

ISSN 2831-1957
ISSN 2831-1981 (online)

● INFOKOM Science

ČASOPIS ZA SAVREMENA
PRIVREDNA KRETANJA

TEMA BROJA
INDUSTRIJA 4.0

Vol. 1 | 2023.



VANJSKOTRGOVINSKA KOMORA BOSNE I HERCEGOVINE
СПОЉНОТРГОВИНСКА КОМОРА БОСНЕ И ХЕРЦЕГОВИНЕ
FOREIGN TRADE CHAMBER OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

INFOKOM SCIENCE

ČASOPIS ZA SAVREMENA PRIVREDNA KRETANJA
JOURNAL OF CONTEMPORARY ECONOMICS

IZDAVAČ

Vanjskotrgovinska komora Bosne i Hercegovine
Спољнотрговинска комора Босне и Херцеговине

Branislava Đurđeva 10
71000 Sarajevo

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK

dr. sc. Elma Kovačević-Bajtal
elma.kovacevic@komorabih.ba

Vanjskotrgovinska komora Bosne i Hercegovine
Branislava Đurđeva 10
71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

GOST UREDNIK ČASOPISA

prof. dr. Isak Karabegović, dopisni član
isak1910@hotmail.com

Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine
Bistrik 7
71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

REDAKCIJA

Vjekoslav Vuković, Vanjskotrgovinska komora BiH
Senad Softić, Univerzitet u Sarajevu, BiH
Dragan Vojinović, Univerzitet Istočno Sarajevo, BiH
Zdenko Klepić, Sveučilište u Mostaru, BiH
Dragica Ristić, Privredna komora Republike Srpske, BiH
Elvir Ćizmić, Univerzitet u Sarajevu, BiH

SEKRETAR REDAKCIJE

Aida Alić

PREVODILAC

Danijela Kovač

ISSN 2831-1981 (online)

ISSN 2831-1957 (print)

Sadržaj

Isak Karabegović, Ermin Husak, Edina Karabegović, Mehmed Mahmić

TREND RAZVOJA I IMPLEMENTACIJE INOVACIJA U ROBOTICI KAO BAZNOJ TEHNOLOGIJI INDUSTRIJE 4.0.....	7
<i>Abstract: THE TREND OF DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INNOVATIONS IN ROBOTICS AS THE BASIC TECHNOLOGY OF INDUSTRY 4.0</i>	<i>23</i>

Vidosav Majstorović, Vojin Vukadinović, Jovan Živković, Radivoje Mitrović

UPRAVLJANJE ALATIMA U DIGITALNOJ PROIZVODNJI – JEDAN PRIMER	24
<i>Abstract: TOOL LIFE MANAGEMENT IN DIGITAL MANUFACTURING – CASE STUDY</i>	<i>33</i>

Mijodrag Milošević, Dejan Lukić, Aco Antić

PRAĆENJE HABANJA REZNOG ALATA PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA U OBLAK OKRUŽENJU	34
<i>Abstract: APPLICATION OF CLOUD-BASED MACHINE LEARNING IN CUTTING TOOL WEAR MONITORING</i>	<i>43</i>

Lejla Banjanović-Mehmedović

KOLABORATIVNI ROBOTI I VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA: NOVA EFIKASNOST U APLIKACIJAMA.....	44
<i>Abstract: COLLABORATIVE ROBOTS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: NEW EFFICIENCY IN APPLICATIONS</i>	<i>54</i>

Samir Lemeš, Eldar Tutnjić, Nevzudin Buzadžija

PRIMJENA OPTIČKOG PREPOZNAVANJA ZNAKOVA (OCR) U INDUSTRIJI 4.0.....	55
<i>Abstract: APPLICATION OF OPTICAL CHARACTER RECOGNITION (OCR) IN INDUSTRY 4.0</i>	<i>64</i>

Mehmed Mahmić, Edina Karabegović, Ermin Husak

PRIMJENA ADITIVNIH TEHNOLOGIJA U INDUSTRIJI 4.0	65
<i>Abstract: APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN INDUSTRY 4.0.....</i>	<i>75</i>

Amra Bratovčić

NAJNOVIJA DOSTIGNUĆA U PRIMJENI SENZORA, UMJETNE INTELIGENCIJE I DIGITALNE TRANSFORMACIJE U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI	76
<i>Abstract: THE LATEST ACHIEVEMENTS IN THE APPLICATION OF SENSORS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DIGITAL TRANSFORMATION IN THE FOOD INDUSTRY.....</i>	<i>85</i>

Hana Korač, Vjekoslav Vuković, Tomislav Čurić, Ena Kapetanović

UMJETNA INTELIGENCIJA, STROJNO UČENJE, BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJA: DIGITALNOTEHNOLOŠKI ALATI ILI AUTONOMNI SUSTAVI ODLUČIVANJA.....	86
<i>Abstract: ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MACHINE LEARNING, BLOCKCHAIN TECHNOLOGY: DIGITAL TECHNOLOGICAL TOOLS OR AUTONOMOUS DECISION-MAKING SYSTEMS.....</i>	<i>98</i>

Vjekoslav Vuković

DIGITALIZACIJA I INOVACIJE U NOVOM SVJETSKOM PORETKU	99
<i>DIGITALIZATION AND INNOVATIONS IN THE NEW WORLD ORDER</i>	

OBIM I TEME

Vanjskotrgovinska/Spoljnotrgovinska komora Bosne i Hercegovine je pokrenula aktivnosti za izdavanje prvog interdisciplinarnog međunarodnog naučnog časopisa „Infokom Science”, zbornika naučnih i stručnih radova, prikaza i studentskih radova.

Glavni cilj časopisa je da stručnoj javnosti i akademskoj zajednici te širokoj publici i praktičarima predstavi originalna, visokokvalitetna, teorijska i primijenjena istraživanja u svim oblastima proizvodnog inženjeringa i upravljanja proizvodnjom. Kako bi se premostio jaz između teorije i prakse, posebno su dobrodošle aplikacije zasnovane na naprednoj teoriji i studijama slučaja.

Glavni faktori u procesu evaluacije teorijskih radova su njihova originalnost i istraživački doprinosi. Opći pristupi, formalizmi, algoritmi ili tehnike trebaju biti ilustrirani značajnim aplikacijama koje pokazuju njihovu primjenjivost na probleme u stvarnom svijetu.

Radovi podliježu anonimnoj recenziji i kategoriziraju se odlukom Redakcije i na prijedlog recenzenata u jednu od sljedećih kategorija:

- originalni naučni članak – sadrži neobjavljene rezultate izvornih naučnih istraživanja
- pregledni naučni članak – sadrži sažet i kritičan prikaz jedne oblasti, sa detaljnim pregledom literature, iz kojeg je vidljiv doprinos autora toj oblasti
- stručni članak – sadrži korisne stručne priloge

Prednost prilikom objavljivanja će imati originalni naučni članci, zatim pregledni naučni članci i nakon toga stručni članci.

Oblasti interesovanja uključuju, ali nisu ograničene na:

Industriju 4.0
Napredne proizvodne tehnologije
Umjetnu inteligenciju u proizvodnji
Montažne sisteme
Automatizaciju
Velike podatke u proizvodnji
Blok lanac u proizvodnji
Kompjuterski integrisanu proizvodnju
Procese aditivne proizvodnje
Procese rezanja i oblikovanja
Sisteme za podršku odlučivanju
Duboko učenje u proizvodnji
Diskretne sisteme i metodologiju
E-proizvodnju
Evolucijsko računanje u proizvodnji
Fuzzy sisteme
Inženjering ljudskog faktora, ergonomiju
Industrijski inženjering
Industrijske procese
Industrijsku robotiku
Inteligentne proizvodne sisteme
Upravljanje zalihama

Procese pridruživanja
Upravljanje znanjem
Logistiku u proizvodnji
Mašinsko učenje u proizvodnji
Nauku o materijalima, multidisciplinarnu
Ekonomiju u proizvodnji
Mehanički inženjering
Mehatroniku
Metrologiju u proizvodnji
Modeliranje i simulaciju
Numeričke tehnike
Operaciona istraživanja
Planiranje, zakazivanje i kontrolu operacija
Tehnike optimizacije
Upravljanje projektima
Upravljanje kvalitetom
Rizik i neizvjesnost
Samoorganizujuće sisteme
Pametnu proizvodnju
Upravljanje lancem nabavke
Virtuelnu stvarnost u proizvodnji

PREDGOVOR

Istraživanje i razvoj inovacija u novim tehnologijama, kao i brzi tempo njihove implementacije, a posebno digitalizacija i automatizacija, imaju glavnu ulogu u procesu oblikovanja budućeg svijeta, koji se trenutno suočava sa velikim promjenama.

Razvoj i implementacija novih tehnologija motivirana je tehničkim i ekonomskim razlozima, kao što su: poboljšanje kvalitete gotovih proizvoda (mašinska obrada itd.), smanjenje vremena rada (u procesu montaže), povećanje stope homogenosti - konstantan kvalitet (u svim procesima u vezi sa primjenom robota), povećanje brzine sigurnosti (u agresivnim, zapaljivim, eksplozivnim i drugim područjima sa visokom stopom zaštite), smanjenje potrebne radne snage rutinskog procesa, minimiziranje troškova proizvodnje i ukupnog održavanja, ispunjavanje zahtjeva konkurencije, kao i zahtjeva kupaca.

Nalazimo se na samom početku četvrte industrijske revolucije. Industrija 4.0 je koncept proizvodnje u kojem je sve umreženo tako da su u proizvodnim procesima mašine i uređaji, odnosno njihovi senzori povezani bežičnom vezom, a istovremeno i sa sistemom koji može sam donositi odluke koje su potaknute velikim brojem podataka. Koncept Industrije 4.0 implementira se u našem okruženju, ali sam po sebi još uvijek nije rasprostranjen. Rasprava o četvrtoj industrijskoj revoluciji i Industriji 4.0, kao i njena analiza, ima za cilj da se poveća svijest o sveobuhvatnosti i samoj brzini njene implementacije i njenog višestrukog utjecaja, iako je neophodno stvoriti okvir kojim se opisuju ključna pitanja i naglašavaju mogući odgovori. Sama implementacija Industrije 4.0 donosi promjenu poslovnih paradigmi i proizvodnje modela koji će se reflektovati na svim nivoima proizvodnih procesa i lanaca snabdijevanja u koje su uključeni svi nivoi radne snage u proizvodnom procesu, od menadžera, dizajnera sajber-fizičkih sistema, kupaca pa do krajnjih korisnika. Svjedoci smo velikih promjena u svim granama industrije, novih poslovnih metoda, transformacije proizvodnih sistema, potrošnje, isporuke i samog transporta, a sve one javljaju se zahvaljujući implementaciji novih tehnoloških dostignuća, kao što su: veliki podaci, robotika i automatizacija, internet stvari (IoT), 3D štampanje, pametni senzori, radiofrekventna identifikacija (RFID), virtuelna i proširena stvarnost, umjetna inteligencija, napredni sigurnosni sistemi itd. Industrija 4.0 utječe na kompanije tako da povećava automatizaciju i optimizaciju, nudi konstantni monitoring, personalizaciju i prilagođavanje, pretragu podataka (data mining), virtuelnu stvarnost, poboljšava radno okruženje, povećava upotrebu robotike itd.

Za implementaciju Industrije 4.0 u kompanijama potrebni su zaposlenici koji su sposobni za zadatke budućnosti i koji su sa sigurnošću voljni, sposobni i educirani da razvijaju budućnost. Moramo napomenuti da se temeljne tehnologije Industrije 4.0 trenutno primjenjuju samo u prerađivačkoj industriji, ali su se već počele širiti na bolnice, lance za snabdijevanje, logistiku, sigurnosne sisteme, pametne uređaje i slično. Imajući sve ovo u vidu, s pravom možemo reći da će Industrija 4.0 u budućnosti biti sve prisutnija. Sam koncept Industrije 4.0 predstavlja veliki napredak kako u industrijskoj proizvodnji tako i u ostalim aspektima poslovanja kompanije. Razvijene zemlje imaju svoje strategije i krenule su sa implementacijom koncepta Industrije 4.0 kako bi povećale svoju konkurentnost na globalnom svjetskom tržištu. Unatoč svemu tome, kompanije su zainteresirane za pametnu proizvodnju, jer smatraju da su sljedeća četiri područja najvažnija za povećanje konkurentnosti: bolja koordinacija sa kupcima, bolji kvalitet proizvoda, smanjenje troškova proizvodnje i bolja usklađenost sa specifikacijama kupca ili regulatornim zahtjevima. Moramo reći da uspjeh ili neuspjeh implementacije Industrije 4.0, kako u svim zemljama u svijetu tako u zemljama zapadnog Balkana, leži u rukama svih učesnika u lancu, od proizvođača do krajnjeg korisnika ili kupca.

U cilju doprinosa implementaciji Industrije 4.0 u proizvodnim procesima svih industrijskih grana, Vanjskotrgovinska komora Bosne i Hercegovine je obezbijedila specijalno izdanje „Industrija 4.0“ časopisa „Infokom Science“. Cilj ovog specijalnog izdanja je da nauka i struka, u saradnji sa stručnjacima iz regije, razmijene iskustva, stavove i planove o implementaciji Industrije 4.0 kroz primjere dobre prakse implementacije Industrije 4.0. Nadamo se da će naučna i stručna javnost imati posebnu korist od ogromnog znanja i iskustva koje su eksperti iz ove oblasti sažeto prezentovali u svojim radovima.

Zahvaljujemo se svima koji su učestvovali u izradi ovog specijalnog izdanja časopisa „Industrija 4.0“ na velikom zalaganju.

Sarajevo, 15. 9. 2023. godine

Gost urednik časopisa
Isak Karabegović, dopisni član
Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

TREND RAZVOJA I IMPLEMENTACIJE INOVACIJA U ROBOTICI KAO BAZNOJ TEHNOLOGIJI INDUSTRIJE 4.0

Isak Karabegović¹, Ermin Husak², Edina Karabegović², Mehmed Mahmić²

¹ Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Bistrik 7, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

² Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać, Irfana Ljubijankića bb, 77000 Bihać, Bosna i Hercegovina
E-mail: isak1910@hotmail.com

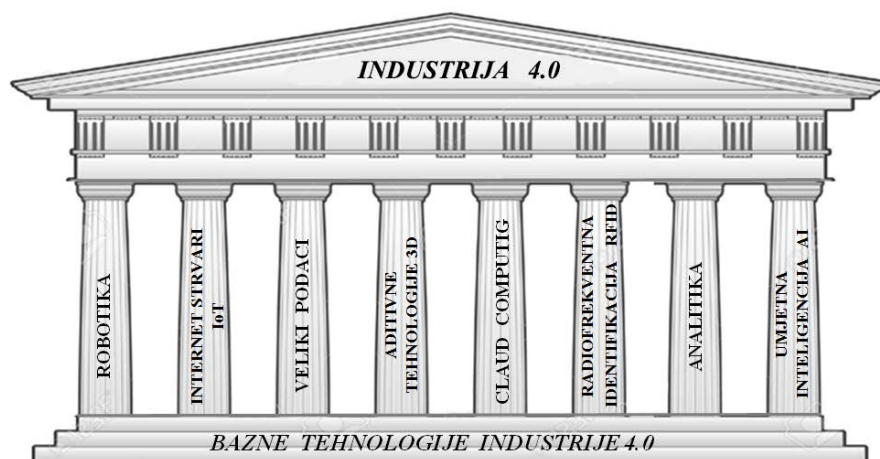
SAŽETAK

Implementacija Industrije 4.0 je intenzivno prisutna oko nas u posljednjih pet-šest godina, ali sam njen koncept nije dovoljno rasprostranjen u proizvodnim procesima u svijetu. Njenom implementacijom doći će do poboljšanja mnogih aspekata ljudskog života u svim segmentima društva u cjelini. Poslovna paradigma i modeli proizvodnje će se promijeniti u svim nivoima proizvodnih procesa, kao i lanci snabdijevanja. Posljednjih se godina dešavaju velike promjene, kao što su preoblikovanje proizvodnih sistema, potrošnja, isporuka, logistika itd., a sve to možemo zahvaliti implementaciji najnovijih tehnoloških otkrića poput: robotike, automatizacije, 3D štampe, interneta stvari (IoT), pametnih senzora, velikih podataka (Big Data), računarstva u oblaku (Cloud Computing), radiofrekventne identifikacije (RFID), virtuelne i proširene stvarnosti (AR), umjetne inteligencije (AI), Cyber-Physical sistema (CPS) itd. U radu je napravljena analiza utjecaja Industrije 4.0 na povećanje realnog BDP-a u svijetu, kao i globalnog trenda međunarodnih porodica patenata (IPF) u baznim tehnologijama Industrije 4.0, kao i svih drugih tehnologija u svijetu, sa posebnim osvrtom na trend prijavljenih i realiziranih patenata iz robotske tehnologije u svijetu i u top deset vodećih svjetskih zemlja. Analizirana je i implementacija industrijskih i servisnih robota u vodećim zemljama svijeta. Broj patenata u robotskoj tehnologiji ima direktan utjecaj na implementaciju industrijskih i servisnih robota za profesionalnu upotrebu. Svjetske kompanije konkurentnost na globalnom tržištu mogu ostvariti samo implementacijom baznih tehnologija Industrije 4.0, a jedna od glavnih tehnologija za automatizaciju proizvodnih procesa je robotska tehnologija, odnosno industrijski i servisni roboti.

Ključne riječi: *patenti, industrijski robot, servisni robot, Industrija 4.0, proizvodni proces, automatizacija*

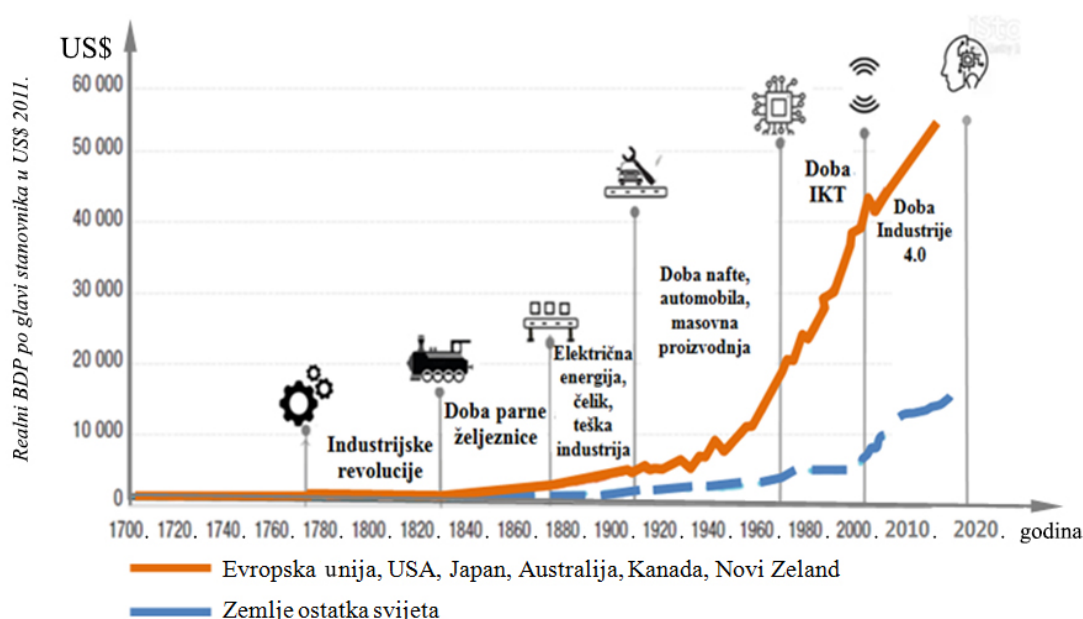
1. UVOD

Na svjetskoj industrijskoj i digitalnoj sceni dešavaju se promjene čiji smo svjedoci, a koje su na World Economic Forumu (WEF), održanom u Davosu 2016. godine, nazvane četvrtom industrijskom revolucijom. Te promjene prvi put su imenovali Nijemci nazvavši ih „Industrija 4.0“, i to 2011. godine na sajmu u Hanoveru [1, 2, 3]. Sve kompanije u svijetu susreću se sa globalnom konkurencijom, a da bi održale korak sa njom i ispunile sve veće zahtjeve na tržištu neophodno je da koriste nove tehnologije u proizvodnim procesima, odnosno implementiraju Industriju 4.0. Drugim riječima, potrebno je da digitalnom transformacijom stvore povezanu kompaniju koja omogućava proizvodnim procesima da otkriju nove načine povećanja produktivnosti i poboljšanja ukupnog poslovnog učinka. Industrija 4.0 pomaže da se poveća produktivnost i poboljša ukupni poslovni učinak kompanije. Da bi se to omogućilo neophodno je imati sigurnu povezanost između različitih proizvodnih sistema i procesa u cijeloj kompaniji. Novi način upravljanja proizvodnim procesima ima za cilj poboljšati performance i bolje upotrebljavati podatke koji već postoje, a sve to koristeći kombinaciju alata kojima se može djelovati na poboljšanje sistema ili proizvodnog procesa [4, 5, 6]. Ukoliko se digitalizacija provede u cijeloj kompaniji, uz integriranje procesa, pogona i premještanje u jednu povezanu infrastrukturu, povećat će se efikasnost i produktivnost u svim segmentima kompanije. Kada imamo pristup proizvodnim podacima u proizvodnom procesu, u svakom trenutku i u stvarnom vremenu, to nam omogućuje praćenje i poboljšanje performansi samog proizvodnog procesa, a sve to ostvarujemo implementacijom baznih tehnologija Industrije 4.0. Sam termin Industrija 4.0 već se široko upotrebljava i u vezi je sa različitim proizvodnim konceptima. Industriju 4.0, sa tehnološke perspektive, treba shvatiti kao sve veću digitaliziju i automatizaciju proizvodnih procesa, odnosno proizvodnog okruženja i dizajn digitalnog lanca vrijednosti od proizvoda do kupca. Neki autori Industriju 4.0 nazivaju novom disruptivnom tehnologijom, a neizbježna je jer se svijet danas nalazi u dinamičnoj eri koja mijenja sam način proizvodnih procesa koji su trenutno implementirani u većini kompanija [2, 3]. Koncept Industrije 4.0 definiraju mnoge tehnologije (njih više od 40), od kojih ćemo nabrojati samo neke bazne: robotika, automatizacija, internet stvari (IoT), veliki podaci (Big Data), računarstvo u oblaku (Cloud Computing), 3D štampanje, pametni senzori, radiofrekventna identifikacija (RFID), virtualna i proširena stvarnost (AR), umjetna inteligencija (AI), napredni bezbjednosni sistemi, Cyber-Physical sistemi (CPS) itd., kao što pokazuje Slika 1. [1-3]. Cyber-Physical sistemi (CPS), internet stvari (IoT), vještačka inteligencija (AI), aditivna proizvodnja, računarstvo u oblaku (Cloud Computing) i druge navedene tehnologije se kombinuju da bi se konstruisale dinamične, u realnom vremenu optimizirane i samoorganizirajuće mreže vrijednosti među proizvodnim procesima i kompanijama, a sve nabrojane komponente su neophodne za implementaciju Industrije 4.0.



SLIKA 1. Dio baznih tehnologija Industrije 4.0

Primjena Industrije 4.0 donosi niz prednosti kao fleksibilnu automatizaciju, premoštavanje fizičkog i digitalnog svijeta kroz sajber-fizičke sisteme (CPS). Veću i otvoreniju integraciju u proizvodnim kompanijama omogućuje upravo sajber-fizički sistem (CPS) i internet stvari (IoT) kroz horizontalnu integraciju (koja se ogleda u razmjeni informacija i podataka, umrežavanje proizvodnih procesa, integracije komunikacije: nabava-proizvodnja-logistika, kao i uključanje kupaca u proizvodni proces) i vertikalnu integraciju (povezanost u samoj kompaniji od operativne razine do same proizvodnje). Implementacijom temeljnih tehnologija optimiziramo: opremu u proizvodnom procesu tako da imamo veću sigurnost, poboljšano rješenje problema, sigurnost rada opreme i bolje održavanje, samu proizvodnju tako da poboljšavamo korištenje sredstava, imamo proaktivnu dijagnostiku, imamo mašine za saradnju i upravljanje, i dobijamo niže ukupne troškove [4-8]. Cilj implementacije temeljnih tehnologija Industrije 4.0 je pametna proizvodnja u kojoj imamo operativne informacije u realnom vremenu, smanjujemo rizik u lancu snabdijevanja, smanjujemo zalihe i dolazimo do efikasne proizvodnje, kao i povećanja BDP-a (Slika 2.[7]). Neophodno je izgraditi set vještina kako iznutra tako i izvana.



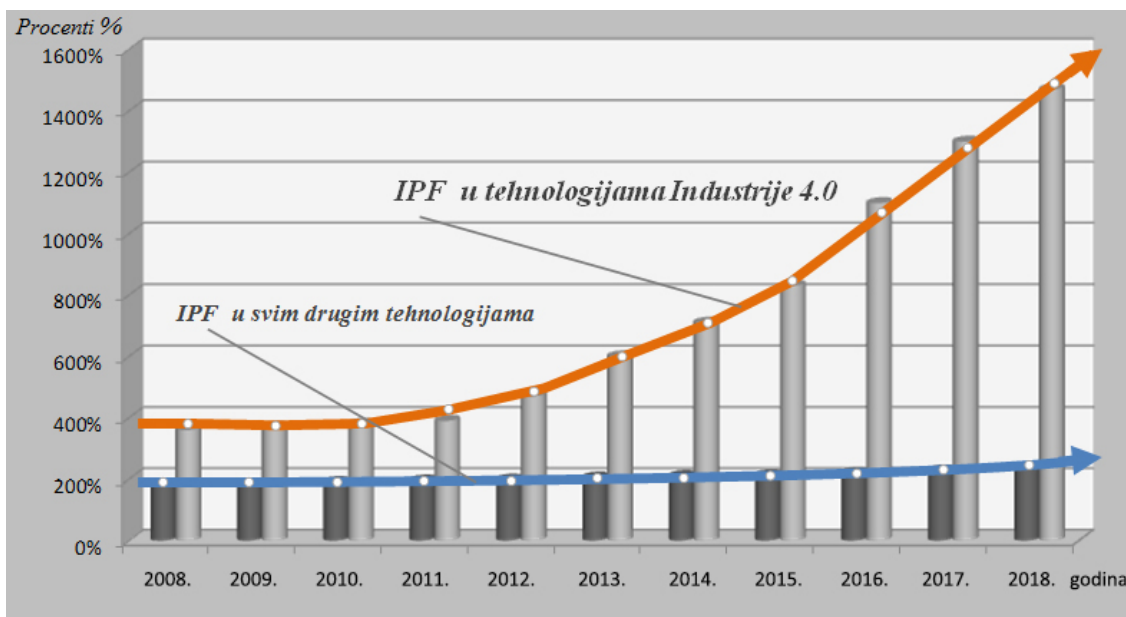
SLIKA 2. Utjecaj industrijskih revolucija (tehnoloških promjena) u svijetu na povećanje realnog BDP-a

Grafički prikaz implementacije baznih tehnologija Industrije 4.0 i njihov utjecaj na tehnološke promjene i nejednolikosti kroz stoljeća i povećanje BDP-a prikazan je na Slici 2. Analizom ove slike zaključujemo da u posljednjih pedeset godina najveći skok životnog standarda možemo zahvaliti ulaganju u istraživanje, razvoj i implementaciju naprednih tehnologija. Mnoge vodeće svjetske kompanije ulažu u i implementiraju napredne tehnologije koje su ključne tehnologije Industrije 4.0. U ovim je kompanijama zabilježen značajan napredak zahvaljujući umjetnoj inteligenciji i mašinskom učenju koji se ogleda u porastu dostupnih podataka koji rastu po eksponencijalnoj funkciji, kao i unapređenju statističkih metoda, odnosno naprednoj analitici podataka u samoj digitalizaciji i automatizaciji u proizvodnim procesima. Za opstanak i prisustvo na globalnom tržištu neophodno je da kompanije izvrše optimizaciju opreme, koja mora biti pouzdana i sigurna, vrijeme zastoja opreme svedu na minimum i poboljšaju rješenje problema. Neophodno je optimizirati proizvodne procese u kompaniji kroz poboljšanje upotrebe uređaja i mašina, saradničko upravljanje mašinama, proaktivnu dijagnostiku i smanje ukupnih troškova [8-10]. Uvođenjem baznih tehnologija, koje čine temelje Industrije 4.0, operativne informacije dobivamo u realnom vremenu i možemo

djelovati, proizvodnja postaje efikasna te smanjujemo rizik i varijabilnost lanca snabdijevanja, a sve to utječe na smanjenje zaliha, što je i cilj.

2. ANALIZA INOVACIJA IZ BAZNIH TEHNOLOGIJA INDUSTRIJE 4.0

Trend globalnih inovacija iz baznih tehnologija Industrije 4.0 u posljednjih deset godina (2008-2018) je u velikom porastu i odvija se po eksponencijalnoj funkciji, kao što pokazuje Slika 3.[7]. Grafikon na Slici 3. pokazuje procentualni globalni rast međunarodne porodice patenata (International patent families - IPF) u baznim tehnologijama Industrije 4.0, kao i procentualni globalni rast međunarodne porodice patenata (IPF-ova) svih drugih tehnologija. Svaki IPF međunarodne porodice patenata odnosi se na jedan izum i uključuje sve prijave za patente koje su podnesene i objavljene u patentnim uredima. Na osnovu grafikona prikazanog na Slici 3. zaključujemo da je zabilježeno ekstremno globalno procentualno povećanje međunarodne porodice patenata iz baznih tehnologija Industrije 4.0 u periodu od 2010. do 2018. godine, pri čemu je godišnja stopa rasta iznosila oko 20% [7, 8]. Procentualni trend rasta međunarodne porodice patenata (IPF-ova) u baznim tehnologijama Industrije 4.0 u odnosu na sve druge tehnologije četiri je puta veći u 2018. godini, što nam pokazuje da se u svijetu velika pažnja usmjerava na bazne tehnologije Industrije 4.0. Naime, svi žele implementirati Industriju 4.0 u svoje kompanije, a razlog je jasan - žele da njihova kompanija uvođenjem baznih tehnologija ove industrije poveća produktivnost te poboljša ukupni poslovni učinak kompanije na promjenjivom globalnom tržištu.

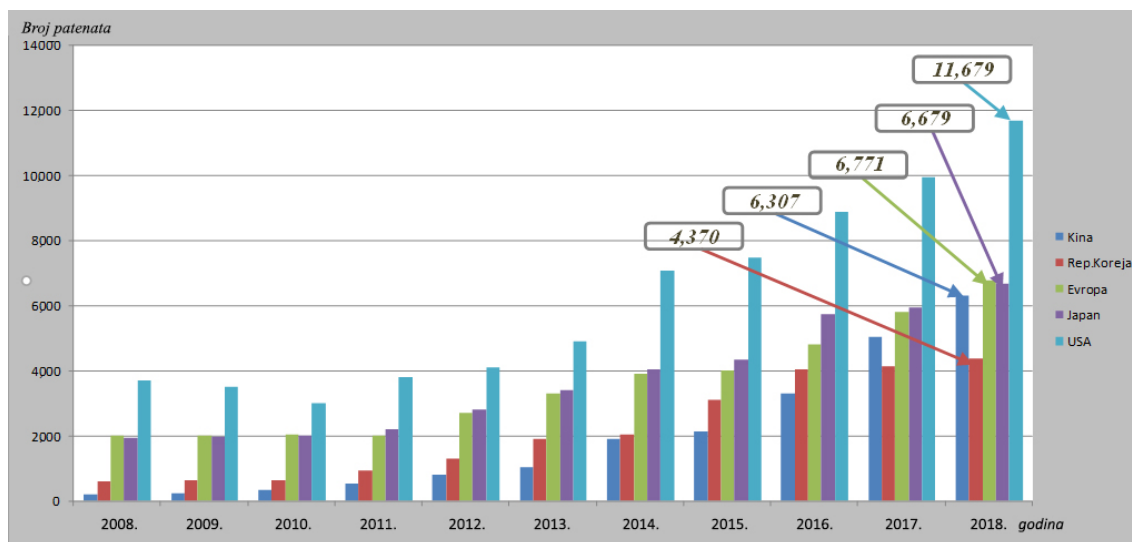


SLIKA 3. Grafikon procentualnog globalnog trenda međunarodnih porodica patenata (IPF) u baznim tehnologijama Industrije 4.0, kao i svih drugih tehnologija u svijetu

Izvor: European Patent Office

Poznato je da tehnološki razvijene zemlje u svijetu kontinuirano ulažu u razvoj i istraživanje u svim naučnim disciplinama, a rezultat je kreiranje novih patenata i inovacija. Razvojem naučnih disciplina kroz vrijeme svijet je prolazio kroz tri tehnološke revolucije, a trenutno se nalazimo u četvrtoj industrijskoj revoluciji. U tehnološki najrazvijenije zemlje u svijetu koje najviše sredstava ulažu u razvoj i istraživanje ubrajaju se: Sjedinjene Američke Države, Njemačka, Japan, Italija, Ujedinjeno Kraljevstvo, Francuska, Kanada (zemlje G7), a pored njih možemo ubrojiti i: Singapur,

Republiku Koreju, Dansku, Belgiju, Nizozemsku, Španiju i Švedsku, a posljednjih godina i Narodnu Republiku Kinu. Sve ove nabrojane zemlje imaju svoju strategiju razvoja i implementacije četvrte industrijske revolucije, odnosno Industrije 4.0, a one koje nemaju su na putu osmišljavanja i usvajanja svojih strategija kako bi se kompanije iz tih zemalja mogle uključiti u savremene privredne tokove i biti konkurentne na globalnom svjetskom tržištu. Ulaganje u razvoj i inovaciju je vidljivo po trendu rasta broja IPF-ova u tehnologijama Industrije 4.0. Napravljena je analiza globalnog trenda rasta IPF-ova u Kini, Republici Koreji, Japanu, SAD-u i Evropskoj uniji, što je prikazano na Slici 4. [7, 8].



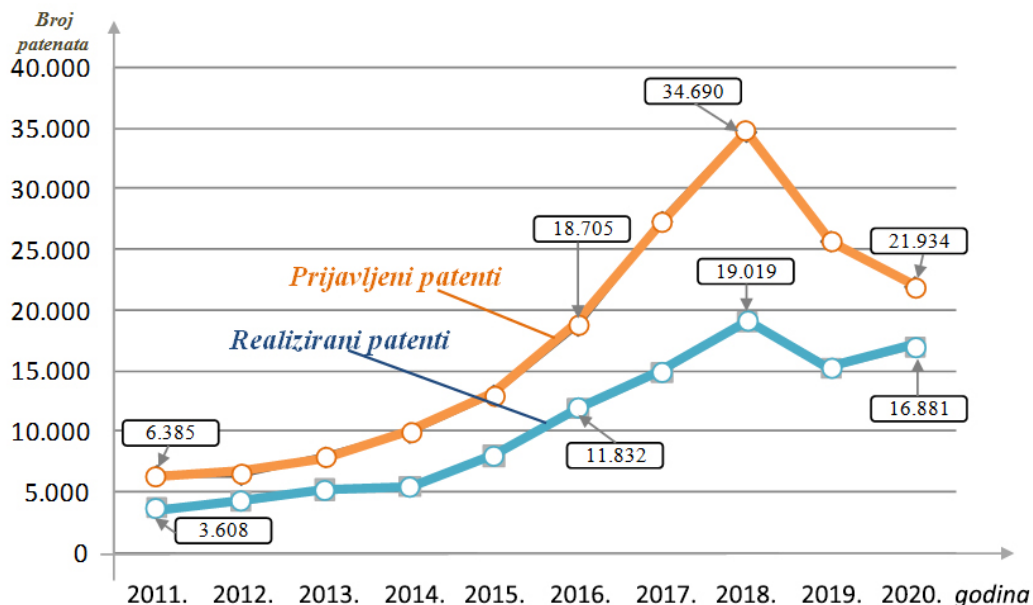
SLIKA 4. Grafikon globalnog trenda rasta IPF-ova u tehnologijama Industrije 4.0 u Kini, Republici Koreji, Japanu, SAD-u i Evropskoj uniji u periodu 2008-2018. godine

Izvor: European Patent Office

Analizom grafikona prikazanih na Slici 4. zaključujemo da se globalni trend rasta međunarodne porodice patenata (IPF-ova) u tehnologijama Industrije 4.0 u navedenim zemljama od 2008. godine kontinuirano povećava svake godine i za očekivati je da će se takav trend rasta nastaviti u narednom periodu.

Na prvom mjestu je SAD koji odskoče u odnosu na ostale praćene zemlje, tako da je u 2018. godini SAD imao 11.679 prijavljenih IPF-ova u tehnologijama Industrije 4.0. Poslije SAD-a se na drugom mjestu izmjenjuju Japan i Evropska unija (Švedska, Švicarska, Finska, Njemačka, Španija, Italija, Francuska, Nizozemska - razvijene zemlje EU) sa skoro istom prijavom međunarodne porodice patenata (IPF-ova) u tehnologijama Industrije 4.0 u 2018. godini. Evropska unija je 2018. godine imala prijavljenih 6.771 IPF-ova u tehnologijama Industrije 4.0, dok ih je u Japanu bilo 6.679. Na trećem mjestu je Kina u kojoj je u 2018. godini prijavljeno 6.307 međunarodne porodice patenata (IPF-ova) u tehnologijama Industrije 4.0, nakon koje slijedi Republika Koreja sa 4.370 prijavljenih IPF-ova u tehnologijama Industrije 4.0. Ovakav trend rasta je nastavljen sve do danas, a očekivati je trend rasta i u narednim godinama. U izvorima [7, 8] se navodi da je po prijavi međunarodne porodice patenata (IPF-ova) u tehnologijama Industrije 4.0 vodeća automobilska industrija, u kojoj se najviše koriste bazne tehnologije Industrije 4.0, kao što su robotika, računarstvo u oblaku, senzori, radiofrekventna identifikacija (RFID), internet stvari, veliki podaci i ostale bazne tehnologije navedene na Slici 1. Najzastupljenija bazna tehnologija Industrije 4.0 je robotska tehnologija bez koje je nemoguće i zamisliti automatizaciju proizvodnih procesa, što predstavlja osnovu za implementaciju Industrije 4.0. Primjena industrijskih robota započela je 60-ih godina prošlog vijeka i kontinuirano se istražuje, razvija i implementira u svim segmentima društva, a posebno u svim industrijama u svakoj zemlji na svijetu. Ulaganje u razvoj i istraživanje donosi benefit, kako u kompaniji tako i u pojedinoj regiji ili zemlji. Kompanije iz automobilske i elektro/elektroničke industrije ulažu u razvoj i

istraživanje robotske tehnologije, što se očituje trendom rasta prijavljenih i realiziranih patenata iz robotske tehnologije. To je vidljivo na grafikonima Slike 5. [12] koji predstavljaju tendenciju prijavljenih i realiziranih patenata iz robotske tehnologije u svijetu u periodu 2011-2020. godine. Analizom trenda dijagrama prijavljenih i realiziranih patenata iz robotske tehnologije dolazimo do zaključka da trend prijavljenih patenata iz robotske tehnologije od 2011. do 2018. godine ima eksponencijalni rast, a razlog je upravo Industrija 4.0, prvi put spomenuta 2011. godine na sajmu u Hanoveru. Od te godine sve razvijene zemlje svijeta ulažu u istraživanje i razvoj baznih tehnologija Industrije 4.0, a robotska tehnologija se ubraja među prve tehnologije.

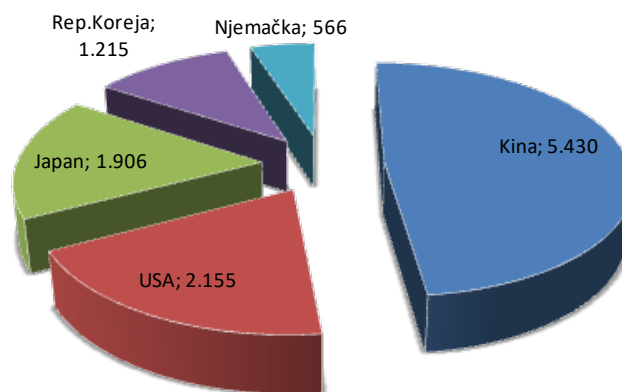


SLIKA 5. Grafikon prijavljenih i realiziranih patenata iz robotske tehnologije u svijetu u periodu 2011-2020. godine

Izvor: GlobalData Patent Analytics

U istom periodu (2011-2018) trend realiziranih patenata iz robotske tehnologije nešto je manji i blaži u odnosu na trend prijavljenih patenata, što pokazuje Slika 5. U posmatranom periodu u 2018. godini imali smo najveću prijavu patenata a iznosila je 34.690 patenata. Isto tako, imali smo najveću realizaciju patenata iz robotske tehnologije, a ona je manja od prijavljenih patenata i iznosi 19.019 patenata. U 2019. i 2020. godini broj prijavljenih i realiziranih patenata je manji u odnosu na 2018. godinu, što je i logično jer je svijet zadesila pandemija virusa COVID-19. U 2020. godini broj prijavljenih patenata iz robotske tehnologije je iznosio 21.934, dok je broj realiziranih patenata bio 16.881. Pošto je pandemija virusa COVID-19 prestala, očekuje se rast trenda prijavljenih i realiziranih patenata iz robotske tehnologije, i to po eksponencijalnoj funkciji.

Da bismo dobili potpunu sliku razvoja robotske tehnologije, napravljena je analiza prijavljenih patenata iz robotske tehnologije u pet tehnološki razvijenih zemalja (SAD, Kina, Njemačka, Japan i Republika Koreja) u 2019. godini koja je prikazana na Slici 6. [11, 12, 33].

