



UNIVERZITET U NIŠU
ELEKTRONSKI FAKULTET



Dušan D. Tatić

**Primena tehnologije proširene
stvarnosti za poboljšanje bezbednosti i
efikasnosti rada u industrijskim
okruženjima**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Niš, 2019. godina



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING



Dušan D. Tatić

The Application of Augmented Reality Technologies for the Improvement of Safety and Efficiency of Work in Industrial Environments

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2019.

Podaci o doktorskoj disertaciji

Mentor: prof. dr Radomir S. Stanković,
redovni profesor Elektronskog fakulteta, Univerziteta u Nišu

Naslov: Primena tehnologije proširene stvarnosti za poboljšanje bezbednosti i efikasnosti rada u industrijskim okruženjima

Rezime: U ovoj doktorskoj disertaciji opisan je sistem zasnovan na tehnologiji proširene stvarnosti radi poboljšanja bezbednosti i efikasnosti rada u industrijskim okruženjima. Ovaj sistem predstavlja rešenje kojim se omogućava zadavanje radnih zadataka kao i mogućnost kontrole njihovog izvršenja. Poseban deo odnosi se na opis modela za izdavanje instrukcija u industrijskim postrojenjima korišćenjem tehnologije proširene stvarnosti. Na ovaj način se omogućava precizno prikazivanje bezbedonosnih i radnih instrukcija na konkretnom mestu primene po unapred definisanom redosledu. Model izdavanja instrukcija zasniva se na tome da nije moguće izvršiti sledeću instrukciju dok se ne dobije potvrda da je instrukcija uspešno realizovana. Na osnovu definisane arhitekture sistema prikazana je implementacija za dva industrijska postrojenja u okviru kojih su testirane različite tehnologije. Urađena je uporedna analiza prepoznavanja i praćenja markera kao i slika čime su definisani uslovi za njihovu primenu u okviru industrijskih okruženja. Takođe, izvršena je evaluacija sistema anketiranjem radnika na osnovu čega je utvrđeno da je sistem pogodan za praktičnu primenu kako u pogledu zaštite na radu tako i u izvršavanju radnih zadataka.

Naučna oblast: Računarstvo i informatika

Naučna disciplina: Proširena stvarnost

Ključne reči: Proširena stvarnost, zaštita na radu, industrija, mobilni uređaji

UDK: (621+004.946):004.41

CERIF klasifikacija T120: Sistemski inženjering, računarska tehnologija

Tip licence
Kreativne zajednice: CC BY-NC-ND

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor: prof. dr Radomir S. Stanković,
full professor Faculty of Electronic Engineering, University of Niš

Title: The Application of Augmented Reality Technologies for the
Improvement of Safety and Efficiency of Work in Industrial
Environments

Abstract: This doctoral dissertation presents a system based on augmented reality (AR) technology for improvement of safety and efficiency at work in industrial environments. The AR system is a solution intended to assign work tasks to workers, provide necessary instructions for implementing them, and issue related occupational safety instructions directly at the workplace. At the same time, the system provides ability to record all the issued instructions and control their proper execution. It is formulated a model of a typical technological process broad enough that can be applied in different industrial environments. Based on that, the functionality and the structure of the intended AR system is determined. A practical implementation of the system is done, and its evaluation performed in two concrete electroenergetic industrial environments. In these implementations different AR technologies are used and tested. An evaluation of the proposed AR system is done, and it is concluded that the proposed AR system improves the human resources management and ensures performing of occupational safety measures.

Scientific Field: Computer Science
Scientific Discipline: Augmented reality

Key Words: Augmented reality, occupational safety, industry, mobile devices

UDC: (621+004.946):004.41

CERIF Classification: T120: Systems engineering, computer technology

Creative Commons
License Type: CC BY-NC-ND

Zahvalnica

Zahvaljujem se mentoru prof. dr Radimiru Stankoviću na stručnim savetima, strpljenju i uloženom trudu. Zahvaljujem se prof. dr Mileni Stanković na pomoći i usmeravanju tokom doktorskih studija. Takođe, zahvaljujem se kolegama iz CIITLab laboratorije na saradnji.

Posebnu zahvalnost dugujem porodici na podršci i razumevanju.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Predmet naučnog istraživanja	1
1.2	Cilj naučnog istraživanja	3
1.3	Organizacija doktorske teze	4
2	Proširena stvarnost u industriji	7
2.1	Hardverska rešenja AR u industriji	8
2.2	Područje primene AR u industriji	9
2.2.1	Primena AR u izvršavanju radnih zadataka	9
2.2.2	Primena AR u održavanju industrijskih sistema	12
2.2.3	Primena AR u obuci radnika	15
2.2.4	Primena AR u zaštiti na radu	17
3	Motivacija za uvođenje AROS sistema	19
3.1	Analiza povreda – studija slučaja	20
3.1.1	Analiza povreda u termoelektranama	20
3.1.2	Analiza povreda u elektroenergetskim sistemima	27
3.2	Bolje iskorišćenje ljudskih resursa	29
4	Modeliranje tehnološkog procesa radi primene proširene stvarnosti	31
4.1	Modeliranje tehnološkog procesa	31
4.1.1	Referent za ljudske resurse	32
4.1.2	Tehnolog	33
4.1.3	Referent zaštite na radu	33
4.1.4	Poslovođa	33
4.2	Definisanje radnih obaveza	33

4.2.1	Karton poslova	34
4.2.2	Karton radnika	35
4.2.3	Dodeljivanje zadataka radnicima	35
4.3	Izvršavanje radnih zadataka	36
4.3.1	Radne i bezbedonosne instrukcije	36
5	Sistem za primenu proširene stvarnosti	37
5.1	Funkcionalnosti sistema	37
5.2	Karakteristike sistema	38
5.2.1	Fleksibilnost	39
5.2.2	Prilagodljivost	39
5.2.3	Efikasnost	40
5.2.4	Modularnost	40
5.3	Funkcionalne jedinice sistema	40
5.4	Struktura AROS sistema	43
6	Arhitektura sistema	45
6.1	Scenario primene arhitekture sistema	46
6.2	Server	48
6.2.1	Baza podataka	48
6.2.2	Multimedijalni repozitorijum	50
6.2.3	REST servis	50
6.3	Klijent	51
6.3.1	CMS - Content Management System	51
6.3.2	Modul Komunikacija	52
6.3.3	Modul Zadatak	52
6.3.4	UI modul	53
6.3.5	AR modul	54
7	Implementacija sistema	55
7.1	Koraci u implementaciji	56
7.2	Server	58
7.2.1	Baza podataka	59
7.2.2	REST servis	63
7.2.3	Multimedijalni repozitorijum	68
7.3	Klijentski deo	69

Sadržaj	ix
7.3.1 AROS za primenu u mehaničkom odeljenju termoelektrane	69
7.3.2 AROS za primenu u elektroenergetskim sistemima	83
8 Poređenje markera i slika za AR prepoznavanje	89
8.1 Karakteristike uređaja korišćenih u eksperimentima	90
8.2 Ocena maksimalne udaljenosti za uspešno prepoznavanje i praćenje	92
8.3 Ocena uticaja osvetljenja na uspešnost prepoznavanja i praćenja	93
8.4 Uticaj oštećenosti markera i slika na prepoznavanje i praćenje	96
8.4.1 Prepoznavanje i praćenje oštećenih markera	96
8.4.2 Prepoznavanje i praćenje oštećenih slika	97
8.4.3 Preporuke za praktične primene	101
9 Primena AROS sistema u industriji	103
9.1 Uslovi za primenu AR sistema	103
9.2 Primena AROS sistema u TE Ugljevik	104
9.3 Primena AROS sistema u trafostanicama	109
10 Komparativna analiza i evaluacija AROS sistema	113
10.1 Komparativna analiza AROS sistema	113
10.2 Evaluacija AROS sistema	115
10.2.1 Statistička analiza podataka dobijena od radnika i rukovodstva	115
10.2.2 Rezultati i analiza evaluacije sistema	118
11 Zaključak	123
Literatura	127
Biografija autora	137

Spisak tabela

2.1	Industrijska proširena stvarnost u literaturi	8
3.1	Radne instrukcije i njihova provera	26
3.2	Bezbedonosne instrukcije i mogući rizici	27
3.3	Bezbedonosne i radne instrukcije	28
8.1	Specifikacija uređaja korišćeni u eksperimentima	91
8.2	Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera	92
8.3	Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja slika	93
8.4	Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera i slika pri osvetljenosti od 1 lx	94
8.5	Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera i slika pri osvetljenosti od 4 lx	94
8.6	Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera i slika pri osvetljenosti od 7315 lx	95
8.7	Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera i slika pri osvetljenosti od 13112 lx	96
8.8	Rezultati prepoznavanja i praćenja slika u slučaju prekrivenosti	100
8.9	Rezultati prepoznavanja i praćenja slika u slučaju cepanja i grebanja	100
9.1	Bezbedonosne i radne instrukcije	105
10.1	Upitnik za evaluaciju AROS sistema	117
10.2	Rezultati upitnika o opštoj oceni sistema	118
10.3	Rezultati upitnika o korišćenju sistema	119
10.4	Rezultati upitnika o efikasnosti sistema	120

Spisak slika

1.1	Primena tehnologije proširene stvarnosti u industriji	2
1.2	Organizacija i struktura doktorske disertacije	6
3.1	Broj povreda na radu po godinama	21
3.2	Pregled povreda na radu po vrstama uzroka	21
3.3	Pregled povreda na radu po kvalifikacionoj strukturi radnika	22
3.4	Broj povreda na radu po mestu događaja	23
3.5	Broj i uzrok povreda na univerzalnom strugu po godinama	24
4.1	Određivanje modela za tehnološki proces.	32
5.1	Funkcionalnosti AROS sistema	41
5.2	Struktura AROS sistema	43
6.1	Klijent-server arhitektura	46
6.2	Primena arhitekture sistema	47
6.3	Serverski deo sistema	48
6.4	Klijentski deo sistema	51
7.1	Sekvencijalni dijagram AROS sistema	58
7.2	Struktura baze podataka AROS sistema	62
7.3	Klasni dijagram REST servisa AROS sistema	64
7.4	Klasni dijagram klijentskog dela AROS sistema za primenu u mehaničkom odeljenju termoelektrane	70
7.5	Sekvencijalni dijagram u izvršenju klijentskog dela AROS sistema u mehaničkom odeljenju termoelektrane	83
7.6	Klasni dijagram klijentskog dela AROS sistema za primenu u elektroenergetskim sistemima	84

7.7	Sekvencijalni dijagram u izvršenju klijentskog dela AROS sistema u elektroenergetskim sistemima	88
8.1	Marker i slika korišćeni za uporednu analizu	90
8.2	Oštećeni markeri	97
8.3	Prekrivene slike	98
8.4	Oštećene slike cepanjem i grebanjem	99
9.1	Informacija o markeru prikazana na mobilnom uređaju	106
9.2	Prepoznavanje markera korišćenjem AROS sistema	107
9.3	Lista provere AROS sistema	108
9.4	Slike koje se prepoznaju korišćenjem AROS sistema	110
9.5	Informacije o slici za prepoznavanje na mobilnom uređaju	111
9.6	Prepoznavanje slike korišćenjem AROS sistema	111
9.7	Lista provere AROS sistema	112

Skraćenice

AR	Augmented reality Proširena stvarnost
AROS	Occupational Safety system based on Augmented Reality Sistem zaštite na radu zasnovan na proširenoj stvarnosti
CMS	(Content Management System) Sistem za dinamičko upravljanje sadržajem
JSON	JavaScript Object Notation
ORM	Object-Relational Mapping Objektno relaciono mapiranje
OS	Occupational Safety instruction Bezbedonosne instrukcije
REST	Representational State Transfer
UI	User Interface module Modul Korisnički interfejs
WM	Work and Maintenance instruction Radne instrukcije

Glava 1

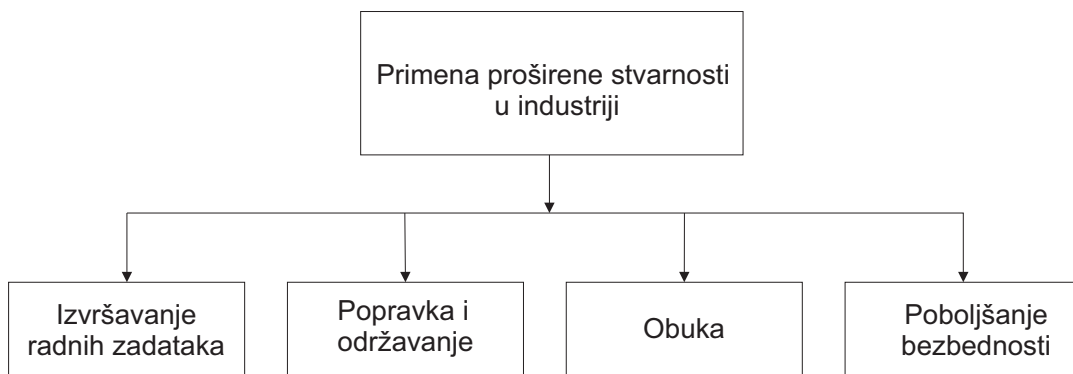
Uvod

1.1 Predmet naučnog istraživanja

Razvoj mobilnog hardvera (pametni telefoni, tablet računari) omogućava sve veću primenu različitih interaktivnih aplikacija u raznim oblastima. Jedan od novih vidova interakcije na mobilnim uređajima je primena tehnologije proširene stvarnosti (Augmented Reality - AR). Ovom tehnologijom omogućava se korisniku da pri prepoznavanju objekata u njegovom realnom okruženju, uz pomoć kamere i specijalnog softvera, dobije sliku stvarnog okruženja koja je dopunjena virtuelnim informacijama na ekranu mobilnog uređaja [4, 10]. Tehnologija proširene stvarnosti našla je primenu u različitim područjima kao što su: medicina [52], prikazivanje i istraživanje kulturnog nasleđa [54], edukacija [7]. U novije vreme uočava se sve značajnija primena tehnologije proširene stvarnosti u industriji [38, 55]. U tom smislu, razvija se veliki broj sistema zasnovanih na AR tehnologiji u cilju rešavanja različitih problema koji se javljaju u praksi. Posebna klasa aplikacija, u kojima je korišćena AR tehnologija, odnosi se na pružanje stručne pomoći u radu i poboljšanju uslova bezbednosti na radu [1, 44, 65, 66, 67, 68, 77].

Primenu tehnologije proširene stvarnosti, za unapređenje rada radnika u okviru industrijskog pogona, možemo podeliti na sledeće kategorije: izvršavanje radnih zadataka, popravka i održavanje sistema, obuka radnika, poboljšanje bezbednosti (slika 1.1). Izvršavanje radnih zadataka odnosi se na prikazivanje radnih instrukcija korišćenjem tehnologije proširene stvarnosti kako bi se olakšalo izvršavanje zadatih poslova. Pomoću AR tehnologije formiraju se virtuelne informacije u cilju prikazivanja detaljnih koraka radi popravke i održavanja sistema u okviru realnog industrijskog prostora. Takođe, obuka radnika je oblast gde tehnologija proširene stvarnosti nalazi značajne primene. Primenom AR tehnologije radniku se, u toku obuke, dodeljuju virtuelne radne instrukcije u kombinaciji sa slikom realnog industrijskog okruženja.

Ovako realizovani sistemi mogu se posmatrati kao poboljšana verzija mobilnog priručnika sa ugrađenim ekspertskim znanjem.



Slika 1.1 Primena tehnologije proširene stvarnosti u industriji

Poseban motiv za uvođenje sistema zvananih na tehnologiji proširene stvarnosti u industriji je bezbednost radnika. Primenom ove tehnologije teži se ka unapređenju postojeće bezbednosti i zaštite na radu. Na primer, u industriji se koriste uputstva za rukovanje nekom mašinom kako bi se radniku pomoglo u procesu rada. Uobičajena praksa je da se uputstva čuvaju u formi štampanih priručnika. Međutim, ovakvi priručnici imaju određene nedostatke. Dešava se da u fabrikama, koje poseduju veliki broj priručnika, postoje i oni koji su veoma stari. Priručnici su, uglavnom, štampani u crno-belom boji a delovi mašina na crtežima su nekada teško prepoznatljivi. Sa druge strane, količina informacija u štampanom priručniku je ograničenog obima. To može dovesti do neadekvatne obuke i nepravilnog rukovanja uređajem što, najčešće, dovodi do povreda na radu.

Da bi se ubrzao postupak osposobljavanja novih radnika za rad na određenim uređajima obuka se poverava iskusnim radnicima. Oni poseduju vredno znanje stečeno godinama rada i vešto rukuju mašinama u industrijskom pogonu. Njihovo iskustvo je, nažalost, retko dokumentovano i prenosi se samo u uskom krugu radnika. Međutim, dešava se i ovako iskusnim radnicima, zbog monotonije posla, da ne primenjuju lična zaštitna sredstva što dovodi do povreda na radu.

Uvidelo se da su dodatni sistemi zaštite neophodni, kako bi se radni zadaci izvršavali po definisanim pravilima i određenim redosledom, uz punu primenu mera bezbednosti radi smanjivanja rizika od povreda. Pomoću tehnologije proširene stvarnosti u kombinaciji sa verifikacionim procesima mogu se dati precizne informacije o samom

postupku izvršenja radnih zadataka kao i o primeni adekvatnih mera bezbednosti na radu.

1.2 Cilj naučnog istraživanja

Istraživanje, izloženo u doktorskoj disertaciji, posvećeno je razvoju sistema za proširenu stvarnost AROS (Augmented reality for occupational safety) sa dvostrukim ciljem:

- da se obezbedi pravilno izvršavanje zadataka u toku rada na uređajima u industrijskim postrojenjima i
- da se poboljša bezbednost na radu koja se ostvaruje verifikacijom svake izvršene instrukcije u okviru radnog zadatka.

Opisan je model koji omogućava da se radni zadaci prikazuju pomoću tehnologije proširene stvarnosti tokom izvršavanja radnog postupka u okviru industrijskog postrojenja. Svaki zadatak u okviru modela definisan je skupom manjih delova zadataka – instrukcija. Modelom su obuhvaćene radne i bezbedonosne instrukcije kao deo zadatka koji se izvršava. Radne instrukcije definišu se od strane eksperata iz industrijskog pogona. Bezbedonosne instrukcije, koje su ugrađene u model, definisane su pravilnikom o bezbednosti na radu i propisane od strane eksperata iz ove oblasti.

U doktorskoj disertaciji diskutovana je primena modela korišćenjem AROS sistema. Sistem obezbeđuje sve funkcionalnosti kako bi se uspešno realizovali zadaci definisani modelom. Obezbeđeno je da se posle svake bezbedonosne instrukcije prikaže radna instrukcija. Uvođenjem mehanizma prikazavanja i provere određene instrukcije sprovodi se kontrola pravilne i postupne realizacije zadatka. Treba istaći da AROS sistem omogućava izdavanje naredne instrukcije tek ako je prethodna potvrđena.

Sinergija radnih i bezbedonosnih instrukcija osigurava pravilno izvršenje radnih zadataka uz istovremenu primenu mera zaštite na radu. Zbog toga se sistem može primeniti za edukaciju niže kvalifikovanih radnika kojima se stalno postavlja pitanje da li je trenutna instrukcija pravilno izvršena kao i zahtev za potvrdu o njenom izvršenju. Na drugoj strani, iskusnim radnicima verifikacioni proces služi i kao podsetnik pri radu, kako ne bi došlo do greške zbog monotonije posla, kao i način za ispravno sprovođenja mera zaštite na radu.

Poseban deo posvećen je personalizaciji sistema, odnosno količini informacija koja se prikazuje radniku. Količina informacija zavisi od kvalifikacije radnika. Za viskoko kvalifikovane radnike prikazuje se redukovani sadržaj kako ne bi usporavao radnika pri

radu a da se, pri tom, vodi računa o njegovoj bezbednosti. Niže kvalifikovani radnici dobijaju detaljnije instrukcije da bi prošli sve korake i postupke u procesu realizacije radnog zadatka i primeni mera zaštite na radu.

Cilj rada je projektovanje sistema, zasnovanog na tehnologiji proširene stvarnosti, za usmeravanje radnika u izvršavanju radnih zadataka i sprovođenju mera bezbednosti. AROS je sistem opšte namene sa mogućnošću primene, uz minimalne izmene, u različitim oblastima industrije. Ove promene uglavnom se odnose na izmenu skupova instrukcija u postupku izvršavanja radnih zadataka i mera bezbednosti dok osnovna funkcionalnost sistema ostaje nepromenjena. Konkretna realizacija usmerena je ka primeni u radu sa mašinama za obradu metala u termoelektrani Ugljevik. Druga konkretna primena, diskutovana u disertaciji, odnosi se na korišćenje AROS sistema u elektorenergetskoj industriji. Mogućnost promene industrijskog okruženja uz značajno različit nivo izloženosti riziku od povreda, odnosno prilagodljivost različitim zahtevima, potvrđuje potrebu za primenu ovakvog sistema.

Kroz sprovedenu anketu i u razgovoru sa rukovodiocima pokazalo se da upotreba AROS sistema omogućava značajno poboljšanje u izvršavanju radnih zadataka, zaštite na radu i organizaciji rada.

1.3 Organizacija doktorske teze

Ova doktorska teza organizovana je na sledeći način (slika 1.2). Posle prve uvodne glave, u drugoj glavi data je analiza i pregled literature koja se odnosi na postojeće sisteme za proširenu stvarnost sa primenom u industriji.

U trećoj glavi analizirano je industrijsko okruženje gde su sagledani rizici i greške koji prate dešavanja u industrijskom okruženju. Opisani su osnovni razlozi koji dovode do povreda na radu u mašinskom delu termoelektrane i tokom održavanja elektroenergetskih sistema.

Četvrta glava predstavlja modeliranje tehnološkog procesa. Prikazan je način upravljanja i određivanja poslova od strane eksperata u okviru industrijskog okruženja.

Definisane su karakteristike i opisane funkcionalnosti AROS sistema u petoj glavi. Takođe, prikazan je funkcionalni model u kome su povezane njegove osnovne jedinice pomoću kojih se kombinuje slika realnog industrijskog okruženja sa virtuelnim instrukcijama.

U šestoj glavi data je arhitektura sistema. Detaljno je opisana struktura baze podataka kao i njena organizacija u smislu čuvanja i izdavanja instrukcija. Predstavljena je upotreba REST servisa za izdavanje konkretnog zadatka definisanog u bazi podataka i slanje klijentskoj strani. Posebna pažnja posvećena je klijentskom delu gde se, kao novi vid interakcije, između industrijskog pogona i radnika koristi tehnologija proširene stvarnosti. Diskutovana su pravila po kojima se prikazuju i verifikuju radne i bezbedonosne instrukcije dobijene prepoznavanjem markera u industrijskom prostoru.

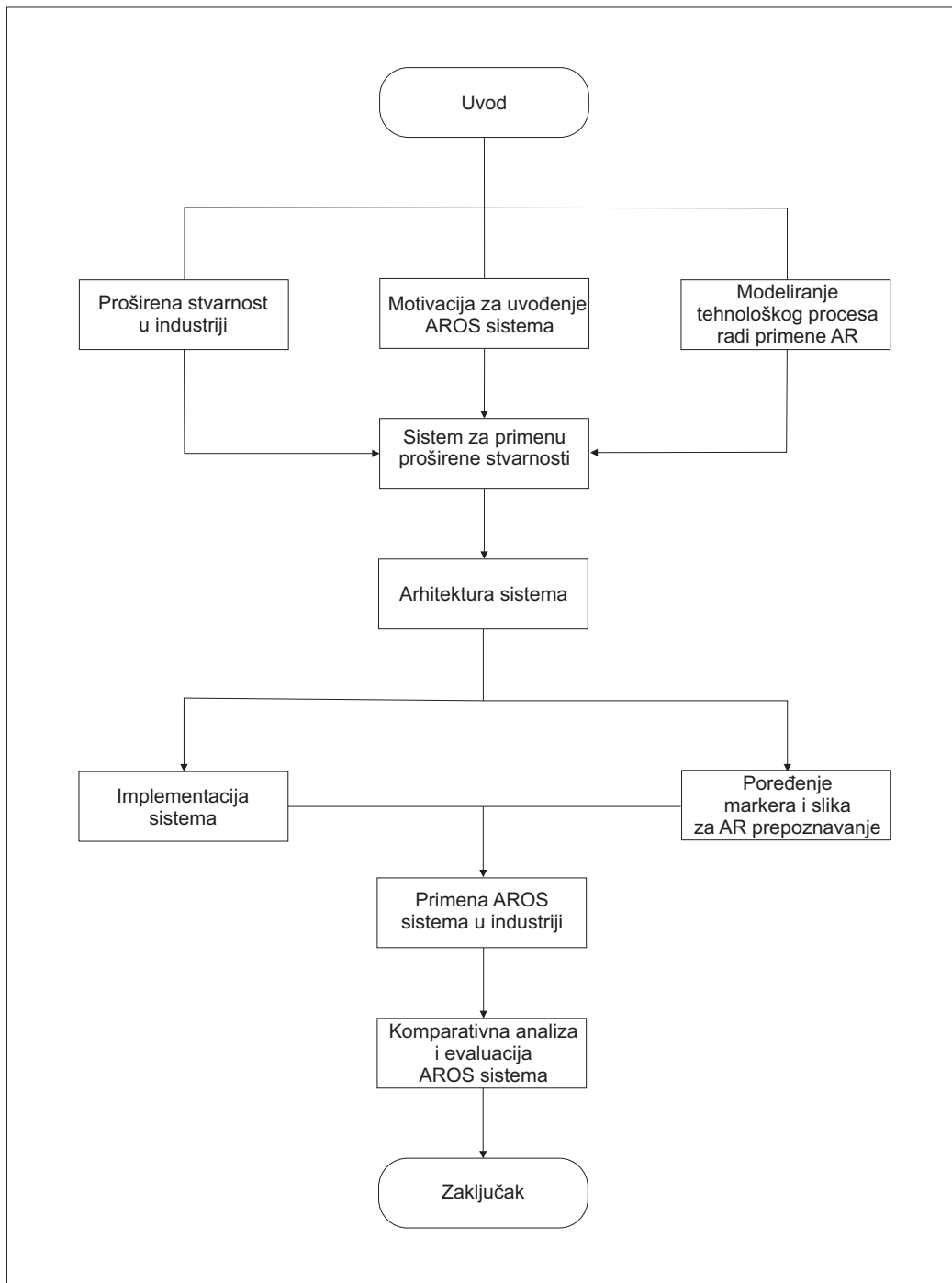
Na osnovu definisane arhitekture detaljno je izložena implementacija kako serverskog tako i klijentskog dela sistema u sedmoj glavi. Implementacija je prikazana za dva industrijska okruženja, mašinsko odeljenje termoelektrane i trafostanice u elektroenergetskom sistemu, sa realizacijom različitih modula za proširenu stvarnost.

Poređenje tehnologija praćenja i prepoznavanja urađena je za markere i slike koji su testirani pod različitim svetlosnim uslovima i oštećenjima u glavi osam. Takođe, date su preporuke u kojim slučajevima i okolnostima treba primenjivati ove tehnike praćenja i prepoznavanja.

Deveta glava predstavlja studiju slučaja i opisuje scenario upotrebe sistema. Primena sistema prikazana je na primeru aplikacije namenjene radnicima koji rukuju kombinovanim strugom u Termoelektrani Ugljevik. Drugi primer praktične primene urađen je za izmenu osigurača u trafostanicama čime se pokazuje univerzalnost korišćenja AROS sistema.

Poređenje i efikasnost implementiranih sistema diskutovana je u glavi deset. Provera efikasnosti je urađena metodama anketiranja samih radnika kao i razgovorom sa rukovodiocima u okviru radne jedinice Termoelektrane Ugljevik.

Na kraju, u glavi jedanaest, izneti su razlozi za opravdanost uvođenja ovakvih sistema u industrijskim porstrojenjima kao i mogući budući pravci naučnog istraživanja.



Slika 1.2 Organizacija i struktura doktorske disertacije

Glava 2

Proširena stvarnost u industriji

Kao što je u prethodnoj glavi istaknuto, primena tehnologije proširene stvarnosti u industrijskom okruženju ima veliki potencijal i mogućnosti za dalje unaprđenje proizvodnih procesa uz istovremeno povećanje bezbednosti na radu i smanjenje rizika od povreda. Širok je spektar istraživanja ove tehnologije koja se mogu primeniti u industriji. Neka od posebnih polja istraživanja (tabela 2.1) odnose se na pojedinačne industrijske grane kao što su [25, 45, 58], avio [17, 29, 49], građevinska [5, 11], pomorska [8, 36], naftna [33], vojna [46] i nuklearna [19, 72, 73, 87].

Preporuke za razvoj sistema zasnovanih na AR tehnologiji razmatrane su u naučnoj literaturi. Osobine AR sistema za uspešnu upotrebu u industriji opisane su u [53]. Istaknuto je da AR sistema u industrijskom okruženju treba da ima sledeće karakteristike:

- pouzdanost – da poseduje veliku preciznost i tačnost u prepoznavanju,
- jednostavnost korišćenja – korisnički interfejs treba da bude jednostavan i intuitivan za upotrebu,
- prilagodljivost – lako uređivanje i izmena virtuelnog sadržaja.

Osim obezbeđivanja navedenih karakteristika, za razvoj ovakvih sistema neophodno, je dobro razumevanje industrijskih procesa i njihovih potreba. Takođe, potrebno je sagledati ko su krajnji korisnici ove tehnologije, kakva je njihova osposobljenost kao i okruženje u kome se nalaze.

U radu [84] su date neke od preporuka koje su proistekle iz razvoja ARVIKA sistema. Ovaj projekat obuhvata višegodišnje istraživanje u oblasti industrijske proširene stvarnosti. Razmatrane su brojne ideje i postavljene osnove za primenu AR u industriji. Međutim, zbog ograničenja u hardveru, u periodu kada je ovaj rad objavljen, mnogi projekti nisu izašli van istraživačkog konteksta. Ipak, ostavljena su otvorena pitanja istraživačima koja su dala ideje i smerince za dalji rad.

Pregledni rad [23] obuhvata veliki broj istraživanja u okviru industrijske proširene stvarnosti. Diskutovan je nivo primene, odnosno njihova realna primena u industriji. Izvršena je evaluacija radova kako bi se formulisale i istakle preporuke za realizaciju uspešnih AR industrijskih sistema.

Još jedan pregledni rad sa istraživanjem koje obuhvata 120 studija sumirajući njihove rezultate, ideje i izazove [79]. Radovi obuhvaćeni ovom studijom klasifikovani su u četiri kategorije:

1. prema korišćenim konceptima i odgovarajućoj teoriji,
2. načinu implementacije koji se dalje deli na realizaciju softvera i hardvera,
3. evaluaciji koja se dalje deli na ocenu efektivnosti i korisnosti,
4. adaptaciji ka konkretnim industrijskim granama, čime se ujedno pokazuje da li je sistem testiran u industriji.

Pokazalo se da je većina obuhvaćenih studija orjentisana ka laboratorijskim istraživanjima zato što je AR tehnologija u vreme objavljivanja razmatranih radova bila u ranoj fazi razvoja za praktičnu primenu. Međutim, izloženo istraživanje predstavlja osnovu za realizaciju uspešnih projekata za primenu tehnologije proširene stvarnosti.

Tabela 2.1 Industrijska proširena stvarnost u literaturi

Proširena stvarnost u industriji						
Avio	Automobilska	Građevinska	Pomorska	Naftna	Nuklearna	Vojna
Hardver za proširenu stvarnost u industriji						
Mobilni uređaji		Pametne naočare			Projekcioni sistemi	
Područje primene proširene stvarnosti u industriji						
Izvršavanje radnih zadataka		Održavanje industrijskih sistema		Obuka radnika		Zaštita na radu

2.1 Hardverska rešenja AR u industriji

Različita su hardverska rešenja koja se koriste u primeni industrijske proširene stvarnosti. Pomoću mobilnih uređaja, kao što su pametni telefoni ili tablet računari, radniku se pružaju informacije za izvršavanje radnog zadatka u okviru industrijskog prostora [34, 61]. AR tehnologija se primenjuje tako što se radnik kreće kroz industrijski prostor sa mobilnim uređajem u rukama i praćenjem obeleženog prostora dobija informacije o

radnom zadatku. Radniku se virtuelne informacije prikazuju na ekranu mobilnog uređaja tokom praćenja nad označenim delovima industrijskog sistema.

Ako je potrebno da radnik ima slobodne ruke tokom izvršavanja zadatka preporučuje se korišćenje pametnih naočara [28, 63]. Kod ovih uređaja virtuelne informacije se, za izvršavanje radnog zadatka, projektuju na staklu naočara. Kao nedostatak se navodi smanjeni ugao gledanja tokom korišćenja ovog hardvera. Alternativa mogu biti projekcioni sistemi koji kombinuju sliku stvarnog prostora sa kompjuterski generisanim multimedijalnim sadržajem. Ovako nastala slika prikazuje se na velikom platnu ili direktno na radnoj površini [76, 88].

2.2 Područje primene AR u industriji

U ovom poglavlju su opisani neki radovi koji su po svojoj ideji i načinu realizacije doprineli ovoj doktorskoj tezi. Zapravo, ova teza predstavlja kombinaciju nekih ideja predstavljenih u datim radovima, dok se glavni doprinos vidi u primeni AR tehnologije u oblasti zaštite na radu. Razmatrani radovi se mogu urediti po oblastima kao što su izvršavanje radnih zadataka, održavanje industrijskih sistema, obuka radnika i zaštita na radu.

2.2.1 Primena AR u izvršavanju radnih zadataka

Posao u industrijskom postrojenju je veoma složen proces koji obuhvata različite vidove rada i izvršavanja radnih zadataka. U ovom odeljku opisani su AR sistemi koji služe za planiranje i definisanje radnih procedura, njihovu proveru, saradnju između radnika, kao i procese kreiranja proizvoda u industrijskom okruženju.

Upotreba pametnih sistema, koji mogu da uoče i predvide nepravilnosti u radu mašina u industrijskom postrojenju, predstavljaju značajnu ulogu u povećanju bezbednosti, smanjenju troškova, uštede vremena i sprečavanju zastoja industrijskog procesa. Kombinacija ovakvog sistema sa tehnologijom proširene stvarnosti prikazana je u radu [18]. Pomoću realizovanog sistema CARMMI (Computer-aided technologies - CAx - models integrated to Mixed Reality and Intelligent Maintenance) dobijaju se informacije koje pomažu radnicima u održavanju industrijskog postrojenja. Glavni doprinos ovog rada je prikazan kao povezivanje između CAx, AR i inteligentnih sistema. Ovakvim povezivanjem relizuju se tri različita podsistema za održavanje: dijagnostika,

planiranje i bezbednost. Ovi podaci prikazuju se radnicima tokom rada da bi na što jednostavniji način dobili zadatke. Pokazalo se da je na taj način olakšan proces popravke i održavanja.

U stručnoj literaturi su opisana rešenja zanovana na različitim multimedijalnim tehnikama pomoću kojih se prate faze razvoja industrijskog proizvoda (Product Lifecycle Management - PLM) i koje zahtevaju potvrdu koraka u njihovom izvršenju. U radu [21] prikazan je modularni sistem koji je u mogućnosti da prati sve faze i korake tokom kreiranja nekog proizvoda. Ovo je postignuto kombinacijom interaktivne liste provere i integrisanog virtuelnog okruženja. Primenom hardverskih komponenti, kao što su stereo kamere, virtuelne rukavice i virtuelno čulo dodira (haptic arm), omogućava se interakcija korisnika sa virtuelnim okruženjem u kome se odvija obuka za PLM. Kao doprinos ističe se jedinstveni sistem za praćenje pokreta kao i modularnost sistema čime se omogućava realizacija različitih scenarija. Sistem je testiran u laboratoriji i pokazuje lako prilagođenje korisnika na novi vid interakcije tokom obuke.

U radu [27] predložen je alat za jednostavno kreiranje AR sadržaja kako bi se olakšalo izvršenje nekog zadatka u okviru industrijskog pogona. Sistem se sastoji od editora za kreiranje sadržaja i aplikacije za njegovo prikazivanje korišćenjem AR tehnologije na mobilnim uređajima. Glavni doprinos ovog rada je da se omogući korisnicima, koji ne poseduju programerske veštine, kreiranje AR aplikacija namenjenih popravci i održavanju u okviru industrijskog pogona. Takođe, uz pomoć Microsoft Kinect uređaja omogućeno je snimanje dubinskih mapa (depth maps) kako bi se izbegle smetnje (occlusions) kod uređivanja AR sadržaja. Evaluacijom sistema je utvrđeno da se broj grešaka, koje nastaju tokom procesa izvršenja radnog zadatka, značajno smanjuju. Posebno se ističe i brzina kreiranja sadržaja kao i preciznost prepoznavanja.

Uticao proširene stvarnosti za podršku radnicima tokom izvršavanja radnih zadataka opisana je u radu [57]. Sistem je koncipiran kao komercijalno pristupačno rešenje koje uz pomoć računara, klasičnog monitora i web kamere pruža potrebne informacije. Studija slučaja prikazana je tokom rada sa štampanim pločama. Scenario izvođenja je jednostavan. Kada radnik sa štampanom pločom u rukama stane ispred kamere, na radnom stolu, dobija instrukcije na monitoru koji se nalazi iznad kamere. Kao tehnika praćenja tokom popravke koristi se praćenje prirodnih karakteristika (NFT – natural feature tracking). Tokom praćenja dobijaju se virtuelne instrukcije koje se prikazuju na štampanoj ploči i to na mestu gde ih treba izvršiti. Kretanje kroz instrukcije vrši se glasovnim komandama. Predloženi sistem je testiran i upoređen sa štampanim

uputstvom. Laboratorijski rezultati su pokazali da AR rešenje ima bolje performanse tokom izvršavanja od tradicionalnog štampanog uputstva.

Izgradnja fabrike tečnog gasa je kompleksan proces koji obuhvata angažovanje ljudi iz različitih oblasti i struka gde se zahteva razmena velike količine podataka. U radu [81] opisan je sistem za efikasnu razmenu podataka i saradnje između ljudi različitih struka. Kombinacijom Building Information Modeling (BIM) modela i proširene stvarnosti dobijaju se informacije koje omogućavaju efikasniji pristup podacima kao i smanjenje grešaka tokom rada. Radnicima je omogućeno da prate i uporede trenutno i buduće stanje. Takođe, komunikacija i saradnja radnika različitih struka na različitim lokacijama je omogućena sa ciljem da se poveća produktivnost.

Dizajniranje proizvoda, pogotovo u konceptualnoj fazi, je složen proces. Često se dešava da se iz realnog prostora, za koji treba kreirati određeni proizvod, prelazi u kancelariju za kreiranje 3D virtuelnog rešenja. Na ovaj način se gubi mogućnost sagledavanja predloženog dizajna u prostoru za koji je namenjen. Proširena stvarnost je tehnologija koja pruža mogućnost vizuelizacije dizajna proizvoda u realnom prostoru. Dizajniranje proizvoda na licu mesta pomoću tehnologije proširene stvarnosti u ranoj fazi razvoja proizvoda opisana je u radu [2]. Predloženim AIR Modelling alatom, korišćenjem tehnologije proširene stvarnosti, omogućava se kreiranje virtuelnog koncepta u realnom prostoru uz pomoć pokreta ruke korisnika. Ovako realizovan sistem pokazao se kao brzo i efikasno sredstvo koje u realnom vremenu omogućava dizajniranje potencijalnog rešenja za prostor kome je namenjen.

Saradnja na daljinu, u kreiranju dizajna nekog proizvoda, postala je sve učestalija i važnija. Veoma je bitno da se informacije prikazuju što preciznije između saradnika, koji se nalaze na udaljenim geografskim područjima, kako bi se posao obavio što kvalitetnije. U radu [80] je predložen novi sistem TeleAR za udaljenu saradnju kombinacijom tehnologije proširene stvarnosti i telekonferencijskog sistema kako bi se bolje integrisao virtuelni radni prostor između saradnika. Razvijena je AR tabla koja služi za razmenu digitalnih informacija tokom konferencijske veze između većeg broja saradnika. Na ovaj način se omogućava visok nivo prisutnosti i saradnje u razmeni podataka.

Evaluacija dizajna nekog proizvoda korišćenjem tehnologije proširene stvarnosti u kombinaciji sa čulom dodira prikazana je u radu [56]. Za realizaciju sistema kreirana je maketa sa markerom koji služi za prepoznavanje pomoću AR tehnologije. Prepoznavanjem markera prikazuje se dizajn proizvoda na maketi. Radi bolje i realističnije interakcije sa 3D modelom implementirana je precizna detekcija prsta.

Eksperimentalni rezultati su pokazali da je ovakvo rešenje dobro za razvoj nekog proizvoda.

2.2.2 Primena AR u održavanju industrijskih sistema

U održavanju industrijskog postrojenja se teži ka stalnom unapređenju performansi koje se tiču pouzdanog i bezbednog rada. Međutim, napretkom tehnologije i sve kompleksnije opreme, za upotrebu u industrijskom okruženju, zadaci koji se odnose na poslove održavanja postaju sve složeniji. Proširena stvarnost u pokazuje sve značajniji potencijal u oblasti održavanja industrijskih sistema. Poseban trend predstavlja asistiranje tokom procesa održavanja, gde se primenom AR tehnologije, teži ka unapređenju načina prikazivanja potrebnih instrukcija. Primena ove tehnologije omogućava da se virtualne instrukcije prikazuju preko slike stvarnog okruženja u realnom vremenu i na taj način precizno izvrši proces održavanja u industrijskom prostoru. Novi trendovi i trenutne primene AR tehnologije u popravci i održavanju dati su u radu [42]. Takođe diskutovani su izazovi, otvoreni problemi i pravci u kojima mogu da se razvijaju sistemi za održavanje zasnovani na AR tehnologiji. Rešavanje jednog od otvorenih pitanja opisano je kao deo razvoja u okviru EASE-R3 projekta. Ovaj sistem ima za cilj da poboljša trenutna ograničenja u izdavanju AR instrukcija korišćenjem klijent-server arhitekture. Rešenje se svodi na analizu i rekonfiguracije AR instrukcija tokom popravke korišćenjem teledirigovane pomoći od strane operatera sa udaljene lokacije.

