

I. Karabegović, E. Karabegović*

POVEĆANA SIGURNOST RADNIKA PRIMJENOM KOLABORATIVNIH ROBOTA U PROIZVODNIM PROCESIMA INDUSTRIJE 4.0

UDK 007.52:331.45
PRIMLJENO: 10.1.2019.
PRIHVAĆENO: 9.12.2019.

Ovo djelo je dano na korištenje pod Creative Commons Attribution 4.0 International License



SAŽETAK: Primjenom Industrije 4.0 moderniziraju se proizvodni procesi u industriji, ali se pri tome mora voditi računa o sigurnosti radnika. Automatizacija proizvodnih procesa i podizanje na višu razinu može se ostvariti primjenom kolaborativnih robota koji rade skupa s radnicima, a što se tiče sigurnosti radnika zajamčena je njihova sigurnost tako da nema ozljeda pri radu. Primjenom kolaborativnih robota koriste se sve prednosti koje oni imaju nad industrijskim robotima prve generacije kao što su: zajedno rade s radnicima, radnici rade u sigurnom okruženju, zauzimaju manje prostora, robote nije potrebno ogradama odvajati od radnika, jednostavni su za manipulaciju, jeftiniji su, mogućnost primjene u malim i srednjim kompanijama, moguće razne razine automatizacije u proizvodnom procesu, pri čemu se zadatci mogu djelomično automatizirati u onim slučajevima kada je potpuna automatizacija suviše kompleksna ili nije ekonomična. Trend primjene kolaborativnih robota u budućnosti će imati rastući karakter, jer ciljeve četvrte industrijske revolucije nije moguće postići bez kolaborativnih robota, drugim riječima doći će do "pametnih proizvodnih procesa" odnosno "pametnih tvornica".

Ključne riječi: sigurnost radnika, Industrija 4.0, robot, kolaborativni robot, proizvodni proces

UVOD

Poznato je da je 60-ih godina prošlog stoljeća počela automatizacija proizvodnih procesa uvođenjem prvih industrijskih robota. Razvojem tehnologija u narednom razdoblju dolazi do automatizacije proizvodnih procesa. U proizvodnim procesima primijenjeni su industrijski roboti prve generacije, koji se i danas primjenjuju, a radi se o krutoj automatizaciji jer se radni prostor industrijskog robota morao graditi zbog zaštite radnika koji rade u proizvodnim procesima. Robot pri radu može ozlijediti radnika u svojem radnom prostoru. Razvoj novih tehnologija kao što su informacijsko-komunikacijske tehnologije, senzorske tehnologije, robotske tehnologije, novi mate-

rijali itd., ide u pravcu suvremene automatizacije proizvodnih procesa, a ona se ostvaruje primjenom kolaborativnih robota, odnosno robota druge generacije. Kolaborativni roboti u odnosu na industrijske robote prve generacije imaju velike prednosti, a jedna od značajnih prednosti je što mogu raditi zajedno s radnicima (nije potrebno ograđivati njihov radni prostor kao kod industrijskih robota prve generacije) u proizvodnim procesima što im daje veću mogućnost primjene iz razloga što kolaborativni robot ima sustav dvostruke zaštite radnika. Da bi kompanije bile konkurentne na globalnom tržištu, moraju kontinuirano pratiti razvoj i primjenu novih tehnologija, te iste implementirati u svoje proizvodne procese. Razvoj digitalne tehnologije zaslužen je za veliku implementaciju informacijsko-komunikacijske tehnologije, što je dovelo do brzog toka informacija tako da kupac proširuje svoje zahtjeve i traži proizvode koji su sve složeniji za proizvodnju. Isto tako

*Dr. sc. Isak Karabegović, dopisni član Akademije nauka i umjetnosti BiH, (isak1910@hotmail.com), prof. dr. sc. Edina Karabegović, Tehnički fakultet Bihać, Ul. Irfana Ljubijankića bb, 77000 Bihać, BiH.

