



## PRAKTIČNO RJEŠENJE ROBOTA ZA ZAVARIVANJE PRIKLADNO ZA RAZLIČITE KONSTRUKCIJE PROIZVODA

### PRACTICAL SOLUTION OF WELDING ROBOT SUITABLE FOR DIFFERENT PRODUCT DESIGNS

Milan KLJAJIN <sup>1)</sup>, Todor ERGIĆ <sup>1)</sup>, Željko IVANDIĆ <sup>1)</sup>, Mirko KARAKAŠIĆ <sup>1)</sup>  
i Zlatko KATALENIĆ <sup>2)</sup>

**Ključne riječi:** konstrukcija proizvoda, robot, zavarivanje, vrednovanje dobrote

**Key words:** product design, robot, welding, goodness evaluation

**Sažetak:** U članku je dan sustavan pregled principa principijelnih rješenja robota. Ova rješenja dana su neovisno o primjeni robota, ali se vodilo računa o mogućnosti njihove praktične izvedbe. Ovisno o pet tipičnih skupina konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi, opisan je jedan od načina izbora najprikladnijeg koncepta robota za zavarivanje, a na temelju liste zahtjeva robota za zavarivanje. Lista zahtjeva je utemeljena na tipovima konstrukcije proizvoda u zavarenoj izvedbi. U članku je opisano jedno od praktičnih rješenja robota za zavarivanje koje u potpunosti zadovoljava teorijske postavke, odnosno varijantu robota s najvišom tehničkom dobrotom.

**Abstract:** In this paper a systematic review of principled robot solutions is given. These solutions are given independent of practical application of robots but they take in account the possibility of its practical realization. Depending of five typical groups of product design in the welding form, one of ways to select the more suitable concept of welding robot is described. The selection is done on the base of requests from the list of requests. The list of requests is based on the types of product design in the welding forms. One practical solution of welding robot is described in the paper as a solution which fulfills all over theoretical statements, respectively the robot variant with higher technical goodness.

---

<sup>1)</sup> Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Qsijeku, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

<sup>2)</sup> MOTOMAN ROBOTEC d.o.o., Ribnica, Slovenija

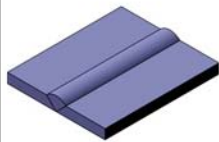

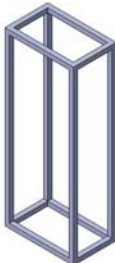
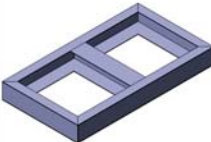

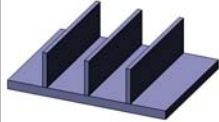

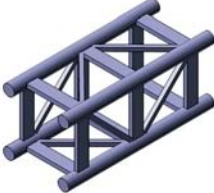
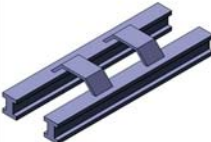

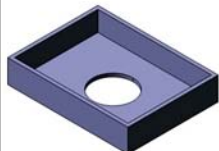

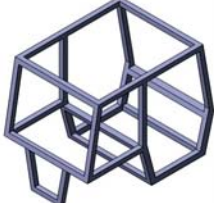

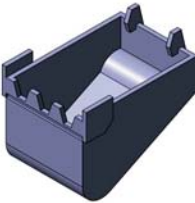
## 1. UVOD

Izbor tipa robota, koji je prikladan za elektrolučno zavarivanje ovisi o čitavom nizu zahtjeva koje je potrebno da takav robot zadovolji tijekom primjene. Potpuno je jasno da većina zahtjeva proizlazi iz oblika konstrukcije proizvoda. Drugi dio zahtjeva proizlazi iz tehnologije izrade i vođenja proizvodnog procesa. Dakle, kao polazište za izbor tipa robota odabrana je tzv. lista zahtjeva koju bi trebao zadovoljiti izabrani tip robota.