Sistem prikazan u [89] rešava problem usklađivanja informacija, koje se prikazuju pomoću AR tehnologije, sa okruženjem u kome se radnik nalazi. Ovaj sistem integriše AR tehnologiju sa tehnologijom koja omogućava detekciju radnog prostora (context awareness) u kome se određena radna instrukcija izvršava. Opisane su osobine AR sistema i diskutovan je način na koji je izvršena adaptacija sadržaja za okruženje u kom se radnik nalazi tokom obavljanja zadataka.

Ista grupa autora u svom drugom radu [90], osim što sadržaj prilagođava okruženju, smatra da radnici ne treba da budu pasivni, u smislu da samo primenjuju instrukcije, već i da aktivno učestvuju u njihovom kreiranju. Zbog toga je implementirana opcija koja omogućava radnicima da ostvare interakciju sa AR sadržajem tako da se pored vizuelizacije sadržaja mogu izvršiti korekcije i dopune integrisanog materijala. Integracija osnovnih virtuelnih podataka realizuje se pomoću desktop računara, dok se putem instalirane AR aplikacije na mobilnim uređajima pružaju potrebne informacije

za proces održavanja. Na ovaj način se omogućava radnicima da na licu mesta menjaju uneti sadržaj i postanu aktivni učesnici u kreiranju sadržaja koji se koristi u održavanju. Prikazana je studija slučaja kako bi se demonstrirala prednost uvođenja ovakvog sistema u industrijskom okruženju.

U radu [41] prikazan je sistem integrisan na mobilnim uređajima koji pomoću AR tehnologije služi za navigaciju radnika do mesta za održavanje kao i prikazivanje radnih instrukcija. Tehnologijom proširene stvarnosti vrši se prepoznavanje markera sa slikom kako bi se radnik doveo do lokacije na kojoj je potrebno izvršiti postupak održavanja. Posle toga se na uređaju, koji je specificiran zadatkom, prikazuju virtuelne informacije radi pomoći u procesu održavanja. Kao glavni doprinos u radu navodi se ispitivanje karakteristika prepoznavnja markera sa slikom koji su integrisani kao znaci unutar zatvorenog prostora (znak za izlaz, požar ili tekstualni znak). Karakteristike prepoznavanja su testirane za različite rezolucije kamera nad markerima različitog izgleda i veličina kao i pod različitim svetlosnim uslovima. Studija slučaja urađena je u okviru univerzitetskog kampusa kako bi se opravdala izvodljivost. Prikazan je i potencijal prepoznavanja znakova za navigaciju u zatvorenom prostoru kao i proces izdavanja instrukcija za popravku upotrebom AR tehnologije.

Prototip za popravku i održavanje mehaničkih delova, korišćenjem tehnologije proširene stvarnosti, kao i studija slučaja predstavljeni su u radovima [31, 30] na primeru vojnog oklopnog vozila sa ciljem da se skрати vreme izvršavanja zadatka. Ovaj prototip koristi specijalno dizajnirane naočare sa integrisanim ekranima za proširenu stvarnost. Pomoću naočara se prikazuju instrukcije mehaničarima radi poboljšanja njihovog rada. Naočare omogućuju kombinovanje slike stvarnog okruženja sa tekstom, labelama, strelicama kao i animiranim video sadržajima. Na ovaj način omogućava se pronalaženje mesta realizacije kao i uputstvo za izvršavanje zadatka. AR sistem je poređen sa izdavanjem virtuelnih instrukcija na klasičan način korišćenjem LCD ekrana. Statistička analiza je pokazala da dati AR sistem može da skрати vreme lociranja mesta za izvršavanje zadatka. Takođe, pokazalo se da su pokreti glave i vrata manji korišćenjem AR sistema tokom popravke. Ovakva vrsta pomoći dobila je pozitivno mišljenje većine korisnika uz napomenu da je vidno polje bilo ograničeno AR naočarima i da je nekim radnicima smetalo.

Za razliku od prethodno pomenutih radova, u kojima su pružane instrukcije u informacionoj fazi za izvršavanje zadatka, u radu istih autora diskutovan je sistem koji se nadovezuje na predloženo rešenje a tiče se primene tehnologije proširene stvarnosti u psihomotornoj fazi izvršavanja zadatka [32]. Izloženo je unapređenje, u odnosu

na prethodni sistem, gde se kao dodatne opcije prikazuju mogućnost praćenja više nezavisnih predmeta tokom popravke. Zbog toga ovaj sistem pruža preciznije instrukcije tokom rada. Studija je pokazala da ovakav sistem daje bolje rezultate od klasični virtuelnih 3D instrukcija koje su prikazivane na LCD uređajima.

Sistem zasnovan na velikom ekranu predložen je, kao nova vrsta hardvera za održavanje industrijskih postrojenja korišćenjem AR tehnologije, u radu [22]. Veliki ekran napravljen je uz pomoć projektora, nekoliko fiksiranih i mobilnih kamera koje snimaju industrijski prostor. Pomoću ovog AR sistema i unapred integrisanih instrukcija prikazuju se informacije u vidu zvuka, teksta, 3D modela i animacija. Provera je urađena upoređivanjem štampanog uputstva i projektovanog AR sistema. Predloženi sistem se pokazao kao efikasnije sredstvo za industrijsku primenu u oblasti održavanja. Osim što je efikasan, ovaj sistem predstavlja i ekonomski isplativo rešenje koje se sastoji od jeftinog hardvera (računara, veb kamera i projektora).

Rad [35] opisuje primenu tehnologije proširene stvarnosti kao podršku u održavanju nuklearnih centrala. Doprinos ovog rada je kreiranje nove metode za praćenje kao i definisanje nove vrste markera. Opisani sistem može prepoznavati markere podjednako iz blizine ili daljine pod različitim svetlosnim uslovima. Time se prevazilaze ograničenja klasičnih markera gde se kvadratni markeri bolje prepoznaju iz blizine, dok se linijski i kružni bolje prepoznaju sa daljine. Takođe, moguće je izračunati relativnu poziciju i orijentaciju između markera i kamere što može olakšati i navigaciju u velikim industrijskim postrojenjima kao što su nuklearne centrale.

Solarnim sistemima koji služe za snabdevanje udaljenih lokacija strujom potrebno je adekvatno održavanje. Zbog efikasnosti kao i grešaka koje nastaju usled ljudskog faktora tokom održavanja predlaže se korišćenje sistema baziranog na tehnologiji proširene stvarnosti [6]. Posebna pažnja posvećena je korisničkom interfejsu koji služi da prikaže komande za popravku dobijenih iz baze podataka sa servera. Ovaj proces počinje kada se, pomoću senzora, otkrije nepravilnost u radu sistema. Takođe, predloženo rešenje odnosi se na definisanje i praćenje markera pod pojačanim osvetljenjem. Izvedeni su eksperimenti koji pokazuju prednosti ovako uvedenog sistema koji se tiču fleksibilnosti i uštede vremena pogotovo na udaljenim lokacijama.

2.2.3 Primena AR u obuci radnika

Složenost i kompleksnost razvoja industrijskih postrojenja zahtevaju čestu obuku i osposobljavanje radnika za izvršavanje novih radnih zadataka. Uvođenje informacionih tehnologija u proces obuke ima višestruki značaj. Kreira se baza znanja koja se može brzo pretraživati i stalno uvećavati za nove vidove obuke. Radnik na lakši način, u odnosu na klasične priručnike, može da dobije informacije radi usavršavanja znanja za buduće radne zadatke. Proširena stvarnost predstavlja tehnologiju koja može da unapredi kvalitet instrukcija tokom obuke prikazujući precizno informacije na mestu njihovog izvršavanja. Jedno inovativno rešenje, kao primer primene AR tehnologije, prikazano je u radu [82]. Realizovan je sistem za obuku radnika u kreiranju proizvoda koji nastaju livenjem tečnog metala. Interaktivni interfejs ostvaren je pomoću tehnologije proširene stvarnosti i služi da simulira kretanje čestica i protok tečnog metala kroz kalup u realnom vremenu. Ovako kreiran sistem omogućava bolje razumevanje proizvodnog procesa i obuku bez ograničenja koja se odnose na vreme i troškove.

Novi koncept koji se odnosi na primenu proširene stvarnosti dat je u radu [83]. Predstavljeni su rezultati razvoja i testiranja koji se odnose na obuku radnika u okviru industrijskog okruženja. Dva modaliteta su predstavljena za svaki scenario obuke: direktni – koji odmah tokom praćenja prikazuje 3D model i indirektni – koji prikazuje opciju za dodatne informacije tokom obuke. Kao dodatno sredstvo koristila se vibrirajuća narukvica u slučaju kada AR sistem nije bio dovoljan za predstavljanje određenih informacija. Primer je dat kod poslova koje zahtevaju određeni način rotacije ruke. Vibracija narukvice se prostire oko zgloba u smeru u kom je potrebno okretati ruku. Evaluacija je pokazala da su radnici, koji su koristili AR sistem, pravili manje grešaka tokom obuke i imali bolje vremenske karakteristike u odnosu na radnike koji su koristili tradicionalne metode.

Greške u održavanju u avio industriji predstavljaju veliku opasnost za bezbednost vazdušnog saobraćaja. Zbog toga je neophodno dobro obučiti radnike kako bi se redukovao broj grešaka i smanjili rizici. Proširena stvarnost u kombinaciji sa mobilnom opremom predstavlja efikasno i korisno sredstvo za obuku radnika u avio industriji [12]. Efikasnost ovog sistema ogleda se u upotrebi tehnologije praćenja bez markera kako bi se radnicima izdavale virtuelne instrukcije u vidu 3D modela u uslovima različite osvetljenosti. Upotrebljivost sistema je potvrđena činjenicom da je više radnika uspešno i efikasno izvršilo zadatke korišćenjem AR tehnologije. U radu [59] vršena je komparativna analiza tri različite metodologije koje se odnose na održavanje

sistema i obuku radnika u aeronautici. Poređenje je vršeno između tradicionalnih metoda (korišćenjem štampanih uputstva), multimedijalnog uputstva (korišćenjem audio vizuelnih elemenata) i proširene stvarnosti. AR aplikacija koja prikazuje instrukcije tokom četvoročasovnog treninga pokazala se kao najkorisnije sredstvo za obuku u poređenju sa ostale dve metode.

Istraživanje u kome je kombinovana proširena stvarnost sa inteligentnim sistemom za učenje (Intelligent Tutoring Systems - ITS), kako bi se vršila obuka radnika, opisano je u radu [85]. Predstavljen je modularan i prilagodljiv sistem koji služi za trening radnika u procesima montaže. Da bi se demonstrirale i testirale karakteristike sistema opisan je proces koji služi za obuku radnika u sastavljanju matične ploče računara sa ostalim računarskim komponentama. Evaluacijom se pokazalo da su performanse ovog inteligentnog sistema značajno poboljšane u odnosu na klasične sisteme koji koriste proširenu stvarnost.

Proučavanje sistema za obuku radnika je od velikog značaja za nuklearne elektrane gde su havarije često izazvane ljudskim faktorom tokom održavanja. U radu [86] prikazano je istraživanje u kom se ispituju količina i vrste informacija koje treba prikazivati novim radnicima pomoću AR tehnologije kako bi se smanjile greške prilikom održavanja sistema. U prvom eksperimentu utvrđeno je da optimalan broj informacija koje se prikazuju u nizu, pomoću AR tehnologije, je četiri do pet instrukcija. Drugi eksperiment je pokazao da su uputstva zasnovana na predloženoj heuristici za kreiranje AR instrukcija nešto efikasnije rešenje.

U radu [9] obuhvaćena su istraživanja koja služe kao preporuke za obuku radnika u procesu održavanja u automobilske industriji. Razmatrane su studije koje opisuju efektivnost razvoja VR/AR alata za obuku radnika. Kako bi se odredila efikasnost AR/VR alata u automobilske industriji korišćeni su kriterijumi definisani u istraživanjima koji se tiču obuke radnika u različitim oblastima. Na osnovu evaluacije uz pomoć definisanih parametara pokazalo se da:

1. AR alati su korisniji za procese sastavljanja i rastavljanja,
2. obukom uz pomoć VR/AR alata postiže se smanjivanje grešaka i vremena izvršenja,
3. radnici su bili zadovoljniji obukom pomoću AR tehnologije zbog boljeg razumevanja zadataka i procedura u odnosu na klasičnu obuku,
4. VR/AR alati mogu da se koriste za različite stručne osposobljenosti radnika ali zbog efikasnosti treba voditi računa o načinu i količini podataka koji se prikazuju.

2.2.4 Primena AR u zaštiti na radu

U industriji se dešava da radnici zanemare bezbedonosna upozorenja i na taj način dolaze u rizičnu situaciju tokom izvršavanja zadataka. Sa druge strane, tradicionalne metode za davanje bezbedonosnih upozorenja nisu dovoljno efektivne. Ove metode su često statične i mogu da budu van delokruga radnika tokom rada. Događa se da ometaju druge radnike dajući znak upozorenja onima kojima nije upućen. Kao poboljšanje prikazivanja bezbedonosnih upozorenja može se koristiti tehnologija proširene stvarnosti. Rad [14] prikazuje istraživanje kojim se definiše prikazivanje bezbedonosnih upozorenja upotrebom AR tehnologije. Istaknuto je da elementi upozorenja koji se prikazuju treba da budu što jednostavniji i lako uočljivi. Evaluacijom se pokazalo da je, kao signal upozorenja, najbolje koristi pulsirajući svetlosni signal u crvenoj boji sa frekvencijom 4-8 Hz.

Potencijal u zaštiti na radu za industrijska okruženja predstavljaju pametne naočare (Head Worn Device - HWD) koje, kao pomoćno sredstvo u kombinaciji sa AR tehnologijom, pomažu u pružanju dodatnih informacija radniku tokom izvršavanja nekog zadatka. U radu [39] opisana je studija u kojoj su intervjuisani eksperti iz nekoliko različitih grana industrije sa ciljem da se definiše trenutno stanje i budući razvoj AR HWD sistema za potrebe industrije. Pokazalo se da samo kvalitetno realizovana kombinacija AR i HWD sistema može doprineti kako u poboljšanju bezbednosti na radu tako i na uspešnom izvršavanju radnih zadataka. Ipak, ističe se da je ova tehnologija još uvek mlada, odnosno u fazi razvoja i da još uvek nije razvijena za svakodnevnu upotrebu. Nabrojana su ograničenja koja se odnose na upotrebu AR HWD sistema kao i preporuke za razvoj potencijalnih aplikacija korišćenjem ove tehnologije.

Građevinska industrija predstavlja veoma složeno okruženje u kome su radnici izloženi rizicima zbog kojih se događaju povrede na radu. Većina nezgoda je izazvana ljudskim faktorom zbog čega se teži ka uvođenju novih mera zaštite. Prevencija nezgoda vrši se edukacijom radnika, međutim tradicionalne obuke su ograničenog karaktera. Pedagoške metode zaštite na radu su uglavnom teorijske bez prakse na terenu. Zbog toga je u radu [43] opisan sistem za unapređenje nastave zaštite na radu uz pomoć tehnologija virtualne i proširene stvarnosti. Sistem se primenjuje na mobilnom uređaju. Sastoji se iz korisničkog interfejsa, dela za uređivanje sadržaja i baze podataka. Evaluacijom razvijenog prototipa pokazalo se da ovakav sistem može značajno da poboljša obuku kako u indentifikaciji grešaka tako i u primeni bezbedonosnih procedura. Kao mana ovog sistema navodi se vreme potrebno za kreiranje sadržaja za edukaciju.

Još jedan rad koji primenjuje tehnologiju proširene stvarnosti sa ciljem da se poboljša bezbednost u građevinarstvu je [64]. Zbog kompleksnosti podzemnih instalacija, koje zahtevaju izmene, neophodno je da se obazrivo i na pravom mestu vrši njihovo iskopavanje. Tehnologija proširene stvarnosti služi da prikaže podatke iz geoprostorne baze u formi 3D modela o tačnoj lokaciji instalacija tokom iskopavanja. Primer je dat na simulaciji iskopavanja pomoću bagera gde se na monitoru u kabini uz pomoć AR tehnologije i GPS sistema prikazuju podaci o instalacijama u okolini.

Prirodne katastrofe dovode do oštećenja urbanih područja posle kojih je neophodno analizirati novonastalu situaciju i proceniti potrebu za njihovom sanacijom. Kako bi se ustanovila oštećenja zgrada i ocenila njihova bezbednost u radu [40] je predložen sistem koji pomaže ekspertima za bezbednost u proceni rizika. Sistem je osmišljen tako da na mobilnom uređaju upotrebom AR tehnologije može da se uporedi stanje pre katastrofe, dobijanjem virtuelnog sadržaja iz baze podataka, i trenutnog stanja. Na osnovu uvida u trenutno i prethodno stanje nekog objekta ekspert za procenu rizika je u mogućnosti da brže definiše stepen oštećenja i nivo bezbednosti upotebe tog objekta.

Incidenti u nuklearnim postrojenjima izazivaju posledice koje traju godinama i negativno utiču na životnu sredinu. U takvim situacijama evakuacija ljudi je od primarnog značaja gde moderna tehnologija može biti od velike pomoći. Integracija geografskog informacionog sistema i tehnologije proširene stvarnosti kako bi se izvršila evakuacija ljudi prikazana je u radu [74]. Pomoću ovog mobilnog sistema efikasno se pronalaze skloništa i vrši evakuacija ljudi. Unapređenje ovog sistema prikazano je u radu [71]. Uvedena je orijentacija u zatvorenom prostoru kao i integracija 3D modela koji pomažu u evakuaciji. Takođe integrisana su dva mehanizma:

1. alarm, koji konvertuje tekst u zvuk i aktivira se u blizini skloništa zbog preciznijeg navođenja i
2. SMS servis, za pomoć u slučaju problema tokom evakuacije (neka osoba se izgubila ili ako joj je onemogućeno kretanje).

Unapređeni sistem se pokazao, eksperimentalnom evaluacijom sprovedenom nad korisnicima, kao bolje rešenje.

Glava 3

Motivacija za uvođenje AROS sistema

Tokom radnog procesa dešavaju se greške u radu koje mogu dovesti do povreda. Nastale povrede, osim neposrednog negativnog uticaja na zdravstveno stanje i psiho-fizičku sposobnost radnika čija je zaštita od prvenstvenog značaja, imaju širok spektar negativnog dejstva na proizvodni proces i ekonomske faktore. Mogu dovesti do pauze radnika u toku radnog procesa, premeštanja na druge poslove ili njegovog odsustva. Zbog ovih, nepredviđenih okolnosti, izvršavanje redovnih procedura u okviru industrijskog pogona se komplikuje i dolazi do zastoja u radu. Ovakvi događaji negativno deluju na proces proizvodnje što direktno utiče na povećanje troškova proizvodnje.

Služba zaštite na radu je dužna da sprovede analizu faktora koji dovode do povreda na radu. Analizom grešaka kao i uzrocima njihovog nastanka utvrđuju se mere zaštite na radu u cilju sprečavanja i otklanjanja opasnosti i štetnosti po radnike. Takođe, ova služba je dužna da definiše bezbedonosne mere, načine njihovog sprovođenja i da o tome obavesti rukovodstvo kompanije.

Rukovodstvo fabrike je u slučaju nepredviđenih situacija dužno da izvrši reorganizaciju poslova. Upravljanje ljudskim resursima u datim okolnostima kao i određivanje prioriteta u poslovima, je jako složen i vremenski zahtevan zadatak. Detaljnom analizom dostupnih radnika, njihovog stepena osposobljenosti, vrši se raspoređivanje radnika za izvršenje prioritarnih zadataka.

Motivacija za izradu ove doktorske disertacije dobijena je na osnovu analize povreda na radu koje se dešavaju tokom izvršenja redovnih radnih zadataka u različitim industrijskim okruženjima. Na osnovu analize uočena je potreba za uvođenjem dodatnih mera zaštite koje bi pomogle u smanjenju broja povreda. Takođe, sagledani su neki tipični tehnološki procesi u industrijskom okruženju. Zapaženo je da bi značajan doprinos AROS sistema mogao biti u upravljanju ljudskim resurcima tako da je i ovaj aspekt obuhvaćen u disertaciji.

3.1 Analiza povreda – studija slučaja

U ovom poglavlju izložene su dve studije slučaja koje se odnose na analizu povreda u

- mašinskim odeljenjima u termoelektranama na primeru termoelektrane Ugljevik,
- povreda u održavanju tipičnih elektroenergetskih sistema.

Razmatrani su razlozi zbog kojih dolazi do rizičnih situacija i utvrdile mere predostrožnosti neophodne za nesmetano funkcionisanje u prikazanim industrijskim sistemima. Na osnovu ovih analiza uočena je potreba za poboljšanjem postojećih metoda gde tehnologija proširene srvarnosti može značajno da doprinese u pogledu bezbednosti i unaprđenju organizacije rada.

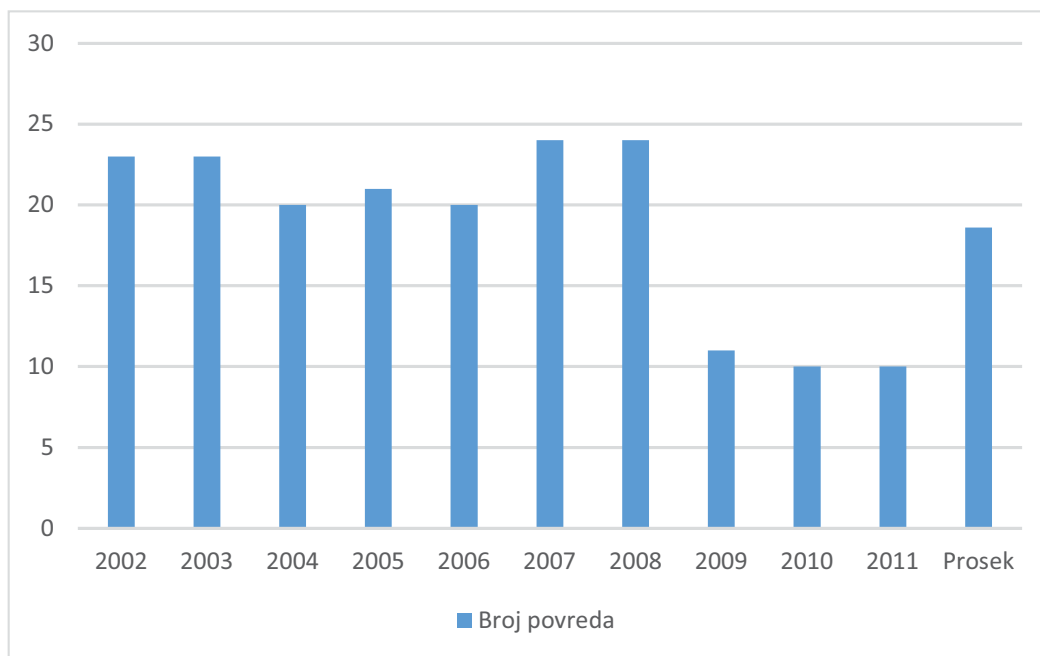
3.1.1 Analiza povreda u termoelektranama

Redovna praksa u okviru Termoelektrane Ugljevik podrazumeva neprekidno praćenje tehnoloških procesa i analizu povreda na radu tokom proizvodnje električne energije. Na osnovu takvih periodičnih analiza definisani su uzroci i identifikovane greške koje dovode do povećanog rizika od povreda. U ovom odeljku razmatrane su povrede na radnom mestu u Radnoj jedinici termoelektrane Ugljevik za period 2002.-2011. godine [70].

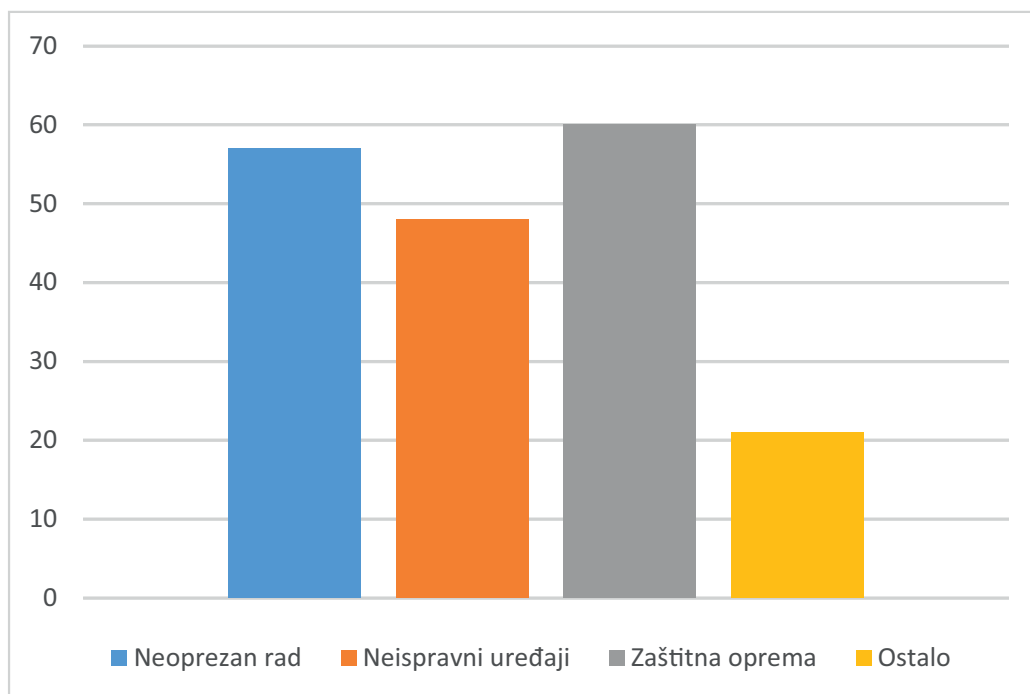
Na slici 3.1 prikazan je broj povreda na radu po godinama u periodu od 2002.-2011. godine. Može se uočiti da se u poslednjih pet analiziranih godina broj povreda smanjio. To se postiglo zahvaljujući obuci i osposobljavanju radnika za bezbedniji rad. Međutim, još uvek se pronalaze rešenja za smanjenje povreda i uvođenje dodatnih mehanizama zaštite na radu.

Uzrok povreda je, uglavnom, ljudski faktor što je prikazano na slici 3.2. Najveći broj povreda dešava se zbog nepravilnog korišćenja zaštitne opreme koja je propisana pravilnikom zaštite na radu. Još jedan od uzroka povreda je neoprezan rad zbog nepridržavanja propisanih mera zaštite i nedovoljne koncentracije radnika. Najčešće povrede su uglavnom izazvane zbog monotonije posla. Radnik zbog rutine posla izostavlja izvesne korake u procesu zaštite na radu. Zbog toga je potrebno uvesti mehanizme provere u procesu zaštite gde će se u svakoj fazi rada proveravati primena bezbedonosnih mera.

Na slici 3.3 predstavljen je broj povreda radnika različitih kvalifikacionih struktura. Razlozi za povrede nekvalifikovanih (NKV) i kvalifikovanih (KV) radnika su najčešće

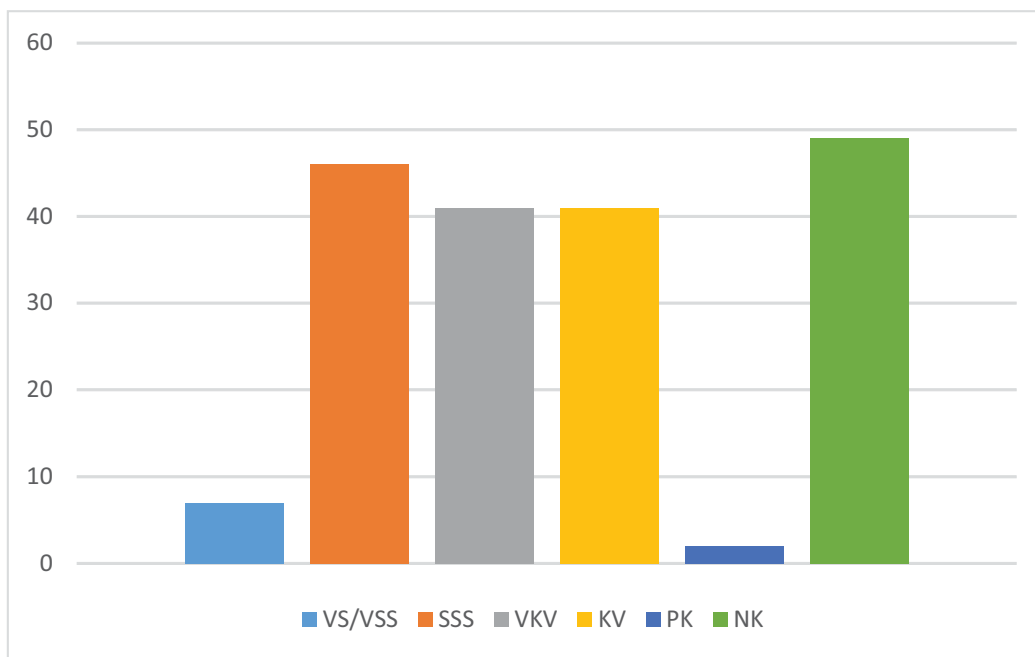


Slika 3.1 Broj povreda na radu po godinama



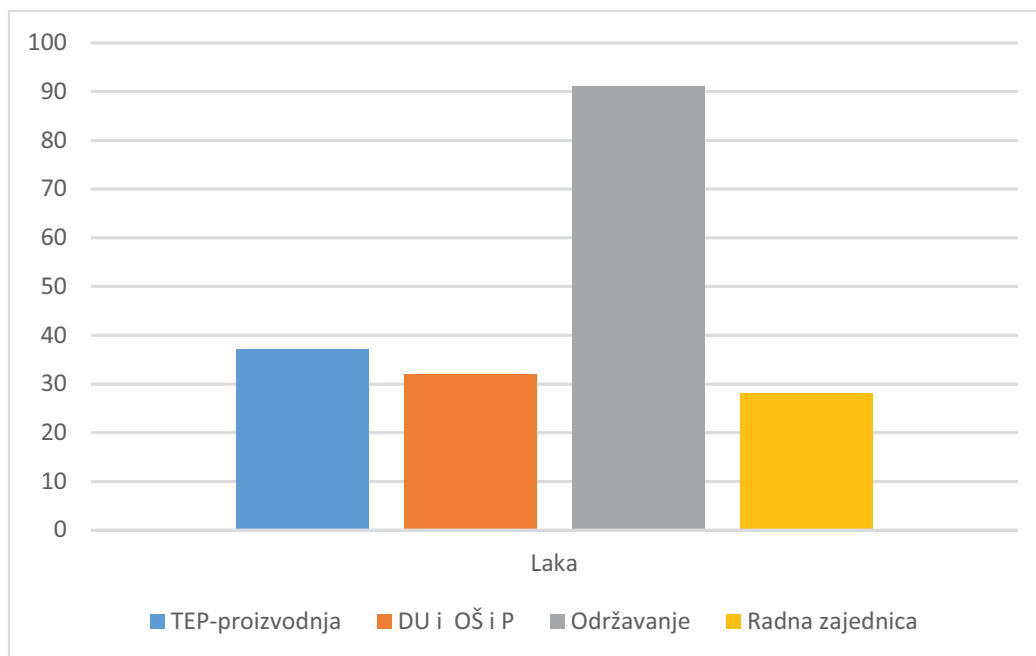
Slika 3.2 Pregled povreda na radu po vrstama uzroka

nepravilno rukovanje zbog nedovoljne osposobljenosti i nepravilne primene mera zaštite propisane odgovarajućim priručnikom. Kod visoko kvalifikovanih VKV radnika povrede se dešavaju zato što se, zbog monotonije posla i visokog samopouzdanja koje poseduju ovi radnici, izostavljaju postupci u primeni zaštitnih procedura. Analiza povreda po kvalifikacionoj strukturi dovodi do zaključka da je, u slučaju VKV radnika, neophodno pronaći mehanizme koji bi upozoravali i usmeravali radnika da primeni odgovarajuće mere zaštite. Kod NKV i KV radnika pored predloženih mera zaštite, kao kod VKV, potrebno je dodatno prikazivati i radne instrukcije koje bi dovodile do pravilnog rukovanja određenim alatima u toku izvršenja radnog zadatka.



Slika 3.3 Pregled povreda na radu po kvalifikacionoj strukturi radnika

U slučaju Termoelektrane Ugljevik, najveći broj povreda dešava se u radnoj jedinici Održavanje (slika 3.4). Najčešći uzroci su nedostatak koncentracije pri obavljanju poslova usled velikog broja radnika na malom prostoru. Zbog toga opada nivo radne discipline odnosno izostaje pravilno sprovođenja mera zaštite. Sagledavajući opisanu situaciju potrebno je uvesti nove sisteme zaštite koji su razmatrani u narednom poglavlju.



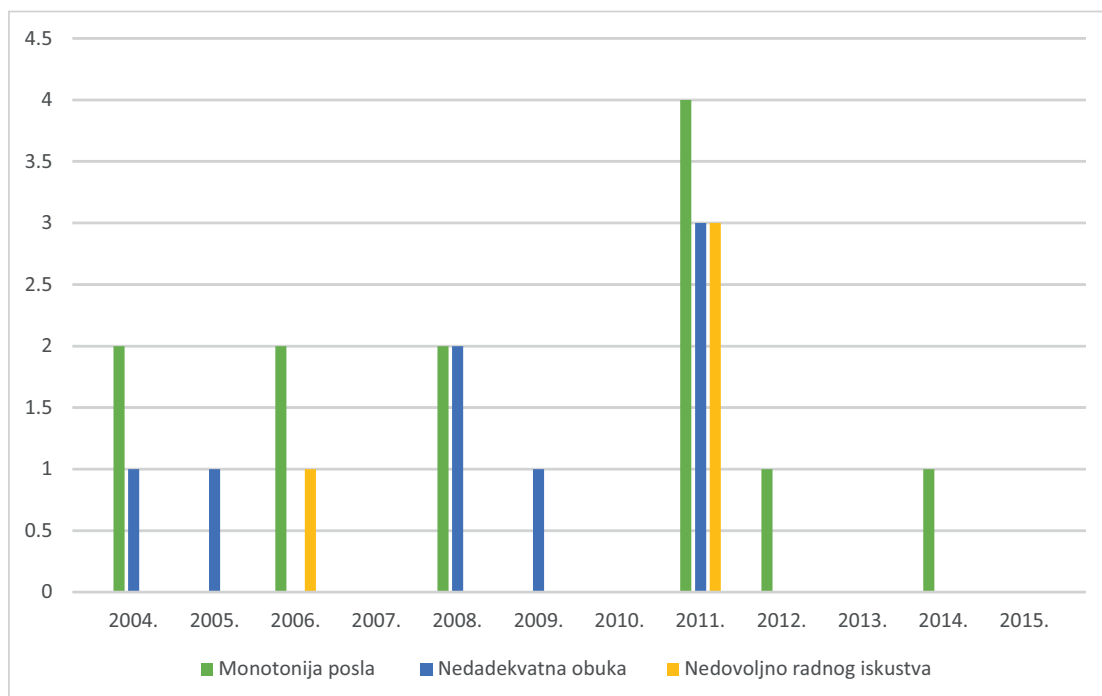
Slika 3.4 Broj povreda na radu po mestu događaja

3.1.1.1 Analiza povreda na univerzalnom strugu

Detaljniji podaci, koji su obrađeni analizom povreda, prikupljeni su iz Remontne radionice koja je sastavni deo jedinice Održavanje Termoelektrane Ugljevik. Ova radna jedinica omogućava kontinuitet u radu različitih elektromehaničkih uređaja kao i pravilno funkcionisanje proizvodnih sistema. Remontna radionica ima veliki značaj za neprekidni industrijski proces proizvodnje električne energije. Opremljena je sa nekoliko univerzalnih strugova kao i njihovom dodatnom opremom. Njihova upotreba namenjena je za održavanje različitih uređaja kao i za izvršavanje raznih zadataka koji su specifični za radne aktivnosti u okviru termoelektrane.

Remontna radionica u Termoelektrani Ugljevik izabrana je i zbog čestih povreda radnika na radnom mestu metalostrugar. Slika 3.5 ilustruje broj povreda na radu u Remontnoj radionici na univerzalnom strugu od 2004. do 2014. godine. Ova statistika poslužila je kao motivacija za uvođenje i primenu sistema zasnovanog na AR tehnologiji koji je opisan u ovoj disertaciji.

Pored redovne obuke radnika o zaštiti na radu i dobre osposobljenosti, svih koji opslužuju univerzalni strug, često se dešavaju povrede. Razlozi za učestale povrede na radu kod mlađih i manje iskusnih radnika je nepravilna interpretacija priručnika o zaštiti



Slika 3.5 Broj i uzrok povreda na univerzalnom strugu po godinama

na radu. Nedovoljna pažnja u čitanju uputstava, koja se razlikuju za svaki zadatak, dovodi do narušavanja bezbednosti na radu. Sa druge strane iskusniji i dobro obučeni radnici, oslanjajući se na svoje iskustvo, ne pridržavaju se striktno pravilnika o zaštiti. Još jedan od uzroka povreda je, kod iskusnijih radnika, nepažnja prouzrokovana monotonijom obavljanja posla.

Ova analiza dovela je do ideje o automatizaciji procedure u izvršavanju zadataka gde bi radnik prvo morao da primeni bezbednosnu instrukciju (OS) a zatim potvrdi njeno izvršavanje pre nego da počne realizaciju radne instrukcije (WM). Tehnologija proširene stvarnosti ima za cilj prikazivanje bezbedonosnih i radnih instrukcija, u sklopu izvršavanja radnih zadataka, sa unapred definisanim načinom prikazivanja od strane odgovarajućeg stručnog rukovodstva. Posle izvršenih OS i WM instrukcija radnik je dužan da potvrdi da je odgovarajuća OS ili WM instrukcija izvršena. Pošto je izvršio verifikaciju, odnosno dobio potvrdu od sistema da su prethodne instrukcije pravilno izvršene, radniku je omogućeno izvršavanje naredne instrukcije kako je predviđeno protokolom za određeni zadatak. Na ovaj način moguće je sprečiti ili barem smanjiti broj povreda na radu.

Razvoj ovakvog sistema bazira se na analizi izdavanja radnih zadataka. Svaki zadatak sastoji se od bezbedonosnih instrukcija definisanih od strane referenta zaštite na radu i radnih instrukcija definisanih od strane tehnologa. Tabela 3.1 predstavlja primer bezbedonosnih instrukcija za upravljanje univerzalnim strugom dok tabela 3.2 predstavlja radne instrukcije za isti radni zadatak. Radnik koji rukuje univerzalnim strugom mora precizno da sledi uputstva i vodi računa o redosledu izvršavanja bezbedonosnih i radnih instrukcija. Pored obuke koju su prošli i štampanih priručnika koji se nalaze u okviru radne jedinice, u kojima su strugovi postavljeni, ipak dolazi do povreda.

Upoređivanjem redosleda instrukcija može se uočiti simetričnost u tabeli 3.1 i tabeli 3.2. Svakoj radnoj instrukciji prethodi bezbedonosna instrukcija. Na ovaj način moguće je definisati algoritam koji bi automatizovao način izdavanja instrukcija na radnom mestu i pojednostavio primenu radnih i bezbedonosnih mera. Primenom savremenih tehnologija kao što je tehnologija proširene stvarnosti moguće je zameniti klasične priručnike sa ciljem da se proširi nivo i kvalitet informacija koje se daju radniku. Ovakvim pristupom obezbedilo bi se lakše i bezbednije izvršavanje radnih zadataka.

Tabela 3.1 Radne instrukcije i njihova provera

R.b.	Radne instrukcije	Provera
1.	Priključiti mašinu na napon.	Proverti da li je mašina spremna za uključivnje, radna površina raščišćena i odgovarajući alat pravilno postavljen. Proveriti priključke i poziciju na predkidaču.
2.	Ubaciti ključ i startovati mašinu.	Da li je materijal pravilno pričvršćen? Da li je ubačen ključ i uključena mašina?
3.	Postavljanje radnog tela u mašinu i centriranje.	Da li je radno telo pravilno postavljeno i centrirano?
4.	Pokretanje obrtnog dela koji definiše dubinu skidanja.	Proveriti početnu poziciju radnog tela i prekontrolisati izabranu dubinu skidanja.
5.	Menjanje (postavljanje) noža, centriranje određene dubine skidanja i postavljanje mašine na samohodni rad.	Da li je nož promenjen? Da li je određena dubina skidanja? Da li je nož postavljen na samohodni rad?
6.	Startovanje radnog tela.	Da li je startovano radno telo? Da li je radno telo pravilno pušteno u rad (sa blagim ubrzanjem)?
7.	Zatvaranje dovoda tečnosti za hlađenje.	Da li je dovod za vodu isključen? Da li je ručica slavine pravilno osigurana?
8.	Zaustavljanje mašine.	Da li je mašina zaustavljena (sa blagim usporavanjem)? Da li je telo oslobođeno? Da li je potrebno novo izvršenje postupka?
9.	Isključivanje mašine pritiskom na crveno dugme.	Proveriti svetlosnu signalizaciju koja ukazuje da je mašina isključena. Da li je osigurač mašine isključen?