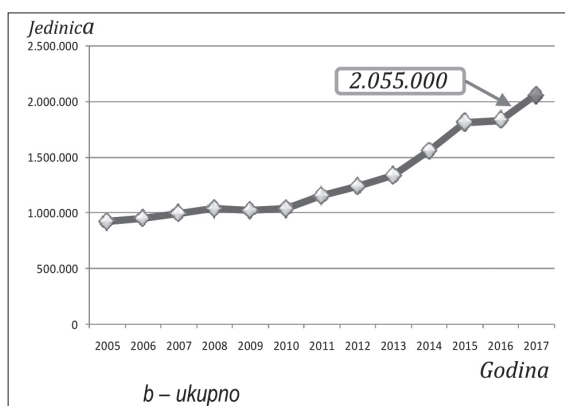
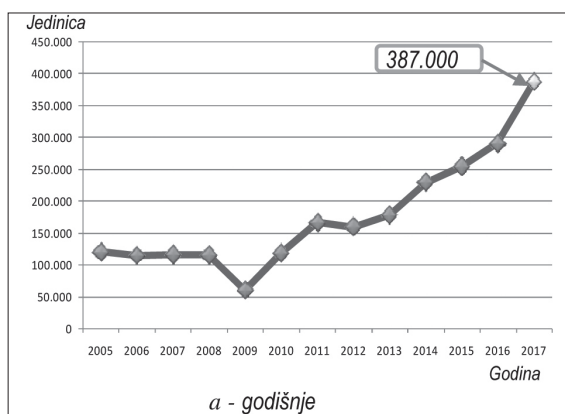
razvoj novih tehnologija dovodi do potražnje na tržištu raznih proizvoda s različitim dizajnom (npr. automobilska industrija), tako kompanije moraju biti spremne na te izazove i imati takve proizvodne procese koji se vrlo brzo mogu prilagoditi za proizvodnju proizvoda drugog dizajna ili drugog proizvoda, a što je teško izvodivo jer je dugo vremenski trajalo. Vodeće kompanije u svijetu užurbano rade na implementiranju napredne tehnologije u proizvodne procese industrije, te su na taj način iskoristile nove informacijske i komunikacijske tehnologije (ICT) kako bi proizvodele učinkovitije, produktivnije i fleksibilnije (Karabegović, 2016., 2018., Naheme, 2017., Beaupre, 2015., Ostrgaard, 2015., Matthias, 2014., Ecker, 2015., Shikany, 2014., Verband Deutscher..., 2017/2018). Da bi njemačke vodeće kompanije održale svoj vodeći položaj u proizvodnji i razvoju tehnologija i standarda tako da budu prve u izvozu gotovih rješenja, Njemačka vlada prihvatila je strategiju pod nazivom "Industrija 4.0", a radi se o strategiji digitalizacije proizvodnih procesa i njezinoj implementaciji. Isto tako i vlade vodećih tehnoloških zemalja prihvatile su svoje strategije digitalizacije proizvodnih procesa gdje žele stvoriti visoku kvalitetu proizvoda, napraviti renesansu proizvodnje, odnosno industriju povezati s internetom. Drugim riječima, vodeće kompanije svoje proizvodne procese žele modernizirati, učiniti ih inteligentnim primjenom naprednih tehnologija. Prvi korak ka inteligentnom proizvodnom procesu je implementacija industrijskih robota druge generacije odnosno kolaborativnih robota.

IMPLEMENTACIJA INDUSTRIJSKIH ROBOTA U PROIZVODNE PROCESSE

Od primjene prvog industrijskog robota u proizvodnim procesima do danas se kontinuirano instaliraju industrijski roboti pri automatizaciji proizvodnih procesa tako da je trend rastući. Trend primjene industrijskih robota u svijetu u zadnjih dvanaest godina (na godišnjoj i ukupnoj razini) prikazan je na slici 1 (Karabegović, 2016., 2018., World Robotics, 2015., 2016., 2017.), a statistički podaci su preuzeti od International Federation of Robotics (IFR), the UN Economic Commission for

