni uređaj emulira tag, odnosno NFC čitač upisuje i čita podatke iz aktivnog uređaja kao sa pasivnog NFC taga.

3) Peer-to-peer

U ovom modu rada omogućena je direktna razmena podataka između dva aktivna NFC uređaja. Ovakav način rada najčešće se primenjuje za razmenu podataka između dva telefona. Ukoliko se radi o manjoj količini podataka razmena podatak se vrši direktno NFC tehnologijom. Ukoliko treba da se razmeni veća količina podataka pomoću peer-to-peer konekcije uspostavlja se veza preko neke od brzih komunikacionih tehnologija (Wi-Fi ili Bluetooth) bez potrebe da korisnik podešava parametre veze, a zatim se podaci razmenjuju preko konekcije ostvarene nekom bržom tehnologijom.

Na slici 2-29 prikazan je mobilni telefon sa sva tri moda rada NFC modula.



Slika 2-29 Mobilni telefon sa NFC tehnologijom i sva tri moda rada

### 2.3.3 Primena mobilnih telefona

Danas se mobilni telefoni pored oblasti telekomunikacije (pozivi, poruke) primenjuju i u drugim oblastima kao što su zabava, medicina, saobraćaj, turizam, obrazovanje, i mnoge druge oblasti zahvaljujući ugrađenim senzorskim i komunikacionim modulima kao i zbog mogućnosti implementacije namenskih aplikacija, odnosno mogućnosti implementacije raznih algoritama obrade podataka. Kao uređaji zabavnog karaktera mobilni telefoni mogu da se koriste za igranje video igrica, slušanje muzike, kao i gledanje filmova. U medicinske svrhe, mobilni telefon može komunicirati sa različitim sensorima kao što su ECG (Electrocardiogram) senzor, senzor krvnog pritiska, može beležiti podatke, analizirati ih ili slati doktoru [149], [150]. Mobilni telefoni se mogu koristiti kao detektori aktivnosti korišćenjem ugrađenog ili spoljašnjeg akcelerometra, pedometra, čime se može pratiti stanje organizma (puls, krvni pritisak) u zavisnosti od aktivnosti (šetnja, trčanje, itd.) [151], [152]. Pomoću akcelerometra je moguće detektovati pad, na primer starijih osoba i aktivirati alarm kako bi se obavestili negovatelji

[153], [154]. U obrazovanju mobilni telefoni imaju primenu u okviru koncepta mobilnog učenja [155], [156].

U poslednje vreme javlja se trend da se klasični mobilni telefoni uvedu u upotrebu i u sistemima industrijske automatizacije [157], gde koncepti BYOD i COTS mogu imati veliki značaj. Konceptom BYOD dozvolilo bi se zaposlenima da po potrebi koriste svoje telefone ili tablet uređaje u zadacima vezanim za nadzor i održavanje postrojenja. Koncept COTS bi omogućio primenu postojećih mobilnih telefona i tablet uređaja za komunikaciju sa industrijskim postrojenjem i mobilnim nadzornim sistemom sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari, tamo gde je to prihvatljivo, u sistemima gde se ne javljaju teški radni uslovi kao što su rudnici (prašina, vlaga), gde se ne zahteva posebna oprema (postojanje eksplozivnih gasova). Mobilni telefoni su dobar primer COTS proizvoda. Postojeći mobilni telefoni imaju prihvatljivu cenu, lako su dostupni na tržištu (u slučaju otkaza ili oštećenja lako je izvršiti servisiranje ili zamenu telefona novim uređajem), imaju integrisan veliki broj standardizovanih senzorskih i komunikacionih modula omogućavajući im interoperabilnost sa drugim mobilnim telefonima, kao i različitim komunikacionim infrastrukturama. Zbog pritiska konkurencije novi telefoni dobijaju česta ažuriranja softvera postojećih uređaja ili izbacivanje novih uređaja sa novim funkcionalnostima, troškovi obuke radnika su niski, jer veliki broj ljudi svakako koristi mobilne telefone i tablet uređaje.

## **2.4 Koncept proširene realnosti**

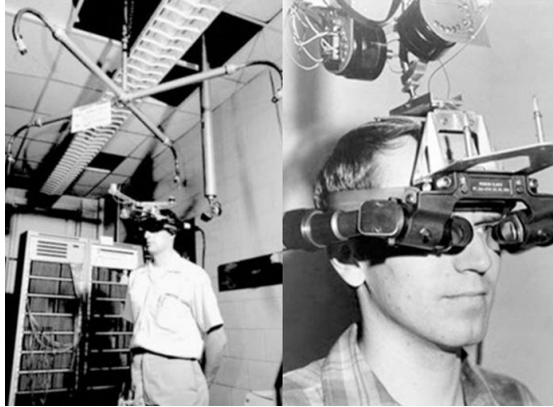
Proširena realnost (*eng. Augmented Reality, AR*) predstavlja koncept koji (u realnom vremenu) omogućava da se informacijama iz stvarnog sveta pridruže računarski generisani podaci (slike, tekst, itd.) koji se, objedinjeni u jednu celinu, prikazuju korisniku na ekranima računara ili mobilnih telefona, omogućavajući da se korisnikova percepcija realnog sveta proširi dodatnim informacijama. Proširena realnost predstavlja kombinaciju stvarnog i virtuelnog sveta i na slici 2-30 može se videti položaj proširene realnosti u kontinuumu stvarnosti i virtualnosti [158].



Slika 2-30 Kontinuum stvarnosti i virtualnosti

Na jednom kraju kontinuumu stvarnosti i virtualnosti nalazi se potpuno realno okruženje. Na drugom kraju kontinuumu stvarnosti i virtualnosti nalazi se potpuno virtualno okruženje (svi elementi računarski generisani). Između dve krajnosti nalazi se miksovana realnost koja predstavlja kombinaciju realnog i virtuelnog okruženja u određenom odnosu. Proširena realnost predstavlja prikaz stvarnog sveta u koji se ubacuju virtuelni elementi, odnosno u kontinuumu stvarnosti i virtualnosti ona je bliža realnom okruženju. Primer miksovane realnosti predstavlja i proširena virtualnost koja u virtualno okruženje ubacuje elemente realnog okruženja, i u kontinuumu stvarnosti i realnosti se nalazi bliže virtualnom okruženju.

Dizajniranjem HMD (Head Mounted Display) uređaja Ivan Sutherland postao je začetnik ideje proširene realnosti. HMD uređaj je omogućavao korisnicima da vide računarski generisane slike izmešane sa stvarnim objektima (Slika 2-31) [159]. Američka vojna industrija je kroz razne projekte nastavila njegov rad (jedan od projekata bio je prikaz određenih podataka vojnim pilotima). Tokom 90-ih godina prošlog veka Sutherlandova ideja postala je osnova razvoja i civilnih projekata.



Slika 2-31 Ivan Sutherland - HMD sistem

Termin "Augmented Reality" ili proširena realnost je prvi put upotrebljen 1990. godine od strane Boingovog razvojnog tima [27], kroz razvoj sistema za pomoć radnicima u proizvodnji zaduženim za razvod kablova kako bi se eliminisala upotreba složenih planova i dijagrama. Kao rezultat istraživanja realizovan je uređaj koji je korisnicima ispisivao podatke i instrukcije o kablovima i na taj način olakšavao i ubrzavao rad u proizvodnji.

Iako je proširena realnost bila atraktivan koncept, nikad nije doživela široku komercijalnu upotrebu zbog tehnoloških ograničenja. Hardverska oprema potrebna za realizaciju proširene realnosti, kao što su računari, kamere i displeji, bila je preglomazna čineći da sistemi za proširenu realnost budu nepraktični. Sa druge strane postojeća tehnologija omogućavala je da se kroz koncept proširene realnosti stimulišu samo čula vida (primenom kamera i ekrana) kao i čulo sluha (primenom mikrofona i zvučnika). Napretkom mobilnih tehnologija realizovani su mobilni telefoni koji su uređaji malih dimenzija u koje je ugrađen veoma veliki broj funkcionalnosti kao što su brzi procesori, relativno veliki ekrani, kamere, razni senzorski moduli, što je dovelo do ekspanzije u razvoju koncepta proširene realnosti kao i veoma velikog broja aplikacija koje su implementirale koncept proširene realnosti. U poslednje vreme napredak tehnologije omogućava i stimulaciju ostalih čula, kao što je čulo dodira omogućavajući korisnicima da čulom dodira osele virtuelne objekte [160]–[162] i manipulišu virtuelnim objektima. Postoje i



određeni napreci i u tehnologijama koje će omogućiti i stimulaciju čula ukusa i mirisa [163].

U zavisnosti od načina realizacije sistema proširene realnosti ovi sistemi mogu biti:

- Sistemi proširene realnosti zasnovani na markerima;
- Sistemi proširene realnosti bez markera;
- Sistemi proširene realnosti zasnovani na projekciji;
- Sistemi proširene realnosti zasnovani na superimpoziciji.

Proširena realnost zasnovana na markerima (takođe poznata i kao prepoznavanje slike) [164], [165] koristi kameru i neku vrstu vizuelnog markera (slika, 2D barkod, itd.). Proširena realnost prikazuje se samo onda kada je marker detektovan i prepoznat. Aplikacije koriste ugrađene kamere na uređajima kako bi detektovale marker i razlikovale ga od bilo kog drugog stvarnog objekta. Kao markeri se koriste različiti, ali jednostavni obrasci (kao što je slika, 2D barkodovi, itd.), zbog lakše detekcije i manje procesorske snage potrebne za obradu slike markera. Obradom slike markera pored detekcije i prepoznavanja markera, dodatno se izračunava položaj i orijentacija markera, a zatim se određeni tip sadržaja i/ili informacija prikazuje na ekranu uređaja preko prepoznatog markera. Na slici 2-32 predstavljen je primer proširene realnosti zasnovane na markeru [166].



Slika 2-32 Primer proširene realnosti zasnovane na markeru

Sistemi proširene realnosti bez markera poznati su kao i sistemi proširene realnosti zasnovani na lokaciji, zasnovani na poziciji ili zasnovani na GPS-u. Ovi sistemi koriste podatke dobijene sa senzora ugrađenih u uređaje (GPS prijemnik, akcelerometar, digitalni kompas) kako bi se odredila pozicija i orijentacija uređaja a zatim na osnovu pozicije i orijentacije prikazuju se informacije o okruženju. Na slici 2-33 prikazan je primer proširene realnosti zasnovan na lokaciji [167].



Slika 2-33 Primer proširene realnosti zasnovane na lokaciji

Sistemi proširene realnosti zasnovani na projekciji koriste princip projektovanja računarski generisanih slika i sadržaja na stvarne objekte (slika 2-34) [168].



Slika 2-34 Primer proširene realnosti zasnovane na projekciji

Sistemi proširene realnosti zasnovani na superimpoziciji baziraju se na prepoznavanju oblika objekata, a zatim delimično ili potpuno menjaju prikaz originalnog objekta računarski generisanim sadržajem. U povećanoj stvarnosti zasnovanoj na superimpoziciji, prepoznavanje objekata igra vitalnu ulogu, jer aplikacija ne može zameniti prikaz stvarnog objekta sa računarski generisanim elementima ukoliko ne može odrediti koji je objekat u pitanju. Na slici 2-35 prikazan je primer proširene realnosti bazirane na superimpoziciji [169].



Slika 2-35 Primer proširene realnosti bazirane na superimpoziciji

Razvoj tehnologija omogućio je i realizaciju namenskih naočara za prikaz proširene realnosti [170]. Na slici 2-36 prikazane su neke od komercijalno dostupnih naočara namenjenih za proširenu realnost. Dodatne informacije o korisnikovom okruženju se projektuju na staklo naočara i na taj način se vrši njihovo kombinovanje sa realnim svetom. Na slici 2-37 prikazan je primer primene naočara namenjenih za proširenu realnost u industrijskoj automatizaciji.



Slika 2-36 Neke od komercijalno dostupnih naočara namenjenih proširenoj realnosti



Slika 2-37 Primer primene naočara namenjenih za proširenu realnost u industrijskoj automatizaciji

Velika prednost modernih naočara za prikaz proširene realnosti ogleda se u tome da korisniku ostaju slobodne ruke za obavljanje različitih aktivnosti dok mu se prikazuju dodatne informacije o okruženju (nema potreba da drži telefon ili tablet uređaj). Nedostaci naočara za proširenu realnost su tekstualne poruke koje tako prikazane korisnicima, odvlače njihovu pažnju od događaja u realnom okruženju što može predstavljati bezbednosni rizik. Potrebna je česta promena fokusa vidnog polja između realnog okruženja i informacija koje prikazuju naočare, što utiče na zamor očiju, a može negativno uticati i na zdravlje ljudi.

## 2.5 Održavanje sistema

Pod održavanjem sistema podrazumeva se skup svih postupaka i aktivnosti sa svrhom sprečavanja pojave stanja otkaza ili zastoja sistema, kao i vraćanje sistema po pojavi stanja otkaza ili zastoja ponovo u stanje u radu, u što kraćem vremenskom periodu uz minimalne troškove, u datim uslovima okoline i organizacije rada [171]. U zavisnosti od željenih ciljeva postoje tri tipa održavanja sistema: korektivno održavanje [172], [173], preventivno održavanje [174], [175] i prediktivno održavanje [176]–[178].

Najveći utrošak vremena predstavljaju neplanirani otkazi u industrijskom postrojenju koji nastaju usled dotrajalosti mašina (senzora i aktuatora) i alata (habanje, oštećenje) kada se izvodi korektivno održavanje, odnosno otklanjanje otkaza. Posle pojave otkaza potrebno je što pre osposobiti proizvodni pogon, jer svaki zastoj u proizvodnji povećava troškove proizvodnje.

Preventivno održavanje mašina i postrojenja izvodi se periodično, najčešće po uputstvu proizvođača opreme i komponenti sistema kako bi se efikasnost i pouzdanost komponenti industrijskog sistema održala na visokom nivou (u određenim vremenskim intervalima, nakon određenog broja radnih ciklusa, itd.). U zadatke preventivnog održavanja sistema spadaju: podmazivanje, zamena ulja, zamena filtera, itd.

Prediktivno održavanje bazira se na primenama tehnika koje omogućavaju procenu stanja komponenti industrijskog sistema sa ciljem predikcije kada je potrebno izvršiti održavanje. Cilj prediktivnog održavanja je minimalno narušavanje rada industrijskog postrojenja uz minimalne troškove servisiranja. U prediktivno održavanje spadaju: merenje vibracija, merenje zagrevanja komponenti, analiza ulja, itd.

Primena mobilnih telefona, koncepta Interneta stvari kao i primena koncepta proširene realnosti imaju veoma bitnu ulogu u zadacima vezanim za održavanje sistema. Koncept Interneta stvari omogućava prikupljanje podataka o postrojenju, analizu podataka i detekciju otkaza u industrijskom sistemu, ili procenu na osnovu analize podataka trenutka otkaza komponenti [179]–[182]. Primena mobilnih tehnologija i koncepta proširene realnosti omogućava, zaposlenim licima na održavanju sistema, brže lociranje neispravnih komponenti, kao i prikaz uputstava za servisiranje mašina i komponenti [30], [183]. Pored toga primena mobilnih tehnologija i koncepta proširene realnosti ima primenu i u obuci radnika kroz upoznavanje sa industrijskim postrojenjem [31].

