

I. Karabegović, E. Karabegović*

SIGURNOST I ZAŠTITA RADNIKA U PROCESU ZAVARIVANJA INDUSTRIJSKIM ROBOTIMA

UDK 621.791:004.8]:331.45/.48

PRIMLJENO: 4.6.2012.

PRIHVAĆENO: 17.6.2013.

SAŽETAK: Robotika je višedisciplinarna znanstvena disciplina koja objedinjuje mnoga sustavna znanja kao što su inženjerska mehanika, elektrotehnika, informacijske tehnologije, industrijski inženjering, ergonomija i marketing. Zbog svojeg velikog značenja u postindustrijskom društvu, robotika zadire i u područje medicine, ekonomije, sociologije, filozofije i umjetnosti. Robotika tehnologija je istovremeno i vrlo privlačna, izazovna i maštovita disciplina. Pokazalo se da su roboti, baš kao i ljudi, prolazili generacijske cikluse. Svaka nova generacija robota dobivala je naprednija obilježja u odnosu na prethodnu, što se prije svega odnosi na ostvareni stupanj inteligencije, prateću računalnu moć, poboljšane dinamičke pokazatelje i naprednije algoritme upravljanja te surađivanja s okolinom. Međutim, još i danas kada su roboti visoko zastupljeni u svim proizvodnim procesima, oni ne mogu funkcionirati bez interakcije sa čovjekom. Posebnu pozornost treba posvetiti pitanju sigurnosti čovjeka u radnom okruženju kod procesa zavarivanja jer su industrijski roboti najzastupljeniji u procesu zavarivanja u automobilske industriji. Postoji više sustava kojima se postiže ovaj cilj. U ovom radu je obrađena sigurnost radnika, načini zaštite, vrste i načela rada zaštitnih sustava, te navedene prednosti i nedostaci sigurnosti i zaštite radnika pri radu u procesu zavarivanja industrijskim robotima. U ovome radu prezentirane su i norme koje obrađuju područje sigurnosti i zaštite radnika pri radu s industrijskim robotima.

Ključne riječi: *industrijski robot, servisni robot, sigurnost, zaštita, laser, sigurnosni pod, svjetlosna zavjesa*

UVOD

Robotika se bavi razvojem i implementacijom kako industrijskih robota, isto tako i servisnih robota. Robotska tehnologija je višedisciplinarna znanstvena disciplina koja objedinjuje mnoga sustavna znanja kao što su inženjerska mehanika, elektrotehnika, informacijske tehnologije, industrijski inženjering, ergonomija. Robotika kao znanost ima zadatak, odnosno plemeniti cilj – na primjer, zamijeniti čovjeka pri obav-

ljanju zamornih, jednoličnih, odnosno opasnih i za zdravlje štetnih poslova. Industrijski roboti će prije ili kasnije promijeniti izvođenje svakodnevnih zadataka radnika u industriji automatizacijom i modernizacijom proizvodnih procesa. Robotika je razmjerno mlada tehnička grana, ali koja već ima svoju bogatu tradiciju.

Kao što je poznato, najveći broj industrijskih robota primjenjuje se u proizvodnim procesima automobilske industrije pri montaži i zavarivanju. U procese zavarivanja u 2010. godini od ukupnog broja instaliranih 1.035.016 jedinica industrijskih robota instalirano je 308.670 jedinica (tablice 1. i 2.). Prilikom rada industrijskih

*Prof. dr. sc. Isak Karabegović (isak1910@hotmail.com), doc. dr. sc. Edina Karabegović, Tehnički fakultet Bihać, Ulica Irfana Ljubijankića bb, 77000 Bihać, BiH.