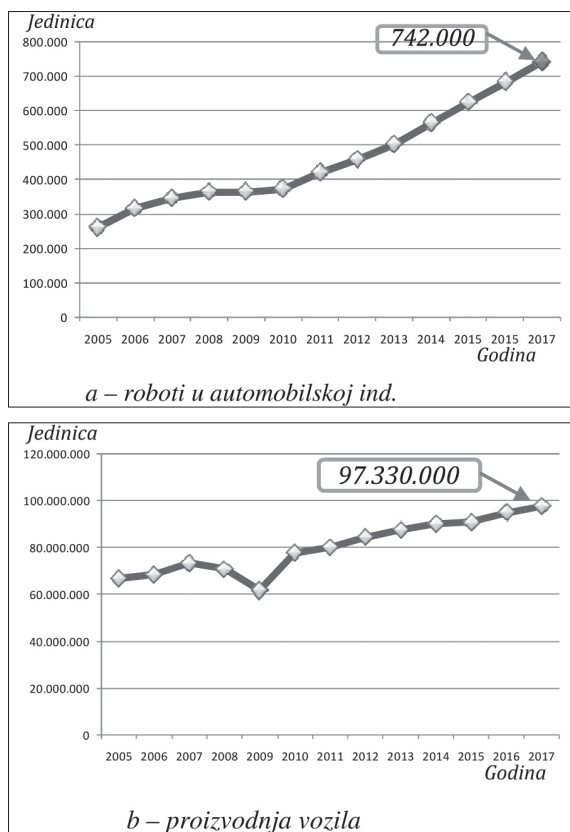
Europe (UNECE) and the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).

Trend primjene industrijskih robota u razdoblju 2005.-2017. godine u svijetu je rastućeg karaktera iz godine u godinu (ako se ne uzme u obzir 2009. godina u kojoj je bila svjetska industrijska kriza), tako da je u 2016. godini dostigao vrijednost oko 290.000 jedinica, dok je za 2017. godinu predviđena primjena oko 387.000 jedinica robota. Ukupna primjena industrijskih robota u proizvodnim procesima u industriji također je imala rastući trend iz godine u godinu i u 2016. godini primijenjeno je oko 1.826.000 jedinica robota, dok je za 2017. godinu predviđena primjena oko 2.055.000 jedinica robota.



Slika 1. Godišnja i ukupna primjena industrijskih robota u proizvodnim procesima u svijetu u razdoblju 2005.-2017

Figure 1. Annual and total use of industrial robots in production worldwide, 2005-2017



Slika 2. Primjena industrijskih robota u automobilskoj industriji i proizvodnja vozila u svijetu u razdoblju 2005.-2017.

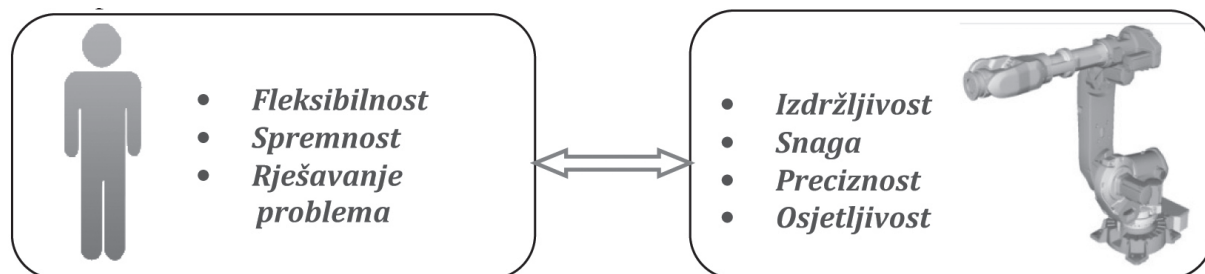
Figure 2. Use of industrial robots in the automobile industry, 2005-2017

S obzirom da se najveći broj industrijskih robota primjenjuje u proizvodnim procesima automobilske industrije, na slici 2 (*World Robotics, 2015., 2016., 2017., Verband Deutscher..., 2017/2018*) prikazana je ukupna primjena industrijskih robota u automobilskoj industriji (slika 2.a) i proizvodnja vozila na godišnjoj razini (slika 2.b) u svijetu u

razdoblju (2005.-2017.) zadnjih dvanaest godina. Trend je rastući tako da se u 2017. godini očekuje ukupna primjena oko 742.000 jedinica robota što je oko 36,1 % od ukupne primjene robota u svijetu. Isto tako trend proizvodnje vozila svih vrsta (automobila+putnička vozila) je rastućeg karaktera i u 2017. godini dostignuta je vrijednost od 97.330.000 jedinica vozila. Automobilska industrija u svijetu je razvijena i mnoge kompanije prate razvoj novih tehnologija i primjenjuju nove tehnologije kao što su: digitalna tehnologija - informacijsko-komunikacijska tehnologija, senzorska tehnologija i robotska tehnologija. Smatra se da će u ovoj grani industrije doći do primjene kolaborativnih robota koji će proizvodne procese približiti inteligentnim procesima.