### **3 Model mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari**

Model mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari koji se predlaže u ovom radu ima za cilj unapređenje postojećih sistema za nadzor i upravljanje industrijskim postrojenjima i procesima tako da na što brži i jednostavniji način odgovarajućim licima prikaže relevantne podatke o industrijskom postrojenju i procesu koji se odvija u industrijskom postrojenju. Pored toga, predloženi model mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari treba da ima mogućnost jednostavne integracije u postojeće industrijske sisteme, kao i sisteme za nadzor i upravljanje industrijskim postrojenjima i procesima (SCADA sisteme). Na slici 3-1 prikazana je arhitektura sistema za mobilni nadzorni sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.

Arhitektura predloženog mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari sastoji se iz tri povezana podsistema:

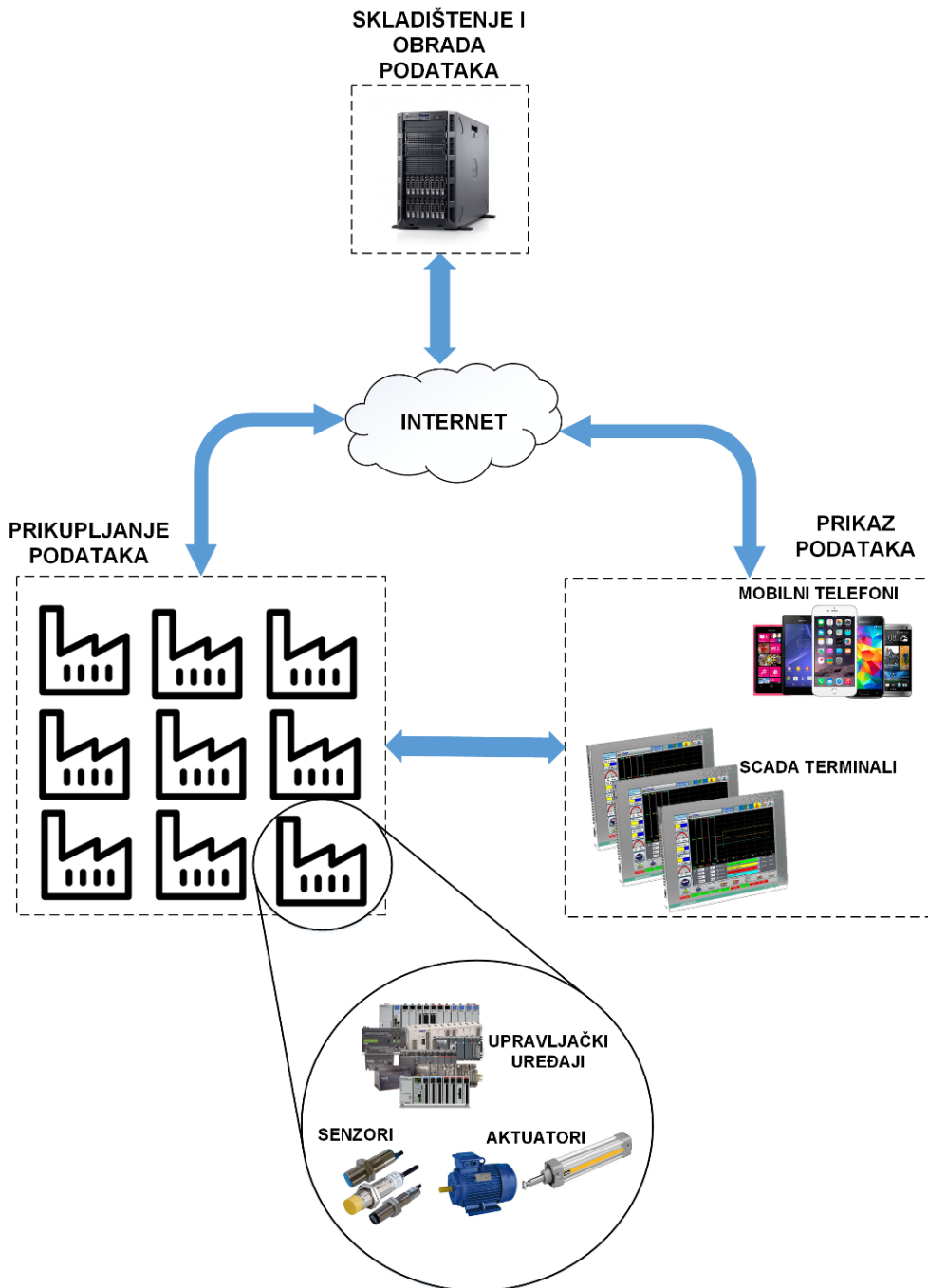
- 1) Podsystem za prikupljanje podataka;
- 2) Podsystem za skladištenje i obradu podataka;
- 3) Podsystem za prikaz podataka.

U osnovi podsistemi predloženog modela mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom međusobno komuniciraju posredstvom Interneta, ali je omogućena i direktna veza, u slučaju potrebe, između podsistema za prikupljanje podataka i podsistema za prikaz podataka. Primeri situacija u kojima direktna veza ova dva podsistema može biti od značaja su nestanak Internet veze između bilo koja dva podsistema, kao i u slučaju potrebe za prikaz podataka o industrijskom

postrojenju i procesu koji se odvija u industrijskom postrojenju u realnom vremenu čime se elimiše kašnjenja u prenosu podataka preko Interneta.

Uvidom u literaturu uočeno je da ne postoji model sistema za nadzor industrijskih postrojenja koji u sebi integriše referentni model Interneta stvari već se tehnologije Interneta stvari koriste samo kao nadogradnja na postojeće SCADA sisteme. Prilikom definisanja modela mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari u obzir su uzeti i postojeći SCADA sistemi i referentni model Interneta stvari. U podsistemima predloženog modela mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari integrisane su tehnologije i funkcionalnosti koje omogućavaju prikupljanje podataka, skladištenje i analizu podataka i prikaz podataka (funkcionalnost postojećih SCADA sistema), a ostvaruje se kompatibilnost i sa referentnim modelom Interneta stvari. Na slici 3-2 dat je uporedni prikaz predloženog modela mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari i referentnog modela Interneta stvari.





Slika 3-1 Arhitektura mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari

**Predloženi model mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari**

**Referentni model Interneta stvari**

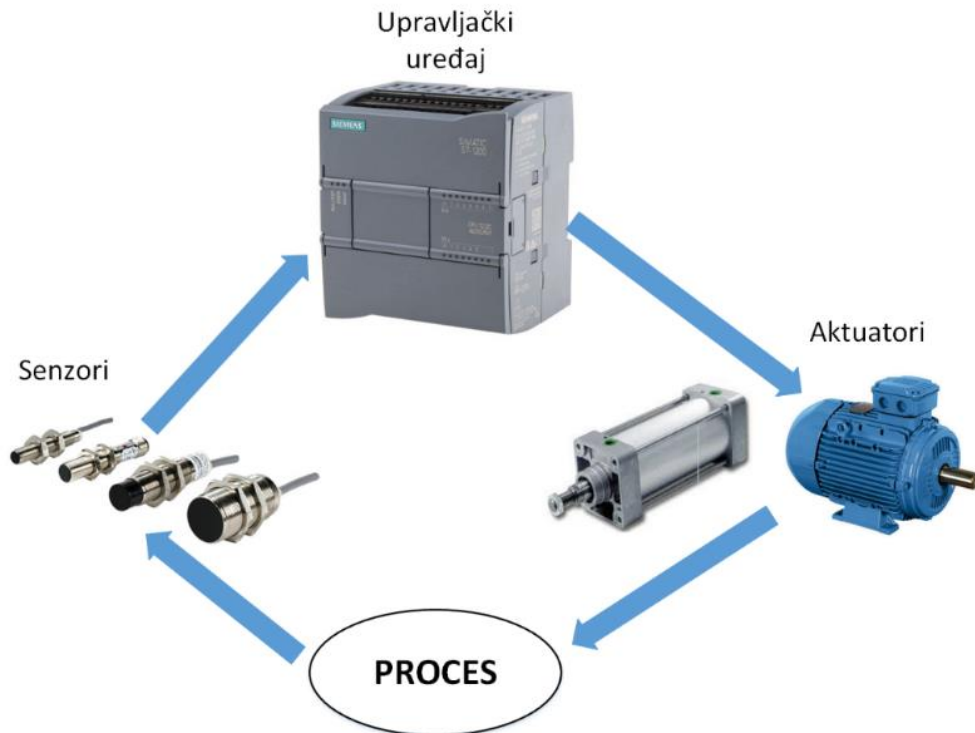


Slika 3-2 Uporedni prikaz predloženog modela mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari i referentnog modela Interneta stvari

Za razliku od postojećih SCADA sistema predloženi novi model mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari omogućava da se u okviru jednog modela mobilnog nadzornog sistema ostvari prikupljanje podataka, nadzor i upravljanje proizvodnim i poslovnim procesima više nezavisnih preduzeća (pravnih lica).

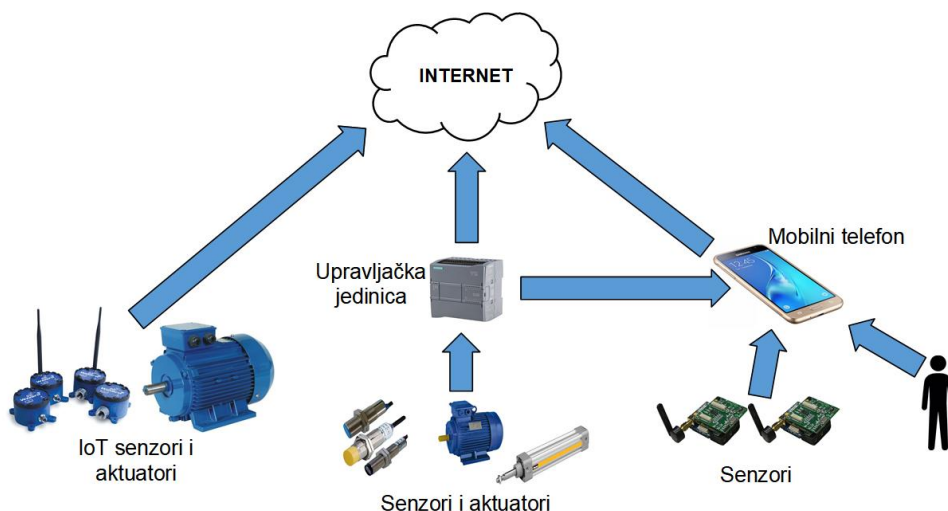
### 3.1 Prikupljanje podataka

Kako bi bilo omogućeno upravljanje procesima u okviru nekog industrijskog postrojenja prikupljanje podataka predstavlja jedan od najvažnijih zadataka. Proces koji se odvijaju u današnjim industrijskim sistemima veoma su složeni i prati se veoma veliki broj parametara kao što su: brzine kretanja, temperature, protoci, pritisci, sile, naponi struje, jačine struje, itd. Za prikupljanje podataka o procesima kao i o samom postrojenju zaduženi su senzori. Senzori pretvaraju merenu fizičku veličinu (temperaturu, protok, silu, itd.) u signal pogodan za naknadnu obradu. Najčešće senzori merene fizičke veličine pretvaraju u električni signal. U industrijskim sistemima primenjuje se veliki broj različitih senzora koji se mogu grupisati na osnovu veličina koje se mere, na osnovu oblika izlaznog signala i napajanja. Na osnovu veličine koja se meri senzori mogu biti senzori: temperature, pritiska, protoka, sile, itd. Na osnovu oblika izlaznog signala senzori mogu biti analogni i digitalni. Analogni senzori na svom izlazu daju kontinualne signale, tj. neprekidne nizove vrednosti, koji su proporcionalni veličinama koje dati senzori mere. Signal na izlazu analognog senzora može biti naponski (0-10 V) ili strujni (0-20 mA, 4-20 mA). Digitalni sensor na izlazu daje diskretan signal. Senzori su najčešće povezani na odgovarajuće ulazne module upravljačkih jedinica. Na osnovu izmerenih vrednosti sa senzora upravljački uređaji upravljaju radom aktuatora (motori, grejači, ventili, cilindri,...) i na taj način upravljaju procesima u industrijskim postrojenjima. Na slici 3-3 prikazana je blok šema upravljanja procesom.



Slika 3-3 Blok šema upravljanja procesom

U zavisnosti od potreba procesa i industrijskog postrojenja određene podatke o procesu (temperature, pritisci, protoci,..) i industrijskom postrojenju (stanje aktuatora, temperatura okoline,...) potrebno je slati u bazu podataka, kako bi bio omogućen rad mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari. U zavisnosti od potreba procesa i industrijskog postrojenja, odnosno koliko često je potrebno uzorkovati podatke, prikupljanje podataka može biti implementirano na više načina (prikaz na slici 3-4).



Slika 3-4 Načini prikupljanja podataka u okviru podsistema za prikupljanje podataka

Ukoliko je potrebno često prikupljati podatke o procesu ili industrijskom postrojenju tehnologije Interneta stvari mogu imati bitnu ulogu. Razvojem tehnologija Interneta stvari, a samim tim i tehnologija industrijskog Interneta stvari, razvijaju se pametni senzori i aktuatori koji imaju sopstvenu upravljačku logiku i mogu komunicirati preko Interneta sa drugim komponentama. Ovakvi senzori i aktuatori olakšavaju implementaciju mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari, iz razloga što podatke mogu slati direktno serverskoj aplikaciji i bazi podataka. Pametni aktuatori mogu biti opremljeni dodatnim sensorima i da podatke o svom statusu (broj odrađenih ciklusa, pritisci, temperature, ostvarene sile, ostvareni obrtni momenti, itd.) direktno prosleđuju bazi podataka, kao i da sami procene vreme otkaza ili trenutak kada je potrebno izvršiti njihovo održavanje.

