

I. Karabegović, S. Vojić, V. Doleček\*

## MJERE ZAŠTITE RADNOG PROSTORA INDUSTRIJSKIH ROBOTA

UDK 007.52:331.45/.48  
PRIMLJENO: 8.1.2007.  
PRIHVACENO: 14.2.2007.

**SAŽETAK:** U radu su opisani rizici u interakciji čovjek-robot koji se javljaju prilikom uporabe industrijskih robota. Dana je analiza grešaka te mjere zaštite radnog prostora robota koje treba poduzeti sa ciljem smanjenja određenih rizika. U svakoj instalaciji robota i analizi rizika treba voditi računa o identifikaciji rizika tako da mogu biti primijenjene odgovarajuće mjere zaštite za prevenciju od nastanka nezgoda.

**Ključne riječi:** zaštita, industrijski roboti, radni prostor

### UVOD

Ako uzmemo u obzir sve sposobnosti s kojima raspolaže, prosječan robot nije inteligentan, tj. ne može raditi bez određene ljudske intervencije, te ga kao takvog, sa stajališta sigurnosti ljudi koji mogu doći u kontakt s njim, nije lako integrirati s ostalim strojevima. Zbog toga strojevi, roboti i ostali uređaji za rad trebaju biti međusobno zaštićeni jedni od drugih. Posebnu pozornost pri tome treba posvetiti pitanju sigurnosti čovjeka u radnom okruženju.

Kada se bavimo sigurnošću uporabe robota, onda to možemo promatrati sa dva različita stajališta.

Sa jedne strane uporaba robota sa stajališta sigurnosti za čovjeka je pozitivna, jer roboti obavljaju poslove koji su opasni za zdravlje i život ljudi. Međutim, sa druge strane njihova primjena izaziva određene rizike sa stajališta sigurnosti ljudi.

### RIZICI KOJI SE POJAVLJUJU PRIMJENOM ROBOTA

Glavni rizik povezan s primjenom robota je radni prostor robota. Sposobnost robota da se kreće u slobodnom prostoru, mijenja konfiguraciju i izvodi neočekivana kretanja može izazvati rizike za osoblje koje radi i stoji u radnom prostoru robota (Karabegović, Doleček, 2002.).

Zbog toga u svakoj instalaciji robota, analiza rizika mora identificirati rizike tako da mogu biti implementirane određene mjere zaštite kao prevencija pri nastajanju neke nezgode.

Zastoj i greške čovjeka mogu izazvati neočekivana kretanja industrijskog robota.

Ti zastoji i greške su sljedeći (Lodge, 1987.):

- krivo ponašanje robota izazvano pogreškama kontrolnog sustava
- zaglavljivanje servoventila
- greške u transmisiji
- greške u programiranju i ostale operacijske greške
- nedostatak preciznosti, pogoršavanje i
- inkompatibilnost alata.

\* Prof. dr. sc. Isak Karabegović, mr. sc. Samir Vojić, Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću, Dr. Irfana Ljubijankića bb, 77000 Bihać, BiH, prof. dr. sc. Vlatko Doleček, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Vilsonovo šetalište 9, 71000 Sarajevo, BiH.

Tri osnovna potencijalna rizika povezana s primjenom robotskih sustava su:

- udar – koji može biti neočekivano kretanje robota ili udar pri ispuštanju ili pad radnih komada ili lijevanog metala;
- hvatanje – ovo se može pojaviti kod kretanja robota u sredini koja nema dovoljno prostora između strojeva, opreme, ograde i sl. Hvatanje također može nastati i u slučaju kretanja radnih vagona, paleta ili drugih mehanizama za transport;
- ostalo – koje uključuje rizike kao što su električni udar, svjetlosni luk, gorenje, radijacija, otrovne tvari itd.

