



Isak Karabegović ^{1,a}, Sead Pašić ^{2,b}, Edina Karabegović ^{3,c}

TREND IMPLEMENTACIJE I RAZVOJA INDUSTRIJSKIH ROBOTA U PROCESIMA ZAVARIVANJA U SVIJETU

TREND OF IMPLEMENTATION AND DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ROBOTS IN WELDING PROCESSES IN THE WORLD

Pregledni rad / Review paper

Rad primljen / Paper received:

Avugust 2024.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Novembar 2025.

Adresa autora / Author's address:

¹Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

²Univerzitet "Džemal Bijedić" Mostar, Bosna i Hercegovina

³Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać, Bosna i Hercegovina

email / ORCID ID:

^a / 0000-0001-9440-4441

^b sead.pasic@unmo.ba / 0009-0004-6241-5129

^c / 0000-0003-3744-8979

Ključne reči: Industrijski robot, zavarivanje, implementacija, tačkasto zavarivanje, kolaborativni roboti

Keywords : Industrial robot, welding, implementation, spot welding, collaborative robots

Rezime

Prvi industrijski roboti pojavljuju se šezdesetih godina prošlog vijeka, a implementiraju se sve do danas u svim proizvodnim procesima u cijelom svijetu. Najveću primjenu industrijski roboti su našli u tri industrijske grane: automobilska industrija, elektro/elektronička industrija i metalna industrija. Automobilska industrija je prva koja je masovno implementirala industrijske robote, a u posljednjim godinama im se pridružila i elektro/elektronička industrija, tako da se u ove dvije industrijske grane implementira preko 60% od ukupno implementiranih industrijskih robota u svijetu. Industrijski roboti se koriste za izvršavanje onih zadataka koji su zamorni ili opasni za zdravlje radnika, a u takve se ubraja i zavarivanje, koje je veoma prisutno i u automobilskoj industriji. Najveći broj do danas implementiranih industrijskih robota su roboti prve generacije, koji su robusni, ograđeni (zbog zaštite radnika), zauzimaju mnogo prostora i komplikovani su za reprogramiranje. Razvoj novih tehnologija, kao što su: senzorska tehnologija, internet stvari (IoT), veliki podaci (Big Data), računarstvo u "oblaku" (Cloud Computing), virtuelna i proširena stvarnost (AR), vještačka inteligencija (AI), napredni sigurnosni sistemi i drugih, zaslužan je za razvoj robotske tehnologije. U radu je prikazan trend implementacije industrijskih robota, kao i njihova uloga u procesima zavarivanja.

Abstract

The first industrial robots appeared in the production processes in the 1960s have continued to be implemented in manufacturing worldwide. The greatest application of industrial robots has been observed in three major industries: the automotive industry, the electrical and electronics industry, and the metal industry. The automotive industry was the first to adopt the most industrial robots extensively, and in recent years the electrical and electronics industry has followed. Together, these two sectors account for more than 60% of the total number of industrial robots deployed worldwide. Industrial robots have primarily been used to perform tasks that are physically demanding and hazardous to workers' health, including welding operations, which are predominantly carried out in the automotive industry. To date, first-generation industrial robots have been the most widely implemented. These systems are typically enclosed by protective fences to ensure worker safety, occupy substantial floor space, and are relatively complex to reprogram. The development of advanced technologies — such as sensor systems, the Internet of Things (IoT), big data analytics, cloud computing, virtual and augmented reality (AR), artificial intelligence (AI), and advanced safety systems — has significantly contributed to the evolution of robotic technology. The present study presents current trends in the implementation of industrial robots and examines their role in welding processes.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa 33. konferencije sa međunarodnim učešćem „Zavarivanje 2024“ održanog u Vrnjačkoj Banji, Srbija od 2. do 5. oktobra 2024. godine.



