

# Primjena proširene stvarnosti u optimizaciji proizvodnih procesa

---

Krpan, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:186419>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Karlo Krpan**

Zagreb, 2024. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Student:

Karlo Krpan

Zagreb, 2024. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Miri Hegediću na pruženim savjetima i pomoći prilikom izrade rada.

Također se zahvaljujem svojim prijateljima i kolegama na podršci prilikom izrade rada.

Na kraju, zahvaljujem se svojoj obitelji na razumijevanju, strpljenju i sveukupnoj podršci tijekom pisanja rada i cjelokupnog studija.

Karlo Krpan



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 24 –	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Karlo Krpan** JMBAG: **0035225744**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena proširene stvarnosti u optimizaciji proizvodnih procesa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Application of Augmented Reality in the Optimization of Manufacturing Processes**

Opis zadatka:

Optimizacija proizvodnih procesa je kontinuiran izazov u industriji. Jedan od novijih pristupa koji nudi potencijal za značajna unapređenja je primjena proširene stvarnosti (*eng. Augmented Reality, AR*). Ova tehnologija može omogućiti bolju vizualizaciju, učinkovitije odlučivanje i poboljšanu koordinaciju u proizvodnom pogonu.

U radu je potrebno:

1. Opisati osnove proširene stvarnosti: definirati što je proširena stvarnost i kako se razlikuje od drugih srodnih tehnologija kao što su virtualna stvarnost (VR) i mješovita stvarnost (MR).
2. Proučiti primjenu proširene stvarnosti u proizvodnoj industriji s fokusom na optimizaciju proizvodnih procesa te njezinu povezanost s lean menadžmentom.
3. Analizirati prednosti i izazove koje proširena stvarnost može donijeti u optimizaciji proizvodnje te usporediti dostupne alate i platforme s fokusom na Hololens.
4. Opisati jedan jednostavan proizvodni proces te ga analizirati prema lean menadžment principima.
5. Predložiti poboljšanja procesa temeljena na primjeni tehnologije proširene stvarnosti

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

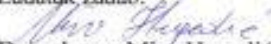
Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.  
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.  
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.  
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.  
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

  
Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Damir Godec

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA .....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
SAŽETAK .....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD .....	1
2. INDUSTRIJA 4.0 .....	2
3. PROŠIRENA STVARNOST (AR).....	3
3.1. Razlika AR-a i VR-a.....	5
3.2. Razlika AR-a i MR-a .....	6
3.3. Alati i platforme.....	7
4. PRIMJENA PROŠIRENE STVARNOSTI U INDUSTRIJI .....	9
4.1. Održavanje, montaža i popravak .....	9
4.1.1. Održavanje.....	10
4.1.2. Montaža .....	10
4.1.3. Popravak.....	11
4.2. Obuka .....	11
4.3. Suradnja čovjeka i robota.....	12
4.4. Kontrola kvalitete proizvoda .....	13
4.5. Planiranje izgradnje postrojenja .....	14
4.6. Prednosti i izazovi Proširene Stvarnosti.....	16
4.7. Analiza prednosti i izazova s fokusom na HoloLens 2 uređaj .....	16
4.7.1. Prednosti.....	17
4.7.2. Izazovi .....	17
5. MONTAŽA JOY-IT ROBOT POMOĆU AR-A.....	19
5.1. Korištena oprema.....	19
5.2. Priprema radne postaje.....	21
5.3. Izrada CAD modela .....	22
5.4. Microsoft Dynamics 365 Guides .....	23
5.5. Integracija u AR.....	25
5.6. Uputstva za montažu.....	26
5.7. Analiza prema Lean menadžment principima.....	28
6. ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA.....	31

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Prvi AR sustav "Sword of Damocles" [2] .....	3
Slika 2. Prikaz kontinuuma stvarnosti-virtualnosti [3] .....	4
Slika 3. Head-mounted display (HMD) [5] .....	5
Slika 4. Appleove Vision Pro AR naočale za iOS platformu [6] .....	7
Slika 5. Aplikacija napravljena pomoću Unity platforme [7] .....	8
Slika 6. Obuka održavanja pogona zrakoplova [10] .....	12
Slika 7. Kontrola kvalitete izrade pomoću AR-a [12] .....	13
Slika 8. Microsoft Kinect v2 korišten u istraživanju O. Wasenmüller [12] .....	14
Slika 9. Interaktivno planiranje na stolu postrojenja VW-a pomoću AR-a [13] .....	15
Slika 10. HoloLens 2 [15] .....	21
Slika 11. Radna postaja .....	22
Slika 12. Baza Joy-it robota u softveru SolidWorks .....	23
Slika 13. Korak u programu Microsoft Dynamics 365 Guides .....	24
Slika 14. Integracija CAD modela u stvarni prostor pomoću HoloLensa .....	25
Slika 15. CAD modeli i označene kutije prilikom montaže .....	26
Slika 16. Provjera ispravnosti montaže .....	27
Slika 17. Prvi korak u montaži baze robota .....	27
Slika 18. Provjera kvalitete montaže na samom izvoru .....	29

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Tehničke specifikacije HoloLens 2 [15] .....20



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Opis</b>
AI	Umjetna inteligencija (eng. Artificial Intelligence)
AR	Proširena stvarnost (eng. Augmented Reality)
CAD	Računalno potpomognuto projektiranje (eng. Computer-aided design)
HMD	Zaslon na glavi (eng. Head-mounted display)
iOS	Iphoneov operacijski sustav (eng. iPhone Operating System)
IoT	Internet stvari (eng. Internet of Things)
JiT	Upravo na vrijeme (eng. Just-in-time)
KPI	Ključni pokazatelji performansi (eng. Key performance indicator)
MR	Mješovita stvarnost (eng. Mixed Reality)
QR	Kod za brzi odgovor (eng. Quick-response code)
VW	Volkswagen (Automobilska kompanija)
VR	Virtualna stvarnost (eng. Virtual Reality)

## **SAŽETAK**

U ovom radu će biti obrađena tema proširene stvarnosti (AR) u optimizaciji proizvodnje. Bit će razmatrane razlike između proširene stvarnosti, mješovite stvarnosti i virtualne stvarnosti te će se istražiti kako se proširena stvarnost koristi u industriju. U praktičnom dijelu rada, fokus će biti stavljen na primjenu proširene stvarnosti u procesu montaže, s posebnim naglaskom na korištenje Microsoft HoloLens 2 uređaja i primjenu njegovih odgovarajućih alata.

U radu će biti analizirane prednosti i izazovi koje AR tehnologija donosi u industriji. Također će se istražiti kako AR tehnologija može poboljšati iskustvo rada radnika u proizvodnom okruženju. Isto tako, rad će dotaknuti i nedostatke te izazove prilikom korištenja AR tehnologije.

Kroz sve to, rad će pružiti sveobuhvatan pregled primjene proširene stvarnosti u optimizaciji proizvodnje, istražujući kako AR tehnologija može transformirati način na koji se proizvodnja obavlja, teći prema naprijed u smjeru povećane učinkovitosti, poboljšane kvalitete i smanjenja troškova u industrijskom sektoru.

**Ključne riječi:** Proširena stvarnost (AR), Industrija, Optimizacija, Montaža, HoloLens 2, Industrija 4.0.

## **SUMMARY**

This paper will address the topic of Augmented Reality (AR) in production optimization. The differences between Augmented Reality, Mixed Reality, and Virtual Reality will be discussed, as well as how Augmented Reality is utilized in industry. In the practical part of the paper, the focus will be on the application of Augmented Reality in the assembly process, with a special emphasis on the use of the Microsoft HoloLens 2 device and the application of its corresponding tools.

The paper will analyze the advantages and challenges that AR technology brings to the industry. It will also explore how AR technology can improve the working experience of employees in the manufacturing environment. Additionally, the paper will touch upon the drawbacks and challenges of using AR technology.

Throughout, the paper will provide a comprehensive overview of the application of Augmented Reality in production optimization, examining how AR technology can transform the way production is carried out, advancing towards increased efficiency, improved quality, and cost reduction in the industrial sector.

Keywords: Augmented Reality (AR), Industry, Optimization, Assembly, HoloLens 2, Industry 4.0.

## 1. UVOD

U današnjem dinamičnom poslovnom okruženju, gdje se tehnološki napredak ubrzano odvija, optimizacija proizvodnih procesa postaje standard za organizacije koje žele ostati konkurentne. U tom području, pojava Industrije 4.0 predstavlja ključni pomak prema potpunoj digitalizaciji i integraciji informacijskih tehnologija u proizvodni sektor. U kombinaciji s ovim trendom, proširena stvarnost (AR) predstavlja inovativno sredstvo koje dodatno pojačava sposobnost organizacija da optimiziraju svoje proizvodne procese.

Industrija 4.0 donosi sa sobom koncept pametne tvornice, gdje su svi dijelovi proizvodnog lanca povezani i komuniciraju međusobno putem Interneta stvari (IoT) i drugih naprednih tehnologija. Upravo zato, primjena proširene stvarnosti u proizvodnji omogućuje stvaranje pametnih radnih okruženja koja integriraju stvarni svijet s digitalnim podacima, potičući time inovacije, povećavajući učinkovitost te pružajući organizacijama mogućnost brze prilagodbe promjenama na tržištu.

AR tehnologija omogućava radnicima da vizualiziraju složene procese, upute za rad ili podatke o proizvodu izravno u stvarnom vremenu, što rezultira smanjenjem pogrešaka, ubrzanjem obuke i povećanjem preciznosti u izvođenju radnih zadataka. Kroz povezanost s Industrijom 4.0, AR postaje jedna od bitnijih stavki u transformaciji proizvodnih sustava, omogućavajući potpunu transparentnost, praćenje učinkovitosti u stvarnom vremenu te optimizaciju proizvodnih lanaca.

Potrebno je naglasiti da Industrija 4.0, a s time i AR, ne obuhvaća samo tehnološke inovacije, već predstavlja i promjenu u načinu razmišljanja o proizvodnji. Kroz digitalizaciju i povezanost, organizacije stvaraju adaptivna okruženja koja mogu brzo reagirati na promjene tržišta, a proširena stvarnost postaje ključna tehnologija koja omogućuje radnicima da iskoriste potpuni potencijal Industrije 4.0.

## 2. INDUSTRIJA 4.0

Što je zapravo, prije spomenuta, Industrija 4.0? Najtočnija definicija je pristup koji uključuje umrežene proizvodne sustave koji pristupaju izmjenama u proizvodnom procesu kroz alternativne strategije. Dok su tradicionalni proizvodni sustavi sastavljeni od strojeva i radnika, gdje se često suočavamo s izazovima vezanim uz ljudske pogreške, prijenos informacija i potencijalne kvarove u opremi. Ljudi, kao neizbježan čimbenik, mogu donositi različite pogreške, a teško je održavati konzistentnost i preciznost u velikim timovima. Osim toga, stariji strojevi mogu biti skloni kvarovima, što može dovesti do neplaniranih prekida u proizvodnji.