Ovi rizici mogu nastati od nekoliko izvora i ako promatramo tipičnu instalaciju robota, to su (Lodge, 1987.):

- kontrolne greške - greške u kontrolnom sustavu robota poznate kao softverske greške, električne smetnje, ili greške u hidrauličnoj, pneumatskoj ili električnoj potkontroli povezanoj s robotom;
- mehanički rizici - ovi rizici mogu nastati u slučaju manipulacije s predmetima koji imaju oštre rubove i velike težine. Mehanički otkazi mogu dovesti do ispuštanja radnih komada iz prihvatnice;
- ekološki rizici - primjena robota može također u mnogim slučajevima rezultirati ekološkim rizicima. Primjer ovoga je robot za zavarivanje koji često proizvodi veliku količinu isparavanja, svjetlosti, pršćićih dijelova. Ostali ekološki rizici mogu uključivati prašinu, ishlapljivanje, ionizirajuće i neionizirajuće zračenje, gorivu i eksplozivnu atmosferu;
- greške čovjeka – kod najvećeg broja instalacija robota, osobe mogu doći u koliziju s robotom. Ovo se događa prilikom programiranja robota, učenja, održavanja i sl. Nedovoljno poznavanje opreme je najčešći slučaj greške čovjeka koja ugrožava sigurnost;
- pomoćna oprema - roboti najčešće rade zajedno s ostalom opremom kao što su konvejeri, alatni strojevi, preše, itd.

Ova oprema također može izazvati rizik ako su opasni dijelovi unutar dosega ljudi i nisu zatvoreni u ogradi.

## ANALIZA GREŠAKA

Analizirani slučajevi su pokazali da je najveći broj nesreća vezan za neočekivano kretanje industrijskih robota prilikom ulaska operatera u radni prostor kada je robot prestao raditi (ili se kretao veoma sporo) i kada robot odjednom i neočekivano počne kretanje (ili ubrzanje).

Svaki od incidentnih slučajeva dogodio se zato što je robot počeo s radom bez znanja unesrećenika koji je ušao u opasno područje bez dovoljno opreza. Potencijalna opasnost u radnom području rezultira kombinacijom nesigurnih uvjeta i nesigurnih akcija.

Veoma bitni su prepoznavanje i identifikacija potencijanih rizika u radu robota. Zato je prva stvar koju treba učiniti pri instalaciji robota analiziranje rizika može li robot uzrokovati štetu ili ne. Metoda zaštite i potreba za preventivnim mjerama zaštite zasnovani su na stupnju rizika i promatraju se kod svake instalacije individualno.

Čimbenici koji utječu na rizik jesu (Aguilar, 2006.):

1. frekvencija pristupa u opasno područje

2. predvidljivi rizik i težina štete u slučaju greške, uzevši u obzir: radnu metodu, potrebu za pristupom, postupak zaštite kod svakog tipa osiguranja i karakteristike robota.

Operater koji rukuje robotima trebao bi poznavati standard ANSI B11.TR3, ANSI/RIA R15.06-1999. i EN1050 smjernice za rukovanje koji obrađuju pitanje sigurnosti u radu industrijskih robota.

## MJERE ZAŠTITE RADNOG PROSTORA ROBOTA

Zaštita radnog prostora industrijskih robota ima za cilj svodenje potencijanih rizika na najmanju moguću mjeru. To se može postići projektiranjem robotskog sustava, osposobljavanjem radnika i nadgledanjem.

### Projektiranje robotskog sustava

Prilikom projektiranja robotskih sustava, sa stajališta primjene mjera zaštite radnika potrebno je:

- predvidjeti fizičke barijere koje uključuju rampe opremljene sigurnosnom sklopkom tako da se robot automatski zaustavlja prilikom otvaranja rampe



Slika 1. Zaštita radnog područja robota mehaničkom barijerom

Figure 1. Safety mechanical barrier

- predvidjeti kao rezervni sigurnosni uređaj senzor kretanja, svjetlosnu zavjesu, podni senzor i sl. koji zaustavljaju rad robota čim neko prijeđe barijeru
- predvidjeti adekvatnu udaljenost između svih pokretnih komponenti robotskog sustava
- predvidjeti adekvatno osvjetljenje u kontrolnom i radnom području robota tako da su pisane upute jasno vidljive
- označiti na adekvatan način zone kretanja robota.