robot mora se voditi računa o sigurnosti i zaštiti radnika koji opslužuje robota bilo da se radi o zavarivanju ili nekoj drugoj operaciji. Razvijeni su različiti sustavi za sigurnost i zaštitu radnika. Neki od tih sustava opisani su u ovome radu, kao i načelo njihovog rada, njihove prednosti, nedostaci. U određenim slučajevima moguće je kombinirati ove sustave da bi se dobilo željeno rješenje. Prije same instalacije sustava zaštite postoji više čimbenika koje treba uzeti u obzir. Prva stvar koju treba sagledati je frekventnost pristupa robotskom sustavu, zatim način pristupa i brzina pristupa robotskom sustavu. Nakon toga treba izraditi procjenu rizika, te na osnovi svih ovih parametara odabrati sustav koji zadovoljava sve potrebne kriterije. Svaka nova generacija robota dobiva naprednija obilježja u odnosu na prethodnu, što se prije svega odnosi na ostvareni stupanj inteligencije, prateću računalnu moć, poboljšane dinamičke pokazatelje i naprednije algoritme upravljanja te na zaštitu i sigurnost radnika pri radu s njima.

PRIMJENA INDUSTRIJSKIH ROBOTA U PROCESU ZAVARIVANJA U SVIJETU

Broj primjena industrijskih robota u proizvodnom procesu u svijetu preuzet je iz statističkih podataka koji su navedeni u tablicama i dijagramima International Federation of Robotics (IFR), podataka Ekonomske komisije pri UN za Europu (UNECE) i Organizacije za ekonomsku kooperaciju i razvoj (OECD); (*Doleček, 2002., 2008., World Robotics-Servis Robotics 2010., World Robotics 2008., World Robotics 2006.*). Ova analiza treba ukazati na primjenu industrijskih robota u proizvodnim procesima u svijetu i u procesu zavarivanja.

Analizom Tablice 1. (*World Robotics-Servis Robotics 2010., World Robotics 2008.*) na prvo mjesto po primjeni industrijskih robota na godišnjoj i ukupnoj razini dolazi Azija sa 69.833 jedinice robota u 2010. godini, a ukupni broj

Tablica 1. Primjena industrijskih robota u svijetu 2008.-2010. godine

Table 1. Use of industrial robots worldwide, 2008-2010

Instaliranje	Godišnja primjena robota			Ukupna primjena robota		
	2008.	2009.	2010.	2008.	2009.	2010.
Kontinent/godina						
Europa	34.695	20.483	30.630	343.329	343.661	352.031
Amerika	17.192	8.992	17.114	173.977	172.141	179.785
Azija/Australija	60.294	30.117	69.833	514.914	501.429	498.933
Afrika	454	196	256	1.777	1.973	2.232
UKUP. Σ	112.972	60.018	118.337	1.035.301	1.020.731	1.035.016

Tablica 2. Ukupna primjena industrijskih robota u procesu zavarivanja u svijetu

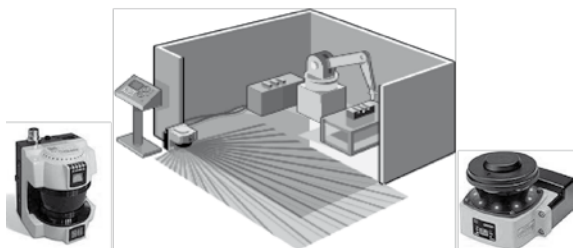
Table 2. Total use of industrial robots in welding worldwide

Zavarivanje	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
Elektrolučno	100.975	114.625	122.748	129.748	128.728	134.200
Točkasto	145.407	156.342	166.829	166.819	161.918	164.280
Lasersko	943	1.316	1.987	1.987	2.022	2.186
Druga	2.236	2.414	3.458	3.458	3.616	3.564
Lemljenje	2.539	2.387	2.987	2.987	2.844	2.509
Nedefinirano	1.343	2.069	1.966	1.966	1.400	1.931
Ukupno Σ	253.445	279.153	294.641	306.975	300.528	308.670

obrađuje s pomoću vjerojatnosti pojave težine ozljede (katastrofalne, ozbiljne, umjerene ili manje) i izloženosti opasnosti (frekvencije i trajanje, opseg izloženosti ili broj radnika izloženih opasnosti). Prema ovoj normi nulti rizik ne postoji i zbog toga je nedostižan. Europska norma EN 1050 zamijenjena je normom BS EN ISO 14121-1:2007 koja obrađuje metode za analizu opasnosti i procjenu rizika. Ovom normom je proširena „identifikacija opasnosti“ (od prijevoza, montaže, ugradnje, puštanja u pogon, uporaba, demontaža i odlaganje), pouzdanost sigurnosnih funkcija te postizanje ciljeva smanjenja rizika.