1. Uvod

Jedna od osnovnih tehnologija četvrte industrijske revolucije je robotska tehnologija, bez koje ne bi ni bilo ove industrijske revolucije, odnosno Industrije 4.0 koja je nezvanično proglašena 2016. godine na svjetskom ekonomskom forumu [1-3]. U ovoj „svjetskoj revoluciji“ u industrijskoj proizvodnji se prelazi na sve prisutniju mobilnost, premoštavanje digitalnog i fizičkog okruženja, a korištenje temeljnih tehnologija Industrije 4.0 na potpuno novi način nas dovodi do širokih mogućnosti implementacije inovacija, automatizacije i optimizacije sa kojima se proizvodni procesi u industriji dovode na znatno viši nivo. Industrija 4.0 je koncept proizvodnje u kojoj je sve umreženo. U proizvodnim procesima mašine i uređaji su povezani bežičnom vezom i sensorima, a isto tako su povezani sa sistemom koji može sam donositi odluke, bazirane na velikom broju podataka koji se neprekidno prikupljaju iz procesa. Očekivanja su da će implementacija ovog koncepta poboljšati i unaprijediti sve aspekte i segmenta ljudskog života. U našem okruženju koncept Industrija 4.0 još uvijek nije šire rasprostranjen [4-6].

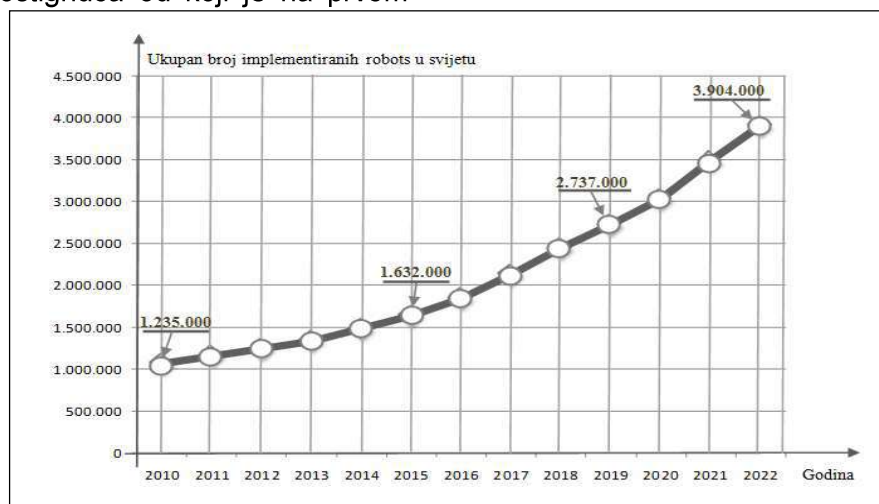
Industrija 4.0 u realnosti je nova faza u organizaciji i kontroli industrijskog lanca vrijednosti, koji se prvenstveno oslanja na sajber fizički sistem (CPS- Cyber-Physical-Systems), te njemu pripadajući servis, najčešće realiziran u oblaku (Cloud Coputing). Velike promjene se dešavaju u svim granama industrije: transformišu se proizvodni sistemi, sistemi transporta i isporuke, potrošnje i uvode se nove poslovne metode. Sve ove promjene možemo da pripišemo implementaciji novih tehnoloških dostignuća od koji je na prvom

mjestu robotska tehnologija a zatim i druge nove tehnologije, kao što su veliki podaci (Big Data), internet stvari (IoT), aditivne tehnologije, pametni senzori, umjetna inteligencija (AI), virtualna i proširena stvarnost (AR), napredni bezbjednosni sistemi itd. [7-10].

S obzirom na činjenicu da je automobilska industrija jedna od grana u kojoj se industrijski roboti najviše koriste, a da se najveći broj robota u automobilskoj industriji upotrebljava upravo u procesima zavarivanja, u ovome radu će se govoriti o mogućnostima primjene i razvoju industrijskih robota koji se koriste u procesima zavarivanja. U radu je izvršena analiza primjene industrijskih robota u cijelom svijetu, sa posebnim osvrtom na primjenu industrijskih robota u procesima zavarivanja. Implementacijom robotske tehnologije dolazi se do fleksibilne automatizacije, odnosno implementacijom baznih tehnologija Industrije 4.0 kompanija može da obezbjedi konkurentnu sposobnost na globalnom tržištu [11-14].

2. Trend implementacije industrijskih robota u svijetu

Realnu sliku primjene industrijskih robota u svijetu moguće je dobiti praćenjem njihove primjene u posljednjih deset godina. U tom smislu napravljena je analiza na osnovu statističkih podataka koji su preuzeti od International Federation of Robotics (IFR), Ekonomske komisije pri UN za Evropu (UNECE) i Organizacije za ekonomsku kooperaciju i razvoj (OECD). Trend implementacije industrijskih robota na godišnjem nivou u svijetu prikazan je na Slici 1 [15-18].