Tabela 3.2 Bezbedonosne instrukcije i mogući rizici

R.b.	Bezbedonosne instrukcije	Rizici
1.	Zauzeti pravilan položaj tela, praviti povremene pauze sa blagim razgibavanjem.	Opasnost od indirektnog napona, dodira sa delovima električne instalacije i opreme pod naponom.
2.	Preduzeti mere protiv opasnosti od indirektnog napona, dodira sa delovima električne instalacije i opreme pod naponom.	Rizik od neispravne instalacije.
3.	Nositi odeću sa kratkim rukavima ako je moguće. Dugi rukavi moraju biti zategnuti uz ruku. Obavezno skinuti sa ruke sat, narukvice i slične predmete.	Nedovoljna zaštita od rotirajućih ili pokretnih delova.
4.	Držati ruke na propisanom odstojanju od rotirajućih delova. Koristiti alat za otklanjanje špona.	Opasnost od neželjenog kontakta sa sa obrtnim telom.
5.	Izvaditi ključ za stezne čeljusti (futer ključ) odmah posle stezanja i ostaviti na stranu.	Neuklanjanje alata pre početka rada može dovesti do povrede ili kvara mašine.
6.	Startovati mašinu sa najmanjom brzinom i krenuti sa blagim povećanjem i suprotno kod isključivanja.	Opasnost od nepravilnog rukovanja mašinom.
7.	Voda se uvek mora puštati radi rashlađivanja, a ujedno i zbog prašine koja se udiše. Izbegavati dodir sa tečnostima za hladjenje.	Rizik od štetnog uticaja hemikalija u tečnosti za hladjenje.
8.	Izbegavati naginjanje iznad rotirajućih čeljusti.	Nedovoljna zaštita od rotirajućih ili pokretnih delova pri startovanju i zaustavljanju mašine.
9.	Mašinu isključiti posle zaustavljanja radnog tela i isključenja tečnosti za hladjenje.	Opasnost od indirektnog napona prilikom isključenja.

3.1.2 Analiza povreda u elektroenergetskim sistemima

Elektronergetska industrija posedjuje kompleksne sisteme i zahteva specijalnu obuku i zaštitu radnika zbog izloženosti rizičnim situacijama koje su prisutne u svakodnevnom

obavljanju radnih zadataka. Posebna pažnja posvećuje se zaštiti od električne struje kako bi se sprečile sutacije u kojima dolazi do povreda, havarija i zastoja u sistemu. Zbog toga su precizirane mere bezbednosti pravilnikom o zaštiti na radu koje jasno definišu postupke u situacijama koje se odnose na popravke i održavanje sistema radi smanjenja rizika od povreda na radu.

Ove mere imaju za cilj da definišu kvalifikaciju radnika kao i njegovu obučenost potrebnu za izvršavanje predviđenog zadatka. Bezbedonosne mere se odnose na proveru zaštitne opreme i alata koji se koristi u izvršenju zadatka. Takođe, precizno su predstavljeni delovi sistema pod naponom, njihovi specifični delovi i jasno istaknuti svi koraci u izvršenju radnog zadatka (tabela 3.3).

Tabela 3.3 Bezbedonosne i radne instrukcije

Rb.	Bezbedonosne instrukcije	Radne instrukcije
1.	Proveriti zaštitnu opremu.	Proveriti alat i njegovu ispravnost.
2.	Vidljivo isključiti od napona. Postavljanje izolacione podloge.	Isključivanje glavnog prekidača.
3.	Sprečiti ponovno uključivanje.	Provera prisustva napona.
4.	Uzemljiti i kratkospojiti.	Zamena osigurača. Izvršiti pronalaženje i otklanjanje neispravnog osigurača.
5.	Ograditi od delova pod naponom.	Provera napona na osiguraču na izlazu. Posle postavljanja novog osigurača ponovo uključiti sistem.

U praksi referent za bezbednost je u obavezi da skrene pažnju na procedure zaštite na radu pre obavljanja redovnog radnog zadatka. Posle toga radnik kreće u izvršenje zadatka koji mu je poslovođa dodelio. Svaki dodeljeni zadatak je definisan priručnikom o radu sa jasno definisanim tekstom i precizno datim ilustracijama.

Iako su pravila precizno formulisana i izdata pre izvršenja nekog zadatka, ipak se dešavaju situacije koje dovode do ugrožavanja bezbednosti i kvara u sistemu. Zbog složenosti elektroenergetskih sistema, usled čak i minimalnih nepravilnosti u izvršenju, dešavaju se velike havarije čime se ugrožava bezbednost i dolazi do zastoja u proizvodnji i eksploataciji elektricne energije.

Rizične situacije i povrede dešavaju se pre početka i tokom procesa popravke i održavanja. Povrede pre početka rada su često prouzrokovane izostavljanjem bezbedonosnih procedura prilikom obezbeđivanja terena za siguran rad. Kao uzroci

povreda navode se neisključivanje napona pri pristupu objektu za popravku i neadekvatna izolacija terena za rad. Takođe, tokom procesa popravke i održavanja dešavaju se povrede usled neadekvatne upotrebe alata ili izostavljanja uzemljenja.

Zbog toga je potrebno pre početka rada ukazati na sve mere zaštite kako bi se osigurao bezbedan rad. AROS sistem se može koristiti za izdavanje bezbedonosnih i radnih instrukcija posle izlaska radnika na teren kako bi se skrenula pažnja na procedure koje treba da se sprovedu.

3.2 Bolje iskorišćenje ljudskih resursa

Organizacija tehnološkog procesa je, u okviru industrijskog postrojenja, definisana pravilnikom propisanim od strane eksperata iz različitih oblasti. Prema pravilniku jasno su definisane kvalifikacije radnika i posao koji oni trebaju da obavljaju. Međutim, izdavanje radnih zadataka radnicima koji rade u smeni je složen i vremenski zahtevan proces.

Poslovođa u smeni ima uvid u evidenciju o poslovima koji su realizovani i onih koji trebaju da budu izvršeni. Kroz kartone poslova, obično u papirnom obliku, vrši se analiza trenutnog stanja. Nekad je potrebno detaljno sagledati poslove čime se povećava vreme za pretraživanje i određivanje slobodnih radnika za izvršenje radnih zadataka.

Uvidom u raspoloživo stanje poslovođa raspoređuje radnicima zadatke za realizaciju u okviru industrijskog postrojenja. Dodeljivanje zadatka vrši se upoređivanjem propisane kvalifikacije u kartonu poslova i kartonu radnika. Međutim, dešava se da je broj radnika za obavljanje nekog zadatka manji od potrebnog. Zbog nedovoljnog broja radnika, koji su kvalifikovani za realizaciju nekog zadatka, potrebno je pronaći radnike u drugom sektoru industrijskog okruženja. Time proces organizacije postaje složeniji i vremenski zahtevniji.

Pre svake započete radne obaveze u smeni referent zaštite na radu dužan je da obavi razgovor sa grupom radnika i skrene pažnju na određene bezbedonosne mere. Vreme koje referent posvećuje radnicima u smeni je ograničenog karaktera. Dešava se da zbog vremenskog ograničenja ne može podjednako da posveti pažnju radnicima različitih struka i kvalifikacija. Na drugoj strani vreme angažovanja radnika nije optimalno. Vremenski gubitak je izazvan čekanjem da referent zaštite na radu završi konsultacije sa drugim profilima radnika.

Pirrenom sistema za proširenu stvarnost poboljšala bi se organizacija rada u okviru industrijskog okruženja. Izvršila bi se vremenska ušteda u organizaciji poslova i dodeljivanju radnih zadataka. Efikasnost sistema bi se ogledala u načinu izdavanja kako bezbedonosnih tako i neophodnih radnih instrukcija.

Glava 4

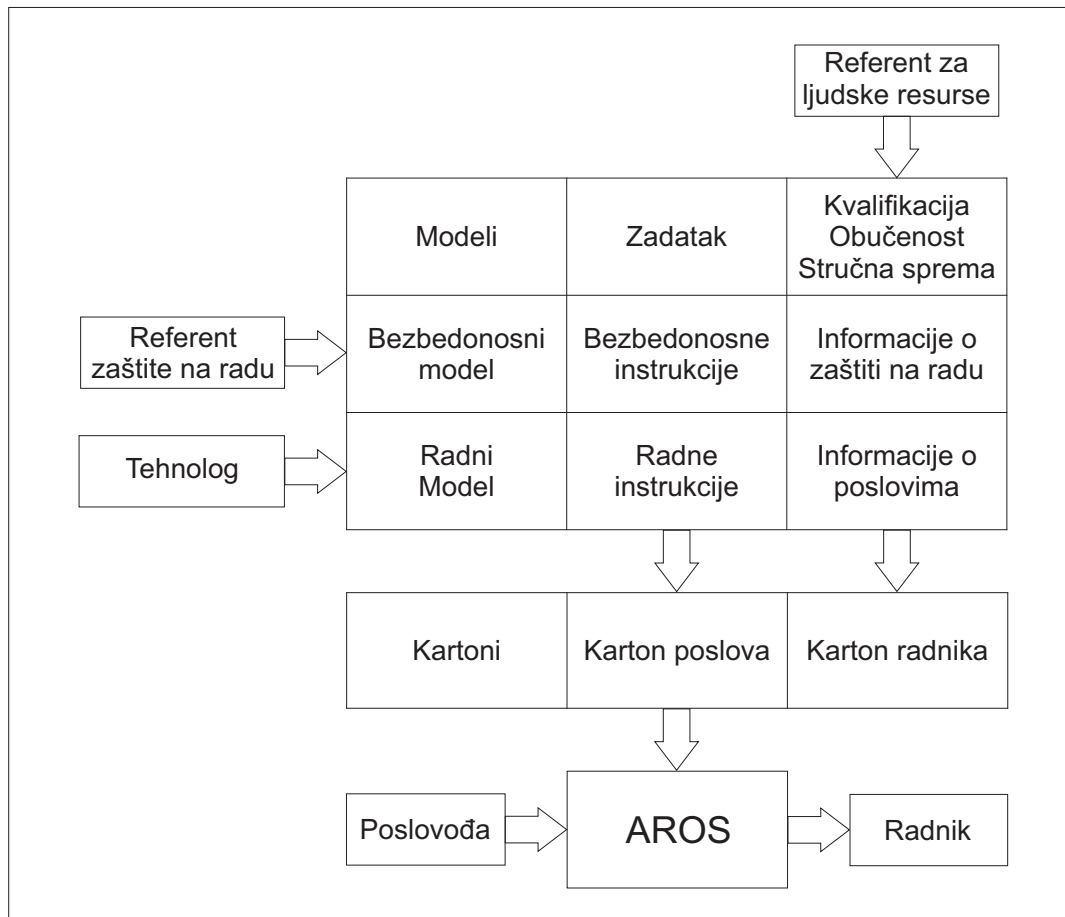
Modeliranje tehnološkog procesa radi primene proširene stvarnosti

Modeliranje tehnološkog procesa je od velikog značaja za primenu AROS sistema. Sagledavanjem organizacije rada i usvajanjem principa na kojima je industrijski sistem postavljen dolazi se do modela kako bi se se AROS sistem prilagodio realnom industrijskom procesu. Na osnovu ovih modela kreira se karton poslova koji se dalje koristi za određivanje plana rada koji odgovara redovnom tehnološkom postupku. Planom su definisani zadaci za izvršavanje u okviru radne jedinice.

Pomoću kartona radnika raspoređuju se, unapred definisani, zadaci radnicima shodno njihovim kvalifikacijama i stepenu obučenosti. Neophodno je kartone poslova i kartone radnika adekvatno implementirati u okviru AROS sistema radi obezbeđivanja efikasnijeg i sigurnijeg rada. Zbog toga treba detaljno sagledati celokupan tehnološki proces opisan u daljem tekstu i razmotriti način prilagođavanja ovog procesa u sistemu zasnovanom na tehnologiji proširene stvarnosti.

4.1 Modeliranje tehnološkog procesa

Za pravilno izvršavanje tehnološkog procesa, u okviru industrijskog pogona, zaduženi su odgovarajući eksperti iz različitih službi (referent za ljudske resurse, referent zaštite na radu, tehnolog, poslovođa). Navedeni stručnjaci primenom modela definišu, prikazanih na slici 4.1, u okviru AROS sistema kartone poslova i kartone radnika. Na osnovu kartona i njima definisanih zadataka kreira se plan organizacije rada.



Slika 4.1 Određivanje modela za tehnološki proces.

4.1.1 Referent za ljudske resurse

Služba ljudskih resursa određuje stepen stručne osposobljenosti radnika na osnovu parametara kao što su sposobnost, obučenost i iskustvo za izvršavanje određenog zadatka. Na osnovu ovog stepena stručne osposobljenosti definiše se kvalifikacija radnika što dalje određuje količinu instrukcija za određeni zadatak koje će biti prikazane upotrebom AROS sistema.

Nivo informacija potreban za posao koji treba obaviti kao i način njegovog izvršenja određuju tehnolog i referent zaštite na radu u okviru radne jedinice. Odgovarajući skup instrukcija, u punom ili skraćenom obliku, zavisno od kvalifikacija, integriše se u AROS sistem u vidu multimedijalnog sadržaja. Pomoću AROS sistema prikazuje se multimedijalni sadržaj koristeći tehnologiju proširene stvarnosti.

4.1.2 Tehnolog

Tehnolog pomoću radnog modela definiše deo kartona poslova u kome se opisuje radno okruženje i uslovi potrebni za obavljanje redovnih zadataka. Na osnovu definisanih parametara određuju se radni zadaci koje je potrebno izvršiti. Ovim zadacima se dodeljuje koeficijent složenosti koji mora da poseduje radnik da bi izvršio zadatak. Na taj način se definiše i određuje nivo stručnosti radnika odnosno kvalifikacija radnika potrebna za izvršenje zadatka. Za svaki zadatak definišu se precizne radne instrukcije za izvršavanje. Količina i način prikazivanja instrukcija radniku definisana je njegovom kvalifikacijom. AROS sistem je zamišljen tako da manje iskusni radnici dobijaju širi set instrukcija za razliku od radnika sa višim kvalifikacijama.

4.1.3 Referent zaštite na radu

Referent zaštite na radu, na osnovu bezbedonosnog modela definisanog pomoću pravilnika o zaštiti, popunjava deo kartona poslova kojim se određuje procena rizika na radnom mestu i utvrđuju mere zaštite. Za svaki zadatak definisane su bezbedonosne instrukcije. Za svaku instrukciju, koja predstavlja jednu radnu aktivnost u okviru zadatka, definišu se bezbedonosne mere. Svakoj radnoj instrukciji prethodi bezbedonosna instrukcija kako bi se sprečile povrede na radu.

4.1.4 Poslovođa

Poslovođa, u okviru industrijskog pogona, vrši planiranje i dodelu poslova koji će se obavljati na dnevnom nivou. Na osnovu raspoloživih radnika poslovođa organizuje zadatke za održavanje kontinuiteta industrijskog procesa u okviru pogona. Dodeljivanje konkretnih zadataka radnicima, u smeni, vrši se uvidom u kartone radnika gde su definisane njihove kvalifikacije kao i specijalističke obuke i liste poslova za datu smenu.

4.2 Definisanje radnih obaveza

Eksperti iz različitih službi zaduženi su za definisanje kartona poslova u okviru radne jedinice. Na osnovu kartona poslova utvrđuju se radne obaveze u vidu radnih zadataka.

Radne zadatke, definisane kartonom poslova, treba dodeliti radnicima u okviru dnevnih aktivnosti na radnom mestu. Izveštajem iz prethodne smene i na osnovu unapred usvojenih planova aktivnosti formira se lista poslova za datu smenu. Pomoću liste poslova poslovođa formira grupe zadataka i dodeljuje ih radnicima na osnovu uvida i njihov karton radnika. Neophodno je sagledati kakvim se radnicima raspolaže u trenutnoj smeni i dodeliti zadatke kako bi se nesmetano odvijao tehnološki proces. Na osnovu podataka koji su upisani u karton radnika poslovođa odlučuje o dodeljivanju radnih zadataka.

4.2.1 Karton poslova

Svaka radna jedinica u okviru industrijskog pogona poseduje karton poslova kako bi se definisale radne procedure i bezbedonosne mere radi nesmetanog funkcionisanja tehnološkog procesa. Eksperti iz različitih službi definišu karton poslova kako bi se sagledala šira slika prilikom kreiranja i izdavanja radnih zadataka.

Referent za ljudske resurse registruje u kartonu poslova broj raspoloživih radnika u okviru radne jedinice za određeno radno mesto. Za to radno mesto definišu se kvalifikacije radnika i njihova stručna osposobljenost.

Tehnolog definiše u kakvim se okolnostima odvija radni proces i koliko je vreme izvršavanja radne obaveze za određene poslove. Karton poslova sadrži podatke kao što je angažovanje prema mestu aktivnosti. Mesto aktivnosti može biti u radnim prostorijama kao što su kancelarija ili proizvodni objekat ili rad na otvorenom što podrazumeva rad na terenu ili u krugu pogona. Izvršavanje zadataka može se podeliti na samostalni rad, rad u grupi ili rad u prisustvu drugih radnika. Detaljno je dat opis radnog procesa i definisano radno vreme za njegovo izvršavanje. Određena je neophodna oprema za rad i njeno grupisanje prema vrsti zadatka. Opisane su sirovine i materijali koji se koriste u procesu rada. Takođe određuje se neophodni odmori i činjenično stanje na radnom mestu.

Referent zaštite na radu popunjava deo kartona koji se odnosi na procenu rizika na radnom mestu i u radnoj sredini. Određuju se sredstva i oprema za ličnu zaštitu definisanu prema pravilniku o bezbednosti. Procenjuje se postojeće stanje zaštite i zdravlja na radu. Definišu se obavezni lekarski pregledi i period njihovog ponavljanja. Vršiti se identifikacija opasnosti i štetnosti na radnom mestu i u radnoj sredini kao i moguće posledice za date radne aktivnosti usled nepravilnog rukovanja.

4.2.2 Karton radnika

Za svakog radnika definiše se radni karton sačinjen od elemenata sagledanih od strane eksperata. U karton radnika unose se podaci o njegovoj stručnoj spremi, radnom iskustvu, završenim specijalističkim obukama i drugi podaci koji govore o njegovoj stručnoj osposobljenosti za rad. Na osnovu tih podataka formira se koeficijent složenosti poslova koje je radnik u stanju da izvrši.

Referent za ljudske resurse, na osnovu osposobljenosti radnika, unosi kvalifikaciju za određeno radno mesto u karton radnika. Definiše se i broj radnika koji istovremeno rade na datoj poziciji i koje su moguće njihove zamene.

Tehnolog upisuje radno mesto i radne obaveze definisane kartonom poslova na osnovu stručnosti i kvalifikacije radnika. Takođe, referent zaštite na radu propisuje bezbedonosne mere kojih treba da se radnik pridržava na svom radnom mestu tokom izvršavanja radnih zadataka.

Referent zaštite na radu je dužan da u kartonu radnika vodi evidenciju o neophodnim obukama zaštite na radu i određivanje naredog termina obuke koji su neophodni za to radno mesto. Takođe, vodi se računa o zdravstvenom stanju radnika, njegovim povredama kao i budućim lekarskim pregledima.

4.2.3 Dodeljivanje zadataka radnicima

Uvidom u karton radnika omogućava se poslovodi da donese odluku na koji radni zadatak će radnik biti raspoređen. Radnici se u okviru radne jedinice dele po kvalifikaciji na osnovu osposobljenosti za obavljanje određenog zadatka. Na osnovu toga, određena je količina posla i vrste zadataka koje radnik može da izvršava. Međutim u praksi se pokazalo da je nekada neophodno da se niže kvalifikovani radnici usmere na izvršavanje poslova koji su namenjeni radnicima sa višim kvalifikacijama. Veliki broj prikupljenih informacija za kratko vreme i rad koji zahteva veće iskustvo od trenutnog može dovesti radnika u bezbedonosno rizičnu situaciju. Na taj način se uzrokuje kašnjenje u tehnološkom procesu i povećava mogućnosti za povrede, uključujući povrede radnika kada se kompleksni zadaci moraju dodeliti manje kvalifikovanim radnicima. Da bi se ovakav proces izvršio neophodna je brza obuka i upućivanje na izvršavanje radnog zadatka. Upravo uvođenjem AROS sistema postiže se da radnik, niže kvalifikacije, može brže pripremiti izvršavanje radnog zadatka prateći precizna uputstva sistema.

4.3 Izvršavanje radnih zadataka

Poslovođa na osnovu poslova koje treba izvršiti i spiska radnika koji su trenutno dostupni pravi raspored. Na osnovu uvida u karton radnika poslovođa je dužan da odluči koji radnik je spreman za izvršavanje tekućih poslova. On određuje radnike koji treba da realizuju posao na osnovu koeficijenta osposobljenosti za određeni zadatak. Pošto su radnicima pridruženi poslovi kreće se u proces izvršavanja zadatka. Radnik je dužan da sledi definisana bezbedonosna i radna uputstva tokom izvršenja zadatka.

Tehnologija proširene stvarnosti, koju koristi AROS sistem, omogućava prikazivanje radnih i bezbedonosnih instrukcija, u okviru radnog zadatka, i to na samom mestu izvršenja u industrijskom pogonu. Uvedena je i kontrola prikazivanja instrukcija kako bi se vodilo računa o koracima u njihovom izvršenju. Dok se ne izvrši potvrda da je jedan korak odrađen nije moguće započeti novi korak u izvršenju zadatka. Da bi se ovi zadaci realizovali, pomoću AROS sistema, prikazana je detaljna analiza izdavanja instrukcija tokom izvršenja zadatka u narednom poglavlju.

4.3.1 Radne i bezbedonosne instrukcije

Trenutna praksa je pokazala da su zadaci podeljeni na instrukcije koji se izvršavaju redom jedana za drugom. Bezbedonosne instrukcije organizovane kao skup komandi za primenu bezbedonosnih mera. Njih slede radne instrukcije karakterisnične za zadatak koji treba izvršiti. Zbog toga radnik, koji obavlja zadatak, mora biti dobro osposobljen u primeni bezbedonosnih i radnih instrukcija i redosledu izvršavanja. Sa tim ciljem i radi lakše realizacije zadatka odgovarajući štampani priručnik se nalazi kod svakog radnog mesta. Uprkos tome praksa je pokazala da se radnici često povređuju. Zbog toga su referenti zaštite na radu predložili automatizaciju ovakvih procedura sa ciljem da se skrene pažnja na bezbedonosne mere.

Ilustracije radi tabela 3.1 prikazuje radne instrukcije dok tabela 3.2 uključuje odgovarajuće bezbedonosne instrukcije za rad na kombinovanom strugu. Ove tabele su definisane kako od strane referenta zaštite na radu tako i tehnologa u okviru industrijskog pogona.

Glava 5

Sistem za primenu proširene stvarnosti

Sistem za primenu proširene stvarnosti je određen na osnovu analize rada u industrijskom okruženju kako je navedeno u predhodnoj glavi. Analizom su utvrđene funkcionalnosti sistema i njegove karakteristike kao i zahtevi koje sistem treba da ispuni. Na osnovu tih zahteva definisane su funkcionalne jedinice i princip rada sistema.

5.1 Funkcionalnosti sistema

Sagledavanjem tehnološkog procesa koncipirane su funkcionalnosti sistema radi olakšanja izvršenja poslova, u okviru industrijskog okruženja, pomoću savremenih tehnologija kao što je proširena stvarnost. Da bi se ostvarilo izdavanje instrukcija za izvršavanje zadataka pomoću AROS sistema treba ispuniti određene zahteve koje se odnose na funkcije sistema i organizaciju podataka.

AROS sistem je projektovan da podrži modele tehnološkog procesa. Kako bi se implementirali zadaci na osnovu ovih modela, određeni od strane eksperata industrijskog menadžementa, potrebno je formirati bazu podataka. Za dodeljivanje zadataka radnicima potrebno je, na osnovu podataka referenta za ljudske resurse, organizovati deo baze podataka za evidentiranje i klasifikaciju radnika. Takođe, neophodno je u bazi podataka voditi evidenciju o aktivnim, zauzetim i slobodnim radnicima u toku dnevne smene.

Da bi se zadaci pridruživali radnicima potrebna je implementacija bezbedonosnog i radnog modela. Na osnovu bezbedonosnog modela, dobijenog od strane referenta zaštite na radu, neophodno je omogućiti unos bezbedonosnih instrukcija u bazu podataka. Takođe, na osnovu radnog modela, definisanog od strane tehnologa, neophodno je implementirati radne instrukcije u bazu podataka. Podatke je potrebno organizovati tako da sistem može po određenom automatizmu da vrši njihovo sortiranje i izdavanje.

Svakoj instrukciji potrebno je pridružiti multimedijalni sadržaj koji će se prikazati radniku. Multimedijalni sadržaj neophodno je organizovati u posebno kreiranom repozitorijumu i povezati ga sa instrukcijama iz baze podataka.

Sistem treba da omogući poslovođi da, na osnovu propisanih dnevnih zadataka u okviru radne jedinice industrijskog postrojenja, organizuje radnike za njihovo izvršenje. Povezivanjem radnika sa zadatkom u bazi podataka dodeljivale bi se konkretne bezbedonosne i radne instrukcije za njihovo izvršenje.

Potrebno je obezbediti mehanizam komunikacije između aplikacije realizovane na mobilnom uređaju i podataka smeštenim na serveru u okviru baze podataka. Neophodno je implementirati udaljeni pristup korišćenjem interneta kako bi se pristupalo podacima. Pristup podacima omogućiti upotrebom mobilnog uređaja posle autentifikacije unošenjem korisničkog imena i lozinke radnika. Na ovaj način evidentira se u bazi podataka informacija o preuzetim zadacima kao i podaci za njihovo izvršenje. Posle autentifikacije prikazati zadatak, dodeljen od strane poslovođe, pomoću aplikacije na mobilnom uređaju radnika.

Na osnovu modela tehnološkog procesa potrebno je da sistem omogućava izdavanje instrukcija na intuitivan i jednostavan način kako bi se nesmetano odvijao rad u okviru radne jedinice. U zavisnosti od kvalifikacije radnika određuje se obim podataka u smislu prikazivanja bezbedonosnih i radnih instrukcija. Zato je potrebno napraviti sistem koji ne bi opterećivao radnike viših kvalifikacija suvišnim informacijama dok bi za radnika nižih kvalifikacija prikazivao detaljnije instrukcije. Integracijom proširene stvarnosti omogućiti da se svaka bezbedonosna i radna instrukciju prikaže prepoznavanjem AR markera u industrijskom prostoru na mestu izvršenja radnog zadatka.

Potrebno je obezbediti mehanizme provere posle izvršene instrukcije kako bi se izvršavala sledeća predviđena instrukcija. Posle potvrde o izvršenju zadatka treba voditi računa da se podaci o tom zadatku evidentiraju u bazi podataka.

5.2 Karakteristike sistema

Karakteristike sistema su određene tako da sistem proširene stvarnosti bude prilagođen organizaciji rada u industrijskom okruženju. Sistem može lako da se prilagodi realnim uslovima koji se odnose na bezbednosti kako u izvršavanju radnih zadataka tako i održavanju industrijskog postrojenja korišćenjem tehnologije proširene stvarnosti.

5.2.1 Fleksibilnost

Fleksibilnost AROS sistema ogleda se u mogućnosti prilagođavanja sadržaja na osnovu tipa industrijskog sistema u kom se primenjuje kao i raznovrsnosti poslova koji se realizuju.

Industrijski sistemi imaju različit način organizacije ali sličan način modeliranja tehnološkog procesa. Zbog toga se fleksibilnost ogleda u tome da se uz jednostavne izmene sadržaja, koje su prilagođene modelima tehnološkog procesa, AROS sistem lako prilagođava različitim industrijskim postrojenjima.

Još jedna odlika fleksibilnosti ogleda se u definisanju zadataka za različite poslove. U realnosti dnevni zadaci, koji se izvršavaju u okviru tehnoloških procesa, zavise od različitih zahteva i nepredviđenih faktora što dovodi do toga da oni nisu identični. Sistem omogućava jednostavno definisanje i prilagođavanje sadržaja za svaki zadatak obezbeđujući efikasnost i sigurnost prilikom njegovog izvršavanja.

5.2.2 Prilagodljivost

Obzirom da su ljudski resursi ograničavajući faktor povećava se kompleksnost u planiranju izvršenja radnih zadataka kao i njihovog tačnog vremenskog rasporeda. Sistem zasnovan na tehnologiji proširene stvarnosti može se upotrebiti da bi se posao obavio na vreme i osigurao kvalitet izvršavanja. Ovo je omogućeno tako što se sadržaj, koji se prikazuje radniku radi izvršenja zadatka, prilagođava u skladu sa njegovim ličnim karakteristikama odnosno njegovim stepenom obučenosti.

Detaljnije radne instrukcije date su radnicima nižih kvalifikacija. Radnici viših kvalifikacija dobijaju redukovani podskup radnih instrukcija kako bi se zadatak brže izvršio jer se podrazumeva da znaju dovoljno detaljno postupak koji primenjuju.

Svaki radnik, bez obzira na obučenost i kvalifikaciju, dobija iste bezbedonosne instrukcije zato što je zaštita radnika primarni cilj tokom rada. Takođe, broj provera izvršenja radnih zadataka je smanjena za radnike viših kvalifikacija, što je u skladu sa pretpostavkom da je potrebno brže izvršavati zadatke shodno njihovoj boljoj obučenosti.

Na osnovu ove karakteristike nivo detalja koji se prikazuje radniku zavisi isključivo od njegove osposobljenosti za izvršavanje konkretnog zadatka. Time se dobija nova funkcionalnost u poređenju sa postojećom praksom gde svi radnici dobijaju isti set instrukcija koristeći štampane priručnike.

5.2.3 Efikasnost

Efikasnost AROS sistem ogleda se u tome da se pri obavljanju redovnih poslova poboljšava ili bar ne utiče negativno na brzinu i način izvršavanja radnih zadataka. Dobijanjem virtuelnih instrukcija u okviru radnog zadatka radnik je u mogućnosti da na mestu primene, u okviru industrijskog okruženja, izvrši zadatu instrukciju. Ovo je od velikog značaja kada se uzme u obzir da nije potrebno korišćenje štampanih priručnika za izvršenje određenog posla.

Razgovorom referenta za bezbednost sa radnicima, pre obavljanja radnog zadatka, potencira se efikasnija primena bezbedonosnih provera kako radnici ne bi zanemarili određene sigurnosne mere. Međutim, zbog ograničenog vremena referent nije u mogućnosti da svim radnicima posveti dovoljno vremena. AROS sistemom se postiže da svaki radnik, u tačno definisanom vremenskom intervalu, dobije detaljne bezbedonosne instrukcije koje su neophodne za dalji rad.

5.2.4 Modularnost

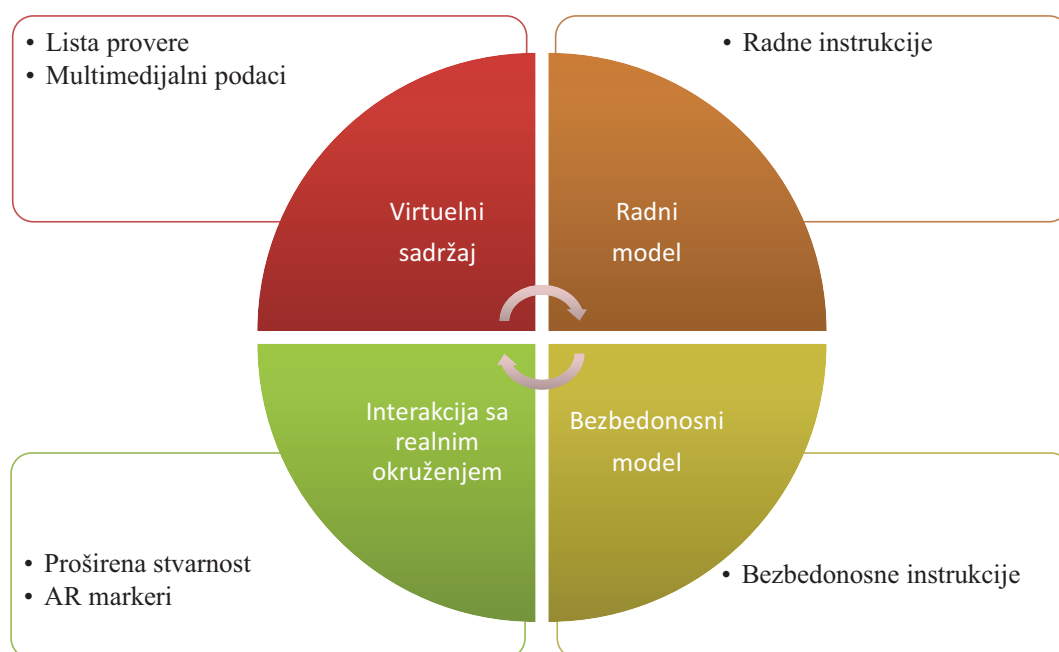
Modularnost predstavlja mogućnost da se definisani sistem može realizovati pomoću različitih tehnologija. Promenu nekog dela sistema, korišćenjem neke druge tehnologije, moguće je izvršiti ako se prati definisana arhitektura sistema. Tako na primer, promenom tehnologije serverskog dela sistema mora se voditi računa o arhitekturi koja je predviđena za komunikaciju sa klijetskom aplikacijom radi dostavljanja sadržaja. Slično, izmenom tehnologije klijentske aplikacije treba voditi računa o datoj strukturi kako bi mogli da se koriste podaci koji se preuzimaju sa servera.

Na sličan način moguće je u okviru klijentske i serverske aplikacije menjati njihove module. Izmenom modula za proširenu stvarnost treba voditi računa o načinu prikazivanja instrukcija u okviru zadatka na osnovu definisanog algoritma. Na sličan način na serveru recimo izmenom baze podataka ili promenom vrste web servisa ne odstupati od već utvrđenog načina korišćenja podataka.

5.3 Funkcionalne jedinice sistema

Opisane funkcionalnosti AROS sistema realizovane su kroz četiri funkcionalne jedinice ilustrovane na slici 5.1:

1. Virtuelni sadržaj,
2. Interakcija sa realnim okruženjem,
3. Bezbedonosni model,
4. Radni model.



Slika 5.1 Funkcionalnosti AROS sistema

Virtuelni sadržaj služi za prikazivanje računarski generisanih informacija u okviru sistema. Ovaj sadržaj odnosi se pre svega na bezbedonosne i radne instrukcije koje su date u vidu različitih multimedijalnih formata. Multimedijalni formati mogu biti u obliku teksta, audio/video zapisa, slika ili 3D modela. Sadržaj se čuva u repozitorijumu i na osnovu Bezbedonosnog i Radnog modela se koristi pomoću AROS sistema. Takođe, ovim sadržajem obuhvaćeni su podaci koji se čuvaju u bazi podataka. To su podaci o radnicima, zadacima koje treba uraditi, urađenim zadacima kao i linkovima ka virtuelnom sadržaju u multimedijalnom repozitorijumu. Korisnički interfejs, koji služi za interakciju između AROS sistema i radnika, realizovan je elementima ove funkcionalne jedinice.

Interakcija sa realnim okruženjem omogućava prikazivanje virtuelnih instrukcija kombinovanih sa slikom stvarnog okruženja dobijenom pomoću kamere mobilnog uređaja. Ove instrukcije služe da upute radnika u način realizacije dobijenog zadatka. Instrukcije se zadaju u okviru radnog prostora u kome se radnik nalazi i u kom treba

da obavi radni zadatak. Da bi se ostvarila interakcija sa realnim okruženjem neophodno je postaviti markere u industrijskom prostoru. Implementacijom modula za proširenu stvarnost vrši se njihovo prepoznavanje. Dobijanje adekvatnih instrukcija realizovano je pomoću *Bezbedonosog i Radnog* modela.

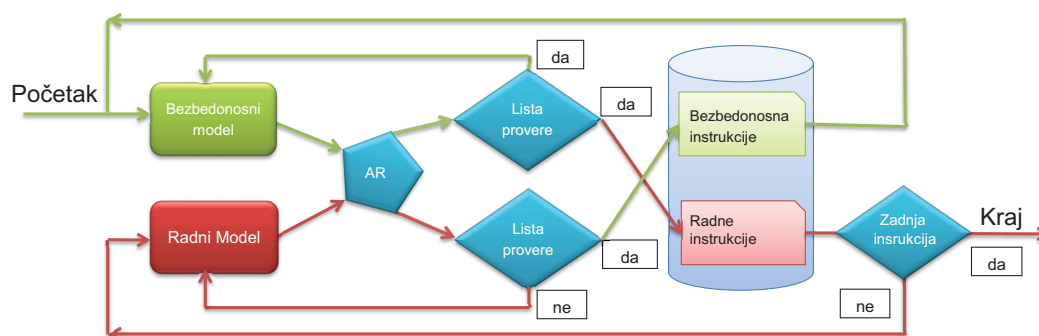
Bezbedonosnim i Radnim modelom definišu se podaci kojima se pridružuje Virtuelni sadržaj a prikazuje pomoću AROS sistema. Način na koji se prikazuju, količina informacija i raspored elemenata, takođe je određen ovim modelima. Da bi se označio kraj jedne i početak druge instrukcije radnik je dužan da interakcijom sa mobilnim uređajem verifikuje odrađeni postupak pomoću liste provere u sistemu.

Sadržaj sledeće dve jedinice, *Bezbedonosnog i Radnog* modela, prilagođene su za konkretne zadatke odgovarajućih modela zaštite na radu i poslovima održavanja i popravke.

Bezbedonosni model omogućava pristup bezbedonosnim instrukcijama definisanim od strane referenta zaštite na radu. Definisane instrukcije implementirane su u bazi podataka i povezane sa Virtuelnim sadržajem. Njihovo prikazivanje na ekranu mobilnog uređaja u interakciji sa realnim industrijskim okruženjem omogućeno je pomoću modula proširene stvarnosti (slika 5.2). Imajući u vidu da su bezbedonosne procedure složene, po broju i redosledu definisanih koraka koje treba izvršiti, razvijena je interaktivna lista provere. Cilj je da se osigura izvršenje svakog pojedinačnog koraka u procesu zaštite na radu. Ove procedure su predstavljene radniku listom pitanja na koja treba da odgovori kako bi se sprečili potencijalni rizici. Sistem omogućava čuvanje odgovora u bazi podataka posle pozitivnog odgovora radnika čime je ujedno i potvrdio primenu bezbedonosnih mera.

Radni model pruža precizne instrukcije koje pomažu radniku da relizuje zadatak uz manje napora. Ovaj model je određen od strane tehnologa, a propisan je pravilnikom o radu. Izdavanjem detaljnih instrukcija u pravilnom redosledu, radni model treba da utiče na značajno smanjivanje grešaka u radu. Relizacija svake instrukcije mora se potvrditi pomoću liste provere. Kao što je već diskutovano obim informacija koji se zadaje radniku zavisi od njegove obučenosti odnosno nivoa osposobljenosti. Zbog toga se sistem može prilagoditi od manje do veoma dobro obučanih radnika. Nivo detalja koji se prikazuje, na osnovu obučenosti radnika, omogućava da se i slabije osposobljeni radnici uključe u realizaciju kompleksnih zadataka. Za konkretne zadatke instrukcije, date radnim modelom, dobijaju se iz baze podataka, prikazuju pomoću modula proširene stvarnosti a povezuju se pomoću liste provere (slika 5.2). Posle potvrde, prikazuje se sledeća bezbedonosna instrukcija koja je izdata pre sledeće radne instrukcije. Ovo

naizmenično izdavanje instrukcija od strane Bezbedonosnog i Radnog modela nastavlja se sve dok se zadatak ne završi.



Slika 5.2 Struktura AROS sistema

5.4 Struktura AROS sistema

Na osnovu modela tehnološkog procesa, datih funkcionalnosti i karakteristika sistema određena je struktura AROS sistema. Zadatak koji se zadaje radniku sastoji se od skupa instrukcija koji se izvode u tačno određenom redosledu. Radnoj instrukciji prethodi odgovarajuća bezbedonosna instrukcija kako bi se sprečile povrede na radu.

AROS sistem ima dvostruki cilj, da se obezbedi sprovođenje OS instrukcija i pravilno obavljanje WM instrukcija čime je definisana struktura sistema prikazana na slici 5.2. Sistem se sastoji od dva dela koja izdaju OS i WM instrukcije jednu za drugom. Razdvajanje OS i WM instrukcija je urađeno zbog radnika različitih nivoa obuke i radnog iskustva.

Za korišćenje i prijavu AROS sistema, za svakog radnika, dodeljeni su korisničko ime, lozinka koji dalje određuju njegove profesionalne veštine kao što je prethodno navedeno. Skup instrukcija koje se prikazuju radniku su određene na odgovarajući način. Svakom zadatku definisan je jedinstveni kod. Poslovođa u industrijskom pogonu dodeljuje zadatak radnicima tako što uparuje definisani zadatak sa njihovim identifikacionim brojem. Kada se radnik prijavi na AROS sistem njemu se automatski dodeljuje određeni skup instrukcija koje se prikazuju. Na ovaj način, dobijajući prilično detaljan skup radnih instrukcija, radnik može da obavlja složene zadatke koje bez strogih smernica AROS sistema nije moguće realizovati.

Kao što je predhodno navedeno, iz bezbedonosnih razloga, isti skup OS instrukcija prikazuje se svim radnicima, dok se količina WM instrukcija određuje u zavisnosti od obučenosti radnika za dati zadatak.