Osnovno načelo zaštite okruženja radnog prostora, koje je primijenjeno u mnogim instalacijama, je instalacija fiksnih barijera koje zatvaraju radno područje robota sa sigurnosnim prolazom koje onemogućuju ulazak u radno područje robota za vrijeme rada (Vojić, 2005.).

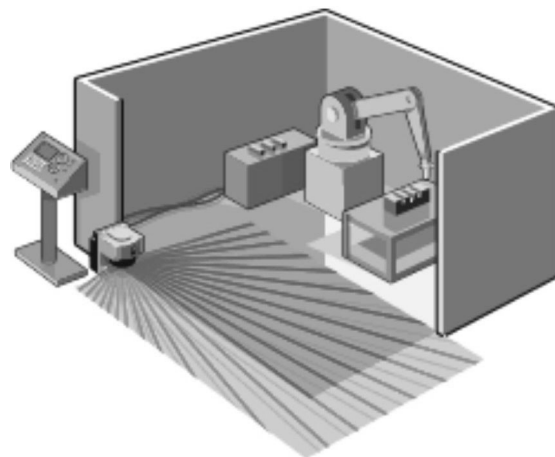
Pored mehaničkih barijera kao prevencija u zaštiti radnog prostora robota primjenjuju se i sigurnosne svjetlosne zavjese koje koriste zrake

infracrvenog svjetla za detekciju objekata ili osoba koje su ušle u zatvoreni radni prostor robota (Aguilar, 2006.).

Kao obodna zaštita, sigurnosna svjetlosna zavjesa detektira bilo koga ili bilošto što se nalazi u radnom prostoru robota i odmah zaustavlja robota ako se neko nađe u radnom prostoru.



U ovim situacijama, robotska jedinica ne može biti reaktivirana sve dotle dok radni prostor ne bude slobodan, a aktiviranje ponovnog početka rada obavlja osoba koja ima pregled cjelokupnog radnog područja.



Slika 2. Zaštita radnog područja robota sigurnosnom svjetlosnom zavjesom

Figure 2. Safety light curtain



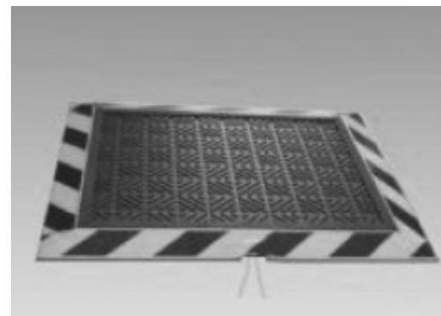
*Slika 3. Primjena uređaja za skeniranje područja*

*Figure 3. Scanning device*

Kao mjera zaštite upotrebljavaju se također uređaji za skeniranje područja (Aguilar, 2006.). Ovi uređaji primjenjuju najčešće lasersko svjetlo za zaštitu robotske jedinice. Kada se skener pravilno programira, on detektira nedopušteno ulaženje u definirano područje. Reprogramiranje se može izvršiti ovisno o potrebama i promjeni konfiguracija robotske jedinice. Pored toga, uređaji za skeniranje područja obuhvaćaju programiranu "zону upozorenja" koju može podesiti operater bez prethodnog zaustavljanja robota. Prolazak kroz zonu upozorenja treba blokirati sigurnosnu zonu i zaustaviti rad robota.

Jedan od oblika prevencije ulaska radnika u radno područje robota su i zaštitni podmetači koji se primjenjuju kao dopunski sigurnosni sustav.

Kada neko stupi na zaštitni podmetač, šalje se signal upravljačkoj jedinici robota koja zaustavlja rad robota.



*Slika 4. Primjena zaštitnih podmetača*

*Figure 4. Safety mats*

## Osposobljavanje radnika

Posebno osposobljavanje radnika koji će raditi u području gdje se primjenjuju roboti je veoma važno sa stajališta njihove sigurnosti prilikom programiranja, rukovanja ili održavanja robota (Millar, 2006.).