Slika 1. Svetski trend implementacije industrijskih robota za period 2010-2022. godina [15-18].

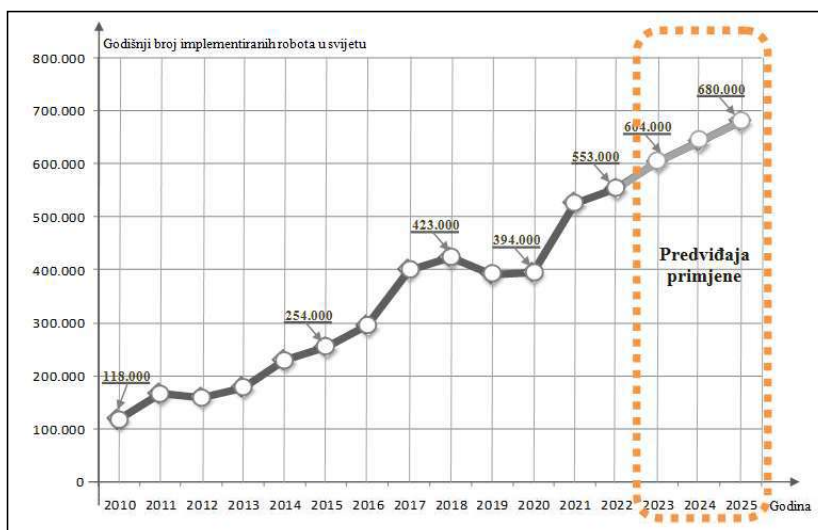
Figure 1. Global trend in the implementation of industrial robots for the period 2010–2022 [15–18].



Na osnovu prezentovanog dijagrama može se konstatovati da se ukupni broj industrijskih robota koji su instalirani u svijetu neprestano povećava. U posljednjih desetak godina taj broj je porastao za više od tri puta, odnosno sa 1,2 miliona industrijskih robota koliko je 2010. godine bilo u primjeni u svijetu u svim industrijskim granama, pa sve do 3,9 miliona robota koliko je bilo u primjeni 2022. godine. Dakle, trend ukupne primjene robota ostvaruje se po rastućoj funkciji uz pretpostavku da

će se u narednim godinama primjena industrijskih robota povećavati. Razlog za ovakvu konstataciju leži u činjenici što sve industrijski razvijene zemlje u svijetu, kao i zemlje u razvoju, imaju svoje strategije implementacije Industrije 4.0, a robotska tehnologija je jedna od glavnih baznih tehnologija Industrije 4.0.

Slični trendovi se mogu uočiti i u implementaciji novih industrijskih robota na godišnjem nivou u svijetu (Slika 2) [15-18].



Slika 2. Godišnji trend implementacije industrijskih robota u svijetu za period 2010–2022. godine, sa osvrtom na predviđanja do 2025. godine [15–18].

Figure 2. Annual trend in the implementation of industrial robots worldwide for the period 2010–2022, with projections up to 2025 [15–18].

Sa dijagrama se može uočiti da je tokom 2010. godine u proizvodnju implementirano oko 118.000 novih industrijskih robota. U narednim godina je taj trend samo rastao, tako da je 2018. godine dostigao broj od 423.000 novih robota. Tokom pandemije virusa Covid-19 dolazi do stagnacije u industrijskoj proizvodnji u cijelom svijetu, tako da 2019 i 2020. godine dolazi do opadanja primjene industrijskih robota. U tom periodu se instalira približno 390.000 jedinica robota godišnje. Po prestanku pandemije dolazi do povećanja trenda u implementaciji industrijskih robota, tako da se tokom 2022. godine primijenilo 553.000 jedinica novih robota. Predviđanja za period 2023–2025.godine ukazuju na dodatno povećanje u implementaciji industrijskih robota, tako da se očekuje da bi se u 2025. godini u cijelom svijetu moglo implementirati oko 680.000 jedinica industrijskih robota.