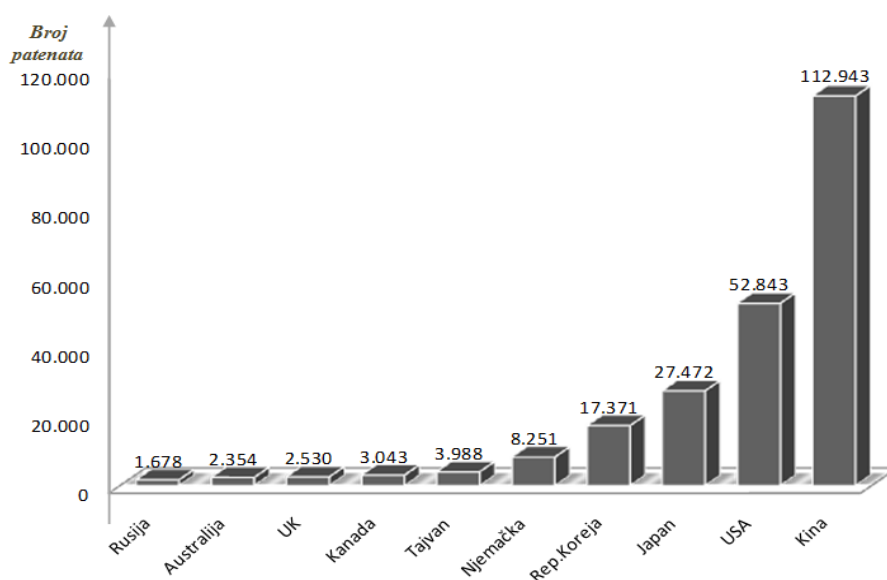


SLIKA 6. Grafikon odobrenih patenata iz robotske tehnologije u Kini, Japanu, Republici Koreji, SAD-u i Njemačkoj u 2019. godini

Izvor: 1790 Analytics robotics patent dataset

U nabrojanim zemljama su najrazvijenije kompanije iz automobilske i elektro/elektroničke industrije u kojima je najzastupljenija implementacija robotske tehnologije [13, 15]. Ove kompanije ulažu u istraživanje i razvoj ove tehnologije, što se vidi i po broju patenata, a isto tako robotska tehnologija je bazna tehnologija za implementaciju Industrije 4.0. Analizom grafikona međunarodne porodice patenata (IPF-ova) iz robotske tehnologije kao bazne tehnologije Industrije 4.0 u Kini, Japanu, Republici Koreji, SAD-u i Njemačkoj u 2019. godini dolazimo do činjenice da je na prvom mjestu Kina sa 5.430 prijavljenih i odobrenih patenata iz robotske tehnologije.

Izdvojimo deset vodećih svjetskih zemalja u kojima je prijavljeno najviše patenata iz robotske tehnologije u periodu 2011-2020. godine - Slika 7. [11, 12].



SLIKA 7. Grafikon prijavljenih patenata iz robotske tehnologije u deset vodećih zemalja svijeta u periodu 2011-2020. godine

Izvor: GlobalData Patent Analytics

Zaključujemo da su u periodu 2011-2020. godine u top deset svjetskih zemalja po broju prijavljenih patenata: Kina, SAD, Japan, Republika Koreja, Njemačka, Tajvan, Kanada, UK, Australija i Rusija.

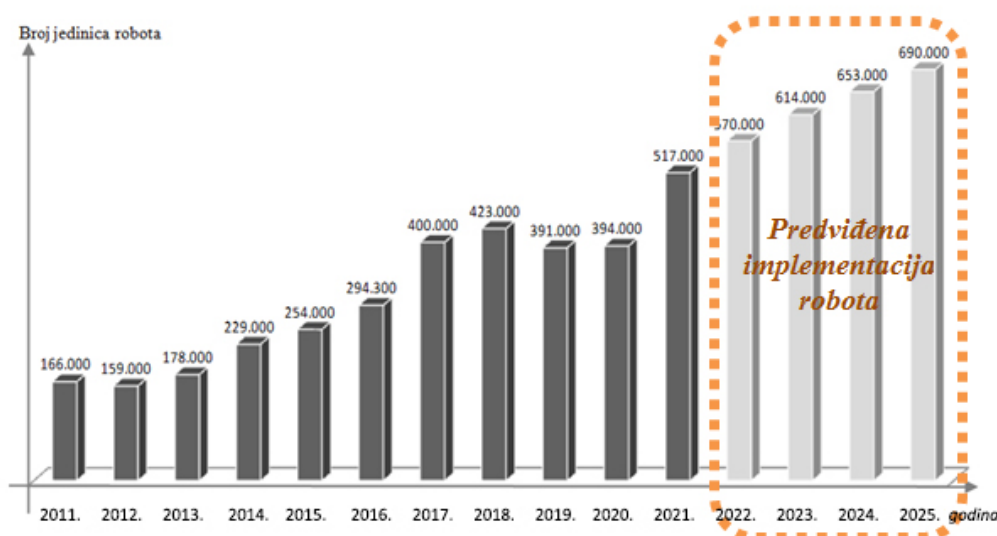
Možemo navesti tri najvažnija razloga zbog kojih je Kina na prvom mjestu po broju prijavljenih i odobrenih patenata iz robotske tehnologije [8, 22]:

1. Kineska vlada je usvojila strategiju „Made in Kina 2025“ kojom žele da do 2025. godine budu najrazvijenija tehnološka zemlja u svijetu. Strategiju su podijelili u tri perioda - drugi period je do 2039. godine a treći period do 2049. godine.
2. Kina je na prvom mjestu po proizvodnji vozila u svijetu (oko 30% svjetske proizvodnje) i među prvim po proizvodnji elektroničkih uređaja, a poznato je da se u ove dvije industrije najviše implementira robotska tehnologija.
3. Cijena rada radnika u Kini posljednjih godina raste. Tako je sa 5 eura po satu ona povećana na 15 eura po satu, dok cijena rada robota po satu opada i iznosi ispod 10 eura po satu. U Evropskoj uniji cijena radnika je oko 30 eura po satu.

Na drugom mjestu je SAD sa 2.155 prijavljenih i odobrenih patenata iz robotske tehnologije u 2019. godini, na trećem mjestu je Japan sa 1.906 prijavljenih i odobrenih patenata, a slijedi Republika Koreja sa 1.215 prijavljenih i odobrenih patena iz robotske tehnologije. Na petom mjestu u svijetu je Njemačka sa 566 prijavljenih i odobrenih patenata iz robotske tehnologije. Radi se o tehnološki razvijenim svjetskim zemljama koje ulažu u razvoj i istraživanje baznih tehnologija Industrije 4.0, od kojih je jedna od glavnih i robotska tehnologija. Svaka od nabrojanih zemalja ima svoju strategiju implementacije Industrije 4.0 kako bi njihove kompanije bile konkurentne na globalnom svjetskom tržištu. Da bismo imali potpunu sliku o implementaciji bazne robotske tehnologije Industrije 4.0, napraviti ćemo analizu implementacije industrijskih i servisnih robota u svijetu u posljednjih deset godina.

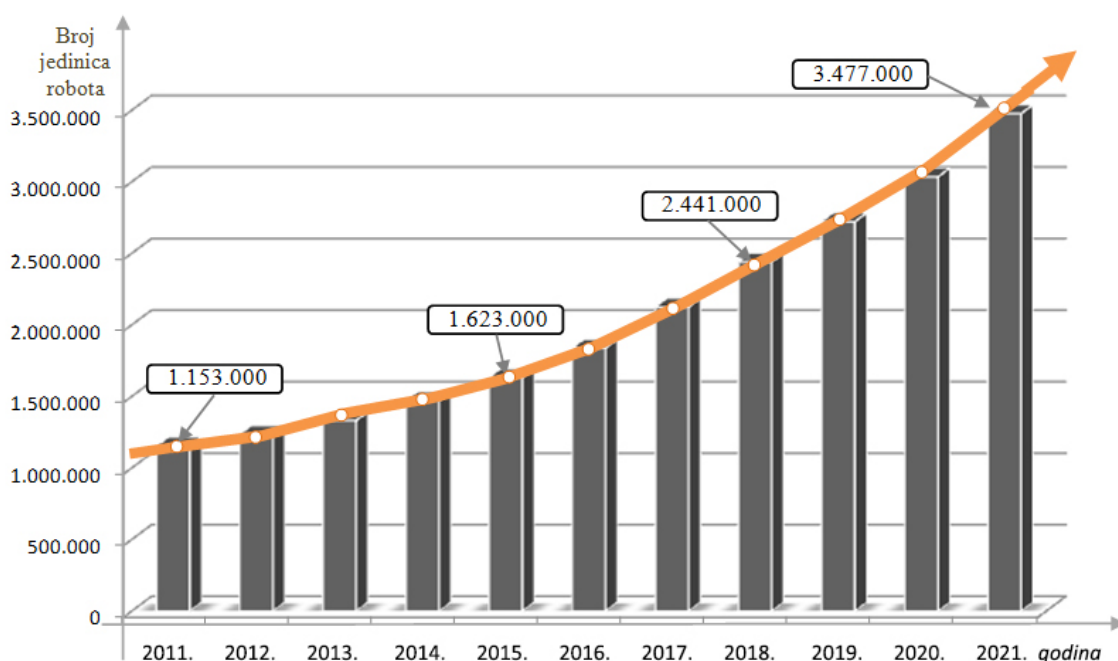
3. ANALIZA IMPLEMENTACIJE INDUSTRIJSKIH I SERVISNIH ROBOTA U SVIJETU

Da bismo napravili analizu trenda implementacije industrijskih i servisnih robota u svijetu za period 2010-2020. godine, statističke podatke za broj industrijskih i servisnih robota smo preuzeli od International Federation of Robotics (IFR), Ekonomske komisije pri UN-u za Evropu (UNECE) i Organizacije za ekonomsku kooperaciju i razvoj (OECD) [16-18]. Podaci su grafički prikazani na Slici 8.



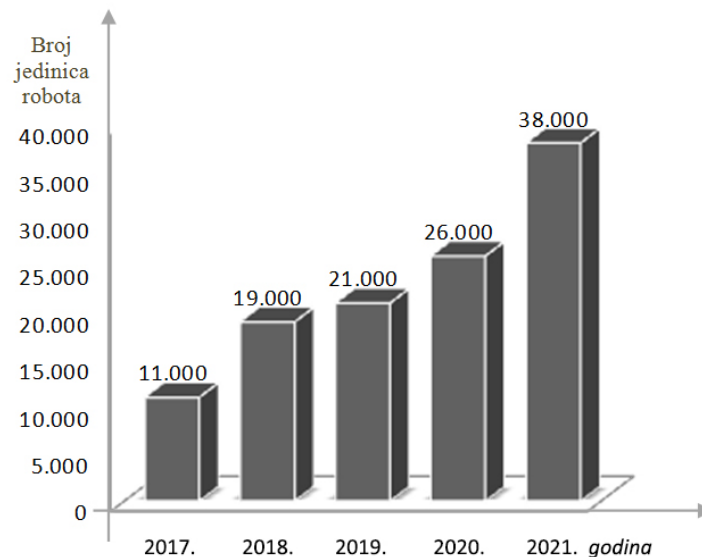
SLIKA 8. Grafikon trenda implementacije industrijskih robota u svijetu na godišnjem nivou u periodu 2011-2021. godine i trend predviđanja implementacije do 2025. godine

Na osnovu trenda primjene industrijskih robota u periodu 2011-2021. godine prikazanog na Slici 8. možemo zaključiti da je on rastući. Primjetno je da od 166.000 jedinica primijenjenih u 2011. godini svake godine dolazi do povećanja primjene industrijskih robota sve do 2018. godine. U 2019. i 2020. godini dolazi do opadanja primjene industrijskih robota zbog pandemije virusa COVID-19 tako da je primijenjeno nešto manje industrijskih robota u odnosu na prethodnu godinu i u 2019. godini je taj broj iznosilo 391.000 jedinica robota, odnosno 394.000 jedinica robota u 2020. godini. Po prestanku pandemije dolazi do povećanja trenda implementacije industrijskih robota pa se u 2021. godini primjenjuje 517.000 jedinica robota. Iz grafikona prikazanog na Slici 5. vidimo da se od 2021. do 2025. godine predviđa povećanje implementacije industrijskih robota svake godine. Predviđanja su da će se u 2025. godini implementirati oko 690.000 jedinica industrijskih robota. Za potpunu analizu implementacije robotske tehnologije u svijetu napravljen je trend ukupno instaliranih industrijskih robota u svijetu i prikazan na Slici 9. [17-19].



SLIKA 9. Grafikon trenda ukupne implementacije industrijskih robota u svijetu u periodu 2011-2021. godine

Analizom ukupno instaliranih industrijskih robota u svijetu u posljednjih deset godina vidimo da je trend rastući, a promjena povećanja iz godine u godinu se izvodi po eksponencijalnoj funkciji. U 2011. godini je bilo instaliranih 1.153 miliona jedinica industrijskih robota, 2015. godine je taj broj povećan na 1.623 miliona jedinica industrijskih robota, 2018. godine je broj povećan na 2.441 milion jedinica robota, a u 2021. godini je došlo do ponovnog povećanja tako da je bilo 3.477 miliona jedinica implementiranih industrijskih robota u svijetu. Zaključak da je samo za deset posljednjih godina povećanje implementacije industrijskih robota u svijetu bilo gotovo trostruko. U ukupan iznos su ubrojani i industrijski roboti druge generacije (tzv. kolaborativni roboti), a zbog prednosti koje nude njihova se njihova implementacija svake godine povećava. Taj trend povećanja je prikazan na Slici 10. [8, 17-19].



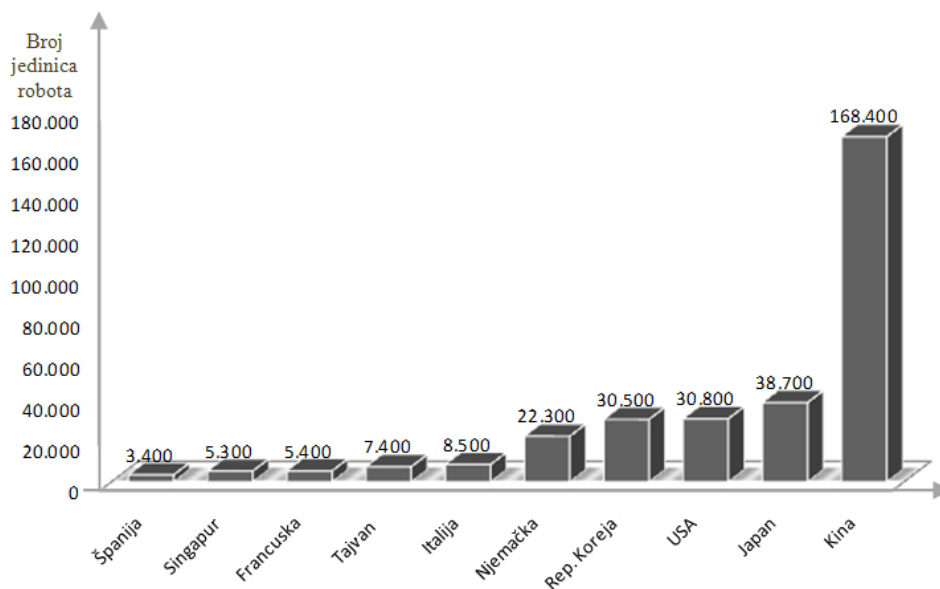
SLIKA 10. Grafik trenda implementacije industrijskih robota druge generacije (kolaborativnih robota) u periodu 2017-2022. godine

Industrijski roboti druge generacije koriste bazne tehnologije Industrije 4.0, opremljeni su pametnim senzorima i dizajnirani su za direktan rad interakcijom sa radnicima unutar zajedničkog definisanog radnog prostora. Na osnovu Slike 10. vidimo da je trend njihove primjene rastući i svake se godine povećava, tako da je u 2021. godini implementirano oko 38.000 jedinica kolaborativnih robota [24, 26, 29]. U narednim godinama će doći do još veće primjene samom implementacijom Industrije 4.0, što je očekivano s obzirom na sigurnost koju ovi roboti nude u slučajevima kada se ruka radnika nađe između osa robota, odnosno zbog sprečavanja priklještenja i povrede radnika. Industrijski roboti druge generacije imaju niz prednosti u odnosu na one prve generacije. Nabrojat ćemo one osnovne:

- industrijski roboti druge generacije odlikuju se jednostavnošću za rukovanje,
- korištenjem industrijskih robota druge generacije u mogućnosti smo poboljšati performanse pri izvođenju operacija između robota i radnika,
- rad robota i radnika odvija se u zajedničkom radnom prostoru i radnik je siguran da neće doći do njegovog ozljeđivanja,
- u mogućnosti smo sa industrijskim robotom druge generacije napraviti razne nivoe automatizacije, što znači da zadatke možemo djelimično automatizirati u onim slučajevima kada je potpuna automatizacija suviše kompleksna ili kada nije ekonomična,
- danas smanjenje životnog ciklusa proizvoda i povećanje raznovrsnosti proizvoda zahtijevaju fleksibilnost automatizacije, što će za posljedicu imati povećanje primjene industrijskih robota druge generacije,
- industrijske robote druge generacije će moći upotrebljavati male i srednje kompanije, i to zato jer im je cijena prihvatljiva (jako mala u odnosu na industrijske robote prve generacije) a implementacija pojednostavljena i ne zahtijeva visokoškolvani kadar,
- neergonomske radne stanice možemo značajno poboljšati pomoću industrijskih robota druge generacije, pri čemu moramo imati na umu da je sigurnost radnika apsolutni preduslov,
- industrijski roboti druge generacije imaju najznačajniju ulogu u Industriji 4.0 koja povezuje fabriku realnog života sa virtuelnom stvarnošću, što otvara buduće perspektive u globalnoj proizvodnji.

Da bi kompanija bila konkurentna na globalnom tržištu neminovno je da ide u pravcu implementacije Industrije 4.0, što će za posljedicu imati povećanje primjene industrijskih robota druge generacije [30-33]. Za primjenu ovih robota druge generacije kompanije imaju sljedeće motive:

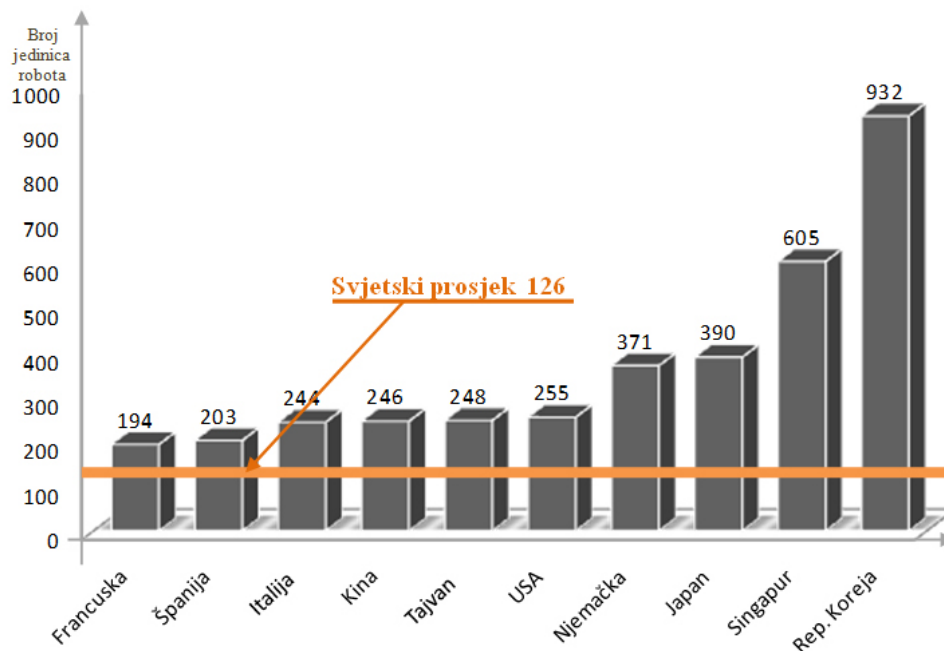
smanjenje operativnih troškova, smanjenje kapitalnih troškova, poboljšanje kvaliteta proizvoda i konzistentnosti, poboljšanje kvaliteta rada za radnike, poštivanje pravila o zdravlju i bezbjednosti, povećanje stope proizvodnje, povećanje fleksibilnosti u proizvodnji proizvoda, ušteda prostora itd. Za očekivati je da će u budućnosti trend primjene kolaborativnih robota biti rastući. Poznato je da je u toku implementacija Industrije 4.0 u svjetskim kompanijama koje su u vrhu na globalnom tržištu [19, 21-23], tako da će se u narednim godinama trend implementacije industrijskih robota u svim industrijama kontinuirano povećavati. Da bismo imali pravu sliku implementacije industrijskih robota u svijetu, pogledajmo analizu implementacije industrijskih robota u deset vodećih svjetskih zemalja u 2020. godini (Slika 11.).



SLIKA 11. Grafik trenda implementacije industrijskih robota u deset vodećih zemalja svijeta u 2020. godini

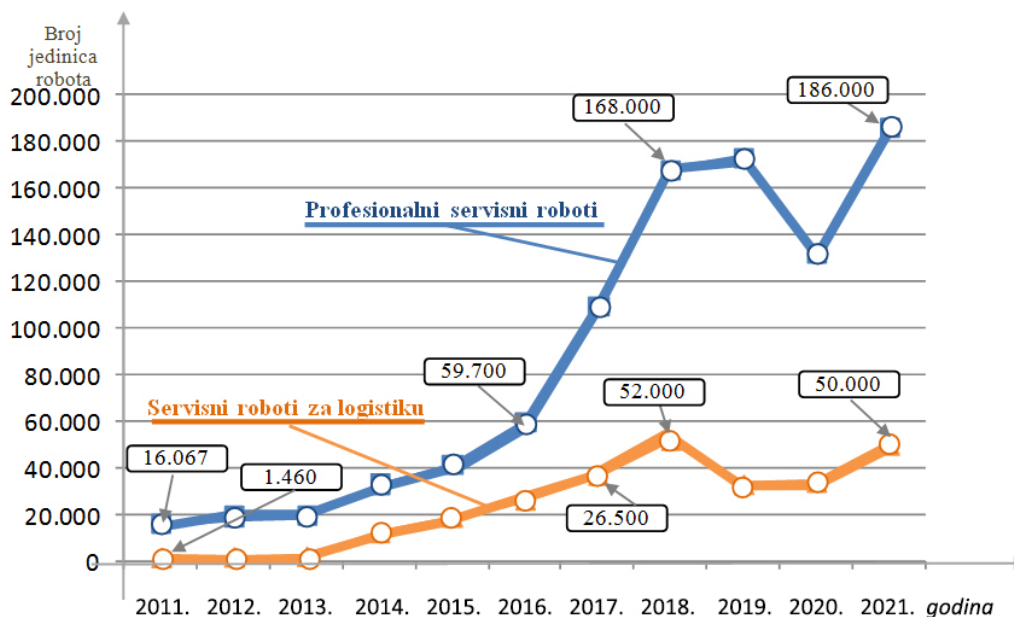
Analizom Slike 11. vidimo da se, idući od manje ka većoj implementaciji robota, u vodeće zemlje ubrajaju: Španija (3.400 jedinica robota), Singapur (5.300 jedinica robota), Francuska (5.400 jedinica robota), Tajvan (7.400 jedinica robota), Italija (8.500 jedinica robota), Njemačka (22.300 jedinica robota), Republika Koreja (30.500 jedinica robota), SAD (30.800 jedinica robota), Japan (38.700 jedinica robota) i Kina (168.400 jedinica robota). Zaključujemo da je na prvom mjestu Kina sa 42,74% implementiranih robota od ukupnog broja implementiranih robota u 2020. godini. To znači da je u ostatku svijeta primijenjenost 57,26%. Kina prvo mjesto u svijetu po implementaciji industrijskih robota drži od 2014. godine, a razloge smo već naveli [34]. Da bismo dobili stvarnu sliku o automatizaciji proizvodnih procesa nije dovoljan broj implementiranih robota u nekoj zemlji, nego moramo napraviti analizu koeficijenta gustine industrijskih robota na 10.000 zaposlenih radnika u proizvodnim procesima industrije neke zemlje. Zato je napravljena analiza koeficijenta gustine robota na 10.000 zaposlenih radnika u proizvodnim procesima industrije Španije, Singapura, Francuske, Tajvana, Italije, Njemačke, Republike Koreje, SAD-a, Japana i Kine, a rezultati su prikazani na Slici 12. [19, 22, 23]. Analizom grafika prikazanih na Slici 12. dolazimo do zaključka da je svjetski prosjek gustine robota na 10.000 zaposlenih radnika u proizvodnim procesima industrije 126 jedinica industrijskih robota. Svih deset vodećih zemalja u kojima je u 2020. godini najviše implementirano industrijskih robota ima koeficijent gustine robota na 10.000 radnika veći od svjetskog prosjeka. Ovdje moramo izdvojiti Kinu čija je gustina robota na 10.000 zaposlenih radnika u industriji iznosila 246 jedinica robota i može se zaključiti da je taj broj oko 2 puta veća od svjetskog prosjeka, iako je samo prije 10 godina u ovoj zemlji gustina robota na 10.000 zaposlenih radnika u industriji bila zanemariva i daleko ispod svjetskog prosjeka. Može se zaključiti da Kina mnogo ulaže

u robotsku tehnologiju želeći što prije implementirati svoju strategiju „Made in China 2025“, jer je prva u svijetu po prijavi патената iz robotske tehnologije i već godinama prva po implementaciji industrijskih robota [25, 27, 28].



SLIKA 12. Grafik trenda gustoće industrijskih robota na 10.000 zaposlenih radnika u proizvodnim procesima u deset vodećih zemalja svijeta gdje je najveća implementacija robota u 2020. godini

Prvi pet zemalja po gustini robota na 10.000 zaposlenih radnika u industriji u svijetu su: SAD (sa gustom 255), Njemačka (sa gustom 371), Japan (sa gustom 390), Singapur (sa gustom 605) i Republika Koreja (sa gustom 932). Ovdje možemo izdvojiti Singapur i Republiku Koreju koje imaju svjetski najveći koeficijent gustine robota na 10.000 zaposlenih radnika u industriji, što znači da su to zemlje koje imaju najveću automatizaciju proizvodnih procesa u svijetu. Moramo napomenuti da će se za nekoliko narednih godina u prvih pet top zemalja naći i Kina zahvaljujući svom ulaganju u robotsku tehnologiju. Pored implementacije industrijskih robota u proizvodnim procesima, razvojem novih tehnologija a posebno robotske tehnologije, dolazi do implementacije servisnih robota za profesionalnu upotrebu u proizvodnim procesima. Stoga smo napravili analizu implementacije profesionalnih servisnih robota i servisnih robota za logistiku u periodu 2011-2021. godine koja je prikazana na Slici 13. [19, 32].



SLIKA 13. Grafik trenda implementacije profesionalnih servisnih robota i servisnih robota za logistiku u svijetu u periodu 2011-2021. godine

Analizom grafika na Slici 13. dolazimo do zaključka da se od 2011. do 2018. godine trend rasta implementacije profesionalnih servisnih robota odvijao po eksponencijalnoj funkciji i sa 16.067 jedinica robota implementiranih u 2016. godini broj je u 2018. godini povećan na 168.000 jedinica robota. Ovakav trend rasta mora se zahvaliti implementaciji Industrije 4.0 u proizvodnim procesima u kompanijama u svijetu koje žele biti konkurentne na globalnom tržištu, što mogu ostvariti samo implementacijom baznih tehnologija Industrije 4.0, a jedna od glavni tehnologija za automatizaciju proizvodni procesa je robotska tehnologija, odnosno industrijski i servisni roboti. Najveći broj profesionalnih servisnih robota koji se primjenjuju u industriji su servisni roboti za logistiku, a trend rasta je blaga eksponencijalna funkcija u periodu od 2011. do 2018. godine kada je implementacija dostigla brojku od 52.000 jedinica robota. U vrijeme pandemije virusa COVID-19, dakle 2019. i 2020. godine, dolazi do blagog pada implementacije i profesionalnih i servisnih robota za logistiku, da bi u 2021. godini, po prestanku pandemije, počelo povećano implementiranje ovih robota. Tako su profesionalni servisni roboti dostigli primjenu od oko 186.000 jedinica robota, dok su servisni roboti za logistiku imali implementaciju od oko 50.000 jedinica robota. Za očekivati je da će se u narednim godinama naglo povećati primjena ovih robota, a razlog za takve pretpostavke leži u činjenici da kompanije u razvijenim zemljama uveliko implementiraju Industriju 4.0 te da kompanije u zemljama u razvoju nastoje uhvatiti korak sa implementacijom ove industrije, što znači povećanje implementacije kako industrijskih tako i servisnih robota u svijetu.

4. ZAKLJUČAK

Možemo zaključiti da u posljednjih pedeset godina najveće povećanje životnog standarda možemo zahvaliti ulaganju u istraživanje, razvoj i implementaciju naprednih tehnologija, posebno u bazne tehnologije Industrije 4.0, kao što su robotika, automatizacija, internet stvari (IoT), veliki podaci (Big Data), računarstvo u oblaku (Cloud Computing), 3D štampanje, pametni senzori, radiofrekventna identifikacija (RFID), virtuelna i proširena stvarnost (AR), umjetna inteligencija (AI) itd. Procentualni globalni rast međunarodne porodice patenata (IPF-ova) u baznim tehnologijama Industrije 4.0 ekstremno je povećan u periodu od 2010. do 2018. godine, pri čemu je godišnja stopa

rasta iznosila oko 20% procenata, i, u odnosu na sve druge tehnologije, četiri je puta veći u 2018. godini (Slika 2.). Globalni trend rasta međunarodne porodice patenata (IPF-ova) u tehnologijama Industrije 4.0 se u Kini, Republici Koreji, Japanu, SAD-u i Evropskoj uniji kontinuirano povećavao u periodu 2008-2018. godine i takav trend rasta se očekuje i u narednom periodu. Od baznih tehnologija Industrije 4.0 analizirali smo robotsku tehnologiju i zaključili da se u periodu 2011-2018. godine bilježi povećanje kako prijavljenih tako i realiziranih patenata iz ove tehnologije. Trend realiziranih patenata nešto je manji i blaži u odnosu na trend prijavljenih patenata, što pokazuje Slika 4. U posmatranom periodu, najveću prijavu patenata smo imali u 2018. godini (34.690 patenata), kao i najveću realizaciju patenata iz robotske tehnologije (broj je nešto manji od broja prijavljenih patenata i iznosi 19.019 patenata). U 2019. i 2020. godini broj prijavljenih i realiziranih patenata je manji u odnosu na 2018. godinu, što je i logično jer je svijet zadesila pandemija virusa COVID-19. U periodu od 9 godina (2011-2020) u svijetu se izdvaja deset vodećih zemalja po broju prijavljenih patenata. To su: Kina, SAD, Japan, Republika Koreja, Njemačka, Tajvan, Kanada, UK, Australija i Rusija. Kina je na prvom mjestu sa 112.943 prijavljenih patenata iz robotske tehnologije u ovom periodu, slijedi SAD sa 52.843 prijavljena patenta te Japan sa 27.473 prijavljena patenta iz robotske tehnologije. Ulaganje u i razvoj robotske tehnologije doveo je do godišnjeg povećanja implementacije robota u svijetu, tako da je u 2021. godini implementirano oko 517.000 jedinica industrijskih robota. U svijetu se kontinuirano povećava i ukupni broj robota pa je u 2021. godini dostigao broj od oko 3.477 miliona jedinica robota. Po implementaciji industrijskih robota u svijetu u posljednjih osam godina na prvom mjestu je Kina, a razloge za to smo naveli u radu. Razvoj naprednih tehnologija doprinio je razvoju industrijskih robota druge generacije (kolaborativnih robota). Ovi roboti koriste bazne tehnologije Industrije 4.0, opremljeni su pametnim senzorima i dizajnirani za direktan rad interakcijom sa radnicima unutar zajedničkog definisanog radnog prostora. Iz godine u godinu i njihova se implementacija povećava. Analizom gustine industrijskih robota na 10.000 zaposlenih radnika zaključili smo da je svjetski prosjek gustine robota na 10.000 zaposlenih radnika u proizvodnim procesima industrije 126 jedinica industrijskih robota. Pri tome moramo izdvojiti dvije zemlje čija je gustina robota na 10.000 zaposlenih radnika u industriji najveća, a to su Republika Koreja sa 932 i Singapur sa 605 jedinica robota u 2020. godini. Isto tako, zaključili smo da se trend rasta implementacije profesionalnih servisnih robota odvija po eksponencijalnoj funkciji pa je broj sa 16.067 jedinica robota implementiranih u 2016. godini porastao na 168.000 jedinica robota u 2018. godini. Najveći broj profesionalnih servisnih robota koji se primjenjuju u industriji su servisni roboti za logistiku, a trend rasta je blaga eksponencijalna funkcija u periodu od 2011. do 2018. godine kada je implementacija dostigla brojku od 52.000 jedinica robota. Ovakav trend rasta prijave patenata iz robotske tehnologije i implementacije industrijskih i servisnih robota u svijetu mora se zahvaliti implementaciji Industrije 4.0 u proizvodnim procesima u svjetskim kompanijama koje žele biti konkurentne na globalnom tržištu, a to mogu ostvariti samo implementacijom baznih tehnologija Industrije 4.0, od kojih je jedna od glavnih tehnologija za automatizaciju proizvodnih procesa robotska tehnologija, odnosno industrijski i servisni roboti.

5. LITERATURA

- [1] Schwab, K.: The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 2016.
- [2] Karabegović, I., Kovačević, A., Banjanović-Mehmedović, L., Dašić, P.: Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing, IGI Global, Hershey, PA, USA, 2020. <https://www.igi-global.com/book/handbook-research-integrating-industry-business/237834>
- [3] Majstorović, V., Đurićin, D., Mitrović, R.: Industrija 4.0: Renesansa inženjerstva, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, Srbija, 2022.
- [4] Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., Husak, E.: The Implementation of Industry 4.0 in the Function of Application of Industrial and Service Robots in Production Processes, International Scientific Conference, Application of Industry 4.0 on Opportunity for a New Step Forward in All

- Industrial Branches, 14 April, 2022, Special Editons, Volume CCII, Department of Technical Sciences, Volume 20, ANU B&H, pp.103-117; DOI:10.5644/PI2022.202.24;
https://www.anubih.ba/images/news/PDF/20220526_Aplikacija_industrije_4.pdf
- [5] Esmaeilian, B., Behdad S., Wang, B.: The evolution and future of manufacturing: a review, *Journal Manufacturing System*, Vol. 39., pp. 79-100., 2016.: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksy.2016.03.001>
 - [6] Karabegović, I., Turmanidze, R., and Dašić, P.: Robotics and Automation as a Foundation of the Fourth Industrial Revolution - Industry 4.0, in *Advanced Manufacturing Processes*, Cham, 2020, pp. 128-136. doi: 10.1007/978-3-030-40724-7_13.
 - [7] UNCTAD (2018) Technology and innovation report 2021, United Nations conference on Trade and Development; based on data from Maddison Project Database, version 2018.
https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020overview_en.pdf
 - [8] Karabegović, I., Turmanidže, R., Dašić, P.: Analysis of Patent Trends from Industry 4.0 and the Implementation of Robot Technology in the Countries of China, USA, Japan, Republic of Korea and Germany, 6th International Scientific Conference, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications-COMET-a, 17th-19th November, 2022, East Sarajevo, pp. 273-286., RS, Bosnia and Herzegovina.: <http://cometa.ues.rs.ba/>
 - [9] Wang, K.: Intelligent Predictive Maintenance (IPdM) system - Industry 4.0 scenario. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, Vol. 113, pp. 259-268. 2016. www.witpress.com, doi:10.2495/IWAMA150301
 - [10] Muller, J. M., Buliga, O., Voigt, K. I.: Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 132, Iss.C, pp. 2-7. 2018. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.12.019
 - [11] Sara M. Abdulla, China's Robotics Patent Landscape, Center for Security and Emerging Technology-CSET, 2021.
 - [12] Trademarks and patents in China: The impact of non-market factors on filing trends and IP systems. January 2021.
<https://www.uspto.gov/sites/default/files/documents/USPTOTrademarkPatentsInChina.Pdf>
 - [13] Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., Husak E.: The Implementation of Industry 4.0 by Using Industrial and Service Robots in the Production Processes, Chapter 1. *Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing*, IGI Global, USA, pp. 1-30, 2020. DOI: 10.4018/978-1-7998-2725-2.ch001
 - [14] Chryssolouris, G., Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., Michalos, G., Georgoulas, K.: Digital manufacturing: History, perspectives and outlook, *Journal of Engineering Manufacture*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, pp. 451-462. 2009.
<http://dx.doi.org/10.1243/09544054JEM1241>
 - [15] Karabegovic Edina, Karabegovic Isak, Hadzalic Edit, Industrial Robot Application Trend in World's Metal Industry, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 23(4), 368-378. 2012.
<http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.23.4.2567>
 - [16] Types of Robots - ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics"
<https://robots.ieee.org/learn/types-of-robots/> [Accessed: Dec. 14, 2022]
 - [17] IFR, „World Robotics Report: ‘All-Time High’ with Half a Million Robots Installed in one Year”, IFR International Federation of Robotics.<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/wr-report-all-time-high-with-half-a-million-robots-installed>[Accessed; Dec. 16, 2022].
 - [18] Bill, M., Müller, C., Kraus, W. and Bieller, S.: World Robotics Report 2022, 2022. [Online]. Available: https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf
 - [19] International Federation of Robotics, „Executive Summary World Robotics 2022 Industrial Robots”. 2022. [Online]. Available: https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2022.pdf
 - [20] Hermann, M., Pentek, T., Otto, B.: Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *Proceedings of the IEEE 2016, 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Koloa, HI, USA, pp. 3928-3937. 2016. <http://dx.doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
 - [21] Thoben, K. D., Wiesner, S., Wuest, T.: Industrie 4.0 and smart manufacturing - A review of research issues and application examples, *International Journal Automation Technology*, Vol. 11, pp. 4-16. 2017. <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>
 - [22] Karabegović, I.: The Role of Industrial and Service Robots in Fourth Industrial Revolution with Focus on China, *Journal of Engineering and Architecture*, Vol. 5, No. 2, pp. 110-117, 2017. DOI: 10.15640/jea.v5n2a9 URL: <https://doi.org/10.15640/jea.v5n2a9>

- [23] Karabegović, I. and Karabegović, E.: The Role of Collaborative Service Robots in the Implementation of Industry 4.0, *International Journal of Robotics and Automation Technology*, Vol. 6., 40-46. 2019. (<https://www.zealpress.com/>)
- [24] Juraj Sinay, Zuzana Kotianová, Automotive Industry in the Context of Industry 4.0 Strategy Transactions of the VSB - Technical university of Ostrava, Safety Engineering Series, Vol. XIII, No. 2, pp. 61-65. 2018.; DOI 10.2478/tvsbses-2018-0014
- [25] Karabegović, I.: The Role of Industrial and Service Robots in the Fourt Industrial Revolution, *ACTE Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, University Politehnica Timisoara, Tome XI, Fascicule 2. April 2018. Hunedoara, Romania, pp. 11-16. 2018. <http://acta.fih.upt.ro/pdf/2018-2/ACTA-2018-2-01.pdf>
- [26] Botlikov, M., Botlikov, J.: Local Extemes of Selected Industry 4.0, Indicators in the European Space-Structure for Autonomous Systems, *Journal of Risik Managment*, Vol. 13/13., 2020. <http://doi:10.3390/jrfm13010013>
- [27] Karabegović, I., Husak, E.: Industry 4.0 based on Industrial and Service Robots with Application in China, *Journal Mobility and Vehicle*, 44(4), pp. 59-71. 2018. http://www.mvm.fink.rs/Journal/Archive/2018/2018V44N4/Karabegovic_et_all/Karabegovic_et_all.pdf
- [28] Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., Husak, E.: The application of service robots for logistics in manufacturing processes, *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 10. No. 4. 2015, Maribor, Slovenia, EU, pp. 185-194. 2015. https://www.apem-journal.org/Archives/2015/APEM10-4_185-194.pdf
- [29] Mičić, V.: Industry 4.0 Development Conditions in the Republic of Serbia, *Journal facta Universitatis, Economics and Organization*, Vol. 17., No 2. pp. 97-112. 2020. <https://doi.org/10.22190/FUEO191112008M>
- [30] Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., Husak, E.: Implementation of Industry 4.0 and Industrial Robots in Production Processes In: Isak Karabegović (eds) *New Technologies, Development and Application II 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer Nature Switzerland AG 76, pp. 96-102. 2020.
- [31] Oesterreich, T. D., Teuteberg, F.: Understanding the Implications of Digitisation and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- [32] Karabegović I., Husak E., Predrag D.: The Role of Service Robots in Industry 4.0 - Smart Automation of Transport, *International Scientific Journal Industry 4.0*, Vol. 4. Iss. 6. pp. 290.292 2019.: <https://stumejournals.com/journals/i4/2019/6/290>
- [33] https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4340__DSN-Logistics-and-distribution/figures/4340_fig1.png [Accesed: Dec.20.2022]
- [34] Karabegović, I., Bičo Ćar, M., Šestić M., Stupar, S. i dr.: Industry 4.0 of Bosnia and Herzegovina Within Industry 4.0, *Inernacional Scientific Conference, Application of Industry 4.0 an Opportunity for a New Step Forward in all Industrial Branches*, 14 April Sarajevo, 2022, Bosnia and Herzegovina, pp. 49-68. https://www.anubih.ba/images/news/PDF/20220526_Aplikacija_industrije_4.pdf;
DOI: 10.5644/PI2022.202.20

THE TREND OF DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INNOVATIONS IN ROBOTICS AS THE BASIC TECHNOLOGY OF INDUSTRY 4.0

Isak Karabegović¹, Ermin Husak², Edina Karabegović², Mehmed Mahmić²

¹ Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina,
Bistrik 7, 71000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

² University of Bihać, Technical Faculty Bihać, Irfana Ljubijankića bb,
77000 Bihać, Bosnia and Herzegovina
E-mail: isak1910@hotmail.com

ABSTRACT

The implementation of Industry 4.0 has already been intensively present in the last five or six years around us, but its concept itself is not widespread enough in production processes in the world. Its implementation will improve many aspects of human life in all segments of society. The business paradigm and production models will change at all levels of production processes, as well in the supply chains. In recent years, major changes have taken place such as the transformation of production systems, consumption, delivery, logistics, etc., and this can be attributed to the implementation of the latest technological discoveries such as: robotics, automation, 3D printing, Internet of Things (IoT), smart sensors, big data, cloud computing, radio frequency identification (RFID), virtual and augmented reality (AR), artificial intelligence (AI), Cyber-Physical Systems (CPS), etc. The paper analyzes the impact of Industry 4.0 on the increase in real GDP in the world, as well as the global trend of international patent families (IPF) in the basic technologies of Industry 4.0, as well as all other technologies in the world, with special reference to the trend of registered and realized patents in robotic technology in the world and in the ten leading countries. An analysis of the implementation of industrial and service robots in leading countries in the world was made. The number of patents in robotic technology has a direct impact on the implementation of industrial and service robots for professional use. Companies in the world that want to be competitive on the global market can achieve this only by implementing the basic technologies of Industry 4.0. One of the main technologies for automating production processes is robotic technology, i.e. industrial and service robots.