KOLABORATIVNI ROBOTE I NJIHOVE PREDNOSTI U PRIMJENI U PROIZVODNIM PROCESIMA

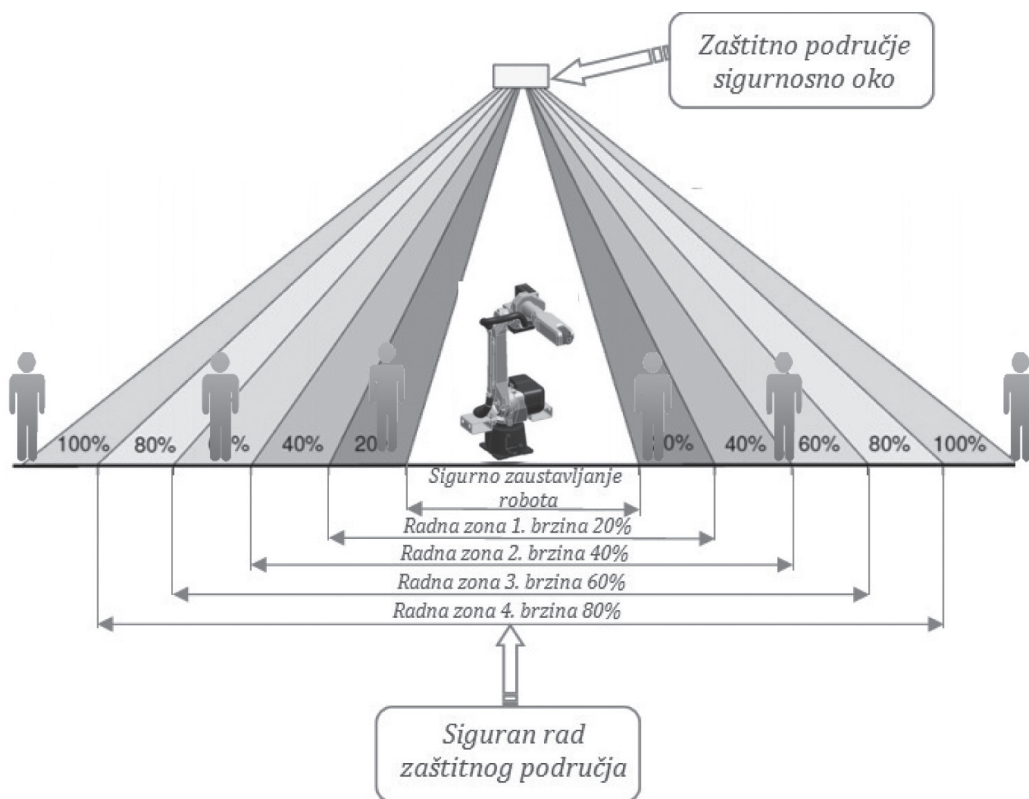
Kolaborativni roboti u robotskoj industriji trenutno predstavljaju aktualnu temu istraživanja u svijetu, a cilj je da radnici mogu sigurno skupa raditi s robotima koji će pomagati ljudima u izvršavanju njihovih dnevnih poslova, ali bez ikakvog rizika. Mora se napomenuti da kolaborativni roboti nisu predviđeni da u potpunosti zamijene radnike, nego da rade skupa s radnikom i da se uklone ograde u proizvodnim procesima koje trenutno postoje kojima su ograđeni industrijski roboti prve generacije. U samom radu čovjek može izvoditi različite operacije, vrlo kompleksne operacije i analitičke zadatke, dok je kolaborativni robot jednostavan za rad, obavlja monotone ponavljajuće operacije, može rukovati opasnim tvarima, kao i podizati teške predmete, a različitosti radnika i robota prikazane su na slici 3 (*Naheme, 2017., Beaupre, 2015.*).