Implementacija industrijskih i servisnih robota u proizvodnim procesima ima za cilj povećanje produktivnosti, smanjenje troškova proizvodnje i postizanje boljeg kvaliteta proizvoda, a njihovom implementacijom se postiže upravo ono što zagovara Industrija 4.0, a to je veći stepen automatizacije sa zadovoljavajućom fleksibilnošću i većom proizvodnjom s ekonomskom opravdanošću, bilo da se radi o postojećim proizvodnim procesima ili uvođenju novih proizvodnih procesa. Proces zavarivanja je jedna od osnovnih proizvodnih tehnologija, koja se vrlo široko koristi metalnoj industriji, samim tim i u automobilskoj industriji. Primjena temeljnih tehnologija Industrije 4.0, a posebno industrijskih robota prve generacije, a u posljednjim godinama i robota druge generacije, u proizvodnim procesima automobilske i metalne industrije (Slika 3), dovodi do veće fleksibilnosti i efikasnosti u proizvodnji.



a)



b)

Slika 3. Proces zavarivanja industrijskih robota a) I i b) II generacije [19,20].

Figure 3. Welding processes of industrial robots: a) I generation and b) II generation [19,20]

Analiza implementacije industrijskih robota u procesima zavarivanja izvršena je na osnovu podataka o implementaciji industrijskih i servisnih robota koja je preuzeta od International Federation

of Robotics (IFR), Ekonomske komisije pri UN za Evropu (UNECE) i Organizacije za ekonomsku kooperaciju i razvoj (OECD) i prikazana je na Slici 4 [15-18,21].



Slika 4. Primjena industrijskih robota u proizvodnim procesima i procesu zavarivanja u svijetu u periodu 2010-2022.godina, sa predviđanjem primjene do 2025.godine.

Figure 4. Application of industrial robots in manufacturing and welding processes worldwide during the period 2010–2022, with projections up to 2025.

Trend rasta godišnje implementacije robota u svijetu prati i trend primjene industrijskih robota u proizvodnim procesima svih industrijskih grana. Za ilustraciju ovoga rasta može se navesti da je u 2010. godini implementirano 93.520 jedinica robota, a u 2022. godini implementacija je iznosila preko 450.000 jedinica robota. U narednim godinama predviđa se dalji rast trenda implementacije industrijskih robota u proizvodnim procesima u svijetu, tako da bi u 2025. godini mogao dostići broj od skoro 550.000 implementiranih jedinica robota. Najveći broj implementiranih robota je u proizvodnim procesima

automobilske industrije, a koriste se u obavljanju zavarivanja karoserija, lakiranja, proizvodnji motora i raznih elementa koji su neophodni u automobilskoj industriji, kao i u montaži.

Primjena robota u procesu zavarivanja ima blago rastući trend iz godine u godinu, kako je prikazano na Slici 4. Tokom 2010. godine aplicirano je 34.469 novih robota za zavarivanje, a u 2022. godini je dostigao primjenu od oko 97.000 jedinica. Ovakav trend bi trebao da se nastavi, tako da bi 2025. godine u proizvodne procese trebalo da se implementira oko 109.000 novih robota za



zavarivanje. Evidentno je da je godišnji trend rasta u broju instaliranih robota za zavarivanje nešto manji u poređenju sa ukupnim godišnjim trendom rasta industrijskih robota u proizvodnim procesima. Ovo bi moglo da se objasni činjenicom da je tehnologija zavarivanja specifična, da neki postupci nisu pogodni za robotizirano zavarivanje, kao ni neke vrste zavarenih konstrukcija. Osim toga, razvoj novih tehnologija, kao što su na primjer

aditivne tehnologije, mogu da umanje potrebu za zavarivanjem. S obzirom da su postupci zavarivanja bazirani na različitim izvorima energije i da koriste različite principe za spajanje materijala, postoje značajne razlike i mogućnostima za robotizaciju različitih postupaka zavarivanja. Primjena industrijskih robota u procesu zavarivanja, za različite procese zavarivanja, za period 2018-2022. godina prikazana je u Tabeli 1.