Za čuvanje instrukcija koristi se baza podataka. Svakoj WM instrukciji prethodi odgovarajuća OS instrukcija. Zbog toga, instrukcije su međusobno povezane kroz neku vrstu povratne sprege sa AR modulom kojim se vrši prikazivanje instrukcija. Izlaz ovog modula je u sprezi sa listom provere kako bi se kontrolisalo izvršavanje OS i WM instrukcija. Prikazivanje WM instrukcije može biti izvedeno samo ako je OS instrukcija pregledana, primenjena i potvrđena u listi provere.

Ovako definisana struktura AROS sistema omogućava da se različit scenario može implementirati u različitim postrojenjima i na različitim poslovima. Upotrebom tehnologije proširene stvarnosti, instrukcije se prikazuju na mobilnim uređajima tokom radnog procesa u industrijskom prostoru. Paralelno sa tim, dobijanjem virtuelnih informacija, može se izvršavati zadatak nad realnim industriskim postrojenjem. Takođe, kroz interakciju sa virtuelnim sadržajem, radnik može da dobije i dodatne informacije bez korišćenja štampanih priručnika.

Glava 6

Arhitektura sistema

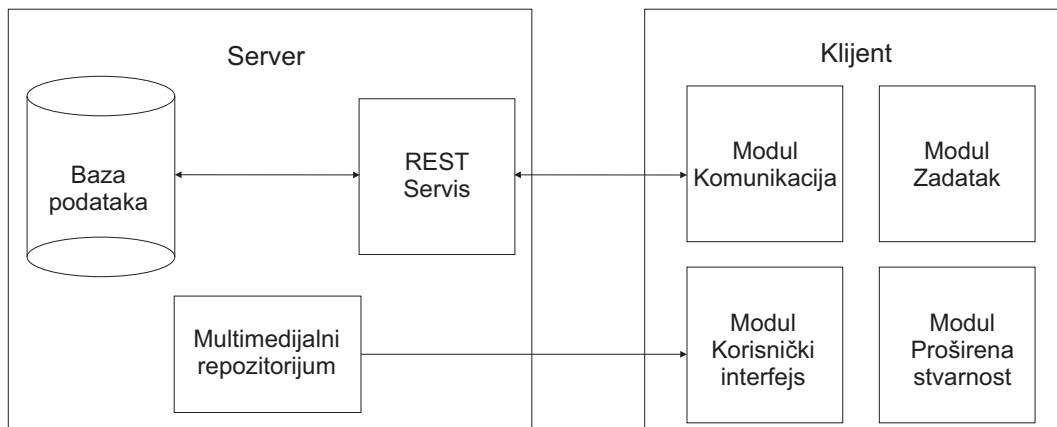
Struktura sistema omogućava da se definiše jedinstvena arhitektura sistema i izvrši njena implementacija. Arhitekturom sistema realizovano je originalno rešenje koje odgovara postavljenim funkcionalnim zahtevima. Određeni su moduli sistema i prikazana njihova organizacija i međusobne veze u skladu sa postavljenjom strukturom AROS sistema. Ovako realizovan sistem kao glavni doprinos u ovoj doktorskoj disertaciji omogućava da se primenom tehnologije proširene stvarnosti poveća bezbednost na radu i efikasno raspolaze ljudskim resursima.

Arhitektura sistema je definisana na taj način da se odgovori funkcionalnim zahtevima gde se svaki zadatak sastoji od niza bezbedonosnih i radnih instrukcija koje se prikazuju po tačno utvrđenom redosledu. Elementi sistema za prikazivanje instrukcija organizovani su u vidu kiljent-server arhitekture (slika 6.1). Serverski deo sastoji se od:

- *Baze podataka* – za čuvanje podataka o radnicima i zadacima,
- *Multimedijalnog repozitorijuma* – za čuvanje virtuelnih instrukcija u različitim multimeidjalnim formatima,
- *REST servisa* [20] – predstavlja softversku arhitekturu koja kontroliše razmenu podataka tokom kiljent-server komunikacije koristeći unapred definisan format komunikacije. Prenos podataka se ostvaruje između zadataka smeštenih na serveru i kiljentske aplikacije koju koriste radnici.

Kiljentski deo realizuje se kao mobilna aplikacija korišćenjem sledećih modula:

- *Komunikacija* – omogućava razmenu podataka sa serverom,
- *Zadatak* – implementiran je kao struktura koja čuva informacije o trenutnom zadatku radnika kao i bezbedonosnim i radnim instrukcijama,
- *Korisnički interfejs* (UI - user interface) – služi za navigaciju radnika,
- *Proširena stvarnost* (AR) - prikazuje radniku instrukcije koje treba da obavi u okviru zadatka.



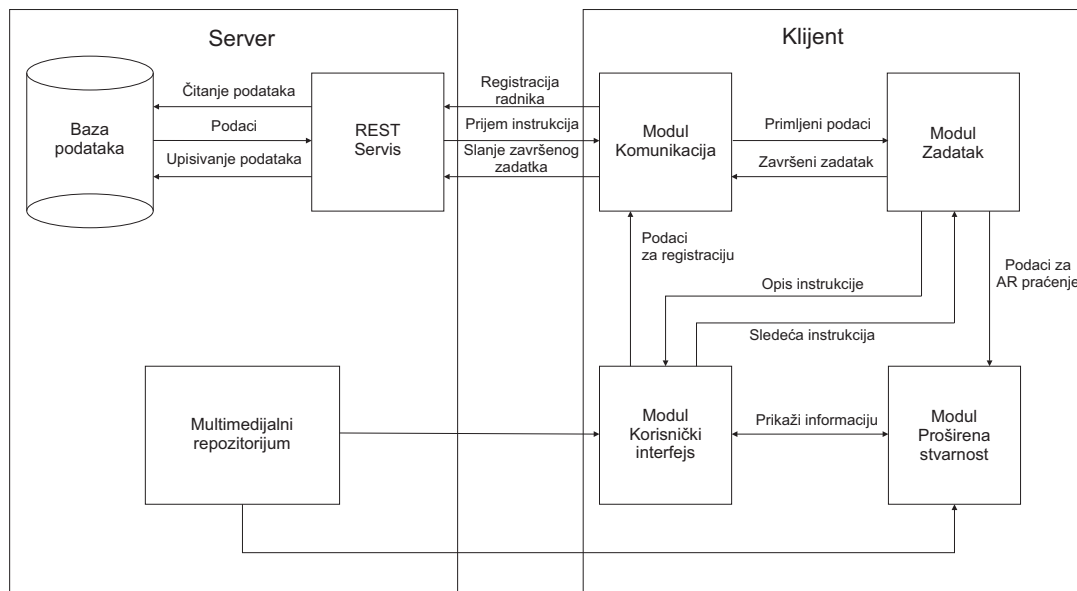
Slika 6.1 Klijent-server arhitektura

6.1 Scenario primene arhitekture sistema

Arhitektura je namenjena za realizaciju AROS sistema na mobilnim uređajima sa ciljem da se radniku pruže sve neophodne informacije za sigurnije i efikasnije izvršavanje radnog zadatka (slika 6.2). Svi podaci koji se odnose na zadatak integrisani su u okviru baze podataka. Svaki zadatak sastoji se od liste bezbedonosnih i radnih instrukcija. Takođe ovim zadacima pridružena je lista radnika. Instrukcije koje se pridružuju određuju se na osnovu kvalifikacije radnika definisane u bazi na osnovu podataka dobijenih od strane referenta za ljudske resurse.

Kako bi se klijentski deo sistema povezao na server i preuzeo podatke sa servera neophodno je implementirati REST servis. On služi da se pomoću zahteva sa klijentske strane pošalje odgovor. Slanje zahteva sa klijentske strane ostvaruje se pomoću modula Komunikacija. Na taj način se radnik registruje na serverski deo sistema koristeći svoje korisničko ime i lozinku. Pomoću UI modula prosleđuju se parametri modulu Komunikacija koji podatke za registraciju radnika šalje REST servisu. Poslati podaci služe za autentifikaciju pomoću REST servisa kako bi se pristupilo zadacima u bazi podataka. Ovim postupkom identifikuje se zadatak namenjen registrovanom radniku.

Izborom aktivnog zadatka pridružuju se i informacije iz liste instrukcija, bezbedonosne i radne, takođe smeštene u bazi podataka. Ove instrukcije sadrže podatke o načinu realizacije pojedinačnih delova zadataka. Pomoću REST servisa skup instrukcija koje pripadaju određenom zadatku se prosleđuju klijentskoj aplikaciji. Posle toga



Slika 6.2 Primena arhitekture sistema

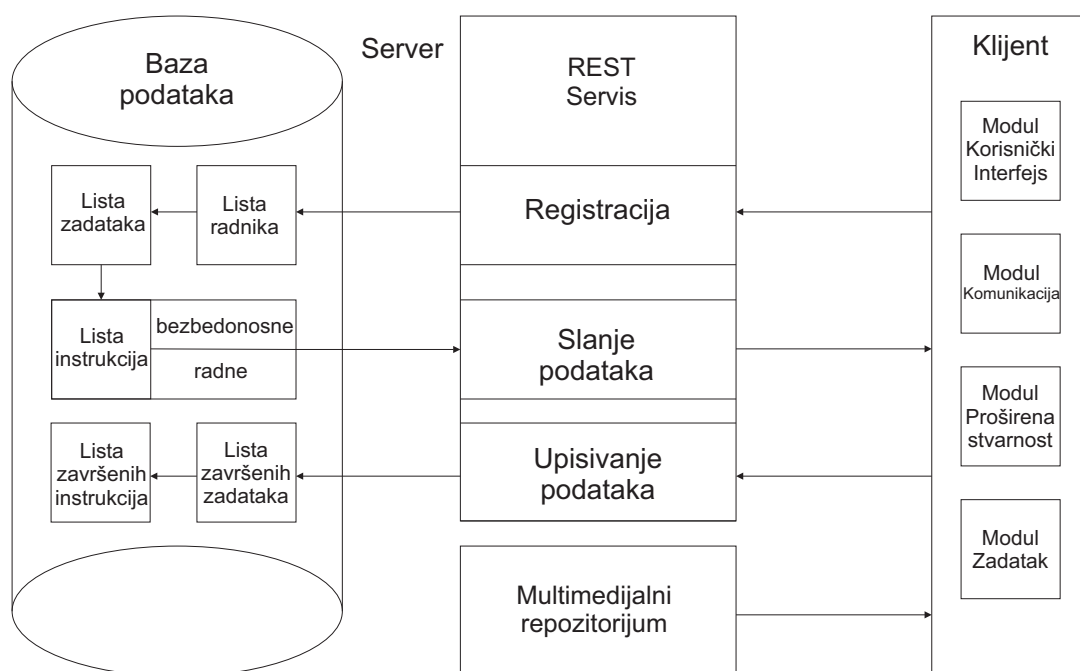
se na klijentskoj strani aktivira modul Komunikacija kako bi se preuzeli i obradili podaci. Modul Komunikacija prosleđuje, dalje, neophodne informacije o zadatku modulu Zadatak kako bi se implementirali u odgovarajuću strukturu podataka. Iz ove strukture se prosleđuju elementi instrukcije, koju treba izvršiti, paralelno u UI i AR modula.

Moduli UI i AR prikazuju elemente koji se odnose za jednu instrukciju u okviru zadatka. Kada se ona izvrši izdaje se zahtev za izvršenje sledeće instrukcije u nizu iz strukture za smeštanje zadatka.

Aktivacijom UI modula prikazuju se osnovne informacije o samoj instrukciji kao i navođenju radnika na primenu tehnologije proširene stvarnosti (instrukcije za prepoznavanje mapa, teksta, slika). Paralelno se aktivira modul Proširene stvarnosti. Njemu se prosleđuju podaci za marker koji se prepoznaje kao i multimedijalni sadržaj koji se tokom praćenja markera prikazuje. AROS sistemom se prepoznaje samo jedan aktivan marker. Njegovim prepoznavanjem, u okviru industrijskog prostora, radnik je u mogućnosti da pogleda virtuelni sadržaj na mestu na kom je potrebno primentu aktivnu instrukciju. Posle praćenja, u okviru UI modula, aktivira se lista provere koja služi radniku da potvrdi primenu radne instrukcije. Pozitivna potvrda omogućuje da se zapišu podaci o izvršenoj instrukciji i dobiju elementi za izvršavanje naredne instrukcije. Kada su se izvršile sve instrukcije u okviru zadatka pomoću modula Komunikacija prosleđuju se informacije na server. REST servis preuzima podatke i smešta ih u bazu podataka.

6.2 Server

Server služi za čuvanje podataka, koji se odnose na zadatke i njihovo izvršavanje (slika 6.3). Na serveru se nalazi baza podataka i multimedijalni repozitorijum. Takođe, impelmentiran je REST servis za komunikaciju između mobilne aplikacije i baze podataka.



Slika 6.3 Serverski deo sistema

6.2.1 Baza podataka

Baza podataka sadrži spisak radnika, listu zadataka, listu bezbedonosnih i radnih instrukcija kao i listu realizovanih zadataka.

Lista radnika. Lista radnika sadrži osnovne podatke o radnicima koji se nalaze u okviru industrijskog postrojenja u kome se AROS sistem primenjuje. Radnici u ovoj listi su definisani jedinstvenim brojem, imenom i prezimenom. Takođe, referent ljudskih resursa definiše njihovu kvalifikaciju i stručnu osposobljenost za određeni zadatak. Za pristup AROS sistemu za konkretnog radnika određeno je korisničko ime i lozinka za njegovu autentifikaciju.

Lista zadataka. Lista zadataka predstavlja podatke o poslovima koji treba da se realizuju od strane radnika. Svaki zadatak sastoji se od jedinstvenog broja koji dalje određuje niz instrukcija upisanih u Listi instrukcija. Pridružen je i identifikacioni broj radnika koji mogu da izvrše određeni zadatak. Količina informacija koja se pruža radniku definisana je njegovom kvalifikacijom i stručnom osposobljenošću.

Zadatak je završen kada su se izvršile sve instrukcije dobijene iz Liste instrukcija definisane zadatkom. Prelazak na sledeći zadatak moguć je samo po izvršenju svih instrukcija. Ovako obavljen zadatak smatra se završenim i upisuje se u listu završenih zadataka.

Lista instrukcija. Lista instrukcija deli se na dve vrste kao skup bezbedonosnih i skup radnih instrukcija. Skup bezbedonosnih instrukcija kreiran je na osnovu bezbedonosnog modela dobijenog od strane referenta zaštite na radu. One su implementirane u tačno određenom redosledu i služe da daju informacije o sprovođenju bezbedonosnih mera tokom radnog procesa. Radne instrukcije dobijene od tehnologa implementirane su na osnovu radnog modela prateći pravilnik o radu i propisana uputstva za određeno radno mesto kao i kvalifikaciju radnika koja je potrebna za njegovu realizaciju. Svaka instrukcija ukazuje na multimedijalni sadržaj koji treba pogledati u cilju sprovođenja mera zaštite na radu. Takođe, definiše se i marker koji treba prepoznati, na delovima industrijskog okruženja nad kojim se sprovodi radna aktivnost. Preopnzavanjem markera, na konkretnom delu industrijskog prostora, dobijaju se multimedijalne instrukcije radi bezbednijeg rada i efikasnijeg izvršavanja. Posle potvrde o izvršenju tekuće instrukcije prelazi se na izvršenje sledeće instrukcije sve dok se bezbedno ne izvrši zadatak. Radna instrukcija je izdata tek posle izvršene bezbedonosne instrukcije.

Lista realizovanih zadataka. Pomoću ove liste obezbeđuje se uvid u izvršene zadatke za svakog radnika. Lista završenih zadataka sadrži informacije o izvršenom zadatku i link ka instrukcijama koje se nalaze u listi realizovanih instrukcija. Takođe sadrži ID radnika koji je izvršio zadatak. Pored ovih podataka lista sadrži vreme i datum preuzimanja i izvršenja zadatka kao i vreme trajanja.

Lista realizovanih instrukcija. Sadrži podatke o izvršenju same instrukcije. Pamti se vreme početka i kraja izvršenja kao i dužina trajanja. Ako je zadatak prekinut ovi podaci omogućavaju da se započeti zadatak nastavi od zadnje izvršene instrukcije.

6.2.2 Multimedijalni repozitorijum

Multimedijalni repozitorijum služi za čuvanje virtuelnog sadržaja. Ovaj sadržaj je u formi audio ili video zapisa, teksta, slike ili 3D modela. Sav multimedijalni sadržaj je povezan sa klijentskim delom aplikacije pomoću linkova smeštenih u Listi instrukcija u bazi podataka. Po potrebi aplikacija preuzima sadržaj sa navedenog linka i povezuje sa modulima aplikacije koji služe za njihovo preuzimanje. Tako na primer modul za proširenu stvarnost sa određenog linka preuzima video zapis i prikazuje tokom prepoznavanja markera.

6.2.3 REST servis

REST servis se koristi kako bi se obezbedila komunikacija klijentske aplikacije sa serverom. Pomoću njega se vrši autentifikacija radnika kako bi mogao da pristupi podacima u bazi podataka. Kada se pošalje zahtev za autentifikaciju radnika, sa njegovim korisničkim imenom i lozinkom, servis preuzima njegove podatke i upoređuje ih sa podacima u listi radnika. Posle identifikacije, pronalazi se u Listi zadataka radni zadatak koji je dodeljen radniku. Na osnovu dodeljenog zadatka određuju se bezbedonosne i radne instrukcije iz Liste instrukcija sa sadržajem koji je potrebno proslediti radniku. Sadržaj koji se prosleđuje radniku je u određenom (JSON/XML) formatu i sadrži:

- id radnika koji izvršava zadatak,
- zadatak koji kao parametre poseduje id, opis i naziv,
- instrukcije bezbedonosne i radne koje kao parametre imaju id, naziv, opis, redni broj, marker, tip markera, mapa markera, link ka multimedijalnom sadržaju.

Klijentska aplikacija preuzima podatke i upućuje radnika na izvršavanje zadatka. Kada radnik pregleda i primeni bezbedonosne i radne instrukcije nepohodno je da informacije o izvršenju sačuva. Posle izvršenja zadatka podaci se iz klijentske aplikacije prosleđuju REST servisu. Pomoću sačuvanog tokena vrši se autentifikacija korisnika. Podaci koji se šalju su u specificiranom formatu (JSON/XML) i neophodno ih je smestiti u listu izvršenih zadataka i listu izvršenih instrukcija.

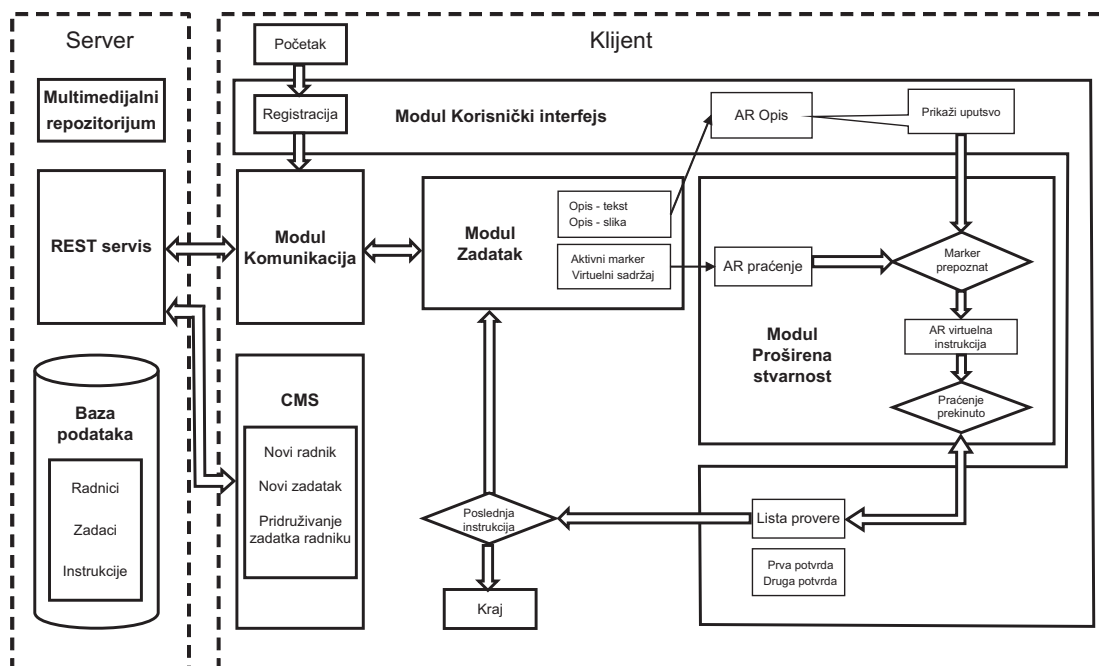
Podaci koji se prenose u specificiranom formatu su:

- id radnika,
- zadatak koji poseduje parametre id, datum preuzimanja, datum izvršenja i dužinu trajanja zadatka,

- instrukcije koje imaju parametre kao što su id, datum preuzimanja, datum izvršenja i dužina trajanja.

6.3 Klijent

Klijentska strana se sastoji od aplikacije namenjene mobilnim uređajima i administratorske strane koja je deo sistema za dinamičko uređivanje podataka (CMS - Content Management System). Mobilna aplikacija se sastoji od četiri modula: *Komunikacija, Zadatak, UI i AR* (slika 6.4).



Slika 6.4 Klijentski deo sistema

6.3.1 CMS - Content Management System

CMS koriste administratori sistema kako bi se upravljalo podacima u bazi podataka. Ovim se omogućava dodavanje novih radnika u bazu podataka. Takođe, dodaju se i novi zadaci sa potrebnim bezbedonosnim i radnim instrukcijama. Na osnovu unetih podataka CMS se koristi za pridruživanje određenog zadatka konkretnom radniku.

Ovaj deo sistema omogućava i formiranje različitih upita nad bazom podataka odnosno dobijanje određenih statistika u cilju analize i unapređenja poslovanja.

6.3.2 Modul Komunikacija

Modul Komunikacija omogućava interakciju sa REST servisom smeštenim na serveru za pristupanje podacima u bazi podataka. Slanjem podataka radi autentifikacije radnika traži se odobrenje korisnika za upotrebu podataka radi daljeg korišćenja. Kada je potvrđeno da je radnik uspešno registrovan dostavlja mu se zadatak sa svim neophodnim informacijama koje služe za njegovo izvršenje. To su se podaci iz liste zadataka i liste instrukcija kao i podaci o radniku odnosno njegovoj kvalifikaciji. Podaci dobijeni od REST servisa se parsiraju u modulu Komunikacija i tako obrađeni prosleđuju i čuvaju u modulu Zadatak za dalje korišćenje. Posle toga informacije se prosleđuju ostalim modulima na izvršenje. Kada se završi zadatak i potvrdi da su se primenile sve radne i bezbedonosne instrukcije onda je neophodno poslati i zapisati ove podatke u bazu podataka na serveru. Modul Komunikacija preuzima podatke iz modula Zadataka. Podaci se parsiraju i pripremaju u specificiranom formatu (JSON/XML) za slanje na server. Posle izvršenog parsiranja podaci se šalju REST servisu koji prosleđuje ove podatke u listu realizovanih zadataka i listu realizovanih instrukcija.

6.3.3 Modul Zadatak

Modul Zadatak služi da pamti podatke preuzete sa servera i da ih prosleđuje ostalim modulima na izvršenje. Podaci preuzeti sa servera raspoređuju se u elemente liste bezbedonosnih i radnih instrukcija. Za svaku instrukciju dobijaju se podaci kao što su naziv, opis, redni broj, marker, link ka multimedijalnom sadržaju, kvalifikacija radnika.

Količina podataka koja se prosleđuje ostalim modulima zavisice od kvalifikacije radnika. Za prikazivanje uputstava i upućivanje radnika na izvršavanje zadatka deo podataka se prosleđuje UI modulu. AR modulu se dostavlja deo informacija koji se odnose na prepoznavanja markera i multimedijalnog sadržaja koji mu se pridružuje tokom praćenja. Kada se instrukcije primene i potvrde, u modul Zadatak upisuju se podaci kao što su vreme početka, vreme izvršenja i trajanje izvršene instrukcije. Izvršenjem zadnje instrukcije podaci o izvršenom zadatku se šalju u modul Komunikacija radi daljeg parsiranja i slanja na server u bazu podataka.

6.3.4 UI modul

Modul Korisnički interfejs (UI) služi za definisanje vizuelnih elemenata same aplikacije. Ovaj modul vodi računa o njihovom rasporedu i samom načinu prikazivanja radniku.

Registraciona forma služi za povezivanje radnika na AROS sistem. Uneti podaci se prosleđuju modulu Komunikacija. Pomoću modula Komunikacija ovi podaci se šalju REST servisu za dobijanje informacija o zadacima, koji su unapred definisani za registrovanog radnika, imajući u vidu njegovu kvalifikaciju i stepen obučenosti za rad. Posle uspešne registracije podaci se smeštaju u modul Zadatak odakle se dalje šalju u UI i AR module.

Kada se izvršio prenos podataka, između serverske i mobilne aplikacije, aktivira se deo za opis u okviru UI modula. Ovaj opis informiše radnika o načinu primene tehnologije proširene stvarnosti i pronalaženju aktivnog markera. Da bi se olakšalo pronalaženje implementirana je funkcija koja na ekranu mobilnog uređaja prikazuje sliku aktivnog markera. Pretpostavlja se da radnik zna poziciju svog radnog mesta. Zbog toga, integrisana je mapa uređaja ili prostora u kome se radi. Na njoj se prikazuju strelice koje olakšavaju radniku da pronađe aktivni marker.

Lista provere se koristi za kontrolu prikazivanja instrukcija u pravilnom redosledu. Svaku bezbednosnu instrukciju prati radna instrukcija. Za obradu izdavanja radne instrukcije, prvo treba potvrditi bezbedonosnu instrukciju. Aktivacija liste provere vrši se posle završetka AR praćenja kako bi se potvrdilo da je trenutni korak završen. Lista provere je implementirana u dva koraka kako bi se izbeglo slučajno potvrđivanje. Posle dobijanja pozitivne potvrde, izdaje se sledeća instrukcija u nizu instrukcija. Zatim, posle svake bezbednosne instrukcije, izdaje se naredna radna instrukcija i aktivira se AR modul.

Posebna pažnja posvećena je prikazivanju početnih instrukcija koje se odnose na traženje i prepoznavanje markera. Ovo je naročito izraženo u prikazivanju informativnog teksta u aplikaciji. Zbog toga koriste se preporuke predložene u [37] i dalje razmatrane i razrađene u [13] i [24]. Vodeći se ovim preporukama, beli tekst i slike prikazani su preko tamne transparentne podloge (negative polarity) [13] i [24]. Transparentnost omogućava da se vidi realno okruženje sa pozadine ekrana, dok beli tekst dolazi do izražaja. Tekst je podeljen na manje celine i napisan u formi kratkih i jasnih rečenica. Veličina teksta je definisana na osnovu predloženog u [37], tako da se rečenica lako čita. Vizuelizacija liste provere se realizuje poštujući preporuke u [13, 24, 37] na isti način.

6.3.5 AR modul

AR modul je centralni deo AROS sistema. On predstavlja novi način kombinacije između stvarnog radnog okruženja i virtuelnih OS i WM instrukcija.

Kada se korisnik registruje na AROS sistem pokrene se zadatak preuzet sa servera. Za taj zadatak preuzimaju se OS i WM instrukcije i pamte u modulu Zadatak. Svaka instrukcija se sastoji od opisa, virtuelnog sadržaja, i parametara markera za praćenje.

AR modul (slika 6.4) aktivira kameru na mobilnom uređaju i radnik je u mogućnosti da vidi na ekranu industrijski prostor u kome se nalazi. Paralelno UI modul aktivira uputstvo kojim se opisuje pomoć u rukovanju sistemom odnosno o koracima koje je potrebno da obavi. Uputstvo se sastoji od teksta i slike kako bi se radniku pomoglo u traženju markera za prepoznavanje. Ovo uputstvo se prikazuju preko slike snimljene kamerom mobilnog uređaja.

Paralelno sa opisom, u okviru UI modula kojim se upućuje radnik na pronalaženje markera, aktivirana je kamera u okviru AR modula za obradu podataka koji se odnose na prepoznavanje i praćenje markera kao i prikazivanje virtuelnog sadržaja. Informacije o markeru preuzeti su iz modula Zadatak kao deo podataka u okviru tekuće instrukcije. Svakoju instrukciji pridružen je multimedijalni sadržaj koji se učitava zajedno sa podacima za praćenje. Kada je marker prepoznat, virtuelni sadržaj, u formi video zapisa ili 3D modela, kombinuje se sa slikom radnog prostora na mobilnom uređaju radnika. U svakom trenutku samo jedan je marker aktivan i odnosi se na instrukciju koja se trenutno izvršava. Skeniranjem pogrešnog markera neće se prikazati virtuelni sadržaj.

Kada AR modul prestane sa praćenjem markera, aktivira se deo UI modula za prikazivanje liste provere. Ova lista provere prikazuje na korisničkom ekranu polja za potvrđivanje kako bi se potvrdilo da je zadata instrukcija izvršena. Sve dok se ne izvrši verifikacija, sistem je u fazi praćenja i čeka potvrdu. Lista provere je implementirana u dva koraka kako bi se izbeglo slučajno potvrđivanje. Ako je slučajno došlo do prestanka praćenja, AR modul je i dalje aktivan u pozadini i može da nastavi praćenje aktivnog markera. Posle ponovnog prepoznavanja markera lista provere će se skloniti sa ekrana mobilnog uređaja i prikazivaće se virtuelna instrukcija tokom praćenja.

Glava 7

Implementacija sistema

U ovoj glavi detaljno je opisana implementacija komponenti koje utiču na funkcionisanje AROS sistema kao i njihove međusobne veze. Kombinujući elemente stvarnog industrijskog okruženja sa virtuelnim instrukcijama, na osnovu definisane arhitekture, implementacijom sistema omogućuje se unapređenje realizacije radnih zadataka. Ovako projektovan sistem pruža značajnu pomoć radnicima pri izvršavanju radnih zadataka i ujedno omogućava sprovođenje bezbedonosnih mera koje su neophodne u obavljanju zadatah poslova.

Implementacija sistema realizovana je pomoću *Unity* [75] razvojnog okruženja čija je osnovna namena za kreiranje računarskih igara. Iako je namenjen razvoju igara, Unity se često koristi za realizaciju interaktivnih projekata koji su namenjeni drugim oblastima. Unity okruženje je izabrano jer sadrži dobru podršku za integraciju paketa za proširenu stvarnost. Takođe, ovo okruženje pruža mogućnosti instaliranja aplikacija za različite platforme. Za implementaciju arhitekture na korisničkom delu sistema koristili smo *C#* programski jezik podržan Unity alatom. Integracija proširene stvarnosti primenjena je korišćenjem *Vuforia SDK* [78] u slučaju aplikacije za rad u mehaničkom odeljenju termoelektrane predstavljenoj u poglavlju 9.2. U aplikaciji za rad na elektroenergetskim sistemima, diskutovanoj u poglavlju 9.3, za integraciju proširene stvarnosti koristi se *EasyAR* [15]. *Vuforia* predstavlja jedan od najboljih alata za proširenu stvarnost koji su dostupni za korišćenje. Dosta je sistema za razvoj industrijskih aplikacija realizovano ovim alatom i neki od njih su [47, 48, 50]. *EasyAR* je alat koji omogućava praćenje i prepoznavanje slika za mobilne platforme kao što su Android i iOS. Projekti realizovani ovim softverom odnose se na primenu proširene stvarnosti u digitalizaciji kulturne baštine [26, 60, 69].

Za upravljanje podacima realizovan je osnovni CMS sistem kao Web aplikacija. Pomoću aplikacije se pristupa servisu i unose podaci za radnike i zadatke. Takođe,

implementiran je deo za pridruživanje zadatka radniku. Međutim, u budućem radu realizovaće se dodatne funkcionalnosti koje se tiču statističke obrade podataka i detaljnije opisati administratorski deo sistema.

Na serverskoj strani za implementaciju REST servisa korišćen je *ASP.NET MVC* [3] i *Entity Framework* kao ORM (Object-Relational Mapping) alat za mapiranje baze podataka [16], a kao baza podataka koristi se *Microsoft SQL Server* [51]. Izabrane komponente na serverskoj strani su implementirane kako bi se odgovorilo postavljenim zahtevima i ostvarila komunikacija sa korisničkom aplikacijom.

7.1 Koraci u implementaciji

Implementacija sistema, pomoću pomenutih tehnologija, zasnovana je na klijent-server arhitekturi i namenjena, je pre svega, mobilnim uređajima i njima prilagođenim podacima (slika 7.1). Podaci su integrisani u okviru baze podataka. Integracija tabela implementirana je na osnovu definisane arhitekture kako je opisano u poglavlju 6.2.

Bazi podataka se pristupa na osnovu *REST* servisa radi preuzimanja ili upisa podataka. Ovaj servis poseduje mogućnost prihvatanja zahteva, koristeći http protokol, sa klijentske strane klijenta. Tako na primer, prilikom prijavljivanja radnika na sistem šalje se http zahtev za registraciju dok se kao odgovor, na klijentskoj strani, dobijaju podaci za realizaciju zadataka. Za identifikovanog radnika dobijaju se podaci strukturirani u *JSON* (JavaScript Object Notation) formatu. Ovako dobijeni *JSON*, od strane *REST servisa*, opisuje jedan zadatak u kom su identifikovane sve radne i bezbedonosne instrukcije. Na osnovu dobijenih podataka realizuje se klijentski deo sistema.

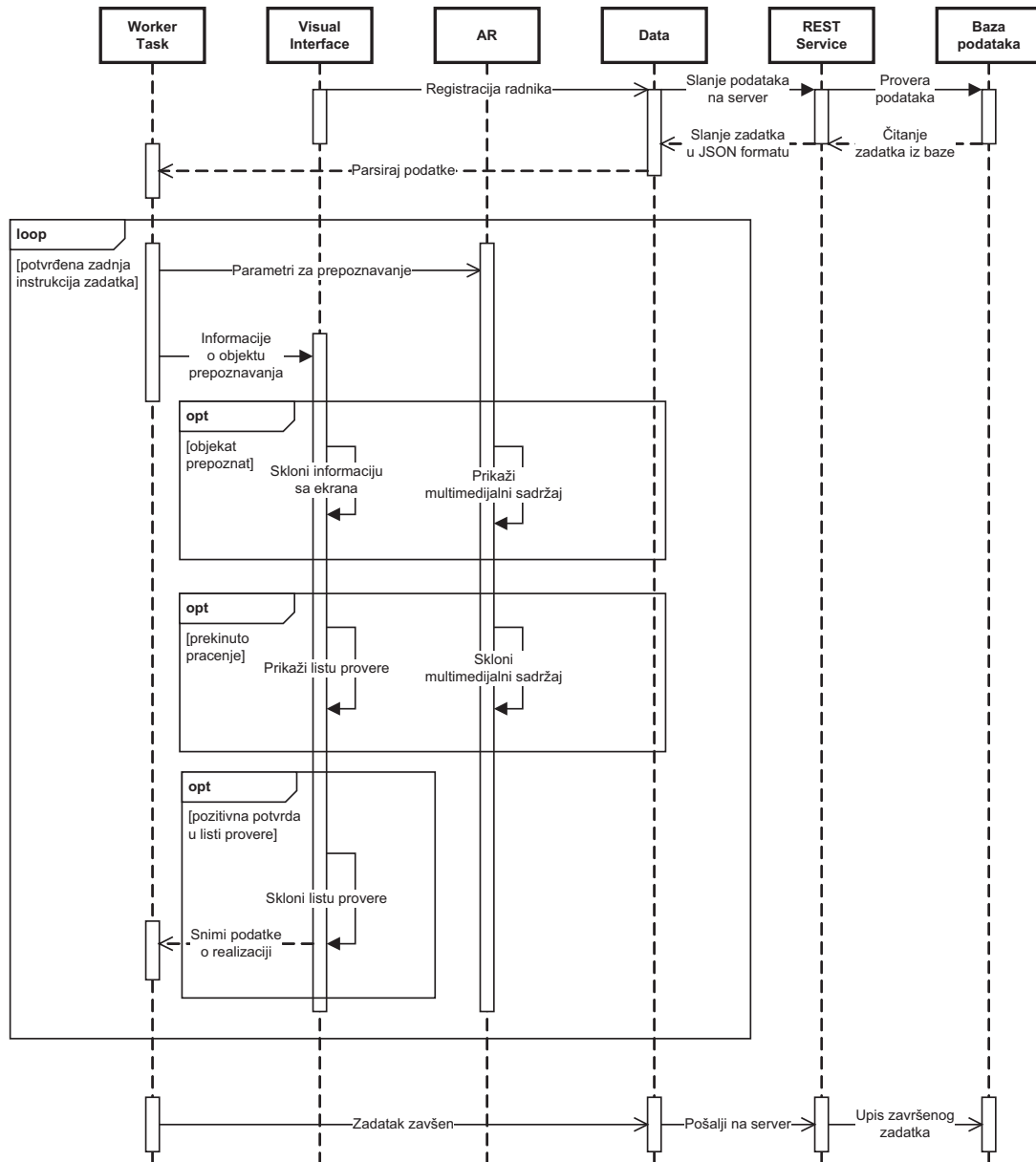
Klijentski deo sistema realizovan je pomoću skupa game objekata i njihovih komponenti u okviru scene *Unity* softverskog alata. Ovi objekti predstavljaju arhitekturom definisane module:

- ***Data*** - realizuje modul Komunikacija,
- ***WorkerTask*** - realizuje modul Zadatak,
- ***VisualInterface*** - definiše modul Korisnički interfejs,
- ***AR*** - realizuje izdavanje instrukcija u okviru AR modula.

Registracija korisnika se na klijentskoj strani izvršava pomoću objekta *VisualInterface* odnosno pomoću komponente za prijavljivanje radnika na sistem. Parametri registracije prosleđuju se *REST* servisu preko objekta *Data*. *REST* servis vrši njihovu proveru i vraća aplikaciji odgovarajući zadatak sa svim neophodnim podacima za

njegovo izvršenje. Posle toga vraćeni parametri se parsiraju pomoću metoda objekta *Data* i smeštaju u objekat *WorkerTask*. Podaci smešteni u objektu *WorkerTask* šalju parametre za svaku instrukciju komponentama objekta *VisualInterface* i *AR*. Komponenta objekta *Visual Interface* prikazuje pomoćne informacije za upućivanje radnika na obavljanje dela zadatka. Pomoćne informacije se, u vidu teksta i slike, prikazuju na ekranu mobilnog uređaja kako bi se radnik detaljnije informisao o pronalaženju *AR* objekta prepoznavanja. Paralelno sa vizuelizacijom postavljaju se parametri markera i multimedijalnog materijala u *AR* objektu. Posle postavljenih parametara omogućeno je prepoznavanje samo jednog aktivnog markera. Kada je marker prepoznat informacija se, postavljena komponentom objekta *VisualInterface*, sklanja sa ekrana. Pomoću *AR* tehnologije na ekranu mobilnog uređaja se prikazuje snimak realnog okruženja sa integrisanim virtuelnim sadržajem na mestu prepoznatog markera.

Posle prekinutog praćenja markera, aktivira se lista provere u okviru objekta *VisualInterface*. Potvrđivanjem, primenom dvostrukog metoda potvrde preko liste provere, u objektu *Task* se upisuje izvršena instrukcija i dobija naredna instrukcija iz ove liste. Ponavlja se isti ciklus realizacije sve dok se ne izvrši zadnja instrukcija zadatka. Kada se izvrši zadnja instrukcija u zadatku aktivira se metoda za slanje pomoću objekta *Data*. Servis prihvata podatke klijenta i upisuje ih u bazu podataka u tabelu završenih zadataka i završenih instrukcija.



Slika 7.1 Sekvencijalni dijagram AROS sistema

7.2 Server

Implementacija serverskog dela uključuje realizaciju baze podataka pomoću *Microsoft SQL Server 2017*. Takođe, koristio se *ASP.NET MVC* za realizaciju REST servisa a kao ORM alat *Entity framework*.

7.2.1 Baza podataka

Baza podataka predstavljena je na slici 7.2 i sastoji se iz sledećih tabela:

- *workers* predstavlja tabelu za radnike,
- *worker_files* predstavlja tabelu za kartone radnika,
- *task_files* predstavlja tabelu za kartone poslova,
- *tasks* predstavlja tabelu za zadatke,
- *os_instructions* predstavlja tabelu bezbedonosnih instrukcija,
- *wm_instructions* predstavlja tabelu radnih instrukcija,
- *finished_tasks* predstavlja tabelu realizovanih zadataka,
- *finished_instructions* predstavlja tabelu realizovanih instrukcija,
- *human_resource_officiers* predstavlja tabelu u koju se upisuju podaci o referentima za ljudske resurse,
- *task_managers* predstavlja tabelu u koju se upisuju podaci o poslovođama,
- *safety_officiers* predstavlja tabelu u koju se upisuju podaci o referentima zaštite na radu i
- *technologists* predstavlja tabelu u koju se upisuju podaci o tehnologu.

Tabela workers sastoji se iz polja kao što su ime i prezime koja se odnose na lične podatke radnika. Polja *username* i *password* definišu podatke za autentifikaciju radnika.

Tabela worker_files služi da detaljnije opiše karakteristike radnika. Polja *active* i *shift* određuju aktivnost radnika dok polje *qualification* bliže određuje osposobljenost radnika. Referent za ljudske resurse popunjava ovu tabelu. Pamti se vreme unosa u polju *creation_date* i njegov jedinstveni broj. Polje *human_resource_officier_creator_id* upućuje na tabelu *human_resource_officiers* gde su dati detaljni podaci referenta za ljudske resurse. U tabeli *human_resource_officiers* pamti se ime, prezime, korisničko ime i šifra za autentifikaciju referenta za ljudske resurse.