Pored toga, osposobljavanje posebice ističe sigurnost i razmatra nove tehnologije primijenjene iz iskustva programera, rukovatelja i radnika na održavanju. Pri tome se radnik podsjeća na to da mora dobro poznavati sve radne aspekte robota uključujući maksimalno kretanje, poznavanje rizika, programiranje robota, taster u slučaju krajnje nužde i sigurnosne barijere, prije nego počne operativni rad ili rad na održavanju. Operater nikada ne smije biti u blizini robota dok on obavlja određeni zadatak.

Programeri robota i ostali koji obavljaju određene poslove s robotom rade to sa smanjenom brzinom kretanja robota i potrebnim mjerama opreza.

## Trendovi u zaštiti radnog prostora

Neki od bitnijih trendova u zaštiti radnog prostora industrijskih robota su:

- globalizacija standarda
- ranije uključivanje mjera sigurnosti prilikom planiranja rasporeda strojeva
- uporaba inteligentnih sigurnosnih uređaja.

Uporabom inteligentnih sigurnosnih uređaja kao što su npr. sigurnosni PLC uređaji smanjuje se broj elektromehaničkih sigurnosnih modula. Inteligentni uređaji su jednostavniji za upotrebu, imaju predvidive modele greške i pružaju širok spektar mogućih funkcija.

## ZAKLJUČAK

Na svim radnim mjestima gdje postoji određeni broj strojeva kojima u određenoj mjeri upravljaju i s kojima rade ljudi neminovno je da postoje određeni rizici koji mogu dovesti do kolizije. Da bi se ti rizici smanjili na najmanju

moću mjeru, nužno je provesti analizu rizika vezanih za određenu primjenu industrijskih robota te shodno tome poduzeti određene mjere zaštite. Potrebno je, dakle, predvidjeti potrebne fizičke barijere i dodatne sigurnosne elemente te osposobiti radnika. I pored poduzimanja mjera zaštite na radu nemoguće je ukloniti svaku mogućnost opasnosti, a pri tome treba dovesti u ravnotežu mogućnosti, sigurnost i učinkovitost.

## LITERATURA

Aguilar, S.: Playing it safe with robotic welding, dostupno na: <http://www.thefabricator.com> Accessed: 2006-04-05

*Directives STD 01-12-002 – PUB 8-1.3 – Guidelines For Robotics Safety*, U.S. Department of Labor, 1987.

*Department of Energy (DOE) OSH Technical Reference*, dostupno na: [http://www.eh.doe.gov/docs/osh\\_tr/ch14.html](http://www.eh.doe.gov/docs/osh_tr/ch14.html) Accessed: 2006-04-05

Karabegović, I., Doleček, V.: *Robotika*, Tehnički fakultet, Bihać, 2002.

Karabegović, I., Jurković, M., Vojić, S.: Virtual system and virtual reality applications, *Proceedings of the international Conference MECHANIKA*, Lithuania, 2004.

Karabegović, I., Vojić, S., Doleček, V.: Simulation of the process of sorting and storage of finished products using intelligent systems, *Proceedings of the international Conference MECHANIKA*, Lithuania, 2005.

Lodge, J.E.: *Robot Safety, Industrial Welfare Division*, Department of Labour, Wellington, 1987.

Millar, J.D.: *Preventing the Injury of Workers by Robots*, dostupno na: <http://www.cdc.gov/niosh/85-103.html> Accessed: 2006-04-05

Vojić, S.: *Programiranje mobilnih industrijskih robota u procesu sortiranja i skladištenja gotovih proizvoda (magistarski rad)*, Tehnički fakultet, Bihać, 2005.

### **OCCUPATIONAL SAFETY MEASURES IN THE INDUSTRIAL ROBOT WORK ENVIRONMENTS**

*SUMMARY: Presented are the risks in the man-robot interaction arising during the industrial robot operation. An analysis is given of the errors and the safety measures in the robot work environment that need to be implemented in order to reduce certain risks. In every robot installation and risk analysis, risks need to be identified so that suitable safety measures may be implemented to prevent injury.*

**Key words:** *safety, industrial robots, work environment*

*Preliminary communication*

*Received: 2007-01-08*

*Accepted: 2007-02-14*