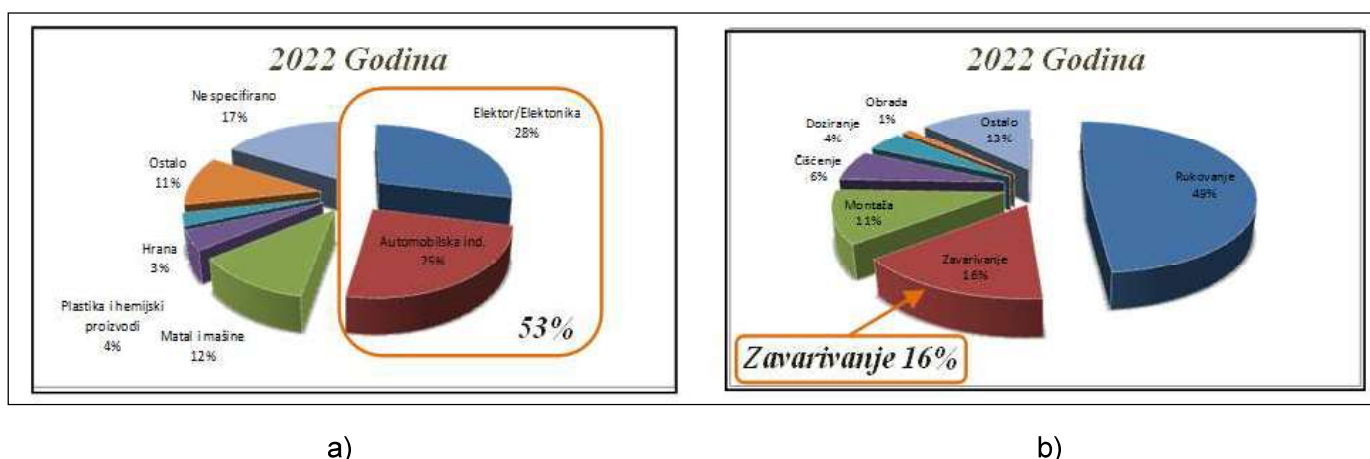
Tabela 1. Implementacija industrijskih robota u različitim procesima zavarivanja za period 2018-2022.godina [16,17].

Table 1. Implementation of industrial robots in various welding processes during the period 2018–2022 [16,17].

Zavarivanje i lemljenje (svi materijali)	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.
Elektrolučno zavarivanje	40.967	35.242	33.609	43.800	49.400
Tačkasto zavarivanje	43.273	32.607	27.133	45.200	42.100
Lasersko zavarivanje	793	1.183	758	1.320	1.150
Ostala zavarivanje	1.213	1.561	1.594	1.680	1.280
Lemljenje	2.928	2.177	3.120	2.000	3.570

Može se zaključiti da je najveća primjena industrijskih robota u dva procesa zavarivanja: elektrolučno zavarivanje i tačkasto zavarivanje, dok je značajno manja zastupljenost robotiziranog zavarivanja laserom i ostalim procesima zavarivanja, kao i kod lemljenja. Prva dva procesa zavarivanja, gdje je najveća primjena industrijskih robota, su procesi zavarivanja koji se najviše koriste u automobilskoj industriji.

Industrijski roboti su prisutni u svim granama industrije, ali ta zastupljenost nije ni približno ravnomjerna. Prema podacima iz 2022. godine u dvije industrijske grane: automobilskoj industriji i elektro/elektroničkoj industriji instalirano je preko 50% od svih industrijskih robota (Slika 5). Na trećem mjestu je metalna industrija.



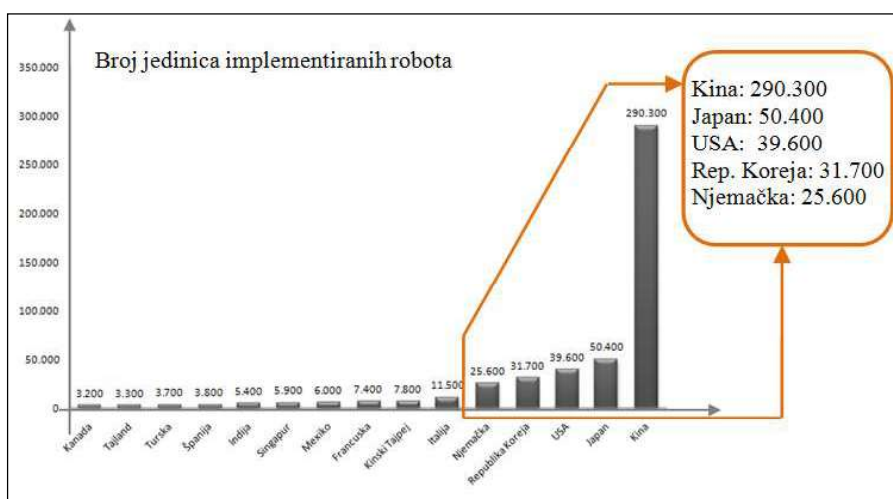
Slika 5. Zastupljenost industrijskih robota u (a) različitim industrijskim granama i (b) prema aplikaciji primjene u svijetu u 2022. godini [16].