Kako bi se osigurala mogućnost implementacije mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari u starijim industrijskim postrojenjima, u kojima su ugrađeni obični senzori i aktuatori, potrebno je izvršiti samo modifikaciju upravljačkog dela i

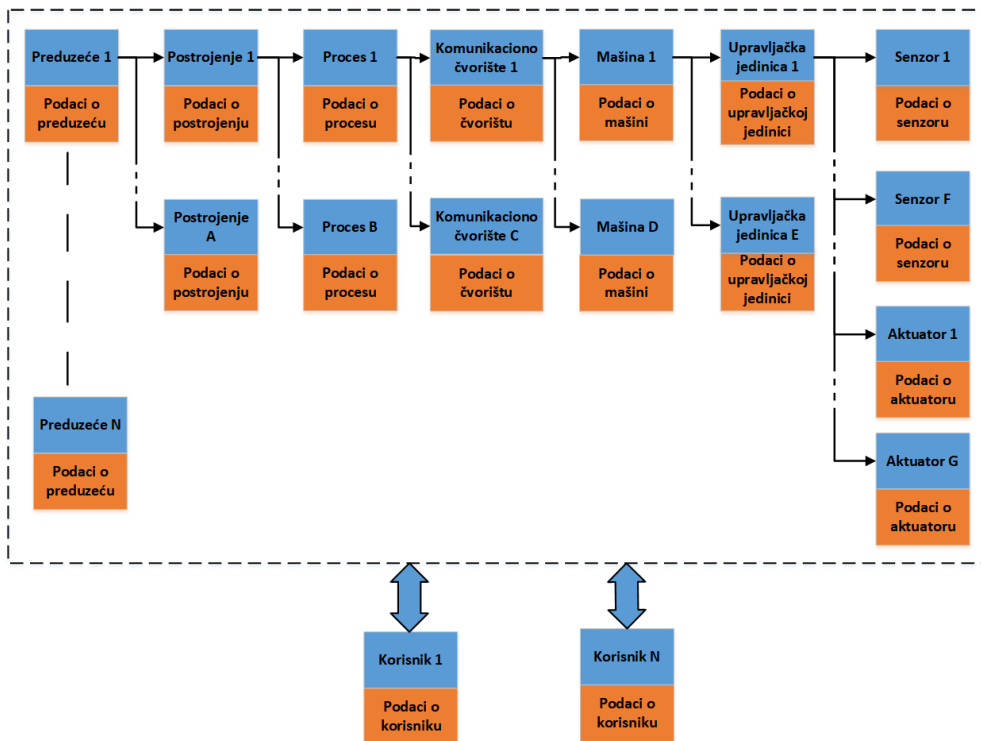
implementirati slanje podataka sa senzora i podataka o aktuatorima (broj ostvarenih ciklusa, pritisci, itd.) serverskoj aplikaciji i bazi podataka. Drugi način da se reši ovaj problem je preuzimanje podataka iz postojećeg SCADA sistema implementiranog u okviru industrijskog postrojenja. Ovakvim načinom implementacije mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari izbegavaju se troškovi nabavke novih senzora i aktuatora, kao i nepotrebno zaustavljanje proizvodnog procesa kako bi se obavila zamena senzora i aktuatora.

Ukoliko nije potrebno često slati podatke o procesu i industrijskom postrojenju mogu se realizovati ili jednostavne senzorske mreže (Wi-Fi, BLE) koje će preko odgovarajućih čvorišta povremeno slati podatke serverskoj aplikaciji i bazi podataka. Kao čvorište za slanje podataka mogao bi se iskoristiti i mobilni telefon. Drugi način može biti da upravljačka jedinica ili pametni senzor prikupljene podatke skladište na memorijskom uređaju, a da se povremeno podaci očitaju pomoću mobilnog telefona (Wi-Fi, BLE, NFC) i proslede serverskoj aplikaciji i bazi podataka. Moguće je i da osoba zadužena za praćenje sistema podatke o procesu i postrojenju prosledi serverskoj aplikaciji i bazi podataka ručnim unosom podataka u namenskoj aplikaciji na mobilnom telefonu (primer očitavanja potrošnje vode ili struje na mesečnom nivou).

## **3.2 Skladištenje i obrada podataka**

Kako bi se omogućilo skladištenje podataka i kasnija obrada i analiza podataka potrebno je izvršiti klasifikaciju svih elemenata, odnosno definisanje svih entiteta mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari. Entiteti mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari su preduzeća, industrijska postrojenja, industrijski procesi, komunikaciona čvorišta, mašine, upravljačke jedinice, senzori, aktuatori i korisnici podataka (uprave industrijskih postrojenja, osobe zadužene za nadzor, osobe

zadužene za održavanje sistema, proizvođači opreme). Na slici 3-5 dat je dijagram strukture podataka mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.



Slika 3-5 Dijagram strukture podataka mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari

Svakom entitetu u okviru mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari prilikom unosa u sistem, dodeljuje se jedinstveni identifikacioni ključ. Pored identifikacionog ključa svakom entitetu se prilikom definisanja dodeljuju i odgovarajući parametri, odnosno relevantni podaci koji ga opisuju. Relevantni podaci predstavljaju širok pojam i zavise od veoma velikog broja faktora, tipa preduzeća, vrste proizvodnog procesa koji se obavlja u preduzeću (montaža, hemijski procesi, itd.), korišćenih komunikacionih čvorišta, mašina, upravljačkih uređaja, senzora i aktuatora. Relevantne podatke za određeni entitet definišu korisnici sistema. Proizvođač opreme definiše one podatke

koji moraju biti integrisani kao i opcione podatke koji mogu biti integrisani u mobilni nadzorni sistem sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari, čijim praćenjem bi bila omogućena optimalna primena komponenti, omogućavajući ispravan rad u dužem vremenskom periodu (identifikacioni ključ proizvođača, optimalne vrednosti parametara, maksimalne i minimalne vrednosti parametara, procedure održavanja u vidu uputstava u papirnoj formi, video zapisu ili 3D animacijama, definisanje izgleda i položaja markera za potrebe sistema za proširenu realnost). Korisnici sa strane preduzeća (menadžment preduzeća, lica koja vrše nadzor postrojenja i procesa, lica koja vrše održavanje postrojenja, itd.) definišu podatke koje je potrebno pratiti i analizirati kako bi se obezbedilo efikasno upravljanje procesima i pouzadan rad postrojenja (planovi održavanja, mapiranje komponenti u sistemu kako bi se komponente brže locirale u industrijskom postrojenju, definisanje markera za potrebe prikaza kroz proširenu realnost itd.).

U okviru mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari svi entiteti su definisani u hijerarhijskom poretku. Na vrhu hijerarhije nalazi se preduzeće u okviru kog se definišu industrijska postrojenja. U okviru industrijskih postrojenja definišu se industrijski procesi. U okviru industrijskih procesa definišu se komunikaciona čvorišta za koje se vežu mašine. U okviru mašina definišu se upravljački uređaji (PLC, PID regulatori, itd.), a u okviru upravljačkih uređaja definišu se senzori i aktuatori. Pomoću jedinstvenog identifikacionog ključa svaki entitet iz sistema se lako identifikuje i pristupa se njegovim podacima. Hijerarhijski poredak entiteta u okviru mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim Industrijskim Internetom stvari omogućava da se isprate svi podaci o industrijskom postrojenju u oba smera, od preduzeća do senzora i aktuatora kao i od senzora i aktuatora do preduzeća.



Što se tiče definisanja korisnika sistema, svakom korisniku mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari dodeljuje se jedinstveni identifikacioni broj, korisnik se opisuje relevantnim podacima i definišu se pravila kojim se određuje pravo pristupa podacima u mobilnom nadzornom sistemu sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.

Svi podaci koji se prikupljaju o procesima koji se odvijaju u industrijskim postrojenjima, kao i o njihovoj okolini, čuvaju se u bazi podataka. Postojeći sistemi baza podataka mogu se podeliti u dve grupe, relacione baze podataka (SQL, Standardized Query Language) i nerelacione baze podataka (NoSQL, Not only SQL) [184]–[186]. Kako se u industrijskim postrojenjima odvijaju različiti proizvodni procesi potrebno je, u zavisnosti od potrebe procesa i industrijskog postrojenja pratiti različite parametre. Sa druge strane u zavisnosti od potreba procesa i industrijskih postrojenja koristi se različita oprema različitih proizvođača. U zavisnosti od korišćene opreme i proizvođača opreme potrebno je pratiti različite parametre. Posledica ovoga je da se tokom praćenja parametara procesa i industrijskih postrojenja (mašina, senzora i aktuatora) koji se odvijaju u industrijskim postrojenjima, kao i parametara samih industrijskih postrojenja generiše velika količina nestrukturiranih podataka (Big Data). Kako je zahtev smeštanje i obrada velike količine nestrukturiranih podataka, NoSQL baze podataka imaju veoma veliku prednost u ovom slučaju, jer podatke čuvaju najčešće u formi JSON (JavaScript Object Notation) dokumenata ili u formi parova ključ/vrednost čime je olakšano parsiranje podataka. Prilikom upisa podataka ne moraju svi zapisi da sadrže istu strukturu podataka, postoji mogućnost dodavanja novih podataka u strukturu zapisa podataka, odnosno nude dinamičku tj. fleksibilnu šemu upisa podataka.

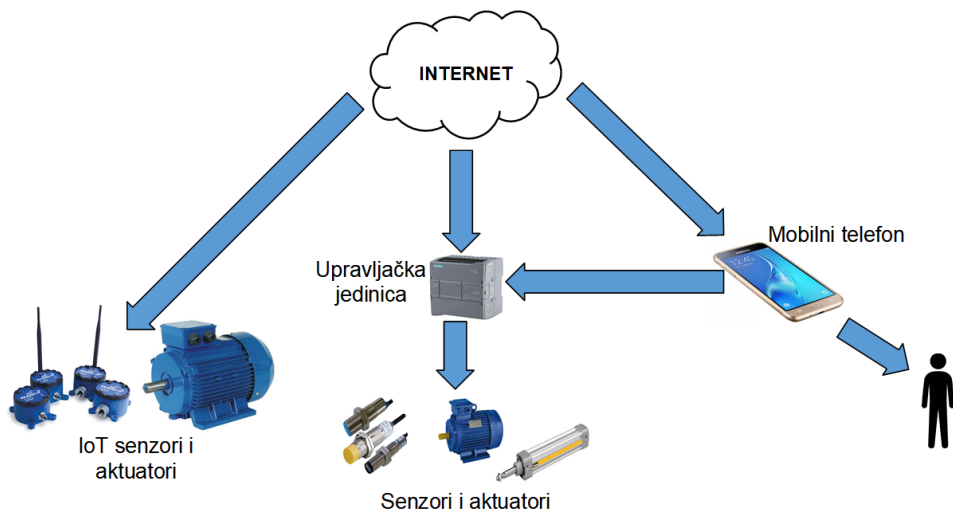
Na osnovu prikupljenih podataka o procesima i industrijskim postrojenjima mogu se izvršiti različite obrade i analize podataka sa ciljem utvrđivanja efikasnosti rada postrojenja, efikasnosti odvijanja procesa u

industrijskom postrojenju, procena stanja komponenti (senzora, aktuatora) i mnogi drugi.

Za obradu podataka i određivanje efikasnosti celog postrojenja preduzeća mogu implementirati svoje algoritme obrade i analize podataka. Za procenu stanja komponenti (senzora i aktuatora) mogu se implementirati različiti algoritmi procene stanja na osnovu trenutno izmerenih parametara kao i na osnovu istorijskih vrednosti parametara. Ove algoritme mogu definisati proizvođači opreme ili odeljenje zaduženo za održavanje sistema. Pored toga, moguće je implementirati paralelno izvršavanje više različitih algoritama obrade i analize podataka, čime je moguće izvršiti upoređivanje različitih algoritama u realnom radu, kao i upoređivanja ponašanja jednog algoritma sa različitim parametrima obrade i analize podataka.

### **3.3 Prikaz rezultata obrade podataka**

Rezultate obrade podataka treba najefikasnije i u što kraćem roku proslediti industrijskom postrojenju kako bi se korigovao rad postrojenja i odvijanje proizvodnih procesa. Na slici 3-5 dat je šematski prikaz prosleđivanja rezultata obrade industrijskom postrojenju.



Slika 3-6 Načini vraćanja podataka u okviru podsistema za prikaz rezultata obrade podataka

Ukoliko se radi o industrijskom postrojenju baziranom na konceptu Industrija 4.0, rezultati obrade podataka mogu se direktno prosleđivati IoT senzorima i aktuatorima kojima je opremljeno industrijsko postrojenje. Na taj način vreme reagovanja sistema na nastale promene značajno se smanjuje, čime se unapređuje produktivnost samog sistema. U cilju zadržavanja kompatibilnosti sa starijim proizvodnim sistemima, rezultati obrade mogu da se proslede u postojeći SCADA sistem radi postizanja boljeg upravljanja procesima i oni takođe mogu biti prikazani na terminalima SCADA sistema, što će omogućiti operaterima bolji uvid u trenutno stanje sistema.

Suština predloženog modela mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari je da se kao uređaj za prikaz relevantnih podataka o industrijskom postrojenju i procesima koji se odvijaju u njemu realizuje korišćenjem klasičnih mobilnih telefona i tablet uređaja iz razloga što poseduju dovoljno velike ekrane za prikaz informacija, kao i integrisane razne komunikacione tehnologije za prijem i slanje podataka, bez potrebe za upotrebom skupih HMI panela ili namenskih naočara za proširenu realnost. Lica zadužena za praćenje stanja

industrijskog postrojenja i procesa, kao i lica zadužena za održavanje industrijskog postrojenja uvek pri sebi mogu imati mobilni telefon ili tablet uređaj koji je kompaktnih dimenzija i lako prenosiv. Korišćenjem klasičnog mobilnog telefona ili tablet uređaja korisnici imaju uvid u parametre rada sistema i procesa koji se odvijaju na svakom mestu (npr. može biti dozvoljen pristup određenim funkcionalnostima i od kuće). Postupak praćenja industrijskog postrojenja ili procesa može biti realizovan ili prikazom informacija na ekranu mobilnog telefona u vidu tekstualnih podataka ili dijagrama ili u vidu proširene realnosti, čime se licima koja prate i održavaju industrijsko postrojenje olakšava upoznavanje sa industrijskim postrojenjem (upoznavanje sa lokacijom mašina, sa principom rada mašina, sa položajem najvažnijih komponenti u okviru mašina, itd.).

U slučaju alarmnih stanja, alarmiranje lica zaduženih za nadzor i održavanje postrojenja se može izvršiti slanjem obaveštenja elektronskom poštom, prikazom vizuelnih i audio signala na mašinama (sirene, boje svetla), prikazom informacija na HMI panelima mašina kao i slanjem SMS poruka ili push notifikacija na mobilne telefone odgovornim licima. U slučaju da odgovornom licu stigne poruka (SMS, e-mail) ili push notifikacija, odgovorno lice u veoma kratkom roku može da vidi u kom delu postrojenja je nastao problem i u kratkom roku otkloni problem koji negativno utiče na industrijsko postrojenje ili proces koji se odvija u postrojenju.

## 4 Studije slučaja i validacija modela

Provera funkcionalnosti predloženog modela mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari realizovana je kroz studije slučajeva koje su sprovedene na montažnim linijama koje se nalaze u laboratorijama Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Prva montažna linija predstavlja liniju za montažu sinter ležaja (slika 4-1), a druga montažna linija predstavlja liniju za sklapanje vodenih pumpi (slika 4-2). Ove montažne linije odabrane su iz razloga što predstavljaju realne sisteme kakvi se mogu naći i u industrijskim postrojenjima. Montažne linije su opremljene velikim brojem senzora i aktuatora koji omogućavaju kvalitetno upravljanje montažnim sistemom. Drugi razlog primene modela na montažnim linijama je taj što se na ovim montažnim linijama odvijaju procesi koji se odvijaju i u realnim industrijskim postrojenjima.