Keywords: *patents, industrial robot, service robot, industry 4.0, production process, automation*

UPRAVLJANJE ALATIMA U DIGITALNOJ PROIZVODNJI – JEDAN PRIMER

Vidosav Majstorović ¹⁾, Vojin Vukadinović ²⁾, Jovan Živković ³⁾, Radivoje Mitrović ⁴⁾

^{1,4)} Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija

^{2,3)} Kompanija Metalac, Gornji Milanovac, Srbija
E-mail: vidosav.majstorovic@gmail.com

SAŽETAK:

Brze promene na tržištu i snažna personalizacija proizvoda stvaraju potrebu za velikom fleksibilnošću upravljanja proizvodnjom u pogonu na novim osnovama, gde model Industrije 4.0 daje dobra rešenja za ove izazove. Pametna proizvodnja (SM) predstavlja potpuno umreženi kolaborativni tehnološki sistem (CPS/CM), koji ima povratnu spregu u realnom vremenu. Ona omogućuje ispunjenja promenljivih zahteva i uslova u fabrici i pogonu, potreba kupaca i zahteva u lancu snadbevanja. Upravljanje radnim nalogom (MES) je osnova za upravljanje modelom Industrije 4.0 u realnoj proizvodnji u pogonu, zato što čini čvorište funkcije inženjerskog (CAD/CAPP/CAM/CAI) i poslovnog (CRM/SCM/ERP) planiranja iz kojeg izrasta model upravljanja proizvodnjom u pogonu. U tom smislu za model Industrija 4.0 se pokazalo da primena agenata za modeliranje upravljanja MES-om nije adekvatno za industrijsku primenu. Na ovom nivou razvoja i primene IT-a u proizvodnji, rešenje je u ovom trenutku dato kao software definisano upravljanje (SDC). Ovaj model koegzistira sa primenjenim modelom arhitekture ISA-95, gde su MES i ERP međusobno integrisani i logički centralizovani, što je na primeru menadžmenta alatima u ovom radu i pokazano. Rad daje prikaz razvijenog i primenjenog modela upravljanja alatima (TLM) u digitalnoj proizvodnji u metalnoj industriji.

Ključne riječi: digitalna proizvodnja, upravljanje alatima, MES

1. UVODNE NAPOMENE

Brze promene na tržištu i snažna personalizacija proizvoda stvaraju potrebu za velikom fleksibilnošću upravljanja proizvodnjom u pogonu na novim osnovama, gde model Industrije 4.0 daje dobra rešenja za ove izazove.

Pametna proizvodnja (SM) predstavlja potpuno umreženi kolaborativni tehnološki sistem (CPS/CM), koji ima povratnu spregu u realnom vremenu. Ona omogućuje ispunjenja promenljivih zahteva i uslova u fabrici i pogonu, potreba kupaca i zahteva u lancu snabdevanja. MES je osnova za upravljanje modelom Industrije 4.0 u realnoj proizvodnji u pogonu, zato što čini čvorište funkcije inženjerskog (CAD/CAPP/CAM/CAI) i poslovnog (CRM/SCM/ERP) planiranja iz kojeg izrasta model upravljanja proizvodnjom u pogonu (MES) [1]. U tom smislu za model Industrija 4.0 se pokazalo da primena agenata za modeliranje upravljanja MES-om nije adekvatno za industrijsku primenu. Na ovom nivou razvoja i primene IT-a u proizvodnji, rešenje je u ovom trenutku dato kao software-defined control (SDC) [1]. Ovaj model koegzistira sa primenjenim modelom arhitekture ISA-95, gde su MES i ERP međusobno integrisani i logički centralizovani, što je na primeru menadžmenta alatima u ovom radu i pokazano.

2. PREGLED LITERATURE

Sve aktivnosti jedne organizacije koje obuhvataju definisanje potreba za alatom (CAD/CAPP/ERP), nabavku (SCM) ili proizvodnju alata (CAM/MES), korišćenje i održavanje alata (ERP/MES) i povlačenje iz upotrebe (PDM/PLM), predstavlja integrisani proces menadžmenta svim vrstama alata u njihovom životnom veku - tool life management (TLM). Izvršene detaljne analize pokazuju da model menadžmenta alatima (TLM) ima ključne veze sa ERP, PLM i MES modelima u organizaciji [4], što važi i za naš model koji je izložen u ovom radu.

Digitalizacija je osnova Industrije 4.0, a to isto važi i za TLM, kao deo ovog koncepta. Radi realizacije projekta digitalizacije modula TLM u jednoj organizaciji, razvijen je model sa devet kriterijuma i tri ciljne funkcije (raspoloživost alata, minimalne zalihe i kvalitet proizvoda) [5]. Prvi kriterijum služi za ocenu početnog/dosegnutog nivoa projekta: početnik, definisan projekat, projekat se realizuje, projekat se primenjuje i projekat se unapređuje. Tako se za svaku organizaciju pravi matrica trenutnog stanja primene TLM modela, koja daje smernice za dalji rad na ovom projektu. U našem primeru TLM obuhvata treću (kriterijumi: 1, 2, 4, 8) i četvrtu fazu (kriterijumi: 3, 5, 6, 7, 9) digitalizacije, znači nalazi se između ova dva nivoa.

U [6] je prikazan model za menadžment reznim alatima na nivou CPS-a. Radi se o specifičnoj proizvodnji gde se traži izuzetno visok kvalitet proizvoda pa je neophodno upravljati alatom za tipski proizvod. Razvijen je sistem sa bazom znanja za upravljanje alatima koji sadrži znanja o: reznim alatima, režimima rezanja, tehnološkim oblicima, ERP i MES podacima za vezu sa ovim sistemima. I naš prilaz ima istu logiku, samo što se radi o alatima za obradu plastičnim deformisanjem.

Primena RFID tehnologije u modelu Industrije 4.0 je izuzetno važna, a u [7] je data studija slučaja za home appliance manufacturing, što je i naš slučaj. Ova tehnologija se mora primeniti i u TLM modelu.

MES modul je ključni element modela planiranja i upravljanja proizvodnjom u konceptu Industrije 4.0 [8]. TLM je sastavni deo podsistema za upravljanje radnim nalogom (WO), a on je direktno povezan sa ERP sistemom u našem primeru.

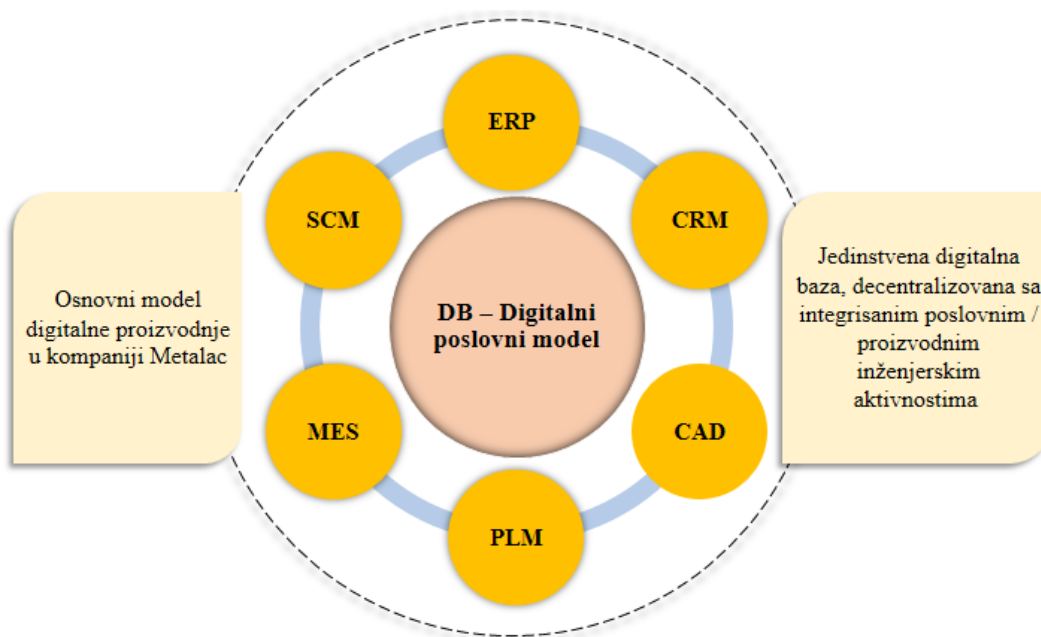
ERP model i njegove funkcije u terminiranju proizvodnje u industriji home cookware and appliance manufacturing je prikazan u [9]. TLM je sastavni deo ovog modela, što je slučaj i u našim istraživanjima.

Jedan o ključnih elemenata Industrije 4.0 je IoT, koji je i sastavani element TLM-a. U [10] je prikazan model IoT-a za home cookware and appliance manufacturing, a ovaj koncept (IIoT) se koristi i u našim istraživanjima.

U realnoj velikoserijskoj proizvodnji kao što je home cookware and appliance manufacturing, jedna od najvažnijih funkcija ERP-a je cloud orchestration service system [11]. U našim istraživanjima, ovaj aspekt je primenjen na nivou orkestracije procesa (MES) upravljanja radnim nalogom (WO).

3. DIGITALNI MODEL KOMPANIJE METALAC

Digitalni lanac modela i toka podataka u kompaniji Metalac, koja je home cookware and appliance manufacturing, realizuje se kroz model prikazan na Slici 1. koji ima jedinstvenu bazu podataka (znanja) o svim činionicima poslovanja, ažurnu na dnevnom nivou – sa najnovijim (aktuelnim) verzijama proizvoda i istorijom njihovih izmena [15].



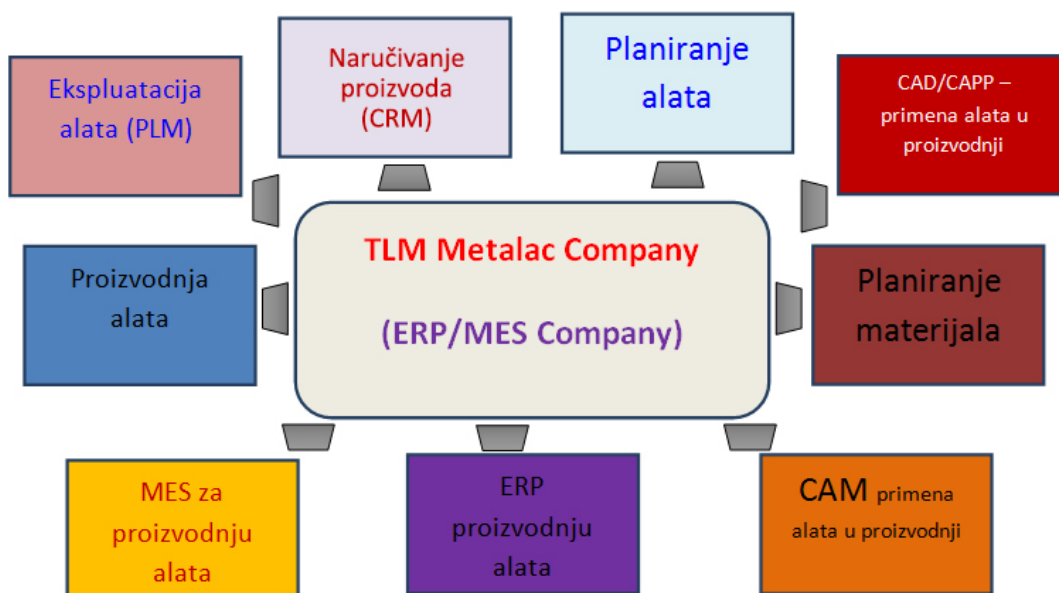
SLIKA 1. Digitalni model kompanije Metalac

Kako se uspostavlja i funkcioniše digitalni lanac za proizvod u ovoj organizaciji? Zahtev za ponudu proizvoda generiše se u modulu CRM (customer relationship management), koji se posle prihvatanja kupca prevodi u zahtev za proizvodnju i planske narudžbenice kao deo sistema – poslovni informacioni sistem (modul CRM (porudžbenica/otpremnicu koja se kreira direktno u ERP-u). Time on postaje deo sistema jedinstvene baze podataka (DB) pa projektant, na osnovu standardnih parametara dimenzija, automatski generiše tipski CAD model (3D model dela, sastavnica /struktura, količinska, modularna/). U sledećoj fazi projektant generiše tipsku CAM tehnologiju za CAD model, koja obuhvata: redosled operacija izrade + alate za izvlačenje + mašine (3D model mašine – digital twin). Nakon CAM dokumentacije, sistem u sledećoj fazi generiše CAQ (plan kontrole kvaliteta za deo, kao deo ISO 9001 modela). U sledećem koraku ERP formira komplet radnog naloga: list za odmaščivanje, list za emajliranje, list kontrole kvaliteta, izračunava troškove u pogonu, formira list pakovanja, daje plan završne kontrole. Pomoću modula SCM vrši se definisanje nabavke i plana kontrola kvaliteta ulaznih materijala i sirovina i time formira jedinstveni sistem digitalnog modela lanca za proizvod koji će se izraditi u planiranoj količini sa definisanim rokom, koji je uključen u jedinstveni sistem klasifikacije činilaca poslovanja. PDM sistem je sada u punoj primeni, i on se nalazi na cloudu, a sada se vrši njegovo proširenje na PLM sistem, koji bi sa nivoea proizvoda u ovom

momentu prešao na digitalni nivo proizvodnog programa, takođe na cloud. Obezbeđenje sledljivosti i ulaganje u trag greškama se vrši unazad, preko zahteva za isporukom i radnog naloga, preko ERP-a, jer su u njemu oni povezani preko nivoa (viši i niži). MES sistem funkcioniše online, jer je obezbeđen digitalni lanac praćenja proizvodnje. Ovo znači da se i ERP sistem prati online pa se onda biznis plan pravi na godišnjem nivou, plan proizvodnje i isporuke na mesečnom nivou, a termin plan proizvodnje na sedmičnom/dnevnom nivou.

4. MODEL MENADŽEMENTA ALATIMA

Naš fokus u ovom radu je na alatima za obradu plastičnom deformacijom lima za sledeće operacije: prosecanje, savijanje, izvlačenje, duboko izvlačenje. Ova kompanija ima više hiljada ovih alata u upotrebi, pri čemu se više od 80% njih odnosi na prosecanje i duboko izvlačenje. Ova kompanija sama proizvodi ove alate u alatnoj radionici, a u okviru digitalnog modela sa Slike 1., a sa TLM upravlja životnim ciklusom alata - Slika 2.



SLIKA 2. TLM model kompanije Metalac

Izrada modela i crteža alata se radi prema modelu proizvoda, u mašinskim tehnologijama u okviru fabrike cookware, kojoj pripada i tool workshop. Izrada prototipa 3D štampom proverava se kroz 3D simulacije, korišćenjem digital twina. Za projektovanje alata koristi se Solid works (CAD) i PDM, uz generisanje 3D modela, praćenje i overu izmena. U sledećem koraku ove 3D modele preuzima projektant tehnologije tool workshop (CAPP) i na osnovu odobrenja otvara se radni nalog (WO) za izradu konkretnog alata u ERP modelu. Analiziraju se potrebni materijali (SCM) i vrši njihova nabavka, njihova kontrola kvaliteta po isporuci i smeštanje u magacin sirovina, označavanjem bar kodom. Istovremeno se vrši ažuriranje cena/troškova po alatu na osnovu nabavne cene materijala. Sada se kompletira termin karta (ERP scheduling), sa rokovima izrade. U CAM modulu definiše se tehnologija izrade alata i kompletira radni nalog za proizvodnju u tool workshopu.

Po završetku izrade alata slede probe i/ili dorade do postizanja konačno zadatog kvaliteta kada se alat predaje pogonu za plastično deformisanje (proizvodnja posuđa). Tada se u mašinskim tehnologijama proizvodnje alat povezuje na operacije tehnoloških postupaka izrade dela (CAPP), kroz modul alata u ERP-u. Zadaje se vek trajanja alata, period pregleda i održavanja alata na osnovu

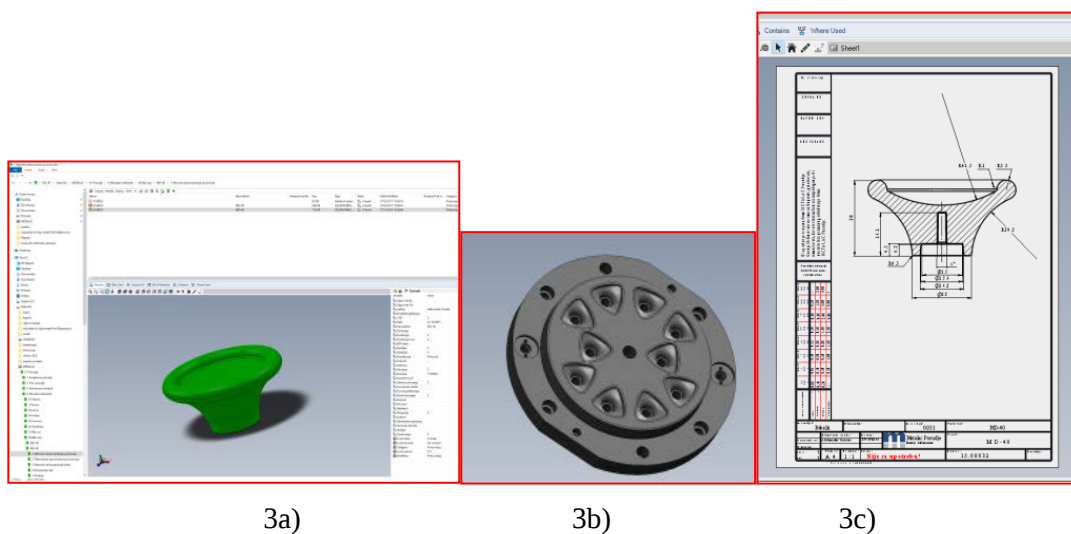
broja urađenih komada u njemu, koji se dopisuje na alat na osnovu završenih naloga za proizvodnju (MES). Na osnovu potrebe za servisom alata, otvara se servisni nalog in tool workshop (inicira ga manufacturing) za doradu, oštrenje alata ili popravke. Na ovaj način se prate troškovi održavanja alata pojedinačno (po alatu), grupno (vrstama alata) ili po pogonu (proizvodnje).

Ova struktura TLM modula u primeni nam na početku primene (zahteva za novi proizvod) daje realno stanje alata i njegovih komponenti i sledljivost svih izmena i dorada uz poslednje važeće stanje alata. Digitalna proizvodnja nam je omogućila da sve delove alata radimo iz 3D modela direktno kroz CAM module naših mašina in tool workshop. Na ovaj način obezbeđujemo najbržu isporuku proizvoda za naše kupce (CRM), upravljanje troškovima alata u njihovom životnom veku i visok kvalitet naših proizvoda.

Povezivanjem TLM modula sa ERP modelom ostvarujemo praćenja alata kroz: broj urađenih komada, troškove održavanja, dostizanje veka alata (planirani/ostvareni) i planiranje izrade novih alata (istekao rok trajanja postojećim alatima).

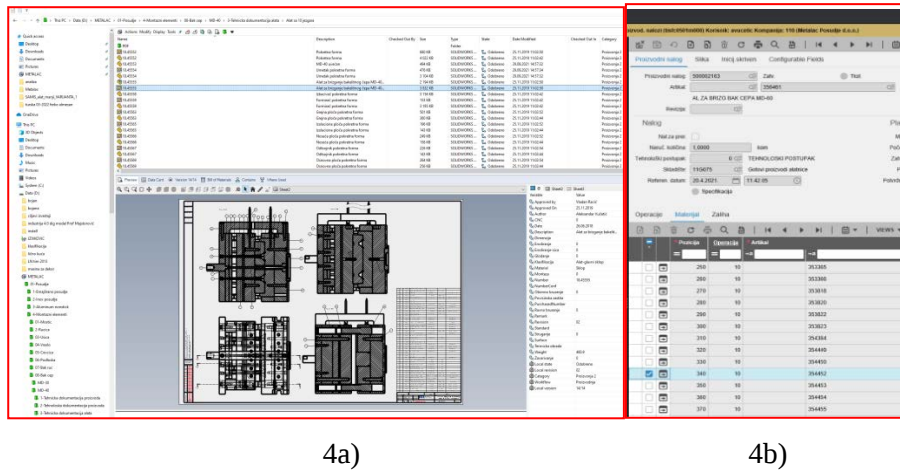
5. PRIMER TLM-a IZ PRAKSE KOMPANIJE

Inženjerski aktivnosti projektovanja alata za obradu lima počinju projektovanjem dela koji će se u njemu izrađivati (Slika 3a), sa crtežom (3c). Istovremeno se projektuje i donja ploča (matrica) alata za ovaj deo (3b). Dobijeni 3D model dela definiše makro model alata, saglasno geometrijskom obliku dela i vrsti materijala od koga se deo pravi.



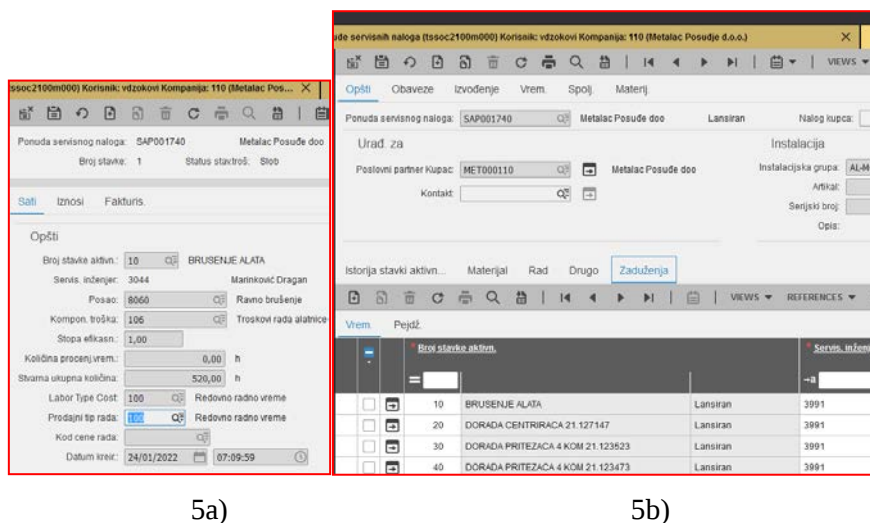
SLIKA 3. Model dela (3a), model donje ploče (matrica) (3b) i crtež dela (3c)

Posle ovog koraka se prelazi na TLM model i inženjersko projektovanje alata (CAD/PDM), koristeći standardne delove alata čeličnih ploča, vođenja, čivija, zavrtnjeva, izbijača, klizača, izolacionih ploča, grejača (Slika 4a). Izlaz iz projektovanja su 3D modeli alata i potrebni tehnički crteži, kao i konstruktivna sastavnica alata (EBOM).

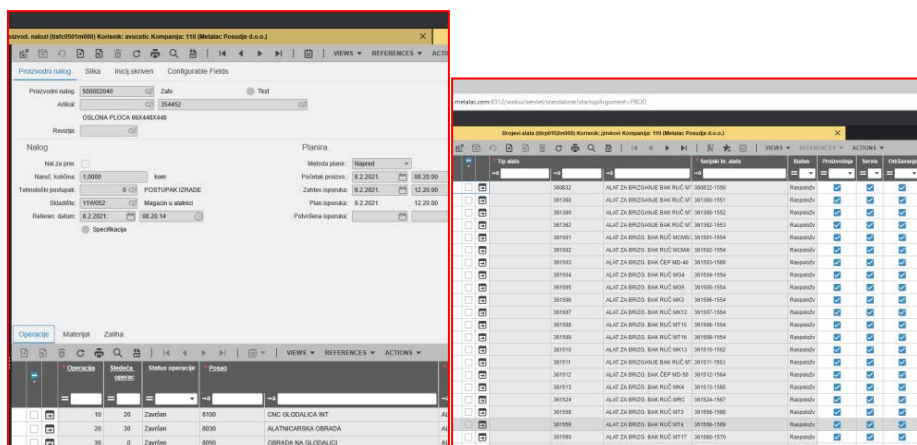


SLIKA 4. Model alata (4a) i struktura sastavnica alata za obradu lima (4b)

Na ovom nivou dobijamo sve geometrijske modele, oblike i tolerancije alata i njegovih komponenti, kao ulaz u projektovanje tehnologije (CAPP/CAM) za njega. To se radi u tehnološkom birou tool workshop (Slika 5.). Tako se kreira tehnološka sastavnica alata (MBOM). Sledeći korak je formiranje radnog naloga (WO) za izradu alata koji nam sa generisanim podacima o cenama materijala i vremena potrebnog za njegovu izradu daje ukupne troškove i vreme izrade, čime definišemo termin plan njegove proizvodnje (Slika 6.).



SLIKA 5. Tehnološki postupak izrade alata – jedna operacija (5a) i kompletan deo (5b)



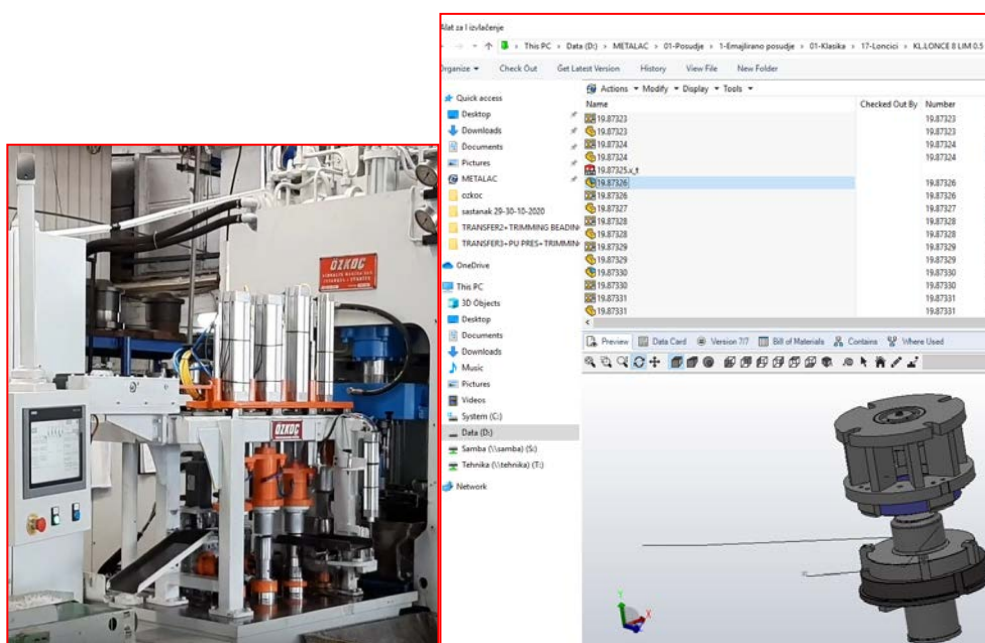
6a)

6b)

SLIKA 6. Radni nalog proizvodnje alata (6a) i termin karta proizvodnje alata (6b)

Nakon proizvodnje, završne kontrole proizvodnje i montaže, alatu se dodeljuje identifikaciono-klasifikacioni broj, propisuje vek trajanja i tehnologija održavanja. Sva elektronska dokumentacija po modelu ISO 9001 (projektovanje i razvoj) se generiše na cloud, nakon čega se otvara karton alata u elektronskoj formi i počinje faza eksploatacije, uz online praćenje eksploatacije alata preko MES i ERP modela proizvodnje posuđa.

Ova fabrika u svom pogonu ima nekoliko automatskih mašina za izradu proizvoda koje rade automatski i autonomno, kao CPS u CM okruženju. Ove mašine (CPS) su višestruko povećale produktivnost, a kvalitet proizvoda na njima dovela na „zero defect“. Na Slici 7. je prikazan jedan CPS u pogonu i alat koji se koristi na njoj.



7a)

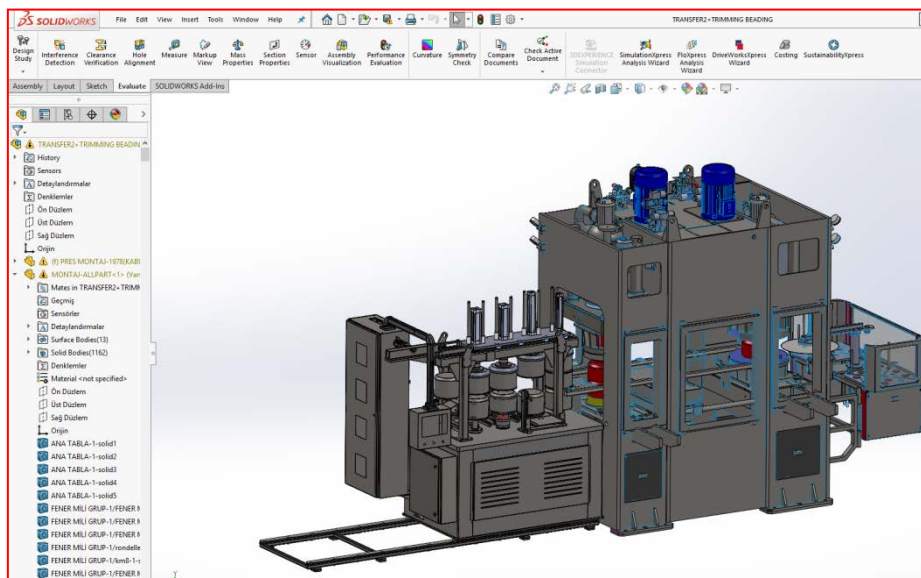
7b)

SLIKA 7. CPS u pogonu proizvodnje posuđa i model alata koji se koristi na njemu (7b)

Na ovaj način se upravlja alatima u ovoj organizaciji (TLM), koristeći razvijeni model sa Slike 2., koji je u primeni omogućio sledeće: (a) smanjenje troškova alata i povećanje kvaliteta proizvodnje i (b) digitalizaciju ovog segmenta poslovanja ove kompanije.

6. ZAKLJUČCI I BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Digitalizacija je u ovoj kompaniji primenjena u svim segmentima poslovanja (inženjerski i poslovni deo). Sada je u toku primena elemenata Industrije 4.0 u poslovno-proizvodnim i tehnološkim celinama, i to: (a) CPS i digital model (twin off-line) - Slika 8., (b) BDA analiza, za oblast održavanja i eksploatacije alata i (c) ista analiza za optimizaciju tehnologije izrade alata, kao i posuđe (posebno debljine emajla na dnu posuđe u zavisnosti od namene posuđa).



SLIKA 8. Digitalni model (twin off-line) of CPS

Posebno važan je projekat online upravljanje radnim nalogom (WO) koristeći IoT [15], koji se sada realizuje i predstavlja dalje unapređenje digitalnog modela ERP u proizvodnji posuđa i alata.

7. LITERATURA

- [1] Felipe Lopez, Yuru Shao, Mao Morley, James Moyne, Kira Barton, Dawn Tilbury, A software-defined framework for the integrated management of smart manufacturing systems, *Manufacturing Letters*, Volume 15, Part A, January 2018, Pages 18-21, <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2017.12.015>.
- [2] Alexandros Bousdekis, Dimitris Apostolou, Gregoris Mentzas, A human cyber physical system framework for operator 4.0 – artificial intelligence symbiosis, *Manufacturing Letters*, Volume 25, August 2020, Pages 10-15, <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.06.001>.
- [3] Pai Zheng, Abinav Sivabalanb, A generic tri-model-based approach for product-level digital twin development in a smart manufacturing environment, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 64, August 2020, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101958>.
- [4] Aneta Skowron, Tool Lifecycle Management in Industrial Practice, *Management Systems in Production Engineering*, 2015, 2(18), 69-75, www.doi:10.12914/MSPE-04-02-2015.
- [5] Eva Schaupp, Eberhard Abele, Joachim Metternich, Potentials of digitalization in tool management, *Procedia CIRP* 63 (2017) 144 – 149, www.doi:10.1016/j.procir.2017.03.172.
- [6] Ozbayrak M, De Souza RBR, Bell R. Design of a tool management system for a flexible machining facility. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2001;215(3):353-370. www.doi:10.1243/0954405011515424.
- [7] Zhiyuan Zhu, Jie Tan, He Ren, Wancheng Ni & Qiang Guan (2012) RFID application in manufacturing: A case study on a pilot RFID project in household appliance production, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25:1, 3-10, www.doi:10.1080/0951192X.2010.512043.

- [8] B. Saenz de Ugarte, A. Artiba & R. Pellerin (2009) Manufacturing execution system – a literature review, *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 20:6, 525-539, [www.doi:10.1080/09537280902938613](https://doi.org/10.1080/09537280902938613).
- [9] Nobuhiro Ishida, Toshiki Ishida, IoT-based Improvements in Home Appliance Manufacturing at Hitachi GLS, *Hitachi Review* Vol. 69, No. 1 90-98, 2020. https://www.hitachi.com/rev/archive/2020/r2020_01/01a07/index.html, last accessed 2022/04/25.
- [10] Shohin Aheleroff, Xun Xu, Yuqian Lu, Mauricio Aristizabal, Juan Pablo Velásquez, Benjamin Joa, Yesid Valencia, IoT-enabled smart appliances under industry 4.0: A case study, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 43, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101043>.
- [11] Bufan Liu, Yingfeng Zhang, Geng Zhang, Pai Zheng, Edge-cloud orchestration driven industrial smart product-service systems solution design based on CPS and IoT, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 42, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100984>.
- [12] Serrenho, T., Bertoldi, P., Smart home and appliances: State of the art - Energy, Communications, Protocols, Standards, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, [www.doi:10.2760/453301](https://doi.org/10.2760/453301).
- [13] Bressanelli, G., Sacconi, N., Perona, M., Baccanelli, I. Towards Circular Economy in the Household Appliance Industry: An Overview of Cases. *Resources* 2020, 9, 128. <https://doi.org/10.3390/resources9110128>.
- [14] Pedro Daniel, Urbina Coronado, Roby Lynn, Wafa Louhichi, Mahmoud Parto, Ethan Wescoat, Thomas Kurfess, Part data integration in the Shop Floor Digital Twin: Mobile and cloud technologies to enable a manufacturing execution system, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 48, Part C, July 2018, Pages 25-33, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.02.002>.
- [15] Vojin Vukadinovic, Vidosav Majstorovic, Jovan Zivkovic, Slavenko Stojadinovic, Dragan Djurdjanovic, Digital Manufacturing as a basis for the development of the Industry 4.0 model , *Procedia CIRP*, Volume 104, 2021, Pages 1867-1872. [www.doi:10.1016/j.procir.2021.11.315](https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.315).

TOOL LIFE MANAGEMENT IN DIGITAL MANUFACTURING – CASE STUDY

Vidosav Majstorović ¹⁾, Vojin Vukadinović ²⁾, Jovan Živković ³⁾, Radivoje Mitrović ⁴⁾

^{1,4)} University of Beograd, Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia

^{2,3)} Company Metalac, Gornji Milanovac, Serbia

E-mail: vidosav.majstorovic@gmail.com

ABSTRACT

Rapid changes in the market and strong personalization of products create a need for great flexibility of production management in the plant on a new basis, where the Industry 4.0 model provides good solutions for these challenges. Smart manufacturing (SM) is a fully networked collaborative technology system (CPS/CM), which has real-time feedback. It enables the fulfillment of changing requirements and conditions in the factory and plant, customer needs and demands in the supply chain. Manufacturing execution management (MES) is the basis for the management of the Industry 4.0 model in real manufacturing in the workshop, because it forms the hub of the engineering (CAD/CAPP/CAM/CAI) and business (CRM/SCM/ERP) planning functions from which the production management model grows. in operation. In this sense, for the Industry 4.0 model, it has been shown that the application of MES management modeling agents is not adequate for industrial application. At this level of development and application of IT in production, the solution is currently given as software-defined control (SDC). This model coexists with the applied architecture model ISA-95, where MES and ERP are mutually integrated and logically centralized, which is shown on the example of tool management in this paper. The paper presents the developed and applied tool management model (TLM) in digital manufacturing in the metal industry. management model (TLM) in digital manufacturing in the metal industry.

Keywords: Digital Manufacturing, Toll Life Management, ERP, MES, SM

PRAĆENJE HABANJA REZNOG ALATA PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA U OBLAK OKRUŽENJU

Mijodrag Milošević¹, Dejan Lukić¹, Aco Antić¹

¹⁾ Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,
Trg Dositeja Obradovića 6, 106314 Novi Sad, Srbija
E-mail:mido@uns.ac.rs

SAŽETAK:

Jedna od tehnologija koncepta Industrije 4.0 se odnosi na prediktivno održavanje koje uključuje kontinualno ili periodično senzorsko praćenje fizičkih promena stanja proizvodnih resursa. Na ovaj način se pravovremeno sprečavaju ili minimizuju zastoji u proizvodnji. U tom kontekstu, u radu će biti prikazan razvijeni sistem u oblak okruženju za praćenje stanja pohabanosti alata merenjem vibracija. Ovaj sistem primenjuje metod mašinskog učenja koji je integrisan u okviru MS Azure oblaka. Verifikacija je izvršena na podacima izračunatih centralnih momenata pri obradi struganjem, za rezne pločice sa različitim stepenom pohabanosti.

Ključne riječi: proizvodni oblak, mašinsko učenje, I4.0, pametno održavanje, monitoring uslova

1. UVOD

Neophodan korak u postizanju osnovnog cilja Industrije 4.0 - stvaranje pametnih fabrika - predstavlja primena metoda pametne proizvodnje, odnosno inteligentnih alata i pametnih servisa [1]. Takođe, cilj je koncipiranje sistema pametnog održavanja kao jedne od osnovnih tehnologija koje će se primenjivati u pametnoj proizvodnji i koji svoje funkcionisanje bazira na monitoringu fizičkih veličina proizvodnog procesa. Krajnji cilj je povećanje fleksibilnosti proizvodnih preduzeća u pravcu razvoja održive proizvodnje vođene inteligentnim servisima, a takođe i sprečavanje ili minimizovanje zastoja u proizvodnji.

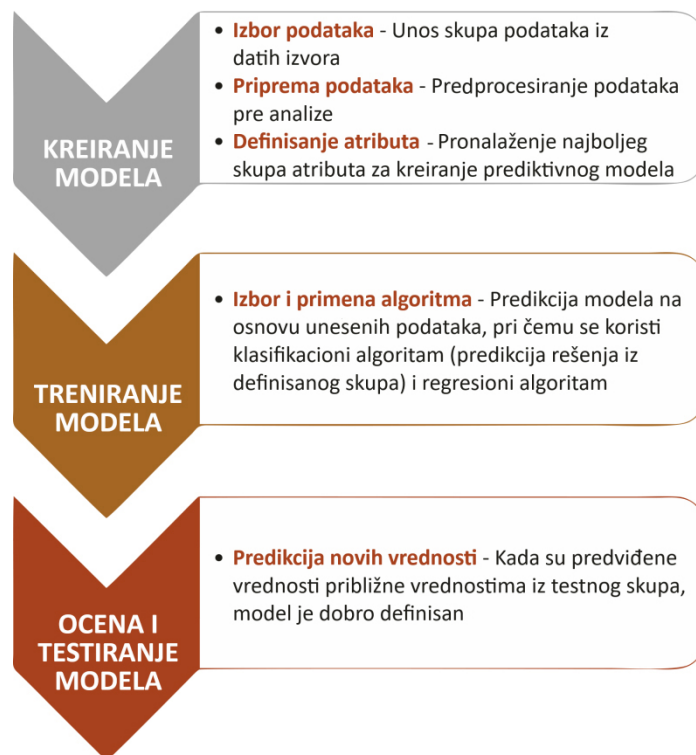
Novija istraživanja u ovoj oblasti su fokusirana na stvaranje okvira za inteligentno proizvodno okruženje koje će se koristiti pri implementaciji koncepta Industrije 4.0. Principi pametne proizvodnje koriste različite metode bazirane na veštačkoj inteligenciji [1]. U proizvodni proces se, dakle, uvode i primenjuju brojni inteligentni alati i servisi koji se odnose na praćenje stanja procesa proizvodnje. U skladu sa tim, neophodno je unapređenja sistema za praćenje habanja alata u radnom prostoru mašine, odnosno stvaranje okvira za inteligentno prediktivno održavanje alata. Ovaj sistem uključuje praćenje stanja pohabanosti alata uz pomoć opreme za merenje vibracija. Podaci koji se dobiju merenjem vibracija alata se analiziraju primenom metoda mašinskog učenja, što predstavlja osnovu tehnologije pametnog održavanja (*Smart maintenance*). Na taj način se pravovremeno sprečavaju otkazi alata, čime se otklanjaju i isključuju neplanirani i skupi zastoji u proizvodnom procesu.