Figure 5. Distribution of industrial robots in (a) different industrial sectors and (b) by application worldwide in 2022 [16].



Kada je u pitanju zastupljenost industrijskih robota prema aplikaciji instaliranja na prvom mjestu su manipulativni roboti, sa skoro polovinom učešća, zatim slijede procesi zavarivanja sa 16% i procesi montaže sa 11%. Ovi omjeri su prisutni u posljednjih 20 godina, tako da je za očekivati da će se ovakav trend nastaviti i u narednim godinama [16,24].

Veoma interesantan može biti i podatak u kojim se zemljama na godišnjem nivou najviše instalira industrijskih robota. Prema podacima iz 2022. godine prvih pet zemalja su: Kina, Japan, USA, Republika Koreja i Njemačka (Slika 6). Pri tome se mora istaći činjenica da je Kina, sa preko 290.000 instaliranih robota godišnje, ubjedljivo iznad svih ostalih zemalja. Narednih deset zemalja u svijetu su: Italija, Tajvan, Francuska, Meksiko, Singapur, Indija Španija, Turska, Tajland i Kanada, gdje se implementacija industrijskih robota kreće od oko 3.000 do 10.000 robota godišnje.



Slika 6. Godišnji primjene industrijskih robota u petnaest top zemalja svijeta u 2022. godini [16].

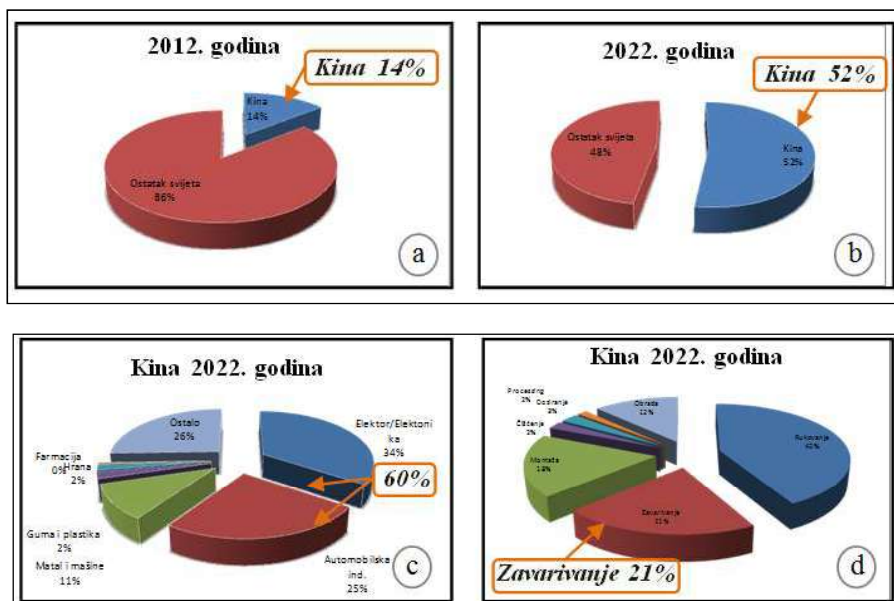
Figure 6. Annual use of industrial robots in the top fifteen countries worldwide in 2022 [16].

Ovakav trend se održava u posljednjih nekoliko godina i očekivan je s obzirom da veći dio navedenih zemalja spada u grupu industrijskih razvijenih zemalja, te da imaju razvijenu automobilsku i elektro/elektroničku industriju, gdje se na godišnjem nivou implementira preko 50% svih industrijskih robota u svijetu [22]. Drugi razlog za ovakav trend je što ove zemlje implementiraju Industriju 4.0 koju nije moguće razvijati bez industrijskih robota, jer robotska tehnologija predstavlja jednu od osnovnih tehnologija Industrije 4.0. Treći razlog za ovakav trend je što navedene zemlje ulažu značajna sredstva u istraživanje i razvoj inovacija u robotskoj tehnologiji, te implementaciju robota u proizvodne procese [23-24].