## 2. LISTA ZAHTJEVA

Kao što je već gore rečeno, zahtjeve koje mora zadovoljiti robot prikladan za zavarivanje treba prvenstveno tražiti u obliku konstrukcijske izvedbe proizvoda. Tipove konstrukcije proizvoda u zavarenoj izvedbi moguće je svrstati u pet različiti skupina [2, 5] (tablica 1).

Tablica 1. Pet skupina tipova konstrukcije proizvoda u zavarenoj izvedbi [2, 5]

TIP KONSTRUKCIJE PROIZVODA				
K1: Ravninska	K2: Rotacijska	K3: Rešetkasta	K4: Kutijasta	K5: Prostorna
				
				
				

**Ravninska konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K1** (tablica 1). Prevladava sučelni tip zvara, linije zavarivanja su ravne, duge i neprekinute, proizvodi imaju relativno velik i srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje je tijekom zavarivanja nepromjenljiva, mjesta zavarivanja su pristupačna, povoljan položaj zvara s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje, ne traži čestu preorijentaciju proizvoda.

**Rotacijska konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K2** (tablica 2). Prevladava sučelni tip zvara, linije zavarivanja su rotacijske ili ravne, duge i neprekinute s mogućnošću pojednostavljenja postupka zavarivanja (okretaljke i druga pomoćna oprema), proizvodi imaju relativno velik ili srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje je tijekom zavarivanja nepromjenljiva, mjesta zavarivanja su pristupačna, povoljan položaj zvara s

obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje, ne traži čestu preorijentaciju proizvoda.

**Rešetkasta konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K3** (tablica 1). Prevladava kutni tip zavora, linije zavarivanja su ravne, kratke i isprekidane, velik broj istih zavora koji se ponavljaju po duljini i orijentaciji, proizvodi imaju relativno velik ili srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje tijekom zavarivanja nepromjenljiva, pristup mjestu zavarivanja je otežan, nepovoljan položaj zavora s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje, zahtijeva čestu preorijentaciju proizvoda.

**Kutijasta konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K4** (tablica 1). Prevladava kutni tip zavora, linije zavarivanja su ravne i krivocrtne, relativno velik broj kratkih i isprekidanih zavora, proizvodi imaju relativno velik ili srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje je tijekom zavarivanja promjenljiva, pristup mjestu zavarivanja je otežan, nepovoljan položaj zavora s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje, zahtijeva čestu preorijentaciju proizvoda.

**Prostorna konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K5** (tablica 1). Prevladava kutni tip zavora, linije zavarivanja su ravne i krivocrtne, proizvodi imaju relativno mali ili srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje tijekom zavarivanja je promjenljiva, pristup mjestu zavarivanja jednostavan, položaj zavora s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje je povoljan, traži čestu preorijentaciju proizvoda.

Pored zahtjeva koji proizlaze iz konstrukcije postoje i drugi, od kojih su oni bitni sistematizirani u tablici 2 (tzv. Listi zahtjeva [4, 5]).

Tablica 2. Lista zahtjeva za robote za zavarivanje [5]

Redni broj	Zahtjevi na robot podesan za zavarivanje	Veličina, jedinica, tolerancija...	Obvezatnost	
			Zahtjev	Želja
1	Robot je predviđen za elektrolučno zavarivanje		T	
2	Tip robota treba biti univerzalan (podesan za svih pet skupina konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi – tablica 1)		T	
3	Veličina proizvoda se uklapa u gabarite određene			
	- najveća duljina	$\leq 5000$ mm	F	
	- najveća širina	$\leq 2000$ mm	F	
	- najveća visina	$\leq 1000$ mm	F	O, E
4	Jednostavna izvedba			
5	Vrlo pokretljiva konstrukcija		F	
6	Dobro radno područje (opseg rada)		F	
7	Zadovoljavajuća brzina i ubrzanje pri zavarivanju	$v \leq 1,5$ m/s	F	
8	Visoka točnost (opetovano pozicioniranje)	$\leq 0,25$ mm	F	
9	Nosivost	$\leq 10$ kg	F	
10	Lako programiranje			O, T
11	Lako održavanje			O, E
12	Opravdana cijena s obzirom na veličinu serije	$2,5 \cdot 10^6$ kom/godina		E