Tabela task_files povezuje radnika sa njegovim zadatkom preko polja *worker_id* i *task_id*. Dodeljivanje zadatka vrši poslovođa i za njega se pamti jedinstveni broj u polju *task_manager_id* koji dalje određuje poslovođu u tabeli *task_managers*. Za dodeljeni zadatak pamti se datum kada je kreiran zadatak, u polju *creation_date*, kada je izdat zadatak radniku, kada je radnik preuzeo zadatak i status u kom je zadatak dato je u poljima *issuing_date*, *download_date* i *status*. U slučaju kada je radniku dodeljeno više zadataka *order_number* se koristi za definisanje redosleda izvršenja.

Tabela tasks poseduje polja kao što su *title* i *description* koji služe da definišu zadatak. Jedinostveni broj zadatka, polje *id*, primarni je ključ pomoću koga se dodeljuje zadatak radniku. Takođe, na osnovu jedinstvenog broja dobijaju se sve bezbedonosne i radne instrukcije iz tabela *os_instructions* i *wm_instructions*. U tabeli se pamte radno mesto i kvalifikacija potrebna za obavljanje zadatka u poljima *workplace* i *qualification*. Polje *assetbundle_link* predstavlja adresu za preuzimanje *Unity AssetBundle* u multimedijalnom repozitorijumu.

Tabela os_instructions se koristi kako bi se prikazivali podaci za izvršavanje bezbedonosnih instrukcija. Polje *id* određuje primarni ključ za datu bezbedonosnu instrukciju u tabeli, dok polje *title* služi da se definiše naslov te instrukcije. Tekstualni opis instrukcije, koji se prikazuje radniku, dat je u polju *description*, dok polje *image* predstavlja deo slikovnog objašnjenja. Za povezivanje instrukcije sa multimedijalnim sadržajem koristi se podatak iz polja *multimedia_link*. Polje *multimedia_link* predstavlja adresu za preuzimanje multimedijalnog sadržaja dok se u polju *multimedia_type* definiše koja forma multimedijalnog sadržaja se prikazuje. Takođe, ovaj saržaj se povezuje pomoću tehnologije proširene stvarnosti sa markerom definisanim u polju *marker*. Tabela poseduje polje izvršavanja instrukcije *order_number* kako bi se u skupu instrukcija definisala pozicija. Da bi povezali instrukciju sa zadatkom koristimo polje *task_id*. Bezbedonosne instrukcije definiše referent zaštite na radu . Pamti se njegov jedinstveni broj u polju *safety_officier_creator_id* koji određuje podatke u tabeli *safety_officiers*. U tabeli *safety_officiers* pamti se ime, prezime, korisničko ime i šifra za autentifikaciju referenta zaštite na radu.

wm_instructions služi za prikazivanje radnih instrukcija u okviru zadatka i realizovana je na identičan način kao tabela *os_instructions*. Ova tabela oderđuje podatke za realizaciju radnih instrukcija pomoću polja: *task_id*, *title*, *description*, *image*, *order_number*, *marker*, *multimedia_type* i *multimedia_link*. Radne instrukcije definiše tehnolog. Za tehnologa se dodeljuje jedinstveni broj u polju *technologiest_creator_id* koji ga povezje sa tabelom *technologists*, kao i datum kreiranja instrukcije u polju *creation_date*. U tabeli *technologists* pamti se ime, prezime, korisničko ime i šifra za autentifikaciju referenta zaštite na radu.

Tabela finished_tasks. Posle izvršenog zadatka ova tabela sadrži potrebne podatke o realizaciji. Polje *worker_id* definiše radnika koji je izvršio određni zadatak. U poljima *starting_date*, *realisation_date* i *duration* pamte se podaci datum i vreme kada je zadatak počeo, kada se završio i koliko je trajalo izvršenje zadatka. Podaci smešteni u ovoj tabeli

mogu se koristiti, od strane rukovodstva, za različite analize izvršenja radnih zadataka kao i samom unapređenje poslovanja.

Tabela finished_instructions se koristi za smeštanje detaljnih informacija o izvršenim instrukcijama u okviru zadatka. Upisuju se podaci kao što su *finished_task_id* na koji se odnosi instrukcija, *instruction_type* koji određuje da li je instrukcija bezbedonosna ili radna kao i njihovi ključevi u poljima *os_instruction_id* i *wm_instruction_id* instrukcije. Vreme kada je instrukcija započeta, vreme kada je instrukcija realizovana i koliko je bilo potrebno vremena da se ona primeni pamti se u poljima *starting_date*, *realisation_date* i *duration*.



Slika 7.2 Struktura baze podataka AROS sistema

7.2.2 REST servis

REST servis, prikazan na slici 7.3, je kreiran radi povezivanja klijentske aplikacije sa podacima u bazi podataka na serveru. Realizacija REST servisa izvršena je preko:

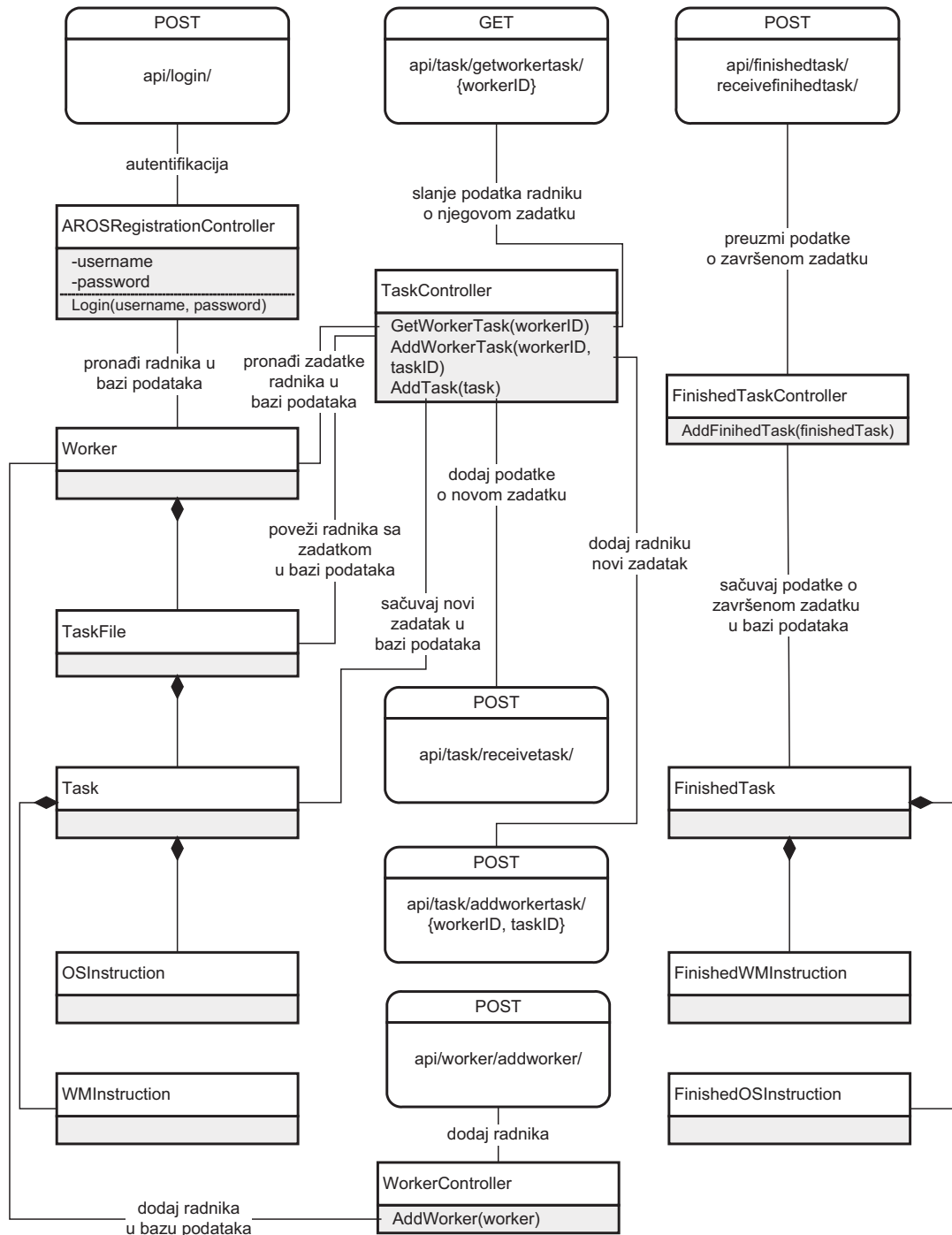
- *modela* - mapiranje tabela u bazi podataka i
- *kontrolera* - obrada podatka iz baze podataka.

Mapiranje u *modelu* izvršeno je definisanjem klasa za svaku tabelu u bazi podataka. Klase u *modelu* koje služe za mapiranje tabela u bazi su:

- *Worker* – mapira tabelu radnik,
- *TaskFile* – mapira tabelu karton poslova,
- *Task* – mapira tabelu zadatak,
- *OSInstruction* – mapira tabelu bezbedonosnih instrukcija,
- *WMInstruction* – mapira tabelu radnih instrukcija,
- *FinishedTask* – mapira tabelu zvršenih zadataka,
- *FinishedInstruction* – mapira tabelu zvršenih instrukcija.

Kontroler služi da pripremi podatke za slanje klijentskoj aplikaciji ili pripremi podatke za upis u bazu podataka. Klase koje se nalaze u *kontroleru* su:

- *AROSRegistrationControler*,
- *WorkerControler*
- *TaskControler* i
- *FinishedTaskControler*.



Slika 7.3 Klasni dijagram REST servisa AROS sistema

Da bi se pristupilo podacima potrebno je prvo izvršiti autentifikaciju korisnika. Klasa *AROSRegistrationController* i metoda *Login* služe da se radnik, uz pomoć svog

korisničkog imena i lozinke, registruje sa klijentskog dela AROS sistema, pristupi servisu i dobije *token* koji se koristi za autentifikaciju kada ponovo pristupa servisu.

Pseudokod za klasu *AROSRegistrationControler*

Prikazan je pseudokd za metodu *Login* klase *AROSRegistrationControler* za registraciju radnika.

Input: username, password

Output: token

```
Method Login(username, password)
{
    IF (autentifikacija je uspesna)
    {
        pošalji token za dalju autentifikaciju
    }
    ELSE
    {
        poslati poruku da navedeni korisnik ne postoji
    }
}
```

Metoda *AddWorker* klase *WorkerControler* se koristi za dodavanje novih radnika generisanih sa administratorske strane AROS sistema. Ovom metodom se obrađuju podaci za radnika poslati u JSON formatu i zapisuju u bazu podataka.

Pseudokod za klasu *WorkerControler*

Dat je pseudokd za metodu *AddWorker* klase *WorkerControler* za dodavanje novog radnika u bazu podataka.

Input: workerJSON

```
Method AddWorker(workerJSON)
{
    Worker newWorker=Json.Decode<Worker>(workerJSON)
```

```

    DatabaseContext.Workers.Add(newWorker)
}

```

Klasa *TaskControler* služi za obradu podataka koji se odnose na zadatak. Metoda *GetWorkerTask* se koristi kako bi se registrovanom radniku pridružio zadatak kao i sve neophodne podatke koji se na njega odnose. Zadatku se pridružuju bezbedonosne i radne instrukcije sa njihovim parametrima. Dobijeni podaci, ovom metodom, se parsiraju i pripremaju u JSON formatu. Sledeće metode se korite kako bi se sa administratorske strane preuzeli poslani podaci i smestili u bazu podataka. Metoda *AddTask* klase *TaskControler* služi da prasiswa podatke o novom zadatku i smesti u bazu podataka. Takođe, metoda *AddWorkerTask* se koristi za dodeljivanje zadatka radniku.

Pseudokod za klasu *TaskControler*

Dat je pseudokod za metodu *GetWorkerTask* klase *TaskControler* za pronalaženje zadataka za datog radnika.

Input: workerID

Output: taskJSON

```

Method GetWorkerTask(workerID)
{
    IF(radnik sa ključem workerID ima dodeljen zadatak)
    {
        TaskFile newTaskFile=DatabaseContext.TaskFiles[workerID]
        taskJSON.task=DatabaseContext.Tasks[newTaskFile.taskID]
        i = 0
        FOR (each instruction in DatabaseContext.OSInstructions)
        {
            IF (instruction.taskID == taskJSON.task.id)
            {
                taskJSON.OSInstructions[i]=instruction
                i++
            }
        }
        k = 0
    }
}

```

```

    FOR (each instruction in DatabaseContext.WMInstructions)
    {
        IF (instruction.taskID = taskJSON.task.id)
        {
            taskJSON.WMInstructions[k]=instruction
            i++
        }
    }
    return taskJSON
}
ELSE
{
    poslati poruku da ne postoji trenutno zadatak za radnika
}
}

```

Dat je pseudokod za metodu *AddTask* klase *TaskControler* za dodavanje novog zadatka u bazu podataka.

Input: taskJSON

```

Method AddTask(taskJson)
{
    Task newTask = Json.Decode<Task>(taskJSON)
    DatabaseContext.Tasks.Add(newTask)
}

```

Dat je pseudokod za metodu *AddWorkerTask* klase *TaskControler* za pridruživanja zadatka radniku u bazi podataka.

Input: workerID, taskID

```

Method AddWorkerTask(workerID, taskID)
{
    TaskFile newTaskFile = TaskFile(workerID, taskID)
    DatabaseContext.TaskFiles.Add(newTaskFile)
}

```

Klasa *FinishedTaskControler* služi da obradi podatke dobijene sa klijentske strane koji se odnose na konkretnog radnika. Podaci dobijeni u JSON formatu se parsiraju i smeštaju u bazu podataka. Pomoću metode *AddFinihedTask* završeni zadatak i njegovi parametri upisuju se završeni zadatak i završene instrukcije.

Pseudokod za klasu *FinishedTaskControler*

Dat je pseudokod za metodu *AddFinihedTask* klase *FinishedTaskControler* za upisivanje završenog zadatka u bazu podataka.

Input: `finishedTaskJSON`

```
Method AddFinihedTask(finishedTaskJSON)
{
    FinishedTask fTask=Json.Decode<FinishedTask>(finishedTaskJSON)
    DatabaseContext.FinishedTasks.Add(fTask)
}
```

Da bi se sa klijentske strane pristupalo servisu neophodno je definisati opcije za slanje i primanje podataka o zadacima. Podacima se pristupa pomoću definisanih adresa pa se tako koristeći `GET /api/task/getworkertask/workerID` dobijaju zadaci za izvršenje pomoću metode *GetWorkerTask* klase *TaskControler*. Slanje završenog zadatka na server vrši se koriteći `POST /api/finishedtask/receivefinihedtask/` gde se obrađuju i upisuju podaci o završenom zadatku u bazu podataka pomoću metode *AddFinihedTask* klase *FinishedTaskController*.

7.2.3 Multimedijalni repozitorijum

Multimedijalni repozitorijum služi za skladištenje sadržaja koji klijentska aplikacija preuzima po potrebi zavisno od zadatka. Aplikaciji se dostavlja link multimedijalnog sadržaja pomoću implementiranog REST servisa u JSON formatu.

Video zapisi služe za prikazivanje u okviru aplikacije tokom prepoznavanja markera. Oni su snimljeni u *mp4* formatu sa *H.264* video kodekom. Rezolucija videa je 1280x720 piksela sa brzinom prenosa (bit rate) od 3000 bps. Zvuk je snimljen u *AAC* formatu sa frekvencijom (sampling rate) od 44.1 kHz i brzinom prenosa od 64 kbps. Ovakva

optimizacija zvuka je urađena zbog toga što se emituje samo glas u toku prikazivanja instrukcije.

Format 3D modela zavisi od broja poligona koji se koristi. Ako 3D model sadrži manje od 65000 poligona koristi se *.3ds* format zbog dobre kompresije podataka. Kada je broj poligona veći od 65000, koristi se *.fbx* format podataka. Ovi modeli su smešteni u okviru *AssetBundle* koji se po potrebi koriste na klijentskoj strani.

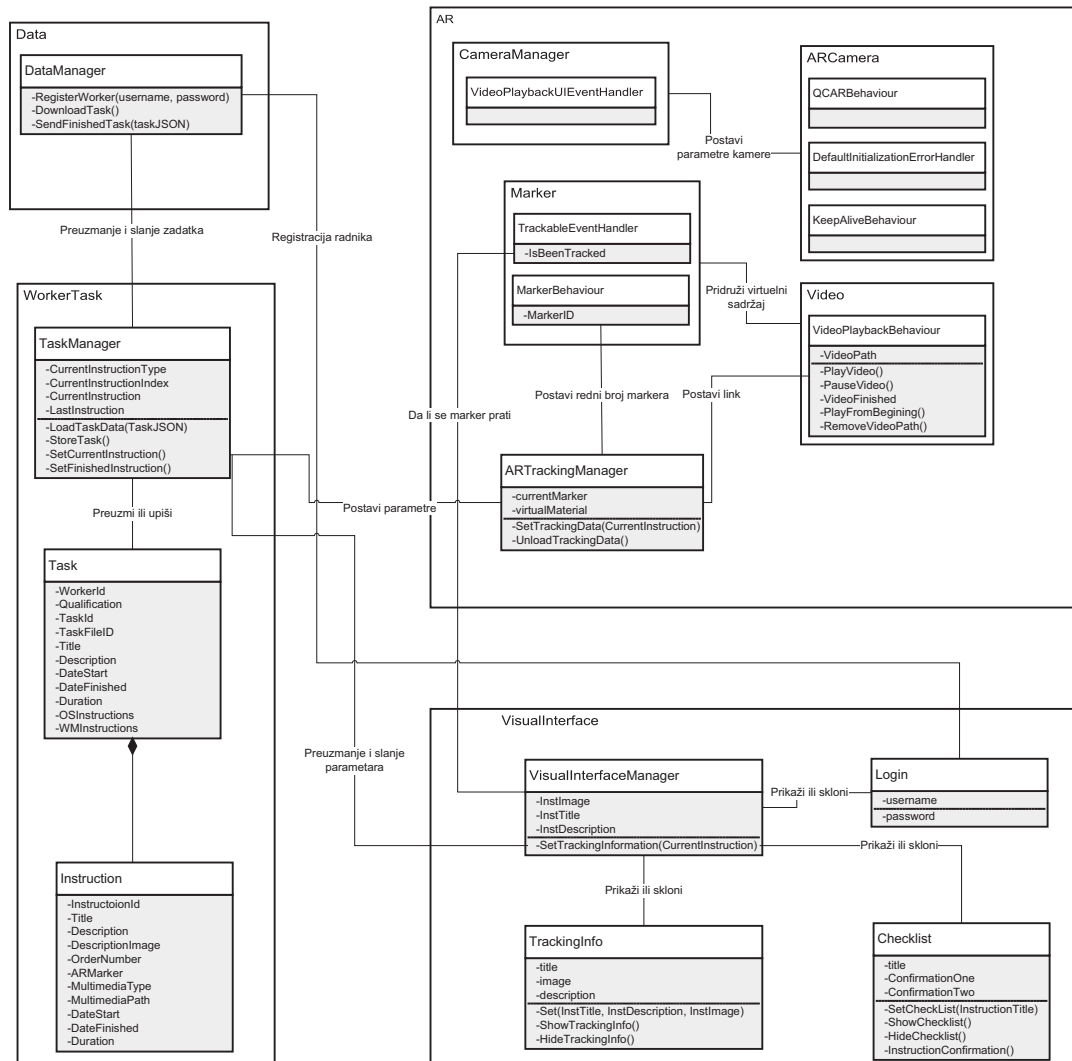
7.3 Klijentski deo

Klijentski deo prilagođen je u zavisnosti od industrijskog okruženja u kom se primenjuje AROS sistem. U doktorskoj disertaciji obrađena su dva slučaja primene sistema: za rad u mehaničkom odeljenju termoelektrane i za rad u elektroenergetskim sistemima.

7.3.1 AROS za primenu u mehaničkom odeljenju termoelektrane

Klijentski deo za primenu u mehaničkom odeljenju termoelektrane zasniva se na definisanoj arhitekturi realizovanoj u Unity softverskom alatu. Realizacija, prikazana na slici 7.4, izvršena je pomoću skupa game objekata na sceni i njihovih komponenti. Komponente su definisane preko klasa u *C#* programskom jeziku na sledeći način:

1. modul *Komunikacija* realizovan je objektom *Data* i komponentom *DataManager*,
2. modul *Zadatak* realizovan je objektom *Task* i komponentama *TaskManager* i *Task*,
3. modul *UI* realizovan je objektom *VisualInterface* koji poseduje komponente *VisualInterfaceManager*, *Login*, *TrackingInfo* i *Checklist*,
4. modul *AR* realizovan je objektima *ARCamera*, *CameraManager*, *ARTrackingManager*, *MarkerTracker*, *Marker* i *Video*.



Slika 7.4 Klasni dijagram klijentskog dela AROS sistema za primenu u mehaničkom odeljenju termoelektrane

7.3.1.1 Data

Ovaj objekat poseduje komponentu klase *DataManager* koja se koristi za komunikaciju sa serverom. Metoda *RegisterWorker* koristi se u slučaju slanja korisničkog imena i lozinke REST servisu kako bi se radnik registrovao na serverski deo sistema. Posle uspešene autentifikacije u aplikaciju se pomoću REST servisa šalju podaci za zadatak koji treba registrovani radnik da izvrši. Podaci u JSON formatu se parsiraju i dalje prosleđuju objektu *WorkerTask*.

Ako radnik nije u mogućnosti da, na mestu gde se izvršava zadatak, koristi internet u AROS sistemu je integrisana mogućnost preuzimanja sadržaja. Metodom *DownloadTask* iz preuzetog zadatka se pronalaze adrese koji ukazuju na podatke smeštene u multimedijalnom repozitorijumu. Pomoću adrese podaci se preuzimaju i smeštaju u lokalnu memoriju mobilnog uređaja kako bi se koristili u režimu bez pristupa internetu.

Pseudokod za klasu *DataManager*

Dat je pseudokod za metodu *RegisterWorker* klase *DataManager* pomoću koje se radnik registruje na server kako bi preuzeo zadatak.

Input: serverJSON

Output: username, password

```
Method RegisterWorker(username, password)
{
    IF (registracija na serveru je uspešna)
    {
        TaskJSON = preuzeti JSON fajl sa servera
        IF(TaskJSON)
        {
            TaskManager.LoadTaskData(TaskJSON)
            IF(korišćenje aplikacije bez internet konekcije)
                DownloadTask()
        }
        ELSE
            prikazati poruku da radniku nije dodeljen zadatak
    }
    ELSE
    {
        prikazati poruku da radniku da registracija nije uspela
    }
}
```

Kada se zadatak završi potrebno je podatke o izvršenju poslati na server da bi se upisali u bazu podataka. Pripremu za upis na server vrši metoda *CreateServerJSON* koja pretvara elemente klase *Task* u JSON format. Obradeni podaci se šalju REST servisu pomoću metode *SendFinishedTask*.

Pseudokod za klasu *DataManager*

Dat je pseudokod za metodu *RegisterWorker* klase *DataManager* pomoću koje se radnik registruje na server kako bi preuzeo zadatak.

Input: *Task*

Output: token, *TaskJSON*

```
Method SendFinishedTask(Task)
{
    IF (autentifikacija na serveru uspešna)
    {
        TaskJSON = CreateServerJSON(Task)
        poslati TaskJSON na server
    }
    ELSE
    {
        prikazati poruku da je došlo do greške u slanju
    }
}
```

7.3.1.2 WorkerTask

Objekat *WorkerTask* poseduje dve komponente: klasu *TaskManager* i klasu *Task*. Klasa *Task* predstavlja strukturu podataka koja služi da integriše podatke sa servera. Parametri zadatka koji se izvršava pomoću AROS sistema su:

- *WorkerId* - definiše ID radnika,
- *Qualification* - definiše kvalifikaciju radnika,
- *TaskId* - definiše ID zadatka,
- *TaskFileID* - definiše ID kartona poslova,

- *Title* - definiše naslov instrukcije u tekstualnom obliku,
- *Description* - definiše tekstualni opis instrukcije koja se izvršava,
- *DateStart* - definiše datum početka izvršenja zadatka,
- *DateFinished* - definiše datum kraja izvršenja zadatka,
- *Duration* - definiše dužinu trajanja zadatka,
- *OSInstructions* - definiše listu bezbedonosnih instrukcija,
- *WMInstructions* - definiše listu radnih instrukcija.

Osim parametara o zadatku sadrži podatke o bezbedonosnim instrukcijama *OSInstructions* klase *OSInstruction* i radnim instrukcijama *WMInstructions* klase *WMInstruction*. Klase *OSInstruction* i *WMInstruction* nasleđuju klasu *Instruction*. Klasa *Instruction* sadrži sledeće parametre:

- *InstructionId* - definiše ID instrukcije,
- *Title* - definiše naslov instrukcije u tekstualnom obliku,
- *Description* - definiše tekstualni opis instrukcije koja se izvršava,
- *DescriptionImage* - definiše sliku koja ide uz opis instrukcije,
- *OrderNumber* - definiše tekstualni opis instrukcije koja se izvršava,
- *ARMarker* - definiše marker koji se prati,
- *MultimediaType* - definiše tip multimedijalnog sadržaja,
- *Multimedia* - definiše link ka multimedijalnom sadržaju,
- *DateStart* - definiše datum početka izvršenja instrukcije,
- *DateFinished* - definiše datum kraja izvršenja instrukcije,
- *Duration* - definiše dužinu trajanja izvršenja.

TaskManager pomoću metode *LoadTaskData* parsira JSON preuzet sa servera i kreira zadatak *Task*. Posle unošenja svih elemenata podaci komponente *Task* pamte se u lokalnu memoriju metodom *StoreTask* klase *TaskManager*. Ova metoda je uvedena da, ukoliko dođe do slučajnog prekida aplikacije (npr. baterija na mobilnom uređaju se ispraznila), radnik može da se vrati na realizaciju zadatka od instrukcije koja je bila u procesu izvršenja.

Pseudokod za klasu *TaskManager*

Prikazan je pseudokod za metodu *LoadTaskData* klase *TaskManager* pomoću koje se učitava zadatak.

Input: TaskJSON

```

Method LoadTaskData(taskJSON)
{
    Task = Json.Decode<Task>(taskJSON)

    IF (Task sadrži podatke)
    {
        StoreTask()
        CurrentInstructionType = "OS"
        CurrentInstructionIndex = 0
        LastInstuction = false
        SetCurrentInstruction()
    }
}

```

Način prikazivanja parametara zadatka zavisi od kvalifikacije i osposobljenosti radnika za taj zadatak. Parametar *Qualification* određuje kako će se prikazivati podaci. Pošto je određena kvalifikacija i parametri smešteni u *Task* strukturu radnik bira, na korisničkom interfejsu, kako da koristi sistem (sa ili bez interneta). Ako je izabrao opciju bez interneta potrebni podaci se preuzimaju iz repozitorijuma i smeštaju u lokalnu memoriju. U suprotno se virtuelni sadržaj preuzima preko definisanih adresa.

Parametri za instrukciju pomoću metode *SetCurrentInstruction* klase *TaskManager* prosleđuju se u *VisualInterfaceManager* i *ARTarckingManager*. Objekat *VisualInterface*, kreiran pomoću komponente klase *VisualInterfaceManager*, dobija podatke kao što su tekstualni opis instrukcije kao i slika markera koji treba da se prati. Paralelno se definišu elementi *AR* objekta koji su potrebni za praćenje pomoću *ARTrackingManager* komponente kao što su redni broj markera i link ka virtuelnom sadržaju.

Pseudokod za klasu *TaskManager*

Prikazan je pseudokod za metodu *SetCurrentInstruction* klase *TaskManager* pomoću koje se postavlja trenutna instrukcija i prosleđuje komponentama *ARTrackingManager* i *VisualInterfaceManager*.

Input: *CurrentInstructionType*, *CurrentInstructionIndex*

Output: *CurrentInstruction*

```
Method SetCurrentInstruction()
{
    IF (CurrentInstructionType = "OS")
    {
        instruction=Task.OSInstuction[CurrentInstructionIndex]
        IF(Task.Qualification = "Highly-Qualified")
        {

            CurrentInstructionIndex++
            IF(poslednja instrukcija)
            {
                LastInstuction = true
            }
        }
        ELSE
        {
            CurrentInstructionType = "WM"
        }
    }
    ELSE
    {
        instruction=Task.WMInstuction[CurrentInstructionIndex]
        CurrentInstructionType="OS"
        CurrentInstructionIndex++
        IF(poslednja instrukcija)
        {
            LastInstuction = true
        }
    }
    instruction.DateStart = currentDate
    CurrentInstruction = instruction
    VisualInterfaceManager.SetTrackingInformation(CurrentInstruction)
    ARTarckingManager.SetTrackingData(CurrentInstruction)
}
```

Kada je izvršena instrukcija metodom *SetFinishedInstruction* klase *TaskManager* ona se upisuje i izdaje sledeća instrukcija. Ukoliko je to poslednja instrukcija znači da je zadatak izvršen i prosleđuje se u *DataManager* za slanje na server u bazu podataka. Posle uspešno poslatog zadatka zapisuju se podaci koji se odnose na instrukcije u listi instrukcija.

Pseudokod za klasu *TaskManager*

Dat je metod *SetFinishedInstruction* klase *TaskManager* kojim se završava trenutna instrukcija.

```
Method SetFinishedInstruction()
{

    CurrentInstruction.DateFinished = currentDate
    StoreTask()
    ARTrackingManager.UnloadTrackingData()
    IF(LastInstruction == false)
    {
        SetCurrentInstruction()
    }
    ELSE
    {
        Task.DateFinished = currentDate
        DataManager.SendFinishedTask(Task)
    }
}
```

7.3.1.3 VisualInterface

Objekat *VisualInterface* se sastoji od četiri komponente koje su definisane klasama *VisualInterfaceManager*, *Login*, *TrackingInfo* i *Checklist*.

Klasa *Login* služi da prikaže polja za registraciju na korisničkom interfejsu kako bi se radnik prijavio na sistem. Posle unošenja podataka, kao što su korisničko ime i šifra

radnika, oni se prosleđuju klasi *DataManager* pomoću koje se dalje šalju na server. Po izvršenoj autentifikaciji prosleđuju se parametri zadatka nazad u aplikaciju i smeštaju u objekat *WorkerTask*.

Zavisno od kvalifikacije radnika parametri se prosleđuju objektima *AR*, za njegovu aktivaciju, i *VisualInterface* za navođenje radnika do mesta za prepoznavanje. Ukoliko je radnik nižom kvalifikacijom njemu se prikazuju bezbedonosne i radne instrukcije. Ako je radnik više kvalifikacije njemu se prikazuju samo bezbedonosne instrukcije.

Inicijalizacijom *AR* modula aktivira se kamera pomoću koje se snima deo industrijskog prostora i prenosi na ekran mobilnog uređaja. Paralelno se podaci o instrukciji upisuju u komponentu *VisualInterfaceManager* metodom *SetTrackingInformation*. Podaci koji se upisuju su:

- *InstImage* - link do slike objekta koji se trenutno prati,
- *InstTitle* - tekstualni naslov instrukcije,
- *InstDescription* - tekstualni opis instrukcije,

Pseudokod za klasu *VisualInterfaceManager*

Prikazan je metod *SetTrackingInformation* klase *VisualInterfaceManager* kojim se za trenutnu instrukciju postavljaju parametri za komponente *TrackingInfo* i *Checklist*.

Input: *CurrentInstruction*

```
Method SetTrackingInformation(CurrentInstruction)
{
    instruction = CurrentInstruction
    InstTitle = instruction.Title
    InstDescription = instruction.Description
    InstImage = instruction.DescriptionImage
    TrackingInfo.Set(InstTitle, InstDescription, InstImage)
    TrackingInfo.ShowTrackingInfo()
    CheckList.SetChecklist(InstTitle)
    CheckList.HideChecklist()
}
```

Komponentom *TrackingInfo* se, preko slike dobijene kamerom na ekranu mobilnog uređaja, prikazuje transparentni pravougaonik na kome je belim slovima ispisan tekst i ispod njega prikazan marker koji se prati. Transparentnost pravougaonika definisana je sa namerom kako bi se videla u pozadini slika stvarnog okruženja. Efekat koji se time dobija omogućava radniku da se, gledajući kroz ekran mobilnog uređaja, kreće kroz industrijski prostor i pronalazi marker predstavljen na slici. Sve dok marker nije prepoznat ove instrukcije su vidljive. Kada je marker prepoznat i tokom njegovog praćenja ove instrukcije su sklonjene sa ekrana.

Prepoznavanjem markera vrši se prikazivanje multimedijalnog sadržaja. Pošto je praćenje markera prestalo aktivira se *lista provere*. Lista provere je implementirana kao klasa *Checklist*. Metodom *ShowChecklist* prikazuje se lista provere čim se detektovao prestanak praćenja. Na ovaj način se smatra da je radnik odgledao i primenio datu instrukciju. Radnik je dužan da potvrdi njeno izvršenje u polju za potvrđivanje na ekranu mobilnog uređaja. Prvim potvrđivanjem u listi provere aktivira se još jedan nivo provere. Ova opcija je integrisana sa namerom da ne dođe do slučajnog potvrđivanja u toku korišćenja sistema.

Posle drugog pozitivnog odgovora, pomoću metode *InstructionConfirmation* klase *Checklist*, parametri instrukcije o njenom izvršenju upisuju se pomoću metode *SetFinishedInstructionu* klase *TaskManager*. Upisuju se i podaci kao što su vreme i trajanje instrukcije. Posle toga ovaj korak se zapisuje u lokalnu memoriju.

Checklist

Prikazan je pseudokod za metodu *InstructionConfirmation* klase *Checklist* pomoću koje se vrši potvrda završenog zadatka.

```
Method InstructionConfirmation()
{
    ConfirmationOne.SetActive = true
    IF(ConfirmationOne.Value == true)
    {
        ConfirmationTwo.SetActive = true
        IF(ConfirmationTwo.Value == true)
        {
            TaskManager.SetFinishedInstruction()
            ConfirmationOne.Value == false
        }
    }
}
```

```
        ConfirmationTwo.Value == false
        HideChecklist()
    }
    ELSE
    {
        ConfirmationTwo.SetActive = false
        ConfirmationOne.Value == false
    }
}
}
```

7.3.1.4 AR

Za realizaciju AR modula koriste se sledeći objekti:

- *ARCamera*
- *CameraManager*
- *ARTrackingManager*
- *MarkerTracker*
- *Marker*
- *Video*

Objekat *ARCamera* se koristi za prikaz slike na ekranu mobilnog uređaja dobijene pomoću kamere. Takođe, služi za upravljanje virtuelnim sadržajem tokom prepoznavanja i praćenja. *ARCamera* sastoji se od klasa:

- *QCARBehaviour* služi da upravlja praćenjem i prikazivanjem video sadržaja koji se dobija pomoću kamere mobilnog uređaja,
- *DefaultInitializationErrorHandler* definiše greške koje se javljaju pri inicijalizaciji AR modula,
- *KeepAliveBehaviour* omogućava da se AR modul koristi kroz više scena,

CameraManager se koristi da definiše parametre AR kamere za praćenje. To se realizuje pomoću klase *VideoPlaybackUIEventHandler*. Definišu se parametri kao što je autofokus, kamera koja se koristi tokom praćenja na mobilnom uređaju (prednja ili zadnja), upotreba blica i slična podešavanja potrebna tokom praćenja.

ARTrackingManager služi da se kreiraju elementi za praćenje. Ovo se realizuje pomoću *SetTrackingData* metode. Definiše se marker na sceni kome se pridružuje video sadržaj. Tokom praćenja na mestu markera potrebno je prikazivati video sadržaj. Postavljeni atributi za praćenje su:

- *currentMarker* predstavlja instancu markera koji se trenutno prati,
- *virtualMaterial* predstavlja link do sadržaja koji se prikazuje tokom praćenja markera.

Pomoću metode *SetTrackingData* klase *ARTrackingManager* kreiraju se objekti *Marker* i *Video* i čime se započinje proces praćenja. Posle izvršenog praćenja, pomoću *ARTrackingManager* klase, moguće je ukloniti marker koji se prepoznaje metodom *UnloadTrackingData*.

Pseudokod za klasu *ARTrackingManager*

Prikazan je pseudokod metode *SetTrackingData* klase *ARTrackingManager* kojom se postavljaju parametri praćanja.

Input: *CurrentInstruction*

```

Method SetTrackingData(CurrentInstruction)
{
    instruction = CurrentInstruction()
    currentMarker = instruction.ARMarker
    virtualMaterial = instruction.MultimediaPath
    MarkerBehaviour.MarkerID = markerID
    VideoPlaybackBehaviour.VideoPath = VideoPath

    IF(TrackableEventHandler.IsBeenTracked == true)
    {
        VideoPlaybackBehaviour.PlayVideo()
        TrackingInfo.HideTrackingInfo()
        CheckList.HideChecklist()

        IF(VideoPlaybackBehaviour.VideoFinished)
        {
            VideoPlaybackBehaviour.PlayFromBeginning()
        }
    }
}

```



```
        }  
    }  
    ELSE  
    {  
        CheckList.ShowChecklist()  
        VideoPlaybackBehaviour.PauseVideo()  
    }  
}
```

Prikazan je pseudokod metode `UnloadTrackingData` klase `ARTrackingManager` kojom se uklanjaju parametri praćenja.

```
Method UnloadTrackingData()  
{  
    MarkerTracker.DestroyMarker(MarkerID)  
    VideoPlaybackBehaviour.RemoveVideoPath()  
}
```

MarkerTracker upravlja sistemom za prepoznavanje i praćenje markera. Pa tako može da doda ili obriše marker sa liste objekata koje se prepoznaju i prate.

Marker je objekat koji služi za definisanje parametara markera koji se prati. Moguće je imati 512 različitih markera definisanih pomoću klase *MarkerBehaviour*. Pomoću identifikacionog broja atribut *MarkerID* se koristi za definisanje kodne strukture markera koji se prati. Za njegovo praćenje i definisanje radnje, koja će se izvršiti tokom praćenja, zadužena je klasa *TrackableEventHandler*. Atribut *IsBeenTracked* pokazuje je da li je marker u fazi praćenja.

Objekat *Video* služi za prikazivanje video zapisa tokom praćenja markera. Definisan je klasom *VideoPlaybackBehaviour* koja služi za prikaz video zapisa kao teksturu za dati marker. Takođe, ovom klasom definisane su kontrole koje se koriste za prikazivanje video zapisa.

7.3.1.5 Princip rada klijentskog dela u mehaničkom odeljenju termoelektrane

Princip rada klijentskog dela AROS sistema u mehaničkom odeljenju termoelektrane prikazan je na slici 7.5. Kada se korisnik registruje na sistem i preuzmu podaci potrebni

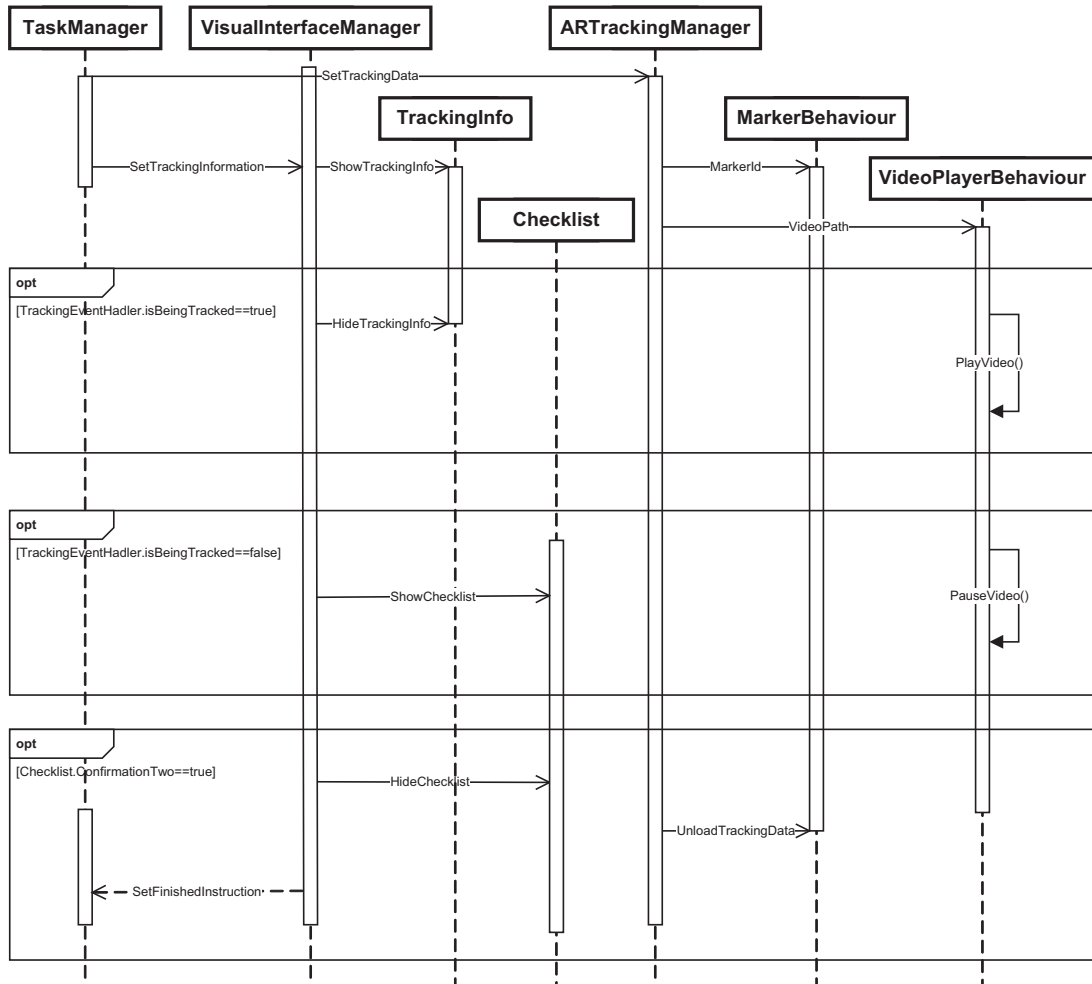
za izvršenje zadatka sa servera aktivira se AR modul. Prilikom inicijalizacije ovog modula aktivira se objekat *ARCamera* kako bi se uključila kamera mobilnog uređaja kao i neophodni parametri za praćenje. Podešavanja parametara kamere kao što su autofokus ili blic izvršavaju se pomoću objekta *CameraManager* koji se, takođe, pokreće tokom inicijalizacije ovog modula.