S obzirom da je Kina vodeća zemlja po primjeni industrijskih robota u svijetu, napravljena je jedna kratka analiza njenog trenda rasta u primjeni industrijskih robota u posljednjih deset godina kao i

primjena po industrijskim granama i procesima u 2022. godini (Slika 7). Implementacija novih industrijskih robota u Kini je u 2012. godini iznosila 14% od ukupne svjetske primjene za tu godinu. Za samo deset godina, dakle u 2022. godini procenat učešća Kine u primjeni robota se povećava na 52%, tako da Kina postaje svjetski lider po implementaciji robotske tehnologije u proizvodnim procesima [16,25,26]. Slično kao i u ostatku svijeta, najveći broj implementiranih robota, približno 60%, primjenjuje se u dvije industrijske grane: automobilskoj industriji i elektro/elektroničkoj industriji.

Kada su u pitanju procesi zavarivanja, industrijski roboti za različite postupke zavarivanja se primjenjuju u 21% od svih ukupno primijenjenih industrijskih robota u 2022. godini, što iznosi oko 60.963 jedinica industrijskih zavarivačkih robota. Kao i u ostatku svijeta, najveći broj ovih robota radi u automobilskoj industriji, elektro industriji i metalnoj industriji.



Slika 7. (a, b) Godišnji trend rasta primjene industrijskih robota u Kini u periodu 2012–2022. godina i (c, d) primjena u različitim industrijskim granama i procesima u 2022. godini [15–18].

Figure 7. (a, b) Annual growth trend in the use of industrial robots in China during the period 2012–2022, and (c, d) their application in different industrial sectors and processes in 2022 [15–18].

3. Zaključak

Primjena robotske tehnologije u industrijskoj proizvodnji se u svijetu iz godine u godinu povećava. Robotska tehnologija predstavlja jednu od osnovnih tehnologija četvrte industrijske revolucije, odnosno Industrije 4.0, čiji se koncepti veoma intenzivno primjenjuju u skoro svim industrijski razvijenim zemljama. Prema broju implementiranih robota dvije industrijske grane se posebno ističu: automobilska industrija i elektro industrija, u kojima je instalirano preko polovine od ukupnog broja robotskih sistema. Svjetski lider u primjeni robota u industrijskoj proizvodnji je Kina u kojoj je samo u 2022. godini bilo implementirano 290.000 novih robota, što predstavlja 52% od ukupnog broja implementiranih robota u cijelom svijetu.

Primjena robota u procesima zavarivanja, također, ima rastući trend, tako da je u posljednjih desetak godina broj implementiranih robota utrostručen, i u 2022. godini je dostigao broj od oko 87.000 jedinica. Procjene su da će se ovakav trend rasta nastaviti, tako da bi se u 2025. godini moglo očekivati da se u industrijskoj proizvodnji implementira oko 109.000 robota. Kao lider u primjeni robotskih sistema, Kina je samo u 2022. godini implementirala 60.963 industrijskih robota za zavarivanje, što predstavlja 21% od ukupnog broja instaliranih robota.

3. Conclusion

The integration of robotic technology within industrial manufacturing is experiencing consistent global growth. As a cornerstone of the Fourth Industrial Revolution, or Industry 4.0, robotics remains central to the technological frameworks being rigorously adopted across most developed economies. Based on the volume of robot deployment, two sectors are particularly prominent: the automotive and electronics industries, which together account for more than half of all installed robotic systems. China maintains its position as the global leader in industrial robot adoption; in 2022, the country deployed 290,000 new units, representing 52% of the total global installations for that year.

The application of robotics in welding processes similarly exhibits an upward trajectory. Over the past decade, the number of implemented units has tripled, reaching approximately 87,000 in 2022. Projections indicate that this trend will persist, with an anticipated 109,000 robots to be integrated into industrial production by 2025. Consistent with its leading role, China implemented 60,963 industrial welding robots in 2022, constituting 21% of its total robotic installations.



Robotizirano zavarivanje se najviše primjenjuje u automobilskoj industriji, ali je prisutno i u drugim granama metalne industrije. Kada su u pitanju postupci zavarivanja, evidentno je da se robotizirano zavarivanje najčešće primjenjuje kod dva procesa zavarivanja: elektrolučno zavarivanje i tačkasto elektrootporno zavarivanje, dok je značajno manja zastupljenost robota u procesu zavarivanja laserom i ostalim procesima kao i kod lemljenja.

While robotic welding is most prevalent in the automotive sector, its utility extends across various branches of the metalworking industry. Concerning specific methodologies, robotic systems are most frequently utilized in arc welding and resistance spot welding. In contrast, there is a significantly lower adoption rate in laser welding, brazing, and other specialized joining processes.