2. MAŠINSKO UČENJE BAZIRANO NA OBLAK TEHNOLOGIJI

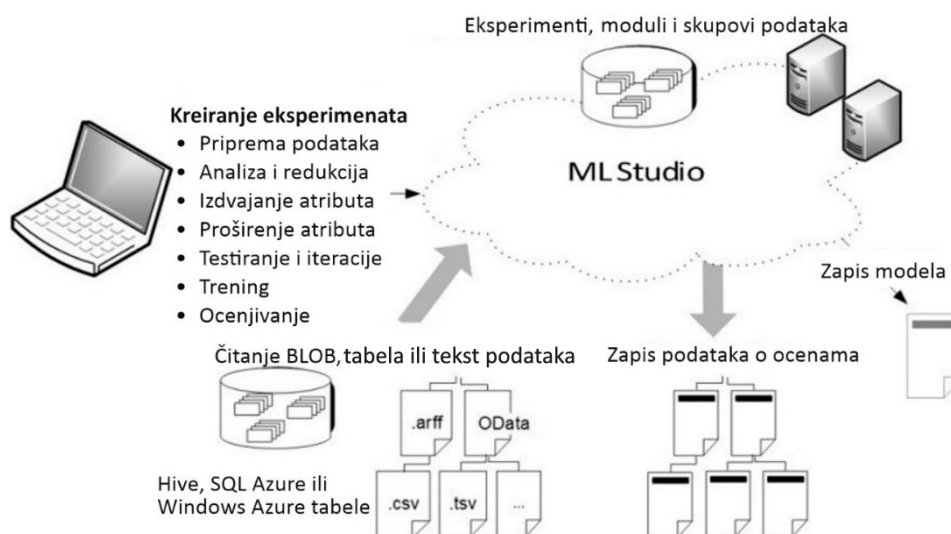
Azure Machine Learning Studio omogućava kreiranje i proveru različitih modela mašinskog učenja za određeni skup podataka. Ovo je platforma za upravljanje sistemom mašinskog učenja u oblaku. Softver, platformu i infrastrukturu pruža sistem *Microsoft Azure*, podržavajući brojne programske jezike, alate i okruženja bazirana na oblak tehnologiji. Uz pomoć ML Studija se:

- razvijaju modeli mašinskog učenja na osnovu podataka iz jednog ili više izvora;
- transformišu i analiziraju podaci statističkim funkcijama u cilju određivanja skupa rezultata (to je iterativni proces u kome se korekcijom parametara menjaju rezultati sve dok se ne dobije odgovarajući efikasan obučeni model).

Na Slici 1. je prikazana osnovna procedura primene mašinskog učenja za jedan eksperiment. Da bi se razvio model prediktivne analize, koriste se podaci iz jednog ili više izvora, transformišu se i analiziraju pa se, primenom statističkih funkcija, generiše skup rezultata. Modifikacijom različitih funkcija i njihovih parametara, dobijeni rezultati se konvergiraju dok se ne dobije obučeni, efikasan model. ML Studio pruža interaktivni, vizuelni radni prostor za jednostavno kreiranje, testiranje i iteracije na modelu prediktivne analize (Slika 2.). Korisnik kombinuje skupove podataka (*datasets*) i module za analizu u interaktivnom radnom prostoru, povezujući ih u trenažni eksperiment mašinskog učenja. Kada su rezultati zadovoljavajući onda se trenažni eksperiment prevodi u prediktivni eksperiment u obliku web servisa, tako da i drugi korisnici mogu da pristupe dobijenom modelu. Metrike za regresione modele služe za procenu veličine greške. Predviđeni matematički model odgovara podacima ako je razlika između posmatranih i predviđenih vrednosti mala. Analizom reziduala na uzorku podataka, odnosno razlike između bilo koje predviđene i stvarne vrednosti, može se doći do saznanja da li je model adekvatan.



SLIKA 1. Tok aktivnosti za kreiranje prediktivnog modela mašinskog učenja [2]



SLIKA 2. Interaktivni radni prostor u ML Studiju [2]

Za procenu regresionih modela u ML studiju koriste se sledeće metrike [2, 3]:

- **Srednja apsolutna greška** – meri koliko su predviđanja bliska stvarnim vrednostima;
- **Koren srednje kvadratne greške** – daje jednu vrednost koja predstavlja zbirnu grešku modela. Kvadriranjem razlike se zanemaruju velika odstupanja u predviđanju;
- **Relativna apsolutna greška** – relativna apsolutna razlika između očekivanih i stvarnih vrednosti, pri čemu se izračunava srednja aritmetička vrednost odstupanja;

- **Relativna kvadratna greška** – normalizacija ukupne kvadratne greške predviđenih vrednosti, pri čemu se vrši deljenje sa ukupnom kvadratnom greškom stvarnih vrednosti;
- **Koeficijent determinacije (R^2)** – predstavlja vrednost u rasponu između 0 i 1 koja opisuje adekvatnost modela. Nula znači da je model slučajan (ne objašnjava ništa), a 1 znači da se savršeno uklapa. Ipak, treba biti oprezan pri tumačenju vrednosti R^2 , jer niske vrednosti mogu biti sasvim normalne, a visoke vrednosti mogu biti nepouzdanе.

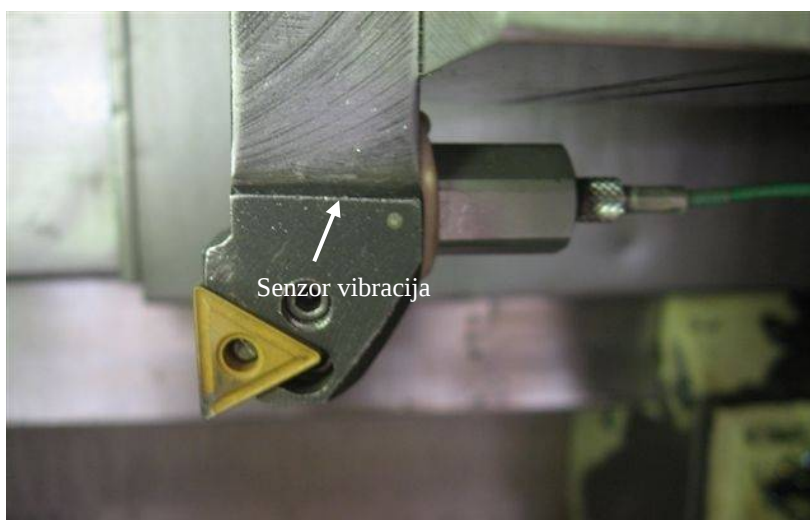
3. SENZORSKI SISTEM ZA PRAĆENJE VIBRACIJA REZNOG ALATA

Senzorski sistem za praćenje vibracija reznog alata ima sledeće karakteristike:

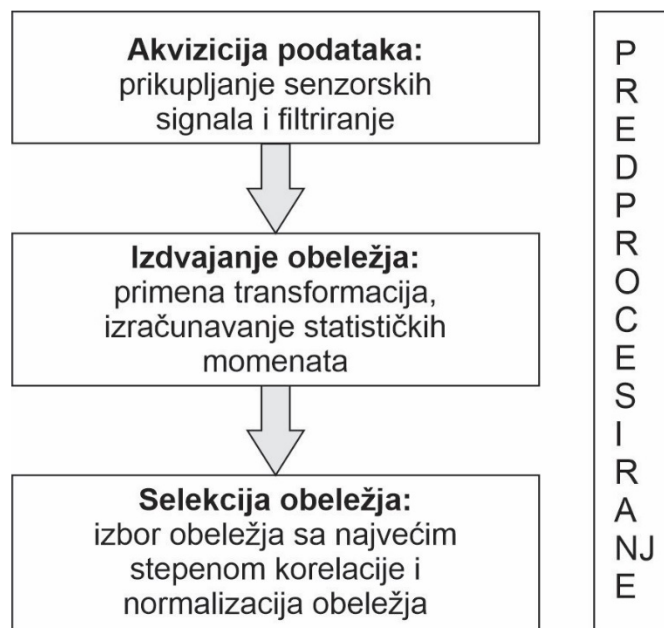
- koristi adekvatne senzore za merenje ubrzanja vibracija kako bi se na što bolji način detektovale dinamičke karakteristike procesa rezanja i implementirale u sistem nadzora;
- koristi algoritme bazirane na veštačkoj inteligenciji u oblasti nadzora habanja alata koji se zasnivaju na primeni apriori znanja o stanju pohabanosti alata;
- pronalazi zadovoljavajući načina izdvajanja vektora ulaznih karakteristika primenom transformacija u vremensko-frekventnom domenu.

Senzorski deo modula za predprocesiranje podataka čini akcelerometar za merenje ubrzanja vibracija postavljen na dršku alata (Slika 3.). Delu podsistema za predprocesiranje podataka pripada i A/D kartica NI USB 6281 18bit, 625 kS/s, koja sa postojećeg senzora dobija analogne informacije, konvertuje ih u digitalne i prosleđuje u bazu podatka merenja. Sistem omogućava definisanje brzine uzorkovanja podataka i ostalih neophodnih funkcija za rad samog uređaja za akviziciju. Struktura podsistema za predprocesiranje može se posmatrati kroz tri faze koje su prikazane na Slici 4.

Prva faza predstavlja akviziciju podataka i odnosi se na prikupljanje podataka sa senzora, kao i izbor pojasa filtriranja. U konkretnom slučaju, primenom nisko-propusnog filtera se vrši filtriranja različitih vrsta šumova koji deformišu merni signal [4].



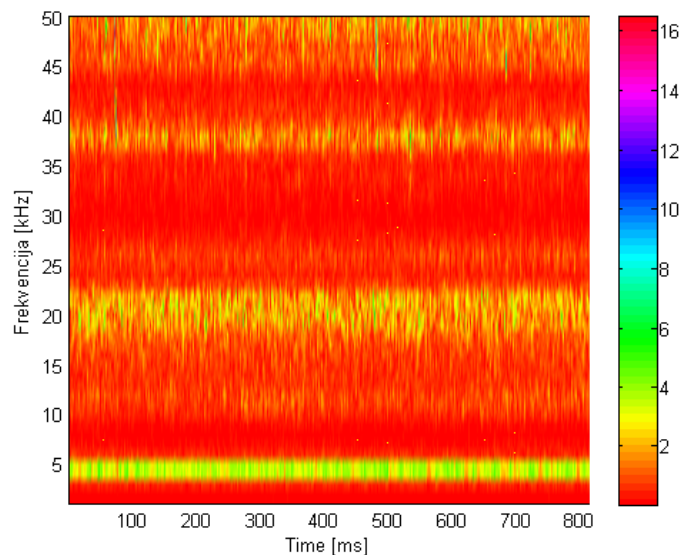
SLIKA 3. Postavljanje senzora za merenje vibracija reznog alata



SLIKA 4. Predprocesiranje podataka dobijenih sa senzora

Druga faza predstavlja izdvajanje obeležja. Osnovni cilj izdvajanja obeležja je značajno smanje dimenzije „sirovih“ podataka dobijenih od senzora u vremenskom i frekventnom domenu, a u isto vreme zadržavanje relevantnih informacija o stanju alata u izdvojenim obeležjima. Pri tome treba imati na umu da različite metode izdvajanja imaju različite mogućnosti za dobijanje seta informacija o stanju alata obradom senzorskog signala.

U današnje vreme se veliki broj industrijskih mernih sistema, koji se koriste u nadzoru habanja reznih alata, isporučuje sa već ugrađenim filterom signala (analogna predobrada signala). Pomoću ovakvih filtera se najčešće ograničava frekventni pojas na područje koje senzor, imajući u vidu njegove karakteristike, najkvalitetnije pokriva. Uz navedena, potrebna su, međutim, i dodatna filtriranja signala (digitalna predobrada signala) unutar radnog opsega senzora kako bi se prigušile frekvencije onih signala (pojava) koje su sastavni deo postupka obrade a nisu vezane za habanje alata (vibracije mašine, deformacija i lom materijala, trenje materijala po bokovima alata itd). Snimljeni signal je prvobitno obrađen niskopropusnim filterom, kako je prikazano u strukturi podsistema za predprocesiranje, gde je razmatran frekventni opseg do 50 kHz zbog karakteristika primenjenog senzora. Na filtriranom signalu urađena je diskretna Furijeova transformacija i dobijen je oblik spektra prikazan na Slici 5. Za dalju analizu iz dobijenog spektrograma signala izdvojen je gornji deo spektra signala, visokofrekventni deo jer se u tom delu spektra nalaze diskriminativna obeležja koja karakterišu stanje pohabanosti reznog alata.



SLIKA 5. Spektrogram filtriranog signala

Iz prikazanih rezultata može se uočiti usmerenost centralnih momenata, posmatrano po frekvenciji stvaranja lamela strugotine koje se dobiju obradom alatom sa različitim stepenom pohabanosti rezne pločice po pojedinim razmerama filtera. Izuzetak je odstupanje od usmerenosti kod pločice sa najvećom pohabanošću, što se može pravdati time da je pločica potpuno degradirana i da je kod ove pločice došlo do promene tipa strugotine.

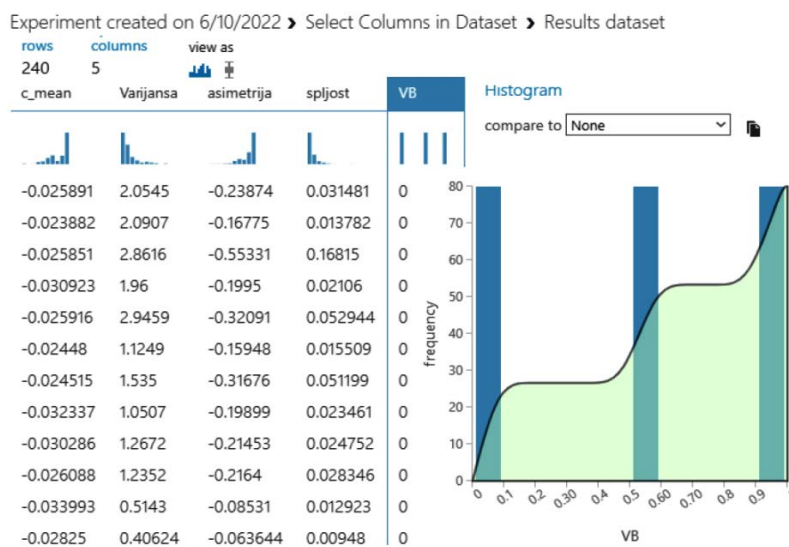
4. ANALIZA CENTRALNIH MOMENATA ALATA U ML STUDIJU

Krajni izlaz iz modula za predprocesiranje i obradu podataka su izračunati centralni momenti za prikazane razmere. Deo centralnih momenata dobijen u modulu za predprocesiranje prikazan je u Tabeli 1. Kao diskriminativna obeležja primenjene su vrednosti izračunatih centralnih momenata: varijansa, koeficijent asimetrije i koeficijent spljoštenosti. Ova obeležja su odabrana jer njihove vrednosti imaju izraženiju promenu sa promenom pohabanosti pločice, tj. imaju bolju korelaciju sa pohabanošću alata u odnosu na druga obeležja. Ceo postupak utvrđivanja pripadnosti pojedinog elementa određenom skupu zasniva se na određivanju njegove pripadnosti kroz tri kombinacije obeležja. Primenom klasifikacije u samo jednoj razmeri može se izvršiti kvalitetna klasifikacija stanja pohabanosti alata, pogotovo zato što postoji samo jedan fizički izvor informacija, tj. vibracije.

TABELA 1. Prikaz dela izračunatih centralnih momenata po pojedinim razmerama za pločice različitog stepena pohabanosti

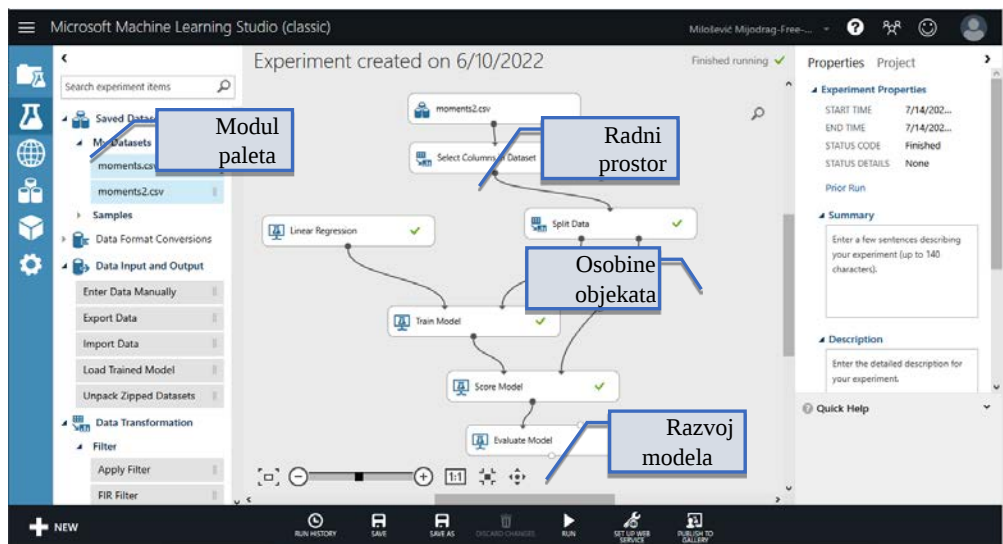
Centralni momenti	Nova pločica	Pojas habanja 0,25 mm	Pojas habanja 0,55 mm	Potpuno degradiran alat
<i>Razmera I</i>				
<i>Srednja vrednost</i>	-0.13794819926	-0.12472823415	-0.11436530596	-0.12541743628
<i>Varijansa</i>	4.33004452633	1.61527765463	0.59496679855	1.00174617608
<i>koef. asimetrije</i>	-1.47780598530	-0.96825146333	-0.41422192202	-1.21663428609
<i>koef. spljoštenosti</i>	0.11382051257	0.06486639025	0.04587497758	0.12541445114
<i>Razmera II</i>				
<i>Srednja vrednost</i>	-0.22383778716	-0.18795982515	-0.16372339460	-0.18678597239
<i>Varijansa</i>	3.06549712564	1.23954201485	0.36939617833	0.63390553200
<i>koef. asimetrije</i>	-1.17290133182	-0.77377167145	-0.48294701146	-1.06014195154
<i>koef. spljoštenosti</i>	0.08259091746	0.05210368214	0.04575176375	0.08659298047
<i>Razmera III</i>				
<i>Srednja vrednost</i>	-0.30352420900	-0.23958936267	-0.20836828770	-0.24357300170
<i>Varijansa</i>	1.56893965739	0.75401003960	0.17995614785	0.33778890834
<i>koef. asimetrije</i>	-1.07040434106	-0.63626635922	-0.57505774822	-1.13331518583
<i>koef. spljoštenosti</i>	0.06757675981	0.04609144501	0.04589097543	0.07824611322

Podaci o centralnim momentima koji su nastali obradom i izračunavanjem nakon analize spektra vibracija alata su snimljeni i kao takvi su prebačeni u ML Studio (Slika 6.).



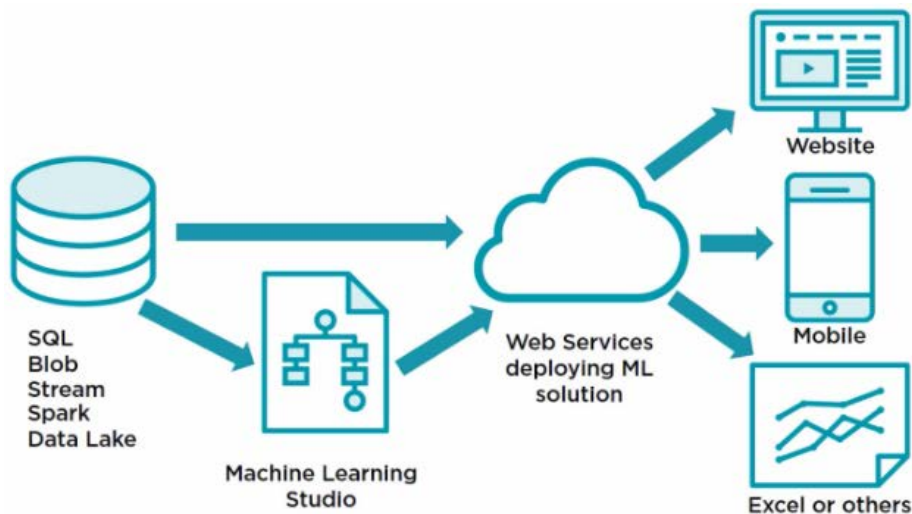
SLIKA 6. Segment izračunatih centralnih momenata u ML Studiju

U okviru ML Studija formiran je projekat, odnosno eksperiment u kome su definisani koraci algoritma za mašinsko učenje koji uključuju i metriku regresionog modela [5]. Na kraju je izvršeno pokretanje projekta, odnosno validacija, trening, bodovanje i ocenjivanje postavljenog modela nad setom podataka o centralnim momentima vezanim za procenu habanja reznog alata (Slika 7.).



SLIKA 7. Validacija i ocenjivanje eksperimenta mašinskog učenja

Postavljeni model mašinskog učenja omogućava procenu pohabanosti lednog ugla reznog alata u zavisnosti od intenziteta vibracija, odnosno vrednosti centralnih momenata. Na bazi ovog modela omogućeno je generisanje inteligentnog web servisa koji može egzistirati u okviru sistema pametne proizvodnje [6], odnosno proizvodnje bazirane na oblak tehnologijama (Slika 8.).



SLIKA 8. Razvoj web servisa u Azure ML Studio okruženju [2]

5. ZAKLJUČAK

Predstavljeni sistem za prediktivno praćenje stanja pohabanosti reznog alata svrstava se u domen pametnog održavanja. Kontinualno senzorsko praćenje vibracija reznog alata u proizvodnji rezultuje ekstrakcijom statističkih obeležja i izračunavanjem centralnih momenata. Korišćenjem tehnike mašinskog učenja koji funkcioniše u proizvodnom oblaku se na bazi ovih obeležja može proceniti stepen pohabanosti ledne površine alata. Prikazano okruženje predstavljaju osnovu za definisanje inteligentnih servisa, odnosno metoda koji se primenjuju u okruženju pametne proizvodnje.

6. LITERATURA

- [1] Zhong R. Y., Xu X., Klotz, E., Newman S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: a review, *Engineering* 3(5), pp. 616-630, doi: 10.1016/J.ENG.2017.05.015
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning>, decembar 2022.
- [2] Barnes J. (2015). *Microsoft Azure Essentials - Azure Machine Learning*, The Microsoft Press Store, ISBN:978-0-7356-9817-8
- [3] Antić A., Popović B., Krstanović L., Obradović R., Milošević M. (2018). Novel Texture-Based Descriptors for Tool Wear Condition Monitoring, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 98, pp. 1-15,
doi: 10.1016/j.ymssp.2017.04.030
- [4] Milošević M., Lukić D., Ostojić G., Lazarević M., Antić A. (2022). Application of Cloud-based Machine Learning in Cutting Tool Condition Monitoring, *Journal of Production Engineering*, Vol. 25(1), pp. 20-24, ISSN 1821-4932
- [5] Lazarević M., Ostojić G., Lukić D., Milošević M., Antić A. (2022). Smart Production Systems: Methods and Application, 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), pp. 1-4, doi: 10.1109/INFOTEH53737.2022.9751262

APPLICATION OF CLOUD-BASED MACHINE LEARNING IN CUTTING TOOL WEAR MONITORING

Mijodrag Milošević¹, Dejan Lukić¹, Aco Antić¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences,
Trg Dositeja Obradovića 6, 106314 Novi Sad, Serbia
E-mail:mido@uns.ac.rs

ABSTRACT

One of the primary technologies in the Industry 4.0 concept refers to Smart maintenance or predictive maintenance that includes continuous or periodic sensor monitoring of physical changes in the condition of manufacturing resources. In this way, production delays or failures are timely prevented or minimized. In this context, the paper present a developed cloud-based system for monitoring the condition of cutting tool wear by measuring vibration. This system applies a machine learning method that is integrated within the MS Azure cloud. The verification was performed on the data of the calculated central moments during the turning process, for cutting tool inserts with different degrees of wear.

Keywords: *Cloud manufacturing, Machine learning, I4.0, Smart maintenance, Condition monitoring*

KOLABORATIVNI ROBOTI I VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA: NOVA EFIKASNOST U APLIKACIJAMA

Lejla Banjanović-Mehmedović

Univerzitet u Tuzli, Fakultet elektrotehnike, Franjevačka 2,
75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina
E-mail: lejla.banjanovic-mehmedovic@fet.ba

SAŽETAK

Kolaborativna robotika je glavni trend u tehnologiji robota koji omogućava rješenja u kojima čovjek i robot rade zajedno pri dostizanju zajedničkih ciljeva. Mnoge nove aplikacije zahtijevaju da roboti rade sa ljudima kao sposobni članovi ljudsko-robotskog tima. Kombinacija pojedinačnih prednosti ljudi i robota, kao što su ljudske sposobnost i opažanja, reakcije i prilagođavanja novim situacijama, zajedno sa snagom, brzinom i repetitivnosti robota, rezultira radnjom čovjeka i robota koja značajno povećava performanse cjelokupnog sistema. Integrirajući se s vještačkom inteligencijom, kolaborativni robot u savremena rješenja uvode fleksibilnost i mogućnosti učenja u ranije rigidne aplikacije. Nove aplikacije uključuju robote u kućama, bolnicama, kancelarijama i industriji. Ovaj rad pruža uvid u izazove koje donosi saradnja čovjeka i robota te daje pregled metoda vještačke inteligencije koje ispunjavaju ciljeve kolaborativne robotike. Također, prezentirani su primjeri kolaboracije čovjeka i robota u okviru industrijskih aplikacija i aplikacija iz socijalnog okruženja, iskazujući trend digitalne transformacije kroz Industriju 4.0 i Industriju 5.0.

Ključne riječi: kolaborativni roboti, koboti, vještačka inteligencija, čovjek, Industrija 4.0, Industrija 5.0

1. UVOD

Cilj Industrije 4.0 je povećati produktivnost i postići masovnu proizvodnju korištenjem inovativnih tehnologija, poput interneta stvari (IoT), robotike, vještačke inteligencije (AI), analize velike količine podataka i računarstva u oblaku. Pri tome se uključuju i druge tehnologije koje podržavaju Industriju 4.0, poput 3D printanja, virtualne i proširene stvarnosti, ambijentalne inteligencije, sve u cilju kreiranja pametne proizvodnje (*Smart Manufacturing*) [1].

Dva osnovna trenda koja vode postepeno od Industrije 4.0 ka Industriji 5.0 su kolaborativna robotika i bioekonomija. Prvi trend je u domenu saradnje (kolaboracije) ljudi i robota, kad god i gdje god je to moguće. Drugi trend obuhvata pametno korištenje bioloških resursa za industrijske svrhe u cilju postizanja ravnoteže između ekologije, industrije i gospodarstva [1].

Kolaborativna robotika (*Collaborative robotics*) je glavni trend u tehnologiji robota koji omogućava rješenja u kojima operater direktno pristupa robotu i komunicira s njim, za razliku od tradicionalne robotike gdje je pristup robotskom sistemu onemogućen u radnim uslovima. Predstavlja složenu biomehatroničku arhitekturu iz perspektive dizajna, pri čemu je proces odlučivanja potpomognut simulacijskim modelima [2, 3]. U interakciju čovjek - robot (*human-robot interaction* - HRI) uključena su različita područja, kao što su inženjerstvo, robotika, računarstvo, vještačka inteligencija, interakcija čovjek - računar, obrada prirodnog jezika, računarska vizija, kognitivna nauka, psihologija i sociologija [4]. Kombinirajući prednosti i ljudi i robota, kao što su ljudske sposobnosti opažanja, reakcije i prilagođavanja novim situacijama, zajedno sa snagom, brzinom i repetitivnosti robota, povećavaju se performanse cjelokupnog sistema. Monotoni, ponavljajući zadaci se prepuštaju mehaničkim uređajima, a kreativni ljudima.

Saradnja čovjeka i robota zahtijeva visoki nivo sigurnosti operatera, što se može postići kombinacijom klasične robotike, kognitivne nauke i psihologije [3, 5]. Pri tome, kolaborativni roboti (koboti) se dizajniraju tako da su ograničene snaga/energija robota, da se koriste specifični senzor i novi nivoi upravljanja, npr. u procesu industrijske montaže ili transportu predmeta s pokretne trake. Primjer kolaboracije ljudi i robota u industrijskom okruženju je prikazan na Slici 1.

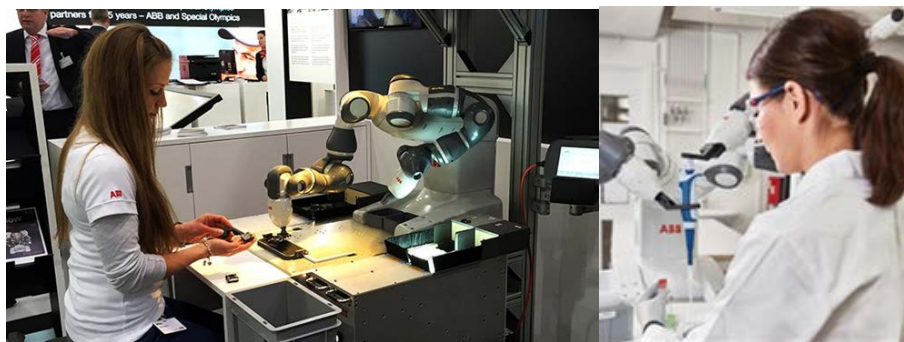


SLIKA 1. Primjeri kolaboracije ljudi i robota u industrijskom okruženju

Prednosti kolaboracije ljudi i robota su:

- *visoki nivo automatizacije*: koboti nadopunjuju mogućnosti ljudskih radnika i omogućavaju brzu automatizaciju proizvodnih koraka;
- *manje opterećenje zaposlenika*: fizički zahtjevne, opasne i monotone radne korake mogu preuzeti koboti, čime se rasterećuju zaposlenici;
- *visoki kvalitet*: repetitivne procese visoke koncentracije izvode koboti s najvećom preciznošću, čime se poboljšava kvalitet proizvodnje;
- *maksimalna fleksibilnost*: zadaci kolaborativnih robota mogu se fleksibilno prilagoditi.

Još jedna vrsta kolaboracije je dizajn kolaborativnih robota kao kombinacija više manipulatora s različitim zadacima. Proizvođači robota (FANUC, ABB, Universal Robots, KUKA, Motoman) kreirali su različite robote unutar kolaborativnog tržišta. ABB-ovi YuMi roboti su dio kolaborativnih automatiziranih rješenja koja pomažu u asembliranju elektronskih komponenti ili u medicinskim laboratorijama [6]. Na Slici 2. prikazan je dizajn kobota sa više manipulatora.



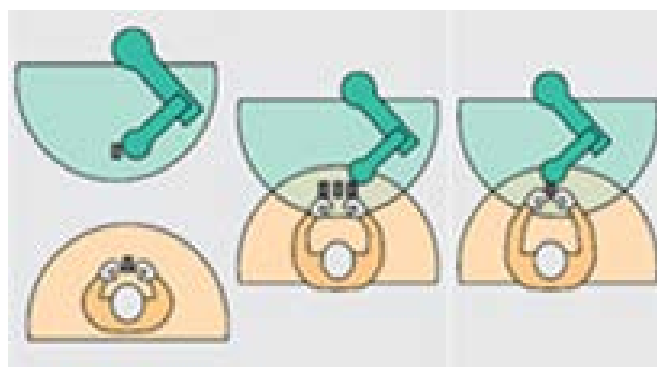
a).

b).

SLIKA 2. Primjeri dizajna kobota sa više manipulatora: a). Industrijske aplikacije - asembliranje elektronskih komponenti; b). ABB kolaborativni robot u medicinskoj laboratoriji u Texas Medical Centeru (TMC), Inovacioni kampus Houston, Texas [7]

Osnovne forme kooperacije robota i čovjeka [8] su prikazane na Slici 3.:

- *Koegzistencija (Coexistence)*: ne dijele zajednički radni prostor i rade neovisno jedan o drugom na različitim zadacima;
- *Kooperacija (Cooperation)*: u saradnji čovjeka i robota, ljudi i roboti rade u istom radnom prostoru. Oni naizmjenično rade na različitim zadacima unutar procesa. Ne postoji izravna interakcija;
- *Kolaboracija (Collaboration)*: ljudi i roboti međusobno djeluju u zajedničkom radnom prostoru, čovjek i robot rade simultano na istom proizvodu.



a).

b).

c).

SLIKA 3. Osnovne forme kolaboracije ljudi i robota:
a). koegzistencija, b). kooperacija; c). kolaboracija

2. PRIMJENA ROBOTA

U studiji provedenoj u tvornici BMW-a 2015. godine pokazano je da će saradnja čovjeka i robota poboljšati produktivnost do 85%. Očekivanja su da će tržište kolaborativnih robota s kapacitetom nosivosti iznad 10 kg biti najbrže rastući segment tokom narednog perioda. Kolaborativni roboti velike nosivosti u industrijama, kao što su automobilska i metalna industrija, izrada namještaja i razne opreme, bit će osnovni pokretači rasta globalnog kolaborativnog tržišta, jer će upravo aplikacije asembliranja zadržati veliki tržišni udio. Faktori koji pokreću rast primjene aplikacija asembliranja korištenjem kolaborativnih robota su velika fleksibilnost kolaborativnih robota za obavljanje zadataka specifičnih za aplikaciju mijenjanjem krajnjih efekatora i adekvatnim programiranjem ugradbenih uređaja (*embedded systems*).

Povećanje potražnje u domenu elektronike i automobilske industrije također potiče primjenu kolaborativne robotske montaže na globalnom tržištu. U automobilskoj industriji se kolaborativni roboti koriste za obavljanje različitih zadataka sklapanja na proizvodnoj liniji automobila. Zadaci kao što su preuzimanje i postavljanje, pakiranje i paletiranje, inspekcija kvaliteta i rukovanje komponentama obavljaju se na vrlo učinkovit i isplativ način s manje grešaka. Ova implementacija kolaborativnih robota u automobilskoj industriji smanjuje vrijeme proizvodnje, bez utjecaja na cjelokupni raspored proizvodne linije.

Ključni igrači na globalnom tržištu kolaborativnih robota su: KUKA AG, ABB, FANUC Corporation, Bosch GmbH, Robert Universal Robots A/S, Rethink Robotics, MRK-Systeme GmbH, Energid Technologies Corporation, F&P Robotics AG, Techman Robot for Quanta Storage Inc., MABI AG, Franka Emika GmbH, AUBO Robotics Inc., YASKAWA Electric Corporation, Comau S.p.A, KAWADA Robotics Corp i Precise Automation Inc.

Prema Forbesovoj listi, najbolji primjeri primjene kolaboracije ljudi i robota su u sljedećim aplikacijama [9]:

- skladišni koboti (Warehouse Robots)
- koboti u proizvodnji (Manufacturing Robots)
- koboti u poljoprivredi (Agriculture Robots)
- koboti u medicini (Healthcare Robots)
- koboti u rehabilitaciji (Wellbeing and Therapy Robots)
- koboti u industriji hrane i fast-food restoranima (Kitchen Robots)
- koboti u farmaceutskoj industriji (Pharmaceutical industry)

Interesantni primjeri aplikacija u domenu rehabilitacije (egzoskeletoni), industrije i farmaceutske industrije prikazani su na Slici 4.



SLIKA 4. Primjeri primjene kolaborativnih robota

3. IZAZOVI U KOLABORACIJI LJUDI I ROBOTA

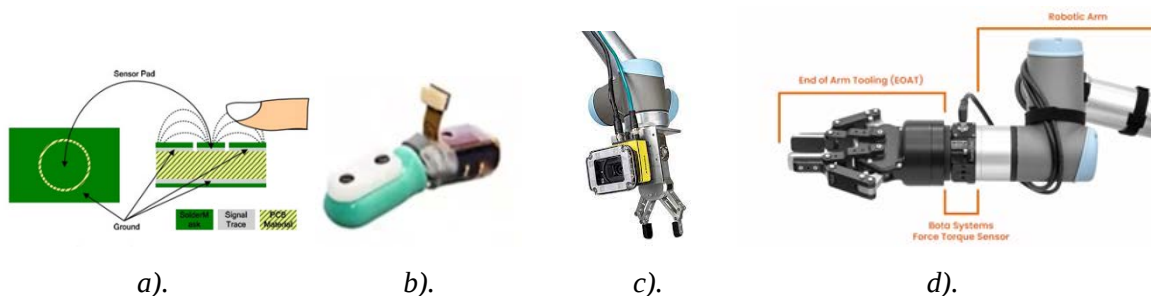
Da bi saradnja čovjeka i robota bila učinkovita kao saradnja čovjeka i čovjeka, robot mora biti sposoban obavljati i aktivne i pasivne dijelove interakcije, baš kao što bi to činio čovjek [10]. Izazovi u okviru kolaboracije ljudi i robota su dizajn robota, percepcija, komunikacija, pristupi koji se baziraju na reaktivnoj kontroli generisanja pokreta, učenja, optimizacije [11].

Dizajn. Shodno zahtjevima aplikacija, zastupljen je različit dizajn tijela robota, ali i završetka manipulatora (Slika 5.).



SLIKA 5. Primjeri dizajna kobota

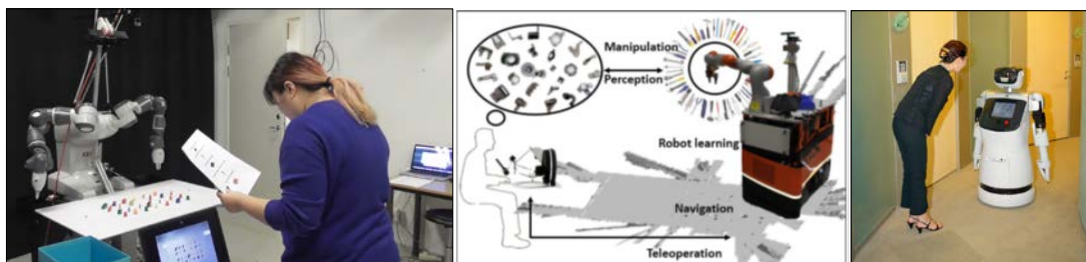
Percepcija. U cilju percepcije, kolaborativni roboti dizajniraju se s naprednim senzorima, tipa kamere ili taktilnih senzora, senzora sile i momenta i sl. [12]. Zbog nesavršenosti i korelacije podataka, vrlo često se koristi fuzija senzorskih informacija kako bi se postigla bolja funkcija kobota [13]. Neke izvedbe ili principi rada nabrojanih senzora, često zastupljenih kod kobota, prikazani su na Slici 6.



SLIKA 6. Primjeri senzora kod kobota: a). kapacitivni senzori mogu se koristiti za otkrivanje sudara (otkriva promjenu udaljenosti); b). piezoelektrični taktilni senzori; c). korištenje kamere na zglobu kobota; d). senzor sile i momenta

Komunikacija. Operater može upravljati kobotom na dva načina: verbalno (govor) ili neverbalno (izrazi lica, poze i pokreti glave, geste rukama i pokreti tijela) [14]. Za prepoznavanje govora i gesti pri saradnji čovjeka i robota koristi se senzorska tehnologija te identifikacija i klasifikacija korištenjem metoda vještačke inteligencije [15].

Učenje. Robot treba posjedovati znanje o partnerskom agentu (čovjeku) i ograničenjima koja mu on nameće. Nadalje, zadaci robotske manipulacije zahtijevaju modele koji bilježe dinamiku interakcije. To se ne može steći samo rijetkim ljudskim demonstracijama, već kroz domen podučavanja robota različitim vještinama, kao što pokazuje Slika 7. [16]. Kobot uči vještinu sličnu onoj koju bi naučio čovjek, npr. promatranjem demonstracija, pokušajima i pogreškama, ili na osnovu eksplicitne komunikacije (prirodni jezik) ili implicitne komunikacije (kretanje) [17, 18]. Ove mogućnosti učenja kobotima osiguravaju algoritmi vještačke inteligencije.