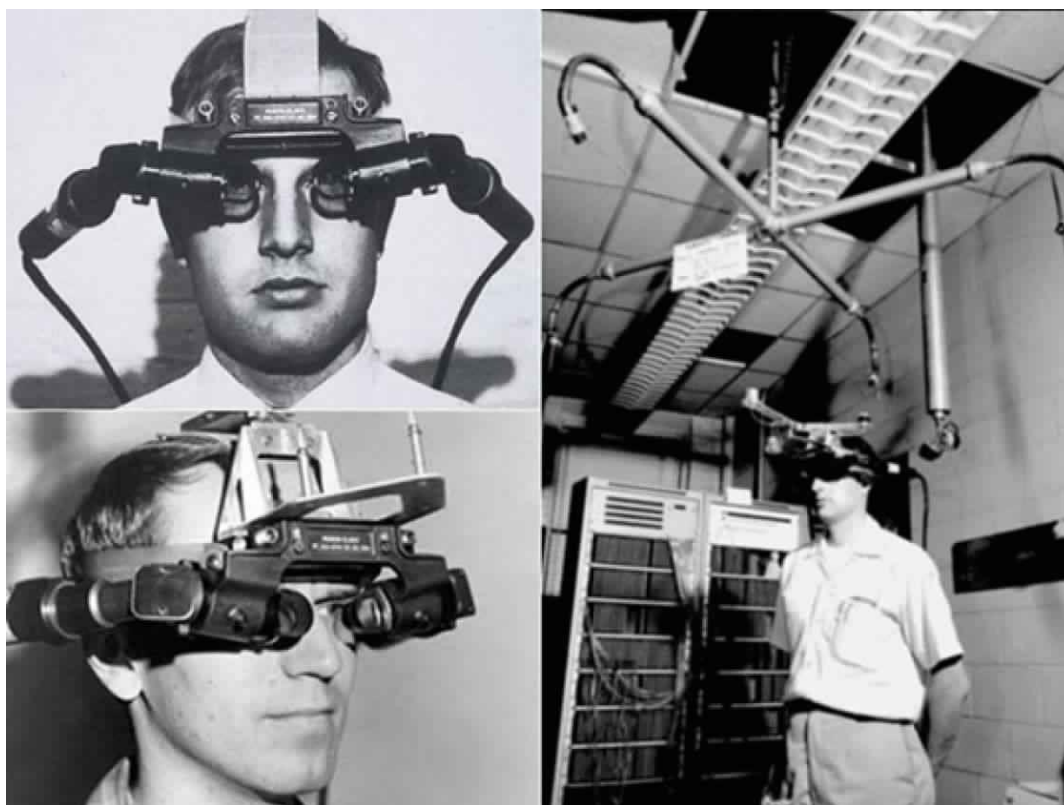
Pristup Industrije 4.0 predstavlja revolucionarnu transformaciju proizvodnih sustava. Umjesto tradicionalnog pristupa, Industrija 4.0 okrenuta je ka kibernetičko-fizičkim pametnim sustavima. Ova transformacija omogućava povezivanje svih elemenata sustava, stvarajući funkcionalnu cjelinu. Ključna prednost ovakvog pristupa leži u uspostavljanju visokofrekventne komunikacije između strojeva, ali i komunikacije s ljudima u stvarnom vremenu. Ovaj kontinuirani protok informacija omogućava brzu identifikaciju pogrešaka, praćenje statusa opreme i optimizaciju proizvodnog procesa.

Uvođenjem koncepta Industrije 4.0, poduzeća mogu eliminirati mnoge izazove s kojima su se suočavala u tradicionalnim sustavima. Povećana komunikacija između svih dijelova sustava doprinosi smanjenju ljudskih pogrešaka, ranoj detekciji kvarova te bržem prilagodljivosti promjenama u proizvodnji. Također, ova transformacija omogućava poduzećima da budu konkurentnija, učinkovitija i spremnija za suočavanje s dinamičkim izazovima tržišta.

### 3. PROŠIRENA STVARNOST (AR)

Proširena stvarnost (AR) može se definirati kao izravan ili neizravan pogled, u stvarnom vremenu, na fizičko okruženje stvarnog svijeta koji je poboljšan ili proširen dodavanjem virtualnih računalno generiranih informacija u njega. Jednostavniji definicija samog AR-a, bi bila most između stvarnog i virtualnog svijeta, tako što kombinira stvarne i virtualne objekte kako bi se postigla, kako i samo ime kaže, proširena stvarnost.

Proširena stvarnost je danas priznati i poznati koncept, no njegovi početci sežu u ne tako daleku 1968. godinu, kada je Ivan Sutherland razvio prvi AR prototip dok je radio na sveučilištu Harvard. Ovaj prototip, nazvan „Sword of Damocles”, bio je ogroman sustav obješen sa stropa koji je korisnicima dao mogućnost da vide jednostavne računalne grafike u stvarnom svijetu. Sutherlandov prototip bio je preteča današnjih AR sustava, postavljajući temelje za daljnji razvoj AR-a u raznim područjima, uključujući industriju, obrazovanje i zabavu [1].

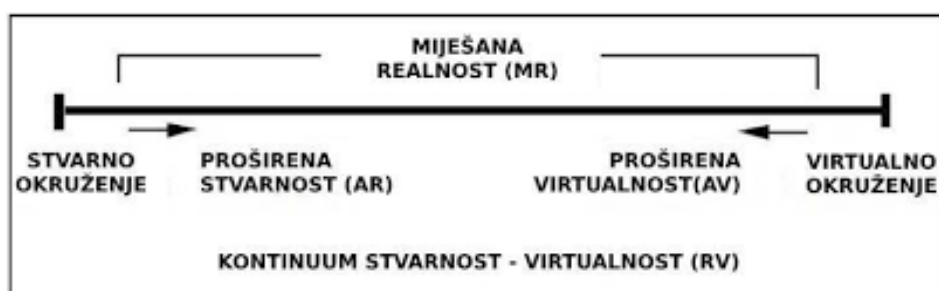


Slika 1. Prvi AR sustav "Sword of Damocles" [2]

Sustav nije bio poznat pod imenom AR, sve do 1990-ih godina kada su ga Tom Caudell i David Mizell, dva zaposlenika u Boeingu, tako nazvali. Oni su razvili AR sustav koji pojednostavljuje proizvodni proces samih zrakoplova. Radi se o sustavu koji je radnicima omogućava da vide

digitalne informacije, poput detaljnih uputa ili oznaka dok rade na stvarnim objektima. Takav koncept je primijenjen kako bi se olakšala montaža i održavanje zrakoplova.

Kontinuum stvarnosti-virtualnosti na kojem se bazira Proširena Stvarnost definiran je od strane Paula Milgrama i Fumia Kishina 1994. godine. Definira se kao kontinuum koji se proteže između stvarnog okoliša i virtualnog okoliša, obuhvaćajući Proširenu Stvarnost (AR) i Proširenu Virtualnost (AV) između njih. Po čemu je AR bliži stvarnom svijetu, a AV bliži čistom virtualnom okolišu [3].



Slika 2. Prikaz kontinuuma stvarnosti-virtualnosti [3]

Razvoj se nastavio u zatvorenim prostorijama laboratorija. S godinama AR oprema je postala javna, prihvatljivija i dostupnija. Samim razvojem pametnih telefona i tableta, AR tehnologija je postala široko dostupna. Zato što pametni telefoni i tableti sadrže sve potrebne senzore i procesorske jedinice za razvoj i implementaciju AR aplikacija. Proširena Stvarnost se prikazuje na ekranima pametnih telefona, tableta, pametnih naočala ili drugih uređaja. Isto tako, upravo kroz ekrane navedenih uređaja AR postaje interaktivan i registriran u 3D-u kombinirajući stvarne i virtualne objekte.

Pošto je bliža stvarnom svijetu, proširena stvarnost ima cilj pojednostaviti život korisnika donoseći virtualne informacije, ne samo u njegov neposredni okoliš, već i u bilo koji neizravni pogled na stvarni svijet. Važno je napomenuti da AR nije ograničen na određene vrste prikaznih tehnologija poput pametnih naočala (HoloLens), niti je ograničen samo na vid. AR potencijalno može utjecati na sva osjetila, poboljšavajući pritom miris, dodir i sluh. Također se može koristiti za poboljšanje ili zamjenu osjetila koja nedostaju korisnicima. No, u ovom radu, fokus će biti na vizualnom aspektu AR-a.

### 3.1. Razlika AR-a i VR-a

Ionako, često poznatija Virtualna Stvarnost, nije isto što i Proširena stvarnost. Proširena Stvarnost (AR) i Virtualna Stvarnost (VR) predstavljaju dva pristupa interakciji između digitalnog i stvarnog svijeta. Povezana su sa svojom sposobnošću transformiranja korisničkog iskustva, ali ipak imaju ključne razlike koje definiraju njihovu prirodu, primjenu i utjecaj.

Razlika leži u povezanosti sa stvarnim svijetom. AR održava vezu s okolinom korisnika dodajući digitalne informacije u stvarnom vremenu. Korisnici doživljavaju obogaćenu stvarnost, gdje se virtualni elementi integriraju u stvarne objekte i prostor. S druge strane, VR potpuno odvaja korisnika od stvarnog svijeta, uranjajući ga u potpuno virtualno okruženje. Korisnik postaje protagonist u alternativnom svijetu, gubi kontakt s fizičkom stvarnošću [4].

Isto tako, razlika je u vrsti doživljaja koju pružaju. AR obogaćuje stvarni svijet dodavanjem informacija ili objekata. VR, s druge strane, stvara potpuno novi, simulirani svijet. Korisnik postaje sudionik u virtualnom iskustvu, potpuno uronjen u digitalno stvoreni prostor. Bez svijesti o svojem okolišu.



**Slika 3. Head-mounted display (HMD) [5]**

Koriste se u različitim područjima, AR često nalazi svoje mjesto u svakodnevnim situacijama gdje korisnicima treba dodatna informacija u stvarnom vremenu, poput navigacije, obrazovanja, ili podrške u popravcima i održavanju. S druge strane, VR pronalazi svoje najšire



primjene u igrama, simulacijama, medicini, znanstvenim istraživanjima i drugim područjima gdje potpuna izolacija od stvarnog svijeta doprinosi autentičnosti iskustva.

Senzorska i prikazna tehnologija koju koriste AR i VR također se razlikuju. AR koristi senzore poput kamera i GPS-a za praćenje stvarnog okoliša, dok VR koristi senzore poput akcelerometara i žiroskopa te head-mounted display (HMD) uređaje za potpuno zatvoreno iskustvo.