Literatura / References

[1] 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>

[2] Schwab, K.: The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 2016.

[3] Majstorović, V., Đuričić, D., Mitrović, R.: Industrija 4.0: Renesansa inženjerstva, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet Beograd, Srbija, 2022.

[4] Karabegović, I., Turmanidze, R., Dašić, P.: Structural Network for the Implementation of "Industry 4.0" in Production Processes, *International Scientific Journal "Industry 4.0"*, Year VII, Issue 1, pp. 3-6. <https://stumejournals.com/journals/i4/2022/1/3.full.pdf>

[5] Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., Husak, E.: 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, April, 2022, Special Editions, Volume CCII, Department of Technical Sciences, Volume 20, ANU B&H, pp.103-117; DOI:10.5644/PI2022.202.24;

[6] Esmailian, B., Behdad S., Wang, B.: The evolution and future of manufacturing: a review, *Journal Manufacturing System*, Vol.39., pp.79-100., 2016.:

[7] 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

[8] Karabegović, I., Husak, E., Karabegović, E., Mahmić, M.: China is the leading country in the world in the implementation of robotic technology as the basic technology of Industry 4.0, 12th International Conference – KOD 2024. „Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, Book of abstracts, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, May 2024, Balatonfüred, Hungary, ISBN 978-86-6022-339-7. COBISS.SR-ID 144621065, pp.128-129.

[9] 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

[10] Karabegović, I.: Improving Innovativeness and Competitiveness in Germany, Japan and China through the Analysis of the Application of Robotics as an Industry 4.0 Technology in the Manufacturing Industry, International Scientific Conference, Industry 4.0 in Circular Economy and Environmental Protection and Recovery, Union of Engineers and Technicians of Serbia, 15th December 2023. Beograd, Serbia, Proceedings: ISBN 978-86-82563-26-6, COBISS.SR-ID 131923977, pp. 38-51. <https://www.sits.org.rs/>

[11] 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, November, 2022, East Sarajevo, pp.273-286., RS, Bosnia and Herzegovina.: <http://cometa.ues.rs.ba/>



[12] Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., Husak E.,: 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

[13] 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>

[14] 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>

[15] 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; June 26, 2024].

[16] Bill, M., Müller, C., Kraus, W., Bieller, S.,: World Robotics Report 2023, Frankfurt 2023. [Online]. Available: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas>

[17] 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

[18] Karabegović, I., Mahmić, M., Karabegović, E., Husak, E.,: Comparative Analysis of the Implementation of Robot Technology as the Basic Technology of Industry 4.0 in America (USA) and China, 14th International Scientific Conference, ETIKUM 2023, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering and Department of Industrial Engineering and Management, Novi Sad, December 2023. Serbia, Proceedings: ISBN 978-86-6022-617-6, COBISS.SR-ID 131426852, pp. 33-40. <http://etikum.ftn.uns.ac.rs/>

[19] <https://www.themanufacturer.com/articles/bmw-places-major-order-for-5000-industrial-robots/> [Accessed: June 28, 2024].

[20] How Collaborative Robots Are Redefining Industrial Automation – What Sets Them Apart? <https://www.linkedin.com/pulse/how-collaborative-robots-redefining-industrial-automationwhat-guajf/> [Accessed: June 28, 2024].

[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., 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, pp. 185-194. 2015. https://www.apem-journal.org/Archives/2015/APEM10-4_185-194.pdf

[23] Karabegović, I.: The Role of Industrial and Service Robots in the Four Industrial Revolution, *ACTE Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, University Politehnica Timisoara, Tome XI, Fascicule 2., April 2018., Hunedoara, Romania, pp.11-16. <http://acta.fih.upt.ro/pdf/2018-2/ACTA-2018-2-01.pdf>

[24] Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., Husak, E.: Implementation of Industry 4.0 and Industrial Robots in Production Processes: 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.

[25] Karabegović, I., Husak, E., Karabegović, E., Mahmić, M.,: How the Core Technologies of Industry 4.0 Are Changing the Automotive Industry in the World, With a Focus on China, IX International Congress Motor Vehicles and Motors (MVM 2022) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1271 012017; pp.1-14; doi:10.1088/1757-899X/1271/1/012017 <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/1271/1>.

[26] 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>