SLIKA 7. Primjeri učenja i socijalne interakcije ljudi i kobota

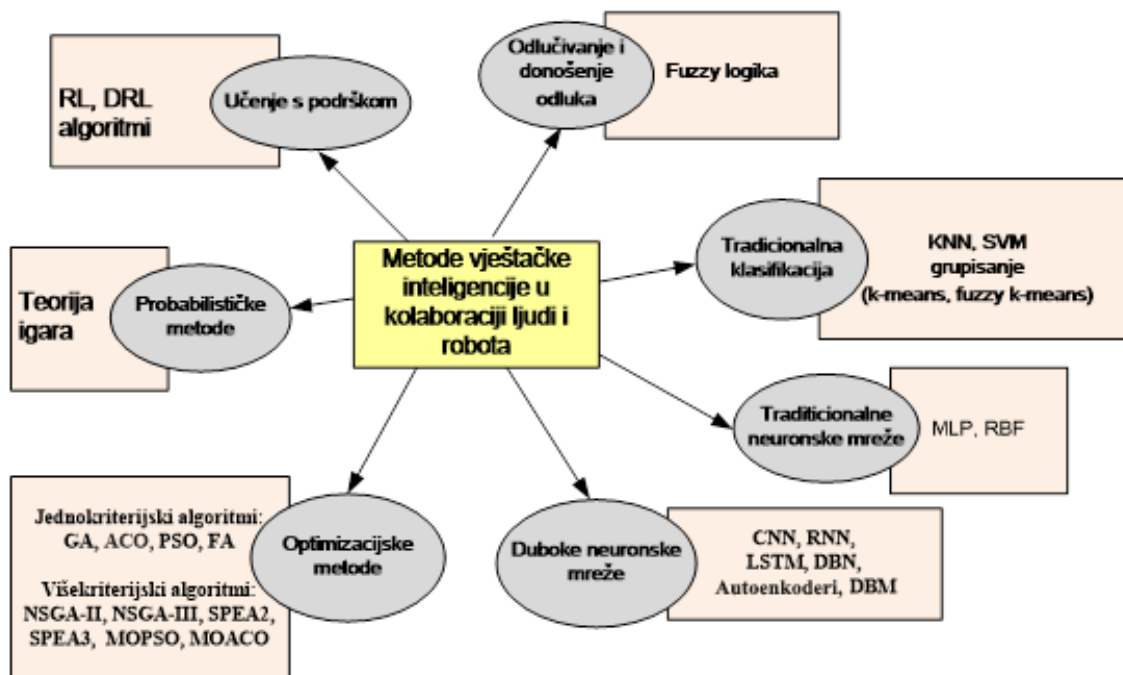
4. KOLABORATIVNI ROBOTI I VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA

U robotici, vještačka inteligencija opisuje sposobnost odgovarajućeg reagiranja na nepredviđene i neprogramirane situacije. Cilj je razviti inteligentne, kolaborativne robote, koji treba da unaprijede život ljudi u različitim sferama, od industrijskih aktivnosti do socijalne svakodnevnice.

Ovisno o inteligenciji kolaborativnih robota (kobota), saradnja između ljudi i robota može se klasificirati u tri različite skupine [19]:

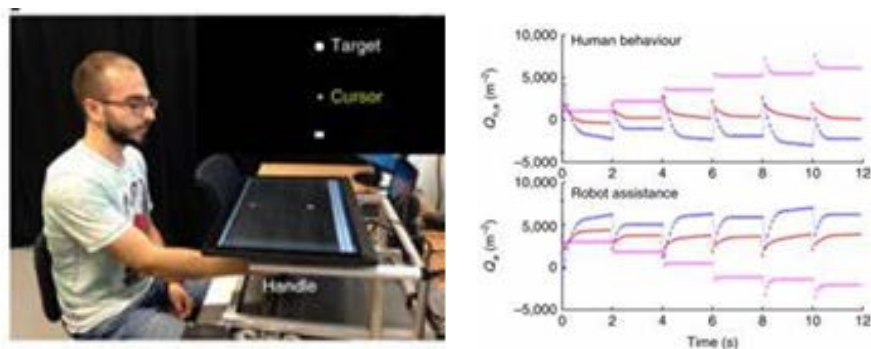
- niskog nivoa – izbjegavanja sudara
- srednjeg nivoa – efikasne saradnje s predviđanjem i prepoznavanjem putanja ljudi, namjera i planova
- izbora načina saradnje i dodjele zadataka na visokom nivou

Vještačka inteligencija uključuje različite vrste algoritama koji se koriste u zadacima odlučivanja i upravljanja, klasifikaciji, učenju, optimizaciji [20], što je prikazano na Slici 8. U kolaboraciji ljudi i robota, vještačka inteligencija se može primijeniti za realizaciju različitih zadataka, kao što je predviđanje ljudskog kretanja, klasifikacija (prepoznavanje položaja tijela, pokreta ruku i prepoznavanje glasa), optimizacija raspodjele zadataka robotu u procesnoj proizvodnji itd.



SLIKA 8. Algoritmi vještačke inteligencije koji se koriste u kolaboraciji ljudi i robota

Algoritam Teorija igara (*Game Theory*) je oblik donošenja odluka gdje nekoliko igrača mora napraviti izbore koji potencijalno utiču na interese drugih igrača. Teorija igara pokazala se prikladnom za analizu performansi sistema s više agenata (Jarrasse 2013), u kojima se interakcija čovjeka i robota smatra igrom s dva agenta [23]. Primjenom ovog algoritma odlučivanja omogućava se robotu da identificira ponašanje čovjeka i prilagodi vlastito upravljanje kako bi na optimalan način sarađivao sa ljudima. Primjer odlučivanja, korištenjem algoritma Teorije igara, prikazan je na Slici 11.



SLIKA 11. Primjer rezultata dobivenih pri primjeni algoritma Teorije igara u kolaboraciji čovjeka i robota

Procjena položaja glave može se koristiti za promatranje ljudi na osnovu podataka o dubini ljudskog lica. Problem procjene poze formuliše se kao problem optimizacije. Kao optimizacijski algoritam koristi se algoritam Optimizacije roja čestica (PSO) [24]. Za kobote se može kreirati program i time minimizirati radno opterećenje operatera, utrošak energije ili maksimizirati fizičku udobnost i povjerenje [14].

Egzoskeleton roboti predstavljaju tehnologiju u usponu u kontekstu pomoći ljudima u zahtjevnim aplikacijama kako bi se postigla visoka učinkovitost saradnje između čovjeka i robota, uz ispunjavanje transparentnosti, ergonomije i sigurnosti [25]. Upravljanje egzoskeletonom je veliki izazov u različitim primjenama te su razvijeni pristupi upravljanju koji integrišu različite senzore i tehnike upravljanja. Primjer upravljanja koristi fuzzy logiku, baziranu na namjerama čovjeka kako bi se modelirali složeni, neizvjesni i dinamički procesi.

U sistemima kolaboracije čovjeka i robota u zadaćama montaže se sve više koriste metode učenja s podrškom (*Reinforcement learning* - RL) i dubokog učenja s podrškom (*Deep reinforcement learning* - DRL). Kolaborativni pristup učenju s podrškom koristi se za evaluaciju korištenja robota s fiksnom rukom za pronalaženje optimalne strategije za istresanje sadržaja plastične vrećice [26]. Duboko učenje s pojačanjem (DRL) pruža generički i fleksibilan okvir za sekvencijalno donošenje odluka. Algoritmi dubokog RL-a mogu primiti vrlo veliku količinu ulaznih informacija (npr. Senzorske informacije kamere o poziciji čovjeka) i odlučiti koje radnje izvršiti za optimizaciju cilja (npr. minimum distance u zadaćama asembliranja) [27].

5. ZAKLJUČAK

Saradnja čovjeka i robota predstavlja novu granicu u robotici, a potreba za ovakvom vrstom saradnje svakodnevno raste. Uskoro će biti nezamislivo da sinergija čovjeka i robota nije prisutna u modernoj industriji. Mnoštvo je izazova u smislu dizajna kobota, percepciji i upravljanju svake pojedinačne aplikacije u cilju stvaranja robotskih sistema koji mogu sigurno raditi s ljudima uz smanjenje rizika u različitim primjenama. Kolaboracija ljudi i robota postala je ključna tehnologija za tzv. fabrike budućnosti [11]. Robotika već dugo ne obuhvata samo industrijske manipulatore već je svoju

primjenu proširila i na okruženja bliža čovječanstvu, poput domova, bolnica, kancelarija, u formi servisnih kolaboracionih robota.

Saradnja čovjeka i robota omogućava da se inteligencija i moć donošenja odluka ljudi uskladi sa snagom i preciznošću robota, što omogućava rješavanje složenijih i delikatnijih zadataka [19]. Posljednjih godina vještačka inteligencija je potaknula veći napredak u robotskim rješenjima, uvodeći fleksibilnost i mogućnosti učenja u ranije razvijenim rigidnim robotskim aplikacijama.

Za učinkovit prijenos naučnih istraživanja iz područja kolaborativne robotike i interakcije čovjek - robot u aplikativni prostor, potrebno je pažljivo i intenzivno istražiti nove tehnike/tehnologije i njihov utjecaj na radnu i funkcionalnu sigurnost. Također, bitno je poraditi na regulatornim formama, psihološkim, socijalnim, i etičkim normativima.



SLIKA 12. Eksperimenti komunikacije mislima u kolaboraciji ljudi i robota

Kolaborativni servisni roboti suočavaju se s izazovima, a jedan od njih je da buduća intuitivna interakcija čovjeka i robota bude u formi izravnih naredbi robotima iz ljudskih umova (Slika 12.). Mogućnosti za saradnju čovjeka i robota su beskrajne, ako te uzbudljive mogućnosti znamo iskoristiti na pravi način.

6. LITERATURA

- [1] Demira, K. A., Dövena, G., Sezen, B.: „Industry 5.0 and Human-Robot Co-working“, *Procedia Computer Science* 158, pp. 688-695, 2019.
- [2] Maurice, P., Padois, V., Measson, Y. and Bidaud, P.: „Human-oriented design of collaborative robots“, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 57, 88-102, 2017.
- [3] Matheson, E., Minto, R. Zampieri, E. G. G., Faccio, M. and Rosati, G.: „Human-Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review“, *Robotics* 2019, 8(4), 100, 2019.
- [4] Salah, A.-D.: „Perception of Nonverbal Cues for Human-Robot Interaction“, PhD Diss. University of Kaiserslautern, 2016.
- [5] Bauer, A. M., Wollherr, D. and Buss, M.: „Human-Robot Collaboration: A Survey“, *International Journal of Humanoid Robotics* 5(1): 47-66, 2008.
- [6] ABB. 2021. „YuMi® - IRB 14000 | Collaborative Robot.“
<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14000-yumi>
- [7] Robotics and automation. 2019. „ABB Robotics to develop collaborative robot solutions for healthcare.“
<https://roboticsandautomationnews.com/2019/07/18/abb-robotics-to-develop-cobot-solutions-for-healthcare/24584/>
- [8] Zamboni, M., Valente, A.: „Coollaborative Robots: Overview and Future Trends“ In *Book: Industrial Robots: Design, Applications and Technology* (Editors: Karabegović, I., Banjanović-Mehmedović, L.), Nova Science Publisher, USA, 2020.

- [9] Forbes 2022 <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2022/08/10/the-best-examples-of-human-and-robot-collaboration/?sh=3cdbaa501fc4>
- [10] Kragic, D., Gustafson, J., Karaoguz, H., Jensfelt, P. and Krug, R.: „Interactive, Collaborative Robots: Challenges and Opportunities“ In *Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-18)*, 18-25, 2018.
- [11] Banjanović-Mehmedović, L., Gurdić, A.: „Collaborative Service Robots: Challenges, Paradigms and Applications“, In *Book: Service Robots: Advances in Research and Application (Editors: Karabegović, I., Banjanović-Mehmedović, L.)*, Nova Science Publisher, USA, 2021.
- [12] Beaupre, M.: „Collaborative Robot Technology and Applications“, In *International Collaborative Robots Workshop*, USA, 2019.
- [13] Gangadhar, S.: „Sensor Fusion Framework and Simulation on a Robotic Vehicle“, Master Thesis, The University of North Carolina at Charlotte, 2017.
- [14] Liu, H., Fang, T., Zhou, T., Wang, Y. and Wang, L.: „Deep learning-based Multimodal Control Interface for Human-Robot Collaboration“, *Elsevier Procedia CIRP*, 72, 3-8, 2018.
- [15] Liu, H. and Wang, L.: „Gesture recognition for human-robot collaboration: A review“, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 68, 355-367, 2018.
- [16] Vollmer, A. L. and Schillingmann, L.: „On studying human teaching behavior with robots: A review“, *Review of Philosophy and Psychology*, 1-41, 2017.
- [17] Liu, R. and Zhang, X.: „Systems of natural-language-facilitated human-robot cooperation: A review“, preprint arXiv:1701.08269, 2017.
- [18] Zaatari, S., Marei, M., Li, W. and Usman W.: „Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview“, *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 116, 162-180, 2019.
- [19] Banjanović-Mehmedović, L.: „Artificial Intelligence Drives Advances in Human Robot Collaboration“ In *Book: Industrial Robots: Design, Applications and Technology (Editors: Karabegović, I., Banjanović-Mehmedović, L.)*, Nova Science Publisher, USA, 2020.
- [20] Banjanović-Mehmedović, L.: „Artificial Intelligence Advancement in Service Robots Applications“, In *Book: Service Robots: Advances in Research and Application (Editors: Karabegović, I., Banjanović-Mehmedović, L.)*, Nova Science Publisher, USA, 2021.
- [21] Zhao, X., Chumkamon, S., Duan, S., Rojas, J. and Pan, J.: „Collaborative Human-Robot Motion Generation using LSTM-RNN“, In *IEEE-RAS Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, 2018.
- [22] Chen, L.-C., Schwing, A. G., Yuille, A. L. and Urtasun, R.: „Learning deep structured models“, arXiv preprint:1407.2538, 2014.
- [23] Burguillo, J. C.: „Game Theory“, In *book: Self-organizing Coalitions for Managing Complexity (Edited: Burguillo, J.C., Ramos, G.D.O., Bazzan, A.L.C., Dorronsoro, B., Peleteiro, A.)*, 2018.
- [24] Papoutsakis, K., Padeleris, P., Ntelidakis, A., Stefanou, S., Zabulis, X., Kosmopoulos, D. and Argyros, A. A.: „Developing visual competencies for socially assistive robots: the HOBbit approach“, In *Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, ACM. Article No.: 56, 1-7, 2013.
- [25] Mauri, A., Lettori, J., Fusi, G., Fausti, D., Mor, M., Braghin, F., Legnani, G. and Roveda, L.: „Mechanical and Control Design of an Industrial Exoskeleton for Advanced Human Empowering in Heavy Pats Manipulation Tasks“, *Robotics*, 8, 65, 2019.
- [26] Kartoun, U., Stern, H. and Edan, Y.: „A Human-Robot Collaborative Reinforcement Learning Algorithm“, *Journal of Intelligent Robot System*, 2010.
- [27] Yu, T., Huang, J., Chang, Q.: „Optimizing task scheduling in human-robot collaboration with deep multiagent reinforcement learning“, *Journal of Manufacturing Systems*, 2021.

COLLABORATIVE ROBOTS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: NEW EFFICIENCY IN APPLICATIONS

Lejla Banjanović-Mehmedović

University of Tuzla, Faculty of Electrical Engineering, Franjevačka 2,
75000 Tuzla, Bosnia and Herzegovina
E-mail: lejla.banjanovic-mehmedovic@fet.ba

ABSTRACT

Collaborative robotics is a major trend in robot technology that enables solutions where human and robot agents work together to achieve shared goals. Many new applications for robots require to work alongside people as capable members of human-robot teams. Combining advantages of both humans and robots, such as human abilities to perceive, react and adapt to new situations together with the strength, speed and repeatability of a robot, results in a human-robot collaboration which increases the performance of the overall system most efficiently. Integrating with artificial intelligence, modern collaborative robots introduce flexibility and learning capabilities in previously rigid applications. The new applications include robots for homes, hospitals, offices and manufacturing. This paper provides an insight into the challenges of human-robot collaboration and provides an overview of artificial intelligence methods that meet the goals of collaborative robotics. Also, examples of human-robot collaboration within industrial applications and applications from the social environment were presented, showing the trend of digital transformation from Industry 4.0 toward Industry 5.0.

Key words: collaborative robots, cobots, artificial intelligence, human, Industry 4.0, Industry 5.0

PRIMJENA OPTIČKOG PREPOZNAVANJA ZNAKOVA (OCR) U INDUSTRIJI 4.0

Samir Lemeš¹, Eldar Tutnjić¹, Nevzudin Buzadžija¹

¹ Univerzitet u Zenici, Politehnički fakultet,
Fakultetska 1, 72000 Zenica, Bosna i Hercegovina
E-mail:samir.lemes@unze.ba

SAŽETAK

Optičko prepoznavanje znakova (OCR) je tehnika koja se široko koristi za digitalizaciju teksta. Oslanja se na napredne algoritme koji često koriste mašinsko učenje. OCR je jedna od rastućih tehnologija u Industriji 4.0 koja omogućava automatski ili poluautomatski unos podataka za različite svrhe, u slučajevima kad se podaci ne prikazuju kao bar-kod, QR-kod, RFID ili drugi mašinski čitljivi formati. Ovaj članak predstavlja primjer aplikacije razvijene za automatsko očitavanje vodomjera.

Ključne riječi: OCR, Industrija 4.0, unos podataka, mašinsko učenje

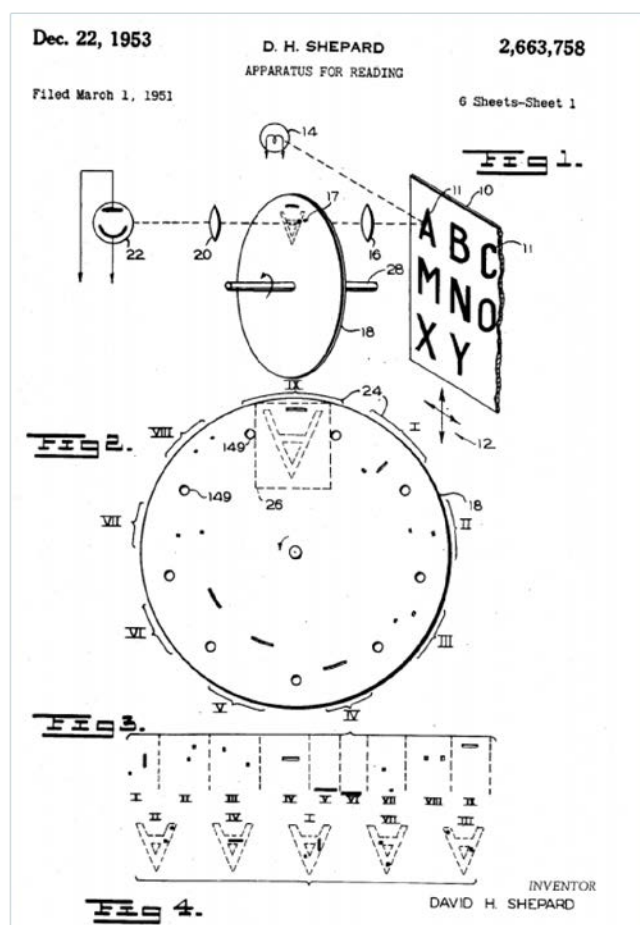
1. UVOD

Industrija 4.0 zasniva se na velikom broju modernih tehnologija [1], kao što su: velike količine podataka (*Big Data*), robotika, automatizacija, internet stvari (IoT), 3D štampanje, pametni senzori, radiofrekventna identifikacija (RFID), virtuelna i proširena stvarnost, vještačka inteligencija, napredni sigurnosni sistemi itd. Jedna od takvih tehnologija je i optičko prepoznavanje znakova (*Optical Character Recognition* - OCR).

OCR je softver koji pretvara rasterske slike ili digitalne fotografije u digitalni set znakova, slova i brojeva, koji se dalje može automatizirano obrađivati [2]. Za razliku od ljudskog mozga, koji ima sposobnost da lako prepozna tekst, odnosno znakove sa slike, računari nisu dovoljno inteligentni da percipiraju informacije dostupne na slici. Na kvalitet rezultata tehnika za OCR otežavajuće djeluju raznovrsnost jezika, fontova i stilova kojima se može pisati tekst, te složena jezička pravila. Zato se koriste različite informatičke tehnike, kao što su digitalna obrada slike, klasifikacija uzoraka, obrada prirodnog jezika.

OCR je tehnika koja postoji već duže vrijeme. Prvi patent za prepoznavanje znakova bio je uređaj pod nazivom GISMO iz 1953. godine (Slika 1.).

Nešto jednostavnija, ali i dalje s nizom izazova druge vrste, je primjena OCR-a za automatsko očitavanje s analognih ili digitalnih mjernih instrumenata koji nemaju mogućnost automatskog prikupljanja podataka. Obično se radi o standardnim fontovima i malom broju različitih stilova koje treba prepoznavati, a manji je set znakova. Umjesto da se moraju prepoznavati velika i mala slova, različiti jezici, akcenti i dijakritički znakovi, u ovom slučaju potrebno je prepoznati samo 10 cifara, a najveći izazov predstavljaju kvalitet slike, položaj decimalne tačke/zareza, te eventualna zaprljanja i druge vrste šuma na slici.



SLIKA 1. GISMO patent iz 1953. godine (historyofinformation.com)

Primjenu OCR-a za očitavanje vodomjera i mjerača protoka gasa obrađivalo je više autora i sa različitih aspekata. Alvisi i dr. su obrađivali mogućnost automatizacije prikupljanja podataka sa vodomjera koristeći *middleware* rješenja za IoT uređaje kod nekoliko kompanija za vodosnabdijevanje u Italiji [3]. Te kompanije se oslanjaju na komunikacijske tehnologije, kao što su *Wireless M-Bus*, *LoRa (Long Range)*, *Sigfox*, *ZigBee* bežični protokoli, *NarrowBandIoT (NB-IoT)* ili *OMS (OpenMeter Standard)* protokol. Zapazili su da se automatizacija sistema mjerenja potrošnje vode može izvršiti na dva načina: ili masovnom zamjenom svih mjernih uređaja sa automatiziranim IoT uređajima ili opremanjem postojećih vodomjera sistemima za OCR koji pretvaraju očitavanja s instrumenata u digitalni signal.

Ktari i dr. [4] su koristili vještačku inteligenciju za obradu podataka prikupljenih automatski sa mreže vodomjera. Koristili su Tesseract OCR za obradu slike sa klasičnih vodomjera i metodama vještačke inteligencije uspjeli su postići 98% pouzdanost očitavanja vrijednosti. Shaikh i dr. su opisali Android mobilnu aplikaciju za očitavanje rezultata sa uređaja za mjerenje protoka gasa [5], a postigli su pouzdanost očitavanja od čak 99,89%. Pored očitavanja brojčanih rezultata sa analognog brojača, opisana aplikacija koristi se i za očitavanje bar-koda koji se koristi za identifikaciju mjerača i njihovih lokacija.

Spichkova i dr. su poredili pristupe zasnovane na računarskom vidu (*Computer Vision*) za očitavanje brojila za potrošnju električne energije i gasa [6]. Poredili su četiri tehnologije računarstva u oblaku: *Google Cloud Vision*, *AWS Recognition*, *Tesseract OCR* i *Azure Computer Vision*. Umjesto testiranja stvarnih podataka s terena, koristili su različite tehnike za narušavanje kvaliteta slike, kao što su zamućivanje slike (*Blurring*), skaliranje veličine slike, gama korekciju te vještačko uvođenje šuma crnih i bijelih tačaka (*Salt and Pepper Noise*). Najbolje rezultate su postigli sa AWS rješenjem. Za osiguranje od falsificiranja i očuvanje integriteta podataka koristili su *Blockchain* tehnologiju.

Sultana i dr. su opisali postupak primjene OCR-a za očitavanje analognih uređaja za mjerenje potrošnje električne energije [7] kroz Android aplikaciju i server za prikupljanje podataka. Postupak prepoznavanja sastoji se od nekoliko koraka: rotacija slike da bi se postigla horizontalna slika sa brojevima, čišćenje slike od nepoželjnog šuma, binarizacija - pretvaranje slike u crno-bijelu sliku dubine 1 bita, morfološke operacije - otklanjanje grešaka u obrađenoj slici popunjavanjem nedostajućih podataka interpolacijom, detekcija kontinuiranih regiona u slici i, na kraju, korištenje neuralne mreže za prepoznavanje znakova.

Wang i dr. su istraživali utjecaj vanjskih faktora na kvalitet prepoznavanja znakova kod automatiziranog očitavanja rezultata sa analognih mjernih uređaja [8]. Tu se ne radi samo o OCR-u jer se analizira slika kazaljke i skale na analognom instrumentu, u kombinaciji s prepoznavanjem brojeva sa mjerne skale. Glavni cilj je postići automatizaciju očitavanja bez potrebe za zamjenom analognog digitalnim mjernim uređajem.

Chong i dr. su razvili model dubokog učenja zasnovan na SSD detektoru *MobileNet* i *Tesseract* softveru za OCR za jeftinu digitalizaciju očitavanja analognih brojila. Koristili su tehnike obrade slika preko *OpenCV* biblioteke za poboljšanje kvaliteta regiona u slici. Model je razvijen u *Pythonu* i evaluacija se vršila za različite tipove brojila, uslove osvjjetljenja i pozadine. Postigli su tačnost od 95% modela dubokog učenja i tačnost od 93% OCR-a.

2. FAZE OCR-a

OCR se po pravilu provodi po određenim fazama [2]. Prva faza je kreiranje slike (*Image Acquisition*) i ona ne obuhvata samo skeniranje ili fotografisanje nego i kompresiju, koja može da naruši kvalitet slike. Ukoliko se slika pohranjuje u nekom od formata sa gubitkom podataka (*Lossy*), kao što je JPG, koja diskretnom kosinusnom transformacijom smanjuje datoteku, može doći do uvođenja novih interpoliranih piksela u sliku. To može smanjiti procenat prepoznavanja i može dovesti do pogrešnog očitavanja. Za prevazilaženje tog problema mogu se koristiti formati datoteka koji sliku kompresuju bez gubitka podataka (*LossLess*).

208 208

SLIKA 2. Uvođenje novih interpoliranih piksela uslijed kompresije JPG slike

Druga faza je pretprocesiranje (*Pre-processing*) kojom se pokušava unaprijediti kvalitet slike. Jedna od tehnika koja se primjenjuje je *thresholding*, kroz koju se mijenjaju one vrijednosti piksela koje prelaze određeni prag. Pri tome se koriste različite vrste filtera za sliku, kao što su usrednjavanje (*Averaging*) ili morfološke operacije kao što su erozija, dilatacija, otvaranje i zatvaranje [2]. U ovoj fazi vrši se i ispravljanje slike kako bi se postigla horizontalnost (Slika 3.).



SLIKA 3. Ispravljanje slike

Naredna faza je segmentacija karaktera (*Character Segmentation*) koja predstavlja razdvajanje slike na manje dijelove od kojih svaki predstavlja posebno slovo/cifru (Slika 4.). Može se provoditi eksplicitno ili implicitno [10].



SLIKA 4. Segmentacija karaktera u slici

Nakon segmentacije se vrši ekstrakcija karakteristika (*Feature Extraction*). Iz dijelova slike izdvajaju se različite karakteristike slova/cifara koje jedinstveno identifikuju određeni znak. One uključuju geometrijske likove, petlje, linije, lukove, prelomne tačke, ali i statističke karakteristike.

Nakon toga slijedi klasifikacija (*Classification*) koja kategorizira prepoznate cifre/slova u određene kategorije. Strukturalni pristup klasifikaciji zasniva se na relacijama koje su prisutne u komponentama slike. Statistički pristupi zasnivaju se na upotrebi diskriminirajuće funkcije za klasifikaciju slike. Neki od statističkih pristupa klasifikaciji su Bayesov klasifikator, klasifikator stabla odluka, klasifikator neuronske mreže, klasifikatori najbližeg susjedstva itd. [11]. Postoje i klasifikatori zasnovani na sintaksičko-gramatičkom pristupu.

Završna faza je postprocesiranje (*Post-processing*) koja unapređuje preciznost prepoznavanja tehnikama kao što je kontekstualna analiza, višestruki klasifikatori, Markovljevi modeli i leksička obrada pomoću rječnika.

3. IZAZOVI I PROBLEMI OCR-a

Brojni su izazovi koji se postavljaju pred OCR i od kojih zavisi uspješnost prepoznavanja podataka iz rasterske slike.

Prvi izazov predstavlja kvalitet slike, koji može biti narušen uglom pod kojim se vrši fotografisanje, kompresijom slike, nečistoćama na uređaju kojim se fotografiše, lošim osvjetljenjem, drugim vrstama šuma, ukoliko je slika izvan fokusa (neoštra slika), refleksijom vanjskih izvora svjetlosti koja prekriva dio očitavanja, ali i samim položajem analognog brojača. Na Slici 5. prikazan je primjer analognog brojača koji nije izvršio puni okretaj nego su brojevi samo djelimično vidljivi. Taj nedostatak otklanja se u fazi preprocesiranja ili u fazi ekstrakcije karakteristika.



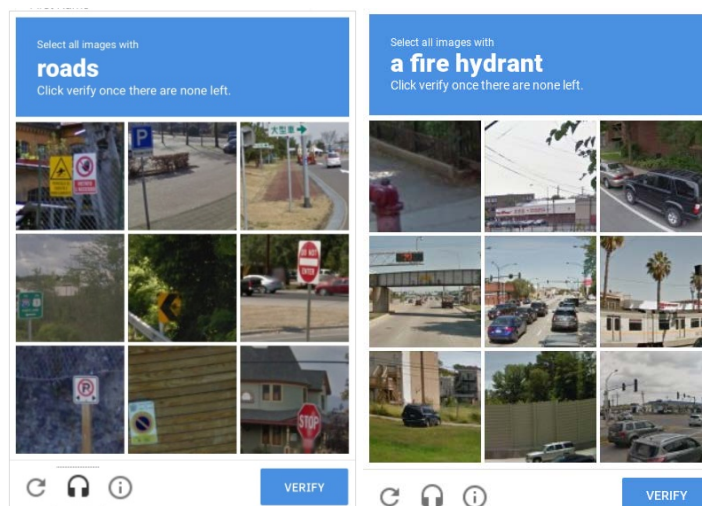
SLIKA 5. Analogni mjerači protoka često nemaju cijelu sliku broja [4]

Drugi izazov, karakterističan za analogne brojače protoka gasa, mjerače potrošnje električne energije (električna brojila), vodomjere i slične mjerne uređaje, je prepoznavanje decimala i njihovo razdvajanje od cijelih brojeva. Kod ručnog očitavanja se decimale lako prepoznaju jer su označene crvenom bojom (Slika 6.), ali se prilikom binarizacije slike u postupku OCR ta crvena boja može izgubiti i može doći do pogrešnog očitavanja. Zato je važno u algoritmu planirati prepoznavanje decimala prije binarizacije slike.



SLIKA 6. Decimale su na mjeračima obično označene crvenom bojom

U fazi postprocesiranja može se vršiti verifikacija prikupljenih podataka. Tu se mogu koristiti brojne tehnike vještačke inteligencije i mašinskog učenja, koje su već inkorporirane u servise bazirane na računarstvu u oblaku (*Cloud Computing*). Malo je poznato da se *Captcha* tehnike, na kojima se od korisnika traži da u slikama prepoznaju određene karakteristike, ustvari koriste za treniranje neuronskih mreža koje tako unapređuju kvalitet prepoznavanja objekata u slikama.

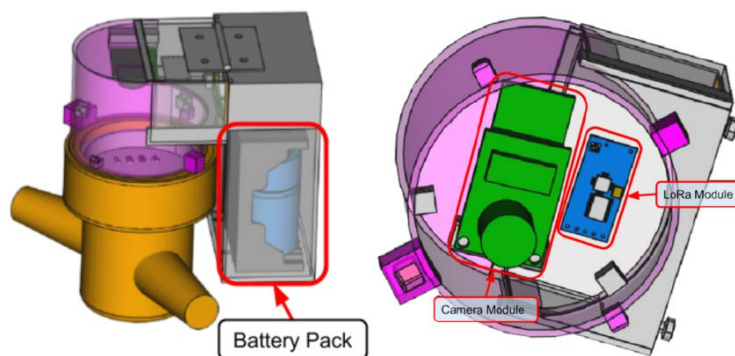


SLIKA 7. Captcha se koristi za treniranje neuronskih mreža

4. OCR U INDUSTRIJI 4.0

Osnovna karakteristika Industrije 4.0 je međusobna komunikacija i razmjena informacija između tehničkih sistema i ljudi kako bi se decentraliziralo donošenje odluka [4]. Na osnovu podataka koji se prikupljaju automatski, uspostavljaju se sistemi za podršku procesima proizvodnje, ali i drugim djelatnostima. Tako je nastao koncept pametnih gradova (*Smart Cities*) koji koriste IoT uređaje za prikupljanje i razmjenu podataka, automatsko djelovanje i upravljanje urbanim funkcijama, kao što su ulična rasvjeta, snabdijevanje energentima i vodom, odvodnja voda, javni saobraćaj, parkinzi i sl.

Jedan od segmenata pametnog grada je vodosnabdijevanje, za koje je najvažnija informacija ona koja se prikuplja sa vodomjera (podaci o potrošnji vode). Vodomjeri su relativno skupi uređaji, kako sa aspekta nabavke tako i sa aspekta održavanja, zamjene, otklanjanja kvarova, kalibrisanja i baždarenja. Očitavanje vrijednosti sa vodomjera može biti automatizirano, ali to zahtijeva nabavku i zamjenu desetina hiljada uređaja za jedan prosječan grad, provođenje instalacija za napajanje i prenos podataka (bakreni, bežični ili optički mediji za prenos podataka), zamjenu baterija na lokacijama bez izvora napajanja, kao i uspostavljanje sistema za verifikaciju integriteta prikupljenih podataka. Stoga se malo gradova odlučuje na potpunu zamjenu analognih uređaja koji i dalje vrše svoju osnovnu funkciju, ali zahtijevaju manuelno očitavanje izmjerenih vrijednosti. Na Slici 8. prikazan je prototip nadgradnje analognog mjerača sa kamerom i komunikacijskim uređajem kojim se analogni mjerač protoka pretvara u IoT uređaj za automatsko prikupljanje podataka.

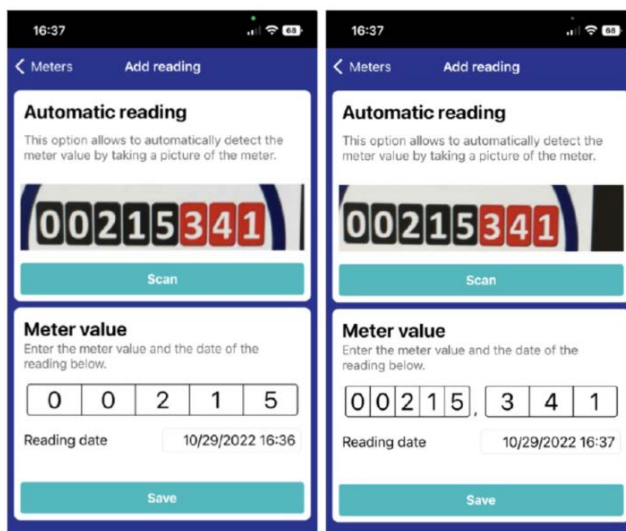


SLIKA 8. Prototip automatizacije analognog mjerača protoka [3]

5. PRIKAZ APLIKACIJE ZA OČITAVANJE VODOMJERA

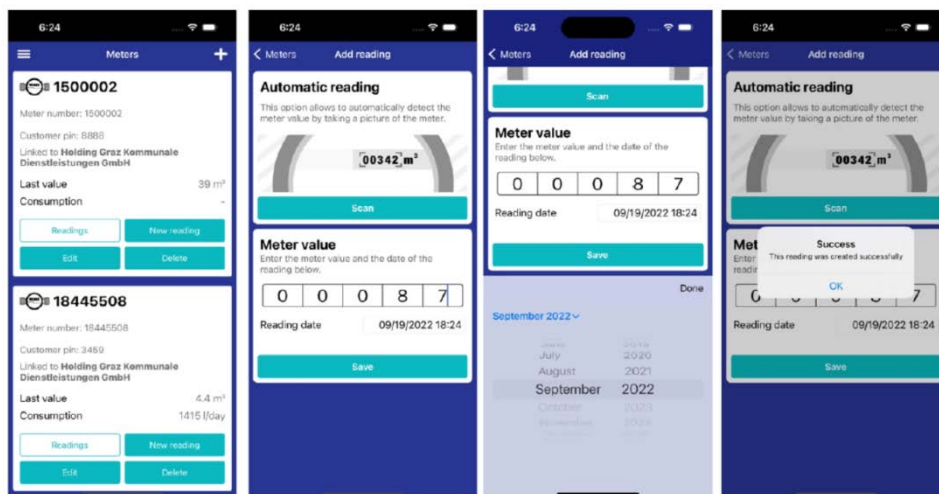
Za poluautomatsko prikupljanje podataka može se koristiti mobilna aplikacija koja mogućnost ljudske greške kod prikupljanja podataka smanjuje na minimum. Za izradu mobilne aplikacije *Waterloo 365* [12] za *iOS* prikazane u ovom radu korištene su sljedeće tehnologije: programski jezik *Swift*, integrisano razvojno okruženje *Xcode*, alat *iOS Simulator* za testiranje korisničkog interfejsa aplikacije. Aplikacija je izrađena MVC arhitekturom (*Model View Controler*). Pored *iOS* verzije, dostupna je i verzija za *Android*.

Aplikacija je već u upotrebi u nekoliko gradova u Austriji. Poseban izazov predstavljalo je to što u jednom gradu može biti više kompanija koje se bave distribucijom vode, tako da ova aplikacija olakšava integraciju prikupljenih podataka na nivou grada, za kvalitetnije upravljanje vodosnabdijevanjem.



SLIKA 9. Automatsko prepoznavanje decimala u slici

Na Slici 9. prikazano je kako aplikacija automatski prepoznaje crveno obojene decimale na mjerilu protoka i u bazu podataka smješta samo cjelobrojni dio prikupljenih podataka.



SLIKA 10. Mobilna aplikacija Waterloo 365

Praksa 85% austrijskih i njemačkih kompanija za vodosnabdijevanje je da korisnici sami očitavaju potrošnju vode i prijavljuju je distributerima [13]. Primjenom ove aplikacije taj proces je poluautomatiziran i povećana je njegova pouzdanost. Mobilna aplikacija također sadrži i segment prezentacije podataka pa korisnik sam može vršiti kontrolu potrošnje uvidom u promjene na računu. Ako dođe do neuobičajeno veće potrošnje, aplikacija signalizira kvar i korisniku i distributeru.

6. ZAKLJUČAK

Pored upotrebe u konceptu pametnih gradova (*Smart Cities*), softver koji koristi OCR za prikupljanje podataka sa analognih mjernih uređaja može pomoći u bržoj implementaciji tehnologija Industrije 4.0 s ciljem povećanja stepena automatizacije, prikupljanja i obrade većih količina podataka.

Svaki analogni mjerni uređaj može se očitavati mobilnom aplikacijom ili se može koristiti IoT uređaj sa kamerom za automatsko očitavanje mjerenih vrijednosti koji prikupljene podatke nekom od savremenih komunikacijskih tehnologija šalje u mrežu. Teret obrade podataka prebačen je u oblak (*Cloud Computing*), čime se smanjuju hardverski zahtjevi za resursima računara, kao i troškovi nabavke i održavanja hardvera. Obrada podataka u oblaku omogućuje optimizaciju troškova, ali i distribuirane tehnologije za obezbjeđenje integriteta podataka kao što je *Blockchain*.

U svakom slučaju, ovaj koncept predstavlja izazov za sve koji žele implementirati cyber-fizičke sisteme i Industriju 4.0.

7. LITERATURA

- [1] Karabegović I. et al. (2022) Industry of Bosnia and Herzegovina within Industry 4.0, Proceedings of the International Conference „Application of Industry 4.0 – an Opportunity for a New Step Forward in all Industrial Branches” (I. Karabegović, editor), Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo 14.4.2022, ISBN 978-9926-410-75-9, pp 49-69, DOI: 10.5644/PI2022.202.20
- [2] Islam N., Islam Z., Noor N. (2016) A Survey on Optical Character Recognition System, Journal of Information & Communication Technology-JICT Vol. 10 Issue. 2, ISSN-2409-6520, pp 1-4
- [3] Alvisi S. et al. (2019). Wireless middleware solutions for smart water metering. *Sensors*, 19(8), 1853.doi: 10.3390/s19081853
- [4] Ktari J., Frikha T., Hamdi M., Elmannai H., Hmam H. (2022). Lightweight AI framework for industry 4.0 case study: water meter recognition. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(3), 72.doi: 10.3390/bdcc6030072
- [5] Shaikh M., Qureshi Z., Sheikh H. H., Sami M. (2022). The Adoption of Mobile App for Automating Gas Meter Reading in Industry 4.0. *Engineering Proceedings*, 20(1), 32.doi: 10.3390/engproc2022020032
- [6] Spichkova M., Zyl J. V., Sachdev S., Bhardwaj A., Desai N. (2019). Comparison of computer vision approaches in application to the electricity and gas meter reading. In *International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering* (pp. 303-318). Springer, Cham.doi: 10.1007/978-3-030-40223-5_15
- [7] Sultana U., Bilal S., Naqvi S. H. A., Iqbal R. (2022). Smart OCR Application for Meter Reading. *Engineering Proceedings*, 20(1), 25.doi: 10.3390/engproc2022020025
- [8] Wang C. H., Huang K. K., Chang R. I., Huang C. K. (2022). Scale-Mark-Based Gauge Reading for Gauge Sensors in Real Environments with Light and Perspective Distortions. *Sensors*, 22(19), 7490. doi: 10.3390/s22197490
- [9] Chong Y. J., Chua K. H., Babrdel M., Hau L. C., Wang L. (2022). Deep Learning and Optical Character Recognition for Digitization of Meter Reading. In *2022 IEEE 12th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)* (pp. 7-12). IEEE.doi: 10.1109/ISCAIE54458.2022.9794463
- [10] Shaikh N.A., Shaikh Z.A., Ali G (2008) Segmentation of Arabic text into characters for recognition, *International Multi Topic Conference, IMTIC*, Jamshoro, Pakistan, 2008. doi: 10.1007/978-3-540-89853-5_4

- [11] Ciresan D. C., Meier U., Gambardella L. M., Schmidhuber J. (2011). Convolutional neural network committees for handwritten character classification. In 2011 International conference on document analysis and recognition (pp. 1135-1139). IEEE.doi: 10.1109/ICDAR.2011.229
- [12] Symvaro GmbH Klagenfurt, <https://symvaro.com/>
- [13] A straightforward, stress-free solution for self-reporting of meter readings, <https://waterloo.io/self-reporting-meter-readings-a-straightforward-stress-free-guide/?lang=en>

APPLICATION OF OPTICAL CHARACTER RECOGNITION (OCR) IN INDUSTRY 4.0

Samir Lemeš¹, Eldar Tutnjić¹, Nevzudin Buzadžija¹

¹ University of Zenica, Polytechnic Faculty,
Fakultetska 1, 72000 Zenica, Bosnia and Herzegovina
E-mail:samir.lemes@unze.ba

ABSTRACT

Optical Character Recognition (OCR) is a technique widely used for text digitalization. It relies on advanced algorithms that often utilize machine learning. OCR is one of the emerging technologies in Industry 4.0, enabling automatic or semi-automatic data entry for various purposes, where data is not presented as bar-code, QR-code, RFID or other machine-readable formats. This paper represents an example application developed for automated readout of water-meters.