ZAŠTITA RADNIKA I NJEGOVA SIGURNOST PRI RADU INDUSTRIJSKIM ROBOTOM

Prilikom instaliranja industrijskih robota u bilo koji proizvodni proces nužno je definirati radni prostor i izraditi procjenu rizika da ne bi došlo do ozljede radnika pri radu industrijskim robotom. O samom proizvodnom procesu i aktivnosti korisnika ovisit će i specifikacija sigurnosne opreme jer imamo više opcija zaštitne opreme kod rada industrijskog robota. Zaštitna oprema može biti: uređaji za skeniranje površine, svjetlosne zavjese, sigurnosni podovi, sigurnosne prirubnice, zaštitne maske za radnika, ventilacijski sustavi, kao i mehaničke barijere. Na slici 2 prikazana je zaštita s uređajem za skeniranje površine.

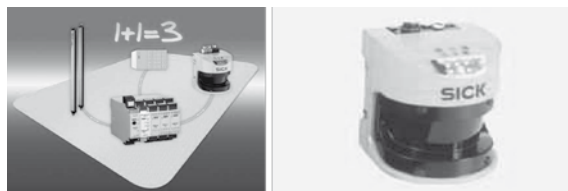


Slika 2. Slika uređaja za zaštitu radnog prostora robota s uređajem za skeniranje površine

Figure 2. Device for workplace protection with surface scanner

Uređaj za skeniranje površine je senzor koji može biti različite konstrukcije (slika 2), a što

ovisi o veličini skenirane površine. Senzor prostire laserske zrake tako da čine dvije zone. Prva zona je zona upozorenja, a druga zona je zona zabrane pri ulasku operatera. U zoni upozorenja senzor upozorava, a ulaskom u zonu zabrane on blokira i zaustavlja rad robota. Ovi uređaji su fleksibilni tako da se mogu programirati za različite konfiguracije površina ovisno o radnoj ćeliji industrijskog robota. Uređaj za zaštitu radnog prostora koji se upotrebljava kod industrijskih robota prikazan je na slici 3.

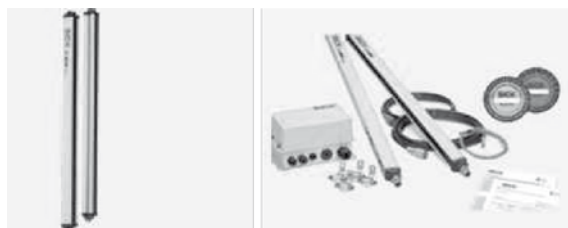


4 m, 5.5 m ili 7 m zaštitno polje, ° do 21 podešavanje (21 zaštitno polje, 42 polja upozorenja), ° izbor rezolucije za ruku, nogu ili tijelo

Slika 3. Cjelovito rješenje zaštite i sigurnosni laserski skener SICK 3000

Figure 3. Overall safety scheme and safety laser scanner SICK 3000

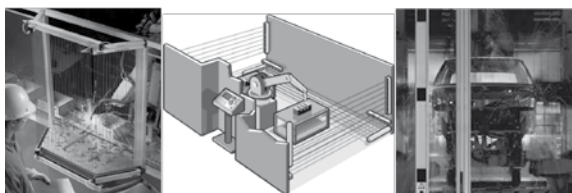
Drugi oblik zaštite pri radu industrijskog robota su sigurnosne svjetlosne zavjese (slika 5); (Howard, 1995.). One rade na načelu da se koriste infracrvenim zrakama za detekciju ulaska i izlaska iz radnog područja (slika 4). Tako vanjska sigurnosna svjetlosna zavjesa detektira što ulazi u radno okruženje i automatski zaustavlja rad industrijskog robota. U ovoj situaciji robotizirana radna ćelija ne može biti ponovo aktivirana sve dok radni prostor ne bude slobodan.