Slika 4-1 Linija za montažu sinter ležaja



Slika 4-2 Linija za montažu vodenih pumpi

Podaci o procesu, koji se odvija na montažnim linijama (vrednosti pritiska, vrednosti ostvarenih sila, itd) i o komponentama (ostvareni pritisci i sile, naponi, struje, itd) prikupljani su tako što su se podaci slali iz upravljačkih jedinica montažnih linija serverskoj aplikaciji i bazi podataka.

Skladištenje i obrada prikupljenih podataka realizovani su korišćenjem Google Firebase Cloud platforme. Firebase predstavlja Google-ova platformu za razvoj web i mobilnih aplikacija (Android, iOS) [187]. Ova platforma u sebi sadrži veliki broj različitih modula koji programerima omogućavaju jednostavan i brz razvoj aplikacija kao i njihovo testiranje. Firebase omogućava razvoj web aplikacija bez potrebe za razvojem serverskih servisa, tj., Firebase i kombinacija Firebase modula ima ulogu backend servisa. Neki od često korišćenih modula u okviru Firebase platforme su: Authentication, Realtime Database, Cloud Firestore Hosting, Cloud Functions, Cloud Storage, Cloud Messaging [188].

Firebase Authentication omogućava kreiranje i implementaciju sistema za jednostavnu i sigurnu autentikaciju korisnika (kreiranje naloga i prijava na sistem) čime je omogućena bezbednost i sigurnost podataka. Firebase Authentication poseduje podršku za autentikaciju korisnika preko e-

maila, Facebook naloga, Google naloga. Twitter naloga, GitHub naloga i ostalih. Realtime Database predstavlja NoSQL bazu podataka koja omogućava smeštanje podataka u JSON (JavaScript Object Notation) formatu u realnom vremenu. Realtime Database omogućava skladištenje i sinhronizaciju podataka između korisnika na jednostavan način. Cloud Firestore predstavlja unapređeni sistem za skladištenje podataka. Sličan je Realtime Database sa tom razlikom da se podaci smeštaju u formi kolekcija i dokumenata, kao i mogućnosti slanja složenijih upita za pretragu i preuzimanje podataka. Hosting omogućava implementaciju i postavljanje veb stranica i veb aplikacija. Cloud Functions omogućava razvoj servisa za obradu i analizu podataka, odnosno omogućava kreiranje funkcija, koje se izvršavaju na zahtev nekih od Firebase modula. Trigeri za izvršavanje funkcija mogu biti različiti i najčešće su to: upisan novi podatak u bazu, promenjen podatak u bazi, kreiran novi korisnik, korisnik ulogovan, i mnogi drugi. Funkcije predstavljaju JavaScript funkcije koje se izvršavaju u Node.JS okruženju. Cloud Storage omogućava skladištenje i preuzimanje fajlova kao što su slike, video zapisi i mnogi drugi tipovi fajlova koje generišu ili sami korisnici ili neki od Firebase modula. Cloud Messaging omogućava razmenu poruka i najčešće se koristi za slanje puš notifikacija korisnicima u slučaju potrebe (npr. kada neka od vrednosti u bazi podataka dostigne kritičnu vrednost, pojavljuje se nova vest u okviru teme za koju je korisnik zainteresovan, itd.)

U slučaju alarmnog stanja na mobilni telefon ili tablet šalje se notifikacija sa kratkim opisom problema i identifikacionim ključem za koju komponentu odnosno, koji entitet, je ta kritična vrednost vezana. Prijemom notifikacije korisnik u kratkom roku može uvideti gde je nastao problem i kako da ga u što kraćem roku otkloni. Za razvoj test aplikacije korišćen je AndroidStudio [189], softverko okruženje za razvoj Android aplikacija, i softverska biblioteka za implementaciju proširene realnosti Vuforia [190].

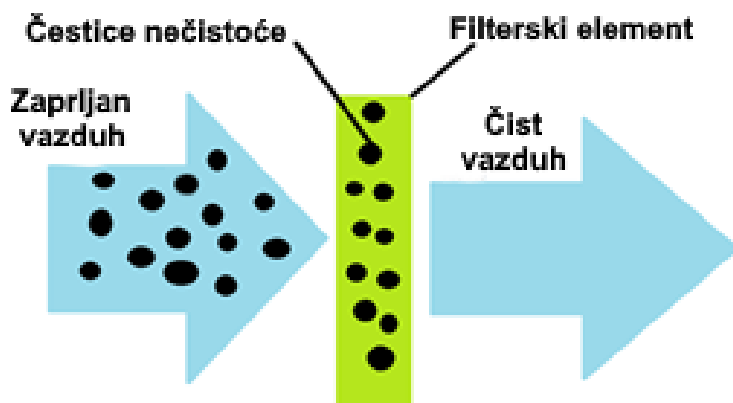
Eksperimentalna provera modela mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari izvedena je na komponentama koje se najčešće nalaze u primeni u industrijskim postrojenjima, a to su filter vazduha, pneumatski cilindar i trofazni asinhroni motor.

#### **4.1 Filter vazduha**

Za ispravan rad komponente pneumatskog sistema zahtevaju da vazduh pod pritiskom bude odgovarajućeg kvaliteta i čistoće (maksimalna količina nečistoća u vidu čestica, vode i ulja) [191]. Nečistoće i voda koje se nalaze u komprimovanom vazduhu mogu izazvati brže habanje delova komponenti, pojavu rđe unutar komponenti, a samim tim i dovesti do skraćenja radnog veka komponenti što izaziva povećanje troškova. Kombinacija nečistolja i ulja u komprimovanom vazduhu može izazvati formiranje lepljivih masa. Taloženje lepljive mase u razvodnom sistemu i u komponentama pneumatskog sistema vazduha izaziva smanjenje protoka vazduha, smanjenje pritiska vazduha kao i potencijalno blokiranje razvodnih ventila u zatvorenom ili otvorenom položaju. Usled smanjenog pritiska vazduha dolazi do ostvarivanja manjih sila pneumatskih cilindra kao i nižih obrtnih momenata u slučaju pneumatskih motora. Usled smanjenog protoka vazduha dolazi do produženja trajanja ciklusa izvlačenja i uvlačenja klipnjače pneumatskog cilindra ili do smanjenja broja obrtaja pneumatskog motora. Usled blokiranja razvodnog ventila u otvorenom ili zatvorenom položaju dolazi do nepravilnog rada sistema ili potpunog zaustavljanja rada industrijskog postrojenja. Usporavanje ciklusa rada postrojenja, kao i zaustavljanje rada industrijskih postrojenja izazivaju povećanje troškova proizvodnje. Kako bi se eliminisali ovi problemi potrebno je instalirati filtere vazduha odgovarajućeg tipa, odgovarajuće veličine (maksimalni protok) kao i instalirati filtere na pravom mestu.

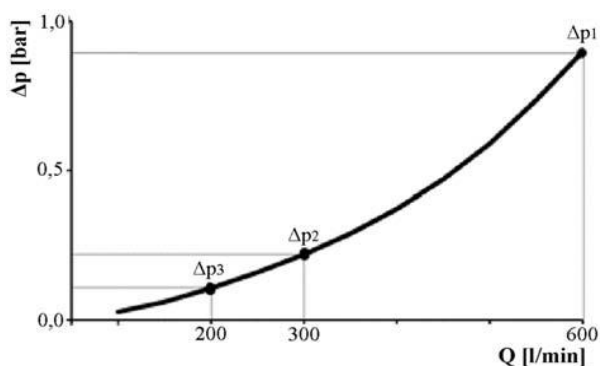


Filteri vazduha štite pneumatske komponente tako što odstranjuju nečistoće iz komprimovanog vazduha. Princip rada filtera vazduha je veoma jednostavan. Komprimovani vazduh prolazi kroz filterski element koji zadržava nečistoće (slika 4-3).



Slika 4-3 Princip rada filtera vazduha

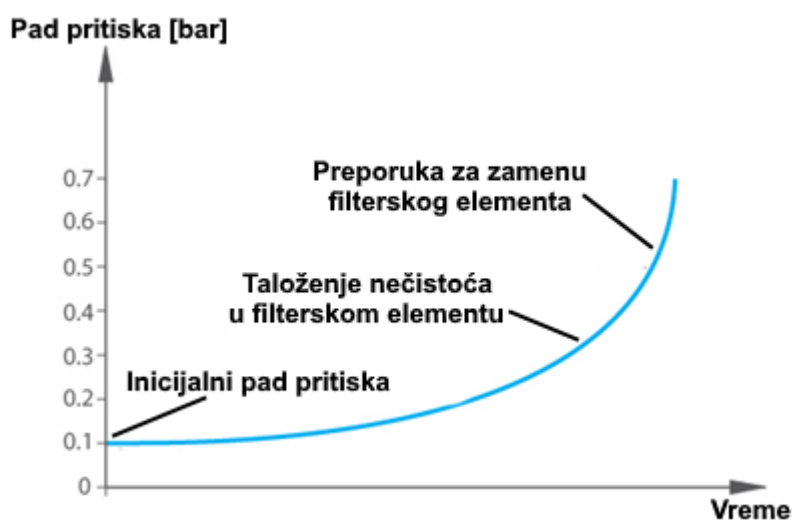
Tokom procesa filtriranja vazduha usled protoka vazduha kroz filterski element dolazi do pada pritiska na filterskom elementu. Pad pritiska zavisi i od protoka vazduha. Što je protok vazduha veći, veći je i pad pritiska na filterskom elementu što se može videti na slici 4-4 [192].



Slika 4-4 Pad pritiska na filterskom elementu u zavisnosti od protoka

Vremenom dolazi do zasićenja filterskog elementa nečistoćama i do povećanja pada pritiska na filterskom elementu (slika 4-5). Povećan pad pritiska na filterskom elementu negativno utiče na industrijsko postrojenje.

Kako bi komponente pneumatskog sistema bile snabdevene vazduhom pod pritiskom dovoljno visokog pritiska, kompresor mora da komprimuje vazduh na viši pritisak kako bi se kompenzovao pad pritiska na filterskom elementu usled čega dolazi do povećane potrošnje energije. Ukoliko u nekom trenutku pneumatski sistem bude zahtevao veliku količinu vazduha, tj. veliki protok može doći do naglog pada pritiska vazduha u pneumatskom sistemu usled čega može doći do nepravilnog odvijanja proizvodnog procesa (pojava škarta,...).



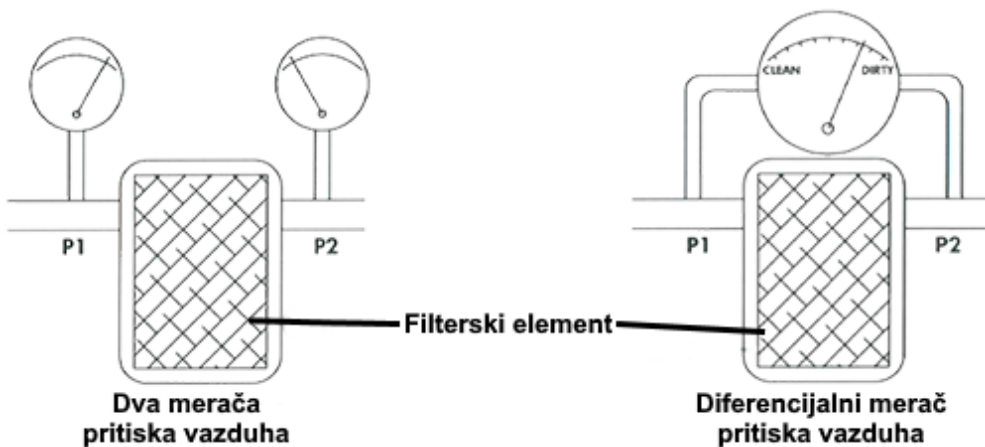
Slika 4-5 Porast pada pritiska na filterskom elementu usled povećanja zasićenosti filterskog elementa nečistoćama

Na slici 4-6 prikazana je potencijalna ušteda energije i smanjenja troškova redovnom zamenom filterskog elementa.



Slika 4-6 Ušteda koja se postiže redovnom zamenom filterskog elementa

Praćenje zaprljanosti filtera vazduha zasniva se na merenju pada pritiska odnosno, na merenju pritiska komprimovanog vazduha pre i posle filterskog elementa. Za određivanje pada pritiska mogu da se koriste ili dva merača pritiska vazduha, jedan pre filterskog elementa, a drugi posle filterskog elementa ili korišćenjem diferencijalnih merača pritiska (slika 4-7).



Slika 4-7 Princip merenja pada pritiska na filterskom elementu

Digitalni senzori diferencijalnog pritiska imaju mogućnost merenja apsolutne vrednosti pada pritiska na filteru komprimovanog vazduha, kao i slanje podataka o izmerenoj vrednosti pritiska preko upravljačke jedinice.

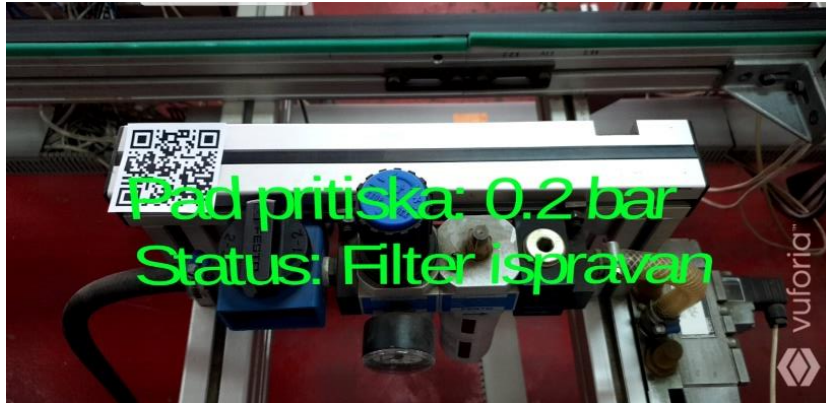
Ukoliko je diferencijalni merač pritiska opremljen nekom tehnologijom bežične komunikacije, preko mobilnog telefona, kao čvorišta ili direktno preko Interneta, podatak o izmerenoj razlici pritisaka merač može poslati na server i u bazu podataka mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.

Kao eksperiment implementirana je provera pada pritiska na filteru vazduha na liniji za montažu vodenih pumpi. Na slici 4-8 prikazan je filter vazduha na liniji sa postavljenim markerom za potrebe proširene realnosti u vidu QR koda. U QR kodu kodovan je jedinstveni identifikacioni ključ filtera vazduha na osnovu kog se pristupa podacima o filteru vazduha u bazi podataka mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.