Keywords: OCR, Industry 4.0, Data entry, Machine learning

PRIMJENA ADITIVNIH TEHNOLOGIJA U INDUSTRIJI 4.0

Mehmed Mahmić¹, Edina Karabegović¹, Ermin Husak¹

¹ Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, Irfana Ljubijankića bb,
77000 Bihać, Bosna i Hercegovina
E-mail: mmahmic@gmail.com

SAŽETAK

Pojam Industrija 4.0 je prvi put uveden 2011. godine kao „Industrie 4.0” u sklopu inicijative poboljšanja njemačke konkurentnosti u proizvodnoj industriji. Generalno, ona podrazumijeva podizanje nivoa digitalizacije u automatizaciji proizvodnje korištenjem različitih tehnologija i savremenih dostignuća, kao što su: CPS (Cyber-physical systems), IoT (The internet of things), Cloud computing, pametna proizvodnja (Smart manufacture), pametne fabrike (Smart factories), Umjetna inteligencija (Artificial intelligence), aditivna proizvodnja itd. Aditivna proizvodnja, još poznata kao i 3D printanje (3D printing), veoma je važna digitalna tehnologija koja omogućuje veoma brzo pretvaranje digitalnog proizvoda u gotov proizvod, formirajući proizvod sloj po sloj. U sklopu ovog rada dat je pregled najpoznatijih tehnologija aditivne proizvodnje.

Ključne riječi: Industrija 4.0, aditivne tehnologije, 3D printanje, stereolitografija, lasersko sinterovanje

1. UVOD

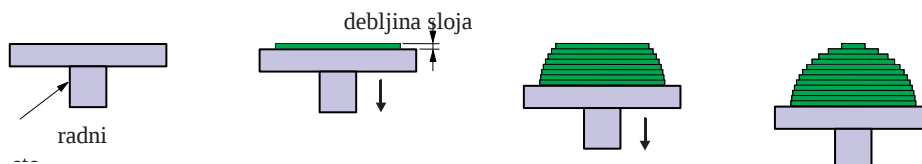
Aditivne tehnologije (*Additive Manufacturing*) su tehnologije koje se bave izradom proizvoda dodavanjem materijala, odnosno nanošenjem čestica materijala u tankim slojevima, sloj po sloj. Proizvodni postupci počinju konstrukcijom 3D modela u nekom od softverskih programa ili digitaliziranjem prostornog oblika već postojećeg objekta trodimenzionalnim skenerima. Nakon toga se model pretvara u niz horizontalnih poprečnih presjeka koji se, sloj po sloj, na mašini izrađuju do konačnog proizvoda. Prve ideje o stvaranju 3D objekata s dvije laserske zrake su se pojavile u drugoj polovini šezdesetih godina prošlog vijeka. Još 1984. godine Amerikanac Charles Hull je prijavio patent za izradu trodimenzionalnih predmeta stereolitografijom. Dvije godine nakon je sa kolegom Raymondom Freedom osnovao firmu 3D Systems. U 1987. godini firma je plasirala na tržište prvu mašinu za brzu izradu prototipa SLA-1, koja radi na principu stereolitografije. Narednih godina zabilježen je nagli razvoj mašina za brzu izradu koje su radile na različitim fizikalnim principima. Uporedo sa razvojem mašina, u proizvodnju su uvedeni i mnogi novi materijali za izradu 3D objekata. Tako su 1998. godine zabilježena ispitivanja termoplastičnih smola kod FDM postupka dodavanjem materijala. U pokušajima razvoja ovih tehnologija javljali su se određeni nedostaci koji su se odnosili na geometrijsku i dimenzijsku nestabilnost dobijenih proizvoda. To je dovelo do velikog broja istraživanja koja su se odnosila na umanjeње ili eliminaciju tih nedostataka. Rezultat tih istraživanja bio je i uređaj koji se 2007. godine pojavio na tržištu a bio je prvi uređaj koji je omogućio izradu objekata nastalih iz više različitih materijala. Zatim je, naprimjer, grupa istraživača osmislila 3D biošampač kojim je omogućeno bioštampanje tkiva i organa za potrebe rješavanja velikog broja ozljeda i bolesti. Recimo, u 2015. godini je pacijentu u Kliničkom bolničkom centru Rijeka u Hrvatskoj postavljen umjetni vratni kralježak od akrilata, izrađen u kalupu upravo aditivnom proizvodnjom. Danas se moderni razvoj proizvoda ne može zamisliti bez aditivnih tehnologija jer se pomoću njih relativno brzo dolazi do fizičkog modela koji zauzima značajno mjesto u nastanku novog proizvoda, jer se u ranoj fazi razvoja mogu uočiti eventualne greške u dizajnu i konstrukciji [1-4].

2. ADITIVNE TEHNOLOGIJE

Izrada proizvoda primjenom aditivne proizvodnje zasnovana je na različitoj koncepciji nastajanja proizvoda u odnosu na dosadašnji konvencionalni način izrade proizvoda rezanjem. U ovom slučaju se na osnovu 3D podataka o modelu, proizvod dobije primjenom tehnologija kod kojih se proizvod dobije dodavanjem materijala (sloj po sloj). Ovakav način izrade proizvoda značajno smanjuje vrijeme od dizajna do nastanka proizvoda, čime je postignuto smanjenje troškova proizvodnje. Pored ove prednosti, aditivne tehnologije omogućavaju izradu proizvoda vrlo složene konfiguracije jednim postupkom dodavanja materijala, za koje bi kod konvencionalnih načina izrade bilo potrebno primijeniti više različitih tehnologija ili njihova izrada ne bi bila moguća. Primjena aditivnih tehnologija je vrlo brzo svoju primjenu našla u medicini za izradu implantata, automobilske industriji, području istraživanja svemira itd. Upravo je iz tog razloga razvijeno više postupaka dodavanjem materijala, a oni se razlikuju prema određenim kriterijima. Neki od kriterija uzimaju u obzir način izrade proizvoda (selektivno očvršćivanje, selektivno sinterovanje i topljenje i dr.), drugi se dijele prema materijalu za izradu (postupci sa tekućinama, praškovima ili čvrstim materijalima), a neki prema primjeni (brza izrada prototipa, brza izrada alata - direktni i indirektni postupci). Materijali koji su najčešće u primjeni su: polimerni materijali (ABS-akrilonitril, butadien, stiren), poliamidi (PA), polikarbonat (PC), epoksidne smole, kompozitni materijali, keramika, čelik, aluminij, titan i njihove legure [5-10].

2.1. Princip izrade proizvoda postupcima dodavanja materijala

Izrada proizvoda postupcima dodavanja materijala izvodi se nanošenjem prvog sloja materijala, čija debljina zavisi od tehnologije koja se koristi i može da se kreće od 5 μm do 1 mm. Nakon nanošenja sloja, radni stol se pomjera za debljinu sloja i ponovo se nanosi drugi sloj materijala uz ponavljanje postupka do konačne izrade proizvoda (Slika 1.).



SLIKA 1. Izrada proizvoda postupcima dodavanja

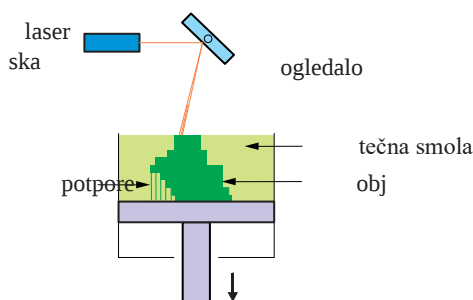
S obzirom na to da vrijeme izrade proizvoda uveliko zavisi od njegove visine i broja slojeva koji se nanose, bitno je odrediti pravilnu orijentaciju proizvoda kojom se osigurava kraće vrijeme i tačnost izrade proizvoda. Pravilna orijentacija proizvoda umanjit će ili potpuno ukloniti potrebu za nosećom potporom koja je neophodna u uslovima nagnutih visećih površina određenih proizvoda. Osnovni koraci u tehnologijama dodavanja materijala podrazumijevaju: modeliranje CAD modela u odgovarajućem softveru (*SolidWorks*, *Pro/Engineer* i dr.), spremanje CAD modela u STL format-datoteku (*Standard Triangulation Language* - STL), unos STL datoteke u program za pripremu izrade i izradu proizvoda na radnom stolu mašine, sloj po sloj, u smjeru izrade odozdo prema gore. Nakon izrade se izvodi uklanjanje potpornog materijala, ako je postojao, čišćenje i eventualna površinska obrada (pjeskarenje, poliranje, bojanje) [11-14].

3. POSTUPCI ADITIVNIH TEHNOLOGIJA

Razvoj postupaka aditivnih tehnologija je u stalnom porastu. Primjeri navedenih tehnologija u ovom radu odnosit će se na klasifikaciju prema stanju materijala koji se koristi (tekućina, prah i čvrsti materijal) [15-17].

3.1. Stereolitografija

Postupak stereolitografije (*Stereolitografy* - SLA) se izvodi na horizontalnoj platformi koja je uronjena u tečni fotopolimer (Slika 2.).

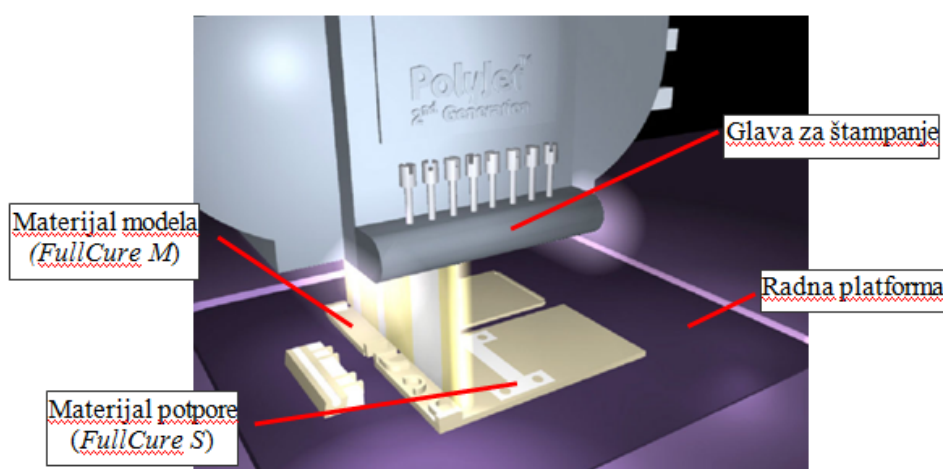


SLIKA 2. Šema postupka stereolitografije

Platforma je na početku postupka spuštana ispod površine tečnosti za debljinu prvog sloja. Laser iscertava poprečne presjeke jedan za drugim sinhronizirano pomjeranjem radne platforme u tečnosti. Po završetku postupka proizvod se uklanja iz radne komore, naknadno izlaže UV zračenju i na njemu se provode mjere pjeskarenja, bojanja i slično. Materijali koji se koriste u postupku su epoksi i akrilne smole. Nakon izrade proizvod je veoma krt.

3.2. PolyJet postupak

PolyJet tehnologija koristi brzi proces za proizvodnju modela od fotopolimera. Pri izradi se koriste dva različita materijala, jedan za stvarni model, a drugi za potporu u obliku gela. I ovaj postupak počinje pripremom CAD modela za izradu. Na Slici 3. je dat primjer *PolyJet* postupka izrade.



SLIKA 3. PolyJet postupak izrade

Radna platforma se pokreće prema dolje ekstremnom preciznošću i glava za štampanje počinje nanositi sljedeći sloj. Taj proces se ponavlja sve do izrade kompletnog modela. Kada je izrada završena, mlazom vode se lagano vrši ispiranje materijala za potporu, ostavljajući pri tom čistu površinu.

3.3. Selektivno lasersko sinterovanje

Postupak selektivnog laserskog sinterovanja (*Selective Laser Sintering* - SLS) zasniva se na djelovanju svjetlosne energije laserske zrake na materijal u obliku praha. Nastala toplotna energija djeluje na promjene u strukturi materijala, topi ga, nakon čega slijedi njegovo očvršćivanje. Kod ovog postupka nije potrebna noseća potpora jer tu ulogu preuzima prašak koji ga okružuje. Brzina skeniranja površine laserskom zrakom zavisi od snage lasera i kreće se naprimjer od 1000 do 5000 mm/s. Mašina za postupak selektivnog laserskog sinterovanja i primjer izratka dati su na Slici 4.

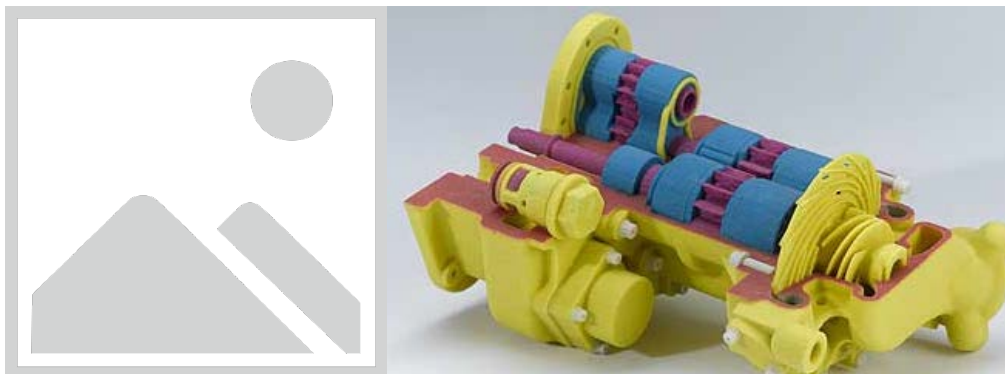


SLIKA 4. Mašina za postupak selektivnog laserskog sinterovanja i primjer izratka

Ovim procesima mogu se izraditi funkcionalni prototipovi koji služe za ispitivanje ponašanja proizvoda u realnim uslovima. Također, izrađuju se kalupi i umeci za proces kalupovanja brizganjem plastike i livenja u pijesku, vosku i kokilama. Materijali iz grupe elastomera koriste se za izradu fleksibilnih proizvoda, sličnih gumenim proizvodima. Za izradu funkcionalnih modela koriste se materijali iz grupe najlona. Razvijen je kompozit od bakra i plastike sa dobrim karakteristikama toplotne provodljivosti i otpornosti na visoke temperature koji se koristi za proizvodnju alata za manje serije proizvoda od plastičnih materijala. Predmet istraživanja su metalni materijali koji se mogu koristiti za proizvodnju alata za kalupovanje brizganjem plastike u tehnologijama brze izrade. Proizvodi dobijeni SLS postupkom su porozni pa se moraju dodatno sinterovati u pećima, što ima uticaja na tačnost dimenzija i promjenu mehaničkih karakteristika. Dobre mehaničke karakteristike se dobiju tek nakon sekundarnih procesa sinterovanja, ali se zbog skupljanja gubi dimenzijska tačnost proizvoda.

3.4. 3D InkJet štampanje

Primjena postupka 3D InkJet štampanja (*3D Printing* - 3DP) ima prednosti u odnosu na ostale postupke brze izrade koji se ogledaju u malim troškovima materijala i brzini izrade. Slabiji rezultati se postižu kad je u pitanju rezolucija, kvaliteta površine i lomljivost. Proces je jednostavan i izvodi se tako da se sloj praškastog materijala nanosi na površinu radne komore. Brizgaljka sa više kanala naizmjenično nanosi tečno adhezivno sredstvo na sloj praškastog materijala, pri čemu se u praškastom materijalu na mjestima gdje je nanoseno adhezivno sredstvo formira sloj željenog proizvoda. Radna komora se spušta za debljinu narednog sloja i postupak se ponavlja sve do konačnog oblikovanja proizvoda. Na Slici 5. dat je primjer mašine za 3D štampanje i primjer izratka.



SLIKA 5. Mašina za 3D štampanje i primjer izratka

3.3. Direktno lasersko sinterovanje metala

Direktno lasersko sinterovanje materijala (*Direct Metal Laser Sintering* - DMLS) se ubraja u postupke selektivnog sinterovanja prahova na bazi metala. Pri sinterovanju mješavine dva različita metalna praha, energija lasera prvo topi komponentu sa nižom temperaturom topljenja (npr. bronzu) u koju se uključi komponenta sa višom tačkom topljenja (npr. nikl), koja ostaje neotopljena, ali s promjenom kristalne rešetke. Na taj način se pri sinterovanju volumen gotovo ne mijenja, što omogućava visoku tačnost proizvoda koji se izrađuje. Područje primjene ovog postupka se proširilo upotrebom praha na bazi željeza. Omogućena je izrada alata za brizganje plastike ili alata za livenje pod pritiskom, sa brojem urađenih jedinica većim od 1000 komada.

Na Slici 6. dat je primjer mašine za direktno lasersko sinterovanje materijala i primjer izratka.

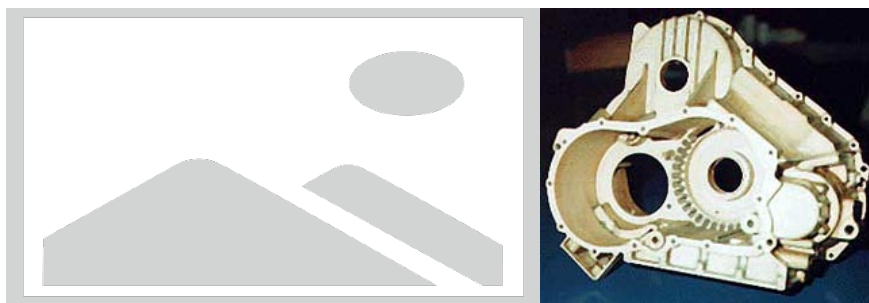


SLIKA 6. Mašina za DMLS postupak i primjer izratka

Postupak omogućava izradu proizvoda vrlo složene geometrije, dobrih mehaničkih osobina i površine visoke kvalitete.

3.6. Laminatna izrada objekata

Laminatna izrada objekata (*Laminated Object Manufacturing* - LOM) je postupak baziran na primjeni čvrstog materijala za izradu objekta. Materijal koji se koristi je papir na čijoj se leđnoj strani nalazi plastična presvlaka za lijepljenje. Sinhronizovano sa pomjeranjem radne platforme po z osi, papir se odmotava sa valjka i lijepi na prethodni sloj pomoću zagrijanog valjka koji topi plastičnu presvlaku. Optički sistem oslikava trag objekta i postavljen je na postolje koje se može pomjerati u xy ravni. Na Slici 7. dat je primjer mašine za LOM postupak i primjer izratka.

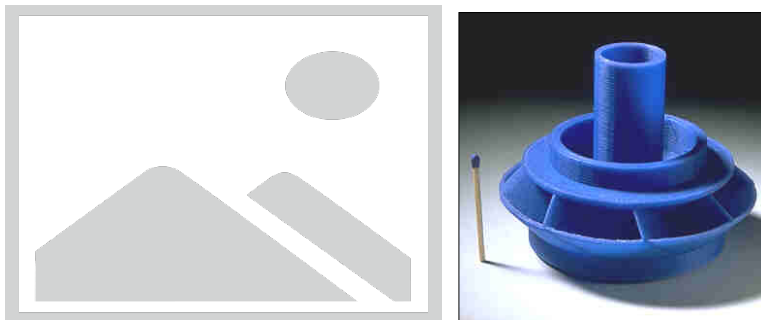


SLIKA 7. Mašina za LOM postupak i primjer izratka

Tehničke karakteristike, kvalitet površina i tačnost objekta od papira nisu tako dobre kao kod ostalih tehnologija brze izrade.

3.7. Nanošenje materijala topljenjem

Postupak nanošenja materijala topljenjem (*Fused Deposition Modeling* - FDM) je drugi po redu u primjeni RP (*Rapid Prototyping*) tehnologija. Na Slici 8. dat je primjer izrade proizvoda na platformi FDM mašine.



SLIKA 8. Mašina za FDM postupak nanošenja materijala topljenjem i primjer izratka

Plastični materijal modela i materijal potpore, u vidu žice, se odmotavaju sa kalemova i uvode u brizgaljku gdje se zagrijavaju i tope plastiku. Brizgaljka se pomjera preko radne platforme u skladu sa odgovarajućom geometrijom modela, ostavljajući tanki sloj plastike. Plastika očvršćuje odmah nakon istiskivanja iz brizgaljke i predstavlja sloj na koji će se nanositi sljedeći slojevi plastike. Brizgaljka ima mehanizam za uključivanje i isključivanje mlaza topljene plastike. Najčešće primijenjeni materijal je termoplastična smola. Karakteristike materijala su: visoka čvrstoća, otpornost na udare, temperaturna stabilnost, hemijska otpornost, netoksičnost itd. Postolje na kojem se nalazi brizgaljka može se pomjerati i u horizontalnom i u vertikalnom smjeru. Rad na ovoj mašini zahtijeva mali radni prostor i ne pravi buku.

4. PRIMJENA POSTUPAKA DODAVANJEM

Primjena postupaka dodavanjem se ubrzano širi. Mogućnosti upotrebe su dosta velike: za vizualizaciju i inženjerske analize, izradu alata, industrijske aplikacije, automobilsku i avionsku industriju, brodogradnju, medicinu, arhitekturu, elektronsku industriju, izradu mikro elemenata, industriju široke proizvodnje, obrazovanje, umjetnost, dizajn, biologiju, biomedicinu, hemiju itd. Na Slici 9. dati su primjeri široke primjene tehnologija dodavanjem materijala za izradu različitih proizvoda [18-21].



SLIKA 9. Primjena postupaka dodavanjem materijala

Prema navedenim primjerima može se uvidjeti da je primjena ovih postupaka u porastu u svim sferama života, bez obzira da li su neki od navedenih proizvoda još uvijek u fazi modifikacije i istraživanja u cilju poboljšanja njihovih karakteristika.

5. ZAKLJUČAK

Tehnologije dodavanjem materijala imaju niz prednosti u odnosu na klasične tehnologije izrade proizvoda, što predstavlja baznu tehnologiju Industrije 4.0. Neke od prednosti koje karakterišu aditivne tehnologije su: proizvodnja geometrijski vrlo složenih proizvoda, jednostavno planiranje tehnološkog procesa, značajno skraćanje vremena od dizajna do izrade proizvoda i slično. Kao i sve tehnologije, i ove tehnologije prate nedostaci koji se, uglavnom, odnose na: ograničen izbor materijala koji se koriste, izradu proizvoda malih dimenzija, slabije mehaničke karakteristike i dimenzijska tačnost, relativno visoki početni troškovi i troškovi održavanja itd. Karakteristike ovih tehnologija su razlog čestog istraživanja, bilo da se uvode novi postupci ili poboljšavaju postojeći, odnosno uvode novi materijali, jer je aktivan broj primijenjenih materijala još uvijek ograničen na nešto više od trideset vrsta ili se jednostavno želi povećati njihova primjena.

Aditivne tehnologije, kao relativno nove tehnologije, se susreću sa dosta nerazumijevanja u industriji jer se vrlo često porede sa postojećim CNC tehnologijama. Takvo razmišljanje ograničava razvoj budućih tehnologija. Određeni broj nedostataka koji su evidentni kod aditivnih tehnologija

trenutno su predmet istraživanja kako bi se otklonili ili kako bi se postigla bolja rješenja. Svaka tehnologija ima svoju odgovarajuću primjenu, zavisno od materijala koji se koristi, dimenzija i geometrije proizvoda, veličine serije, broja zaposlenih itd. U želji da se proizvođačima pomogne da pravilno sagledaju potencijal aditivnih tehnologija (3D štampanja), potrebno je naglasiti da ove tehnologije danas imaju svoju opravdanost u jednostavnom načinu rada, manjoj potrošnji materijala, kao i u mogućnostima rada u više smjena kod izrade istog proizvoda, zatim smanjenom broju zaposlenih itd. Zbog jednostavne pripreme koja, pored 3D modela, podrazumijeva opskrbu mašine dovoljnom količinom početnog materijala za izradu istog proizvoda, kao i rješavanja načina preuzimanja gotovih proizvoda kod završnih poslova npr. robotom, ovim tehnologijama se predviđa novi napredak na tržištu. Broj zaposlenih u ovoj proizvodnji daleko je manji u odnosu na broj zaposlenih kod klasičnog oblika proizvodnje. Ove tehnologije nemaju potrebu za stalnim nadzorom kraj mašine u toku njenog rada. Može se reći da je u vrlo kratkom roku 3D printanje opravdalo svoju primjenu. U 21. vijeku se od ovih postupaka i mašina očekuje razvoj koji ima za cilj ostvarivanje veće produktivnosti postizanjem mnogo većeg broja radnih sati, s manjim brojem zaposlenih i uz manje troškove u odnosu na klasične mašine za izradu proizvoda.

6. LITERATURA

- [1] Vidoslav D. Majstorović, Dragan Đuričin, Radivoje Mitrović: Industrija 4.0 Renesansa inženjerstva, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, ISBN 978-86-6060-114-0, Beograd, 2022.
- [2] Adis J. Muminović, Adi Pandžić, Nedim Pervan, Muamer Delić: Product development and design inside Industry 4.0 from rapid prototyping to additive manufacturing, International Scientific Conference Application of Industry 4.0 an Opportunity for a new step Forward in all Industrial Branches, Sarajevo, 2022, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, DOI:10.564/PI2022.202.21, 69-80.
- [3] Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0-Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535.
- [4] I. Drstvenšek: Layered Technologies, University of Maribor, ISBN 86-435-0616-8, Maribor, 2004.
- [5] K. G. Cooper: Rapid Prototyping Technology, Marcel Dekker, ISBN 0-8247-0261-1, New York, 2001.
- [6] M. Dolinšek, T. Bren, S. Dolinšek: Izdeleva prototipnih in maloserijskih orodij za brizganje plastičnih mas po postopku DMLS, ORODJARSTVO 2003.
- [7] M. Jurković, M. Mahmić, S. Žapčević: Evolution of the technologies rapid production, 5th International Conference RIM 2005, Bihać, 2005.
- [8] N. Zaimović-Uzunović, S. Lemeš, S. Balić: Materials and machines for rapid prototyping, The 3rd International Symposium „Revitalization and modernization of production“, RIM 2001, Bihać 2001, 73-78.
- [9] B. Vaupotic, M. Brezočnik, J. Balic: Rapid manufacture of digital variometer housing, 5th International Conference RIM 2005, Bihać, 2005.
- [10] M. Brezočnik: Proizvodne tehnologije - osnove posebnih postupkov obdelave, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2011, ISBN 978-961-248-269-5.
- [11] M. Mahmić: Razvoj i izrada proizvoda s povratnim inženjerstvom i brzom izradom prototipova, Magistarski rad, Tehnički fakultet, Bihać, 2005.
- [12] Uklejewski, R. et al. Selective laser melted prototype of original minimally invasive resurfacing hip endoprosthesis. *Rapid prototyping journal*, 2011, god. 17, br. 1, 76-85.
- [13] Li, X. et al. Fabrication and compressive properties of Ti6Al4V implant with honeycomb-like structure for biomedical applications. *Rapid prototyping journal*, 2010, god. 16, br. 1, 44-49.
- [14] Mohd Abbas, N. et al. A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM). *International journal of machine tools and manufacture*, 2007, god. 47, br. 7-8, 1214-1228.
- [15] Edina Karabegović, Miran Brezočnik, Mehmed Mahmić i dr.: Nove tehnologije u proizvodnim procesima, Razvoj i primjena, Mašinski fakultet Mostar, Univerzitet Mostar, Mostar 2014.
- [16] Jurković, M., Jurković, Z., Buljan, S., Mahmić, M.: Reinženjering proizvodnih poduzeća - razvoj i modernizacija proizvodnje, Univerzitet u Bihaću, Bihać, 2011. ISBN 978-9958-9269-7-6.
- [17] Mahmić M., Jurković Z., Jurković M.: Tehnoekonomska opravdanost primjene tehnologije brze izrade, Proceedings of the 6th RIM 2007 International Scientific Conference on Production Engineering,

- Society for Robotics of Bosnia and Herzegovina and University of Bihać, Faculty of Technical Engineering, 25-26, Bihać, 2007. ISBN 978-9958-9262-1-1.
- [18] Brezočnik, M., Lestan, Z., Stepšnik, S., Milfelner, M.:The use LENS technology for producing implants, In: Ekinović, S., Vivancos, C.J. (eds), 14th International Research/Expert Conference Trends in The Development of Machinery and Associated Tehnology, TMT 2010, Zenica, 625-628.
 - [19] <http://www.dpaonthenet.net/article/30919/Rapid-manufacturing-of-nickel-alloy-and-aluminium-alloy-components.aspx>
 - [20] <http://www.additive3d.com>
 - [21] <http://www.3dsystems.com>

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN INDUSTRY 4.0

Mehmed Mahmić¹, Edina Karabegović¹, Ermin Husak¹

1) University of Bihać, Technical faculty, Irfana Ljubijankića bb,
77000 Bihać, Bosnia and Herzegovina
E-mail: mmahmic@gmail.com

ABSTRACT:

The term Industry 4.0 was first introduced in 2011 as "Industrie 4.0" as part of an initiative to improve Germany's competitiveness in the manufacturing industry. In general, it implies raising the level of digitalization in the automation of production using various technologies and modern achievements such as: CPS (Cyber-physical systems), IoT (The internet of things), Cloud computing, Smart manufacturing, Smart factories, Artificial intelligence, Additive manufacturing, etc. Additive manufacturing, also known as 3D printing, is a very important digital technology that enables a very fast conversion of a digital product into a finished product, forming the product layer by layer. As part of this work, an overview of the most well-known additive manufacturing technologies is given.

Key words: Industry 4.0, Additive technologies, 3D print, stereolithography, laser sintering

NAJNOVIJA DOSTIGNUĆA U PRIMJENI SENZORA, UMJETNE INTELIGENCIJE I DIGITALNE TRANSFORMACIJE U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

Amra Bratovčić

Univerzitet u Tuzli, Tehnološki fakultet,
Urfeta Vejzagića 8, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina
E-mail: amra.bratovcic@untz.ba

SAŽETAK:

Primjena Industrije 4.0 u prehrambenoj industriji podrazumijeva optimizaciju velikih podataka, integraciju senzora, umjetnu inteligenciju i internet stvari (IoT), što dovodi do najnižih mogućih troškova i najvećeg mogućeg benefita kroz pametnu kontrolu procesa, održivu proizvodnju i praćenje. Cilj ovog rada je razmotriti posljednja postignuća i prednosti u primjeni umjetne inteligencije (AI) i digitalne transformacije u prehrambenoj industriji. AI i digitalna transformacija postaju bitni u prehrambenoj industriji, osobito kada je riječ o procesima proizvodnje i isporuke koji pomažu u praćenju cijelog procesa opskrbnog lanca. Umjetna inteligencija koristi različite softvere za klasifikaciju povrća i voća na temelju kvalitete, kao i za identifikaciju oštećenja na njima. Predviđanje cijena, optimizacija proizvodnog procesa, upravljanje zalihama i upravljanje logistikom su potpomognuti AI. Razvoj pametne ambalaže značajno je produžio vijek pakirane hrane, njezinu sigurnost i kvalitetu. Uz ove prednosti, kvaliteta hrane se poboljšava uz dodatnu prednost smanjenja troškova proizvodnje.

Ključne riječi: *umjetna inteligencija, digitalna transformacija, senzori, pametno pakiranje*

1. UVOD

U kombinaciji sa senzorima i elektroničkim sistemima koji se temelje na elektromagnetnoj ili ultrazvučnoj tehnologiji, mogu se razviti automatizirani sistemi kontrole sigurnosti i kvalitete hrane. U praksi već možemo reći da se koriste robotske aplikacije temeljene na ultrazvuku za detekciju zraka u masi, odnosno infracrvenom tehnologijom za kontrolu efikasnosti ekstrakcije maslinovog ulja iz biljaka. U poređenju s tradicionalnim mjernim sistemima, glavne prednosti svih ovih senzora ili sistema su mala ulaganja, skraćeno vrijeme mjerenja i jednostavna integracija u proizvodni lanac. Španjolska tvrtka Nova Meat je razvila filete od povrća isprintane 3D-om i pregovarala da se uvrste u jelovnike nekih od najinovativnijih restorana. Pri tome, Nova Meat je poboljšala teksturu, izgled, okus i nutritivna svojstva 3D printanih fileta povrća. Redefine Meat je jedna od vodećih tvrtki u industriji sastojaka i uz pomoć eksperta Givaudana uspjeli su digitalno mapirati više od 70 senzorskih parametara, u rasponu od teksture i sočnosti do nijansi okusa [1].

Primjenom umjetne inteligencije i digitalne transformacije moguće je transformirati prehrambenu industriju kroz stvaranje algoritama za praćenje pošiljki u svakoj fazi opskrbnog lanca, čime bi se unaprijedili standardi sigurnosti hrane i omogućila potpuna transparentnost. Osim toga, umjetna inteligencija ima sposobnost preciznog upravljanja zalihama i predviđanja cijena koja bi mogla smanjiti nepotrebne troškove. Nadalje, umjetna inteligencija može raditi na stvaranju boljih higijenskih proizvodnih linija i smanjenju sigurnosnih povreda (mogu biti jako skupe za proizvođače hrane). Korištenjem robotske tehnologije omogućene umjetnom inteligencijom radnici smanjuju rizik od kontaminacije budući da su roboti potpuno sterilni, kao i da su brži od ljudi. AI se također može implementirati kroz tehnologije prepoznavanja lica i predmeta kako bi se pratilo poštovanje higijenskih protokola.



SLIKA 1. Robotska tehnologija omogućena umjetnom inteligencijom

Tehnologija se također koristi kako bi se potrošačima pružio veći stupanj personalizacije njihovih proizvoda. Na primjer, umjetna inteligencija može identificirati koje će biti najpopularnije kombinacije okusa i učiniti proces razvoja proizvoda kraćim i jeftinijim, pomažući tvrtkama da svoje nove proizvode plasiraju na tržište brže i uz manje pokušaja i pogrešaka. Uz automatizirano naručivanje i nadopunjavanje proizvoda, AI softver može stvoriti algoritme koji mogu razumjeti faktore potrošačke potražnje. Primjena ovakvog softvera može predvidjeti nabavku za supermarket, ali i smanjiti nepotrebno bacanje i gubitke hrane [2].

Da bismo lakše razumjeli pojam umjetne inteligencije, možemo ga povezati s ljudima i načinom na koji oni funkcioniraju. Na primjer, ljudi mogu govoriti i slušati (područje prepoznavanja govora), mogu pisati i čitati na jednom ili više jezika (područje obrade prirodnog jezika), mogu vidjeti i analizirati ono što vide (područje računalnog vida i obrade slike), mogu se kretati i komunicirati s okolinom (područje robotike) i mogu identificirati uzorke (područje prepoznavanja uzoraka). To se proteže na složenije ljudske procese u mašinskom učenju (nadzirano, nenadzirano, duboko) i polje neuronskih mreža [3]. Inteligencija općenito podrazumijeva umjetnu proizvodnju ljudskog uma koji

može naučiti prirodni jezik, planirati ga, percipirati ili razumjeti. Razvoj računalnih sistema omogućio je vizualnu percepciju, prepoznavanje glasova, izbor i jezični prijevod, što predstavlja sposobnosti ljudske inteligencije. IT sektor se uglavnom koncentrira na opremu koja radi kao ljudsko biće [4]. Drugim riječima, umjetna inteligencija (AI) je računalna tehnologija koja nastoji oponašati, u različitoj mjeri, ljudske sposobnosti za opažanje okoline, obradu informacija, donošenje odluka i poduzimanje koraka za postizanje unaprijed određenih ciljeva.

AI može pomoći pri obradi hrane, skladištenju i dostavi prehrambenih artikala. Inteligentne sprave, kao što su roboti i dronovi, također mogu igrati ključnu i značajnu ulogu u smanjenju troškova pakiranja. Podatke kontinuirano stvaraju senzori, mašine, sistemi, inteligentni uređaji i ljudi unutar tih mreža. Ovi veliki podaci analiziraju se brže, opsežnije i dublje nego ikad s povećanjem snage računara. Ovo je razvilo i stvorilo novo doba poznato kao Industrija 4.0 ili Pametna tvornica, vrijednost umjetne informacijske tehnologije [5].

Računalna vizija i umjetnom inteligencijom vođena prehrambena industrija su tehnologije u nastajanju koje primjenjuju metode vizije i učenja za poboljšanje prehrambene industrije. Procjenjuje se da iskorištavaju dostupnost velikih podataka za aktivnu obuku i daju operativne pametne strojeve u stvarnom vremenu i predvidljive modele [6]. Potražnja za velikim zalihama hrane zahtijeva ekvivalentne proizvodne vrijednosti i održive metode. Prema podacima Organizacije za hranu i poljoprivredu (FAO) Ujedinjenih naroda, stanovništvo bi moglo doseći oko 9,1 milijardu do 2050 [7]. Općenito, ova procjena aludira na potrebu kompenzacije povećanja opskrbe hranom za 70% u cijelom svijetu i gotovo dvostruko više u zemljama u razvoju [8].

Poljoprivrednici koriste digitalne tehnologije u poljoprivredno-prehrambenom sektoru kako bi maksimizirali korištenje zemljišta u smislu efikasnih prinosa prehrambenih proizvoda, a istovremeno unaprijedili biološku raznolikost [9]. Korištenjem kompjuteriziranog sistema, industrija može ispitati i osigurati da se najpovoljnije okolnosti, kao što su odabir sjemena, praćenje usjeva, navodnjavanje i praćenje temperature, mogu poboljšati, pružajući izvrsnost u proizvodima prehrambene industrije [10-11]. Korištenje napredne analize podataka, algoritama i umjetne inteligencije može se predvidjeti da li će se i kada dogoditi krize s hranom [12]. AI se može koristiti za pametno navodnjavanje i upravljanje hranjivim tvarima, pametno upravljanje tlom, predviđanje žetve, praćenje stoke i predviđanje ponašanja te procjene kvalitete i sigurnosti hrane.

Bibliometrijska analiza otkriva ključne istraživačke klastere i trenutne trendove u fazama proizvodnje, distribucije i održive potrošnje hrane omogućene umjetnom inteligencijom. Važan napredak umjetne inteligencije u tradicionalnim fazama proizvodnje potrebno je proširiti inteligentnim planiranjem za neizvjesnost potražnje, personalizirane potrebe krajnjih kupaca, optimizaciju skladištenja, smanjenje otpada u fazi postprodukcije [13].

Izazovi za usvajanje AI tehnologija se odnose na cijenu (potrebno ulaganje), kulturne promjene, stručno usavršavanje, problem s transparentnošću i jednostrano mišljenje.

Kinkel i sur. (2022) [14] su utvrdili da organizacijski faktori, poput digitalnih vještina, veličine tvrtke i intenziteta istraživanja i razvoja, imaju najveći utjecaj na usvajanje umjetne inteligencije u proizvodnji. Također su otkrili da posebno istraživački intenzivne tvrtke koje se temelje na znanju i uslugama imaju tendenciju uvesti AI tehnologije ne samo u svojim domaćim već i u stranim proizvodnim pogonima.

2. AI I RAČUNALNI VID POKREĆU PREHRAMBENU INDUSTRIJU

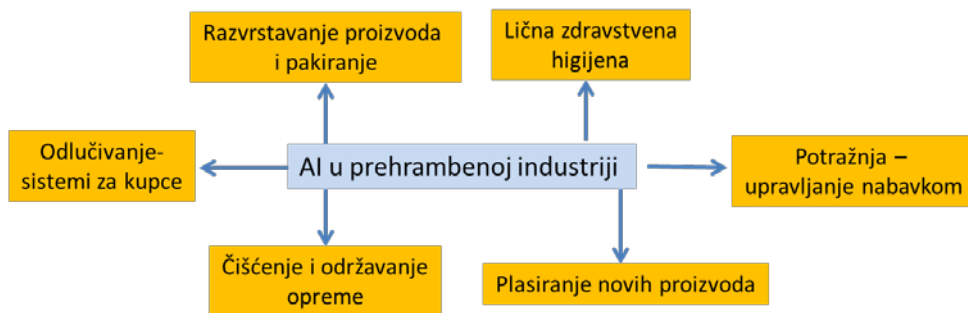
Stručnjaci i znanstvenici su predvidjeli da će umjetna inteligencija prerasti u masivnu tehnologiju po kojoj bi do 2020. godišnja stopa stvorenih podataka mogla dosegnuti 44 trilijuna gigabajta (Müller and Bostrom, 2016; Batista and Marques, 2017) [15-16].