Ionako su AR i VR spojeni u želji za transformacijom našeg iskustva, njihove različite karakteristike čine ih jedinstvenim tehnologijama s različitim potencijalima i primjenama. Dok AR briše granicu između stvarnog i virtualnog, VR nas vodi na put potpune imerzije u svijet koji postoji samo unutar digitalnih okvira.

### 3.2. Razlika AR-a i MR-a

Često se poistovjećuju Proširena stvarnost (AR) i Mješovita stvarnost (MR) zbog njihovog zajedničkog cilja spajanja stvarnog i virtualnog svijeta. Međutim, ključne razlike u načinu integracije i interakcije čine ih dvije zasebne tehnologije s jedinstvenim karakteristikama.

Dok AR donosi virtualne elemente u stvarni svijet, dodajući informacije ili objekte u korisničko okruženje, virtualni elementi su postavljeni na stvarne objekte, ali ne nužno integrirani s njima. Korisnici doživljavaju obogaćeni stvarni svijet s dodatkom digitalnih informacija. MR ide korak dalje integrirajući virtualne objekte s fizičkim objektima u stvarnom svijetu. To znači da virtualni elementi ne samo da postoje sa stvarnim objektima, već su i međusobno povezani, omogućujući dublje interakcije. Time se stvara fluidno iskustvo gdje stvarni i virtualni elementi zajedno čine jedinstveno okruženje [4].

Kako je već prije spomenuto, korisnici u AR-u doživljavaju dodatne informacije, ali interakcija između stvarnih i virtualnih elemenata ograničena je. Virtualni elementi ne reagiraju nužno na stvarne objekte, i obratno. MR omogućuje dinamičniju interakciju jer virtualni objekti mogu reagirati na stvarne objekte i obratno.

Osim toga, MR zahtijeva naprednije prikazne uređaje i senzore praćenja stvarnosti kako bi postigao dublju integraciju. Ovo može uključivati složenije sustave za precizno praćenje objekata u stvarnom okruženju. Dok za AR su dovoljni uređaji poput pametnih telefona, pametnih naočala ili drugih prikaznih sredstava. Senzori praćenja stvarnosti obično su uključeni, ali zahtjevi nisu tako visoki kao kod MR-a.

U konačnici, iako su AR i MR blisko povezani, MR donosi dodatnu dimenziju integracije i interakcije, stvarajući naprednije i dinamičnije iskustvo koje dublje spaja stvarni i virtualni svijet.

### 3.3. Alati i platforme

Razvoj AR-a je potaknuo rast i raznolikost alata i platformi, pružajući kreatorima i programerima sredstva za stvaranje fascinantnih AR aplikacija. Jedan od ključnih alata u svijetu AR-a je ARCore, razvijen od strane Googlea. Ovaj softverski kit omogućuje programerima da integriraju AR funkcionalnosti u Android aplikacije, koristeći funkcije poput praćenja pokreta, prepoznavanja površina i stvaranja imerzivnih iskustava. S druge strane, Appleov ARKit pruža slične mogućnosti, ciljajući iOS platformu. Ovi alati postavljaju temelje za mobilna AR iskustva koja su sveprisutna i pristupačna.



Slika 4. Appleove Vision Pro AR naočale za iOS platformu [6]

Platforme poput Unity i Unreal Engine igraju ključnu ulogu u razvoju AR sadržaja. Unity, s njegovim AR Foundation okvirom, olakšava stvaranje AR aplikacija koje podržavaju različite uređaje, uključujući pametne telefone i AR naočale. Unreal Engine, s ARKit i ARCore pluginovima, pruža moćan okvir za stvaranje visokokvalitetnih AR iskustava, posebno u igrama i vizualizacijama.

Microsoftov HoloLens platforma izdvaja se kao jedna od vodećih AR rješenja u industriji. HoloLens 2, napredne AR pametne naočale, integriraju virtualne elemente u stvarni svijet,

otvarajući vrata za primjene u proizvodnji, obrazovanju i medicini. Microsoftov ekosustav omogućuje razvoj posebno prilagođenih AR aplikacija.



**Slika 5. Aplikacija napravljena pomoću Unity platforme [7]**

Za web-bazirane AR aplikacije, WebXR standard postaje sve značajniji. Omogućava programerima da integriraju AR u web stranice i aplikacije, pružajući korisnicima lakoću pristupa AR sadržaju bez potrebe za preuzimanjem posebnih aplikacija.

Alati i platforme za AR igraju ključnu ulogu za daljnji razvoj digitalnog iskustva. Ove tehnologije ne samo da omogućuju programerima da stvaraju inovativne aplikacije već i proširuju granice onoga što je moguće u domeni proširene stvarnosti. Sa stalnim napretkom i rastom AR tehnologije, možemo očekivati još impresivnije alate i platforme koja će oblikovati naš digitalni svijet u budućnosti.

## 4. PRIMJENA PROŠIRENE STVARNOSTI U INDUSTRIJI

Primjena Proširene Stvarnosti (AR) obuhvaća širok spektar industrija i sektora, od zabave i obrazovanja do medicinske dijagnostike i vojnih operacija. U ovom radu, govoriće se o primjeni u industriji. Proširene stvarnosti u industriji ima široku primjenu. Široka primjena je obrazložena time što upravo s AR tehnologijom se štedi vrijeme i novac poduzetnika i poduzeća. Bilo da se radi o poboljšavanju komunikacija između dizajna i proizvodnje, gdje se AR tehnologija koristi kako bi se izbjegle pogreške u samom dizajnu proizvoda u ranim fazama razvojnog procesa. Upravo u takvom procesu, AR tehnologija štedi resurse poduzeća, smanjenjem fizičkih prototipa, a ujedno poboljšava i ubrzava razvoj proizvoda.

Primjenu AR tehnologije moguće je podijeliti u pet glavnih područja [8]:

- Održavanje, montaža i popravak
- Obuka
- Suradnja čovjeka i robota
- Kontrola kvalitete proizvoda
- Planiranje izgradnje postrojenja

### 4.1. Održavanje, montaža i popravak

Održavanje, montaža i popravak predstavljaju najvažnije područje za primjenu AR tehnologija. Zato što donosi značajne prednosti kroz poboljšanu učinkovitost, smanjenje vremena potrebnog za obavljanje zadataka, bolju sigurnost i poboljšanje obuke radne snage. AR aplikacije za održavanje i popravak predstavljaju digitalna rješenja koja koriste virtualne elemente kako bi pružila korisne informacije tehničarima. Ovi virtualni elementi obuhvaćaju različite medije, uključujući audio zapise s uputama, animirane 3D modele koji vizualno prikazuju korake postupka, te tekstualne oznake s detaljima o zadatku. Ti elementi se prikazuju na stvarnom stroju koji se održava, preklapajući se i poravnavajući prema stvarnim dijelovima, omogućujući tehničarima da ih koriste tijekom izvođenja postupka održavanja ili popravka. Uz to, ove AR aplikacije često uključuju i sustav daljinskog prisustva, pružajući udaljenim tehničarima interaktivnu podršku radnicima kada se AR pomoć pokaže nedovoljnom. Slična je primjena u

montaži, ionako je fokus veći na sklapanje novih produkta, stoga nema prevelike interakcije stvarnog i virtualnog svijeta.

#### 4.1.1. Održavanje

U području održavanja, AR postaje ključna figura u transformaciji tradicionalnih pristupa u proaktivno održavanje, sustave nadzora i simulaciju scenarija otkazivanja. Ovaj sveobuhvatni pristup integrira tehnološke inovacije kako bi unaprijedio učinkovitost i preciznost održavanja industrijskih sustava i opreme.

AR omogućuje proaktivno praćenje stanja opreme kroz integraciju senzorskih podataka. Tehničari dobivaju pristup stvarnom vremenu, primajući upozorenja i preventivne informacije o potencijalnim problemima. Ova tehnika minimizira rizik od neočekivanih kvarova, štedi vrijeme i smanjuje troškove održavanja, produžujući istovremeno životni vijek opreme.

Integracija nadzornih sustava s AR-a stvara povezanost između operativnog praćenja i održavanja. Tehničari imaju pristup ključnim pokazateljima izvedbe i trenutnom statusu opreme u stvarnom vremenu. Ova dinamična povezanost pojednostavljuje praćenje održavanja, omogućujući brze i informirane reakcije na promjene u performansama opreme.

Isto tako, AR omogućuje izradu realističnih simulacija različitih scenarija otkazivanja ili kvarova. Tehničari koriste te simulacije za virtualnu pripremu, analizirajući korake potrebne za rješavanje problema. Ovaj pristup omogućuje brze i precizne odluke tijekom stvarnih intervencija, smanjujući vrijeme u koje se ne može koristiti opreme. Simulacije također doprinose obuci tehničara, povećavajući njihove vještine i sigurnost pri radu.

#### 4.1.2. Montaža

Prilikom same montaže bitna je preciznost i vodstvo. Korištenjem kamera i senzora, AR precizno vodi radnike kroz svaki korak montažnog procesa. Vizualne smjernice i animacije pružaju informacije o postavljanju dijelova ili izvođenju određenih zadataka u stvarnom vremenu. To pomaže u održavanju točnosti i smanjenju mogućnosti grešaka. Prilikom montaža bitna je fleksibilnost, pogotovo na proizvodnim linijama. AR informira radnike o promjenama u proizvodnim linijama ili montažnim procesima. Radnici mogu brzo prilagoditi svoj pristup novim zahtjevima proizvodnje, čime se smanjuje vrijeme potrebno za prilagodbu proizvodnih linija. Ova fleksibilnost povećava ukupnu efikasnost proizvodnje [9].

Isto tako, AR omogućuje radnicima interaktivnu komunikaciju i dijeljenje informacija s drugim timskim članovima ili stručnjacima. To je posebno korisno kada se suočavaju s kompleksnim zadacima ili potrebom za brzom konzultacijom tijekom montaže.

Važno je spomenuti da prilikom montaže AR prikuplja podatke o performansi svojih korisnika. Prikupljeni podaci te dodatna analiza performansi omogućuje kontinuirano poboljšanje montažnih procesa. Tvrtke mogu identificirati mogućnosti optimizacije, smanjenja troškova i povećanja kvalitete proizvoda.

Samim time, AR tehnologija u montaži ne samo da poboljšava radničko iskustvo već i doprinosi ukupnoj učinkovitosti proizvodnog lanca, čineći montažu preciznijom, bržom i prilagodljivijom.