° Tip 4(IEC 61496), PLc (EN ISO 13849), ° 7-segmenata display, ° vanjski uređaj za praćenje (EDM), ° ponovno pokretanje blokade (OIE), ° temp.područje od -300 do +500 °C

Slika 4. Sigurnosne svjetlosne zavjese tip SICK C4000 Micro Figure

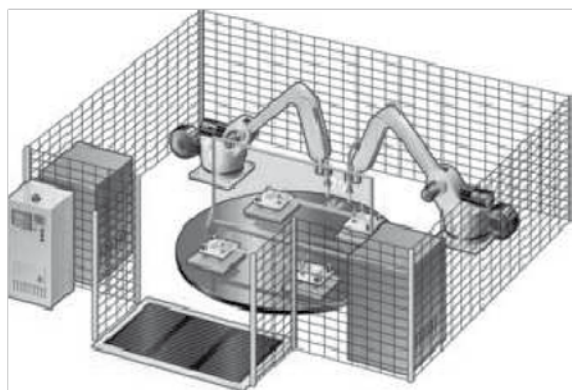
4. Safety light curtain, type SICK C4000 Micro



Slika 5. Zaštita radnog prostora industrijskog robota sa sigurnosnom svjetlosnom zavjesom

Figure 5. Industrial robot workplace - protection with safety light curtain

Treći oblik zaštite radnog prostora industrijskog robota su sigurnosni podovi (slika 6); (Vojić i sur., 2006.). Kada se sigurnosni pod optereti dovoljnim opterećenjem, šalje se signal kontrolnoj jedinici koja zaustavlja ili preventivno zaustavlja početak rada robota. Također u slučaju probijanja sigurnosnih podova zatvara se strujni krug, a robotsku ćeliju moguće je pokrenuti tek nakon popravka.



Slika 6. Zaštita radnog prostora industrijskog robota sa sigurnosnim podom

Figure 6. Industrial robot workplace - protection with safety flooring

Najčešći oblik zaštite radnog prostora industrijskog robota u bilo kojem proizvodnom procesu je mehanička zaštita, odnosno mehanička barijera koja ne dopušta nikome pristup u radni prostor robota sve dok on izvodi operacije (slika 7); (Howard, 1995.). Zaštitna ograda povezana je s napajanjem robota. Ako su vrata otvorena, napajanje robota je isključeno. Strujni krug kontrole napajanja robota povezan je preko prekidačke brave na vratima zaštitne ograde. Kada ja zaštitna ograda otvorena, prekidačka brava preko

odgovarajućih releja isključuje napajanje. Neke prekidačke brave imaju sustav koji tijekom rada robota zaključava zatvorenu zaštitnu ogradu i otključava ju tek nakon što robot dođe u sigurnu poziciju. U mnogim zavarivačkim aplikacijama pokretna zaštita s prekidačkim bravama je ključni dio pouzdane i jeftine zaštite.



Slika 7. Mehanička zaštita radnog prostora industrijskog robota

Figure 7. Industrial robot workplace - mechanical protection

Opasnosti koje se javljaju prilikom zavarivanja robotom uključuju radijaciju, kontaminaciju zraka, električni udar, požar i eksploziju, komprimirane plinove i ostale opasnosti. Prilikom zavarivanja generira se intenzivna radijacija u ultraljubičastom (UV), vidljivom i infracrvenom rasponu elektromagnetnog spektra. Intenzitet radijacije ovisi o struji zavarivanja, procesu zavarivanja, veličini elektrode i zaštitnom mediju. U slučaju robotskog zavarivanja, putanja luka se

rutinski mijenja, tako da operater zavarivanja treba biti zaštićen od cijele operacije. Oči moraju također biti zaštićene od radijacije jer izlaganje ultraljubičastom svjetlu ima za posljedicu oblik konjuktivitisa koji je bolan 24-48 sati.