Legenda: F – funkcijski, T – tehnološki, E – ekonomski, O – s obzirom na održavanje

Za dostizanje bilo koje točke u trodimenzijskom manipulacijskom prostoru nužna su (ali ne uvijek i dovoljna) tri stupnja slobode gibanja otvorenog kinematičkog lanca robota. Za orijentaciju u dostignutoj točki potrebna su još tri stupnja slobode gibanja. Stoga najveći broj suvremenih industrijskih robota ima šest stupnjeva slobode gibanja, od kojih su tri posljednja

rotacije oko osi koje se najčešće sijeku u jednoj točki. Kako svaki stupanj slobode gibanja može biti translacijski (T) ili rotacijski (R) to se kinematički lanac može izgraditi na osam različitih načina što odgovara broju varijacija s ponavljanjem trećeg reda s dva elementa (što iznosi 8). Svaki se translacijski i rotacijski stupanj slobode gibanja može odabrati na tri načina, a svaka se varijacija može zapisati na onoliko načina koliko ima varijacija s ponavljanjem od tri elementa trećeg reda (što iznosi 27). Dakle, može se za otvoreni kinematički lanac s ukupno tri stupnja slobode gibanja dobiti ukupno 216 različitih kinematičkih struktura ( $8 \times 27 = 216$ ). Među ovih 216 struktura postoje strukture s kojima nije moguće ostvariti trodimenzijski manipulacijski prostor. Unatoč svojoj trodimenzionalnosti u općem smislu moguće je ostvariti tek gibanje po liniji ili plohi odnosno ostvariti tek jednodimenzijski ili dvodimenzijski prostor. Takve strukture nisu prostorne, a nastaju kada se u strukturi pojavljuju: dvije istoimene translacije, tri istoimene rotacije, dvije. raznoimene translacije i rotacija oko treće osi, te dvije istoimene rotacije i translacija uzduž jedne od preostalih dviju osi.

Tablica 3. Shematski prikaz tipova izvedbi robota koji su praktično izvedivi i koji će se analizirati sa stanovišta prikladnosti za zavarivanje

TIP IZVEDBE ROBOTA			
R1: TTT	R2: TTR	R3: TRR	R4: RRR
R5: RRT	R6: RRT	R7: RTR	R8: RTT

Primjenom gore navedenih kriterija, od 216 teorijski mogućih struktura, 87 nije prostorno gradbeno. Znači da se željeno prostorno postavljanje po koordinatama može ostvariti sa 129 gradbenih struktura manipulatora ili robota. Ako se usvoje preporuke što proizlaze iz dinamičke analize [1], da prvi član robota obvezatno bude vertikalna tada se broj teorijski mogućih struktura smanjuje na 72 ( $2^3 \times 3^2 = 72$ ). Primjenom kriterija za broj mogućih prostorno gradbenih struktura broj se smanjuje na 43, od kojih je 40 simetrično i zakrenuto za  $\pi/2$  oko osi z. Praktično postoje 23 različite prostorno gradbene strukture, od kojih će u ovome članku biti razmotreno samo osam koje su shematski prikazane u tablici 3 ) [5].

### 3. PRIPREMA ZA TEHNIČKO VREDNOVANJE DOBROTE

Dobrota svakog od tipova izvedbi robota iz tablice 3 može se odrediti na razne načine [3, 4]. Poznato je da osim tehničkog postoji još ekonomsko i psihološko vrednovanje dobrote. U ovom članku željelo se pokazati da već primjena samo tehničkog vrednovanja omogućava dovoljno dobar izbor tipa izvedbe robota pogodnog za zavarivanje.