#### 4.1.3. Popravak

Prilikom popravaka, AR unapređuje radni prostor dodavanjem korisnih informacija izravno u stvarni svijet. Radnicima se mogu prikazati oznake alata, upute ili dijagnostički podaci pomoću AR uređaja, omogućujući im brz pristup svim potrebnim informacijama. Ovo obogaćivanje stvarnog svijeta povećava učinkovitost popravaka smanjujući vrijeme potrebno za pronalaženje alata i čitanje uputa. Još jedna stavaka prilikom primjene AR tehnologija u popravku je integracija CAD (Computer-Aided Design) modela u AR što omogućuje precizno planiranje postupaka popravka. Radnici mogu vizualizirati složene dijelove opreme, identificirati potrebne korake popravka i dobiti jasnu sliku o očekivanom rezultatu. Ovo smanjuje rizik od pogrešaka tijekom popravka i poboljšava opću točnost izvođenja radnih zadataka.

## 4.2. Obuka

AR tehnologija za obuku pokazala se ključnom u područjima održavanja, montaže i popravaka, gdje je često potrebno složeno razumijevanje procedura. Instruktori ju često koriste kako bi stvorili interaktivne scenarije i simulacije koji pomažu studentima da razumiju radne zadatke, smanjujući potrebu za stvarnim fizičkim iskustvom koje može biti skupo ili opasno. Osim toga, omogućuje stvaranje interaktivnih i personaliziranih obuka koje se prilagođavaju razini znanja i vještina svakog polaznika.

Primjena AR-a u obuci također donosi korist u praćenju napretka polaznika. Sustavi za praćenje mogu pratiti kako učenici integriraju s virtualnim scenarijima, pružajući uvid u područja koja zahtijevaju dodatnu pažnju ili podršku. Ovi podaci omogućuju prilagodljiv pristup učenju i optimizaciju nastavnog procesa.

Instruktori mogu iskoristiti AR kako bi razvili dinamične scenarije obuke, integrirajući stvarne radne situacije i izazove s kojima se radnici suočavaju. Poput buke koja je česta u postrojenjima. Takva interaktivna obuka omogućuje stvaranje simulacija održavanja, montaže i popravaka koje su bliske stvarnom radnom okruženju, što rezultira efikasnijim usvajanjem vještina.



**Slika 6. Obuka održavanja pogona zrakoplova [10]**

Isto tako, mobilnost AR tehnologije pruža dodatnu fleksibilnost obuci. Učenici mogu pristupiti trening materijalima putem svojih pametnih uređaja kad god je to potrebno, bilo da se nalaze na radnom mjestu, terenu ili kod kuće. Ovo olakšava kontinuirano učenje i ažuriranje vještina, što je posebno važno u dinamičnim industrijskim sektorima gdje tehnologija i procesi često mijenjaju.

S obzirom na trend rasta primjene AR tehnologije u obuci, možemo očekivati daljnje inovacije i poboljšanja. Integracija proširene stvarnosti s drugim tehnologijama poput umjetne inteligencije (AI) ili analitike podataka mogla bi dodatno optimizirati obrazovne procese, pružajući personalizirane iskustva i bolje razumijevanje individualnih potreba polaznika.

Sveukupni utjecaj AR tehnologije na obuku radnika u industriji nije samo trenutni trend, već dugoročna strategija koja će igrati ključnu ulogu u oblikovanju obrazovanja i razvoja vještina u 21. stoljeću.

#### **4.3. Suradnja čovjeka i robota**

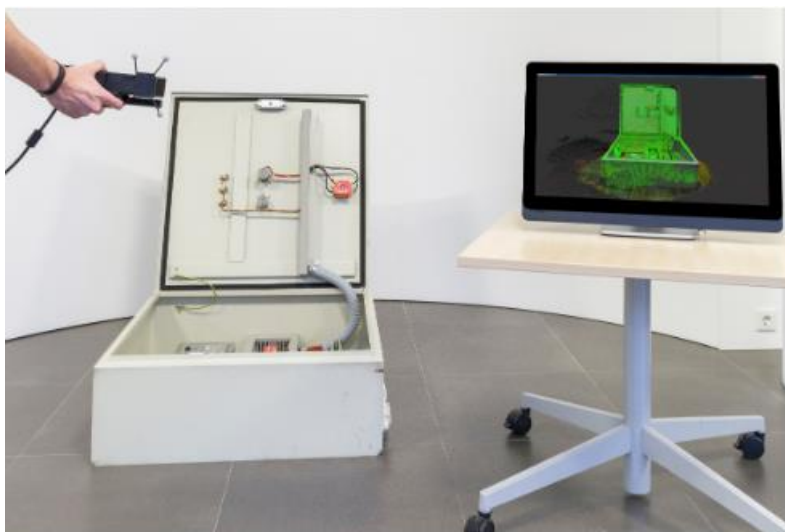
Stvaranje sigurnog i pouzdanog sustava suradnje između ljudi i robota predstavlja izazov. Suradnja između ljudi smatra se sigurnom jer ljudi prirodno razumiju namjere drugih. Kod robota, isto ponašanje postiže se prikazivanjem planiranih kretanja ili sila koje će robot

primijeniti u stvarnom okruženju, olakšavajući operateru razumijevanje namjera robota. AR tehnologija koristi se za pružanje informacija kontekstualiziranih u stvarnom okruženju, poboljšavajući svijest operatera o sustavu [11]. AR obećava poboljšati razumijevanje kretanja mobilnih robota, kretanja robotskih ruku i sila koje primjenjuje robot.

#### 4.4. Kontrola kvalitete proizvoda

Proces izrade proizvoda obuhvaća konceptualizaciju, dizajn i stvarnu realizaciju, a nakon toga slijedi inspekcija kako bi se osiguralo da nema pogrešaka te da proizvod odgovara predviđenom. Naglasak je na brzom i preciznom završetku cijelog procesa s rastućom tendencijom postizanja standarda savršenstva u proizvodnji.

Na kraju proizvodnog lanca, visokokvalitetne kontrole kvalitete osiguravaju plasman učinkovitih proizvoda koji najbolje zadovoljavaju očekivanja korisnika. Inspekcija proizvoda putem vizualnog pregleda, nazvana "provjera odstupanja", postaje složenija s povećanjem raznolikosti proizvoda [12]. U ovom kontekstu, proširena stvarnost (AR) pokazuje se obećavajućom tehnologijom omogućujući usporedbu stvarnog objekta s idealnim modelom.



**Slika 7. Kontrola kvalitete izrade pomoću AR-a [12]**

Korištenjem nosivih uređaja, operator može vizualizirati 3D prikaz idealnog objekta preklopljenog na stvarni proizvod. Primjena AR-a u inspekciji proizvoda pokazuje se kao brz i precizan pristup, poboljšavajući učinkovitost sustava.



Napredniji AR sustavi, poput onih s dubinskim kamerama, mogu u stvarnom vremenu rekonstruirati 3D scenu objekta, omogućujući trenutačnu inspekciju s visokom preciznošću od 0,01 m. Ova tehnologija obećava unaprjeđenje procesa inspekcije proizvoda, čineći ga učinkovitijim i preciznijim. Jedan od takvih je istraživanje O. Wasenmüllera [12].



Slika 8. Microsoft Kinect v2 korišten u istraživanju O. Wasenmüller [12]

#### 4.5. Planiranje izgradnje postrojenja

Kako je već prije spomenuto, AR tehnologija se može koristiti u svrhu planiranja postrojenja. To predstavlja inovativan pristup koji vizualno obogaćuje procese organizacije proizvodnih prostora. Umjesto tradicionalnih pristupa, planeri sada imaju mogućnost pregledavanja trodimenzionalnih modela tvorničkih postrojenja izravno u stvarnom okruženju putem nosivih uređaja poput pametnih naočala.

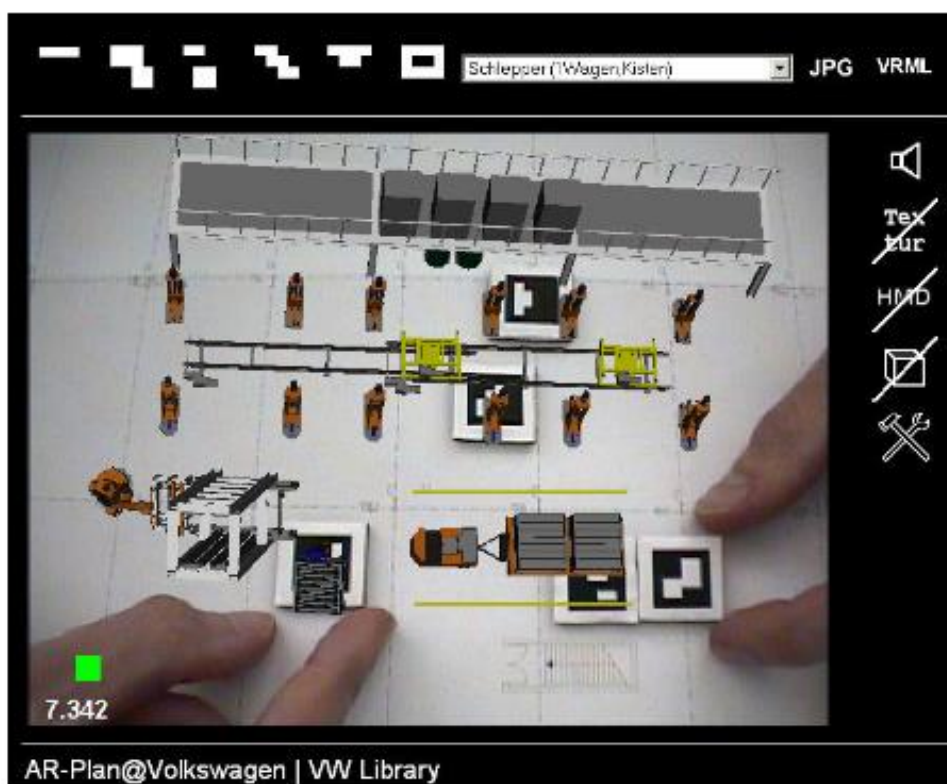
Ova interaktivnost sa stvarnim okolišem omogućuje brzu provjeru izvedivosti planova, identifikaciju izazova te optimizaciju rasporeda opreme. Štoviše, AR tehnologija podržava kooperativno planiranje, omogućujući sudionicima iz udaljenih lokacija zajednički pregled virtualnih modela, dijeljenje informacija i zajednički rad na unapređenju rasporeda tvorničkih elemenata. Što je još jedna od prednosti nad tradicionalnim pristupom.

Osim vizualizacije, AR sustavi omogućuju pristup dokumentima poput crteža i specifikacija, čime se povećava informiranost planera i olakšava proces donošenja odluka. Praktična primjena AR sustava na stvarnim planerskim problemima, kao što je planiranje automobilske tvornice,

potvrđuje njegovu učinkovitost u stvarnim uvjetima, omogućavajući prilagodbu prema specifičnim potrebama.