Slika 8. Pri procesu zavarivanja emitiraju se različiti elementi u para koje štetno utječu na zdravlje radnika

Figure 8. Various substances are released during welding with harmful effects on human health

Najbolja zaštita za oči i lice je zaštitna kaciga koja ima filter leće, a različite konstrukcije prikazane su na slici 9.



Slika 9. Zaštitne kacige s filter lećom za zaštitu pri zavarivanju

Figure 9. Helmets with filter lens for protection during welding

Kada se industrijski roboti upotrebljavaju za zavarivanje, pored navedenih zaštita koriste se i ventilacijski sustavi koji prikupljaju štetne pare i odvođe ih izvan radnog prostora. Dim i pare zavarivanja javljaju se u luku prilikom topljenja materijala elektrode i dekompozicije njezinih sastojaka. Para zavarivanja sadrži dva tipa kontaminacije zraka, čestice i plinove. Odgovarajuća upozorenja su dana na svakom pakiranju elektroda i žice za zavarivanje. Zavarivački radni prostor mora biti adekvatno ventiliran. Koncept opće ventilacije ne smanjuje rizik izlaganju, ali se vrlo često koristi u praksi. Opća ventilacija služi za dobavu svježeg zraka i odvođenje zagađivača koji nisu skupljeni lokalnom ventilacijom. Preporučene brzine pri skupljanju para i plinova nastalih zavarivanjem ovise o položaju usisne nape te iznose kako slijedi: ventilacija iznad zavora - 0,5 do 1 m/s, ventilacija sa strane - 1 m/s,

ventilacija s donje strane - 1 do 2 m/s. Sustavi za lokalnu ventilaciju mogu se podijeliti u tri skupine: fiksne instalacije, mobilne ili fleksibilne sustave i ventilacija integrirana u opremu za zavarivanje. Na slici 10 prikazan je primjer uređaja za ventilaciju pri zavarivanju (Vojić, 2009.).



Slika 10. Uređaji za lokalnu ventilaciju pri procesu zavarivanja

Figure 10. Local ventilation devices used in welding

Preferira se ventilacija sa stražnje strane s ugrađenim pregradama na stolu kako bi se kanalizirao protok zraka. Stolovi s odsisom s donje strane imaju kao veliki nedostatak visoku brzinu strujanja zraka kako bi se poništio pozitivan uzgon toplih para i plinova. Brzina dizanja nastalih para i plinova pri zavarivanju je od 0,2 do 1 m/s na udaljenosti 10-20 cm od električnog luka. Velike brzine imaju za posljedicu protok velike količine zraka. Uz to velike brzine strujanja mogu utjecati na kvalitetu plinske zaštite i lošu kvalitetu zavora.

ZAKLJUČAK

Pri procesu zavarivanja javljaju se određene potencijalne opasnosti kao što su npr. radijacija, kontaminacija zraka, električni udar, komprimirani plinovi, kolizija s drugim uređajima i čovjekom. Prilikom projektiranja sustava robotskog zavarivanja u svakom posebnom slučaju treba poduzeti određene preventivne mjere. Vrlo važno je odabrati odgovarajući sustav zaštite, jer se jedino na taj način postiže ispravan učinak. U ovome radu prikazani su neki od sustava zaštite, kao i njihove karakteristike. S obzirom da se industrijski roboti najviše primjenjuju u automobilskoj industriji pri procesu zavarivanja, u radu

su prikazane mogućnosti zaštite i sigurnog rada uporabom uređaja koji to osiguravaju. Za statične proizvodne procese je sasvim dovoljan sustav s mehaničkim barijerama i prekidačkim bravama, dok u procesima proizvodnje koji imaju zahtjeve čestog pristupa robotskoj ćeliji pogodniji je sustav zaštite na načelu svjetlosnih zavjesa ili laserskih skenera. Osim toga, postoje i složeni sustavi koji mogu razlikovati osoblje od radnih predmeta koji, ako su ispravno programirani, ne prekidaju proizvodni proces bez stvarne potrebe. Primjena mjera zaštite, koje su navedene u ovom radu, imaju za cilj smanjenje broja ozljeda pri radu s industrijskim robotima, a samim tim povećava se radni vijek radnika, a proizvodnja postaje ekonomična. Iako su industrijski roboti uvedeni da bi prije svega zamijenili čovjeka pri radu na teškim i opasnim poslovima, njihovom primjenom javljaju se određeni rizici kojima treba posvetiti posebnu pozornost prilikom aplikacije robota.