Najvažniji, a istodobno i prvi korak u vrednovanju je prepoznavanje kriterija za vrednovanje, koji proizlaze iz najvažnijih zahtjeva i želja iz Liste zahtjeva (tablica 2) [3, 4, 5]. Za robote, podesne za zavarivanje postavlja se sustav ciljeva na osnovu prepoznatih kriterija vrednovanja jer pojam dobrote ili jakosti nekog sustava ima potpuni smisao isključivo za unaprijed postavljene ciljeve [3, 4, 5] (prikazan u tablici 4). Kod postavljanja sustava ili hijerarhije ciljeva morali bi se ispuniti sljedeći preduvjeti:

a) Sustav ili hijerarhija ciljeva trebaju biti cjeloviti, tako da se ne dogodi da kod vrednovanja dobrote bitna motrišta ili granični uvjeti Liste zahtjeva ostanu neuobzireni.

b) Pojedini parcijalni ciljevi ili kriteriji, prema kojima se provodi vrednovanje moraju biti međusobno neovisni. To znači da mjere, poduzete u smislu povećanja dobrote ili stupnja ispunjenja cilja nekog tipa (ili varijante) rješenja s obzirom na jedan parcijalni cilj, ne smiju utjecati na dobrotu s obzirom na ostale parcijalne ciljeve.

Svacom parcijalnom cilju  $C_{ijk}$  ( $i = 1$ ) u sustavu ciljeva s tri hijerarhijske razine pridružena su dva brojana podatka, i to:  $G_{ijk}$  i  $g_{ijk}$ . Ovdje je  $G_{ijk}$  značaj promatranog parcijalnog cilja na njegovoj hijerarhijskoj razini, a  $g_{ijk}$  faktor značaja koji predstavlja značaj promatranog parcijalnog cilja u odnosu na prvi hijerarhijsku razinu (tj. u odnosu na ukupni cilj  $C_{ijk}$ ) (tablica 4).

Tablica 4. Sustav ciljeva za robot prikazan za zavarivanje [5]

KV	Oznaka cilja	Opis cilja (Veza s listom zahtjeva - tablica 2)	RC	$G_{ijk}$	$g_{ijk}$
	$C_{1jk}$	Robot jednostavne koncepcije, podesan za višenamjensku primjenu, jednostavan za programiranje, pouzdan u pogonu i jednostavan za održavanje	1	1,000	1,000
1	$C_{110}$	Višenamjensko (fleksibilno) rješenje	2	0,170	0,170
	$C_{120}$	Optimalna konstrukcija	2	0,350	0,350
2	$C_{121}$	Dobra pokretljivost (redudantnost)	3	0,260	0,091
3	$C_{122}$	Dobar radni obujam	3	0,280	0,098
4	$C_{123}$	Lako zauzimanje položaja u prostoru	3	0,220	0,077
5	$C_{124}$	Jednostavna konstrukcija	3	0,240	0,084
6	$C_{130}$	Lako programiranje	2	0,160	0,160
7	$C_{140}$	Visoka pouzdanost u pogonu	2	0,170	0,170
8	$C_{150}$	Lako održavanje	2	0,150	0,150

Legenda: KV - kriterij vrednovanja, RC - hijerarhijska razina cilja,  $G_{ijk}$  - značaj promatranog cilja na njegovoj hijerarhijskoj razini,  $g_{ijk}$  - faktor značaja koji predstavlja značaj promatranog parcijalnog cilja s obzirom na prvu hijerarhijsku razinu cilja (tj. s obzirom na ukupni cilj  $C_{1jk}$ )

#### 4. TEHNIČKO VREDNOVANJE DOBROTE

Pošto su određeni faktori značaja ( $g_{ijk}$  gdje je ukupni cilj  $i = 1$ , kriteriji vrednovanja ili svojstvo koje se vrednuje  $j = 1 - 8$ , varijante robota  $k = 1 - 8$ ) i svojstva koja se vrednuju (ocjenjuju), slijedi radni korak utvrđivanja veličine svojstava  $e_{ij}$  (za svako pojedino svojstvo  $j = 1 - 8$  i svaku pojedinu varijantu robota  $k = 1 - 8$ ). Za ovu svrhu koristi se tzv. shema ocjenjivanja prema [3, 4, 5], odnosno lista tehničkog vrednovanja dobrote dana u tablici 5.a i tablici 5.b.