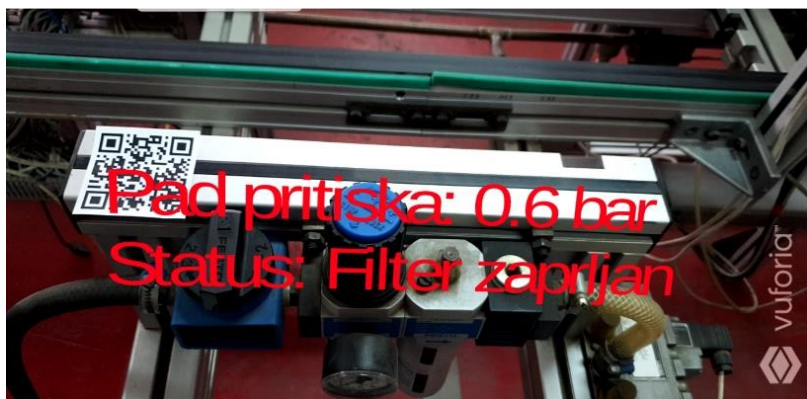


Slika 4-8 Filter vazduha na liniji za montažu vodenih pumpi sa markerom u vidu QR koda

Usmeravanjem kamere telefona na filter vazduha detektuje se marker u vidu QR koda, na osnovu jedinstvenog ključa kodovanog u QR kodu, iz baze podataka preuzimaju se podaci o trenutnoj vrednosti pada pritiska i statusu filtera vazduha. Pad pritiska i status filtera prikazuju se direktno na slici u formi proširene realnosti. Na slikama 4-9 i 4-10 prikazani su primeri kada je filter vazduha ispravan i kad je filter vazduha zaprljan, sukcesivno.

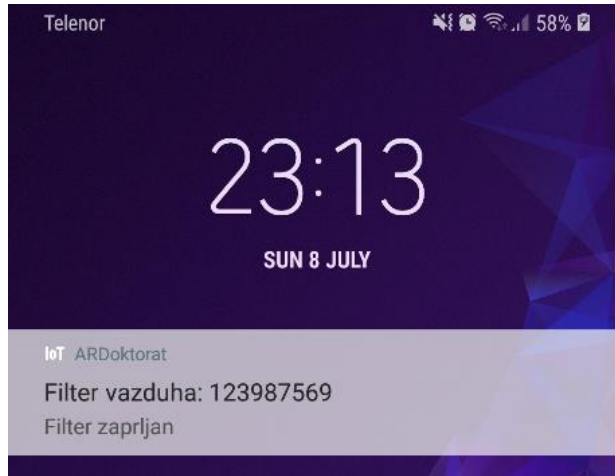


Slika 4-9 Filter vazduha ispravan



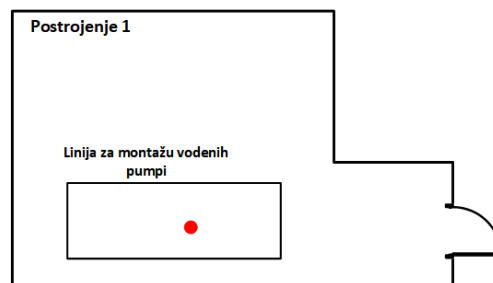
Slika 4-10 Filter vazduha zaprljan

Prilikom obrade podataka u bazi podataka prati se vrednost pada pritiska na filteru vazduha. Kada vrednost pada pritiska postane kritična ( $> 0,5$  bar) šalje se notifikacija odgovornom licu za održavanje sistema (slika 4-11).

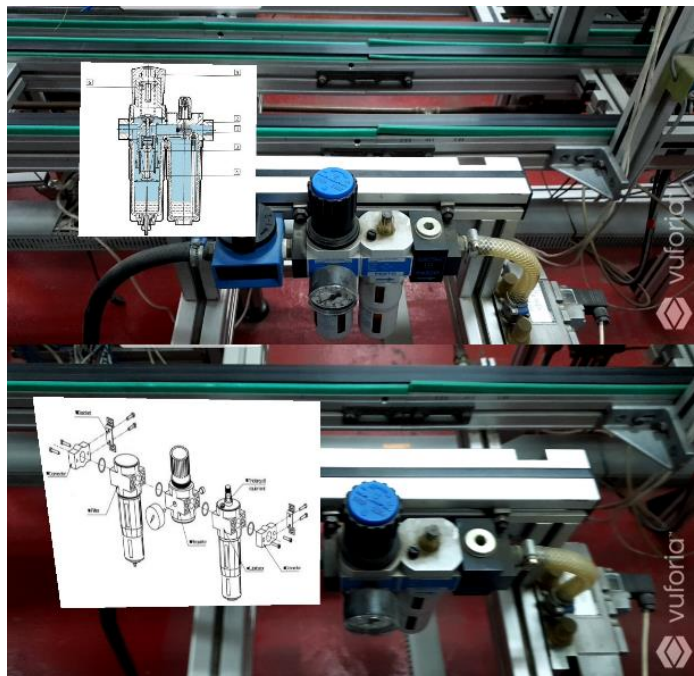


Slika 4-11 Notifikacija da je filter vazduha zaprljan

Nakon prijema notifikacije, lice zaduženo za održavanje sistema ima uvid u lokaciju filtera vazduha u okviru linije za montažu vodenih pumpi (slika 4-12). Dolaskom do filtera vazduha omogućeno je kroz proširenu realnost prikaz uputstva za zamenu filterskog elementa na slici 4-13.

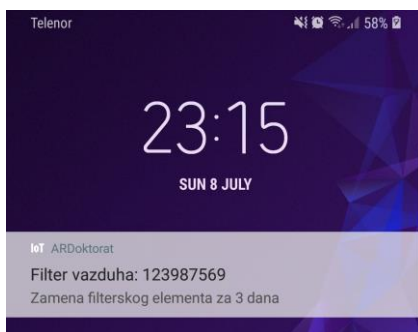


Slika 4-12 Lokacija filtera vazduha u okviru linije za montažu vodenih pumpi



Slika 4-13 Uputstvo za zamenu filterskog elementa u formi proširene realnosti

Pored praćenja trenutne vrednosti pada pritiska mobilni nadzorni sistem sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari poseduje mogućnost implementacije i logike za procenu trenutka kada je potrebno izvršiti zamenu filterskog elementa u zavisnosti od istorijski zabeleženih promena pada pritiska na filterskom element, primer prikazan na slici 4-14.



Slika 4-14 Procena termina zamene filterskog elementa

Procena trenutka kada je potrebno zameniti filterski element utiče na planiranje budućih aktivnosti vezanih za održavanje, kako bi se pravovremeno industrijsko postrojenje pripremio za rad i eliminisali potencijalni problem i povećani troškovi usled neplaniranog otkaza u industrijskom postrojenju. Pored toga omogućava se planiranje nabavke rezervnih delova bez potrebe za držanjem nepotrebnih viškova rezervnih delova u skladištu ili mogućnost da nema rezervnog dela na stanju u slučaju neplaniranog ispada sistema iz regularnog rada.

## **4.2 Pneumatski cilindar**

Mnoge operacije koje se odvijaju u industrijskim postrojenjima zahtevaju linearno kretanje u toku operativne sekvence. Jedan od najjednostavnijih i najisplativijih načina za realizaciju linearnog kretanja u industriji je primena pneumatskog cilindra. Pneumatski cilindar je aktuator koji energiju vazduha pod pritiskom pretvara u linearno kretanje. Komprimovani vazduh deluje na klip unutar cilindra i na taj način savladava opterećenje duž linerane putanje.

Iako su u suštini pneumatski cilindri jednostavne komponente, vremenom dolazi do habanja tj. do trošenja zaptivki koje imaju određeni životni vek (koji zavisi od broj ciklusa uvlačenja i izvlačenja). Usled neodgovarajućeg korišćenja pneumatskog cilindra dolazi do znatnog skraćivanja radnog veka cilindra. Dovođenje previsokog pritiska vazduha (višeg od specifikacijom komponente predviđenog) dolazi do povećanog curenja vazduha pod pritiskom kroz zaptivke što povećava troškove proizvodnje voduha pod pritiskom. Prevelik pritisak vazduha izaziva i veću silu kojom se opterećuje klipnjača cilindra, dolazi do njene deformacije i mogućeg oštećenja zaptivki. Opterećenja klipnjače (radijalno opterećenje), nečistoće u sistemu, korozija mogu uticati na pojačano trošenje zaptivki cilindra skraćujući im radni vek. Postoji mnogo faktora kao što su nečistoće u sistemu, korozija, manja curenja i habanja koji će uticati na raspoloživi pritisak



i protok vazduha koji se koriste za pogon aktuatora, što može uticati na produženje izvršenja ciklusa uvlačenja i izvlačenja klipnjače, usporavajući odvijanje procesa u postrojenju. Ukoliko se klip cilindra kreće previše brzo, može doći do prekida podmazujućeg filma što utiče na brže propadanje zaptivki cilindra i dolazi do mehaničkih udara koji dodatno oštećuju pneumatski cilindar.

Eksperiment sa cilindrom realizovan je na liniji za montažu sinter ležajeva. Na slici 4-15 prikazan je pneumatski cilindar sa markerom u vidu QR koda, potrebnog za ostvarenje proširene realnosti. U QR kodu kodovan je jedinstveni identifikacioni ključ pneumatskog cilindra koji je definisan u bazi mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.



Slika 4-15 Pneumatski cilindar sa markerom u vidu QR koda

Kroz test aplikaciju moguće je uvideti stanje pneumatskog cilindra tako što se kamera mobilnog telefona usmeri ka pneumatskom cilindru i markeru. Očitavanjem QR koda dekoduje se jedinstveni identifikacioni ključ pneumatskog cilindra u bazi podataka i na osnovu njega preuzimaju se podaci o statusu cilindra. Na slikama 4-16 i 4-17 dati su primeri prikazanih

informacija cilindra u ispravnom stanju i cilindra ukoliko sa greškom ukoliko je pritisak vazduha previsok, sukcesivno.

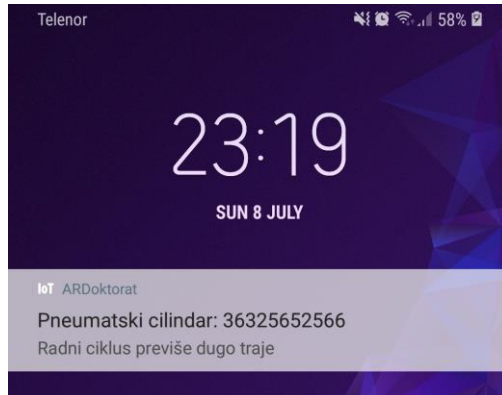


Slika 4-16 Status pneumatskog cilindra ispravan

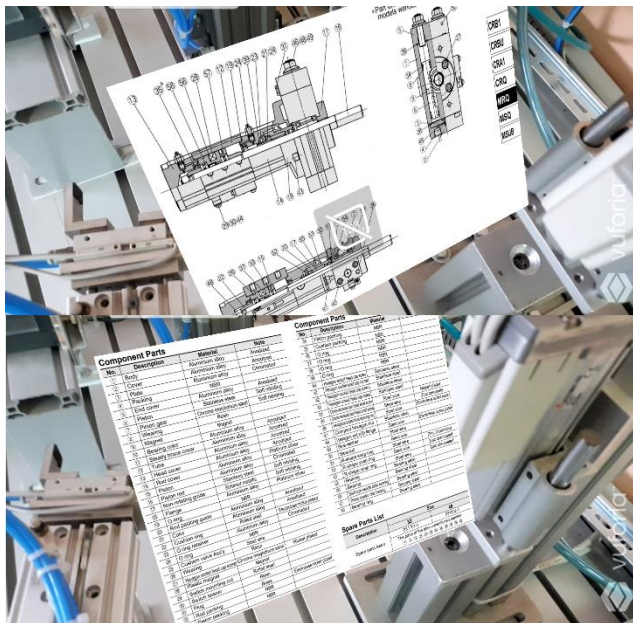


Slika 4-17 Previsok pritisak u pneumatskom cilindru

Obradom podataka u bazi podataka moguće je proceniti stanje parametara i ukoliko neki parameter izađe van opsega predefinisane vrednosti šalje se notifikacija osobi zaduženoj za nadzor i održavanje sistema. Implementacijom algoritama za procenu stanja pneumatskog cilindra moguće je proceniti termin kada je potrebno zameniti cilindar ili izvršiti servisiranje pneumatskog cilindra [193], [194]. Na slici 4-18 prikazan je primer notifikacije pristigle na mobilni telefon usled predugog trajanja radnog ciklusa, koji može biti ili posledica nedovoljnog pritiska i protoka vazduha, kao i oštećenja zaptivki cilindra. Ukoliko su zaptivke oštećene, kroz proširenu realnost može se videti uputstvo za servisiranje pneumatskog cilindra kao i lista potrebnih delova (slika 4-19).



Slika 4-18 Notifikacija o nepravilnom radu pneumatskog cilindra



Slika 4-19 Uputstvo za servisiranje pneumatskog cilindra u formi proširene realnosti

### 4.3 Trofazni asinhroni motor

Prednosti asinhronih motora u odnosu na ostale vrste elektromotora (relativno niska cena, jednostava konstrukcija, manji moment inercije, robusnost, pouzdanost i sigurnost u radu, lako održavanje) [195], [196] kao i primena frekventnih regulatora za ekonomično upravljanje brzinom i momentom asinhronih motora [197], [198] uticali su na to da su danas

asinhroni motori jedni od najčešće korišćenih pogonskih uređaja. Postoje u izvedbi kao monofazni asinhroni motori i trofazni asinhroni motori. Monofazni asinhroni motori su motori manjih snaga i najčešće se koriste za pogon uređaja u domaćinstvima (veš mašine, kompresori frižidera i klima uređaja). Trofazni asinhroni motori su motori većih snaga i najčešće se primenjuju u industrijskim sistemima za pogon pokretnih traka, kompresora, pumpi, dizalica, mešalica, mlinova, itd.

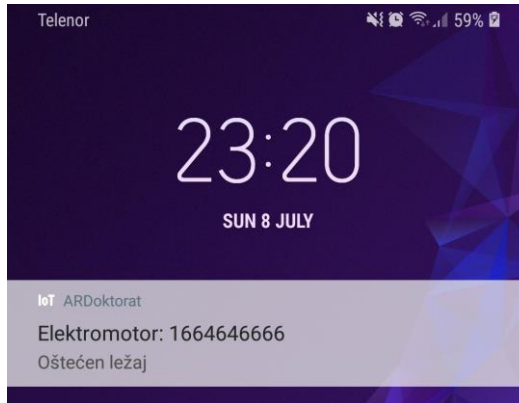
Iako su veoma robustni i poseduju jednostavnu konstrukciju, asinhroni motori mogu pretrpeti različite vrste otkaza kao posledice uticaja okoline kojima su ovi motori izloženi tokom eksploatacije, kao i usled električnih i mehaničkih naprezanja [199]. Otkaz trofaznog asinhronog motora u industrijskom postrojenju može dovesti do neplanskog zaustavljanja pogona što dovodi do uvećanja troškova proizvodnje, posebno ukoliko se radi o vitalnom delu sistema (primer otkaza u hladnjačama u prehrambenoj industriji). Postoje mnoge metode procene stanja i detekcije otkaza asinhronih motora baziranih na merenju vibracija, napona i struja motora, kad se mogu detektovati oštećenje ležaja asinhronog motora, kao i oštećenja u namotajima statora, kao i oštećenja rotora motora [200]–[205].