Pošto se dostave parametri za zadatak uporedo se prosleđuju podaci u komponentu *VisualInterfaceManager* i postavljaju metodom *SetTrackingInformation*. Aktivira se *ARTrackingManager* komponenta metodom *SetTrackingData*. Pozivom metode *SetTrackingInformation* aktivira se *TrackingInfo* komponenta dok se metodom *SetTrackingData* kreira objekat *Marker* sa rednim brojem koji je definisan u instrukciji. Za praćenje markera integrisana je komponenta klase *TrackableEventHandler*. Njen atribut *IsBeenTracked* postavlja se na vrednost *false*. *TrackableEventHandler* vodi računa u kom stanju praćenja je marker odnosno određuje sadržaj koji se prikazuje kada se marker prati ili ne prati.

Kreiranjem markera pridružuje se objekt *Video*. Njemu se prosleđuje link do virtuelnog sadržaja za prikazivanje tokom praćenja. Objekat *Video* definisan je komponentom klase *VideoPlaybackBehaviour* koja se koristi za prikazivanje i kontrolu video zapisa definisanim datim linkom. Prepoznavanjem markera, detektuje se promena pomoću *TrackableEventHandler* komponente gde se parametar *IsBeenTracked* postavlja na vrednost *true*. Sa ekrana se uklanja komponenta *TrackingInfo* i zatim komponenta *VideoPlaybackBehaviour* prikazuje video zapis na mesto prepoznatog markera. Vodi se računa o prepoznatom markeru i o interakciji korisnika sa virtuelnim sadržajem. Omogućeno je korisniku da zaustavi video, da nastavi njegovo prikazivanje ili da ponovi prikazivanje video zapisa.

Po završetku praćenja markera komponenta *VisualInterfaceManager*, promenom vrednosti atributa *IsBeenTracked* na vrednost *false*, na ekranu aktivira *Checklist* komponentu. Radniku se pomoću *Checklist* aktivira dvostruki metod provere koji se prikazuje na ekranu mobilnog uređaja.

Kada radnik potvrdi primenu instrukcije, koja mu je prikazana, metodom *UnloadTrackingData* klase *ARTrackingManager* uklanja se marker i njegovi elementi sa scene. Podaci o izvršenoj instrukciji zapisuje se pomoću komponente *TaskManager*. Upisuje se da je instrukcija izvršena, podaci o vremenu i trajanju, a zatim se izdaje sledeća instrukcija u nizu. Za izdavanja sledeće instrukcije ponovo se koristi *SetTrackingData* za postavljanje na scenu novog markera i video zapis koji se koristi tokom praćenja.



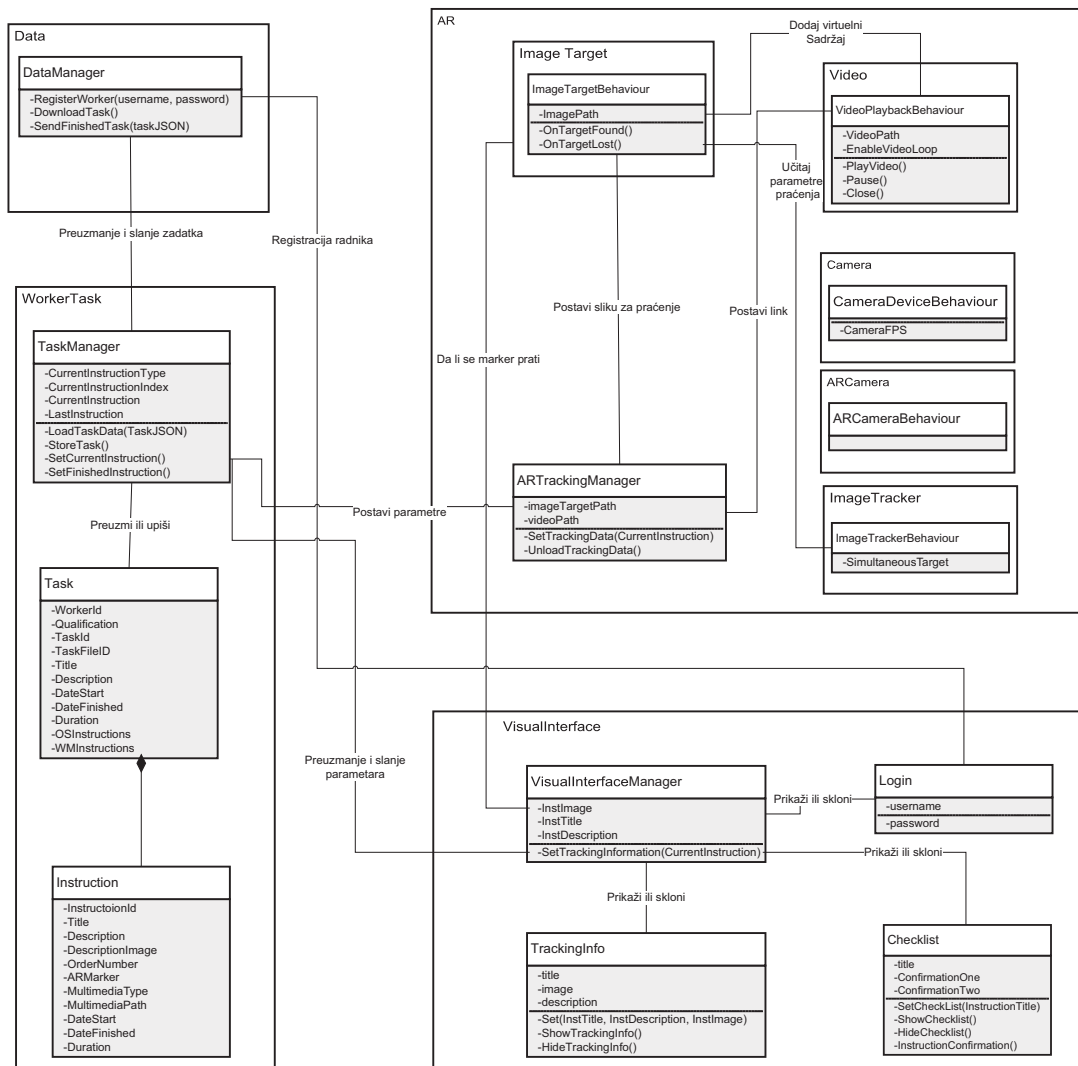
Slika 7.5 Sekvencijalni dijagram u izvršenju klijentskog dela AROS sistema u mehaničkom odeljenju termoelektrane

7.3.2 AROS za primenu u elektroenergetskim sistemima

Primena u elektroenergetskim sistemima realizovana je u *Unity* alatu. Relizacija modula *Komunikacija*, *Zadatak* i *UI* urađena je na identičan način kao u prethodnom primeru dok je *AR modul* promenjen obzirom da je realizovan pomoću *EasyAR SDK* umesto *Vuforia SDK*. Moduli, predstavljeni na slici 7.6, realizovani su na sledeći način

1. modul *Komunikacija* realizovan je objektom *Data* i komponentom *DataManager*,
2. modul *Zadatak* realizovan je objektom *WorkerTask* i komponentama *TaskManager* i *Task*,

3. modul *UI* je realizovan objektom *VisualInterface* koji poseduje komponente *VisualInterfaceManager*, *Login*, *TrackingInfo* i *Checklist*,
4. modul *AR* realizovan je objektima *ARTrackingManager*, *ImageTracker*, *Camera*, *ARCamera*, *ImageTarget* i *Video*.



Slika 7.6 Klasni dijagram klijentskog dela AROS sistema za primenu u elektroenergetskim sistemima

7.3.2.1 AR

AR modul sastoji se od sledećih objekata:

- *ARTrackingManager*,
- *ImageTracker*,
- *Camera*,
- *ARCamera*,
- *ImageTarget* i
- *Video*

Objekat *Camera* se koristi za prikaz slike koja je snimljena kamerom mobilnog uređaja. Za realizaciju ovog objekta koristi se klasa *CameraDeviceBehaviour*. Pomoću ove klase definišu se parametri kamere mobilnog uređaja kao što su rezolucija, broj slika u sekundi (frame rate) kao i izbor kamere.

ARCamera se koristi za kombinovanje virtuelnog sadržaja i slike dobijene kamerom mobilnog uređaja. Definisana je klasom *ARCameraBehavior* kojom se kontroliše AR kamera u okviru scene.

ImageTracker služi za detekciju slika koje se prepoznaju i prate. Ovaj objekat definisan je klasom *ImageTrackerBehaviour* koja služi za detekciju i praćenje *ImageTarget* objekata. Atributom *SimultaneousTargetNumber* određuje se broj objekata za praćenje odjednom. U AROS sistemu ovaj parametar je postavljen na vrednost 1 zato što se, u svakom trenutku, isključivo jedan objekat prati.

ImageTarget predstavlja objekat koji se prati. Definisani je preko klase *ImageTargetBehaviour* i moguće je postaviti sliku koja se prati odnosno njenu adresu u atributu *Path* kao i druge elemente koji se odnose na sliku.

VideoPlayer je objekat koji prikazuje video zapis preko slike koja se prepoznaje i prati. Klasa *VideoPlayerBehaviour* definiše ovaj objekat i zadužena za kontrolu video sadržaja koji se prikazuje.

Klasa *ARTrackingManager* služi za postavljanje parametra praćenja. Pomoću metode *SetTrackingData* postavlja parametre slike za praćenje u okviru *ImageTarget* objekta. Takođe, ovom metodom se postavlja video sadržaj u okviru *Video* objekta. Metodom *UnloadTrackingData* uklanja se *ImageTarget* objekat.

Pseudokod za klasu *ARTrackingManager*

Prikazan je pseudokod metode *SetTrackingData* klase *ARTrackingManager* kojom se postavljaju parametri praćenja.

Input: *CurrentInstruction*

```
Method SetTrackingData(CurrentInstruction)
{
    instruction = CurrentInstruction()
    imageTargetPath = instruction.ARMarker
    videoPath=instruction.MultimediaPath
    ImageTargetBehaviour.ImagePath = imageTargetPath
    VideoPlaybackBehaviour.Path = videoPath
    VideoPlaybackBehaviour.EnableVideoLoop = true

    IF(ImageTargetBehaviour.OnTargetFound)
    {
        VideoPlaybackBehaviour.PlayVideo()
        TrackingInfo.HideTrackingInfo()
        CheckList.HideChecklist()
    }
    IF(ImageTargetBehaviour.OnTargetLost)
    {
        CheckList.ShowChecklist()
        Video.Pause()
    }
}
```

Prikazan je pseudokod metode *UnloadTrackingData* klase *ARTrackingManager* kojom se uklanjaju parametri praćenja.

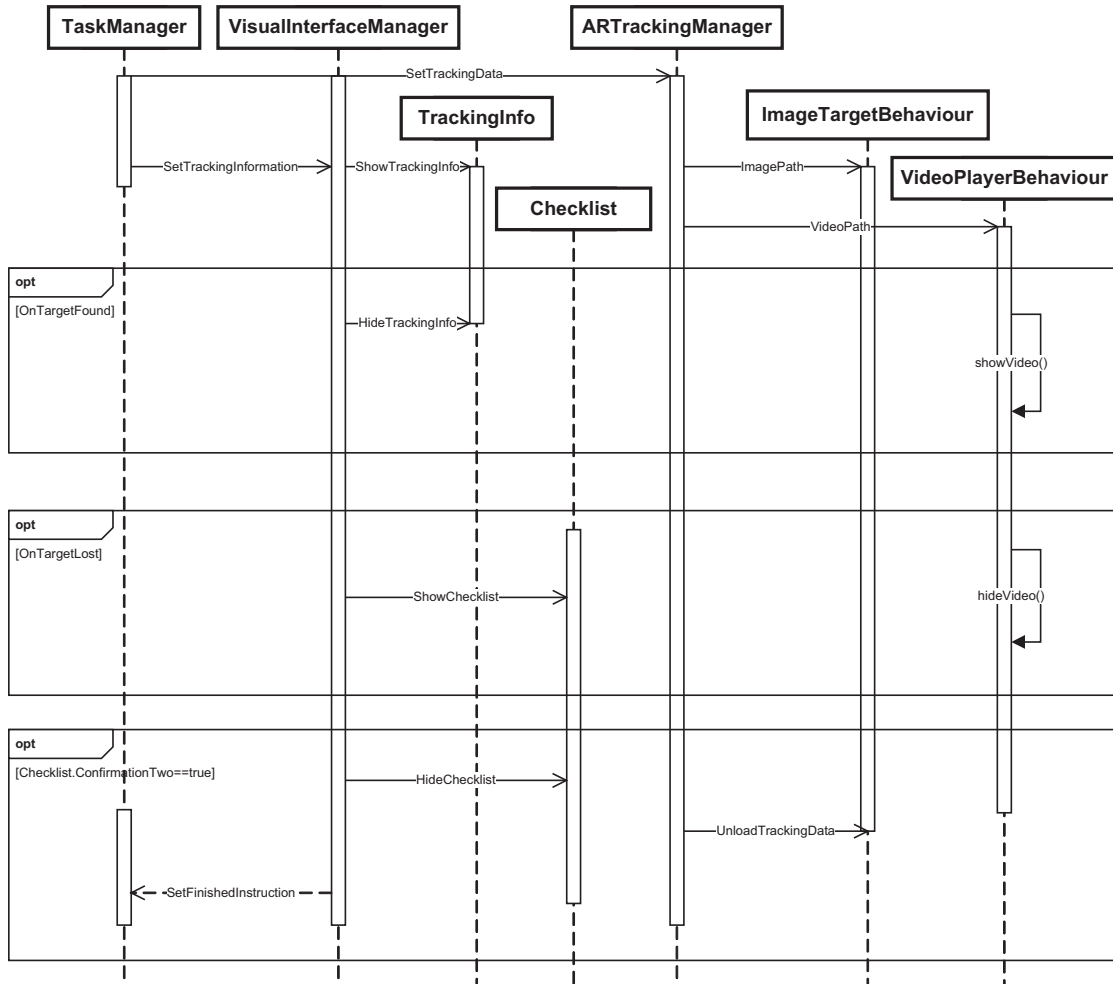
```
Method UnloadTrackingData()
{
    Video.Close()
    ImageTracker.UnloadImageTargetBehaviour(ImageTarget)
}
```

7.3.2.2 Princip rada klijentskog dela u elektroenergetskim sistemima

Princip rada klijentskog dela AROS sistema u elektroenergetskim sistemima prikazana je na slici 7.7. Posle registracije korisnika i preuzimanja zadatka sa servera pomoću komponente *TaskManager* dostavljaju se informacije o prvoj instrukciji metodom *SetTrackingInformation* komponente *VisualInterfaceManager*. Uporedo se aktivira *ARTrackingManager* komponenta metodom *SetTrackingData*.

VisualInterfaceManager aktivira komponentu *TrackingInfo* kojom se prikazuju informacije o objektu koji se prati. Uporedo se postavljaju parametri praćenja: komponenta *ARTrackingManager* aktivira *ImageTarget* objekat kome se prosleđuje link do slike koja se prati pomoću komponente *ImageTargetBehaviour*. Objektu *ImageTarget* pridružuje se objekat *Video*. Objekat *Video* pomoću komponente *VideoPlayerBehaviour* dobija informacije o video zapisu koji se prikazuje u toku prepoznavanja i praćenja. Da li je slika u fazi praćenja i prepoznavanja realizuje se preko događaja *OnTargetFound* dok se preko događaja *OnTargetLost* signalizira da je prepoznavanje i praćenje prestalo.

Prepoznavanjem slike *VisualInterfaceManager* detektuje promenu preko događaja *OnTargetFound*, uklanja sa ekrana *TrackingInfo* komponentu dok *VideoPlaybackBehaviour* komponenta prikazuje video zapis na mestu prepoznate slike. Kada se završi praćenje, detektovano metodom *OnTargetLost*, komponenta *VisualInterfaceManager* aktivira *Checklist* komponentu. Na taj način se prikazuje forma za potvrđivanje kako bi radnik potvrdio da je odgledao i primenio datu instrukciju. Posle dvostruke metode provere komponente *Checklist* briše se *ImageTarget* i njegovi elementi metodom *UnloadTrackingData* komponente *ARTrackingManager*. Podaci o izvršenoj instrukciji se upisuju u komponentu *Task* i nako toga se ponavlja ciklus izdavanja sledeće instrukcije u nizu.



Slika 7.7 Sekvencijalni dijagram u izvršenju klijentskog dela AROS sistema u elektroenergetskim sistemima

Glava 8

Poređenje markera i slika za AR prepoznavanje

Primena AROS sistema podrazumeva da u industrijskom okruženju, u okviru kog se sistem koristi, budu postavljeni objekti prepoznavanja markeri odnosno slike. Kada se za objekte posmatranja koriste markeri, AROS sistem koristi Vuforia SDK za integraciju modula proširene stvarnosti. U slučaju korišćenja slika, kao objekta posmatranja, AROS sistem realizuje se korišćenjem EasyAR SDK. Višedecenijska iskustva sa štampanim priručnicima za rad i bezbednost na radu pokazuju da su vrlo često oštećeni, neke strane su nečitljive ili nedostaju, a da su neretko i potpuno izgubljeni ili ostavljeni daleko od mesta rada i na taj način nedostupni.

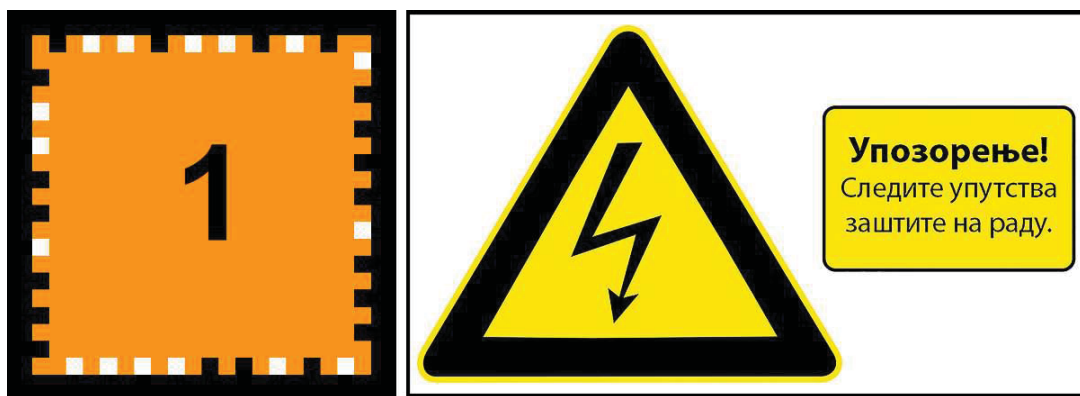
Korišćenjem markera i slika na odgovarajućim mestima, ovaj problem neodgovornog rukovanja sa priručnicima može biti prevaziđen. Međutim, oštećeni ili zaprljani markeri i slike mogu da predstavljaju, takođe, smetnju u primeni AROS sistema. Nivo osvetljenosti je jedan od važnih parametara za uspešnost prepoznavanja i praćenje markera ili slika. Ovo podrazumeva stabilan video signal bez zastoja u prikazivanju pridruženog virtuelnog sadržaja sa razumno kvalitetnim zvukom.

Iz navedenih razloga je od važnosti da se uradi praktična provera kvaliteta prepoznavanja i praćenja markera i slika koji se koriste u AROS sistemu u odnosu na pomenute zahteve. U ovoj glavi izložićemo rezultate ekseprimenata u kojima je prikazan uticaj oštećenja i prekrivenosti kao i nivo osvetljenja u radnom okruženju.

Preporuka je da markeri i slike budu odštampani na kvalitetnoj samolepljivoj hartiji ili PVC foliji radi jednostavnijeg postavljanja i povremene ili periodične zamene. Dobro je da se štampa na mat hartiji ili foliji zbog izbegavanja mogućeg odsjaja koji nastaje usled osvetljenja u radnom prostoru. Dobro je da štampa bude u boji pri čemu se određivanje boja kao i veličina teksta i izbor slika vrši u skladu sa odgovarajućim preporukama za ovakve i slične primene, videti [24, 37, 62] i tamo navedene reference.

Od posebnog značaja je i hardver mobilnog uređaja koji se koristi. Zato su eksperimenti urađeni na četiri različita uređaja, dva pametna telefona i dva tableta, čije su relevantne karakteristike navedene u tabeli 8.1.

Veličina markera i slika je takođe značajan parametar u radu AROS sistema. Zato su eksperimenti urađeni za pet različitih dimenzija visine 5, 7.5, 10, 12.5, 15 cm navedenih u tabelama 8.2 i 8.3. Za svaku dimenziju, markera i slika, analizirana je maksimalna udaljenost sa koje je uspešnost prepoznavanja i stabilnost praćenja zadovoljavajuća. Na slici 8.1 prikazani su markeri i slike nad kojima se vrši prepoznavanje. Pri tome je, zbog razlike u obliku, visina slika svedena na visinu markera.



Slika 8.1 Marker i slika korišćeni za uporednu analizu

U praksi je dobro uzeti u razmatranje i sledeće situacije, koje iz tehničkih razloga nisu obuhvaćene u navedenim eksperimentima:

1. mobilni uređaj koristi isključivo jedan radnik,
2. mobilni uređaj se pridružuje radniku koji je u datoj smeni, tako da više radnika koristi isti uređaj,
3. uređaj je namenjen za primenu koja se odnosi za samo jedan radni zadatak,
4. jedan isti uređaj se koristi za više različitih zadataka, što značajno utiče na obim video sadržaja i složenost aplikacije.

8.1 Karakteristike uređaja korišćenih u eksperimentima

Za potrebe eksperimenta koristila su se četiri mobilna uređaja, dva pametna telefona (Huawei P8 Lite i Samsung Galaxy A5) i dva tableta (Asus Zenpad 10 Z300M i Lenovo

A7600-H). Svi mobilni uređaji su sa Android operativnim sistemom. Uređaji su opisani u tabeli 8.1 sa karakteristikama koje utiču na rad mobilnih aplikacija pa samim tim i na uspešnost prepoznavanja i praćenja. Izabrani su uređaji sa prosečnim karakteristikama hardvera, primerenih cena, dostupnih prosečnom korisniku.

Tabela 8.1 Specifikacija uređaja korišćeni u eksperimentima

Naziv uređaja	Operativni sistem	Procesor	RAM memorija	Veličina ekrana	Kamera video
Huawei P8 Lite (2017)	Android 8.0	Octa-core 4 x 2.1 GHz 4 x 1.7 GHz Cortex-A53	3 GB	5.2 in 1920 x 1080 px	12 MP 1080p, 30fps
Samsung Galaxy A5 (2016)	Android 7.0	Octa-core 1.6 GHz Cortex-A53	2 GB	5.2 in 1920 x 1080 px	13 MP 1080p, 30fps
Asus Zenpad 10 Z300M	Android 7.0	Quad-core 1.5 GHz Cortex-A53	2 GB	10.1 in 1280 x 800 px	5 MP 720p, 30fps
Lenovo A7600-H	Android 4.4.2	Quad-core 1.3 GHz Cortex-A7	1 GB	10.1 in 1280 x 800 px	5 MP 720p, 30fps

Dati uređaji su različitih operativnih sistema sa verzijama Android 4.4.2, 7.0, 8.0. Instalacijom i primenom aplikacije AROS sistema je utvrđeno da aplikacije rade na različitim aktuelnim verzijama Android operativnog sistema.

Performanse rada aplikacije uglavnom zavise od brzine procesora i veličine RAM memorije. Testiranje je urađeno na mobilnim uređajima različitih performansi kako bi se ocenio kvalitet i rad aplikacije AROS sistema. Izabrani su uređaji sa procesorima octa-core i quad core i tri različite veličine RAM memorije od 3, 2 i 1 GB. Obzirom da je reč o složenim operacijama, koje se tiču prepoznavanja i praćenja markera ili slika, performanse ovih uređaja su pokazale zadovoljavajuću brzinu za rad aplikacije AROS sistema.

Kao bitan hardver za prepoznavanje i praćenje prikazane su karakteristike kamera mobilnih uređaja. Za testiranje su korišćene kamere kod pametnih telefona od 13 i 12 MP sa rezolucijom od 1080p i 30fps. Kod tablet računara korišćene su kamere od 5 MP sa rezolucijom 720p i 30fps. Takođe, testirani su i ekrani na kojima se prikazuje video

snimljen kamerom. Kod pametnih telefona rezolucija ekrana je 1920 x 1080 piksela dok je kod tablet računara 1280 x 800 piksela.

8.2 Ocena maksimalne udaljenosti za uspešno prepoznavanje i praćenje

Kvalitet primene tehnologije proširene stvarnosti dosta zavisi od objekata koji se prate i njihovih karakteristika. Ispitivani su markeri i slike različitih veličina i utvrđena je maksimalna udaljenost sa koje je moguće prepoznavanje i praćenje. Dobijeni rezultati dati su u tabelama 8.2 i 8.3. U tabelama su prikazani rezultati prepoznavanja markera i slika različitih veličina. Veličine su date u pet dimenzija za markere i slike 5, 7, 10, 12.5 i 15 cm. Zbog različitih oblika visina slika je postavljena kao kod markera.

Merenja su vršena pod istim svetlosnim uslovima i istim kvalitetom štampe markera i slika. Ponavljana su merenja za svaki marker ili sliku po pet puta kako bi se utvrdilo tačno rastojanje. Kao rezultat merenja data je maksimalna udaljenost prikazana u cm svakog od uređaja do granice prepoznavanja i praćenja. Tako na primer u tabeli 8.2 za veličinu markera od 7.5 cm prepoznavanje pomoću mobilnog uređaja Huawei P8 Lite vrši se sa maksimalne udaljenosti od 137 cm dok je kod uređaja Samsung Galaxy A5, Asus Zenpad 10 Z300M i Lenovo A7600-H ta udaljenost respektivno 190, 120, 170 cm. U tabeli 8.2 uočavamo začajnu razliku u prepoznavanju markera primenom uređaja Samsung A5 i tablet Lenovo A7600-H. Kod njih se za istu dimenziju markera dobija veća maksimalna udaljenost u odnosu na ostale uređaje.

Tabela 8.2 Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera

Veličina markera u cm	Rastojanje uređaja od markera u cm			
	Huawei P8 Lite	Samsung Galaxy A5	Asus Zenpad 10 Z300M	Lenovo A7600-H
5	72	130	60	140
7.5	137	190	120	170
10	155	230	40	205
12.5	173	>250	160	>250
15	195	>250	180	>50

Merenja maksimalne udaljenosti sa koje je moguće prepoznavanje i praćenje slika prikazana su u tabeli 8.3. Za veličinu silke od 7.5 cm sa uređajima Samsung Galaxy A5, Asus Zenpad 10 Z300M i Lenovo A7600-H dobijena je maksimalna udaljenost od 54, 59, 47 i 65 cm. Najbolji rezultat prepoznavanja sa maksimalne udaljenosti je kod Lenovo A7600. Međutim razlika u udaljenosti nije tako izražena kao kod markera.

Tabela 8.3 Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja slika

Veličina slike u cm	Rastojanje uređaja od slike u cm			
	Huawei P8 Lite	Samsung Galaxy A5	Asus Zenpad 10 Z300M	Lenovo A7600-H
5	39	40	30	43
7.5	54	59	47	65
10	71	76	65	90
12.5	93	94	83	107
15	107	113	102	123

Poređenjem rezultata tabela 8.2 i 8.3 zaključujemo da se markeri preciznije prepoznaju obzirom da je udaljenost njihovog prepoznavanja znatno veća od slika sa istim dimenzijama. Uređaji koji daju najbolje rezultate u okviru merenja maksimalne udaljenosti prepoznavanja markera i slika su pametni telefon Samsung A5 i tablet Lenovo A7600-H.

8.3 Ocena uticaja osvetljenja na uspešnost prepoznavanja i praćenja

U ovom poglavlju predstavljani su rezultati ispitivanja intenziteta svetlosti koji utiču na prepoznavanje i praćenje markera i slika. Dimenzija visine markera i slika za ovaj eksperiment iznosila je 7.5 cm. Merenja intenziteta svetlosti vršena su pomoću senzora za merenje intenziteta svetlosti na pametnom telefonu Huawei P8 Lite. Urađena su merenja u mračnim uslovima prikazana u tabelama 8.4 i 8.5 i pod pojačanim intezitetom svetlosti sa rezultatima u tabelama 8.6 i 8.7.

Rezultati dati u tabeli 8.4 predstavljaju rastojanje uređaja od markera ili slike prilikom prepoznavanja i praćenja pri osvetljenosti od 1 lx. Samo pomoću mobilnih telefona Huawei P8 Lite i Samsung Galaxy A5 bilo je moguće prepoznavanje i praćenje

markera. Marker se prepoznavao sa daljine od 23 i 59 cm što je zantno slabije od prepoznavanja u normalnim uslovima gde je udaljenost iznosila 137 i 190 cm. Prepoznavanje slike vršilo se sa udaljenosti od 53 cm kod pametnih telefona što je približno rezultatu kao u normalnim uslovima koji iznosi 54 i 59 cm. Kod tablet uređaja Lenovo A7600-H dobijeno je kraće rastojanje za prepoznavanje slike od 27 cm za razliku od rezultata dobijenim u normalnim uslovima koje je iznosilo 47 cm. Tablet Asus Zenpad 10 nije bio u stanju da prepoznaje ni slike ni markere u navedenim uslovima.

Tabela 8.4 Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera i slika pri osvetljenosti od 1 lx

Objekat preopznavanja	Rastojanje uređaja od objekta prepoznavanja pri osvetljenosti od 1 lx			
	Huawei P8 Lite	Samsung Galaxy A5	Asus Zenpad 10 Z300M	Lenovo A7600-H
Marker	23 cm	59 cm	-	-
Slika	53 cm	53 cm	-	27 cm

Tabela 8.5 Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera i slika pri osvetljenosti od 4 lx

Objekat preopznavanja	Rastojanje uređaja od objekta prepoznavanja pri osvetljenosti od 4 lx			
	Huawei P8 Lite	Samsung Galaxy A5	Asus Zenpad 10 Z300M	Lenovo A7600-H
Marker	110 cm	125 cm	-	61 cm
Slika	56 cm	57 cm	-	59 cm

U tabeli 8.5 prikazani su rezultati merenja rastojanja uređaja prilikom prepoznavanja i praćenja markera pri osvetljenosti od 4 lx. Prepoznavanje markera i slika pomoću Assus Zenpad 10 nije bilo moguće u zamračenim uslovima. Ostali uređaji su prikazivali znatno lošije rezultate za prepoznavanje markera. Najveća razlika u prepoznavanju je bila kod tablet računara Lenovo Lenovo A7600-H koji je prepoznavo marker sa daljine od 61 cm dok je u normalnim uslovima prepoznavanje iznosilo 170 cm. Mobilni telefoni su, takođe, pokazali slabije rezultate za prepoznavnje markera u datim uslovima. Mobilni telefoni Huawei P8 Lite i Samsung Galaxy A5 sa udaljenosti od 110 i 125 cm prepoznavali markere dok je u normalnim uslovima udaljenost prepoznavanja iznosila 137 i 190 cm. Za razliku od prepoznavanja markera slike su se pokazale znatno stabilnije za prepoznavanje što pokazuju male razlike u udaljenosti, koje su postignute u normalnim

uslovima. Uređaji Huawei P8 Lite, Samsung Galaxy A5 i Lenovo A7600-H prepoznavali su sa daljine od 56, 57 i 59 cm dok je ova razdaljina u normalnim uslovima iznosila 54, 59 i 65 cm.

U tabeli 8.6 predstavljeni su rezultati rastojanja markera i slika prilikom prepoznavanja i praćenja pri osvetljenosti od 7315 lx. Udaljenost se, kod prepoznavanja markera, znatno smanjila u odnosu na merenje pri normalnom osvetljenju. Najbolji rezultat prilikom prepoznavanja markera imao je tablet Assus Zenpad 10 koji je prepoznavao sa udaljenosti od 88 cm. Najslabiji rezultat, u poređenju sa merenjem u normalnim uslovima, pokazao je tablet Lenovo A7600 koji je prepoznavao marker sa udaljenosti 75 cm dok je u normalnim uslovima osvetljenja udaljenost iznosila 170 cm. Rezultati ostalih uređaja su takođe pokazali slabije rezultate u prepoznavanju markera i dobijeni su sledeći podaci za pametne telefone Huawei P8 Lite i Samsung Galaxy A5 sa udaljenosti od 53 i 80 cm dok su u normalnim uslovima rezultati iznosili 137 i 190 cm.

Slike su sa druge strane pokazale bolje performanse tako da je udaljenost prepoznavanja neznatno promenjena. Kod prepoznavanja slika poboljšanje je pokazao Assus Zenpad 10 kod koga je izmereno rastojanje od 57 cm dok je u normalnim uslovima prepoznavao sa udaljenosti od 47 cm. Takođe, uređaji Huawei P8 Lite, Samsung Galaxy A5, Lenovo A7600-H imali su slične rezultate merenja od 53, 55 i 57 cm, kao pri merenju u normalnim uslovima od 54, 59 i 65 cm.

Tabela 8.6 Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera i slika pri osvetljenosti od 7315 lx

Objekat preopznavanja	Rastojanje uređaja od objekta prepoznavanja pri osvetljenosti od 7315 lx			
	Huawei P8 Lite	Samsung Galaxy A5	Asus Zenpad 10 Z300M	Lenovo A7600-H
Marker	53 cm	80 cm	88 cm	75 cm
Slika	53 cm	55 cm	57 cm	60 cm

Rezultati prikazani u tabeli 8.7 predstavljaju rastojanja mobilnih uređaja do markera ili slika koje se prepoznaju pri osvetljenosti od 7432 lx. Povećanjem osvetljenosti još više se smanjuje udaljenost kod prepoznavanja markera od prethodnog merenja pri 5030 lx. Assus Zenpad 10 pokazuje najbolje karakteristike prepoznavanja markera tako što je granica prepoznavanja sada 86 cm. Takođe, kod ostalih uređaja Huawei P8 Lite, Samsung Galaxy A5, Lenovo A7600-H dobijeni su rezultati od 54, 77 i 73 cm, koji su slabiji u odnosu na rezultate pri mereju u normalnim uslovima.

Prepoznavanje slika se pokazalo znatno stabilnije i dobijeni su nešto drugačiji rezultati. Assus Zenpad 10 pokazao je najbolji rezultat do sada sa udaljenosti koja iznosi 60 cm dok je u normalnim uslovima iznosila 47 cm. Ostali uređaji Huawei P8 Lite, Samsung Galaxy A5 i Lenovo A7600-H su sa udaljenosti od 51, 57 i 54 cm pokazali malo slabije rezultate u odnosu na merenja razdaljine u normalnim uslovima koja su iznosila 54, 59 i 65 cm.

Tabela 8.7 Rezultati rastojanja prepoznavanja i praćenja markera i slika pri osvetljenosti od 13112 lx

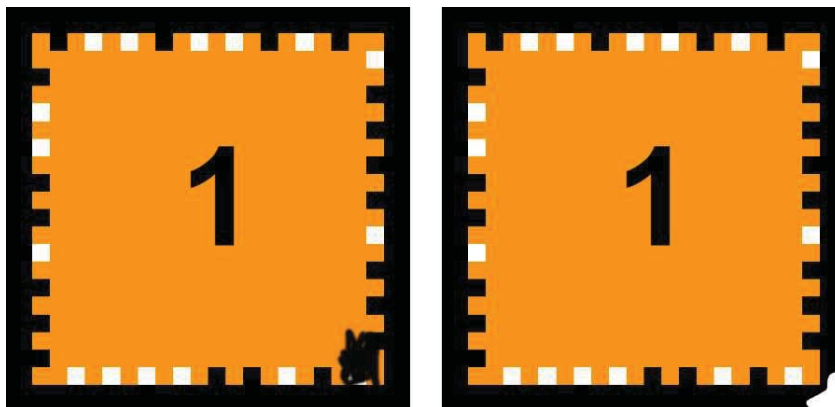
Objekat prepoznavanja	Rastojanje uređaja od objekta prepoznavanja pri osvetljenosti od 13112 lx			
	Huawei P8 Lite	Samsung Galaxy A5	Asus Zenpad 10 Z300M	Lenovo A7600-H
Marker	54 cm	77 cm	86 cm	73 cm
Slika	51 cm	57 cm	60 cm	54 cm

8.4 Uticaj oštećenosti markera i slika na prepoznavanje i praćenje

U ovom poglavlju prikazani su rezultati prepoznavanja i praćenja markera i slika usled oštećenja. Ispitivano je do koje mere prekrivenosti i u kom stepenu oštećenja mogu biti markeri ili slike kako bi prepoznavanje ili praćenje bilo uspešno.

8.4.1 Prepoznavanje i praćenje oštećenih markera

Na slici 8.2 su prikazani markeri koji su oštećeni ili prekriveni u delovima koji su bitni za prepoznavanje. Pokazano je da i minimalno oštećenje ili prekrivenost onemogućava prepoznavanje i praćenje markera. Zbog toga zaključujemo da minimalno oštećenje i prekrivenost značajno utiču na uspešnost prepoznavanja, odnosno prepoznavanje nije moguće usled velike osetljivosti na oštećenja i prekrivenost delova markera.