U tablicama 5.a i 5.b se pored već pojašnjenih veličina pojavljuju i neke nove čije je značenje sljedeće:

- Ocjena kriterija/svojstva koje se vrednuje  $w_{jk}$  kreće se za svaki pojedini kriterij/svojstvo od 0 do 5 (npr. za svojstvo "zauzimanje položaja" 0 - nezadovoljavajuće, 1 - jedva zadovoljavajuće, 2 - zadovoljavajuće, 3 - dobro, 4 - vrlo dobro i 5 - odlično zauzimanje položaja itd.).
- Stvarni značaj u ukupnom cilju:  $wg_{jk} = g_{ijk} \cdot w_{jk}$
- Ukupna vrijednost dobivena zbrajanjem pojedinih ocjena kriterija/svojstava koji se vrednuju:

$$Gw_k = \sum_{k=1}^8 w_{jk} .$$

- Ukupna vrijednost dobivena zbrajanjem stvarnih značaja:  $Gwg_k = \sum_{k=1}^8 wg_{jk} .$

- Ukupna vrijednost u odnosu na idealno rješenje:  $W_k = \frac{Gw_k}{w_{\max} \cdot n} .$

- Tehnička dobrota:  $Wg_k = \frac{Gwg_k}{w_{\max} \cdot \sum_{k=1}^8 g_{ijk}} = \frac{Gwg_k}{w_{\max}} = X_k .$

U zadnja dva izraza  $w_{\max} = 5$  (najviša ocjena kriterija/svojstva),  $n = 8$  (broj kriterija/svojstava koja se vrednuju).

Tablica 5.a. Lista tehničkog vrednovanja dobrote skupine robota iz tablice 3 [5]

KV	$g_{ijk}$	Svojstvo (koje se vrednuje)	Tip R1		Tip R2		Tip R3		Tip R4	
			$w_{j1}$	$wg_{j1}$	$w_{j2}$	$wg_{j2}$	$w_{j3}$	$wg_{j3}$	$w_{j4}$	$wg_{j4}$
1	0,170	Univerzalnost	3	0,510	1	0,170	1	0,170	5	0,850
2	0,091	Pokretljivost	1	0,091	1	0,091	4	0,364	5	0,455
3	0,098	Radni obujam	1	0,098	2	0,196	3	0,294	5	0,490
4	0,077	Zauzimanje položaja	5	0,385	2	0,154	5	0,385	5	0,385
5	0,084	Složenost konstrukcije	4	0,336	4	0,336	1	0,084	5	0,420
6	0,160	Programiranje	5	0,800	4	0,640	3	0,480	5	0,800
7	0,170	Pouzdanost u pogonu	3	0,510	3	0,510	4	0,680	4	0,680
8	0,150	Održavanje	3	0,510	3	0,450	4	0,600	4	0,600
$\Sigma = 1,000$		<b>Ukupne vrijednosti</b>	<b><math>Gw_1</math></b>	<b><math>Gwg_1</math></b>	<b><math>Gw_2</math></b>	<b><math>Gwg_2</math></b>	<b><math>Gw_3</math></b>	<b><math>Gwg_3</math></b>	<b><math>Gw_4</math></b>	<b><math>Gwg_4</math></b>
		Numerički iznos ukupne vrijednosti	25	3,180	20	3,366	35	3,057	38	4,480
		Ukupna vrijednost u odnosu na idealnu (=1)	<b><math>W_1</math></b>	<b><math>Wg_1</math></b>	<b><math>W_2</math></b>	<b><math>Wg_2</math></b>	<b><math>W_3</math></b>	<b><math>Wg_3</math></b>	<b><math>W_4</math></b>	<b><math>Wg_4</math></b>
		Numerički iznos	0,626	0,637	0,501	0,674	0,875	0,611	0,950	0,896
		Tehnička dobrota $X_k$	$X_1 = 0,637$		$X_2 = 0,674$		$X_3 = 0,611$		$X_4 = 0,896$	

Tablica 5.b. Lista tehničkog vrednovanja dobrote skupine robota iz tablice 3 [5]