Ekperiment sa trofaznim asinhronim motorom realizovan je na liniji za montažu vodenih pumpi. Na slici 4-20 prikazan je trofazni asinhroni motor sa markerom u vidu QR koda, potrebnog za ostvarenje proširene realnosti. U QR kodu kodovan je jedinstveni identifikacioni ključ trofaznog asinhronog motora koji je definisan u bazi podataka mobilnog nadzornog sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari.



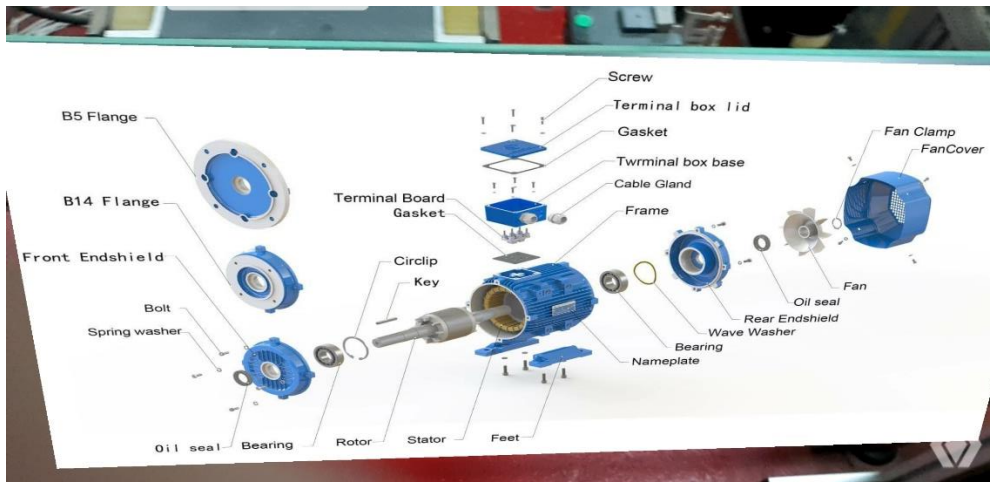
Slika 4-20 Trofazni asinhroni motor sa markerom u vidu QR koda

Usmeravanjem kamere mobilnog telefona u okviru test aplikacije ka asinhronom motoru detektuje se QR kod iz kog se dekoduje jedinstveni ključ trofaznog asinhronog motora na osnovu kog se preuzimaju podaci iz baze podataka i kroz formu proširene realnosti se prikazuju korisniku kao kod filtera vazduha i pneumatskog cilindra. Praćenjem stanja trofaznog asinhronog motora tj. na osnovu merenja vibracija, napona i jačine struje mogu se implementirati algoritmi procene stanja trofaznog asinhronog motora i detektovati potencijalni otkazi. Detektovanjem potencijalnog otkaza pre nego što dođe do kompletnog otkaza trofaznoga asinhronog motora može se izvršiti zaustavljanje proizvodnog procesa na taj način da se započeti proizvodni ciklusi završe pre nego što se pristupi održavanju. Na ovaj način smanjuju se troškovi proizvodnje, jer se ciklus proizvodnje odvija do kraja čime se dobijaju završeni proizvodi. Na slici 4-21 prikazan je primer notifikacije da je došlo do oštećenja ležaja trofaznog asinhronog motora.



Slika 4-21 Notifikacija sa informacijom o oštećenju ležaja trofaznog asinhronog motora

Kroz aplikaciju na mobilnom uređaju, lice zaduženo za nadzor može da vidi lokaciju gde se nalazi problematični trofazni asinhroni motor. Dolaskom do motora na aplikaciji u formi proširene realnosti prikazuje se uputstvo na koji način se može servisirati trofazni asinhroni motor (Slika 4-22).



Slika 4-22 Uputstvo za servisiranje trofaznog asinhronog motora u formi proširene realnosti

## 5 Zaključak i pravci daljeg istraživanja

U disertaciji je predstavljeno istraživanje usmereno ka problemu unapređenja rada postojećih industrijskih SCADA sistema. U fokus istraživanja su postavljeni zadaci klasičnih SCADA sistema kao što su: prikupljanje podataka o postrojenju, skladištenje i analiza podataka, kao i prikaz podataka o postrojenju i na koji način se ovi zadaci mogu unaprediti kroz primenu postojećih mobilnih tehnologija, tehnologija Interneta stvari, kao i tehnologija proširene realnosti.

Kao rezultat istraživanja predložen je novi model mobilnih nadzornih sistema sa proširenom realnošću i integrisanim industrijskim Internetom stvari. Prilikom definisanja novog modela u obzir su uzeti postojeći SCADA sistemi kao i referentni model Interneta stvari. Predloženi model omogućava realizaciju novih sistema nadzora industrijskih postrojenja baziranih na Industriji 4.0 kao i jednostavnu integraciju u postojeće industrijske sisteme.

Podsystem za prikupljanje podataka predloženog novog modela nadzornih sistema omogućava prikupljanje podataka o postrojenju i proizvodnom procesu primenom mobilnih tehnologija i tehnologija industrijskog Interneta stvari i moguće ga je primentiti za veći broj različitih preduzeća i poslovnih procesa.

Podsystem za skladištenje i analizu podataka predloženog novog modela nadzornih sistema omogućava skladištenje podataka kroz definisanu strukturu podataka o entitetima nadzornog sistema u hijerarhijskom poretku, omogućavajući sledljivost prikupljenih podataka o postrojenju i procesu dvosmerno, od senzora i aktuatora ka menadžmentu postrojenja, kao i od menadžmenta postrojenja ka sensorima i aktuatorima. Prednost predloženog novog modela nadzornih sistema je i ta što omogućava skladištenje podataka ne samo o jednom preduzeću već o više preduzeća. Podsystem za skladištenje i analizu podataka predloženog novog modela nadzornih sistema

omogućava implementaciju različitih algoritama obrade podataka, nezavisnih od predloženog novog modela nadzornih sistema, sa ciljem detektovanja grešaka ili potencijalnih problema u radu industrijskog postrojenja. Predloženi model omogućava uvid u podatke o postrojenju ne samo licima zaduženim za nadzor i održavanje postrojenja, već i proizvođačima industrijske opreme koji dobijaju informacije o opremi u realnim uslovima omogućavajući unapređenje kvaliteta industrijske opreme. Za analizu i obradu podataka prikupljenih o industrijskom postrojenju i procesu model omogućava implementiranje više algoritama istovremeno, čime je moguće međusobno porediti algoritme sa različitim parametrima obrade podataka. Ovakvim pristupom mogu se upoređivati novi algoritmi obrade podataka ili novi parametri obrade podataka u okviru postojećih algoritama na realnim podacima prikupljenim iz industrijskih postrojenja.

Podsistem za prikaz rezultata predloženog novog modela nadzornih sistema omogućava vraćanje rezultata obrade nadzornom i upravljačkom delu proizvodnog postrojenja, direktno ukoliko se radi o postrojenju baziranom na konceptu Industrije 4.0 ili indirektno slanjem podataka u postojeći SCADA sistem industrijskog postrojenja kako bi se omogućila kompatibilnost sa postojećim sistemima za nadzor i upravljanje. Suština predloženog novog modela je da podatke o postrojenju i procesu prikaže licima za nadzor i održavanje primenom mobilnih tehnologija i tehnologija proširene realnosti, čime se omogućava brži i jednostavniji uvid u trenutno stanje sistema.

Predloženi novi model nadzornih sistema je opšti model i njegova velika prednost je univerzalnost i otvorenost za primenu novih mobilnih tehnologija, tehnologija Interneta stvari, kao i tehnologija proširene realnosti. On takođe ima svojsvo fleksibilnosti zato što se može primeniti za različite strukture preduzeća, kao i različite proizvodne procese.



Pravci daljeg istraživanja biće usmereni na proširenja predloženog modela dodatnim funkcionalnostima koja bi se postigla primenom tehnologija, kao što su: virtuelna realnost, mobilne tehnologije 5. generacije, i tehnologije Industrije 5.0 koje su usmerene na interakciju ljudi i mašina. Kako se na jednom mestu čuvaju podaci o svim preduzećima potrebno je proširiti model dodatnim funkcionalnostima koji će obezbediti sigurnost i bezbednost podataka. Pored toga, poseban problem koji treba istražiti jeste primena jedinstvenog komunikacionog protokola koji će biti primenjen na svim hijerarhiskim nivoima proizvodnog preduzeća od sistema menadžmenta do samih senzora i aktuatora.

## 6 Bibliografija

- [1] A. Daneels and W. Salter, "What Is Scada ?," *Int. Conf. Accel. Large Exp. Phys. Control Syst. Trieste, Italy*, pp. 339–343, 1999 [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:WHAT+IS+SCADA+?#0>
- [2] G. R. Clarke, D. Reynders, and E. Wright, *Practical modern SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems*. Newnes, 2004.
- [3] M. S. Zaghloul, "Online Ship Control System using Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)," *Int. J. Comput. Sci. Appl.*, vol. 3, no. 1, p. 6, 2014.
- [4] J. Tomić, M. Kušljević, M. Vidaković, and V. Rajs, "Smart SCADA system for urban air pollution monitoring," *Measurement*, vol. 58, pp. 138–146, Dec. 2014.
- [5] P. Desai, S. Mahale, P. Desai, and S. Karamchadani, "Smart SCADA and automation system in power plants," *Int. J. Curr. Eng. Technol*, 2014.
- [6] O. Said and M. Masud, "Towards internet of things: Survey and future vision," *Int. J. Comput. Networks*, vol. 5, no. 1, pp. 1–17, 2013.
- [7] K. K. Patel, S. M. Patel, and P. G. S. A. Professor, "Internet of Things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges," *Int. J. Eng. Sci. Comput.*, vol. 6, no. 5, 2016.
- [8] S. Sicari, A. Rizzardi, L. A. Grieco, and A. Coen-Portisini, "Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead," *Comput. networks*, vol. 76, pp. 146–164, 2015.
- [9] A. Gilchrist, *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Springer, 2016.
- [10] K. Zhou, T. Liu, and L. Zhou, "Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges," in *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2015 12th International Conference on*, 2015, pp. 2147–2152.
- [11] M. Wollschlaeger, T. Sauter, and J. Jasperneite, "The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 11, no. 1, pp. 17–27, 2017.
- [12] F. Shrouf, J. Ordieres, and G. Miragliotta, "Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm," in *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2014 IEEE International Conference on*, 2014, pp. 697–701.
- [13] T. Qu, S. P. Lei, Z. Z. Wang, D. X. Nie, X. Chen, and G. Q. Huang, "IoT-based real-time production logistics synchronization system under smart cloud manufacturing," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 84, no. 1–4, pp. 147–164, 2016.
- [14] RedLion, "HMI Operator Panels." [Online]. Available: <http://www.redlion.net/products/industrial-automation/hmis-and-panel-meters/hmi-operator-panels>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [15] B. Hayes and K. Kotwica, *Bring your own device (BYOD) to work: Trend report*. Newnes, 2013.
- [16] A. M. French, C. Guo, and J. P. Shim, "Current Status, Issues, and Future of Bring Your Own Device (BYOD).," *CAIS*, vol. 35, p. 10, 2014.

- [17] N. Singh, "BYOD genie is out of the bottle--'Devil or angel,'" *J. Bus. Manag. Soc. Sci. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–12, 2012.
- [18] S. Mansfield-Devine, "Interview: BYOD and the enterprise network," *Comput. Fraud Secur.*, vol. 2012, no. 4, pp. 14–17, 2012.
- [19] R. Ballagas, M. Rohs, J. G. Sheridan, and J. Borchers, "Byod: Bring your own device," in *Proceedings of the Workshop on Ubiquitous Display Environments, Ubicomp*, 2004, vol. 2004.
- [20] J. Li *et al.*, "An empirical study on off-the-shelf component usage in industrial projects," in *International Conference on Product Focused Software Process Improvement*, 2005, pp. 54–68.
- [21] L. Brownsword, D. Carney, and T. Oberndorf, "The opportunities and complexities of applying commercial-off-the-shelf components," *Crosstalk*, vol. 11, no. 4, pp. 4–6, 1998.
- [22] M. Torchiano and M. Morisio, "Overlooked aspects of COTS-based development," *IEEE Softw.*, vol. 21, no. 2, pp. 88–93, 2004.
- [23] TriaxSystems, "Mobile SCADA Overview." [Online]. Available: <http://www.trimaxsystems.com/solutions/mobile-scada.html>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [24] E. H. Gurban and G.-D. Andreescu, "SCADA element solutions using Ethernet and mobile phone network," in *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2011 IEEE 9th International Symposium on*, 2011, pp. 303–308.
- [25] B-Scada, "The Benefits of Mobile SCADA." [Online]. Available: [http://scada.com/Content/Whitepapers/The Benefits of Mobile SCADA.pdf](http://scada.com/Content/Whitepapers/The%20Benefits%20of%20Mobile%20SCADA.pdf). [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [26] E. Ozdemir and M. Karacor, "Mobile phone based SCADA for industrial automation," *ISA Trans.*, vol. 45, no. 1, pp. 67–75, Jan. 2006.
- [27] D. W. F. Van Krevelen and R. Poelman, "A survey of augmented reality technologies, applications and limitations," *Int. J. virtual Real.*, vol. 9, no. 2, p. 1, 2010.
- [28] G. A. Lee, A. Dunser, and M. Billingham, "CityViewAR: A mobile outdoor AR application for city visualization," in *2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Arts, Media, and Humanities (ISMAR-AMH)*, 2012, pp. 57–64 [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6483989>. [Datum pristupa: 28.Apr.2014.]
- [29] H. Löfsten, "Management of industrial maintenance--economic evaluation of maintenance policies," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 19, no. 7, pp. 716–737, 1999.
- [30] S. Henderson and S. Feiner, "Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 17, no. 10, pp. 1355–1368, 2011.
- [31] B. Schwald and B. De Laval, "An augmented reality system for training and assistance to maintenance in the industrial context," 2003.
- [32] F. De Crescenzo, M. Fantini, F. Persiani, L. Di Stefano, P. Azzari, and S. Salti, "Augmented reality for aircraft maintenance training and operations support," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 31, no. 1, pp. 96–101, 2011.