Slika 8.2 Oštećeni markeri

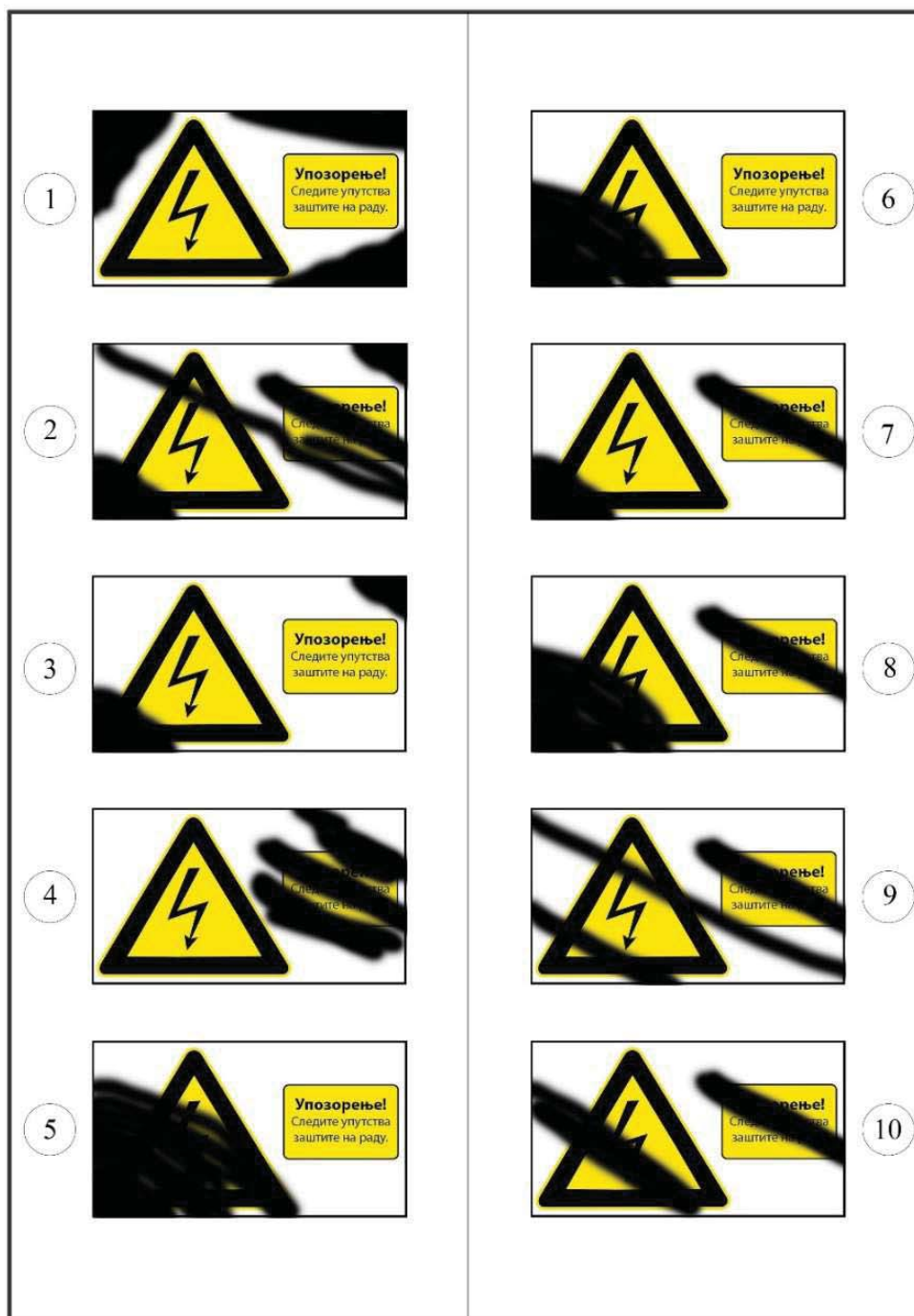
8.4.2 Prepoznavanje i praćenje oštećenih slika

Stepen oštećenja i prekrivenosti rađen je za slike kako bi se odredila mogućnost prepoznavanja i praćenja u aplikaciji AROS sistema. Ispitivanje se vršilo pri istim svetlosnim uslovima i istom veličinom slika kao i kod markera od 7.5 cm. Merenja su vršena po pet puta radi dobijanja preciznijih rezultata. Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 8.8 gde se pratio stepen prekrivenosti i mogućnost prepoznavanja i praćenja slika. Rezultati prikazani u tabeli 8.9 predstavljaju stepen oštećenja slika i mogućnost prepoznavanja i praćenja. Određena su tri tipa praćenja:

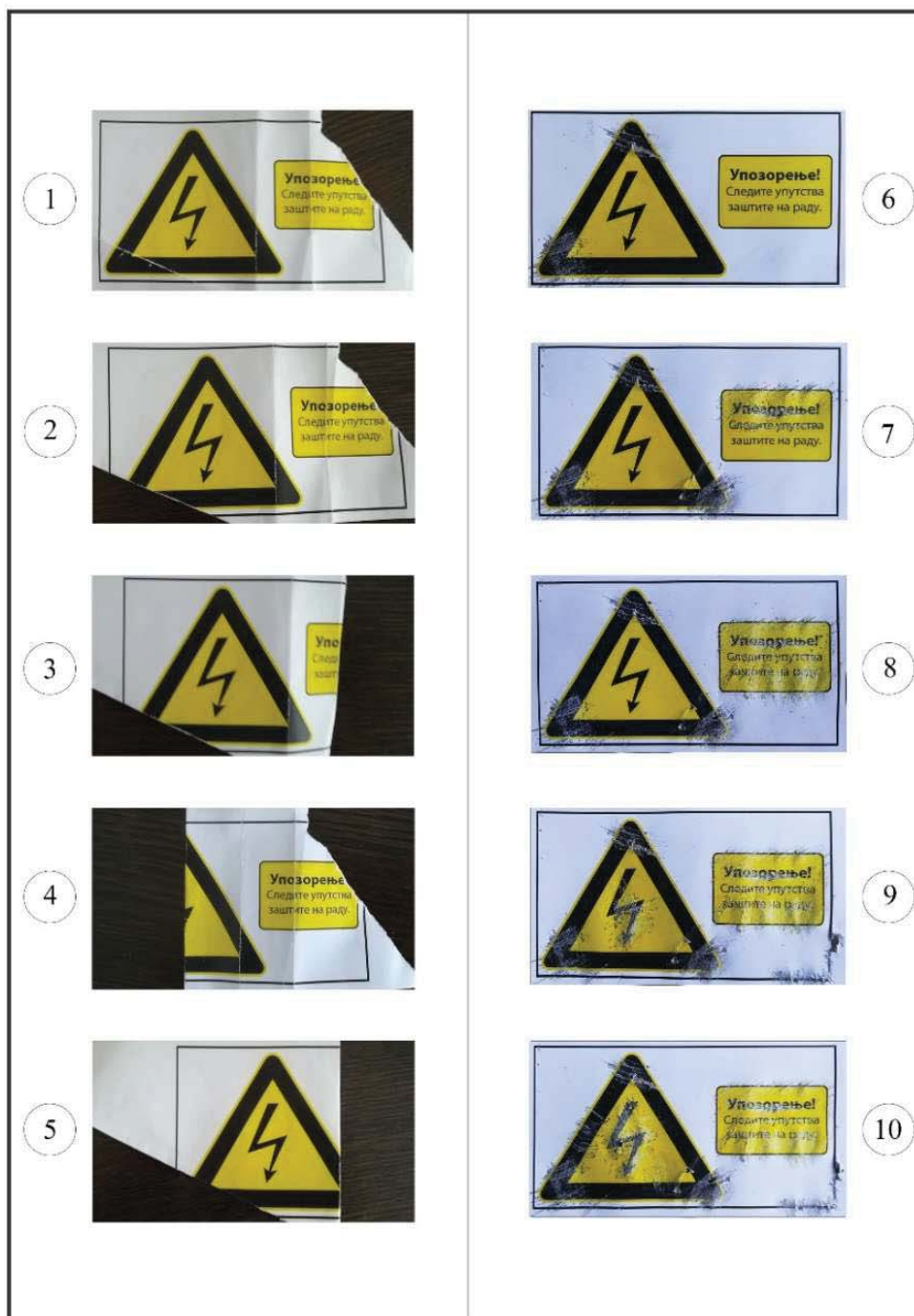
- dobro prepoznaje i prati (DP) - prepoznavanje i praćenje je vršeno bez problema,
- prepoznaje i otežano prati (OP) - prepoznavanje je moguće ali je praćenje otežano,
- teško prepoznaje ali ne prati (NP) - sistem teško prepoznaje i nije u mogućnosti da prati.

Na slici 8.3 prikazana je prekrivenost slika. Prekrivenost je rađena na različitim pozicijama slike kako bi se uočila zavisnost praćenja od prekrivenosti. Prekrivani su delovi u spoljašnjim i unutrašnjim pozicijama slike kao i kombinacija prekrivenosti ovih delova. Procenat prekrivenosti i mogućnost praćenja dati su u tabeli 8.8.

Na slici 8.4 prikazana je oštećenost slika nad kojima je testirano prepoznavanje i praćenje. U levom delu prikazuju se slike oštećene cepanjem dok se u desnom delu nalaze slike oštećene grebanjem. Procenat oštećenja i mogućnost praćenja i prepoznavanja prikazani su u u tabeli 8.8.



Slika 8.3 Prekrivene slike



Slika 8.4 Oštećene slike cepanjem i grebanjem

Na osnovu analize prekrivenosti date u tabeli 8.8 može se zaključiti da je prepoznavanje i praćenje moguće ukoliko su zaklonjeni preiferni delovi slike kao što je slučaj pod rednim brojem 1, 3 i 6. Takođe, praćenje je moguće i kada centralni delovi slike, koji su bitni za prepoznavanje, nisu u celosti prekriveni kao što je slučaj pod rednim brojem 4 i 7. Međutim, kada je prekrivenost centralnih delova, kao pod rednim brojem 5, 8 i 10 dolazi do otežanog praćenja. U slučaju prekrivanja centralnog dela kod slika, pod rednim brojem 2 i 9, prepoznavanje i praćenje nije moguće.

Tabela 8.8 Rezultati prepoznavanja i praćenja slika u slučaju prekrivenosti

Redni broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tip praćenja	DP	NP	DP	DP	OP	DP	DP	OP	NP	OP
Stepen prekrivenosti u %	24.70	30.50	10.09	23.92	34.37	19.84	15.02	27.88	24.38	20.10

Na osnovu analize oštećenja, prikazanih na slici 8.4, dati su rezultati u tabeli 8.9. Pokazalo se da na praćenje ne utiču periferna oštećenja prikazana pod rednim brojevima 1, 2 i 3. Kada je slika oštećena više od 40%, gde su centralni delovi prepoznavanja prekriveni, praćenje je otežano i prikazano je pod rednim broj 4 ili je nemoguće kao što je pod rednim brojem 5. Takođe, prepoznavanje i praćenje je moguće sve dok je oštećenje pri grebanju centralnih delova manje od 30 % ukupne površine slike date pod rednim brojevima 6, 7 i 8. U slučaju kada je ogrebano više od 30% cele slike i to u centralnom delu praćenje je otežano kao što je slučaj pod rednim brojem 9 ili je nemoguće kao kod rednog broja 10.

Tabela 8.9 Rezultati prepoznavanja i praćenja slika u slučaju cepanja i grebanja

Redni broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tip praćenja	DP	DP	DP	OP	NP	DP	DP	DP	OP	NP
Stepen prekrivenosti u %	7.15	11.59	32.70	42.92	51.72	6.84	19.38	27.42	31.96	39.78

8.4.3 Preporuke za praktične primene

U navedenim eksperimentima vršena je uporedna analiza praćenja i prepoznavanja markera simulacijom različitih situacija koje mogu da dovedu do njihovog oštećenja u industrijskom okruženju. Poređenje markera i slika je vršeno za istu veličinu i merena je udaljenost, stepen osetljivosti na oštećenja kao i osetljivost na različitu osvetljenost.

Na osnovu uporedne analize veličine i udaljenosti zaključuje se da su markeri u odnosu na slike bolji za prepoznavanje i praćenje u uslovima konstantne osvetljenosti. Tako se na primeru markera od 7.5 cm uočava znatna udaljenost u odnosu na sliku iste veličine. Najbolji uređaj za prepoznavanje markera pokazao se pametni telefon Samsung Galaxy A5 dok je za prepoznavanje slika najbolje rezultate imao tablet Lenovo A7600-H.

Markeri su se pokazali kao osetljiviji objekti prepoznavanja i praćenja od slika pri uslovima smanjene i pojačane osvetljenosti. Uporednom analizom intenziteta svetlosti razdaljina prepoznavanja markera se znatno smanjivala u odnosu na slike. Takođe, pri pojačanoj osvetljenosti markeri su pokazali znatno slabije rezultate u odnosu na prepoznavanje pri konstantnoj osvetljenosti. Slike su se pokazale kao stabilnije rešenje jer su se vrednosti manje promenile u odnosu na slike koje su se prepoznavale pri konstantnoj osvetljenosti.

U navedenim eksperimentima najpouzdanijim za prepoznavanje markera i slika u zatamnjanim uslovima pokazao se pametni telefon Huawei P8 Lite. Međutim, kod pojačane osvetljenosti najbolje se pokazao tablet Asus Zenpad 10 Z300M dok se za prepoznavanje i praćenje markera pokazao najbolje pametni telefon Samsung Galaxy A5.

Zbog velike osetljivosti na oštećenja markeri se ne mogu prepoznavati i pratiti pri cepanju ili prekrivanju. U slučaju slika, prepoznavanje je moguće do određenih granica. Kada je prekrivanje u pitanju slike je moguće prepoznavati sve dok centralni delovi nisu prekriveni do te mere da se ne raspoznaju. Prepoznavanje slika, kada je oštećenje nastalo cepanjem, moguće je pod uslovom da je više od 40% slike neoštećeno. Sličan slučaj je i kod oštećenja izazvanim grebanjem. U slučaju kada je oštećenje veće od 30 % sliku nije moguće prepoznavati.

Preporuka za korišćenje markera odnosi se na postavljanje u industrijskom prostoru sa konstantnim osvetljenjem. Takođe, markere treba koristiti u industrijskom okruženju koje nije izloženo prljavštini, vodi ili drugim materijama. Pre postavljanja markera treba predvideti mesta u zatvorenom prostoru koja nisu podložna uticaju mehaničkih oštećenja.

Korišćenje slika u industriskom prostoru ima manje ograničenja zbog mogućnosti njihovog prepoznavanja pri opisanim oštećenjima. Slike je moguće koristiti kako unutar industrijskog prostora tako i u spoljašnjoj sredini pod pretpostavkom da nisu stalno izloženi oštećenjima i lošim vremenskim uslovima.

Glava 9

Primena AROS sistema u industriji

AROS sistem implementiran je na mobilnim uređajima kao autonomni sistem za izvršavanje zadataka u okviru idustrijskog okruženja. Cilj implementacije je da se poboljša bezbednost na radu kao i da se unapredi proizvodni proces. Aplikacija, primenom tehnologije proširene stvarnosti, radnicima prikazuje bezbedonosne i radne instrukcije radi sigurnijeg i efikasnijeg rada. U ovoj glavi opisaće se uslovi koji su potrebni za upotrebu sistema kao i studije slučaja koje opisujuju njegovu konkretnu primenu u industrijskim okruženjima.

9.1 Uslovi za primenu AR sistema

Glavna ideja primene sistema, tokom rada u industrijskom okruženju, podrazumeva da radnik koristi tablet računar zbog većeg ekrana radi jasnijeg prikazivanja bezbedonosnih i radnih instrukcija ili mobilni telefon ukoliko je potrebno da jedna ruka bude slobodna radi izvršenja nekog zadatka.

Korišćenjem mobilnih uređaja radnik se kreće oko mesta obeleženih za prepoznavanje i njihovim skeniranjem, u radnom prostoru, dobija instrukcije za izvršavanje zadatka. Posle odgledane instrukcije potrebno je izvršiti njenu potvrdu. Potvrda instrukcija u listi provere se vriši tako što dodirrom prsta ili specijalne olovke za mobline uređaje izabere odgovarajuće polje na ekranu. Predviđeno je da radno odelo ima džep ili specijalnu torbu koja se vezuje ili nosi kako bi se odložio mobilni uređaj posle odgledanog uputstva i krenulo u realizaciju zadatka.

Predloženi scenario za upotrebu sistema podrazumeva da radnik dobije tablet računar sa instaliranom aplikacijom u unapred određenoj prostoriji specijalizovanoj za te namene. Pre dodeljivanja mobilnog uređaja radniku treba izvršiti proveru baterije i

memorije kako ne bi došlo do problema pri korišćenju uređaja. Zaduživanje uređaja radniku se evidentira i zapisuje u bazu podataka.

Za slučaj da radnik nije u mogućnosti da preuzme tablet računar iz navedene prostorije, recimo poslat je u drugo postrojenje, on može da preuzme aplikaciju pomoću svog mobilnog uređaja. Ovo je moguće dostavljanjem linka aplikacije ili skeniranjem QR koda, koji se postavlja na odgovarajuće mesto u industrijskom pogonu.

Korišćenje AROS sistema podrazumeva mogućnost pristupa internetu. Internet konekcija služi za dobijanje radnog zadatka sa servera i prikaz multimedijalnog sadržaja iz Multimedijalnog repozitorijuma. Takođe, pristup internetu je potreban za slanje informacija o završenom zadatku radi upisa u bazu podataka. Ukoliko u prostoru u kome treba da se obavi radni zadatak ne postoji internet konekcija potrebno je preuzeti sadržaj zadatka pre nego da se pristupi tom prostoru. Ovaj postupak preuzimanja zadatka, može se izvršiti u prostoriji gde se iznajmljuju tablet računari radnicima. Takođe, po završetku radne obaveze treba pristupiti internetu, iz iste prostorije ili neke druge lokacije sa stabilnom internet vezom, radi slanja podataka o izvršenom zadatku.

Iako je sistem jednostavan za upotrebu pojedini radnici nisu familijarni sa savremenim mobilnim tehnologijama. Zbog toga treba izvršiti obuku radnika za korišćenje AROS sistema. Obuka radnika koji su familijarni sa mobilnim tehnologijama traje nekoliko sati. Za one koji nemaju iskustva u korišćenju obuka se izvodi nekoliko dana po par sati.

9.2 Primena AROS sistema u TE Ugljevik

U ovom poglavlju izložena je upotreba AROS sistema na primeru univerzalnog struga u Remontnoj radionici koja je sastavni deo jedinice Održavanja Termoelektrane Ugljevik. Razlog za uvođenje ovog sistema opisan je u poglavlju 3.1. Na osnovu tabela 3.1 i 3.2 definisana je i tabela 9.1 kojom se određuje redosled izvršavanja instrukcija u sistemu. Tabela se sastoji od devet koraka kako bezbedonosnih tako i radnih. Prvo se izvršava instrukcija iz kolone bezbedonosnih instrukcija posle toga sledi radna instrukcija iz iste vrste. Za svaku instrukciju dodeljen je određen marker. AROS sistem prepoznaje marker i prikazuje multimedijalni sadržaj koji služi kao uputstvo u realizaciji zadatka. Radnik se upućuje da pronađe marker i pogleda multimedijalni sadržaj. Takođe, radnik treba da primeni datu instrukciju i verifikuje njeno izvršenje pomoću liste provere. U slučaju kada sistem ne dobije potvrdu o izvršenju smatra se da radnik nije odradio

očekivani korak i onemogućava se dalje izdavanje instrukcija. Znači prelazak na izvršenje sledeće instrukcije je od strane sistema uslovljeno akcijom potvrde uspešnog izvršenja predhodne instrukcije. Na ovaj način osigurano je pravilno izvođenje procedura za upotreba univerzalnog struga.

Tabela 9.1 Bezbedonosne i radne instrukcije

Rb.	Bezbedonosne instrukcije	Radne instrukcije
1.	Zauzeti pravilan položaj tela, praviti povremene pauze sa blagim razgibavanjem.	Priključiti mašinu na napon.
2.	Preduzeti mere protiv opasnosti od indirektnog napona, dodira sa delovima električne instalacije i opreme pod naponom.	Ubaciti ključ i startovati mašinu.
3.	Nositi odeću sa kratkim rukavima ako je moguće. Dugi rukavi moraju biti zategnuti uz ruku. Obavezno skinuti sa ruke sat, narukvice i slične predmete.	Postavljanje radnog tela u mašinu i centriranje.
4.	Držati ruke na propisanom odstojanju od rotirajućih delova. Koristiti alat za otklanjanje špona.	Pokretanje obrtnog dela koji definiše dubinu skidanja.
5.	Izvaditi ključ za stezne čeljusti (futer ključ) odmah posle stezanja i odložiti na stranu.	Menjanje (postavljanje) noža, centriranje određene dubine skidanja i postavljanje mašine na samohodni rad.
6.	Startovati mašinu sa najmanjom brzinom i krenuti sa blagim povećanjem. Suprotno kod isključivanja.	Startovanje radnog tela.
7.	Voda se uvek mora puštati radi rashlađivanja, a ujedno i zbog prašine koja se udiše. Izbegavati dodir sa tečnostima za hladjenje.	Zatvaranje dovoda tečnosti za hladjenje.
8.	Izbegavati naganjanje iznad rotirajućih čeljusti.	Zaustavljanje mašine.
9.	Mašinu isključiti posle zaustavljanja radnog tela i isključenja tečnosti za hladjenje.	Isključivanje mašine pritiskom na crveno dugme.

Kada se radnik nađe u prostoru, u kome se nalazi univerzalni strug, prijavljuje se na AROS sistem za registraciju. Treba voditi računa da je pri registraciji radnika neophodan pristup internetu. Sistem proverava pristup internetu i ako ne postoji signalizira da radnik omogući povezivanje AROS sistemu.

Radniku se posle uspešne registracije na ekranu mobilnog uređaja prikazuje informacija o markeru koji treba da pronade kako bi odgledao trenutno zadatu instrukciju. Informacija o pronalaženju markera se izdaje pomoću snimka realnog okruženja dobijenog pomoću kamere mobilnog uređaja. Ovim se omogućava da gledanjem u ekran mobilnog uređaja prateći uputstvo radnik pronade traženi marker i usmeri kameru ka njemu. Na slici 9.1 dat je primer opisanog koraka. Radnik se navodi da nađe marker sa brojem 2. Pronalaskom markera sistem vrši prepoznavanje i radniku se omogućava da odgleda zadatu bezbedonosnu instrukciju koja se odnosi na primenu mera protiv opasnosti od napona.



Slika 9.1 Informacija o markeru prikazana na mobilnom uređaju

Kada radnik skenira marker, koji je postavljen na univerzalnom strugu na poziciji na kojoj treba da se i primeni data instrukcija, on dobija multimedijalnu informaciju u vidu teksta, slike, videa ili 3D modela koja mu pomaže da izvrši deo zadatka. Na slici 9.2

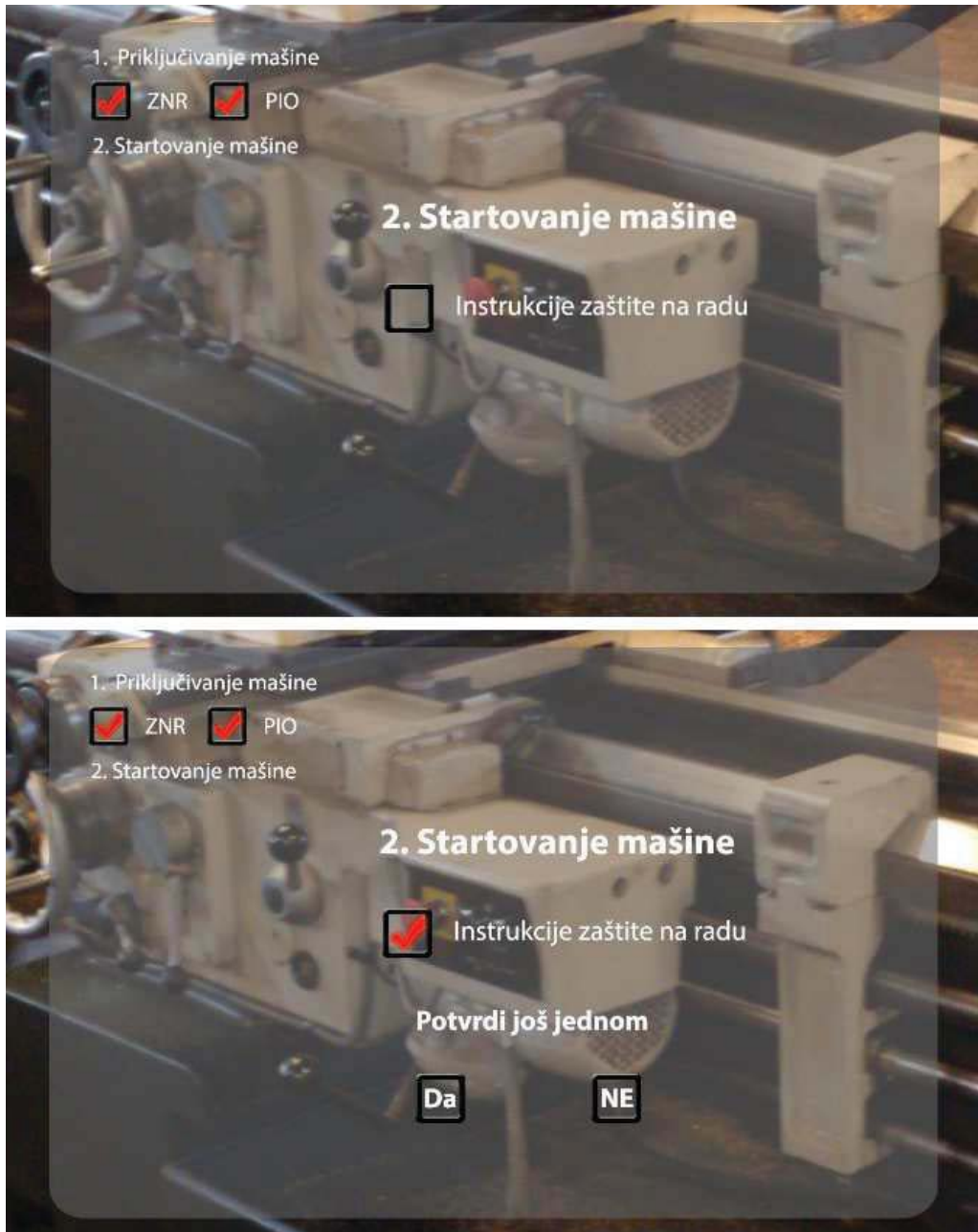
je prikazan primer proširene stvarnosti sa implementacijom video uputstva u realnom industrijskom okruženju radi prikazivanja bezbedonosne procedure.



Slika 9.2 Prepoznavanje markera korišćenjem AROS sistema

Posle odgledanog video uputstva, radnik je dužan da primeni date instrukcije i posle toga potvrdi pomoću liste provere da ih je uspešno izvršio. Potrebno je da prođe kroz dvostruki metod verifikacije u sistemu kako ne bi došlo do slučajnog potvrđivanja. Na slici 9.3 prikazan je sistem potvrde za primenu bezbedonosne instrukcije. U gornjem levom uglu prikazane su prethodno potvrđene instrukcije. Za dati primer vidi se da su potvrđena prva bezbedonosna (znr – zaštita na radu) i radna (popravka i održavanje) instrukcija. Posle prve potvrde na centralnom delu ekrana se prikazuju elementi za dodatnu verifikaciju izborom da ili ne.

Pošto je usledila pozitivna potvrda podaci se o izvršenoj instrukciji se pamte na klijentskom delu mobilne aplikacije. Posle svih realizovanih instrukcija podaci se prosleđuju na server i upisuju u bazu podataka. Realizacijom bezbedonosne instrukcije ponovo se zahteva od radnika da pronade marker za izvršavanje radne instrukcije. Pomoću tehnologije proširene stvarnosti prikazuje se video uputstvo radne instrukcije. Kada je



Slika 9.3 Lista provere AROS sistema

odgledan video sadržaj sa radnom instrukcijom primenjuje se postupak potvrde. Postupak se ponavlja dok se ne završi ciklus od devet bezbedonosnih i radnih instrukcija. Po završetku ciklusa traži se od radnika da prosledi podatake na server radi upisa informacija o izvršenim instrukcijama u bazu podataka.

9.3 Primena AROS sisitema u trafostanicama

Značajnu primenu AROS sistem može naći u velikim elektroenergetskim postrojenjima. Tokom rada u objektima koji su pod visokim naponom posvećuje se posebna pažnja u sprovođenju mera zaštite na radu od dejstva električne struje. Da bi se sprovele odgovarajuće mere u ovkvim sistemima postoje pravilnici zaštite na radu od dejstva električne struje. Na osnovu pravilnika izdaju se odgovarajuća uputstva koja imaju za cilj da izvrše osposobljavanje radnika za bezbedan rad kao i da se propišu odgovarajuća sredstva i oprema za rad u uslovima visokog napona. Time se skreće pažnja radnicima na rizik od povreda i vrši prevencija materijalne štete koja može da nastane ako se potcene opasnosti na radnom zadatku.

Primer primene AROS sistema urađena je na osnovu opšteg uputstva zamene niskonaponskog osigurača u trafostanicama. Ovakvo uputstvo namenjeno je radnicima elektromonterima koji se nalaze u službi održavanja elektroenergetskih postrojenja srednjeg i niskog napona. Na osnovu uputstva koje se izdaje radnicima formirane su bezbedonosne i radne instrukcije date u poglavlju 3.2 u tabeli 3.3.

Tabela 3.3 sastoji se od pet bezbedonosnih i radnih instrukcija koje treba da obezbede pravilan i siguran rad. Svaka instrukcija predstavlja jedan video zapis koji se prikazuje koristeći tehnologiju proširene stvarnosti implementirane u AROS sistemu.

Ideja u primeni AROS sistema je da se radnik pre ulaska u trafostanicu ili u samoj trafo stanici registruje na sistem, preuzme uputstvo za rad i počne sa primenom tehnologije proširene stvarnosti. Ovakvim pristupom omogućuje se bezbednije izvršavanje radnog zadatka. Primenom tehnologije proširene stvarnosti vrši se prepoznavanje tablice sa dve slike. Na slici 9.4 prikazane su dve slike za prepoznavanje pomoću AROS sistema. Prva slika služi za prikazivanje bezbedonosnih instrukcija dok se druga koristi za izdavanje radnih instrukcija. Posle svake izvršene bezbedonose instrukcije sledi radna instrukcija.

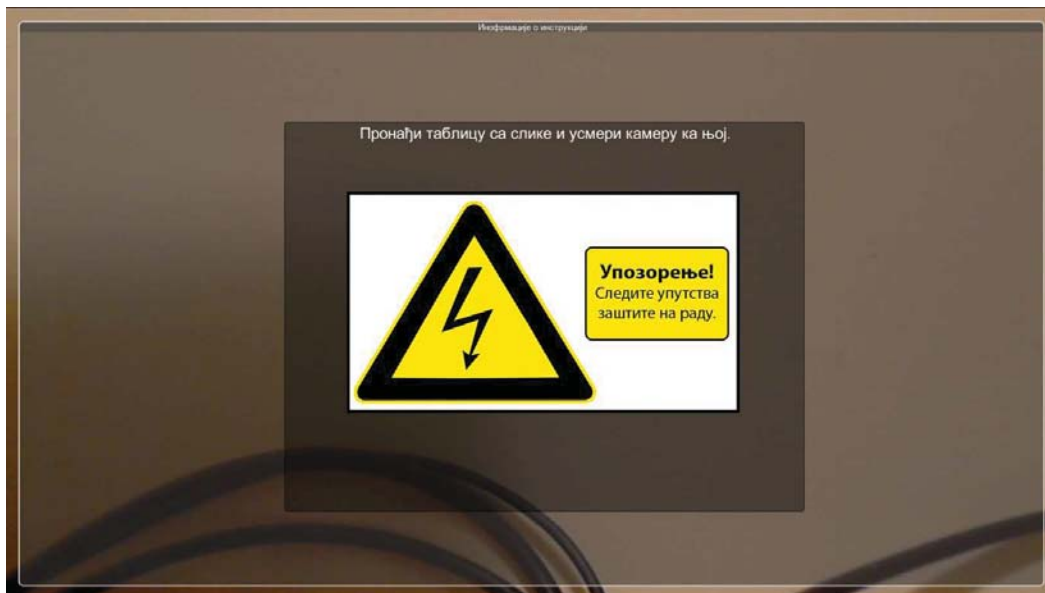


Slika 9.4 Slike koje se prepoznaju korišćenjem AROS sistema

Od radnika se prvo zahteva da, korišćenjem AROS sistema, prepozna prvu sliku kako bi odgledao prvu bezbedonosnu instrukciju. Na slici 9.5 prikazan je izgled ekrana mobilnog uređaja koji upućuje radnika za prepoznavanje prve slike.

Tokom praćenja prve slike radnik dobija bezbedonosne instrukcije koje se tiču provere zaštitne opreme. Na slici 9.6 prikazan je slučaj praćenja slike i izdavanja prve bezbedonsne instrukcije.

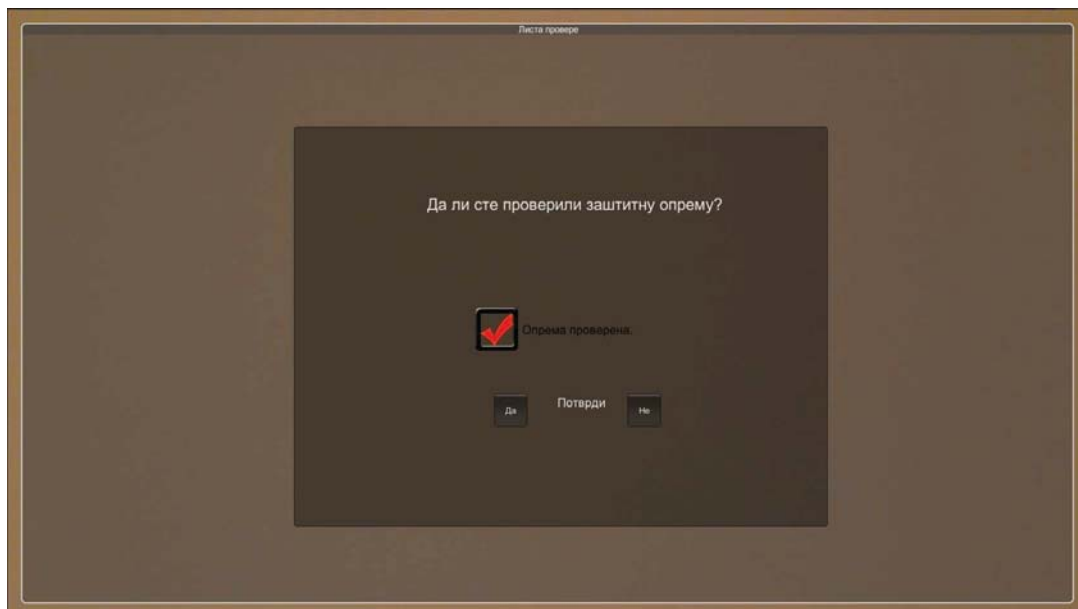
Pošto je radnik odgledao prvu bezbedonosnu instrukciju u obavezi je da prođe kroz proces verifikacije. Ovaj proces, prikazan na slici 9.7, realizuje se kroz listu provere implementirane u AROS sistemu. Neophodna je dupla potvrda u listi provere da bi se radnik uputio na prepoznavanje druge slike za dobijanje radne instrukcije. Naizmeničnim prepoznavanjem radnik izvršava sve bezbedonosne i radne instrukcije. Uspešnim izvršenjem svih bezbedonosnih i radnih instrukcija podaci o realizaciji zadatka prosleđuju se na server.



Slika 9.5 Informacije o slici za prepoznavanje na mobilnom uređaju



Slika 9.6 Prepoznavanje slike korišćenjem AROS sistema



Slika 9.7 Lista provere AROS sistema

Glava 10

Komparativna analiza i evaluacija AROS sistema

U ovoj glavi izvršeno je poređenje i prikazane su razlike između dva industrijska rešenja. U prvom slučaju prikazana je primena AROS sistema za rad na mehaničkim mašinama za obradu metala, dok je u drugom slučaju sistem upotrebljen za potrebe održavanja instalacija elektroenergetske industrije. Takođe, izvršena je evaluacija sistema anketiranjem zaposlenih u okviru mehaničkog odeljenja termoelektrane Ugljevik.

10.1 Komparativna analiza AROS sistema

Primenom AROS sistema u dva različita industrijska okruženja pokazana je univerzalnost sistema. Univerzalnost sistema omogućuje da se uz minimalne izmene AROS sistema, može prilagoditi i koristiti u drugačijem tipu industrijskog okruženja.

Kod primene AROS sistema u remontnoj radionici termoelektrane Ugljevik prikazano je izdavanje instrukcija za bezbedan rad na univerzalnom strugu. Predstavljeno rešenje prikazuje virtuelne instrukcije kod mehaničkih delova na kojima se izvršavaju radni zadaci. U drugom slučaju predstavljeno je rešenje za rad sa električnim instalacijama u okviru elektroenergetskog sistema. Razlike ovih industrijskih sistema se ogledaju u načinu izvršenja zadatka kao i primeni bezbedonosnih mera.

Primenom AROS sistema u prvom slučaju daju se instrukcije tokom rada i skreće se pažnja na bezbedonosne mere koje se tiču povreda od mehaničkih delova sistema. U drugom slučaju, zbog načina izvršenja posla i opasnosti od neispravnih instalacija ili vremenskih uslova, mora se pre početka rada skrenuti pažnja na bezbedonosne mere i radna uputstva.

Izmene u AROS sistemu se ogledaju u izboru softvera za određene komponente sistema odnosno u izmenama određenih modula. U prvom slučaju za integraciju modula za proširenu stvarnost korišćen je Vuforia SDK dok je u drugom primenjen EasyAR

SDK. Ovim se pokazalo da pri promeni određenih modula arhitektura sistema ostaje nepromenjena.

Korišćenjem Vuforia SDK u prvom slučaju prepoznavali smo delove sistema obeležene klasičnim markerima. Markeri su bili raspoređeni na devet kontrolnih tačaka u okviru univerzalnog struga. Svaki marker je prikazivao po jednu bezbedonosnu i radnu instrukciju.

U drugom slučaju pomoću EasyAR prepoznavali smo objekte sa slikom. Dve slike su korišćene kako bi se redukovao broj objekata za prepoznavanje i skratilo vreme njihovog pronalaženja u industrijskom prostoru. Prva slika pri prepoznavanju prikazuje bezbedonosne instrukcije dok druga služi za prikazivanje radnih instrukcija. Slikama su pridružene instrukcije u unapred definisanom redosledu. Naizmeničnim prepoznavanjem opisanih slika prikazuju se sve potrebne bezbedonosne i radne instrukcije.

Evidentna je razlika u vremenu izrade i zameni objekata prepoznavanja, markera ili slika, u slučaju da dođe do oštećenja. U navedenim primerima, manje vremena zahteva promena dve slike nego devet markera.

Markeri su se u prvom slučaju pokazali kao brzo i precizno rešenje pri prepoznavanju u zatvorenom prostoru. Dobri rezultati prepoznavanja su se pokazali zato što smo imali konstantne uslove osvetljenja u zatvorenom prostoru. Međutim, nedostatak ovog rešenja može biti u osetljivosti markera na oštećenje. Usled male deformacije markera, koja se može dogoditi u industrijskom prostoru tokom izvršenja radnog zadatka, prepoznavanje i praćenje markera se znatno otežava. Sa druge strane kod slika u drugom slučaju moguće je prepoznavanje do određenog stepena oštećenja. Elektroenergetski sistemi izloženi su, drugačijim vremenskim prilikama usled kojih može doći do oštećenja slika. Takođe, kod ovih sistema prisutni su različiti uslovi osvetljenja. Za aktivnost prepoznavanja i praćenja, pri različitim svetlosnim uslovima, slike su se pokazale kao bolje rešenje.

Prikazana industrijska okruženja, osim različitog tipa industrije, razlikuju se i u primeni mobilnih uređaja. U prvom slučaju diskutovali smo sistem koji se izvršava u zatvorenom prostoru. Radnik zadužuje tablet u okviru radne jedinice i upućuje se na zadatak. Njemu su obe ruke angažovane tokom prikazivanja instrukcija u okviru industrijskog prostora. Kada odgleda instrukciju radnik je u mogućnosti da je i primeni. U drugom slučaju za rad u sistemima na udaljenim lokacijama, kao što su dalekovodi i trafostanice, korišćeni su pametni telefoni. Posle preuzimanja sadržaja, na svoj mobilni uređaj, radnik odlazi na teren. U obavezi je da na pametnom telefonu pregleda date instrukcije. Praćenje uputstva za rad na mobilnom telefonu vrši se pomoću jedne ruke dok je druga ruka slobodna za slučaj da treba da se odreaguje u nepredviđenim okolnostima.

10.2 Evaluacija AROS sistema

Evaluacija AROS sistema je urađena u saradnji sa ekspertima iz termoelektrane Ugljevik sa ciljem da se proverí uticaj primene sistema na povećavanje efikasnosti i bezbednosti tokom rada u industrijskom okruženju. Drugi cilj je bio da se dobije kritičko mišljenje samih radnika, iz proizvodnog pogona, u smislu mogućih poboljšanja i unapređenja AROS sistema.

10.2.1 Statistička analiza podataka dobijena od radnika i rukovodstva

Anketiranje radnika je izvršeno posle primene sistema u remontnoj radionici koja je sastavni deo jedinice Održavanja termoelektrane Ugljevik opisane u glavi 8.2. Učesnici ove ankete su radnici koji su koristili AROS sistem za izvršenje radnih obaveza na univerzalnom strugu. Kao što je opisano u glavi 8.2, u postrojenju je bilo raspoređeno devet markera na mestima od značaja, za prepoznavanje u industrijskom prostoru. Pomoću markera prikazuju se bezbedonosne i radne instrukcije pomoću tehnologije proširene stvarnosti na osnovu Tabele 3. Posle izvršenog zadatka, svaki radnik je dobio upitnik (anketni list) radi ocene AROS sistema kao i sugestija u smislu njegovog unapređenja.

Upitnik za evaluaciju AROS sistema prikazan je na slici 10.1 i sastoji se od četiri rubrike:

- opšta ocena sistema,
- korišćenje sistema,
- efikasnost sistema i
- unapređenje sistema.

Svaka rubrika se sastoji od niza pitanja. Na pitanja iz prve tri rubrike odgovara se kvantitativnom ocenom od 1 (nedovoljan) do 5 (odličan), dok se na pitanja u četvrtoj rubrici traži opisna (kvalitativna) ocena.

Opšta ocena sistema odnosi se na pitanja za upotrebu sistema u celosti. Ovim pitanjima se radnicima daje mogućnost ocene primene sistema kao sredstva u toku rada i pruženih informacija tokom upotrebe sistema. Ocenjuje se i kvalitet dobijene pomoći u izvršavanju radnih zadataka i izdavanju bezbedonosnih mera.

Rubrika *Korišćenje sistema* služi da se na osnovu odgovora radnika oceni koliko je sistem jednostavan za upotrebu tokom rada. Takođe, pruža se mogućnost ocene sistema

u načinu prikazivanja bezbedonosnih i radnih instrukcija, komfora i brzine izvršenja radnog zadatka.

Pitanja u okviru rubrike *Efikasnost sistema* služe radi ocene elemenata kao što su unapređenje znanja i mogućnost angažovanja radnika različitih nivoa kvalifikacija za izvršavanje zadataka različite složenosti. U ovoj rubrici ocenjuje se i koliko je ovakav sistem koristan za obuku radnika kao i njegovo poređenje sa klasičnim štampanim priručnicima.

Unapređenje sistema se tiče kritičkog odnosa radnika prema sistemu. Radnicima se omogućava da iznesu svoje mišljenje o eventualnim problemima koje su imali u toku rada kao i da opišu prednosti uvođenja ovakvog sistema. Takođe, data je mogućnost iznošenja mišljenja u cilju unapređenja rada sistema.