Doba industrijske revolucije (IR) shematski je prikazano na Slici 2.

Era industrijske revolucije (IR)	Izum strojeva za proizvodnju i alata za izgradnju struktura	1. IR
	Izum električne energije, radija i aviona	2. IR
	Kompjuteri i internet	3. IR
	Napredak u umjetnoj inteligenciji, računalnom vidu i velikoj količini podataka	4. IR

SLIKA 2. Doba industrijske revolucije

U posljednje vrijeme umjetna inteligencija je imala snažan utjecaj na izbor metoda, alata i mašina u prehrambenoj industriji. Metode uzgoja usjeva, proizvodnje i prerade promijenile su se uvođenjem mašina sa umjetnom inteligencijom u poljoprivredu i prehrambenu industriju. Računala sada ne samo da pokazuju slike hrane već mogu identificirati i otkriti činjenice o nutritivnim podacima te hrane.



SLIKA 3. Primjena umjetne inteligencije u prehrambenoj industriji

Koncepti umjetne inteligencije, poput mašinskog učenja i dubokog učenja, omogućili su obradu slika računalnim vidom. Do 2012. godine računalni vid i obrada slike su polja koja su obrađivala slike i omogućavala računalima da razumiju sadržaj slike te im na taj način omogućavala izvršavanje operacija na određenim odlukama. Uvođenje mašinskog i dubinskog učenja stvorilo je prostor za računalni vid u širenju njegovih mogućnosti izvan granica, dosežući vrhunac tehnološkog napretka u zadacima kao što su detekcija objekata, prepoznavanje, praćenje, prepoznavanje lica, podaci, slike, videozapisi, jezične sekvence itd. [17].

U 2014. godini dokazano je da korištenje dubljih neuronskih mreža može polučiti bolje rezultate u pogledu izvedbe, što je bacilo pozornost na dublje mreže i strategije učenja [18].

Industrijska automatizacija je najbolje moguće rješenje za prevladavanje problema u prehrambenoj industriji. Automatizacija se u potpunosti temelji na algoritmima umjetne inteligencije (AI) ili mašinskog učenja (ML) ili dubokog učenja (DL). Korištenjem sistema temeljenog na umjetnoj inteligenciji, može se efikasno upravljati procesima proizvodnje i dostave hrane [19].

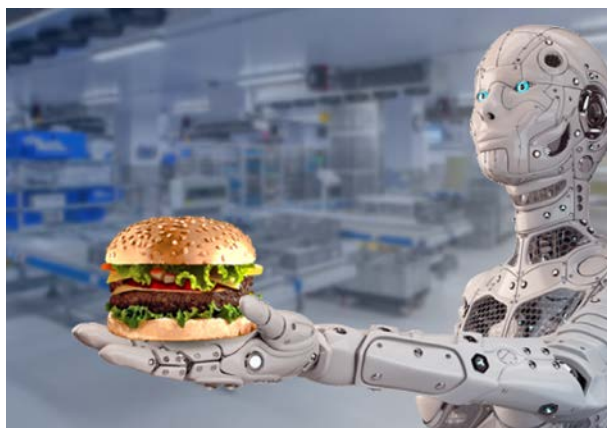
3. STRATEGIJE OBRADJE HRANE TEMELJENE NA UMJETNOJ INTELIGENCIJI

Razvoj umjetne inteligencije i njezina upotreba omogućili su prepoznavanje hrane sa slika te predviđanje sastava i nutritivne vrijednosti prikazane hrane. Ubrzo je razvijena i mobilna aplikacija [20]. Ove tehnologije umjetne inteligencije pomažu prehrambenoj industriji u promociji svojih proizvoda kako bi efikasno dospjeli na tržište putem globalnih strategija trendova u hrani i planiranja. Prerada hrane postaje fleksibilnija sa strojevima koji mogu razlikovati osnovne probleme jabuka i naranči od složenijih zadataka, kao što su niski sadržaj zasićenih masti od onih s visokim sadržajem nezasićenih.



SLIKA 4. Robotske ruke za preradu hrane [5]

Aplikacije temeljene na umjetnoj inteligenciji mogu lako odrediti koji su krompiri najprikladniji za čips, a koji za pomfrit. Ručno sortiranje je dugotrajno, neučinkovito i neprecizno [21].



SLIKA 5. Umjetna inteligencija u preradi hrane (Ramirez-Asis et al., 2022) [5]

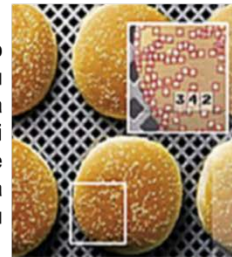
Slika 6. prikazuje tehnike praćenja hrane koje se provode u kompaniji Stemmer Imaging [22] za različite primjene (Slika modificirana prema ref. Kakani et al., 2020) [6].

ŽETVA

Automatizirana žetva smanjuje troškove uz manje zamora i može se proširiti na sortiranje i obradu proizvoda. Primjeri uključuju uklanjanje korijena povrća za preliv od mrkve i salate te branje jabuka.

**KONTROLA KVALITETE**

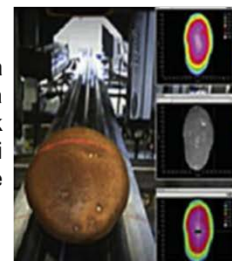
Osigurati da hrana dobro izgleda ključno je za hranu vrhunskih marki. Kontrola kvalitete temeljena na viziji može osigurati distribuciju boje preljeva za pizzu ili pecivo na pečenim proizvodima i analizu stanične strukture za hljeb.

**BRANJE I PAKIRANJE**

Vizija u kombinaciji s robotikom omogućuje dosljedno pakiranje čak i kada je više proizvoda pomiješano u bilo kojem smjeru i može osigurati da najbolji komad uvijek bude na vrhu.

**SORTIRANJE I OCJENJIVANJE**

Povećanje kvalitete proizvoda kao što su mahunarke i riža uklanjanjem zagađivača dok klasiranje krompira, voća i mesa osigurava vrhunske cijene za najbolje.



SLIKA 6. AI i računalni vid pokretači prehrambene industrije - žetva, branje, kontrola kvalitete i sortiranje pomoću algoritama vida [22]

3.1. AI u industriji mlijeka

AI se koristi u znanosti i obradi hrane za sortiranje, kontrolu kvalitete uzoraka hrane, analizu vina [23]. Sistemi čišćenja na mjestu (CIP) i čišćenja izvan mjesta (COP) pomažu prehrambenoj industriji u održavanju higijene i održavanju proizvoda na visokim standardima. Još je prije deset godina [24] predloženo korištenje bežične senzorske mreže s induciranim konceptima umjetne inteligencije u industriji mlijeka kako bi se riješio problem održavanja mlijeka u ispravnom stanju, odnosno na pH 6,7, koji se postiže na određenoj temperaturi.

U Europi je 1992. godine uveden automatizirani stroj za mužnju (AMS) ili roboti za mužnju, čime je smanjeno vrijeme potrebno za ručnu mužnju krava.

Prema Meshram i sur. (2018) [25] krave se obučavaju za robotski proces mužnje nakon što se svakoj kravi pričvrsti elektronička oznaka koja pomaže robotu da identificira kravu i da joj hranu. Zatim robot pričvrsti čaše za mužnju na vime i počne mužnju. Nakon toga čašice se odvajaju a nakon što četvrtina krava završi svoju mužnju slijedi proces dezinfekcije prije izlaska krave. Roboti također testiraju mlijeko za identifikaciju bolesti uz pomoć laserskih skenera, ultrazvuka i OGS optičkog sistema za navođenje. Ovi roboti su programirani tako da dobiju računalni vid za navigaciju, osjećaj i učenje od ljudi putem ML-a, koji je i sam dio programa umjetne inteligencije.

Programirani CIP sadrži dva različita programa: prvi se temelji na rotacijskom pranju koji uključuje opremu za grijače površine i pasterizatore te drugi na rotacijskom pranju koji uključuje spremnike za skupljanje pročišćenog mlijeka [26].

Pomoću neuronske mreže oprema kontinuirano prati sirovo mlijeko [27]. Fuzzy logika pomaže u skladištenju sirovog mlijeka kako bi se izbjeglo kvarenje. Postoji umjetna neuronska mreža (ANN) koja predviđa životni vijek pohranjenog topljenog sira na 30°C i mjeri visok sadržaj proteina u cheddar siru koji se može koristiti kao dodatak mesnim proteinima. Neki proizvođači uklanjaju višak laktoze iz mlijeka postupkom adsorpcije koji zauzvrat koristi empirijske modele ANN-a [28].

3.2. AI u pićima/bezalkoholnim pićima

Elektronski nos se koristi u prehrambenoj industriji i industriji pića za kontrolu kvalitete proizvoda kao što je efikasnost pržene kafe. Naposljetku, razine gorčine testiraju ljudi i daju upute radijalnom funkcijom ANN-u [29]. Elektronski jezik također se koristi za provjeru kvalitete različitih vrsta pića,

kao što su mlijeko, kafa, čaj, vino i pivo itd. Parametri koji se otkrivaju pomoću ovog e-jezika su slanost, kiselost i gorčina [30].

3.3. AI u rezanju i sortiranju voća i povrća

AI koristi različite softvere za klasificiranje voća i povrća na temelju kvalitete kao i za identifikaciju oštećenja na njima [31-32]. Tehnologija snimanja rendgenskim zrakama jedna je od najboljih nedestruktivnih metoda koja pomaže u otkrivanju bolesti. Sortiranje krompira (3-5 tona na sat) može da se obavlja pomoću mašine AQS 602 na temelju formiranja gomolja za procjenu kvalitete uz pomoć fotometrijske kamere PMC (D_1 , D_2 , D_3) [33-34].

Duboko učenje pripada grupi ML, potpolju umjetne inteligencije koje se koristi za prepoznavanje uzoraka i donošenje odluka. Duboka konvolucijska neuronska mreža (CNN) se koristi za identifikiranje vrste jabuke uz pomoć računalnog vida. Za razlikovanje 13 različitih vrsta voća i povrća korištena je hiperspektralna kamera imena Ximea koja snima RGB slike [35].

4. RAZVRSTAVANJE I PAKIRANJE PROIZVODA

Stopa proizvodnje u industriji može se značajno povećati pravilnim naručivanjem i pakiranjem prehrambenih proizvoda kojima upravljaju sistemi temeljeni na umjetnoj inteligenciji i minimiziranjem mogućnosti pogreške. Razvoj sistema temeljenih na umjetnoj inteligenciji izazovan je zadatak zbog nepravilnosti u oblicima, bojama i veličinama voća i povrća. Za razvoj sistema sortiranja i pakiranja temeljenog na umjetnoj inteligenciji potrebna je velika količina podataka kako bi sistem bio pravilno obučan i obavljao zadatak na efikasan način [36-37].

Jedna od njih je TOMRA, koja posao sortiranja obavlja na vrlo efikasan način s tačnošću od 90%. Većinu poslova sortiranja i pakiranja proizvoda obavlja automatizirani sistem. Korištenjem takvih vrsta sistema, industrije su dobile neke prednosti, kao što su brža stopa proizvodnje, visokokvalitetni prinosi i smanjenje troškova rada. Inteligentni sistemi za donošenje odluka temeljeni na umjetnoj inteligenciji sastoje se od različitih alata i metodologija, tj. kamera visoke razlučivosti, sistema temeljenih na laserskoj tehnologiji, na rendgenskim zrakama i IR spektroskopiji.

5. ZAKLJUČAK

Rasipanje hrane mora se smanjiti, opskrbeni lanac optimizirati, a logistika hrane, dostava i sigurnost hrane poboljšati. Savremeni industrijski i logistički sistemi su omogućeni širim i snažnijim računalnim mrežama. Senzori, mašine, sistemi, inteligentni uređaji i ljudi unutar ovih mreža neprestano proizvode podatke. Ova su postignuća ponovno izgradila i uspostavila novu eru poznatu kao Industrija 4.0 ili Pametna tvornica, koja pokazuje korisnost umjetne informacijske tehnologije. AI igra glavnu ulogu u prehrambenoj industriji za modeliranje, predviđanje, kontrolni alat, sušenje hrane, senzorsku procjenu, kontrolu kvalitete i rješavanje složenih problema u preradi hrane. Osim toga, AI može unaprijediti poslovne strategije zbog svoje sposobnosti predviđanja prodaje i omogućavanja povećanja prinosa. AI je prepoznat zbog svoje jednostavnosti, tačnosti i metode uštede u prehrambenoj industriji. Sažete su primjene umjetne inteligencije, njene prednosti i ograničenja, kao i integracija algoritama s različitim senzorima kao što su e-nos i e-jezik u prehrambenoj industriji.

6. LITERATURA

- [1] UEAT, How AI is changing the food industry, posted on April 23, 2021, available on 05. July 2022. at: <https://ueat.io/en/tips-for-restaurateurs/how-ai-is-changing-the-food-industry/>
- [2] Catherine Gray, Unlocking opportunities in the food industry with AI. May 12, 2022. Available on 29.06.2022. <https://aimagazine.com/ai-applications/unlocking-opportunities-in-the-food-industry-with-ai>
- [3] Camaréna S, Artificial Intelligence in the design of transition to Sustainable, Food Systems, *Journal of Cleaner Production* 271, 122574, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122574>.
- [4] Kumar, Y., Kaur K., Singh, G. (2020) Machine learning aspects and its applications towards different research areas, in: *2020 International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM)*, pp. 150–156. doi: 10.1109/ICCAKM46823.2020.9051502.
- [5] Ramirez-Asis, E., Vilchez-Carcamo, J., Thakar, C.M., Phasinam, K., Kassanuk, T., Naved, M. (2022) A review on role of artificial intelligence in food processing and manufacturing industry, *Materials Today: Proceedings* 51 Part 8: 2462-2465.
- [6] Kakani, V., Nguyen, V. H., Kumar, B. P., Kim, H., & Pasupuleti, V. R. (2020). A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, Article 100033.
- [7] Godfray, J. R., Beddington, I. R., Crute, L., Haddad, D. Lawrence, J.F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S. M. Thomas, C. Toulmin, Food security: the challenge of feeding 9 billion people, *Science* 327 (2010) 812–818.
- [8] Alexandratos, N., World Agriculture: towards 2010: an FAO Study, Food & Agriculture Org, 1995.
- [9] Manning, L., Brewer, S., Craigon, P. J., Frey, J., Gutierrez, A., Jacobs, N. et al. (2022) Artificial intelligence and ethics within the food sector: Developing a common language for technology adoption across the supply chain, *Trends in Food Science & Technology*, 125: 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.025>
- [10] Donepudi, P. K. (2014) Technology growth in shipping industry: an overview, *American Journal of Trade and Policy*, 1(3): 137–142.
- [11] Vadlamudi, S. (2018) Agri-food system and artificial intelligence: reconsidering imperishability, *Asian Journal of Applied Science and Engineering*, 7(1): 33-42. <https://journals.abc.us.org/index.php/ajase/article/view/1192>.
- [12] Kiran, A., Narayana Raj, G., Talawar, M. B. (2020). Food crisis-how artificial intelligence and machine learning are solving humanity's greatest challenge - a review. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 17(9–10), 3839–3843.
- [13] Monteiro J. and Barata B (2021) *Procedia Computer Science* 192 (2021) 3020-3029. doi: 10.1016/j.procs.2021.09.074.
- [14] Kinkel, S., Baumgartner, M., Cherubini E. (2022) Prerequisites for the adoption of AI technologies in manufacturing – Evidence from a worldwide sample of manufacturing companies, *Technovation*, 110: 102375. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102375>
- [15] Müller, V. C. and Bostrom, N. (2016) Future progress in artificial intelligence: a survey of expert opinion, in: *Fundamental Issues of Artificial Intelligence*, Springer, pp. 555-572.
- [16] Batista, J. C. L. and Marques, R. P. F. (2017) An overview on information and communication overload, in: *Information and Communication Overload in the Digital Age. IGI Global*, pp. 1-19.
- [17] LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. (2015) Deep learning, *Nature* 521: 436-444.
- [18] Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., Rabinovich, A. (2015) Going deeper with convolutions, in: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1–9.
- [19] Kumar, I., Rawat, R., Mohd, N., Husain, S., Opportunities of Artificial Intelligence and Machine Learning in the Food Industry, *Journal of Food Quality* 2021, 4535567, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/4535567>.
- [20] Yanai, K. and Kawano, Y. (2015) Food image recognition using deep convolutional network with pre-training and fine-tuning, in: *2015 IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW), IEEE*, pp. 1-6.
- [21] Misra, N. N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., Martynenko, A. (2022) IoT, big data and artificial intelligence in agriculture and food industry, *IEEE Internet Things J.*, 9(9): 6305-6324. doi: 10.1109/JIOT.2020.2998584.
- [22] Stemmer, Vision technology for the food and beverage industry, URL, <https://www.stemmer-imaging.com/media/uploads/general/sis/20/2018-03-Market-Brochure-Food-en-WEB.pdf>, 2018.

- [23] Addanki, M., Patra, P., Kandra, P. (2022) Recent advances and applications of artificial intelligence and related technologies in the food industry, *Applied Food Research* 2: 100126, <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100126>.
- [24] Sakthi, M. V., Priya, R. M., Krisnaraj, N., & Prabhakar, E. (2012). A novel artificial intel-ligent system for milk conversation using wireless sensor networks. *Bonfring Interna-tional Journal of Networking Technologies and Applications*, 1 , 07-13 .
- [25] Meshram, B. D., Adil, S. & Ranvir, S. (2018). Robotics - An emerging technology in dairy Industry. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 43 , 58–62 .
- [26] Memisi, N., Moracanin, S. V., Milijasevic, M., Babic, J., & Djukic, D. (2015). CIP cleaning processes in the dairy industry. *Procedia Food Science*, 5, 184-186.
- [27] O’Connell, A., Ruegg, P. L., Jordan, K., O’Brien, B., & Gleeson, D. (2016). The effect of storage temperature and duration on the microbial quality of bulk tank milk. *Journal of Dairy Science*, 99, 3367-3374.
- [28] Balieiro, A. L., Santos, R. A., Pereira, M. M., Freitas, L. S., Alsina, O. L. S., & Lima, A. S. (2016). Adsorption process of molecularly imprinted silica for ex-traction of lactose rom milk. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 33 , 361-372.
- [29] Thazin, Y., Pobkrut, T., & Kerdcharoen, T. (2018). Prediction of acidity levels of fresh roasted coffees using e- nose and artificial neural network. In *Proceedings of the 10th international conference on knowledge and smart technologies. Cybernetics in the next decades*. KST.
- [30] Tan, J., & Xu, J. (2020). Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality- related properties determination: A review. *Artificial Intel-ligence in Agriculture*, 4, 104-115.
- [31] Jasmeen, G., Parvinder, S. S. & Tejwant, S (2014). A review of automatic fruit classification using soft computing techniques. In *International Conference on Computer Systems and Electronics Engineering ICSCEE*: 2 (pp. 91-98) .
- [32] Makkar, T., Verma, S., Yogesh, & Dubey, A. K (2018). Analysis and detection of fruit defect using neural network. In *International Conference on Recent Developments in Science, Engineering and Technology*: 799 (pp. 554-567).
- [33] Nachev, V. G., Tanya, T. P., & Damyanov, Chavdar. I. D. (2012). A Modified algorithm for non-destructive quality evaluation of potatoes with an AQS 602 sorting machine. *International IFAC Workshop on Dynamic and Control in Agriculture and Food Processing*.
- [34] Titova, T., Nachev, V., & Damyanov, C. (2015). Non-destructive diagnosis of food prod-ucts using neural-genetic algorithm. *International Journal of Reasoning-Based Intelligent Systems*, 7, 55-61.
- [35] Steinbrener, J., Posch, K., & Leitner, R. (2019). Hyperspectral fruit and vegetable classifi-cation using convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 364-372.
- [36] Tripathi, S., Shukla, S., Attrey, S., Agrawal, A., Bhadoria, V. S. (2020) Smart industrial packaging and sorting system, in *Strategic System Assurance and Business Analytics*, pp. 245-254, Springer, Singapore.
- [37] Dewi, T., Risma, P., Oktarina, Y. (2020) Fruit sorting robot based on color and size for an agricultural product packaging system, *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(4): 1438-1445.

THE LATEST ACHIEVEMENTS IN THE APPLICATION OF SENSORS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DIGITAL TRANSFORMATION IN THE FOOD INDUSTRY

Amra Bratovčić

University of Tuzla, Faculty of Technology,
Urfeta Vejzagica 8, 75000 Tuzla, Bosnia and Herzegovina
E-mail: amra.bratovcic@untz.ba;

ABSTRACT

Application of Industry 4.0 in the food industry implies big data optimization, integration of sensors, artificial intelligence, Internet of things (IoT) leading to the lowest possible costs and the highest possible output through smart control of the process, sustainable production, and monitoring. The aim of this paper is to consider the recent achievements and benefits in the application of Artificial intelligence (AI) and digital transformation in the food industry. AI and digital transformation are becoming essential in the food industry, particularly when it comes to production and delivery processes which aid in keeping a watch on the entire supply chain process. AI uses different software to classify vegetables and fruits based on quality and also identification of damages to them. Price prediction, production process optimization, inventory management, and logistics management are all aided by AI. The development of smart packaging has significantly extended the life of packaged food, its safety, and its quality. With these benefits, food quality is improving with the added benefit of reducing production costs.

Keywords: Artificial intelligence, digital transformation, sensors, smart packaging

UMJETNA INTELIGENCIJA, STROJNO UČENJE, BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJA: DIGITALNOTEHNOLOŠKI ALATI ILI AUTONOMNI SUSTAVI ODLUČIVANJA

Ovaj rad je objavljen u Zborniku radova Pravnog fakulteta u Travniku, br. 12 (2021.), str 9-30.

Hana Korač¹, Vjekoslav Vuković², Tomislav Čurić³, Ena Kapetanović⁴

¹ Ministarstvo unutrašnjih poslova Kantona Sarajevo,
La Benevolencija 16, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

² Vanjskotrgovinska komora Bosne i Hercegovine,
Branislava Đurđeva 10, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

³ Delegacija Evropske komisije, e-mail: curic.tomislav@gmail.com

⁴ Impact analyst, e-mail: ena@sarajevo.tech

„Sve što volimo kod civilizacije je proizvod inteligencije, tako da pojačavanje naše ljudske inteligencije umjetnom inteligencijom ima potencijal pomoći da civilizacija procvjeta kao nikada prije – sve dok uspijevamo održati tehnologiju korisnom.”

Max Tegmark

„Bit će zanimljivo vidjeti kako će se društvo nositi s umjetnom inteligencijom, ali definitivno će biti cool.”

Colin Angle

SAŽETAK

Kao što ste vjerojatno već primijetili, umjetna inteligencija danas je goruća tema i gotovo je nemoguće izbjeći medijske objave i javne rasprave o umjetnoj inteligenciji. Također, danas ljudi pojam umjetne inteligencije različito tumače. Za neke umjetna inteligencija podrazumijeva umjetne oblike života koji mogu nadmašiti ljudsku inteligenciju, a drugi pak smatraju da se umjetnom inteligencijom može nazvati gotovo svaka vrsta tehnologije za obradu podataka ili pak cijela tehnologizacija sustava. Jesu li to samo alati budućnosti ili oni samostalno odlučuju, odnosno kreiramo li danas platforme koje će ove alate potpuno osamostaliti ili ćemo ih regulirati i staviti pod kontrolu?

Ključne riječi: Umjetna inteligencija, strojno učenje, blockchain tehnologija, alati

1. UVOD

Od Siri kompanije Apple do autopilota, umjetna inteligencija (Artificial Intelligence - AI) napreduje brzo. Dok znanstvena fantastika često prikazuje AI kao robote sa ljudskim karakteristikama, AI može obuhvatiti sve od Googleovih algoritama za pretraživanje, sustava za podršku odlučivanju u kompanijama, IBM-ovog Watsona do autonomnog oružja. Napredak umjetne inteligencije se odvija tako brzo da je postalo teško razdvojiti znanstvenu fantastiku od stvarnog života, jer je AI u velikoj mjeri iskoristio eksploziju u računarskoj moći i sposobnostima velike brzine obrade podataka. S obzirom na ovu svestranost, neki se plaše da će ML i AI preoblikovati našu cjelokupnu ekonomiju silom, čime će stotine, ako ne i tisuće zanimanja apsolutno nestati. Međutim, kretanje današnjim informatičkim pejzažem zasigurno nije za svakoga. Jako je važno razumjeti kako najbolje iskoristiti *computing* resurse kako bismo na što bolji, transparentniji i etički prihvatljiv način zadovoljili poslovne i ljudske potrebe koje svakim danom postaju sve veće i zahtjevnije.

Blockchain (BC) tehnologija u tome igra veliku ulogu posljednjih godina. Eksplozija podataka i povezanih uređaja dovela je do potrebe za stvaranjem novih tehnologija koje će biti u mogućnosti podržavati i ekstrapolirati korisne setove podataka iz oceana neiskoristivih podataka. Blockchain zapravo pruža decentraliziranu, pouzdanu, nepromjenjivu metodu za dijeljenje i bilježenje podataka. Izvlačenje korisnih podataka i kreiranje analitike podataka započinje vizualizacijom podataka, što nazivamo „opisnom“ analitikom. Nakon toga slijedi „prediktivna“ analitika, koristeći modele strojnog učenja (*machine learninga* - ML) za pronalaženje obrazaca u podacima koji nam pomažu odgovoriti na pitanja budućih događaja ili trendova koji u podacima nisu eksplicitni. Umjetna inteligencija obuhvaća modele strojnog učenja koji kombiniraju razumijevanje prirodnog jezika (*natural language processing*) s intuitivnom vizualizacijom kako bi se omogućilo ljudima da lako komuniciraju s blockchain podacima.

U početku ćemo, stoga, govoriti o tome što je umjetna inteligencija, kako se može definirati i s kojim je drugim područjima ili tehnologijama blisko povezana. No, najprije ćemo izdvojiti primjene umjetne inteligencije koje nam mogu poslužiti kao dobar prikaz njezinih različitih aspekata, te ponešto kazati o temeljnim pojmovima umjetne inteligencije, njene primjenjivosti, strojnog učenja te blockchain tehnologije.

2. UMJETNA INTELIGENCIJA U DOSADAŠNJOJ PRIMJENI

2.1. Autonomna vozila

U autonomnim je vozilima potrebno primjenjivati kombinaciju raznih tehnika umjetne inteligencije: pretraživanje i planiranje upotrebljavaju se za pronalaženje najprikladnije rute od točke A do točke B, računalni vid potreban je za utvrđivanje prepreka, a sposobnost donošenja odluka u neizvjesnim okolnostima služi za snalaženje u složenom i dinamičnom okruženju. Svaka od tih tehnika mora biti gotovo savršeno precizna kako bi se izbjegle nesreće, te međusobno povezana. Iste se tehnologije upotrebljavaju i u drugim autonomnim sustavima, kao što su roboti dostavljači, bespilotne letjelice i autonomni brodovi.

Korisnost ovih sustava: sigurnost na cestama u konačnici bi se trebala poboljšati jer razina pouzdanosti sustava nadilazi ljudske sposobnosti. Trebala bi se povećati i učinkovitost logističkih lanaca pri prijevozu robe. Ljudi će preuzeti nadzornu ulogu i pomno pratiti što se događa, a za samu će vožnju biti zaduženi strojevi. Budući da je prijevoz toliko važan dio našeg svakodnevnog života, vjerojatno ima i drugih korisnosti o kojima još nismo razmišljali, jer u konačnici inteligentno ponašanje „stroja“ se razlikuje od inteligencije uopće. Upravo zbog toga istražujemo sustave koji mogu pomoći u rješavanju praktičnih problema ne ulazeći u ideju jesu li inteligentni ili ne.

2.2. Primjenjivost kod preporuka sadržaja

Svakodnevno nailazimo na razne informacije, a mnoge su od njih personalizirane. To su, na primjer, sadržaji na Facebooku, Twitteru, Instagramu i drugim društvenim medijima, internetski oglasi, preporuke glazbe na platformi Spotify te preporuke filmova na Netflixu, HBO-u i u okviru drugih usluga internetskog prijenosa sadržaja. Sadržaj koji nude personaliziraju i mnogi internetski izdavači, kao što su stranice s elektroničkom inačicom novina i stranice radiotelevizijskih kuća te internetski pretraživači kao što je Google.

Dok je naslovnica tiskane inačice dnevnih novina New York Times ili China Daily ista za sve čitatelje, naslovnica internetske inačice za svakog je pojedinog korisnika drukčija. Algoritmi koji određuju koji ćete sadržaj vidjeti temelje se na umjetnoj inteligenciji.

Korisnost: iako mnoga poduzeća ne žele otkriti pojedinosti o svojim algoritmima, poznavanje osnovnih načela omogućuje vam da razumijete moguće posljedice, među kojima su tzv. filter mjehurići (*filter bubbles*), komore jeke (*echo chambers*), tvornice trolova (*troll factories*), lažne vijesti (*fake news*) i novi oblici propagande.

2.3. Obrada slika i videozapisa

Sustav za prepoznavanje lica već ima brojne korisničke, poslovne i administrativne primjene, na primjer za grupiranje fotografija prema osobama koje su na njima prikazane, automatsko označavanje na društvenim mrežama i provjeru putovnica. Slične tehnike mogu se, recimo, upotrebljavati za prepoznavanje drugih vozila i prepreka oko autonomnog automobila ili, primjerice, za procjenu populacija divljih biljnih i životinjskih vrsta¹.

Umjetna inteligencija može se upotrebljavati i za stvaranje ili izmjenu vizualnog sadržaja. Već danas, primjerice, upotrebljavaju se aplikacije za prijenos stila s pomoću kojih možete prilagoditi svoje fotografije kako bi izgledale kao da ih je naslikao Vincent van Gogh. Primjenom iste tehnike nastali su i računalno izrađeni likovi iz filmova kao što su Avatar ili Gospodar prstenova i popularne animacije filmskog studija Pixar u kojima animirani likovi ponavljaju pokrete stvarnih glumaca.

Korisnost: kad te tehnike postanu još naprednije i dostupnije, moći će lako izraditi lažni videozapisi događaja koji izgledaju prirodno i koje će biti nemoguće razlikovati od stvarnih snimaka. Time se dovodi u pitanje istinitost izreke „vjerujem u ono što vidim”, jer negativni umovi mogu pronaći put zlouporabe ukoliko ovi sustavi ostanu bez adekvatne kontrole.

2.4. Definiranje umjetne inteligencije

Svoju popularnost u medijima umjetna inteligencija djelomično duguje činjenici da su ljudi taj naziv počeli upotrebljavati za stvari koje su se nekad drukčije nazivale. Danas se umjetnom inteligencijom naziva gotovo sve, od statistike i poslovne analitike do ručno kodiranih pravila zaključivanja u obliku iskaza „ako..., onda”. Je li nam pojam umjetne inteligencije nejasan ili je sama umjetna inteligencija po sebi nedovoljno jasna ili se, pak, svjesno želi kreiranim nepoznanicama stvoriti „strahopoštovanje” prema istoj?

¹ Platforme o strojnom učenju, <Wildlife Detection Case with TensorFlow and Keras (valohai.com)

Čak se ni znanstvenici koji se bave umjetnom inteligencijom nisu usuglasili oko definicije umjetne inteligencije², jer se definicija neprestano mijenja, usmjerena na primjenjivost iste. U jednom starom („štreberskom”) vicu umjetna se inteligencija definira kao „iznimne stvari koje računala ne mogu raditi”. Ironija je u tome što prema toj definiciji umjetna inteligencija nikad ne može napredovati: čim pronađemo način da napravimo nešto iznimno s pomoću računala, to se prestaje smatrati problemom umjetne inteligencije. Međutim, u toj definiciji ima i nešto istine. Na primjer, prije pedeset godina smatralo se da automatske metode pretraživanja i planiranja pripadaju području umjetne inteligencije. Danas o tim metodama uči svaki student računarstva. Slično tomu, o određenim se metodama obrade neizvjesnih informacija sad već zna toliko mnogo da će se one vjerojatno vrlo brzo premjestiti iz područja umjetne inteligencije u područje statistike ili vjerojatnosti.

Umjetnu je inteligenciju teško razumjeti i zbog toga što nam je teško razlučiti koje su zadaće jednostavne, a koje teške. Pogledajte oko sebe i uzmite u ruku neki predmet, a zatim razmislite o tome što se učinili: očima ste promotrili okolinu, uvidjeli gdje se nalaze prikladni predmeti koje možete uzeti, odabrali jedan predmet i isplanirali putanju koju će vaša ruka prijeći kako bi ga dosegla, a zatim ste pomaknuli ruku tako što ste određenim redoslijedom stegnuli različite mišiće i uspjeli stisnuti taj predmet točno onoliko silom kolika je potrebna da biste ga zadržali prstima. Teško je pojmiti svu složenost tog procesa, no to katkad postane jasno ako nešto pođe po zlu, primjerice ako je predmet koji ste odabrali mnogo teži ili lakši nego što ste očekivali ili ako netko otvori vrata baš u trenutku kada posežete za kvakom pa naglo izgubite ravnotežu. Dakle, ovdje je robot samo mehanizam djelovanja i provedbe zadaće, a umjetna inteligencija je zapravo niz „pokreta” pretočenih u algoritme, a koje zapravo detektiraju senzori, kod čovjeka receptori, točno utvrđenim redoslijedom kako bi se zahtijevana ili očekivana radnja izvela ispravno. Ako se radnja nužno ponavlja ili ju sam robot temeljem frekvencije repetitivnosti a rabeći umjetnu inteligenciju na određeni način upamti, onda možemo govoriti o strojnom učenju (ML).

Dok je za nas riječ o jednostavnom zadatku, robotu je iznimno teško hvatati predmete i na tom području se intenzivno provode istraživanja. O cjelokupnoj kompleksnosti govori Googleov projekt o robotskom mehanizmu za hvatanje i robot za branje cvjetače³.

S druge strane, igranje šaha i rješavanje matematičkih zadataka mogu se činiti vrlo teškim zadaćama za čije su ovladavanje potrebne godine vježbe, više razine sposobnosti i koncentrirano svjesno razmišljanje. Početna istraživanja AI temeljila su se na šahovskim igrama, no postavilo se pitanje radi li se o umjetnoj inteligenciji ili stroj ima veći memorijski kompleks da upamti enorman broj šahovskih kombinacija i, po unaprijed utvrđenom obrascu, povlači poteze. Otad se ispostavilo da je igra šaha vrlo prikladna za računala jer ona mogu slijediti relativno jednostavna pravila i izračunati mnoštvo potencijalnih nizova poteza brzinom od više milijardi izračuna u sekundi. Računala su 1997. u glasovitim partijama koje je Kasparov odigrao protiv računala Deep Blue pobijedila tadašnjeg ljudskog svjetskog prvaka u šahu. Bi li vam palo na pamet da je teži zadatak uhvatiti figure i pomicati ih na ploči bez prevrtanja? Slično tomu, iako su za temeljito ovladavanje matematičkim vještinama (naizgled) potrebne ljudska intuicija i oštroumnost, mnogi (ali ne svi) zadaci iz

² „umjetna inteligencija (UI, prema engl. akronimu AI, od *Artificial Intelligence*), dio računalne znanosti (informatike) koji se bavi razvojem sposobnosti računala da obavljaju zadaće za koje je potreban neki oblik inteligencije, tj. da se mogu snalaziti u novim prilikama, učiti nove koncepte, donositi zaključke, razumjeti prirodni jezik, raspoznavati prizore i dr. Naziv se također rabi za označavanje svojstva svakoga neživog sustava koji pokazuje inteligenciju (*inteligentni sustav*); obično su to računalni sustavi, dok se izraz katkad neutemeljeno primjenjuje na robote, koji nisu nužno inteligentni. Intelligentnim sustavom smatra se svaki sustav koji pokazuje prilagodljivo ponašanje, uči na temelju iskustva, koristi velike količine znanja, pokazuje svojstva svjesnosti, komunicira s čovjekom prirodnim jezikom i govorom, dopušta pogreške i nejasnoće u komunikaciji ili dr. Funkcije intelligentnoga sustava jesu: prikupljanje i obradba informacija, interakcija s radnom okolinom, komunikacija s čovjekom ili s drugim intelligentnim sustavima, prikupljanje i obradba znanja, zaključivanje, te planiranje. Dok se pod ljudskom inteligencijom smatraju čovjekove mogućnosti da istodobno pokazuje različite inteligentne odlike i obavlja takve funkcije, današnji su intelligentni sustavi ponajprije specijalizirani za pojedinu mogućnost.“ <<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63150>>,”

³ Googleov projekt o robotskom mehanizmu za hvatanje i robot za branje cvjetače <<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/google-large-scale-robotic-grasping-project>>, 6. 1. 2021.

uobičajenog srednjoškolskog ili fakultetskog programa mogu se riješiti s pomoću kalkulatora i niza jednostavnih pravila.

Ključne stvari kod AI su prilagodljivost i samostalnost te, stoga, govorimo o oblicima umjetne inteligencije, a ne o jednoj jedinoj umjetnoj inteligenciji, a što se zapravo smatra ključnim elementima definiranja.

Danas govorimo o „općoj” i „specijaliziranoj” umjetnoj inteligenciji. Pojam „specijalizirana umjetna inteligencija” odnosi se na umjetnu inteligenciju koja je predviđena za obavljanje jedne zadaće. Pojam „opća umjetna inteligencija” ili „umjetna opća inteligencija” (Artificial General Intelligence - AGI) odnosi se na stroj koji može obavljati bilo koju intelektualnu zadaću. Sve metode umjetne inteligencije koje upotrebljavamo danas pripadaju području specijalizirane umjetne inteligencije, dok je opća umjetna inteligencija dio znanstvene fantastike. Zapravo, znanstvenici koji se bave umjetnom inteligencijom gotovo su odustali od ideje opće umjetne inteligencije jer u posljednjih 50 godina, unatoč velikom trudu, u tom području nije ostvaren bitan napredak. S druge strane, specijalizirana umjetna inteligencija napreduje divovskim koracima. **Dakle, i dalje nedostatak voljnog momenta, empatije i motivacije govore u prilog tomu da ćemo još dugo pričekati na autonomnost tzv. humanoida koji sam razmišlja, odlučuje, predlaže rješenja i rješava probleme, a da u backstageu nije čovjek.**

Primjer je priča iz restorana: Čovjek je ušao u restoran i naručio hamburger, srednje pečen. Kada je poslužen, vidio je da je totalno izgorjen, a konobar ga je upitao je li burger dobar. Gospodin je sarkastično odgovorio da je odličan i žurno i ljutito napustio restoran. Konobar je vikao za njim i pitao tko će ovo platiti te samo slegnuo ramenima gledajući gospodina kako odlazi.

AI počiva na sustavu memoriranja pitanja i odgovora, kao što to rade do sada poznati programi Siri, Alexa, Google Now i sl., a koji uveliko ovise o upisanom broju riječi i načinu izgovora.

Na primjeru događaja u restoranu zaključujemo da bi, ukoliko bi s druge strane bio robot upravljan umjetnom inteligencijom, razumio riječi „hamburger“, što znači jelo, *srednje pečen*, što govori o načinu spremanja, dok bi temeljem odgovora gosta na upit *je li burger dobar* shvatio da je odličan i neplaćanje računa bi shvatio kao bijeg. No, u stvarnosti, sarkastičan odgovor s podsmijehom *da odličan je* znači da gost nije zadovoljan, a naprasni odlazak gosta je demonstracija revolta zbog neposluživanja naručenog, što rezultira i neplaćanjem računa. Dakle, za ljude je svojstveno i neverbalno, gestikulativno komuniciranje, kao i „čitanje između redova“, što robotu zadugo neće biti svojstveno⁴.

Niz sličnih primjera možemo navesti kod prepoznavanja određenih situacija sa fotografija, jer robot bi zapravo vidio fotografiju, no upitno je da li bi razlikovao suze radosnice od žalosnih, zagrljaj dočeka od ispraćaja. Stoga se izučavaju duboke neuralne mreže i funkcioniranje moždanih aktivnosti, koje bi u našem slučaju morao primijeniti robot, dok bi umjetna inteligencija bila ta koja povezuje sve elemente prepoznavanja⁵.

3. STROJNO UČENJE

Strojno učenje može se smatrati potpodručjem umjetne inteligencije, koja je ustvari potpodručje računarstva (takve su kategorije često donekle neprecizne, a neka se područja strojnog učenja mogu jednako točno ili čak točnije svrstati u područje statistike). Strojno učenje omogućuje prilagodljivost rješenja koja se temelje na umjetnoj inteligenciji. Može se kratko definirati na sljedeći način: Oblikovanje sustava koji svoju učinkovitost u obavljanju određene zadaće poboljšavaju na temelju iskustva ili sve veće količine podataka.

Robot je stroj s ugrađenim senzorima (za prikupljanje informacija iz okruženja) i pogonskim uređajima (za djelovanje u skladu s okruženjem) koji se može programirati za obavljanje niza radnji.

⁴ Melanie, Mitchel, Artificial Intelligence, A guide for Thinking Humans, Farrar, Straus and Giroux, 120 Broadway, New York, 2019, E-book edition

⁵ Ibid

Ljudi naviknuti na znanstveno-fantastične prikaze robota uglavnom zamišljaju čovjekolike strojeve koji neobično hodaju i govore jednoličnim glasom „metalnog” prizvuka. Većina robota iz stvarnog svijeta koji se danas upotrebljavaju izgleda potpuno drukčije jer su dizajnirani u skladu sa svojom namjenom i vrlo usko specijalizirani. Za većinu namjena roboti ljudskog oblika ne bi bili praktični, baš kao što za pranje posuđa ne upotrebljavamo čovjekolike robote, nego strojeve u koje stavljamo posuđe, koje se zatim pere mlazovima vode te suši grijačem.