- [33] G. Ostojic, "RAZVOJ MODELA SISTEMA AUTOMATIZACIJE U POSLOVNIM OBJEKTIMA," UNIVERZITET U NOVOM SADU FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA, 2008.
- [34] E. Smyth and A. B. B. Totalflow, "Scada and telemetry in gas transmission systems," *ABB White Pap.*, 2007.
- [35] EcavalIntegraxor, "What is SCADA?" [Online]. Available: <https://www.integraxor.com/what-is-scada/>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [36] J. A. Rehg and G. J. Sartori, *Programmable logic controllers*, vol. 2. Prentice Hall, 2007.
- [37] A. S. Tasu, "Programmable logic controller," *Rom. J. Phys.*, vol. 51, no. 1/2, p. 305, 2006.
- [38] R. Netto and A. Bagri, "Programmable logic controllers," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 77, no. 11, 2013.
- [39] K. T. Erickson, "Programmable logic controllers," *IEEE potentials*, vol. 15, no. 1, pp. 14–17, 1996.
- [40] M. Ogawa and Y. Henmi, "Recent developments on PC+ PLC based control systems for Beer Brewery Process Automation Applications," in *SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference*, 2006, pp. 1053–1056.
- [41] H. WANG, J. XIE, Y. ZENG, and X. BAI, "The Design of PLC-based Process Control Systems [J]," *Tech. Autom. Appl.*, vol. 7, p. 8, 2004.
- [42] C. E. Pereira and P. Neumann, "Industrial communication protocols," in *Springer Handbook of Automation*, Springer, 2009, pp. 981–999.
- [43] J.-D. Decotignie, "Ethernet-based real-time and industrial communications," *Proc. IEEE*, vol. 93, no. 6, pp. 1102–1117, 2005.
- [44] P. Neumann, "Communication in industrial automation—What is going on?," *Control Eng. Pract.*, vol. 15, no. 11, pp. 1332–1347, 2007.
- [45] M. Jonsson and K. Kunert, "Towards reliable wireless industrial communication with real-time guarantees," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 5, no. 4, pp. 429–442, 2009.
- [46] J.-D. Decotignie and P. Pleinevaux, "A survey on industrial communication networks," in *Annales des Telecommunications*, 1993, vol. 48, no. 9–10, pp. 435–448.
- [47] D. Dzung, M. Naedele, T. P. Von Hoff, and M. Crevatin, "Security for industrial communication systems," *Proc. IEEE*, vol. 93, no. 6, pp. 1152–1177, 2005.
- [48] "Wonderware." [Online]. Available: <https://www.wonderware.com/>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [49] "CopaData." [Online]. Available: <https://www.copadata.com/en/>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [50] TetonCommunications, "Supervisory Controls & Data Acquisitions (SCADA)." [Online]. Available: <https://www.tetoncommunications.com/scada.html>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [51] AutomationGlobes, "Automation and its hidden traits and facts." [Online]. Available: <https://www.automationglobes.com/automation-hidden-traits-facts/>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]

- [52] B. M. Leiner *et al.*, "A brief history of the Internet," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 39, no. 5, pp. 22–31, 2009.
- [53] International Telecommunication Union, "Overview of the Internet of things," *Ser. Y Glob. Inf. infrastructure, internet Protoc. Asp. next-generation networks - Fram. Funct. Archit. Model.*, p. 22, 2012.
- [54] M. Wang, G. Zhang, C. Zhang, J. Zhang, and C. Li, "An IoT-based appliance control system for smart homes," in *Intelligent Control and Information Processing (ICICIP), 2013 Fourth International Conference on*, 2013, pp. 744–747.
- [55] M. Sauter, *From GSM to LTE: an introduction to mobile networks and mobile broadband*. John Wiley & Sons, 2010.
- [56] J.-S. Lee, Y.-W. Su, and C.-C. Shen, "A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi," in *Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE*, 2007, pp. 46–51.
- [57] J. Landt, "The history of RFID," *IEEE potentials*, vol. 24, no. 4, pp. 8–11, 2005.
- [58] R. Want, "An introduction to RFID technology," *IEEE pervasive Comput.*, vol. 5, no. 1, pp. 25–33, 2006.
- [59] K. Curran, A. Millar, and C. Mc Garvey, "Near field communication," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 3, p. 371, 2012.
- [60] V. Sharma, P. Gusain, and P. Kumar, "Near field communication," *Dep. Comput. Sci. Eng. Tula's Institute, Eng. Manag. Coll. Dehradun, Uttarakhand*, vol. 248001, 2013.
- [61] R. Want, "Near field communication," *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 10, no. 3, pp. 4–7, 2011.
- [62] H.-K. Fröschle, U. Gonzales-Barron, K. McDonnell, and S. Ward, "Investigation of the potential use of e-tracking and tracing of poultry using linear and 2D barcodes," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 66, no. 2, pp. 126–132, 2009.
- [63] K. A. Osman and A. Furness, "Potential for two-dimensional codes in automated manufacturing," *Assem. Autom.*, vol. 20, no. 1, pp. 52–57, 2000.
- [64] L. Tarjan, I. Šenk, R. Kovač, S. Horvat, G. Ostojić, and S. Stankovski, "Automatic identification based on 2D barcodes," in *Proceedings of the XV International Scientific Conference on Industrial Systems (IS'11)*, 2011, p. 130.
- [65] N. M. Drawil, H. M. Amar, and O. A. Basir, "GPS localization accuracy classification: A context-based approach," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 14, no. 1, pp. 262–273, 2013.
- [66] I. Lita, I. B. Cioc, and D. A. Visan, "A new approach of automobile localization system using GPS and GSM/GPRS transmission," in *Electronics Technology, 2006. ISSE'06. 29th International Spring Seminar on*, 2006, pp. 115–119.
- [67] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 28–34, 2000.
- [68] D. B. Jourdan, D. Dardari, and M. Z. Win, "Position error bound for UWB localization in dense cluttered environments," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 44, no. 2, 2008.
- [69] G. Mao, B. Fidan, and B. D. O. Anderson, "Wireless sensor network localization techniques," *Comput. networks*, vol. 51, no. 10, pp. 2529–2553, 2007.

- [70] A. P. Sample, C. Macomber, L.-T. Jiang, and J. R. Smith, "Optical localization of passive UHF RFID tags with integrated LEDs," in *RFID (RFID), 2012 IEEE International Conference on*, 2012, pp. 116–123.
- [71] CircuitDigest, "IoT Projects." [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/internet-of-things-iot-projects>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [72] Y. Jie, J. Y. Pei, L. Jun, G. Yun, and X. Wei, "Smart home system based on iot technologies," in *Computational and Information Sciences (ICIS), 2013 Fifth International Conference on*, 2013, pp. 1789–1791.
- [73] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, 2014.
- [74] H. Schaffers, N. Komninos, M. Pallot, B. Trousse, M. Nilsson, and A. Oliveira, "Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation," in *The future internet assembly*, 2011, pp. 431–446.
- [75] P. A. Laplante and N. Laplante, "The internet of things in healthcare: Potential applications and challenges," *IT Prof.*, vol. 18, no. 3, pp. 2–4, 2016.
- [76] M. Chen, S. Mao, and Y. Liu, "Big data: A survey," *Mob. networks Appl.*, vol. 19, no. 2, pp. 171–209, 2014.
- [77] D. E. O'Leary, "Artificial intelligence and big data," *IEEE Intell. Syst.*, vol. 28, no. 2, pp. 96–99, 2013.
- [78] I. A. T. Hashem, I. Yaqoob, N. B. Anuar, S. Mokhtar, A. Gani, and S. U. Khan, "The rise of 'big data' on cloud computing: Review and open research issues," *Inf. Syst.*, vol. 47, pp. 98–115, 2015.
- [79] W. Fan and A. Bifet, "Mining big data: current status, and forecast to the future," *ACM SIGKDD Explor. Newsl.*, vol. 14, no. 2, pp. 1–5, 2013.
- [80] Y. Sun, H. Song, A. J. Jara, and R. Bie, "Internet of things and big data analytics for smart and connected communities," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 766–773, 2016.
- [81] C. Bhatt, N. Dey, and A. S. Ashour, "Internet of things and big data technologies for next generation healthcare," 2017.
- [82] Cisco, "The Internet of Things Reference Model.," in *Internet of Things World Forum*, 2014.
- [83] N. Jazdi, "Cyber physical systems in the context of Industry 4.0," in *Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on*, 2014, pp. 1–4.
- [84] J. Lee, B. Bagheri, and H.-A. Kao, "A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems," *Manuf. Lett.*, vol. 3, pp. 18–23, 2015.
- [85] J. Lee, H.-A. Kao, and S. Yang, "Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment," *Procedia Cirp*, vol. 16, pp. 3–8, 2014.
- [86] T. Stock and G. Seliger, "Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0," *Procedia Cirp*, vol. 40, pp. 536–541, 2016.
- [87] H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, "Industry 4.0," *Bus. Inf. Syst. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, 2014.
- [88] Y. Zhang and S. Sun, "Real-time data driven monitoring and optimization method for IoT-based sensible production process," in *Networking, Sensing and Control (ICNSC)*,

2013 10th IEEE International Conference on, 2013, pp. 486–490.

- [89] R. Anita and B. Abhinav, "Internet of Things (IoT)--Its Impact on Manufacturing Process," 2017.
- [90] Y. Wang, H.-S. Ma, J.-H. Yang, and K.-S. Wang, "Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production," *Adv. Manuf.*, vol. 5, no. 4, pp. 311–320, 2017.
- [91] J. Wan, M. Yi, D. Li, C. Zhang, S. Wang, and K. Zhou, "Mobile services for customization manufacturing systems: an example of industry 4.0," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 8977–8986, 2016.
- [92] S. Wang, J. Wan, M. Imran, D. Li, and C. Zhang, "Cloud-based smart manufacturing for personalized candy packing application," *J. Supercomput.*, pp. 1–19, 2016.
- [93] C. Yang, S. Lan, W. Shen, G. Q. Huang, X. Wang, and T. Lin, "Towards product customization and personalization in IoT-enabled cloud manufacturing," *Cluster Comput.*, vol. 20, no. 2, pp. 1717–1730, 2017.
- [94] Y. Zhang, G. Zhang, J. Wang, S. Sun, S. Si, and T. Yang, "Real-time information capturing and integration framework of the internet of manufacturing things," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 28, no. 8, pp. 811–822, 2015.
- [95] M. Szydowski, M. Egele, C. Kruegel, and G. Vigna, "Challenges for dynamic analysis of iOS applications," in *Open Problems in Network Security*, Springer, 2012, pp. 65–77.
- [96] T. J. Duffy, *Programming with mobile applications: Android, iOS, and Windows Phone 7*. Course Technology/Cengage, 2012.
- [97] K. W. Tracy, "Mobile application development experiences on Apple's iOS and Android OS," *Ieee Potentials*, vol. 31, no. 4, pp. 30–34, 2012.
- [98] N. Gandhewar and R. Sheikh, "Google Android: An emerging software platform for mobile devices," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 12–17, 2010.
- [99] J. Agar, *Constant touch: A global history of the mobile phone*. Icon Books Ltd, 2013.
- [100] Notebookcheck, "Comparison of smartphone and tablet processor performance." [Online]. Available: <https://www.notebookcheck.net/Smartphone-Processors-Benchmark-List.149513.0.html>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [101] A. Garcia et al., "Mobile phone platform as portable chemical analyzer," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 156, no. 1, pp. 350–359, 2011.
- [102] R. Ballagas, J. Borchers, M. Rohs, and J. G. Sheridan, "The smart phone: a ubiquitous input device," *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 5, no. 1, pp. 70–77, 2006.
- [103] D. N. Breslauer, R. N. Maamari, N. A. Switz, W. A. Lam, and D. A. Fletcher, "Mobile phone based clinical microscopy for global health applications," *PLoS One*, vol. 4, no. 7, p. e6320, 2009.
- [104] R. VITHALA, "List Of Smartphone Sensors Explained." [Online]. Available: <https://thetechhacker.com/2017/01/06/list-of-smartphone-sensors-wiki/>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [105] D. Nield, "All the Sensors in Your Smartphone, and How They Work." [Online]. Available: <https://fieldguide.gizmodo.com/all-the-sensors-in-your-smartphone-and-how-they-work-1797121002>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]

- [106] Z. Ma, Y. Qiao, B. Lee, and E. Fallon, "Experimental evaluation of mobile phone sensors," 2013.
- [107] W. Z. Khan, Y. Xiang, M. Y. Aalsalem, and Q. Arshad, "Mobile phone sensing systems: A survey," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 402–427, 2013.
- [108] D. Raptis, N. Tselios, J. Kjeldskov, and M. B. Skov, "Does size matter?: investigating the impact of mobile phone screen size on users' perceived usability, effectiveness and efficiency.," in *Proceedings of the 15th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*, 2013, pp. 127–136.
- [109] AbraxSys, "Comparing the Top 5 Touch Screen Technologies," *AbraxSys Corp News*. [Online]. Available: <http://abraxsyscorp.com/blog/comparing-the-top-5-touch-screen-technologies/>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]
- [110] Corning, "Gorilla Glass Applications." [Online]. Available: <https://www.corning.com/gorillaglass/worldwide/en/technology/technology-overview.html>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]
- [111] S. Tegeltija, D. Oros, L. Tarjan, S. Horvat, and X. Zhang, "Mobile phone as universal remote controller," *CIP--Katalogizacija u publikaciju*, p. 59, 2014.
- [112] D. Price, "TECHNOLOGY EXPLAINED EDGE, 3G, H+, Etc: What Are All These Mobile Networks?" [Online]. Available: <https://www.makeuseof.com/tag/edge-3g-h-etc-mobile-networks/>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [113] L. Ramadoss and J. Y. Hung, "A study on universal serial bus latency in a real-time control system," in *Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE*, 2008, pp. 67–72.
- [114] O. H. Halvorsen and D. Clarke, "Universal Serial Bus," in *OS X and iOS Kernel Programming*, Springer, 2011, pp. 141–172.
- [115] J. Axelson, "USB Complete: Everything You Need to Develop Custom USB Peripherals (Complete Guides series)," *Издавништво {guillemotleft}Penram Int. Publ. Inc*, 2005.
- [116] "About USB Implementers Forum." [Online]. Available: <http://www.usb.org/about>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [117] Firewall.CX, "USB DIRECT CABLE CONNECTION, USB VERSIONS, SPECIFICATIONS AND SPEEDS." [Online]. Available: <http://www.firewall.cx/networking-topics/cabling-utp-fibre/119-network-usb-direct-connection.html>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [118] SrboDroid, "Šta je USB OTG i kako ga koristiti?" [Online]. Available: <https://srbodroid.com/zanimljivosti/edukacija/sta-je-usb-otg-i-kako-ga-koristiti/>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [119] FLIR, "FLIR ONE Pro." [Online]. Available: <https://www.flir.com/products/flir-one-pro/>. [Datum pristupa: 15.Jun.2018.]
- [120] <http://www.irda.org/>, "Infrared Data Association." [Online]. Available: <http://www.irda.org/>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]
- [121] M. Loy, R. Karingattil, and L. Williams, "ISM-band and short range device regulatory compliance overview," *Texas Instruments*, 2005.
- [122] "Wi-Fi Alliance." [Online]. Available: <https://www.wi-fi.org/>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]