Implementacija web-tehnologije u AR sustav pridonosi fleksibilnosti korištenja u različitim okruženjima te olakšava pristup podacima putem standardiziranih sučelja, čime se pojednostavljuje integracija s postojećim sustavima. Kombinacija ovih elemenata čini AR tehnologiju ključnim alatom za unapređenje efikasnosti, suradnje i kvalitete donesenih odluka u planiranju tvorničkih postrojenja.

Jedan od primjera korištenja AR tehnologija je interaktivno planiranje na stolu [13]. To je tehnika koja koristi AR sustav kako bi omogućila korisnicima da na stolu fizički postave virtualne objekte ili informacije povezane s planiranjem proizvodnje.



Slika 9. Interaktivno planiranje na stolu postrojenja VW-a pomoću AR-a [13]

Stol zapravo postaje interaktivno sučelje s integriranim AR tehnologijama. Korisnici, koristeći nosive uređaje poput pametnih naočala ili pametnih telefona, mogu vizualizirati trodimenzionalne modele tvorničkih postrojenja, opreme ili planova direktno na stolu. Interaktivnost dolazi do izražaja kroz geste ili dodire po stolu kako bi korisnici manipulirali virtualnim objektima, označavali podatke ili mijenjali raspored opreme.

#### 4.6. Prednosti i izazovi Proširene Stvarnosti

Kao i svaka nova tehnologija, AR ima svoje prednosti i mane, odnosno izazove. Jedna od ključnih prednosti AR-a leži u obogaćenju korisničkog iskustva. Dodavanje dodatnih slojeva informacija stvarnom svijetu čini interakciju dubljom i zanimljivijom. Primjetan je posebno u već prije spomenutim područjima edukacije i obuke gdje se koristi za stvaranje interaktivnih i dinamičnih iskustava. Isto tako, pojednostavnjuje samu edukaciju i čini ju dostupnom bez obzira na lokaciju.

Osim toga, povećana produktivnost je značajna prednost AR tehnologije. U poslovnom okruženju, radnici mogu koristiti AR uređaje kako bi brže i učinkovitije obavljali zadatke. Mogućnost pristupa informacijama u stvarnom vremenu značajno unapređuje radne procese. Upravo ta povećana produktivnost je jedna od osnovni obilježja novih industrija.

S druge strane, ima i značajan potencijal za poboljšanje sigurnosti korisnika ili radnika. Kroz prikazivanje relevantnih informacija o okolini, AR uređaji doprinose smanjenju rizika u situacijama poput vožnje ili rada na gradilištima.

Unatoč tim prednostima, suočavamo se s nizom izazova u implementaciji AR tehnologije. Tehnički izazovi, poput potrebe za sofisticiranim sensorima i visokokvalitetnim zaslonima, predstavljaju poteškoće u širem usvajanju te tehnologije. Takva tehnologija je idalje relativno skupa, te dovodi u pitanju „Koliko novu vrijednost nam daje takva tehnologija?“, što utječe na samu odluku o nabavljanju uređaja.

Pitanja privatnosti i sigurnosti postaju važna, s obzirom na to da AR uređaji prikupljaju informacije o stvarnom svijetu i korisnicima. Rješavanje ovih pitanja ključno je za održavanje povjerenja korisnika. Nedostatak standardizacije u AR tehnologiji također predstavlja izazov, otežavajući suradnju između različitih platformi [14]. Razvoj zajedničkih standarda postaje imperativ za integraciju AR-a u različite sektore.

Upravo zato što se radi o digitalno tehnologiji, postoji zabrinutost od ovisnosti o tehnologiji, budući da AR sve više postaje sastavni dio svakodnevnog života. Održavanje ravnoteže i svijesti o upotrebi tehnologije ključno je kako bi AR obogatilo, a ne zamijenio stvarni svijet.

#### 4.7. Analiza prednosti i izazova s fokusom na HoloLens 2 uređaj

Jedan od vodećih AR rješenja u industriji je Microsoft HoloLens 2 uređaj. Upravo njegovo korištenje otkriva niz prednosti i izazova koji će se analizirati u nastavku, a odnose se na optimizaciju proizvodnje. Prethodno nabrojani izazovi i prednosti biti će dodatno objašnjene s fokusom na uređaj HoloLens 2.

#### 4.7.1. Prednosti

Jedna od ključnih prednosti je poboljšana produktivnost radnika. HoloLens 2 omogućuje radnicima pristup relevantnim informacijama i uputama u stvarnom vremenu, eliminirajući potrebu za prekidom rada ili pretraživanjem papirnatih uputa. Ovo direktno povećava produktivnost radnika u proizvodnji, omogućujući im da brzo pristupe potrebnim informacijama bez gubitka vremena. Primjer takvog korištenja, bit će prikazan u nastavku rada. HoloLens 2 značajno smanjuje vrijeme obuke novih radnika. Interaktivne simulacije na uređaju omogućuju radnicima da uče kroz iskustveno učenje, što može biti znatno učinkovitije od tradicionalnih metoda obuke. Ovo ubrzava proces usvajanja novih vještina i procedura, smanjujući troškove i vrijeme potrebno za obuku. Isto tako, same obuke se mogu odvijati u postrojenjima bez utjecaja na same procese. Radnik ima pristup informacijama u stvarnom vremenu, u realnim uvjetima. S time obuka postaje realnija.

Još jedan važan aspekt je optimizacija procesa održavanja i popravaka. Tehničari mogu koristiti uređaj kako bi dobili detaljne upute za održavanje i popravke izravno u svom vidnom polju, jedna od osnovnih funkcija samog HoloLens 2 uređaja. Ovo smanjuje vrijeme potrebno za dijagnosticiranje problema i povećava učinkovitost održavanja opreme, što rezultira manjim zastojevima u proizvodnji. Dodatno im omogućuje komunikaciju s tehničarima koji se ne nalaze u postrojenju, što dodaje drugo mišljenje i time olakšava i skraćuje trajanje održavanja i popravaka.

Vizualizacija kompleksnih procesa je još jedna ključna prednost. HoloLens 2, ujedno i AR tehnologija omogućuje vizualizaciju složenih procesa i podataka putem virtualnih elemenata koji se prikazuju u stvarnom okruženju. Ovo olakšava razumijevanje procesa i identifikaciju potencijalnih poboljšanja, doprinoseći efikasnijem radu i optimizaciji proizvodnih procesa.

Konačno, AR tehnologija pruža sredstvo za smanjenje grešaka i poboljšanje kvalitete proizvoda. Radnici mogu koristiti HoloLens 2 za usporedbu stvarnih proizvoda s digitalnim modelima i identificiranje eventualnih nedostataka. Ovo rezultira smanjenjem broja grešaka i poboljšanjem kvalitete finalnih proizvoda, što doprinosi povećanju zadovoljstva kupaca i reputaciji tvrtke.

#### 4.7.2. Izazovi

Unatoč nizu prednosti, postoje i izazovi u implementaciji AR tehnologije u proizvodnju. Fokusirajući se na analizu izazova koji se javljaju prilikom implementacije AR tehnologije,

posebno uz korištenje uređaja poput HoloLens 2, otkrivamo niz faktora koji mogu utjecati na uspješnost ovog procesa.

Jedan od glavnih izazova su troškovi implementacije. Uvođenje HoloLens 2 uređaja, može biti financijski zahtjevno. Tvrtke moraju uložiti znatna sredstva u nabavu hardvera, razvoj softvera i obuku osoblja. Ovi troškovi mogu predstavljati značajan financijski teret, posebno za manje tvrtke.

Integracija s postojećim sustavima također predstavlja izazov. Integracija HoloLens 2 uređaja s postojećim informacijskim sustavima u tvrtki može biti složen proces. Potrebno je osigurati kompatibilnost s postojećim softverom i tehnologijama kako bi se osigurala glatka suradnja. Ovo može zahtijevati dodatne resurse i vrijeme za implementaciju.

Pitanja sigurnosti i privatnosti su također važna u kontekstu korištenja AR tehnologije u radnom okruženju. Zaposlenici i tvrtke mogu imati opravdane zabrinutosti u vezi sa sigurnošću podataka i privatnošću. Tvrtke moraju osigurati da su podaci zaštićeni od neovlaštenog pristupa i zloupotrebe kako bi očuvali povjerenje zaposlenika i osigurali uspješnu implementaciju tehnologije.

Potreba za obukom osoblja je još jedan važan aspekt. Korištenje AR tehnologije zahtijeva obuku osoblja kako bi se osigurala pravilna upotreba i maksimalna učinkovitost. Tvrtke moraju uložiti vrijeme i resurse u obuku osoblja kako bi osigurale uspješnu implementaciju tehnologije. Nedostatak odgovarajuće obuke može rezultirati nepotpunim korištenjem potencijala HoloLens 2 uređaja i smanjiti njegovu efikasnost.

Ograničenja tehnologije predstavljaju dodatni izazov. Iako AR tehnologija, poput HoloLens 2, donosi brojne prednosti, još uvijek postoje određena ograničenja u pogledu performansi, autonomije baterije i udobnosti nošenja uređaja. Isto tako, dugotrajno korištenje uređaja može imati posljedice na fizičko zdravlje samog radnika, iako je većina tih posljedica obično manje ozbiljne i privremene. Napredak u tehnologiji može s vremenom riješiti ove izazove, ali trenutno predstavljaju faktore koje tvrtke trebaju uzeti u obzir prilikom implementacije.

Upravljanje ovim izazovima zahtijeva pažljivo planiranje, resursima, i stručno znanje kako bi se osigurala uspješna integracija HoloLens 2 uređaja u proizvodni proces. Unatoč izazovima, pravilno rukovanje ovim faktorima može rezultirati maksimalnim iskorištavanjem prednosti koje HoloLens 2 nudi u kontekstu proizvodnje.

## 5. MONTAŽA JOY-IT ROBOT POMOĆU AR-A

Ovaj rad ima za cilj istražiti primjenu proširene stvarnosti (AR) u kontekstu optimizacije proizvodnje. U svrhu toga, izrađena je montaže robota pomoću AR tehnologije. Kako bi se primjenom tog jednostavnog proizvodnog procesa analiziralo kako AR tehnologije pridonose poboljšanju procesa montaže, istovremeno identificirajući izazove s kojima se može susresti te prednosti. Izrađena uputa za montažu robota u AR-u omogućuje korisnicima da vizualno i interaktivno upravljaju montažnim zadacima pomoću AR uređaja. No, o tome više u nastavku.

### 5.1. Korištena oprema

Osnovna oprema korištena pri izradi uputstva za montažu robota obuhvaćala je sofisticiranu tehnologiju u obliku pametnih naočala i prijenosnog računala. Specifično, pametne naočale koje su se koristile bile su model HoloLens 2, proizveden od strane Microsofta. HoloLens 2 predstavlja vrhunac razvoja široko dostupne opreme u području proširene stvarnosti (AR), pružajući napredna AR iskustva koja unaprjeđuju način interakcije s digitalnim sadržajem. Ove napredne pametne naočale omogućuju korisnicima da dožive spoj stvarnog i virtualnog svijeta, čime se otvaraju vrata inovativnim mogućnostima u područjima poput montaže robota.