Slika 3. Prednosti radnika i industrijskog robota
Figure 3. Advantages of workers and industrial robots

Prednosti kolaborativnih robota u odnosu na radnike i industrijske robote prve generacije su sljedeće: podizanje tereta većih od 20 kilograma, rukovanje opasnim tvarima (opasne kemikalije koje utječu na zdravlje radnika, predmeti velike temperature itd.), smanjenje ozljeda na radu. Fleksibilnost primjene kolaborativnih robota je u tome što im nisu potrebne ograde i smanjenje radne površine za izvođenje zadataka. Kolaborativni robot ima veliku osjetljivost jer ima ugrađene napredne senzore kao što su senzori integralne sile i obrtnog momenta, kao i vizualni senzori koji omogućuju siguran radni prostor i zaštitne zone (slike 4 i 5), sigurno otkrivanje sudara, sigurno otkrivanje ala-

ta, nadzor sigurne sile, itd. Kolaborativni robot se lako može programirati za upotrebu obavljanja različitih zadataka što mu daje veću fleksibilnost. Automatski radni ciklus kolaborativnog robota je fleksibilan tako da se vrlo jednostavno prilagođava karakteristika robota pojedinačnom izvođenju zadataka. Kod kolaborativnih robota zajamčena je sigurnost rada radnika u radnom prostoru koji se definira standardima ISO 10218 i ISO 13849 gdje se mora osigurati funkcionalna sigurnost, odnosno mora biti zona sigurne zaštite. Zona sigurne zaštite može se osigurati praćenjem brzine rada robota u zavisnosti od udaljenosti radnika od samog robota koja je prikazana na slici 4 (Beaupre, 2015.).



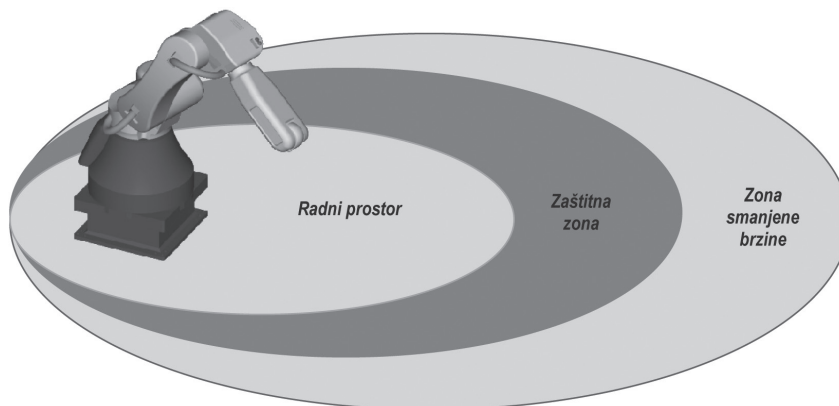
Slika 4. Zona sigurnosti zaštite radnika osigurana postupnim smanjenjem brzine robota u zavisnosti od udaljenosti radnika

Figure 4. Safety zone ensured by gradual drop in robot speed governed by the distance from the worker

Kolaborativni robot je sa sensorima dizajniran za direktan rad interakcijom s radnicima unutar zajedničkog definiranog radnog prostora. Takav jedan sustav sigurnosti dvostruke provjere (DSC - dual check safety) razvila je kompanija "FANUC" koji je prikazan na slici 5 (Ostrgaard, 2015., Matthias, 2014., Ecker, 2015.).

Sustav DSC na osnovi laserskog senzora nadgleda dodatnu sigurnost i shodno tome kontrolira robota na sljedeći način. Kada radnik nije u navedene tri zone, robot radi punom projektiranom brzinom svoje radne zadatke. Ulaskom radnika u zonu smanjenja brzine, senzor daje informaciju PLC-u koji daje naredbu smanjenja brzine izvođenja operacija. Ako radnik nastavi kretanje i ulazi u zonu zaštite, nastavlja se smanjenje brzine izvođenja operacija i tada se uključuje "Contac

stop", ako radnik ulazi u radni prostor robot prelazi na kolaborativni režim rada, smanjenje radne brzine i dalje je uključen "Contac stop". Prilikom dodira radnika s robotom, prihvatnicom ili radnim komadom, robot prestaje s izvođenjem zadatka (prestaje s radom). Kada se radnik odmakne, robot nastavlja s radom brzinom koja je zavisna od zone u kojoj se radnik nalazi. Kolaborativni roboti presvučenisu s mekanom presvlakom koja je osjetljiva te kada kontakt prelazi silu od 150 N, robot se zaustavlja. Budući da se radi o osjetljivim sensorima, kontaktna sila može se softverski mijenjati (tako da ona može biti manja od 150 N ili veća). Primjer kontakta robota i radnika prikazan je na slici 6 (Naheme, 2017., Beaupre, 2015., Ostrgaard, 2015., Matthias, 2014., Ecker, 2015., Shikany, 2014.).