- [123] P. Brenner, "A technical tutorial on the IEEE 802.11 protocol," *BreezeCom Wirel. Commun.*, vol. 1, 1997.
- [124] G. R. Hiertz, D. Denteneer, L. Stibor, Y. Zang, X. P. Costa, and B. Walke, "The IEEE 802.11 universe," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 1, 2010.
- [125] E. McCune, "DSSS vs. FHSS narrowband interference performance issues," *RF Signal Process. Mag.*, 2000.
- [126] A. Falsafi and K. Pahlavan, "A comparison between the performance of FHSS and DSSS for wireless LANs using a 3D ray tracing program," in *Vehicular Technology Conference, 1995 IEEE 45th*, 1995, vol. 2, pp. 569–573.
- [127] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM for wireless multimedia communications*. Artech House, Inc., 2000.
- [128] "The IEEE-802.11 Wireless LAN protocol." [Online]. Available: <http://teaching.csse.uwa.edu.au/units/CITS3002/lectures/lecture05/>. [Datum pristupa: 15.Jun.2018.]
- [129] T. Adame, A. Bel, B. Bellalta, J. Barcelo, and M. Oliver, "IEEE 802.11 ah: the WiFi approach for M2M communications," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 21, no. 6, pp. 144–152, 2014.
- [130] Z. Machacek and V. Srovnal, "Communication network model for industrial control," in *Roedunet International Conference (RoEduNet), 2010 9th*, 2010, pp. 293–298.
- [131] D. Brevi, L. Pilosu, F. Fileppo, and R. Scopigno, "Viability and guidelines for the effective integration of consumer wifi in industrial plants," in *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2010 International Congress on*, 2010, pp. 232–239.
- [132] L. Li, H. Xiaoguang, C. Ke, and H. Ketai, "The applications of wifi-based wireless sensor network in internet of things and smart grid," in *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011 6th IEEE Conference on*, 2011, pp. 789–793.
- [133] "Bluetooth SIG." [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]
- [134] N. Đukić, S. Tegeltija, G. Ostojić, and S. Stankovski, "Primena bežičnih tehnologija (Bluetooth) za praćenje prisustva," in *INFOTEH-JAHORINA*, 2012, vol. 11, no. March, pp. 337–340.
- [135] P. McDermott-Wells, "What is bluetooth?," *IEEE potentials*, vol. 23, no. 5, pp. 33–35, 2004.
- [136] C. Bisdikian, "An overview of the Bluetooth wireless technology," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 12, pp. 86–94, 2001.
- [137] J. Decuir and others, "Bluetooth 4.0: low energy," *Cambridge, UK Cambridge Silicon Radio SR plc*, vol. 16, 2010.
- [138] BluetoothSIG, "Traditional Profile Specifications." [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/specifications/profiles-overview>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [139] D. A. Gratton, *Bluetooth profiles: the definitive guide*. Prentice Hall Professional, 2003.
- [140] L. Harte, *Introduction to bluetooth*. Althos, 2009.

- [141] A. Karnik and A. Kumar, "Performance analysis of the Bluetooth physical layer," in *Personal Wireless Communications, 2000 IEEE International Conference on*, 2000, pp. 70–74.
- [142] S. Shepard, *RFID: radio frequency identification*. McGraw Hill Professional, 2005.
- [143] K. Finkenzeller and R. Handbook, "Radio-frequency identification fundamentals and applications," *Chippenham John Wiley Son*, 1999.
- [144] K. Finkenzeller and others, "RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication," *UK John Wiley Sons, Ltd*, 2010.
- [145] A. Juels, "RFID security and privacy: A research survey," *IEEE J. Sel. areas Commun.*, vol. 24, no. 2, pp. 381–394, 2006.
- [146] H. Knospe and H. Pohl, "RFID security," *Inf. Secur. Tech. Rep.*, vol. 9, no. 4, pp. 39–50, 2004.
- [147] A. Kumar, "Near field communication," 2011.
- [148] E. Haselsteiner and K. Breitfuß, "Security in near field communication (NFC)," in *Workshop on RFID security*, 2006, pp. 12–14.
- [149] A. G. Logan *et al.*, "Mobile phone--based remote patient monitoring system for management of hypertension in diabetic patients," *Am. J. Hypertens.*, vol. 20, no. 9, pp. 942–948, 2007.
- [150] C. Wen, M.-F. Yeh, K.-C. Chang, and R.-G. Lee, "Real-time ECG telemonitoring system design with mobile phone platform," *Measurement*, vol. 41, no. 4, pp. 463–470, 2008.
- [151] A. Henprasertae, S. Thiemjarus, and S. Marukatat, "Accurate activity recognition using a mobile phone regardless of device orientation and location," in *Body Sensor Networks (BSN), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 41–46.
- [152] T. Choudhury *et al.*, "The mobile sensing platform: An embedded activity recognition system," *IEEE Pervasive Comput.*, no. 2, pp. 32–41, 2008.
- [153] J. Dai, X. Bai, Z. Yang, Z. Shen, and D. Xuan, "Mobile phone-based pervasive fall detection," *Pers. ubiquitous Comput.*, vol. 14, no. 7, pp. 633–643, 2010.
- [154] R. Y. W. Lee and A. J. Carlisle, "Detection of falls using accelerometers and mobile phone technology," *Age Ageing*, vol. 40, no. 6, pp. 690–696, 2011.
- [155] T. Georgiev, E. Georgieva, and A. Smrikarov, "M-learning-a New Stage of E-Learning," in *International conference on computer systems and technologies-CompSysTech*, 2004, vol. 4, no. 28, pp. 1–4.
- [156] M. Lu, "Effectiveness of vocabulary learning via mobile phone," *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 24, no. 6, pp. 515–525, 2008.
- [157] F. Alfredsson, J. Bronmark, P. Dahlstedt, M. Larson, and E. Vartiainen, "Adapting mobile devices to industrial applications," *ABB Rev.*, pp. 1013–3119, 2012.
- [158] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, "Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum," in *Telem manipulator and telepresence technologies*, 1995, vol. 2351, pp. 282–293.
- [159] I. E. Sutherland, "A head-mounted three dimensional display," in *Proceedings of the*

December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I, 1968, pp. 757–764.

- [160] C. Luciano, P. Banerjee, L. Florea, and G. Dawe, "Design of the immersivetouch: a high-performance haptic augmented virtual reality system," in *11th International Conference on Human-Computer Interaction, Las Vegas, NV, 2005*.
- [161] S. Jeon and S. Choi, "Haptic augmented reality: Taxonomy and an example of stiffness modulation," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 18, no. 5, pp. 387–408, 2009.
- [162] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, and B. MacIntyre, "Recent advances in augmented reality," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 21, no. 6, pp. 34–47, 2001.
- [163] TheNewEconomy, "Using mobiles to smell: how technology is giving us our senses." [Online]. Available: <https://www.theneweconomy.com/technology/using-mobiles-to-smell-how-technology-is-giving-us-our-senses-video>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]
- [164] M. Rohs, "Marker-based embodied interaction for handheld augmented reality games," *JVRB-Journal Virtual Real. Broadcast.*, vol. 4, no. 5, 2007.
- [165] M. Hirzer, "Marker detection for augmented reality applications," in *Seminar/Project Image Analysis Graz, 2008*, pp. 1–2.
- [166] RealityTechnologies, "The Ultimate Guide to Augmented Reality (AR) Technology." [Online]. Available: <http://www.realitytechnologies.com/augmented-reality>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]
- [167] SpringWise, "What is Augmented Reality?" [Online]. Available: <https://www.springwise.com/what-is-augmented-reality/>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [168] LightGuideSystems, "Projection-based AR vs. Tablet AR and Wearable AR." [Online]. Available: <http://lightguidesys.com/blog/projection-based-ar-vs-tablet-ar-wearable-ar/>. [Datum pristupa: 13.Jun.2018.]
- [169] Digit, "Different types of augmented reality." [Online]. Available: <https://www.digit.in/technology-guides/fasttrack-to-augmented-reality/different-types-of-augmented-reality.html>. [Datum pristupa: 14.Jun.2018.]
- [170] P. A. Rauschnabel and Y. K. Ro, "Augmented reality smart glasses: An investigation of technology acceptance drivers," *Int. J. Technol. Mark.*, vol. 11, no. 2, pp. 123–148, 2016.
- [171] Ž. Adamović, G. Nestorović, M. Radojević, and L. Paunović, *MENADŽMENT INDUSTRIJSKOG ODRŽAVANJA*. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, 2008.
- [172] C. Sheut and L. J. Krajewski, "A decision model for corrective maintenance management," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 32, no. 6, pp. 1365–1382, 1994.
- [173] J. P. Kenné, E. K. Boukas, and A. Gharbi, "Control of production and corrective maintenance rates in a multiple-machine, multiple-product manufacturing system," *Math. Comput. Model.*, vol. 38, no. 3–4, pp. 351–365, 2003.
- [174] C. R. Cassady and E. Kutanoglu, "Integrating preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine," *IEEE Trans. Reliab.*, vol. 54, no. 2, pp. 304–309, 2005.
- [175] E. H. Aghezaf, M. A. Jamali, and D. Ait-Kadi, "An integrated production and preventive

- maintenance planning model," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 181, no. 2, pp. 679–685, 2007.
- [176] D. Bansal, D. J. Evans, and B. Jones, "A real-time predictive maintenance system for machine systems," *Int. J. Mach. tools Manuf.*, vol. 44, no. 7–8, pp. 759–766, 2004.
- [177] A. Grall, L. Dieulle, C. Bérenguer, and M. Roussignol, "Continuous-time predictive-maintenance scheduling for a deteriorating system," *IEEE Trans. Reliab.*, vol. 51, no. 2, pp. 141–150, 2002.
- [178] G. A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, S. McLoone, and A. Beghi, "Machine learning for predictive maintenance: A multiple classifier approach," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, no. 3, pp. 812–820, 2015.
- [179] E. Uhlmann, A. Laghmouchi, C. Geisert, and E. Hohwieler, "Decentralized data analytics for maintenance in industrie 4.0," *Procedia Manuf.*, vol. 11, pp. 1120–1126, 2017.
- [180] S. Tedeschi, J. Mehnen, N. Tapoglou, and R. Roy, "Secure IoT devices for the maintenance of machine tools," *Procedia CIRP*, vol. 59, pp. 150–155, 2017.
- [181] D. Jung, Z. Zhang, and M. Winslett, "Vibration Analysis for IoT Enabled Predictive Maintenance," in *Data Engineering (ICDE), 2017 IEEE 33rd International Conference on*, 2017, pp. 1271–1282.
- [182] F. Civerchia, S. Bocchino, C. Salvadori, E. Rossi, L. Maggiani, and M. Petracca, "Industrial internet of things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications," *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 7, pp. 4–12, 2017.
- [183] S. J. Henderson and S. K. Feiner, "Augmented reality for maintenance and repair (armar)," 2007.
- [184] M.-A. Khan, "SQL vs NoSQL," *Retrieved Febr.*, vol. 5, p. 2015, 2012.
- [185] R. Cattell, "Scalable SQL and NoSQL data stores," *Acm Sigmod Rec.*, vol. 39, no. 4, pp. 12–27, 2011.
- [186] V. Sharma and M. Dave, "SQL and NoSQL databases," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 2, no. 8, 2012.
- [187] Google, "Firebase." [Online]. Available: <https://firebase.google.com/>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [188] Google, "Firebase Products." [Online]. Available: <https://firebase.google.com/products/#develop-features>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [189] Google, "AndroidStudio." [Online]. Available: <https://developer.android.com/studio/>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [190] Vuforia, "Vuforia Developer Library." [Online]. Available: <https://library.vuforia.com/>. [Datum pristupa: 01.Jul.2018.]
- [191] I. Milenković, "KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM U FUNKCIJI ODRŽIVE PROIZVODNJE," 2014.
- [192] D. D. Šešljija, I. M. Milenković, S. P. Dudić, and J. I. Šulc, "Improving energy efficiency in compressed air systems-practical experiences," *Therm. Sci.*, no. 00, p. 22, 2016.
- [193] M. S. Chang, J. H. Shin, Y. Il Kwon, B. O. Choi, C. S. Lee, and B. S. Kang, "Reliability estimation of pneumatic cylinders using performance degradation data," *Int. J. Precis.*

- Eng. Manuf.*, vol. 14, no. 12, pp. 2081–2086, 2013.
- [194] M. S. Chang, Y. Il Kwon, and B. S. Kang, "Design of reliability qualification test for pneumatic cylinders based on performance degradation data," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 12, pp. 4939–4945, 2014.
- [195] A. Zogović and G. Joksimović, "Analiza spektra struje statora asinhronog motora sa namotanim rotorom," *ETF J. Electr. Eng.*, vol. 18, pp. 70–82, 2009 [Online]. Available: [http://www.jee.ac.me/ETF\\_JOURNAL/radovi/2009\\_AZogovic.pdf](http://www.jee.ac.me/ETF_JOURNAL/radovi/2009_AZogovic.pdf)
- [196] R. Parekh, "AC Induction Motor Fundamentals," *Microchip Technol. Inc*, 2003.
- [197] G. K. Singh, "Multi-phase induction machine drive research—A survey," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 61, no. 2, pp. 139–147, 2002.
- [198] A. Munoz-Garcia, T. A. Lipo, and D. W. Novotny, "A new induction motor V/f control method capable of high-performance regulation at low speeds," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 34, no. 4, pp. 813–821, 1998.
- [199] D. Reljić, "OTKRIVANJE KVARA ROTORA KAVEZNOG ASINHRONOG MOTORA PRIMENOM TEHNIKA ANALIZE TERMINALNIH VELIČINA," UNIVERZITET U NOVOM SADU, FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U NOVOM SADU, 2017.
- [200] M. E. H. Benbouzid, M. Vieira, and C. Theys, "Induction motors' faults detection and localization using stator current advanced signal processing techniques," *IEEE Trans. power Electron.*, vol. 14, no. 1, pp. 14–22, 1999.
- [201] W. T. Thomson and M. Fenger, "Current signature analysis to detect induction motor faults," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 7, no. 4, pp. 26–34, 2001.
- [202] Ž. Kanović, D. Matić, Z. Jeličić, and M. Petković, "Induction motor fault diagnosis based on vibration analysis: A case study," *J. Process. Energy Agric.*, vol. 17, no. 1, pp. 47–50, 2013.
- [203] Ž. S. Janda, M. V. Janković, M. S. Milošević, and B. T. Jovanović, "Napredna dijagnostika ekscentriciteta i loma kaveza visokonaponskih asinhronih motora," *Zb. Rad. Elektroteh. institut "Nikola Tesla"*, vol. 22, no. 22, pp. 235–249, 2012.
- [204] R. Partonjić, Ž. Janda, and Z. Lazarević, "Detekcija kvara kaveza asinhronog motora analizom talasnog oblika polazne struje."
- [205] R. R. Schoen, T. G. Habetler, F. Kamran, and R. G. Bartfield, "Motor bearing damage detection using stator current monitoring," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 31, no. 6, pp. 1274–1279, 1995.