Tabela 10.1 Upitnik za evaluaciju AROS sistema

Upitnik za ocenu AR sistema i njegovih karakteristika	
Opšta ocena sistema	
Pitanja	Ocena
1. U kojoj meri sistem pomaže u izvršavanju Vaših radnih zadataka?	1 2 3 4 5
2. Ocenite količinu informacija koja se prikazuje korišćenjem sistema u toku rada.	1 2 3 4 5
3. U kojoj meri primena sistema unapređuje mere zaštite na radu?	1 2 3 4 5
4. Kako ocenjujete rad sistema u celini?	1 2 3 4 5
5. Ocenite primenu sistema kao sredstvo u toku rada.	1 2 3 4 5
Korišćenje sistema	
Pitanja	Ocena
1. Ocenite jednostavnost upotrebe sistema tokom rada.	1 2 3 4 5
2. Ocenite način prikazivanja radnih instrukcija.	1 2 3 4 5
3. Ocenite način prikazivanja bezbedonosnih instrukcija.	1 2 3 4 5
4. Ocenite način prikazivanja video instrukcija.	1 2 3 4 5
5. Ocenite komfor u radu dok koristite sistem.	1 2 3 4 5
6. U kojoj meri su jasno prikazane informacije u sistemu?	1 2 3 4 5
7. U kojoj meri ste zadovoljni brzinom izvršavanja radnog zadatka uz pomoć sistema?	1 2 3 4 5
Efikasnost sistema	
Pitanja	Ocena
1. Ocenite u kojoj meri je sistem dobar za obuku radnika.	1 2 3 4 5
2. Ocenite koliko je ovakav sistem efikasniji od korišćenja klasičnog uputstva za rad.	1 2 3 4 5
3. Ocenite da li ste unapredili znanje korišćenjem sistema.	1 2 3 4 5
4. Ocenite jednostavnost razumevanja i upotrebe sistema.	1 2 3 4 5
5. Ocenite da li sistem mogu da koriste radnici svih nivoa kvalifikacija.	1 2 3 4 5
Unapređenje sistema	
Pitanja	Ocena
1. Navedite probleme koje ste imali pri korišćenju sistema (opisno):	
2. Navedite prednosti ovog sistema (opisno):	
3. Navedite šta biste dodali ili promenili u cilju unapređenja rada sistema (opisno):	
1 - Najniža ocena (nedovoljno) 5 - Najviša ocena (odlično)	

10.2.2 Rezultati i analiza evaluacije sistema

Rezultati obrađenih podataka dobijenih iz opisanih rubrika prikazani su u tabelama 10.2, 10.3 i 10.4. Uočava se da su prosečne ocene po rubrikama pozitivne i prelaze vrednost 4 od maksimalne ocene 5. Opšta ocena sistema je rubrika sa prosečnom ocenom 4.18. Rezultati upitnika o opštoj oceni sistema prikazani su u tabeli 10.2. Ocenama 4.1 u pitanju 2 i 5 pokazuje se da radnici pozitivno gledaju na način prikazivanja instrukcija kao i količinu informacija koja im se pruža. Pitanje 1 ocenjeno nešto slabijom ocenom 3.8. Razlog ove ocene je taj što radnici nisu navikli na korišćenje ovakvih sistema u toku rada. Radnici, na početku upotrebe sistema imaju utisak da im svaki zahtev za korišćenje sistema usložnjava posao koji treba da obave. Međutim ocenama 4.4 i 4.5, u pitanjima 3 i 4, radnici pokazuju da se značajno unapređuju mere zaštite na radu zato što ih sistem navodi da prođu kroz sve bezbedonosne procedure.

Tabela 10.2 Rezultati upitnika o opštoj oceni sistema

Opšta ocena sistema					
	Pitanje 1	Pitanje 2	Pitanje 3	Pitanje 4	Pitanje 5
Radnik 1	4	4	4	4	4
Radnik 2	4	4	5	5	4
Radnik 3	5	4	5	5	4
Radnik 4	3	4	5	5	4
Radnik 5	5	5	5	4	5
Radnik 6	3	4	4	4	3
Radnik 7	4	5	5	4	5
Radnik 8	4	4	4	4	5
Radnik 9	3	2	3	4	4
Radnik 10	3	5	5	5	3
Srednja ocena	3.8	4.1	4.5	4.4	4.1
Ukupna srednja ocena	4.18				

Korišćenje sistema, prikazano u tabeli 10.3, je srednje ocenjena rubrika u odnosu na ostale dve sa prosečnom ocenom 4.39. Komfor u radu i brzina izvršavanja radnog zadatka su ocenjene ocenom 4 u pitanjima 5 i 7. Ovim se pokazuje da radnici smatraju da su uz pomoć dodatnog alata usporili izvršavanje zadatka. Usporavanje proističe iz činjenice da je radnicima potrebno određeno vreme privikavanja na upotrebu sistema. Međutim,

radnici u odgovoru na pitanje 1 sistem smatraju jednostavnim za upotrebu dajući mu ocenu 4.3. iz razloga što se očekuje da odgledaju instrukciju i da je potvrde. Zbog toga proizilaze ocene 4.5 i 4.6 u pitanjima 2 i 3 koje potvrđuju da je način prikazivanja instrukcija video sadržaja pogodan. Razlog za nešto manju ocenu u pitanju 1 nego u 2 i 3 je taj što je, osim prikazivanja sadržaja, potrebno dodatno izvršiti interakciju pomoću liste provere. Prikazivanje video instrukcija i njihova jasnoća su, u pitanjima 4 i 6, najbolje ocenjena pitanja u ovoj rubrici pa se može zaključiti opravdanost korišćenja ovakvog sistema.

Tabela 10.3 Rezultati upitnika o korišćenju sistema

Korišćenje sistema							
	Pitanje 1	Pitanje 2	Pitanje 3	Pitanje 4	Pitanje 5	Pitanje 6	Pitanje 7
Radnik 1	5	5	5	5	4	4	4
Radnik 2	4	5	5	5	4	5	4
Radnik 3	4	4	4	4	4	5	4
Radnik 4	5	5	4	5	5	5	4
Radnik 5	4	4	5	5	4	5	5
Radnik 6	3	4	4	4	3	3	4
Radnik 7	5	5	5	5	5	5	5
Radnik 8	4	4	4	4	4	5	4
Radnik 9	5	5	5	4	3	5	3
Radnik 10	4	4	5	5	4	5	3
Srednja ocena	4.3	4.5	4.6	4.6	4	4.7	4
Ukupna srednja ocena	4.39						

Efikasnost sistema prikazana je u tabeli 10.4 i predstavlja najbolje ocenjenu rubriku sa srednjom ocenom 4.86. Ovako visoka ocena je zbog jednostavne upotrebe sistema kao i razumljivog prikaza, što značajno unapređuje znanje radnika. Ovakav zaključak proistekao je iz pitanja 3 i 4 sa ocenama 4.9 i 4.8.

Radnici su, anketom, izneli pozitivno mišljenje odgovorima na pitanja 1 i 4. Smatraju da ovakav sistem može biti značajno sredstvo u obuci i da ga mogu koristiti radnici svih nivoa kvalifikacija. Takođe, oni smatraju da je ovaj sistem veliko poboljšanje u odnosu na klasična uputstva, koja poseduju u svom radnom okruženju, što su odlično ocenili ocenom 5 u pitanju 2.

Tabela 10.4 Rezultati upitnika o efikasnosti sistema

Efikasnost sistema					
	Pitanje 1	Pitanje 2	Pitanje 3	Pitanje 4	Pitanje 5
Radnik 1	5	5	4	5	4
Radnik 2	4	5	5	5	5
Radnik 3	5	5	5	5	5
Radnik 4	5	5	5	5	5
Radnik 5	5	5	5	5	5
Radnik 6	5	5	5	5	5
Radnik 7	5	5	5	5	5
Radnik 8	5	5	5	5	5
Radnik 9	4	5	5	4	4
Radnik 10	5	5	5	4	5
Srednja ocena	4.8	5	4.9	4.8	4.8
Ukupna srednja ocena	4.86				

Unapređenje sistema je rubrika koja daje kritički osvrt iz perspektive radnika. Njihovo mišljenje može se upotrebiti za poboljšanje AROS sistema. Pitanje 1 odnosi se na probleme koje su radnici imali tokom rada. Odgovori, na pitanje 1, značajno su pomogli u sagledavanju činjenica radi unapređenja rada sistema. Kod pitanja 1 radnici su najčešće navodili da treba smanjiti broj markera. Radnici su, takođe, sugerisali da se prikažu slike sa povredama kao faktor koji bi naglasio dodatnu opreznost na radu.

Anketirani radnici, kao prednosti AROS sistema naznačili su da on predstavlja značajnu pomoć u primeni mera zaštite na radu i da ima značajnu ulogu u povezivanju teorijskog i praktičnog znanja tokom procesa rada sa povećanom bezbednošću. Takođe, anketirani radnici smatraju da se ovako realizovan sistem može efikasno koristiti i u fazi obuke samih radnika.

Određene kritike su prihvaćene i opisane u glavi 9.3. Odnose se na smanjenje broja markera. Iako su radnici zahtevali da se broj markera svede na jedan, radi kvalitetnije realizacije, u razgovoru sa rukovodiocima postavljena su dva markera, jedan za radne a drugi za bezbedonosne instrukcije. Implementirana je i opcija za vraćanje koraka unazad kako bi se radnici podsetili na neki od prethodnih koraka.

Pored sprovedene ankete, razgovaralo se sa rukovodiocima u postrojenju u kome je vršena eksperimentalna provera rada. Rukovodioci smatraju da se primenom AROS sistema može značajno unaprediti proces rada industrijskog okruženja.

Referenti zaštite na radu su rekli da se, izdavanjem instrukcija prikazivanjem video sadržaja, poboljšava bezbednost. Takođe, mišljenja su da se korišćenjem multimedijalnog pristupa štedi vreme koje je potrebno da posvete radniku pre izvršenja zadatka obzirom da su u obavezi da sa njima razgovaraju o bezbednosti pre svakog izvršenja. Ovim se postiže da svaki radnik dobije dovoljan skup bezbedonosnih instrukcija i da mogu da krenu sa radom bez čekanja.

Tehnolozi su primetili da je ovakav sistem značajan pre svega za obuku radnika kao i za radnike nižih kvalifikacija. Primeđu na uvođenje sistema naveli su organizaciju održavanja hardvera koja se primenjuje pri upotrebi AROS sistema. Smatraju da je neophodno odrediti i obučiti jednu ili više osoba koje bi vodile računa o zaduživanju mobilnih uređaja radnicima. Napominju da bi uz proces zaduživanja trebalo vršiti održavanje uređaja kako bi uvek bili spremni za rad.

Poslovođe su na osnovu mogućnosti sistema uvidele jednostavnost planiranja i izdavanja zadataka u odnosu na aktivne radnike koji su registrovani u bazi podataka. Smatraju da rezultati koji se upisuju u bazu podataka posle izvršenja zadatka mogu pomoći kako u nadgledanju izvršenja tako i u dinamici organizacije poslova. Posle izvesnog vremena, dosledene primene AROS sistema, moguće je analizirati prikupljene podatke i na osnovu toga unaprediti proces rada. Na primer, može se uočiti gde se najčešće javljaju zastoji, šta utiče na učestalost grešaka na određenim mestima, gde je predviđeno vreme izvršavanja neadekvatno određeno ili da li ima dovoljno vremena za sprovođenje bezbedonosnih instrukcija.

Glava 11

Zaključak

Primena tehnologije proširene stvarnosti u industrijskim sistemima dobija sve značajniju ulogu. Naučni radovi u oblasti tehnologije proširene stvarnosti u industrijskim sistemima uglavnom se odnose na teme popravke i održavanja, izvršavanja radnih zadataka ili opisuju način obuke radnika za rukovanje. Novi pravac istraživanja u primeni AR tehnologije predstavlja poboljšanje sistema bezbednosti na radu u industrijskom okruženju opisano u okviru doktorske disertacije.

U doktorskoj disertaciji sagledani su aspekti povreda koji se dešavaju u okviru industrijskih postrojenja. Prvo je izvršena analiza povreda u okviru remontne radionice koja je sastavni deo radne jedinice Održavanje termoelektrane Ugljevik. Sprovedenom analizom uočilo se da je najčešći broj povreda u okviru odeljenja Održavanje. U ovom odeljenju je izvršeno ispitivanje uzroka povreda na univerzalnom strugu. Pokazalo se da je najčešći uzrok povreda, kod niže kvalifikovanih radnika, neadekvatna obuka. Kod radnika viših kvalifikacija povrede su najčešće izazvane monotonijom posla tokom rutinskog obavljanja zadataka gde su zanemarivane propisane mere zaštite na radu. U drugom ispitivanom slučaju utvrđene su mere zaštite u okviru elektroenergetskih sistema u kojima se bezbedonosne instrukcije zadaju pre početka radnog zadatka kako bi se izvršila prevencija od povreda izazvane dejstvom električne struje.

Razmatrani su tehnološki procesi, u okviru industrijskog postrojenja, uočeni principi definisanja radnih zadataka i sagledane potrebne bezbedonosne mere za upućivanje radnika na izvršenje zadatka. Utvrđeno je da se svaki zadatak sastoji iz skupa bezbedonosnih i radnih instrukcija definisanih od strane eksperata u okviru industrijskog okruženja. Ovo je bio osnov za određivanje funkcionalnosti i karakteristika sistema zasnovanog na tehnologiji proširene stvarnosti kako bi se sprečile rizične situacije i obezbedilo pravilno izvršavanje radnog zadatka.

Definisana je struktura sistema sa ciljem da se poveća stepen zaštite na radu i primene bezbedonosne i radne instrukcije po pravilnikom predviđenom protokolu. Za izvršenje zadatka potrebno je prvo odgledati bezbedonosnu instrukciju koristeći tehnologiju proširene stvarnosti. Neophodno je, posle prikazanog multimedijalnog sadržaja, potvrditi da je instrukcija odgledana i primenjena pomoću liste provere. Tek posle pozitivne potvrde moguće je dobiti sledeću radnu instrukciju. Takođe, utvrđeno je da treba voditi računa o raspodeli radnih zadataka u zavisnosti od kvalifikacije radnika. Radnici nižih kvalifikacija dobijaju potpun skup bezbedonosnih i radnih instrukcija dok se kod radnika viših kvalifikacija prikazuje redukovani skup radnih instrukcija radi uštede vremena u radu. Ovim radnicima se, takođe, prikazuje potpuni skup bezbedonosnih instrukcija.

Arhitektura sistema je određena na osnovu definisane strukture sistema kako bi se odredili elementi AROS sistema. AROS sistem osmišljen je kao klijent-server arhitektura i određeni su moduli nepohodni za pravilno funkcionisanje. Serverski deo sastoji se od baze podataka radi čuvanja informacija o zadacima, REST servisa zbog komunikacije između klijentske aplikacije i baze podataka i multimedijalnog repozitorijuma. Repozitorijum služi za smeštanje virtuelnog sadržaja koji se prikazuje korišćenjem AR tehnologije.

Klijentski deo AROS sistema omogućava prikaz zadatka preuzetog sa servera za konkretnog radnika. Sastoji se od više modula. Modul Komunikacija - kojim se ostvaruje interakcija sa serverom radi primanja i slanja informacija o zadatku. U modulu Zadatak čuvaju se informacije o zadatku. Modul Korisnički interfejs vrši prikaz elementa za navođenje radnika do mesta zadatka i provere radnika pomoću liste provere. Modul za Proširenu stvarnost služi da prepoznavanjem objekata prikaže bezbedonosne instrukcije koje ukazuju na mere zaštite i moguće rizike u okviru industrijskog postrojenja. Posle prikazane bezbedonosne instrukcije potrebno je proći dvostruki metod provere pomoću liste provere za izdavanje sledeće radne instrukcije. Na osnovu ove instrukcije dobija se multimedijalna informacija o načinu realizacije dela radnog zadatka. Ciklus se ponavlja sve do izvršenja poslednje instrukcije kada se podaci šalju na server i upisuju u bazu podataka. Time se postiže čuvanje podataka o realizovanim zadacima što se može koristiti za dalju analizu i unapređenje poslovanja.

Na osnovu definisane arhitekture izvršena je implementacija za dva različita industrijska okruženja. U prvom slučaju ispitivana je primena AROS sistema na univerzalnim strugu mehaničkog odeljenja termoelektrane. U drugom slučaju primena je urađena za elektroenergetski sistem gde je vršena promena niskonaponskog osigurača u trafostanici. Osim primene u drugačijem tipu industrijskog okruženja

korišćeni su različiti moduli za proširenu stvarnost kako bi se pokazala univerzalnost primenjenog rešenja. Vuforia SDK korišćen je za prepoznavanje markera postavljenih u industrijskom prostoru kod univerzalnog struga dok je EasyAR SDK prepoznao slike za prikazivanje bezbedonosnih i radnih instrukcija u elektroenergetskom sistemu kod zamene niskonaponskog osigurača. Pokazano je da uz minimalne izmene poštujući definisanu arhitekturu moguće primenjivati različite softverske alate i tehnologije.

Vršena je eksperimentalna provera AR prepoznavanja i praćenja markera i slika. Provera objekata prepoznavanja vršena je i pod različitim svetlosnim uslovima i pod uticajem oštećenja. Zaključuje se da su markeri precizniji za prepoznavanje pri konstantnim svetlosnim uslovima. Međutim, slike su se pokazale kao znatno stabilnije za prepoznavanje i praćenje u uslovima slabijeg i povećanog osvetljenja. Takođe, slike su se pokazale bolje za prepoznavanje i praćenje kada su u pitanju oštećenja ili prekrivanja u odnosu na markere.

Urađena je i evaluacija sistema anketiranjem radnika u okviru termoelektrane Ugljevik. Na osnovu upitnika ustanovljeno je da sistem predstavlja efikasno sredstvo za zaštitu radnika i izvršavanje radnih zadataka. Sistem je ocenjen kao jednostavan za upotrebu zbog toga što se potrebne informacije dobijaju na intuitivan način. Međutim, ustanovljeno je da je potrebno vreme za adaptaciju radnika na novu tehnologiju. Zato je potrebno izvršiti neophodnu obuku o načinu korišćenja AROS sistema. U razgovorima sa rukovodiocima utvrđeno je da se značajno može poboljšati bezbednost i unaprediti rad u industrijskom okruženju, primenom AROS sistema. Poseban značaj se vidi u uštedi vremena koje referenti zaštite na radu moraju da posvete svakom radniku pre izvršenja radnog zadatka kako bi im se skrenula pažnja o bezbedonosnim merama i mogućim rizicima. Kao nedostatak sistema uočen je problem u procesu održavanja i zaduživanja mobilnih uređaja. Za potrebe elektroenergetskog sistema nije urađena evaluacija obzirom na njenu kompleksnost u strukturi rukovođenja i dobijanja dozvole za njeno izvršenje. Međutim, u razgovoru sa ekspertima iz oblasti zaštite na radu dobijene su pozitivne kritike za korišćenje sistema u smislu prevencije povreda i obuke radnika za sigurnije izvršenje zadataka. Zbog toga se očekuje da će sistemi zasnovani na tehnologiji proširene stvarnosti biti efikasna pomoć u realizaciji bezbedonosnih i radnih instrukcija u okviru različitih industrijskih postrojenja.

Očekuje se poboljšanje u razvoju tehnologija za proširenu stvarnost, a odnose se na sistem prepoznavanja i praćenja. Ovaj napredak, uslovljen razvojem hardvera mobilnih uređaja, omogućio bi da se, kao deo budućeg istraživanja, ispituju performanse prepoznavanja 3D objekata u okviru industrijskog okruženja. Tehnologija proširene

stvarnosti bi se u tom slučaju koristila bez dodatnih objekata prepoznavanja i praćenja kao što su markeri i slike već bi za to poslužila sama industrijska infrastruktura. Planira se ispitivanje sistema na različitim industrijskim postrojenjima i sektorima kao i anketiranje većeg broja radnika radi dublje analize i unapređenja rada AROS sistema. Dobijanjem većeg broja podataka, iz baze podataka, posebna pažnja posvetiće se analizi i uvođenju statističkih metoda za njihovu obradu. U daljem radu vršiće se ispitivanje softverskih alata za proširenu stvarnost primenom AHP metode za industrijske primene.

Literatura

- [1] Alam, M.F., Katsikas, S., Beltramello, O. and Hadjiefthymiades, S., “Augmented and virtual reality based monitoring and safety system: A prototype IoT platform”, *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 89, 2017, 109-119.
- [2] Arroyave-Tobón, S., Osorio-Gómez, G. and Cardona-McCormick, J.F., „Air-modelling: a tool for gesture-based solid modelling in context during early design stages in AR environments“, *Computers in Industry*, vol. 66, 2015, 73-81.
- [3] ASP.Net MVC Framework, <https://dotnet.microsoft.com/apps/aspnet/mvc>, accessed Jun 2019.
- [4] Azuma, R.T., “Survey of Augmented Reality”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, 1997, 355–385.
- [5] Behzadan, A.H., Dong S. and Kamat, V.R., „Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications“, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 29, no. 2, 2015, 252-267.
- [6] Benbelkacem, S., Belhocine, M., Bellarbi, A., Zenati-Henda, N. and Tadjine, M., „Augmented reality for photovoltaic pumping systems maintenance tasks“, *Renewable Energy*, vol. 55, 2013, 428-437.
- [7] Billinghamurst, M. and Duenser, A., „Augmented reality in the classroom“, *Computer*, vol. 45, no. 7, 2012, 56-63.
- [8] Blanco-Novoa, Ó., Fernández-Caramés, T.M., Fraga-Lamas, P. and Vilar-Montesinos, M.A., “A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard”, *IEEE Access*, vol. 6, 2018, 8201-8218.
- [9] Borsci, S., Lawson, G. and Broome, S., „Empirical evidence, evaluation criteria and challenges for the effectiveness of virtual and mixed reality tools for training operators of car service maintenance“, *Computers in Industry*, vol. 67, 2015, 17-26.

- [10] Carmigniani, J. and Furht, B., "Augmented reality: an overview", *In Handbook of augmented reality*, Springer, 2011, 3-46.
- [11] Chi, H.L., Kang, S.C. and Wang, X., "Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction", *Automation in construction*, vol. 33, 2013, 116-122.
- [12] De Crescenzo, F., Fantini, M., Persiani, F., Di Stefano, L., Azzari, P. and Salti, S., "Augmented reality for aircraft maintenance training and operations support", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 31, no. 1, 2011, 96-101.
- [13] Di Donato, M., Fiorentino, M., Uva, A.E., Gattullo, M. and Monno, G., "Text legibility for projected Augmented Reality on industrial workbenches", *Computers in Industry*, vol. 70, 2015, 70-78.
- [14] Dzwiaek, M. and Luczak, A., "Application prospects of the augmented reality technology for improving safety of machine operators", *In Human-Computer Interaction*, InTech, 2008, 217-230.
- [15] EasyAR SDK, <https://www.easyar.com/>, accessed January 2018.
- [16] Entity Framework, <https://docs.microsoft.com/en-us/ef/>, accessed Jun 2019.
- [17] Eschen, H., Kötter, T., Rodeck, R., Harnisch, M. and Schüppstuhl, T., "Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry", *Procedia Manufacturing*, 19, 2018, 156-163.
- [18] Espíndola, D.B., Fumagalli, L., Garetti, M., Pereira, C.E., Botelho, S.S. and Henriques, R.V., "A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality", *Computers in Industry*, vol. 64, no. 4, 2013, 376-391.
- [19] Eursch, A., "Increased safety for manual tasks in the field of nuclear science using the technology of augmented reality", *Nuclear Science Symposium Conference Record*, IEEE, 2007, vol. 3, 2053-2059.
- [20] Fielding, R.T., "Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures", *Doctoral dissertation: University of California*, Irvine, 2000.
- [21] Fillatreau, P., Fourquet, J.Y., Le Bolloc'H, R., Cailhol, S., Datas, A. and Puel, B., "Using virtual reality and 3D industrial numerical models for immersive interactive checklists", *Computers in Industry*, vol. 64, no. 9, 2013, 1253-1262.
- [22] Fiorentino, M., Uva, A.E., Gattullo, M., Debernardis, S. and Monno, G., "Augmented reality on large screen for interactive maintenance instructions", *Computers in Industry*, 65(2), 2014, 270-278.

- [23] Fite-Georgel, Pierre, „Is there a reality in industrial augmented reality?“, In 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011, 201-210.
- [24] Gattullo, M., Uva, A.E., Fiorentino, M. and Gabbard, J.L., „Legibility in industrial AR: text style, color coding, and illuminance“, *IEEE computer graphics and applications*, vol. 35, no. 2, 2015, 52-61.
- [25] Gay-Bellile, V., Bourgeois, S., Larnaout, D. and Tamaazousti, M., “Applications of Augmented Reality for the Automotive Industry, Tamaazousti Barfield“, *In Fundamentals of wearable computers and augmented reality*, CRC Press, 2015, 433–456.
- [26] Gherardini, F., Santachiara, M. and Leali, F., „3D Virtual Reconstruction and Augmented Reality Visualization of Damaged Stone Sculptures“, *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 364, no. 1, 2018, 012018.
- [27] Gimeno, J., Morillo, P., Orduña, J.M. and Fernández, M., „A new AR authoring tool using depth maps for industrial procedures“, *Computers in Industry*, vol. 64, no. 9, 2013, 1263-1271.
- [28] Grabowski, M., Rowen, A. and Rancy, J.P., “Evaluation of wearable immersive augmented reality technology in safety-critical systems”, *Safety Science*, vol. 103, 2018, 23-32.
- [29] Han, P. and Zhao, G., “Line-based initialization method for mobile augmented reality in aircraft assembly”, *The Visual Computer*, vol. 33, no. 9, 2017, 1185-1196.
- [30] Henderson, S. and Feiner, S., „Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair“, *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol. 17, no. 10, 2011, 1355-1368.
- [31] Henderson, S.J. and Feiner, S., „In Evaluating the benefits of augmented reality for task localization in maintenance of an armored personnel carrier turret“, *8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality ISMAR*, 2009, 135-144.
- [32] Henderson, S.J. and Feiner, S.K., „Augmented reality in the psychomotor phase of a procedural task“, *In 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2011, 191-200.
- [33] Hou, L., Wang, Y., Wang, X., Maynard, N., Cameron, I., Zhang, S. and Maynard, Y., „Combining photogrammetry and augmented reality towards an integrated facility management system for the oil industry“, *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, no. 2, 2014, 204-220.

- [34] Irizarry, J., Gheisari, M., Williams, G. and Walker, B.N., „InfoSPOT: A mobile Augmented Reality method for accessing building information through a situation awareness approach“, *Automation in Construction*, vol. 33, 2013, 11-23.
- [35] Ishii, H., Yan, W., Yang, S.F., Shimoda, H. and Izumi, M., „Wide area tracking method for augmented reality supporting nuclear power plant maintenance work“, *In Progress of Nuclear Safety for Symbiosis and Sustainability*, Springer, 2014, 283-289.
- [36] Jaeyong, O.H., Park, S. and Kwon, O.S., „Advanced navigation aids system based on augmented reality“, *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, vol. 5, 2016, 21-31.
- [37] Jankowski, J., Samp, K., Irzynska, I., Jozwowiec, M. and Decker, S., „Integrating text with video and 3d graphics: The effects of text drawing styles on text readability“, *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2010, 1321-1330.
- [38] Jetter, J., Eimecke, J. and Rese, A., „Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits?“, *Computers in Human Behavior*, vol. 87, 2018, 18-33.
- [39] Kim, S., Nussbaum, M.A. and Gabbard, J.L., „Augmented Reality “Smart Glasses” in the Workplace: Industry Perspectives and Challenges for Worker Safety and Health“, *IIE transactions on occupational ergonomics and human factors*, vol. 4, no. 4, 2016. 253-258.
- [40] Kim, W., Kerle, N. and Gerke, M., „Mobile augmented reality in support of building damage and safety assessment“, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 16, no. 1, 2016, 287-298.
- [41] Koch, C., Neges, M., König, M. and Abramovici, M., „Natural markers for augmented reality-based indoor navigation and facility maintenance“, *Automation in Construction*, vol. 48, 2014, 18-30.
- [42] Lamberti, F., Manuri, F., Sanna, A., Paravati, G., Pezzolla, P. and Montuschi, P., „Challenges, opportunities, and future trends of emerging techniques for augmented reality-based maintenance“, *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 2, no. 4, 2014, 411-421.
- [43] Le, Q.T., Pedro, A.K.E.E.M., Lim, C.R., Park, H.T., Park, C.S. and Kim, H.K., „A framework for using mobile based virtual reality and augmented reality for experiential construction safety education“, *International Journal of Engineering Education*, vol. 31, no. 3, 2015, 713-725.

- [44] Li, X., Yi, W., Chi, H.L., Wang, X. and Chan, A.P., “A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety”, *Automation in Construction*, vol. 86, 2018, 150-162.
- [45] Lima, J.P., Roberto, R., Simões, F., Almeida, M., Figueiredo, L., Teixeira, J.M. and Teichrieb, V., “Markerless tracking system for augmented reality in the automotive industry.Expert”, *Systems with Applications*, vol. 82, 2017, 100-114.
- [46] Livingston, M.A., Rosenblum, L.J., Brown, D.G., Schmidt, G.S., Julier, S.J., Baillot, Y., Swan, J.E., Ai, Z. and Maassel, P., “Military applications of augmented reality”, *In Handbook of augmented reality*, Springer, 2011, 671-706.
- [47] Longo, F., Nicoletti, L. and Padovano, A., „Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators’ capabilities and competencies within the new smart factory context“, *Computers & industrial engineering*, vol. 113, 2017,144-159.
- [48] Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A.E., Fiorentino, M., Carrabba, E. and Di Donato, M., „Supporting remote maintenance in Industry 4.0 through augmented reality“, *Procedia Manufacturing*, vol. 11, 2017, 1296-1302.
- [49] Mayberry, C.R., Jaszlics, M.S., Stottlemyer, M.G. and Fritz, M.G., “Augmented reality training application for c-130 aircrew training system”, *M&S Journal*, 2014, 36-48.
- [50] Michalos, G., Karagiannis, P., Makris, S., Tokçalar, Ö. and Chryssolouris, G., “Augmented reality (AR) applications for supporting human-robot interactive cooperation”, *Procedia CIRP*, vol. 41, 2016, 370-375.
- [51] Microsoft SQL Server, <https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/sql-server-2017>, accessed Jun 2019.
- [52] Navab, N., Blum, T., Wang, L., Okur, A. and Wendler, T., „First deployments of augmented reality in operating rooms“, *Computer*, vol. 45, no. 7, 2012, 48-55.
- [53] Navab, N., “Developing killer apps for industrial augmented reality”, *IEEE Computer Graphics and applications*, vol. 24, no. 3, 2004, 16-20.
- [54] Noh, Z., Sunar, M.S. and Pan, Z., „A review on augmented reality for virtual heritage system“, *In International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*, Springer, 2009, 50-61.
- [55] Palmarini, R., Erkoyuncu, J.A., Roy, R. and Torabmostaedi, H., „A systematic review of augmented reality applications in maintenance“, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 2018, 215-228.

- [56] Park, H. and Moon, H.C., „Design evaluation of information appliances using augmented reality-based tangible interaction“, *Computers in Industry*, vol. 64, no. 7, 2013, 854-868.
- [57] Re, G.M., Oliver, J. and Bordegoni, M., „Impact of monitor-based augmented reality for on-site industrial manual operations“, *Cognition, Technology & Work*, 2016, vol. 18, no. 2, 379-392.
- [58] Regenbrecht, H., Baratoff, G. and Wilke, W., „Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries“, *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 25, no. 6, 2005, 48-56.
- [59] Rios, H., Hincapié, M., Caponio, A., Mercado, E. and Mendivil, E.G., „Augmented reality: an advantageous option for complex training and maintenance operations in aeronautic related processes“, *In International Conference on Virtual and Mixed Reality*, Springer, 2011, 87-96.
- [60] Santachiara, M., Gherardini, F. and Leali, F., 2018, „An Augmented Reality Application for the Visualization and the Pattern Analysis of a Roman Mosaic“, *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 364, no. 1, 012094.
- [61] Schall, G., Zollmann, S. and Reitmayr, G., Smart “Vidente: advances in mobile augmented reality for interactive visualization of underground infrastructure”, *Personal and ubiquitous computing*, vol. 17, no. 7, 2013, 1533-1549.
- [62] Scurati, G.W., Gattullo, M., Fiorentino, M., Ferrise, F., Bordegoni, M. and Uva, A.E., "Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0", *Computers in Industry*, vol. 98, 2018, 68-79.
- [63] Syberfeldt, A., Danielsson, O. and Gustavsson, P., “Augmented reality smart glasses in the smart factory: Product evaluation guidelines and review of available products”, *IEEE Access*, vol. 5, 2017, 9118-9130.
- [64] Talmaki, S.A., Dong, S. and Kamat, V.R., „Geospatial databases and augmented reality visualization for improving safety in urban excavation operations“, *In Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice*, 2010, 91-101.
- [65] Tatić, D., „An Augmented Reality System for Improving Health and Safety in the Electro-energetics Industry“, *Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics*, vol. 31, no. 4, 2018, 585-598.
- [66] Tatić, D., „Augmented Reality and Occupational Safety“, *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier, 2018.

- [67] Tatić, D., and Tešić, B., „The Application of Augmented Reality Technologies for the Improvement of Occupational Safety in an Industrial Environment“, *Computers in Industry*, Elsevier, 2017, vol. 85, 2017, 1–10.
- [68] Tatić, D., and Tešić, B., „Unapređenje sistema zaštite na radu primenom tehnologije proširene stvarnosti“, *In Proceedings of Papers TELFOR 2015*, 2015, 962-965.
- [69] Tatić, D., Vitanović, N., Stevanović, K., Živković, N., Jovanović, N., Stanković, R., Ognjanović, Z., „Universal electronic guide developed in unity environment“, *XV konferencija Digitalizacija nacionalne baštine, starih zapisa iz prirodnih i društvenih i digitalna humanistika*, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2017, 24.
- [70] Tešić, B., Tatić, D., and Stanković, M., „Analiza povreda na radu u termoelektranama – studija slučaja 2002-2011“, *Druga regionalna međunarodne konferencija - Primenjena zaštita i njeni trendovi*, Zlatibor, 2015, 76–82.
- [71] Tsai, M.K. and Yau, N.J., „Enhancing usability of augmented-reality-based mobile escape guidelines for radioactive accidents“, *Journal of environmental radioactivity*, 118, 2013, 15-20.
- [72] Tsai, M.K. and Yau, N.J., „Using augmented-reality and mobile three-dimensional graphics techniques in relief work on radiological disaster sites“, *Nuclear Technology and Radiation Protection*, vol. 28, no. 3, 2013, 332-340.
- [73] Tsai, M.K., Liu, P.H.E. and Yau, N.J., “Using electronic maps and augmented reality based training materials as escape guidelines for nuclear accidents: An explorative case study in Taiwan”, *British Journal of Educational Technology*, vol. 44, no.1, 2013. E18-E21.
- [74] Tsai, M.K., Lee, Y.C., Lu, C.H., Chen, M.H., Chou, T.Y. and Yau, N.J., „Integrating geographical information and augmented reality techniques for mobile escape guidelines on nuclear accident sites“, *Journal of environmental radioactivity*, vol. 109, 2012, 36-44.
- [75] Unity, <https://unity3d.com/>, accessed Jun 2019.
- [76] Uva, A.E., Gattullo, M., Manghisi, V.M., Spagnulo, D., Cascella, G.L. and Fiorentino, M., “Evaluating the effectiveness of spatial augmented reality in smart manufacturing: a solution for manual working stations”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 94, 2018, 509-521.
- [77] Velosa, J.D., Cobo, L., Castillo, F. and Castillo, C., “Methodological Proposal for Use of Virtual Reality VR and Augmented Reality AR in the Formation of

- Professional Skills in Industrial Maintenance and Industrial Safety”, *In Online Engineering and Internet of Things*, Springer, 2018, 987-1000.
- [78] Vuforia SDK, <https://www.vuforia.com/>, accessed Jun 2019.
- [79] Wang, X., Kim, M.J., Love, P.E. and Kang, S.C., „Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research“, *Automation in Construction*, 2013, vol. 32, 1-13.
- [80] Wang, X., Love, P.E., Kim, M.J. and Wang, W., „Mutual awareness in collaborative design: An Augmented Reality integrated telepresence system”, *Computers in Industry*, vol. 65, no. 2, 2014, 314-324.
- [81] Wang, X., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y. and Zhou, Y., „Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry“, *Automation in Construction*, vol. 40, 2014, 96-105.
- [82] Watanuki, K. and Hou, L., „Augmented reality-based training system for metal casting“, *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 24, no. 1, 2010, 237-240.
- [83] Webel, S., Bockholt, U., Engelke, T., Gavish, N., Olbrich, M. and Preusche, C., „An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills“, *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 61, no. 4, 2013, 398-403.
- [84] Weidenhausen, J., Knoepfle, C. and Stricker, D., „Lessons learned on the way to industrial augmented reality applications, a retrospective on ARVIKA“, *Computers & Graphics*, vol. 27, no. 6, 2003, 887-891.
- [85] Westerfield, G., Mitrovic, A. and Billinghamurst, M., „Intelligent augmented reality training for motherboard assembly“, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 25, no. 1, 2015, 157-172.
- [86] Yim, H.B. and Seong, P.H., „Heuristic guidelines and experimental evaluation of effective augmented-reality based instructions for maintenance in nuclear power plants“, *Nuclear Engineering and Design*, vol. 240, no. 12, 2010, 4096-4102.
- [87] Zhiqiang, B.I.A.N., Ishii, H., Shimoda, H., Yoshikawa, H., Morishita, Y., Kanehira, Y. and Izumi, M., „Development of a tracking method for augmented reality applied to NPP maintenance work and its experimental evaluation“, *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. 90, no. 6, 2007, 963-974.
- [88] Zhou, J., Lee, I., Thomas, B.H., Sansome, A. and Menassa, R., „Facilitating collaboration with laser projector-based spatial augmented reality in industrial

- applications“, *In Recent Trends of Mobile Collaborative Augmented Reality Systems*, Springer, 2011, 161-173.
- [89] Zhu, J., Ong, S. K. and Nee, A.Y.C., „A context-aware augmented reality system to assist the maintenance operators“, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 8, no. 4, 2014, 293-304.
- [90] Zhu, J., Ong, S. K. and Nee, A. Y. C., „An authorable context-aware augmented reality system to assist the maintenance technicians“, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 66, no. 9-12, 2013, 1699-1714.

Biografija autora

Dušan Tatić rođen je 15.01.1982. godine u Nišu. Završio je osnovnu školu „Kole Rašić“ i gimnaziju „Svetozar Marković“ u Nišu. Diplomirao je 2009. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu na smeru za Računarsku tehniku i informatiku. Doktorske studije upisao je 2010. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu, studijski program Elektrotehnika i računarstvo, modul Računarstvo i informatika.

U periodu od 2010–2011. godine učestvovao u razvoju i implemetaciji multimedijalnih aplikacija u firmi Dragon Multimedia.

Na Metropolitan Univerzitetu od 2011-2012. godine angažovan je, u svojstvu asistenta, na predmetima Računarski jezici i Web sistemi.

Od 2015–2016. godine bio je uključen u proces nastave na Građevinskom fakultetu u Nišu na predmetima Informatika I i Informatika II.

Na Elektronskom fakultetu u Nišu zapošljen je od 2012. godine kao stručni saradnik za naučno-istraživački rad. Angažovan je na projektu Matemetičkog instituta SANU - III044006 Razvoj novih informaciono-komunikacionih tehnologija, korišćenjem naprednih matematičkih metoda, sa primenama u medicini, telekomunikacijama, energetici, zaštiti nacionalne baštine i obrazovanju koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

Autor i koautor je tridesetsedam naučnih radova, od kojih je šest u časopisima međunarodnog i nacionalnog značaja, šest tehničkih rešenja i dvadesetpet radova na domaćim i stranim konferencijama.

IZJAVA O AUTORSTVU

Izjavljujem da je doktorska disertacija, pod naslovom

PRIMENA TEHNOLOGIJE PROŠIRENE STVARNOSTI ZA POBOLJŠANJE BEZBEDNOSTI I EFIKASNOSTI RADA U INDUSTRIJSKIM OKRUŽENJIMA

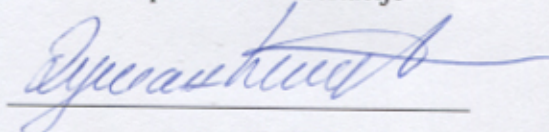
koja je odbranjena na Elektronskom fakultetu Univerziteta u Nišu:

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da ovu disertaciju, ni u celini, niti u delovima, nisam prijavljivao na drugim fakultetima, niti univerzitetima;
- da nisam povredio autorska prava, niti zloupotrebio intelektualnu svojinu drugih lica.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci, koji su u vezi sa autorstvom i dobijanjem akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada, i to u katalogu Biblioteke, Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Nišu, kao i u publikacijama Univerziteta u Nišu.

U Nišu, 20.6.2019. godine

Potpis autora disertacije



Dušan D. Tatić

**IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANOG I ELEKTRONSKOG OBLIKA
DOKTORSKE DISERTACIJE**

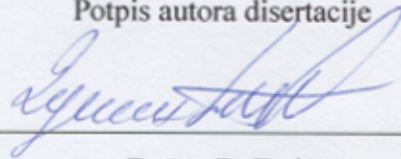
Naslov disertacije:

**PRIMENA TEHNOLOGIJE PROŠIRENE STVARNOSTI ZA POBOLJŠANJE
BEZBEDNOSTI I EFIKASNOSTI RADA U INDUSTRIJSKIM OKRUŽENJIMA**

Izjavljujem da je elektronski oblik moje doktorske disertacije, koju sam predao za unošenje u **Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu**, istovetan štampanom obliku.

U Nišu, 20.6.2019. godine

Potpis autora disertacije



Dušan D. Tatić

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Nikola Tesla“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu unese moju doktorsku disertaciju, pod naslovom:

PRIMENA TEHNOLOGIJE PROŠIRENE STVARNOSTI ZA POBOLJŠANJE BEZBEDNOSTI I EFIKASNOSTI RADA U INDUSTRIJSKIM OKRUŽENJIMA

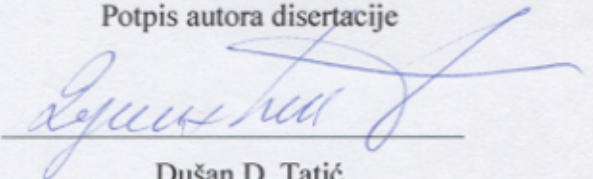
Disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom obliku, pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju, unetu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu, mogu koristiti svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
- 3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade (CC BY-NC-ND)**
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerade (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

U Nišu, 20.6.2019. godine

Potpis autora disertacije



Dušan D. Tatić