Slika 5. DSC – dvostruki sigurnosni sustav kompanije "FANUC"
Figure 5. DSC – FANUC COMPANY double safety system



Slika 6. Osjetljivost kolaborativnog robota koja zaustavlja rad robota
Figure 6. Collaborative robot's sensitivity to stop operation if necessary

Sustav je osigurao automatsko ponavljanje pokreta robota nakon što robot bude zaustavljen, i to onom brzinom ovisno u kojem prostoru se nalazi radnik, a sve u cilju izbjegavanja zastoja. Isto tako zajamčena je sigurnost kada bi se desilo da se ruka radnika nađe između osi robota kako ne bi došlo do priklještenja i ozljede radnika. Prednosti primjene kolaborativnih robota su velike, od kojih se navode samo neke:

- siguran rad radnika u radnom prostoru robota (rad robota i radnika skupa),
- kolaborativni roboti odlikuju se jednostavnim i ponavljajućim zadacima za rukovanje,
- korištenjem kolaborativnih robota moguće je znatno poboljšati performanse pri podjeli izvođenja operacija između radnika i robota,
- korištenje kolaborativnih robota ima mogućnost primjene raznih razina automatizacije u proizvodnom procesu, pri čemu se zadaci mogu djelomično automatizirati u onim slučajevima kada je potpuna automatizacija suviše kompleksna ili nije ekonomična,
- neergonomske radne stanice mogu se značajno poboljšati pomoću kolaborativnih robota, pri čemu je sigurnost radnika apsolutni preduvjet,
- kolaborativni roboti imaju najznačajniju ulogu u Industriji 4.0 koja povezuje tvornicu realnog života s virtualnom stvarnošću, što otvara buduće perspektive u globalnoj proizvodnji,
- smanjenje uporabnog ciklusa proizvoda i povećanje raznovrsnosti proizvoda zahtijevaju fleksibilnost automatizacije, što će imati za posljedicu povećanje primjene kolaborativnih robota, ali pojednostavljena - pripremljena za uporabu aplikacija sve je popularnija (povećana primjena kolaborativnih robota u malim i srednjim kompanijama).

Osnova implementacije Industrije 4.0 je robotska tehnologija, odnosno implementacija kolaborativnih robota u proizvodne procese. Da bi kompanija bila konkurentna na globalnom tržištu, neminovno je da ide u pravcu implementacije

“Industrije 4.0” što će imati za posljedicu povećanja primjene kolaborativnih robota. Prilikom primjene kolaborativnih robota kompanije imaju sljedeće motive: smanjenje operativnih troškova, smanjenje kapitalnih troškova, poboljšanje kvalitete proizvoda i konzistentnosti, poboljšanje kvalitete rada za radnike, poštujući pravila o zdravlju i sigurnosti, povećanje stope proizvodnje, povećanje fleksibilnosti u proizvodnji proizvoda, ušteda prostora, itd. Očekivati je da će u budućnosti trend primjene kolaborativnih robota biti rastući.

ZAKLJUČAK

Trenutno se svijet nalazi u četvrtoj industrijskoj revoluciji (Industrija 4.0) koju kompanije u tehnološki razvijenim zemljama u svijetu implementiraju u svoje proizvodne procese. Implementaciju Industrije 4.0 nemoguće je zamisliti bez industrijskih robota, što se odražava na primjenu industrijskih robota u svijetu (slika 1) i vidi se da je trend rastući iz godine u godinu, a predviđanja su da će se ovakav trend nastaviti. Razvoj novih tehnologija, a prvenstveno senzorske tehnologije i novih materijala zaslužan je za robote druge generacije, odnosno kolaborativne robote koji imaju niz prednosti za implementaciju u odnosu na industrijske robote prve generacije, a prvenstveno zaštita radnika i rad skupa s radnicima. U radu su nabrojane prednosti koje će imati za posljedicu povećanje primjene kolaborativnih robota, iz razloga što rade skupa s radnicima i zajamčena je sigurnost radnika pri radu, nije potrebno ograđivati ove robote, koriste manji prostor, jednostavni za programiranje, jeftiniji tako da će ih moći implementirati male i srednje kompanije što nije do sada bio slučaj. U budućnosti trend primjene robota će se povećavati, a posebno u automobilskoj industriji, jer kolaborativni roboti omogućuju automatizaciju određenih zadataka koji se nisu mogli automatizirati s industrijskim robotom prve generacije. Razvoj robotske tehnologije ide u smjeru primjene umjetne inteligencije kod robota, drugim riječima da ih učine inteligentnim što je i cilj Industrije 4.0 stvoriti inteligentne proizvodne procese odnosno inteligentne tvornice.