Tablica 1. pruža pregled ključnih tehničkih specifikacija korištenog HoloLens 2 uređaja. Osim HoloLensa, za izradu uputstva za montažu korišten je softverski program SolidWorks, koji je poznat po svojoj preciznosti i sposobnosti stvaranja detaljnih 3D modela. SolidWorks je bio ključan alat u procesu izrade uputstva. Tako što je omogućio da se stvore virtualni prikazi svake komponente robota, što olakšava precizno planiranje i analizu. Upravo ti CAD modeli su ključni prilikom korištenja AR tehnologije u montaži.

**Tablica 1. Tehničke specifikacije HoloLens 2 [15]**

Tehničke Specifikacije	Vrijednost
Vidno Polje	<ul style="list-style-type: none"> <li>Horizontalno: Približno 52 stupnjeva</li> <li>Diagonalno: Približno 67 stupnjeva</li> </ul>
Rezolucija Zaslona	<ul style="list-style-type: none"> <li>2K rezolucija na svakom oku (2048 x 1080 piksela po oku)</li> </ul>
Senzori za Praćenje Pokreta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Senzori za praćenje pokreta glave, uključujući žiroskop i akcelerometar</li> <li>Senzori za praćenje pokreta ruku</li> </ul>
Kamere	<ul style="list-style-type: none"> <li>8 MP kamera s automatskim fokusom</li> <li>Tof kamera za dubinu</li> </ul>
Zvuk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrirani zvučnici</li> <li>Integrirani mikrofoni za glasovne naredbe</li> <li>3,5 mm audio priključak</li> </ul>
Procesor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualcomm Snapdragon 850 procesor</li> </ul>
Radna Memorija (RAM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 GB RAM</li> </ul>
Pohrana	<ul style="list-style-type: none"> <li>64 GB unutarnje pohrane</li> </ul>
Baterija	<ul style="list-style-type: none"> <li>Litij-ionska baterija</li> <li>Do 3 sata intenzivnog korištenja</li> </ul>
Težina	<ul style="list-style-type: none"> <li>556 g</li> </ul>
Operativni Sustav	<ul style="list-style-type: none"> <li>Windows 10 IoT Enterprise</li> </ul>
Povezanost	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wi-Fi (802.11ac)</li> <li>Bluetooth 5.0</li> <li>USB-C</li> </ul>

Za implementaciju samih uputstava na HoloLens naočale korišten je Microsoft Dynamics 365 Guides, softver koji omogućuje stvaranje interaktivnih vodiča i uputa, te jedini softver koji je kompatibilan s HoloLensom za izradu ovakvih uputstva. Taj softver integrira se s HoloLens uređajem kako bi korisnicima pružio vizualne smjernice tijekom procesa montaže. Kroz Microsoft Dynamics 365 Guides, korisnici mogu doživjeti korake montaže na stvaran način, uz prikaz digitalnih informacija koje se pojavljuju u njihovom stvarnom vidnom polju.



**Slika 10. HoloLens 2 [15]**

Kombinacija HoloLensa, SolidWorksa i Microsoft Dynamics 365 Guidesa predstavlja sofisticiranu tehničku infrastrukturu koja omogućuje inženjerima da stvaraju, analiziraju i implementiraju složene montažne procese uz visok stupanj preciznosti i efikasnosti. Ova integracija tehnologija pruža napredno AR iskustvo, unaprjeđujući radne procese.

## **5.2. Priprema radne postaje**

Kako bi se postigli što precizniju simulaciju montaže unutar postrojenja, nužno je bilo pripremiti radnu postaju opremljenu svim potrebnim dijelovima za sastavljanje Joy-it robota. Robot se sastoji od 34 različitih vrsta dijelova, uključujući senzore, matice i ostale komponente koje čine kompletnu strukturu. Svaki pojedinačni dio pažljivo je smješten u vlastitu posudicu ili na vlastitu poziciju kako bi se izbjegla konfuzija i kako bi nesortiranost dijelova imala minimalan utjecaj na implementaciju AR tehnologije.





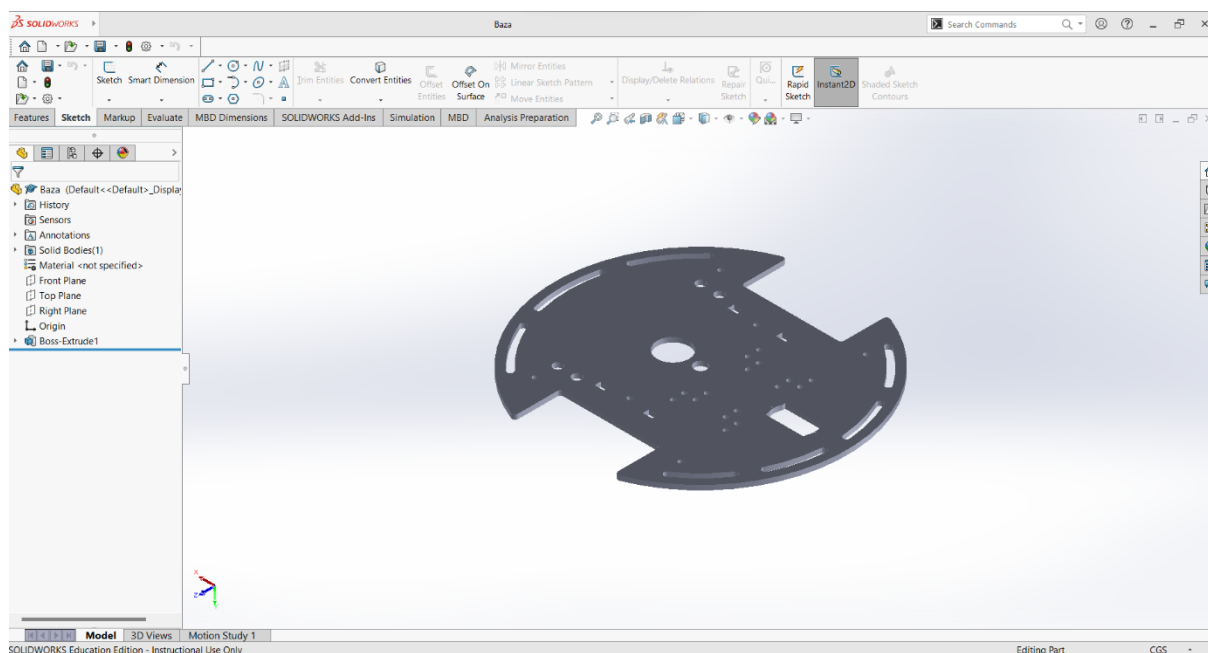
**Slika 11. Radna postaja**

Ova pažljiva organizacija radne postaje ključna je za učinkovitu primjenu proširene stvarnosti tijekom procesa montaže. Kada korisnik započne s radom, svi dijelovi su na dohvat ruke, omogućujući mu brzo i precizno postavljanje komponenti. Sustav posudica čini cijeli proces preglednim i olakšava rad inženjerima, istovremeno povećavajući točnost i efikasnost u izgradnji robota.

### **5.3. Izrada CAD modela**

Nakon što je radna postaja bila spremna, sljedeći korak bio je izrada detaljnih CAD modela potrebnih za upute za montažu. Kako bi se osigurala preciznost i savršeno uklapanje dijelova, koristio se već prije spomenuti SolidWorks, sofisticirani softver za izradu CAD modela. Prije samog modeliranja, nužno je bilo izmjeriti svaki dio robota kako bi dimenzije bili dosljedne fizičkim komponentama, osiguravajući time besprijekornu primjenu tehnologije tijekom montaže.

Ovaj korak igra ključnu ulogu u stvaranju virtualne reprezentacije svakog dijela robota, omogućujući korisnicima da dobiju jasnu sliku očekivanog izgleda i postavke. Preciznost u izradi CAD modela osigurava da virtualna montaža bude što vjernije odražavanje stvarnog postupka sastavljanja, čime se osigurava besprijekorno usklađivanje stvarnih i virtualnih komponenti.

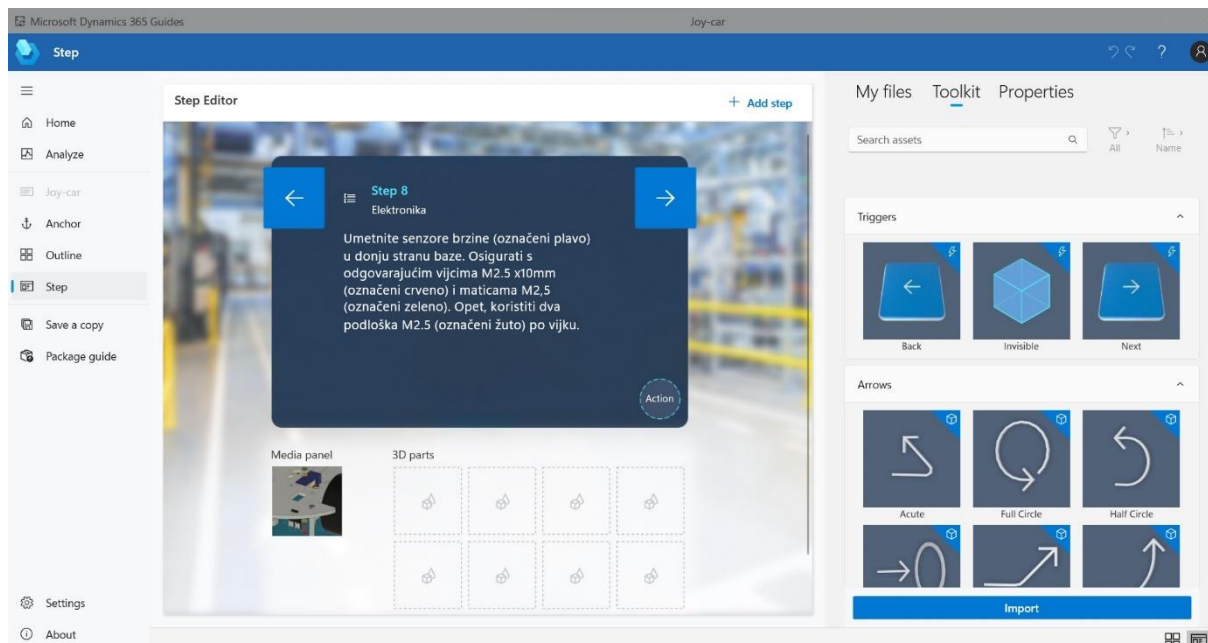


**Slika 12. Baza Joy-it robota u softveru SolidWorks**

To je ključno za ispravno vođenje korisnika kroz montažu pomoću AR tehnologije, čime se postiže optimalna integracija između fizičkog i digitalnog svijeta. Korisnik ne gubi vrijeme na traženje komponenata i provjeru njihove ispravnosti. Stoga je posvećena značajna količina vremena kako bi se osigurala što točnija i preciznija virtualna reprezentacija svakog dijela robota.