KV	$g_{ijk}$	Svojstvo (koje se vrednuje)	Tip R5		Tip R6		Tip R7		Tip R8	
			$w_{j5}$	$wg_{j5}$	$w_{j6}$	$wg_{j6}$	$w_{j7}$	$wg_{j7}$	$w_{j8}$	$wg_{j8}$
1	0,170	Univerzalnost	2	0,340	1	0,170	1	0,170	4	0,680
2	0,091	Pokretljivost	4	0,364	1	0,091	1	0,091	4	0,364
3	0,098	Radni obujam	3	0,294	4	0,392	4	0,392	3	0,294
4	0,077	Zauzimanje položaja	3	0,231	5	0,385	2	0,154	5	0,385
5	0,084	Složenost konstrukcije	4	0,336	4	0,336	4	0,336	2	0,168
6	0,160	Programiranje	4	0,640	5	0,800	4	0,640	4	0,640
7	0,170	Pouzdanost u pogonu	3	0,510	4	0,680	3	0,510	3	0,510
8	0,150	Održavanje	2	0,300	4	0,600	3	0,450	3	0,450
$\Sigma = 1,000$		<b>Ukupne vrijednosti</b>	$Gw_5$	$Gwg_5$	$Gw_6$	$Gwg_6$	$Gw_7$	$Gwg_7$	$Gw_8$	$Gwg_8$
		Numerički iznos ukupne vrijednosti	25	3,015	28	3,454	22	2,833	28	3,491
		Ukupna vrijednost u odnosu na idealnu (=1)	$W_5$	$Wg_5$	$W_6$	$Wg_6$	$W_7$	$Wg_7$	$W_8$	$Wg_8$
		Numerički iznos	0,626	0,603	0,701	0,691	0,550	0,566	0,701	0,698
		Tehnička dobrotu $X_k$	$X_5 = 0,603$		$X_6 = 0,691$		$X_7 = 0,566$		$X_8 = 0,698$	

## 5. DISKUSIJA

Iz liste tehničkog vrednovanja (tablice 5.a i 5.b) slijedi da je najpovoljniji tip izvedbe robota za zavarivanje ovisan o tipu konstrukcije proizvoda u zavarenoj izvedbi (tablica 1), a prema tablici 3 tip **R4** s tehničkom dobrotom  $X_4 = 0,896$ . Zatim slijedno tipovi R8 ( $X_8 = 0,698$ ), R6 ( $X_6 = 0,691$ ), R2 ( $X_2 = 0,674$ ), R1 ( $X_1 = 0,637$ ), R3 ( $X_3 = 0,611$ ), R5 ( $X_5 = 0,603$ ) i na koncu R7 ( $X_7 = 0,566$ ). Ovakav redoslijed dobrote uglavnom se poklapa s praktičnom primjenom u svjetskoj industriji i to pogotovo u pogledu tipova R4, R8 i R6 [1], koji u potpunosti zadovoljavaju kriterije proizašle iz tipova konstrukcije proizvoda u zavarenoj izvedbi, prikazanih u tablici 1 [5].

## 6. PRAKTIČNO RJEŠENJE ROBOTA ZA ZAVARIVANJE

Danas u svijetu postoje mnoga rješenja robota za elektrolučno zavarivanje koji zadovoljavaju teorijsko rješenje tipa RRR (rotacija oko  $x$ ,  $y$  i  $z$  osi), koje je proisteklo na osnovu teorijske analize provedene u prvom dijelu članka. Neka komercijalna rješenja imaju i puno bolje značajke od onih koje bi imao robot tipa RRR. Jedno takvo rješenje, koje se nudi na svjetskom tržištu (pa tako i na tržištu Republike Hrvatske) je rješenje tvrtke MOTOMAN<sup>®</sup>. Tvrtka MOTOMAN<sup>®</sup> je najveći proizvođač industrijskih robota na svijetu s preko 120.000 instaliranih robota [6]. Posebice za zavarivanje električnim lukom MOTOMAN<sup>®</sup> je jedina tvrtka koja proizvodi robotske sustave sa specijalnim rješenjem manipulatora i vodovima koji prolaze kroz os ruke i zgloba te tvrtka koja je razvila robote EA1400N (slika 1) (i EA1900N) prilagođen elektrolučnom zavarivanju upravo za tipove zavarenih konstrukcija prikazane u tablici 1. Tehnološka prednost ovih robota u usporedbi s drugim komercijalnim rješenjima ogleda se u najvećoj mogućoj učinkovitosti i produktivnosti (odnosno profitabilnosti).