LITERATURA

Beaupre, M.: *Collaborative Robot Technology and Applications, International Collaborative Robots*, Workshop, Columbia, 7. October 2015. Dostupno na: https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA_Beaupre.pdf, Pristupljeno: 2.1.2019.

Ecker, C.: *Advantages and Challenges for Small manufacturers*, International Collaborative Robots, Workshop, Columbia, 7. October 2015. Dostupno na: www.robotics.org/robotics/international-collaborative-robots-workshop. Pristupljeno: 2.1.2019.

Karabegović, I., Husak, E.: The Fourth Industrial Revolution and the Role of Industrial Robots with Focus on China, *Journal of Engineering and Architecture*, June 6, 2018., 1, pp. 1-13.

Karabegović, I.: Role of Industrial Robots in the Development of Automotive Industry in China, *International Journal of Engineering Works*, 3, 2016., 12, 92-97.

Matthias, B.: *Industrial Safety Requirements for Collaborative Robots and Applications*, Workplace Safety in Industrial Robotics: trends, integration and standard ERF, Columbia, 1. October 2014. Dostupno na: https://www.roboticsbusinessreview.com/wp.../2016/.../Industrial_HRC_-_ERF2014.p. Pristupljeno: 2.1.2019.

Naheme, S.: *Implementation of Collaborative Robot Applications, A Report from the Industrial Working Group*, 29 June 2017. Dostupno na: www.hssmi.org, Pristupljeno: 2.1.2019.

Ostrgaard, E.: *Collaborative Robot Technology and Applications*, International Collaborative Robots, Workshop, Columbia, 7. October 2015. Dostupno na: www.robotics.org/robotics/international-collaborative-robots-workshop, Pristupljeno: 2.1.2019.

Shikany, A.: *Collaborative Robots: End User Industry Insights*, International Collaborative Robots, Workshop, USA, Colifornia, 30. September 2014. Dostupno na: <https://www.robotics.org/robotics/international-collaborative-robots-workshop>. Pristupljeno: 2.1.2019.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, VDV: Jahresbericht 2017/2018, Koln, Deutschland.

World Robotics 2017, United Nations, New York and Geneva, 2017.

World Robotics 2016, United Nations, New York and Geneva, 2016.

World Robotics 2015, United Nations, New York and Geneva, 2015.

**WORKER SAFETY IS INCREASED BY APPLICATION OF
COLLABORATIVE ROBOTS IN THE PRODUCTION
PROCESSES INDUSTRY 4.0**

SUMMARY: By applying Industry 4.0, modernization of the production processes in industry is achieved. However, the safety of workers must be a priority. Automation of production processes and raising it to a higher level can be achieved by employing collaborative robots working together with workers. The degree of safety measures guarantees that there are no work injuries. In using collaborative robots we exploit all the advantages that they possess over first-generation industrial robots. They work together with workers, workers work in a safe environment, robots take up less space, they are not physically separated from workers, they are easy to manipulate, they are cheaper, and are suitable for small and medium size companies. We have the possibility of introducing different levels of automation in the production process, i.e. we can partially automate the tasks where complete automation is too complex or not economical. The use of collaborative robots will grow in the future, since the goals of the fourth industrial revolution cannot be achieved without collaborative robots, in other words, without the "smart manufacturing process" or "smart factory".

Key words: *worker safety, Industry 4.0, robot, collaborative robot, production process*

*Subject review
Received: 2019-01-10
Accepted: 2019-12-09*