#### **5.4. Microsoft Dynamics 365 Guides**

Nakon temeljitog uređenja i optimizacije radnog okoliša te izrade svih nužnih CAD modela, sljedeći korak bio je sastavljanje uputa koje uključuju tekstualne opise, medijski sadržaj i povezivanje s izrađenim CAD modelima. Tekstualni dio uputa koristio se kako bi precizno opisao poziciju svakog dijela, detaljno objasnio postupak montaže te skrenuo pažnju na bitne detalje, poput pravilnog zatezanja matice. Cilj je bio pružiti jasna i precizna uputstva koja olakšavaju proces montaže.



**Slika 13. Korak u programu Microsoft Dynamics 365 Guides**

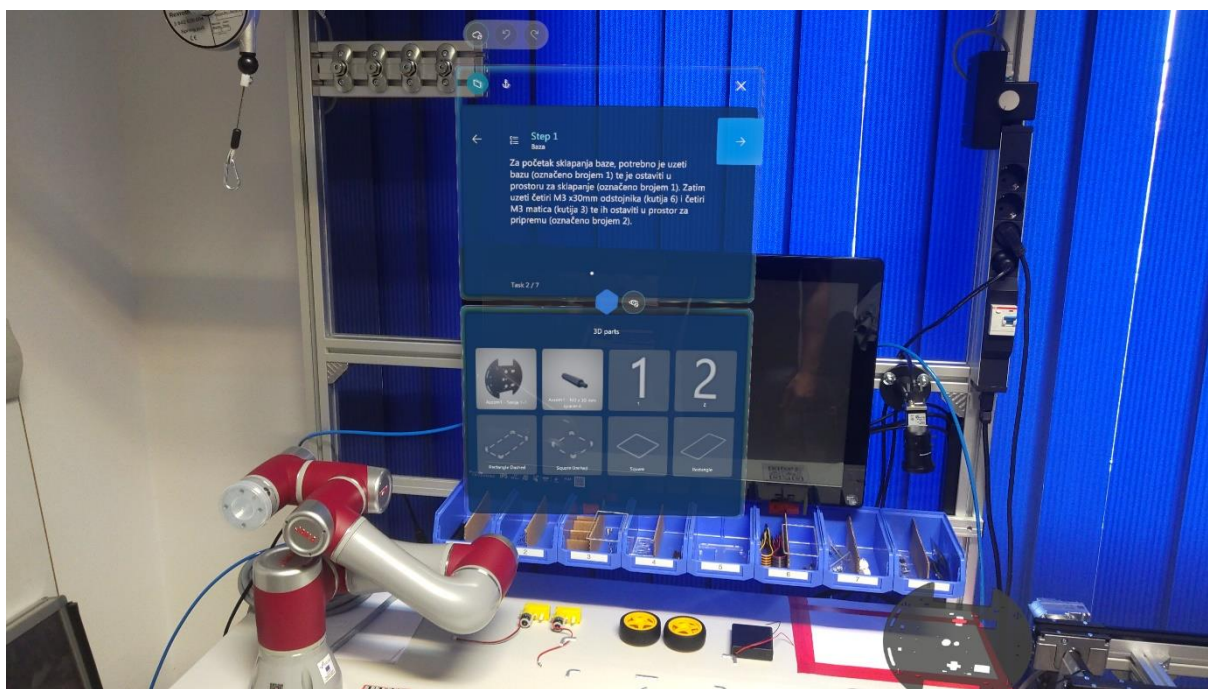
Medijski sadržaj, uključujući vizualne i video elemente, dodan je kako bi pružio dodatnu podršku u razumijevanju postupaka montaže. Ovi materijali koristili su se za vizualnu provjeru izgleda uzoraka i pregled njihove funkcionalnosti.

Microsoft Dynamics 365 Guides izabran je kao alat za povezivanje između pripremljenih uputa i AR uređaja HoloLens 2. Njegova visoka optimizacija omogućava jednostavnu integraciju s HoloLensom 2. Uputstva su u sklopu programa podijeljena u cjeline, a svaka cjelina se sastoji od određenog broja koraka. U same korake moguće je dodavati CAD modele i medijske sadržaje, kako to prikazuje slika 11., dodatno je moguće dodati strjelice, geometrijske oblike, brojeve itd.

Osim toga, prednosti poput kompatibilnosti s Microsoft Teams pružaju potpunu fleksibilnost u radu i komunikaciji tijekom procesa montaže. Integracija s Microsoft Teams omogućava timsku suradnju u stvarnom vremenu, što dodatno olakšava razmjenu informacija i rješavanje eventualnih poteškoća. Ovaj integrirani pristup osigurava efikasan i koordiniran rad tijekom cijelog procesa montaže robota.

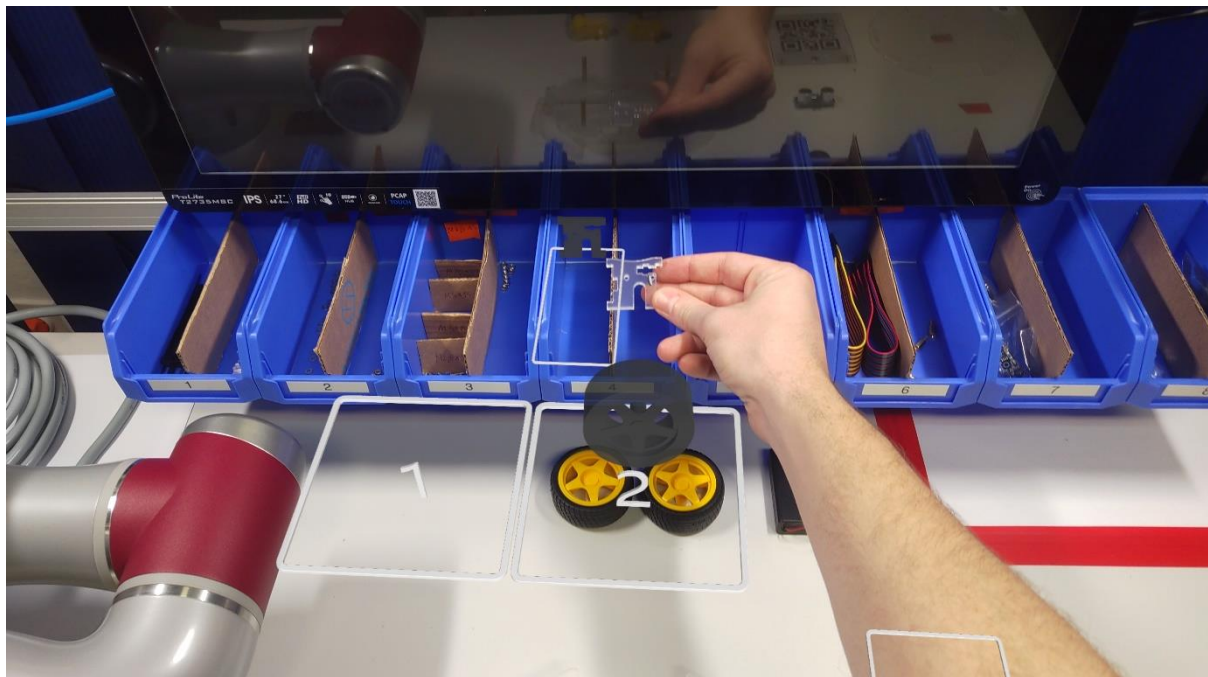
## 5.5. Integracija u AR

Završni korak u procesu izrade uputstva montaže bio je integriranje svih elemenata u proširenoj stvarnosti (AR). Prvo, korišten je QR kod kako bi se označio radni stol. To je omogućilo postavljanje takozvanog sidra koje će HoloLens koristiti kao referencu prilikom umetanja virtualnih komponenti u stvarni svijet.



**Slika 14. Integracija CAD modela u stvarni prostor pomoću HoloLensa**

Nakon označavanja radnog stola, uslijedila je integracija virtualnih komponenti u stvarni svijet. Ovaj proces uključivao je označavanje kutija s dijelovima, postavljanje virtualnih CAD modela i drugih relevantnih elemenata. Kako bi se olakšao proces, korištena je opcija "Kopiranje pozicije" koja je bila posebno korisna za često korištena područja za pripremu i sklapanje. Precizno pozicioniranje teksta i medijskih sadržaja također je zahtijevalo pažljivo postavljanje kako bi bili lako uočljivi i vidljivi tijekom procesa montaže. Označavanje područja za pripremu i sklapanje izvedeno je pomoću virtualnih kvadrata i pravokutnika te numeričkih vrijednosti kako bi se osigurala točnost pozicioniranja. Sve ove mjere doprinose glatkoj i učinkovitoj integraciji AR tehnologije u proces montaže robota



**Slika 15. CAD modeli i označene kutije prilikom montaže**

### **5.6. Uputstva za montažu**

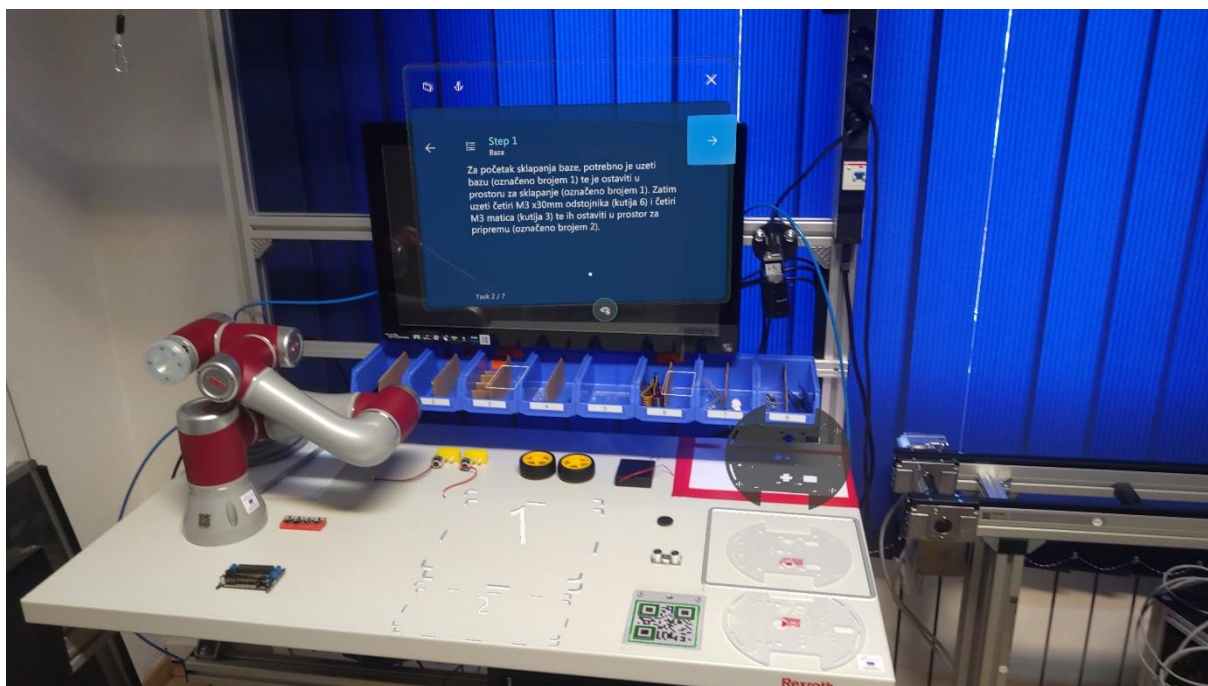
Ova struktura virtualnih uputa za montažu, podijeljena prema pet ključnih područja (Baza, Pogon, Elektronika, Šasija i Ožičenje), pruža sustavan i jasan pristup samom procesu. Svako područje ima svoju specifičnost i važnost unutar cjelokupne montaže, čime se olakšava orijentacija i fokus korisnika.