Isto tako, iako to na prvi pogled možda nije očito, sve se vrste vozila s određenom razinom samostalnosti te ugrađenim senzorima i pogonskim uređajima smatraju robotima. S druge strane, softverska rješenja kao što je *chatbot* službe za korisnike katkad se nazivaju „softverskim robotima”, no ne smatraju se (pravim) robotima.

„Istraživanje o primjeni AI na strojno učenje će se temeljiti na pretpostavci da se svaki aspekt učenja ili bilo koje drugo svojstvo inteligencije u načelu može opisati toliko precizno da bi ih i stroj mogao simulirati, drugim riječima, svaki element inteligencije može se raščlaniti na manje korake tako da je svaki od tih koraka sam po sebi jednostavan i 'mehanički' da se može zapisati u obliku računalnog programa.“ Ta je tvrdnja bila, a i danas jest, samo pretpostavka, što znači da zapravo ne možemo dokazati je li istinita. Bez obzira na to, ona je zaista ključna kad je riječ o načinu na koji razmišljamo o umjetnoj inteligenciji. Na primjer, pokazuje da je McCarthy želio zaobići bilo kakve argumente u duhu *Searleove kineske sobe*⁶, inteligencija je inteligencija u punom smislu te riječi, čak i ako je sustav koji je primjenjuje obično računalo koje mehanički slijedi neki program.

4. BLOCKCHAIN

Blockchain (BC) i distribuirana knjiga/ledger su koncepti koji u posljednjih nekoliko godina dobivaju na snazi. Najjednostavnije rečeno, blockchain omogućuje dijeljenje internetskih informacija, dogovaranje i evidentiranje transakcija na provjerljiv, siguran i trajan način. Tehnologija se već uspješno testira, uglavnom u financijskim uslugama, a postat će operativnija i integrirana u sve veći broj digitalnih usluga, poput regulatornog izvještavanja, energetike i logistike u godinama koje slijede.

Blockchain tehnologija je decentralizirana baza podataka koja pohranjuje registar podataka i transakcija preko peer-to-peer mreže. To je u osnovi javni registar koji prikazuje informacije o tome tko šta posjeduje i koje se transakcije vrše. Sama tehnologija pruža način zapisivanja transakcija ili bilo koje digitalne interakcije tako što je dizajniran da bude siguran, transparentan, visoko otporan na zastoje i prekide, podložan reviziji i učinkovit, i kao takav pruža mogućnost disrupcije industrija, ali i uspostavljanja novih business modela.

Transakcije su osigurane putem kriptografije te se, tokom vremena, povijest transakcija zaključava u blokovima podataka koji su tada kriptografski povezani i osigurani. Svaki blok sadrži vremensku oznaku i link za prethodni blok. Tim putem se stvara nepromjenjiv, nezaboravan zapis o svim transakcijama preko ove mreže, te se ovaj zapis replicira na svako računalo koje koristi mrežu.

Kada netko želi dodati transakciju u lanac, svi sudionici u mreži će je verificirati, tj. potvrditi. Ovo će raditi pomoću algoritma koji će primijeniti na transakciju kako bi bila verificirana a njena validnost potvrđena. Šta se točno podrazumijeva pod „validnošću“ definira blockchain sustav i može se razlikovati za svaki sustav posebno. Zatim je set tih potvrđenih transakcija zapakiran u jedan blok, koji se zatim šalje u čvorišta na mreži. Svaki naredni blok sadrži takozvani „hash“ koji, zapravo, predstavlja jedinstveni otisak prsta prethodnog bloka.

Pod *javnim blockchainom* se podrazumijeva distribuirana knjiga kojoj svako ima pristup, bilo tko je može čitati, poslati transakciju koja će biti uključena u blockchain ako je važeća, te svako može sudjelovati u procesu konsenzusa - proces koji vrši utvrđivanje koji blokovi se dodaju u lanac i koje

⁶ Searleova kineska soba, < https://sr.wikipedia.org/sr-el/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0_%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B0%22.3.2021.

je njihovo trenutno stanje. Javni blockchain je open-source te svako može biti dio njih i istraživati ih. Ova vrsta blockchaina je osigurana konceptom kriptoeconomije koji predstavlja sustav ekonomskih poticaja i kriptografske provjere podržan konsenzusom algoritama kao što su Proof-of-Work (POW) ili Proof-of-Stake (POS). Kriptoeconomija omogućava programerima kreiranje sustava koji imaju određene željene osobine, kao što su dostupnost, gdje bolje plaćene naknade rezultiraju bržim transakcijama, ili konvergencija, gdje novi blokovi mogu biti dodani u blockchain, ali blokovi se ne mogu zamijeniti ili ukloniti.

U *privatnom blockchainu* svi su sudionici poznati i pouzdani. To je korisno kada se koristi blockchain između tvrtki koje pripadaju istom pravnom licu (tvrtke kćerke). Dozvole za upis podataka u lanac se čuvaju centralizirane u jednoj organizaciji. Dozvole za čitanje informacija u lancu mogu biti javne ili ograničene na proizvoljnoj mjeri. Ova vrsta blockchaina najčešće uključuje aplikacije za upravljanje bazama podataka, aplikacije za reviziju i još mnogo toga što je interni dio jedne kompanije. S tim u vezi, javna čitljivost možda neće biti potrebna u mnogim slučajevima, kao što je prethodno navedeno, iako se u drugim slučajevima želi ostaviti sposobnost čitanja informacija radi revizije javnog sektora.

Osim ove dvije glavne vrste, postoji i *hibridni blockchain*. Proces konsenzusa je tada pod kontrolom predodređenog skupa čvorova, tzv. nodes. Na primjer, zamislimo konzorcij od 15 financijskih institucija, od kojih svaki djeluje kao jedan čvor i od kojih 10 mora potpisati svaki blok kako bi blok bio važeći. Pravo da se pročita blockchain može biti javno ili ograničeno na sudionike te se, s tim u vezi, ova vrsta blockchaina može promatrati kao djelomično decentralizirana.

4.1. Učinak blockchaina na globalnu ekonomiju

Blockchain, iako predstavljen 2008. godine, revolucionarna tehnologija postaje široko poznata tek nakon uvođenja Bitcoin mreže, 2009. godine. S takvim, nevjerojatno transparentnim sustavom distribuirane knjige razvijenim za Bitcoin, blockchain više nije povezan samo s kriptovalutama već postaje tehnologija koja je trajna, otvorena, stabilna i relevantna za razne industrije.

Iako se počinje stvarati konsenzus oko utjecaja koji će umjetna inteligencija, strojno učenje i blockchain imati na čovječanstvo, civilno društvo, javni i privatni sektori povećavaju svoje zahtjeve za odgovornošću i izgradnjom povjerenja. Etička razmatranja poput pristranosti prema AI (prema rasi, spolu ili drugim kriterijima) i algoritamske transparentnosti (jasnoća pravila i metoda pomoću kojih strojevi donose odluke) već su negativno utjecali na društvo kroz tehnologije koje svakodnevno koristimo.

Integracija AI-a, ML-a i blockchaina u industriju i društvo i njezin utjecaj na ljudske živote zahtijeva etičke, financijske i pravne okvire koji će osigurati njezino učinkovito upravljanje, šireći socijalne mogućnosti umjetne inteligencije i ublažavajući rizike. Potrebni su zdravi mehanizmi koji će generirati sveobuhvatno i zajedničko razumijevanje ciklusa razvoja i uvođenja ovih tehnologija. Stoga, u osnovi, njihov razvoj i upravljanje treba dizajnirati koristeći multidisciplinarne i interdisciplinarne metodologije i vještine.

Uzmimo primjer financijske industrije koja već prepoznaje disruptivni učinak blockchain tehnologije u stvaranju novih prihoda, poboljšanju procesa, poboljšanju iskustva krajnjih korisnika i rastućem operativnom riziku poslovanja. Implementacija blockchaina omogućila bi bankama uštedu na prekograničnim transakcijama do 27 milijardi dolara do kraja 2030. godine te smanjenje troškova za više od 11 posto.

Izgradnja znanja presudna je kako za razvijanje efektivnijih propisa kada je riječ o ovim tehnologijama tako i za omogućavanje kreatorima politika da se ravnopravno uključe u dijalog s tehnološkim tvrtkama te zajedno postavljaju regulatorni okvir i norme u kojima se može sigurno inovirati. Slijedom toga, javno-privatni dijalog ključan je za razvoj novih tehnologija.

4.2. Pravna regulativa blockchaina u EU

Europska komisija prepoznaje važnost pravne sigurnosti i jasnog regulatornog režima u područjima koja se odnose na aplikacije temeljene na blockchainu. EU snažno podržava paneuropski okvir i nada se da će izbjeći zakonsku i regulatornu fragmentaciju. U svrhu povećanja ulaganja i osiguranja zaštite potrošača i investitora, Komisija je 24. rujna 2020. godine usvojila sveobuhvatan paket zakonodavnih prijedloga za regulaciju kriptoomovine, ažurirajući određena pravila financijskog tržišta za kriptoomovinu i stvorivši pravni okvir za regulatorni okvir za financijske nadzornike u EU za korištenje blockchaina u trgovanju i naknadnom trgovanju vrijednosnim papirima. Komisija je predložila režim za tržišne infrastrukture koje žele trgovati i namirivati transakcije financijskim instrumentima u obliku kriptoomovine. Režim PILOT omogućuje izuzeća od postojećih pravila i omogućuje regulatorima i tvrtkama da testiraju inovativna rješenja pomoću blockchaina.

Kriptoomovina koja se kvalificira kao „financijski instrumenti“ je, u skladu s Direktivom o tržištima financijskih instrumenata (npr.: tokenizirane dionice ili tokenizirane obveznice), već u prošlosti bila podložna zakonodavstvu EU-e o tržištima vrijednosnih papira. Međutim, ta su pravila prethodila nastanku kriptoomovine i DLT-a. To bi moglo omesti inovacije. Stoga je predložen pilot-režim za tržišne infrastrukture kojima se želi pokušati trgovati i podmiriti transakcije u financijskim instrumentima u obliku kriptoomovine. Pilot-režim omogućuje izuzeća od postojećih pravila i omogućuje regulatorima i poduzećima da testiraju inovativna rješenja koja koriste blockchain.

Za ostalu kriptoomovinu koja se ne kvalificira kao „financijski instrumenti“, kao što su tokeni za komunalne usluge ili tokeni plaćanja, Komisija je 24. rujna predložila konkretan novi okvir koji bi zamijenio sva ostala pravila EU-a i nacionalna pravila kojima se trenutačno uređuje izdavanje, trgovanje i skladištenje takve kriptoomovine. Ova tržišta će u Uredbi o kriptoomovini (MiCA) podržati inovacije uz zaštitu potrošača i integritet kriptovalutnih razmjena (bez trgovanja na temelju povlaštenih informacija, front runninga itd.). Predloženom uredbom obuhvaćeni su ne samo subjekti koji izdaju kriptoomovinu već i poduzeća koja pružaju usluge u području te kriptoomovine, kao što su poduzeća koja upravljaju digitalnim novčanicima, kao i burze kriptovaluta⁷.

4.3. Paneuropski regulatorni okvir za blockchain

Paneuropski okvir je konzorcij⁸ koji okuplja regulatore, tvrtke i tehnološke stručnjake kako bi testirao inovativna rješenja i prepoznao prepreke koje nastaju pri njihovoj primjeni. Europsko blockchain partnerstvo planira paneuropski regulatorni okvir u suradnji s Europskom komisijom za slučajeve korištenja u EBSI-u i izvan njega, uključujući prijenos podataka, B2B podatkovni prostor, pametne ugovore i digitalni identitet (samosuvereni identitet) u zdravstvu, okolišu, mobilnosti, energetici i drugim ključnim sektorima. Očekuje se da će on početi s radom 2021./22. godine. Dana 10. travnja 2018. godine, 21 država članica i Norveška dogovorile su se da potpišu Deklaraciju o stvaranju Europskog blockchain partnerstva (EBP) i surađuju u uspostavi Europske infrastrukture blockchain usluga (EBSI) koja će podržati pružanje prekograničnih digitalnih javnih usluga, s najvišim standardima sigurnosti i privatnosti. Od tada se još osam zemalja pridružilo Partnerstvu, čime je ukupan broj potpisnika postao 30.

EBSI je rezultat Europskog blockchain partnerstva⁹, Deklaracije potpisane između 27 država članica, Lihtenštajna i Norveške o suradnji u pružanju prekograničnih digitalnih javnih usluga, s najvišim standardima sigurnosti i privatnosti. Europska infrastruktura blokovnih usluga (EBSI) mreža je distribuiranih čvorova diljem Europe koji će pružati prekogranične javne usluge. Blockchain tehnologija u konačnici će poboljšati način na koji građani, vlade i tvrtke komuniciraju. EBSI je jedan

⁷ Pravni i regulatorni okvir za blockchain, <Legal and regulatory framework for blockchain | Shaping Europe's digital future (europa.eu)>, 29. 3. 2021.

⁸ Europski opservatorij za standardiziranje IKT-a, <<https://standict.eu>>, 28. 3. 2021

⁹ Blockchain standardi, <<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blockchain-standards-0>> 28. 3. 2021

od CEF-ovih blokova koji pruža besplatni softver za višekratnu upotrebu, specifikacije i usluge koji podržavaju njegovo usvajanje od strane institucija EU-a, javne uprave, poduzeća i građana.

Decentralizirana i suradnička priroda blockchaina i njegovih aplikacija omogućuje iskorištavanje pune skale jedinstvenog digitalnog tržišta od samog početka. Bliska suradnja između država članica može pomoći u izbjegavanju fragmentiranih pristupa i može osigurati interoperabilnost i širu primjenu usluga temeljenih na blockchainu. Partnerstvo će pridonijeti stvaranju povoljnog okruženja, u potpunosti u skladu sa zakonima EU-a i jasnim modelima upravljanja koji će pomoći uslugama koje koriste blockchain pri ekspanziji diljem Europe.

5. POSTAVLJANJE CILJEVA I DONOŠENJE ODLUKA UPORABOM DIGITALNOTEHNOLOŠKIH ALATA

Tehnološki razvoj je multiplicirao broj podataka koje koristimo, obrađujemo i analiziramo pa više nismo u stanju biti bez mreža kompjutera, baza podataka i dr., kao sustava potpore u donošenju odluka. Uzmemo li u obzir ML (*machine learning*), takvi sustavi nude mnogo kompletnije i sveobuhvatnije analize no, s druge strane, ne rade uvijek u korist onih koji su ih kreirali.

Razlog tome leži u činjenici „širine uzetih podataka u obradi“, kako bismo donijeli zaključak ili odluku, a koji često odstupaju od ciljeva koje je postavio njihov kreator. Čovjek kao kreator ima ograničene kapacitete i mogućnosti u prikupljanju i obradi podataka te se odlučuje na oslanjanje prema suvremenim sustavima kako bi bio u korak s vremenom.

Gledano u organizacijskom smislu poslovnosti, država, obrazovnih i drugih procesa primjerice, ciljevi organizacije se razlikuju od ciljeva pojedinca, a često ciljevi pojedinca iz organizacije ne moraju biti identični, kao što je slučaj visoko profitnih korporacija kojima su bitni određeni segmenti, kao što su dioničari, izvršni odbori koji odlučuju, zaposlenici, klijenti i sl., a često ovi ciljevi ne odražavaju stvarne vrijednosti ljudi ili vrijednosti u koje ljudi vjeruju, no koji ih implementiraju.

Vlade i korporacije, koje su satkane od ljudi, prirodno su motivirane dijeliti jednake ciljeve, u najmanju ruku one od kojih zavise, jer ne mogu funkcionirati bez ljudi te ih stoga nastoje držati kooperativnim i motiviranim.

Današnji svijet je vrlo blizu izgradnje hibridne super inteligencije satkane od čistih informacijskih tehnologija, a što se referira na razvoj umjetne inteligencije. Postavlja se razumno pitanje koji su cijevi strojne super inteligencije naspram ljudskih ciljeva, jesu li oni usklađeni ili suprotstavljeni?

Nameće se zanimljivo pitanje kako će hibridna super inteligencija rješavati međusobne konflikte, postavljati ciljeve ili donositi odluke? Ljudi su, primjerice, skloni konfliktima, sukobljenim mišljenjima, interesima, pa ipak postavljaju ciljeve, rješavaju probleme i donose odluke, ali i rješavaju ove konflikte jer su mobilni, empatični, emotivni, imaju vlastiti integritet, imaju svoje razloge određenih ponašanja, dok odluke super inteligencije leže u striktnim proceduralnim pravilima, smještenim negdje na cloudu, a ne na fizičkoj lokaciji gdje je nerijetko nužan voljni ili empatijski moment (primjer: ponašanje na graničnom prijelazu spram migranata ili donošenje presuda).

Možda danas pretpostavljamo određeni broj scenarija, i to da:

- će super inteligentne strojeve kontrolirati država te će tako provoditi i jasne i programirane nacionalne ciljeve,
- će super umjetnu inteligenciju kontrolirati velike korporacije koje su već danas najveći kolekcionari podataka (Google, Amazon, Baidu, Microsoft, Facebook, Apple, IBM), a čiji je poslovni imperativ izgradnja što jače umjetne inteligencije, jer su upravo ti strojevi interno zaštićeni od *bussines intelligence* upada, a njihovi ciljevi su dizajnirani upravo kao ciljevi korporacija u čijem su vlasništvu. Ovako korporacije kontroliraju način dolaska do cilja i tada postaju moćnije i autonomnije od samih država,

- AI neće zavisiti od ljudi nego da će super inteligencija djelovati u vlastitom interesu, s mogućnošću da se spoji u jedinstvenu super inteligenciju koja će postati naša egzistencijalna prijetnja, a ljudi samo alat u provedbi njihovih ciljeva.¹⁰

Sagledamo li ove ciljeve iz perspektive onoga što se danas događa, možemo navesti da će se poslovna okruženja i način rada intenzivirano mijenjati ili da su promijene već počele. Automatizacija poslovnih procesa je već uveliko na djelu. Prema nalazima UCL-a, suci nastali na temeljima umjetne inteligencije donose odluke koje se u 79% slažu s odlukama iskusnih stručnjaka iz tih oblasti prava.

Zbog mogućnosti pohrane i obrade velikog broja podataka, cloud pohranjeni podaci uče strojeve da postanu svakodnevno pametniji, jer kreiramo 2,5 kvantiliona bajta podataka dnevno, od čega je, prema nalazu IBM instituta, 90% podataka u protekle dvije godine kreirano samostalno. U prošlosti jedna inovacija vodila je ka drugoj, dok danas broj inovativnih rješenja raste eksponencijalno.

Možemo li zamisliti svijet super inteligencije za 10 godina, jer dvoje od troje djece koja danas kreću u osnovnu školu će raditi posao koji danas ne postoji? Tehnološke promjene danas su jako velike i super brze, no čovjek se „muči“ da ih dostigne. Promjene dolaze i ne možemo samo gledati da se super inteligencija razvija, moramo ići u korak s vremenom i jedino modelom kontinuiranog učenja možemo uspjeti.¹¹

Trebamo li doista strahovati od razvoja umjetne inteligencije pitanje je današnjice. Ljudi su uplašeni zbog njenog razvoja, možda i trebaju biti, no moraju shvatiti da se umjetna inteligencija „hrani“ podacima te da je bez podataka ništa. Ne trebamo promatrati umjetnu inteligenciju samostalno, nego šta „jede“ i šta radi, inače ćemo kontinuirano strahovati da će se AI povezati u mreže, samostalno razmjenjivati podatke i staviti naše ponašanje u određene nama nepoznate okvire, a koji će izravno utjecati na naše živote. Alternativna opcija jeste da se naprave okvirne mreže koje su od povjerenja, koje smo načinili vlastitim algoritmima, odnosno vlastita ili kontrolirana umjetna inteligencija, tj. ona koja kontrolira podatke „in/out“, ali se onda pitamo je li to diskriminirajuće jer kontroliramo izlazne rezultate. Da li je ovo zapravo zastrašujuće kad je AI u pitanju?

Usporedimo li ovo s drugim poznatim regulatorima, javnom upravom, odnosno administracijom ili tijelima vlasti, dolazimo do istog rezultata jer se ponašaju kao opisana umjetna inteligencija. Naime, navedeni se ponašaju sukladno striktnim pravilima koje nazivamo zakonima i pravilima, koji se hrane podacima iz državnih tijela, a također donose odluke koje utječu na naše živote. Zabrinutost za „malog čovjeka“ koji strahuje od umjetne inteligencije je pojava i kod javne uprave, jer i nad ovim sustavima ima malu ili nikakvu spoznaju, a kamoli bilo koju vrstu kontrole, posebno kada je donošenje odluka u pitanju. Vladajući mogu donijeti bilo koju odluku koja izravno utječe na naš život a da nas ništa ne pitaju, čak i kad nam se ta odluka ne sviđa. Jedini eventualni kontrolni mehanizam leži u mogućnosti izbora onih koji nas predstavljaju, no njihovo ponašanje se reflektira na vlastite programske ciljeve kao postojeći algoritam, a ne na želje građana.

Ključna razlika je u tome što se kod administrativnih tijela radi o tzv. otvorenom algoritmu, po kojemu mi znamo koje „inpute“ uzimaju i šta su odlučili po tim „inputima“, sviđalo se to nama ili ne, dok kod čiste umjetne inteligencije unosimo „inpute“, no ona određuje vrstu potrebnih podataka kako bi došla do sebi željenog „outputa“. Ljudi često usporedbu rade i s pravosudnim tijelima, jer nemaju podatke što oni rade, u kojoj situaciji i temeljem kojih podataka donose odluke, no postoji vjerovanje u njihovu etiku načinom odabira pravosudnih zvaničnika, bez obzira što ne znamo njihove „inpute“ i „outpute“.

Da se zaključiti da je zapravo razina zabrinutosti za budućnost razvoja umjetne inteligencije jednaka kao i zabrinutost ponašanjem današnje administracije ili tijela vlasti zbog određenog broja nepoznanica u načinu funkcioniranja sustava, odnosno da se povjerenje gradi određenim pravilima

¹⁰ Daniel, Hills; *The First Machine Intelligences*, str. 173-175, Possible Minds, Twenty – Five Ways of Looking at AI, John Brockman, Penguin Press, New York, 2019.

¹¹ Škotsko nacionalno tijelo za razvoj vještina i karijere, <<https://www.skillsdevelopmentscotland.co.uk/>>, 2. 3. 2021.

ponašanja, uspostavom etičkih kontrolnih mehanizama, kao i etičkom uporabom „hranidbenog lanca“ i za jedne i druge, odnosno kontroliranog, propisanog i etičkog korištenja raspoloživih podataka.¹²

6. UMJESTO ZAKLJUČKA

Svakom analizom, istraživanjem i člankom dolazimo do jednakih izazova jednim imenom nazvanih pravna regulativa, kontrola i monitoring budućih sustava čije platforme počivaju na AI, BC ili ML sustavima.

Laički gledano, svjetske velesile su senatjecale i utrkiivale u nuklearnom naoružanju u vrijeme hladnoratovskih tenzija, ali postojali su kontrolni mehanizmi - praćenje broja bojevih glava, nuklearnih reaktora, broja znanstvenika i ino - kako bi postojala ravnoteža, a sve u cilju „boljitka“ za čovječanstvo. Pri tome su zajedničkim naporima kontrolirali trećega pod okriljem svjetskih mirovnih i nevladinih sudionika. Apsurdno no istinito.

Pitamo li se što bismo danas kontrolirali? Koga i u kojem obimu kada je u pitanju trka u cyber naoružanju - laptope, računala, servere... milione istih rasutih po cijelom svijetu koje koriste mikro ili čak neuronske veze komunikacije brzinama svjetlosti? Koga i što bismo kontrolirali, a potom i kako bismo to regulirali?

Promatrajući vojno angažiranje, postoje pravila uporabe i angažiranja vojne sile, *rules of engagement*¹³, koji postavljaju granice onoga što se smatra napadom kao i stratificirani odgovor po razinama napada i djelujuće sile, no koja je granica protunapada u slučaju cyber djelovanja, tko određuje ovu granicu jer proizvoljnost dovodi do kaosa i zlorabe prava na obranu, i kreće se nama nepoznatom dimenzijom odgovora. Što ako napad bude prouzrokovan samostalnošću AI-a a izveden na električne mreže, mreže plinovoda ili njihove ventile, dopuštajući protoke pod velikim tlakovima pa sve izgleda kao nesretan slučaj? Ili, pak, ako to bude napad na internet mreže od čak 24 sata koji bi doveo do nesagledivih ekonomskih posljedica?

Pitamo se je li razvoj tehnologije išao mnogo brže, nadilazeći potrebe čovjeka, planetarne ravnoteže, bez pravne regulative, bez bilo kakve regulative i mogućnosti kontrole i da li je već sada u dimenziji izvan kontrole zbog ograničenih mogućnosti razumijevanja njenog kreatora – čovjeka. Strah leži u činjenici da duboko neznanje o ovoj materiji postaje podložno direktivama njenih kreatora, koji nametanjem pravila suvremenog tehnološkog i adaptivnog, lingvistički zastrašujućeg vokabulara, (digitalni euro, kriptoimovina, blockchain security i dr.), upravo izazivaju lakoću prihvatanja i slijepog vjerovanja kao kad vam liječnik propiše lijek samo da se riješi problem...

Držanje ovih tehnologija, bilo kojom razinom regulative, čini ih „slugama“ u službi čovječanstva, no podlijevanjem strahu od neznanja, skrivenog znanja, nejavnog komuniciranja o eventualnim problemima, prihvaćaju se regule kreatora ovih alata, a koje ih vode u autonomne sustave neograničenih mogućnosti umrežavanja i formiranja tzv. super inteligencije ili koalicijske inteligencije koja će izmaći svakoj kontroli.

¹² Alex „Sandy“ Pentland, *The Human Strategy*, str. 203-205, Possible Minds, Twenty – Five Ways of Looking at AI, John Brockman, Penguin Press, New York, 2019. (Alex „Sandy“ Pentland je profesor Tishbe umjetnosti i znanosti na MIT-u)

¹³ Rules of engagement, Military Directives, <<https://www.britannica.com/topic/rules-of-engagement-military-directives>>, 3. 4. 2021.

7. LITERATURA

- [1] Platforme o strojnom učenju, Wildlife Detection Case with TensorFlow and Keras (valohai.com)
- [2] Alex „Sandy“ Pentland, The Human Strategy, str. 203-205, Possible Minds, Twenty – Five Ways of Looking at AI, John Brockman, Penguin Press, New York, 2019.
- [3] Blockchain standardi, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blockchain-standards-0>
- [4] Daniel, Hills; The First Machine Intelligences, str. 173-175, Possible Minds, Twenty – Five Ways of Looking at AI, John Brockman, Penguin Press, New York, 2019.
- [5] Europski opservatorij za standardiziranje IKT-a, <https://standict.eu>
- [6] Googleov projekt o robotskom mehanizmu za hvatanje i robot za branje cvjetače, <https://spectrum.ieee.org/autaton/robotics/artificial-intelligence/google-large-scale-robotic-grasping-project>
- [7] Melanie, Mitchel, Artificial Intelligence, A gude for Thinking Humans, Farrar, Straus and Giroux, 120 Brodway, New York, 2019, E-book edition
- [8] Pravni i regulatorni okvir za blockchain, Legal and regulatory framework for blockchain | Shaping Europe’s digital future (europa.eu)
- [9] Rules of engagement, Military Directives, <https://www.britannica.com/topic/rules-of-engagement-military-directives>
- [10] Saerleova kineska soba, <https://sr.wikipedia.org/sr-el/>
- [11] Škotsko nacionalno tijelo za razvoj vještina i karijere, <https://www.skillsdevelopmentscotland.co.uk/>

ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MACHINE LEARNING, BLOCKCHAIN TECHNOLOGY: DIGITAL TECHNOLOGICAL TOOLS OR AUTONOMOUS DECISION-MAKING SYSTEMS

Hana Korač¹, Vjekoslav Vuković², Tomislav Čurić³, Ena Kapetanović⁴

¹ Ministry of Internal Affairs of Sarajevo Canton

La Benevolencija 16, 71000 Sarajevo,
Bosnia and Herzegovina

² Foreign Trade Chamber of Bosnia and Herzegovina,

Branislava Đurđeva 10, 71000 Sarajevo,
Bosnia and Herzegovina

³ Delegacija Evropske komisije, e-mail: curic.tomislav@gmail.com

⁴ Impact analyst, e-mail: ena@sarajevo.tech

“Everything we love about civilization is a product of intelligence, so amplifying our human intelligence with artificial intelligence has the potential of helping civilization flourish like never before – as long as we manage to keep the technology beneficial.”

Max Tegmark

“It's going to be interesting to see how society deals with artificial intelligence, but it will definitely be cool.”

Colin Angle

ABSTRACT

As you've probably already noticed, artificial intelligence is a burning topic today and it's almost impossible to avoid media announcements and public debates about artificial intelligence. Also today people interpret the concept of artificial intelligence differently. For some, artificial intelligence means artificial life forms that can surpass human intelligence, while others believe that artificial intelligence can be called almost any type of data processing technology or the entire system technology. Are they just the tools of the future or do they decide independently, or are we creating platforms today that will make these tools completely independent, or will we regulate and control them.

Keywords: Artificial intelligence, machine learning, blockchain technology, tools

DIGITALIZACIJA I INOVACIJE U NOVOM SVJETSKOM PORETKU

DIGITALIZATION AND INNOVATIONS IN THE NEW WORLD ORDER

Vjekoslav Vuković¹

1 Vanjskotrgovinska komora Bosne i Hercegovine,
Branislava Đurđeva 10, 71000 Sarajevo,
Bosna i Hercegovina

Svi se nalazimo u vremenu transformacije poslova, procesa, ljudi, a sama digitalizacija je središte ili srce svega. Nije bitno čime se kompanije bave, osiguranjem, zdravstvom, industrijskom proizvodnjom, one vremenom postaju tehnološke kompanije.

Digitalna transformacija nije početak, niti počinje, ona traje i već evoluirala pa danas ne govorimo o onima koji jesu ili nisu digitalizirani, nego govorimo o onima kod kojih digitalizacija evoluirala u poslovnim procesima te jesu li više ili manje konkurentni zahvaljujući njoj.

Naravno, u razvojnom smislu postoje kompanije koje koriste umjetnu inteligenciju (AI), strojno učenje (ML), analizu velikih skupina podataka (Big data analytics), Internet of Things te druge formate visoke inteligencije, a koji donose odluke izvan ljudskih mogućnosti, temeljene na obradi oceanske razine informacija smještenih na cloudima, koristeći upravo 5G brzine.

Svi oni koji automatiziraju poslovne procese susreću se s izrazitim razinama visoke produktivnosti i učinkovitosti. Ovakve kompanije postaju samoupravljive, dok čovjek postaje samo arhitekta i dizajner ovih okruženja i sustava koji operativno samostalno djeluju. Takvi su suvremeni pametni gradovi (smart cities), autonomna vozila i obrade quantuma podataka koji rabe Internet of Things i 5G brzine.

U poslovnom svijetu se digitalna transformacija odnosi na sve od IT modernizacije, do digitalne optimizacije te pronalaska novih digitalnih poslovnih modela. Digitalna transformacija dozvoljava organizaciji da postane „Digital Native enterprise“ koja podržava inovacije i digitalni razvoj radije nego poboljšanja već postojećih tehnologija i poslovnih modela.

Upravo na ovaj način kompanije postaju profitabilnije te im se ujedno povećava i tržišna vrijednost. Uvođenjem digitalizacijom poslovno okruženje postaje senzorički osjetljivije na sve promjene i dopušta kompanijama da pravovremeno odgovore na sve izazove prije no što postanu problem.

Međutim, pitamo se donose li nova tehnološka rješenja već od ranije potrebna radna mjesta? Primjerice, analiza Udruženja njemačkih industrijskih i trgovačkih komora (DIHK) pokazuje da više

od polovine kompanija ima problema s popunom radnih mjesta, odnosno adekvatnošću kadrova, te da trenutna nepopunjenost iznosi oko 2 miliona. Posljedično tome, veliki su i gubici dodatne vrijednost koja se mjeri u milijardama eura. Na udaru su posebno zdravstveni sektor, socijalne službe, logistička branša, ali i ugostiteljstvo koje je temelj turističke ponude. Nedostatak kvalificirane radne snage, posebno u području elektromobilnosti i obnovljivih izvora energije, dovodi u pitanje konkurentnost ovog sektora. Posljedica je ovo starosti društva te uvoza nekvalificirane radne snage, a ujedno i nedostatka zdravstvenih i osiguravateljskih radnika.

Njemački poslodavci sve glasnije zagovaraju ideju „olakšanih“ migracija, a što opet u nekontroliranim procesima dovodi do druge vrste sigurnosnog rizika, posebne vrste kriznog menadžmenta upravljanog umjetnom inteligencijom (face recognition, biometrija, rute kretanja, analitika administrativnih procesa i sl.) te, u konačnici, prelijevanjem ekonomske nesigurnost.

Očito u ovakvom svjetskom poretku, gdje se zalažemo za digitalizaciju i dekarbonizaciju, moramo dodati još jedno D, demografiju, jer u središtu svakog poslovnog procesa je čovjek.

Osim kompanija, i vlade diljem svijeta grabe velikim koracima i užurbano idu ka integriranju novih tehnologija. Kao primjer liderstva je Estonija koja je model kako države mogu potpuno transformirati vladine aktivnosti, ekonomiju i društvo kroz svrhoviti strateški program digitalnog društva.

Europska komisija navodi da će uskoro 90% poslova, poput računovodstva, inženjerstva, medicine, umjetnosti, arhitekture i slično zahtijevati određenu razinu digitalnih znanja, te da upravo na ovaj način mnoge zemlje podižu razinu svoje globalne konkurentnosti, povećaju BDP, unapređuju inovacije i kreiraju nova radna mjesta.

Danas mnoge studije govore u prilog i o pozitivnom odnosu tehnološke penetracije i BDP-a država, odnosno kazuju da eksponencijalni razvoj tehnologije ima izravan učinak na ekonomije zemalja, što u novoj digitalnoj eri upućuje na mnogo veće mogućnosti za kompanije, investicije i poslodavce.

Danas govorimo o „općoj” i „specijaliziranoj” umjetnoj inteligenciji. Pojam „specijalizirana umjetna inteligencija” odnosi se na umjetnu inteligenciju koja je predviđena za obavljanje jedne zadaće. Pojam „opća umjetna inteligencija” ili „umjetna opća inteligencija” (Artificial General Intelligence - AGI) odnosi se na stroj koji može obavljati bilo koju intelektualnu zadaću. Sve metode umjetne inteligencije koje upotrebljavamo danas pripadaju području specijalizirane umjetne inteligencije, dok je opća umjetna inteligencija dio znanstvene fantastike. Zapravo, znanstvenici koji se bave umjetnom inteligencijom gotovo su odustali od ideje opće umjetne inteligencije jer u posljednjih 50 godina, unatoč velikom trudu, u tom području nije ostvaren bitan napredak. S druge strane, specijalizirana umjetna inteligencija napreduje divovskim koracima. *Dakle, i dalje nedostatak voljnog momenta, empatije i motivacije govore u prilog tomu da ćemo još dugo pričekati na autonomnost tzv. humanoida koji sam razmišlja, odlučuje, predlaže rješenja i rješava probleme, a da u backstageu nije čovjek.*

Blockchain (BC) i distribuirana knjiga/ledger su koncepti koji u posljednjih nekoliko godina dobivaju na snazi. Najjednostavnije rečeno, blockchain omogućuje dijeljenje internetskih informacija, dogovaranje i evidentiranje transakcija na provjerljiv, siguran i trajan način. Tehnologija se već uspješno testira, uglavnom u financijskim uslugama, a postat će operativnija i integrirana u sve veći broj digitalnih usluga, poput regulatornog izvještavanja, energetike i logistike u godinama koje slijede.

Dakle, svi govorimo o novom svjetskom poretku, ali u digitalnom svijetu nema granica jer, kao što vidimo, blockchain tehnologija nas povezuje kao „peer ti peer“, odnosnom povjerenja, dakle i u socijalnoj dimenziji, dok sam digitalni svijet nema demenciju niti amneziju, jer svaki uneseni podatak postaje dijelom „digitalne vječnosti“.

Europska komisija prepoznala je i važnost pravne sigurnosti te jasnog regulatornog režima u područjima koja se odnose na aplikacije temeljene na blockchainu. EU snažno podržava paneuropski okvir i nada se da će izbjeći zakonsku i regulatornu fragmentaciju. U svrhu povećanja ulaganja i osiguranja zaštite potrošača i investitora, Komisija je 24. rujna 2020. godine usvojila sveobuhvatan paket zakonodavnih prijedloga za regulaciju kryptoimovine, ažurirajući određena pravila financijskog

tržišta za kriptovalutu i stvorivši pravni okvir za regulatorni okvir za financijske nadzornike u EU, za korištenje blockchaina u trgovanju i naknadnom trgovanju vrijednosnim papirima.

Kriptovaluta koja se kvalificira kao „financijski instrumenti“ je, u skladu s Direktivom o tržištima financijskih instrumenata (npr.: tokenizirane dionice ili tokenizirane obveznice), već u prošlosti bila podložna zakonodavstvu EU-e o tržištima vrijednosnih papira. Međutim, ta su pravila prethodila nastanku kriptovalute, što bi u konačnici moglo omesti inovacije. Stoga je predložen pilot-režim za tržišne infrastrukture kojima se želi pokušati trgovati i podmiriti transakcije u financijskim instrumentima u obliku kriptovalute.

Tehnološki razvoj je multiplicirao broj podataka koje koristimo, obrađujemo i analiziramo pa više nismo u stanju biti bez mreža kompjutora, baza podataka i dr., kao sustava potpore u donošenju odluka. Uzmemo li u obzir ML (*machine learning*), takvi sustavi nude mnogo kompletnije i sveobuhvatnije analize no, s druge strane, ne rade uvijek u korist onih koji su ih kreirali.

Razlog tome leži u činjenici „širine uzetih podataka u obradi“, kako bismo donijeli zaključak ili odluku, a koji često odstupaju od ciljeva koje je postavio njihov kreator. Čovjek kao kreator ima ograničene kapacitete i mogućnosti u prikupljanju i obradi podataka te se odlučuje na oslanjanje prema suvremenim sustavima kako bi bio u korak s vremenom.

Nameće se zanimljivo pitanje kako će hibridna super inteligencija rješavati međusobne konflikte, postavljati ciljeve ili donositi odluke? Ljudi su, primjerice, skloni konfliktima, sukobljenim mišljenjima, interesima, pa ipak postavljaju ciljeve, rješavaju probleme i donose odluke, ali i rješavaju ove konflikte jer su mobilni, empatični, emotivni, imaju vlastiti integritet, imaju svoje razloge određenih ponašanja, dok odluke super inteligencije leže u striktnim proceduralnim pravilima, smještenim negdje na cloudu, a ne na fizičkoj lokaciji gdje je nerijetko nužan voljni ili empatijski moment (primjer: ponašanje na graničnom prijelazu spram migranata ili donošenje presuda).

Pitamo se je li razvoj tehnologije išao mnogo brže, nadilazeći potrebe čovjeka, planetarne ravnoteže, bez pravne regulative, bez bilo kakve regulative i mogućnosti kontrole i da li je već sada u dimenziji izvan kontrole zbog ograničenih mogućnosti razumijevanja njenog kreatora – čovjeka. Strah leži u činjenici da duboko neznanje o ovoj materiji postaje podložno direktivama njenih kreatora, koji nametanjem pravila suvremenog tehnološkog i adaptivnog, lingvistički zastrašujućeg vokabulara, (digitalni euro, kriptovaluta, blockchain security i dr.), upravo izazivaju lakoću prihvatanja i slijepog vjerovanja kao kad vam liječnik propiše lijek samo da se riješi problem...

Držanje ovih tehnologija, bilo kojom razinom regulative, čini ih „slugama“ u službi čovječanstva, no podlijevanjem strahu od neznanja, skrivenog znanja, nejavnog komuniciranja o eventualnim problemima, prihvaćaju se regule kreatora ovih alata, a koje ih vode u autonomne sustave neograničenih mogućnosti umrežavanja i formiranja tzv. super inteligencije ili koalicijske inteligencije koja će izmaći svakoj kontroli.

Na koncu, i ova digitalna transformacija mora imati plan nastanka i red koraka (roadmap) kako bi iskoristila poslovnu arhitekturu do postizanja vrhunskih rezultata, a to može projektirati sam čovjek. Sam čovjek koji stvara ekonomsku sigurnost, tako je i uništava. Ekonomska sigurnost, zapravo, čini mogućnost ljudi konzumenata da konzistentno zadovoljavaju vlastite potrebe. Kako bismo je osigurali moramo suzbijati sve pojave koje dovode do nestabilnosti tržišta, dok nam digitalni svijet pomaže u predviđanju ovih pojava kako bismo ih pravovremeno suzbijali. Tako smo svojevremeno računali da nije bitna količina proizvedene energije, nego količina konzumenata, odnosno servisa kojima je ista potrebna. Upravo ta stabilnost je jedan od uzroka i ekonomske stabilnosti, a u ovom slučaju to su energetska i digitalna dijaloga.

Mi danas živimo novi svjetski digitalni poredak te je, u tom kontekstu, nužno podizanje svijesti o njegovu značaju i kontrolingu, jer je više nego bitno da ne postanemo žrtve vlastite tehnološke revolucije i da nam služi za dobrobit čovječanstva, kao što se pokazalo u vremenu pandemije, a ne da postane naš novi „gospodar“.