LITERATURA

- Alić, I.: *Sanacija strojeva i uređaja*, Elektrokontakt d.d., Zagreb, 2010.
- Doleček, V., Karabegović, I.: *Robotika*, Tehnički fakultet, Bihać, 2002., pp.10-30.
- Doleček, V., Karabegović, I. et al.: *Roboti u industriji*, Tehnički fakultet Bihać, Bihać, 2008., pp 260-310.
- Džih, E.: Sigurnost robotskih sustava, *Seminar "Inteligentni sustavi u procesu zavarivanja"*, Tehnički fakultet Bihać, 2009., pp. 59-64.
- Howard, B. Cary: *Arc Welding Automation*, Marcel Dekker Inc., New York, 1995.
- <http://www.thefabricator.com>, pristupljeno: 24.3.2012.
- <http://www.cdc.gov/niosh/85-103.html>, pristupljeno: 25.3.2012.
- <http://www.omron.ca>, pristupljeno: 31.3.2012.
- <http://www.sti.com>, pristupljeno: 7.4.2012
- <http://www.aws.org/ad-indeks>, pristupljeno: 8.4.2012.
- <http://www.robotlang.blogspot.com>, pristupljeno: 16.4.2012.
- Robot Safety, Industrial Welfare Division*, Department of Labour, Wellington, 1987.
- Ruus, W.: Design Considerations for Robotic Welding Cell Safety, *Welding Journal*, pp. 38-41, dostupno na: <http://www.sick.com>, pristupljeno: 25.5.2012.
- Vojić, S., Karabegović, I., Doleček, V.: Zaštita radnog prostora industrijskih robota, *1th stručno-znanstveni skup Zaštita na radu i zaštita zdravlja*, Bjelolasica, 2006., pp. 81-87.
- Vojić, S.: Sigurnost inteligentnih sustava za zavarivanje, *Seminar "Inteligentni sustavi u procesu zavarivanja"*, Tehnički fakultet Bihać, 2009., pp. 33-38.
- World Robotics-Servis Robotics 2010.*, United Nations, New York and Geneva, 2010., pp.1-146.
- World Robotics 2008.*, United Nations, New York and Geneva, 2008., pp. 28-36.
- World Robotics 2006.*, United Nations, New York and Geneva, 2006., pp. 337-424.

WORKER SAFETY AND HEALTH PROTECTION IN INDUSTRIAL ROBOT WELDING

SUMMARY: Robotics is a multidisciplinary field gathering in one place a lot of expertise, such as engineering mechanics, electrical engineering, IT, industrial engineering, ergonomics and marketing. Its enormous impact in post-industrial society affects also fields such as medicine, economics, sociology, philosophy and art. Robotics as technology is an attractive, challenging and imaginative discipline. Robots, like people, have gone through different generation cycles. Each new robot generation has been an improvement on the previous one, in particular in the achieved degree of intelligence, computing powers, dynamic indicators and advanced algorithms in management and environment cooperation. However, not even today when robots are used in all production processes, can they operate without interaction with man.

Special focus should be placed on workplace safety in welding process. Industrial welding robots are most present in the automobile industry. Several safety systems contribute to this goal. The paper investigates worker safety, safety methods, types and principles behind safety systems and their operation, advantages and shortcomings of worker safety implemented in the process of industrial robot welding. The paper provides a list of standards in the field of safety and protection of workers working with industrial robots.

Key words: *industrial robot, service robot, safety, protection, laser, safety floor, light screen*

Professional paper

Received: 2012-04-06

Accepted: 2013-06-17