Primjena ovakve segmentacije ima višestruke koristi. Prvo, omogućuje korisnicima da se fokusiraju na određeni aspekt montaže, što može povećati preciznost i učinkovitost. Osim toga, pridržavanje područja kao što su Baza, Pogon i Elektronika olakšava praćenje procesa, čineći ga logičkim i intuitivnim.



**Slika 16. Provjera ispravnosti montaže**

U svakom od ovih područja, virtualna stvarnost omogućuje korisnicima interakciju s virtualnim modelima i komponentama, pružajući im dublje razumijevanje svakog dijela robota. Na primjer, u dijelu Baza, korisnici mogu proučiti detalje baze robota, dok u dijelu Pogon mogu istražiti komponente odgovorne za pokretanje.



**Slika 17. Prvi korak u montaži baze robota**

Osim toga, svako područje uključuje specifične zahtjeve i provjere koje korisnicima pomažu u osiguravanju ispravne montaže. Na taj način, virtualna uputstva ne samo da olakšavaju proces montaže, već i pružaju obuku i smjernice koje smanjuju mogućnost grešaka. Kroz inovativno korištenje virtualne stvarnosti i strukturiranje uputa na ovaj način, postiže se integrirano iskustvo koje nadmašuje tradicionalna pisana uputstva, čineći montažu robota pristupačnijom i učinkovitijom.

## **5.7. Analiza prema Lean menadžment principima**

Primjena AR tehnologije u navedenom procesu ima cilj optimizacije procesa montaže robota, Počevši od pripreme radne postaje i označavanje prostora za montažu, korištenjem Microsoft HoloLens 2 pametnih naočala. CAD modeliranje u programu SolidWorks koristilo se za izradu preciznih 3D modela dijelova robota. Mjerenje i dimenzioniranje svakog dijela osiguralo je točnost modela i spriječilo potencijalne probleme u montaži. Lean menadžment principi primijenjeni su tijekom cijelog procesa, od eliminacije nepotrebnih koraka do implementacije Just-In-Time (JIT) načela za učinkovitu isporuku dijelova.

Upravo JIT potiče dostavljanje dijelova i informacija točno u vrijeme kada su potrebni za montažu. Kroz virtualne upute, JIT princip može se primijeniti preciznim praćenjem napretka u stvarnom vremenu te prilagodbom isporuke dijelova prema potrebama, smanjujući zalihe i troškove skladištenja [16].

U izradi uputa za montažu, tekstualni opisi kombinirani su s vizualnim elementima kroz Microsoft Dynamics 365 Guides. Upravo to omogućuje jasna i jednostavna uputstva, smanjujući mogućnost grešaka i poboljšavajući brzinu izvođenja. Istovremeno, upute su podijeljene u pet područja (Baza, Pogon, Elektronika, Šasija, Ožičenje) kako bi se olakšala segmentacija i praćenje montaže. Lean menadžment potiče eliminaciju svih koraka koji ne dodaju vrijednost proizvodu ili usluzi. U kontekstu montaže robota, AR omogućuje precizno fokusiranje na ključne korake, eliminirajući nepotrebne aktivnosti ili čekanja. Time se smanjuje vrijeme cijelog procesa. Što je jedno od najvažnijih aspekta Lean menadžmenta.

Isto tako, potiče rješavanje problema i osiguranje kvalitete na samom izvoru. U kontekstu virtualnih uputa, moguće je ugraditi provjere kvalitete tijekom samog procesa montaže, identificirajući i rješavajući potencijalne probleme prije nego što postanu ozbiljni [16].



**Slika 18. Provjera kvalitete montaže na samom izvoru**

Koristeći QR kodove, radna postaja je označena, a virtualni elementi integrirani u stvarno okruženje. Jasno označeni područja za pripremu i sklapanje dodatno su pojednostavili proces. Kroz proširenu stvarnost, angažman zaposlenika potaknut je boljim razumijevanjem zadataka, a kontinuirano praćenje performansi omogućilo je identifikaciju područja za unapređenje.

U konačnici, ovakav integrirani pristup ne samo da olakšava montažu robota već i potiče kontinuirano unapređenje, postićući učinkovitu, preciznu, i kvalitetnu proizvodnju uz maksimalno iskorištavanje resursa. Sve navedene komponente čine sustav koji nije samo tehnološki napredan već i temeljen na principima efikasnosti i smanjenja gubitaka.



## 6. ZAKLJUČAK

U zaključku ovog rada o primjeni proširene stvarnosti (AR) u optimizaciji proizvodnih procesa, jasno je da AR tehnologija ima značajan potencijal za transformaciju industrijskih operacija. Integracija virtualnih elemenata u stvarni svijet pruža operaterima, inženjerima i radnicima alate koji poboljšavaju efikasnost, preciznost i ukupno iskustvo u proizvodnji.

Jedno od ključnih saznanja je da AR omogućuje eliminaciju nepotrebnih koraka u procesu montaže, smanjenje vremena ciklusa i povećanje produktivnosti. Prikazivanje relevantnih informacija u stvarnom vremenu, poput uputa za montažu ili informacija o održavanju, pomaže radnicima da brže donose odluke i smanjuju mogućnost grešaka.

Uspješne primjene AR tehnologije u industriji uključuju korištenje pametnih naočala poput HoloLens 2, koje omogućuju radnicima da vide virtualne komponente i upute predočene na stvarnom radnom okruženju. Osim toga, softverski alati poput ARCore i ARKit pridonose mobilnim AR rješenjima koja su pristupačna širokom spektru uređaja.

Unatoč postignućima, potrebno je razmotriti nekoliko aspekata kako bi se poboljšala primjena AR tehnologije u optimizaciji proizvodnih procesa. Prvo, daljnji razvoj hardverskih rješenja, poput naprednijih AR naočala s većim vidnim poljem i duljom baterijom, pridonosi boljem korisničkom iskustvu. Također, kontinuirano unapređenje softverskih alata za izradu AR sadržaja, uz naglasak na intuitivnosti i prilagodljivosti, ključno je za širu usvajanje tehnologije. Prijedlog za poboljšanje uključuje i daljnje istraživanje i razvoj AR aplikacija specifičnih za određene industrije, kako bi se prilagodile specifičnostima proizvodnih procesa. Edukacija radnika o prednostima i pravilnom korištenju AR tehnologije također je ključna komponenta uspješne implementacije.

Nadopunjujući prijedlog, preporučuje se uspostava sustava za praćenje učinkovitosti AR tehnologije u stvarnom vremenu, s fokusom na ključne pokazatelje performansi (KPI) radi evaluacije stvarnog poboljšanja proizvodnih procesa. Redovita analiza rezultata omogućava identifikaciju prilika za optimizaciju i prilagodbe, uz aktivno uključivanje korisnika kroz povratne informacije.

U konačnici, primjena proširene stvarnosti u optimizaciji proizvodnih procesa predstavlja značajan iskorak prema budućnosti industrije. Nastavak istraživanja, tehnoloških inovacija i edukacije ključni su kako bi se iskoristile sve prednosti AR tehnologije i potaknuo daljnji razvoj proizvodnje.

## LITERATURA

- [1] Berryman, D. R.: Augmented Reality: A Review, New York, 2012.
- [2] Sutherland, I.: A head-mounted three dimensional display, Salt Lake City, 1968.
- [3] Milgram, P. i Kishino, F.: A taxonomy of mixed reality visual, Toronto, 1994.
- [4] Farshid, M.; Paschen, J.; Eriksson, T. i Kietzmann, J.: Go boldly! Explore augmented reality (AR), virtual reality (VR), and mixed reality (MR) for business, Stockholm, 2018.
- [5] Izvor slike, pristupljeno 20.01.2024. [https://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted\\_display](https://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display)
- [6] Izvor slike, pristupljeno 20.01.2024. <https://www.apple.com/apple-vision-pro/>
- [7] Izvor slike, pristupljeno 22.01.2024. <https://www.linkedin.com/pulse/unity-optimization-techniques-mobile-games-augmented-reality-quwiyu>
- [8] De Pace, F.; Manuri, F. i Sanna, A.: Augmented Reality in Industry 4.0, Torino, 2018.
- [9] Paelke, V.: Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0, Lemgo, 2014.
- [10] Izvor slike, pristupljeno 25.01.2024. <https://www.bairesdev.com/blog/how-could-vr-and-ar-improve-manufacturing/>
- [11] Michalos, G.; Karagiannis, P.; Makris, S.; Tokcalar, O. i Chrys-solouris, G.: Augmented reality (AR) applications for supporting human-robot interactive cooperation, Patras, 2016.
- [12] Wasenmüller, O.; Meyer, M. i Stricker, D.: Augmented reality 3D discrepancy check in industrial applications, Kaiserslautern, 2016.
- [13] Doil, F.; Schreiber, W.; Alt, T. i Patron, C.: Augmented Reality for manufacturing planning, Wolfsburg, 2003.
- [14] Um, J.; Popper, J. i Ruskowski, M.: Modular augmented reality platform for smart operator in production environment, Kaiserslautern, 2018.
- [15] Izvor slike i tablice, pristupljeno 28.01.2024. <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- [16] Hegedić, M.: Predavanja Proizvodni menadžment, Zagreb, 2021./2022.