Slika 1. Robot za zavarivanje MOTOMAN - EA1400N s prikazom koordinatnog sustava XYZ (veza s tablicom 3) [6]

Iz značajki navedenih u tablici 6 vidljivo je potpuno zadovoljavanje teorijskih postavki koje uvjetuju različite izvedbe zavarenih konstrukcija (tablica 1) [5]. Iz tablice su vidljive i neke karakteristike koje nisu predviđene listom zahtjeva u tablici 2 [5] i to iz razloga što je tadašnje razmatranje bilo usmjereno isključivo na zahtjeve koji su proizlazili iz tipa zavarene konstrukcije, a ne na zahtjeve koji proizlaze iz tehnologije zavarivanja i vođenja procesa.

Na slici 2 prikazana je shema na kojoj su vidljive kontrolirane osi robota. Ukupno je šest kontroliranih osi: S, L, U, R, B i T. Također je vidljiva i njihova veza s koordinatnim osima robota X, Y i Z (slika 1 i tablica 3). Tipkovnica za njihovo programiranje ima na tipkama oznake svih mogućih rotacija.

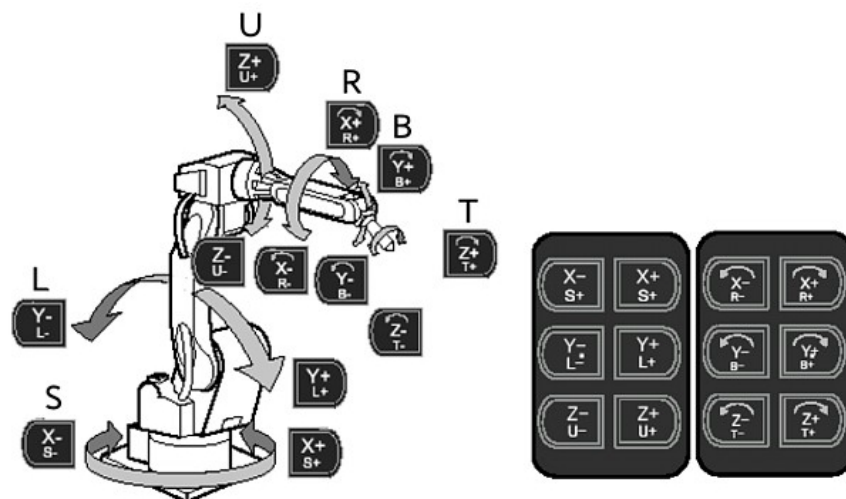
Na slici 3 prikazano je radno područje kod robota za zavarivanje MOTOMAN - EA1400N pričvršćenog za tlo (lijevo) i pričvršćenog za strop (desno). Uočava se nešto manje radno područje ako je stropno pričvršćenje.



Tablica 6. Tehničke karakteristike robota za zavarivanje MOTOMAN-EA1400N [6]

Osi	Najveće područje gibanja, °	Najveća brzina vrtnje, sec <sup>-1</sup>	Najveći moment vrtnje, N/m	Najveći moment tromosti, kg·m <sup>2</sup>	Kontrolirane osi	6
					Najveća nosivost, kg	3
S	±170	150	-	-	Točnost opetovanog pozicioniranja, mm	±0,08
L	+155/-90	160	-	-	Najveće radno područje, mm	R=1390
U	+190/-175	170	-	-	Temperatura, °	od 0 do +45
R	±150	340	8,8	0,27	Vlažnost, %	20 – 80
B	+180/-45	340	8,8	0,27	Masa, kg	130
T	±200	520	2,9	0,03	Srednja priključna snaga, kVA	1,5

Način montaže: tlo, zid ili strop  
 Kod robota za zavarivanje MOTOMAN - EA1900N različiti su sljedeći podaci:  
 Najveće radno područje R=1904 mm, masa 280 kg te srednja priključna snaga 2,8 kVA. Veće radno područje za posljedicu ima i povećanje nekih geometrijskih veličina.

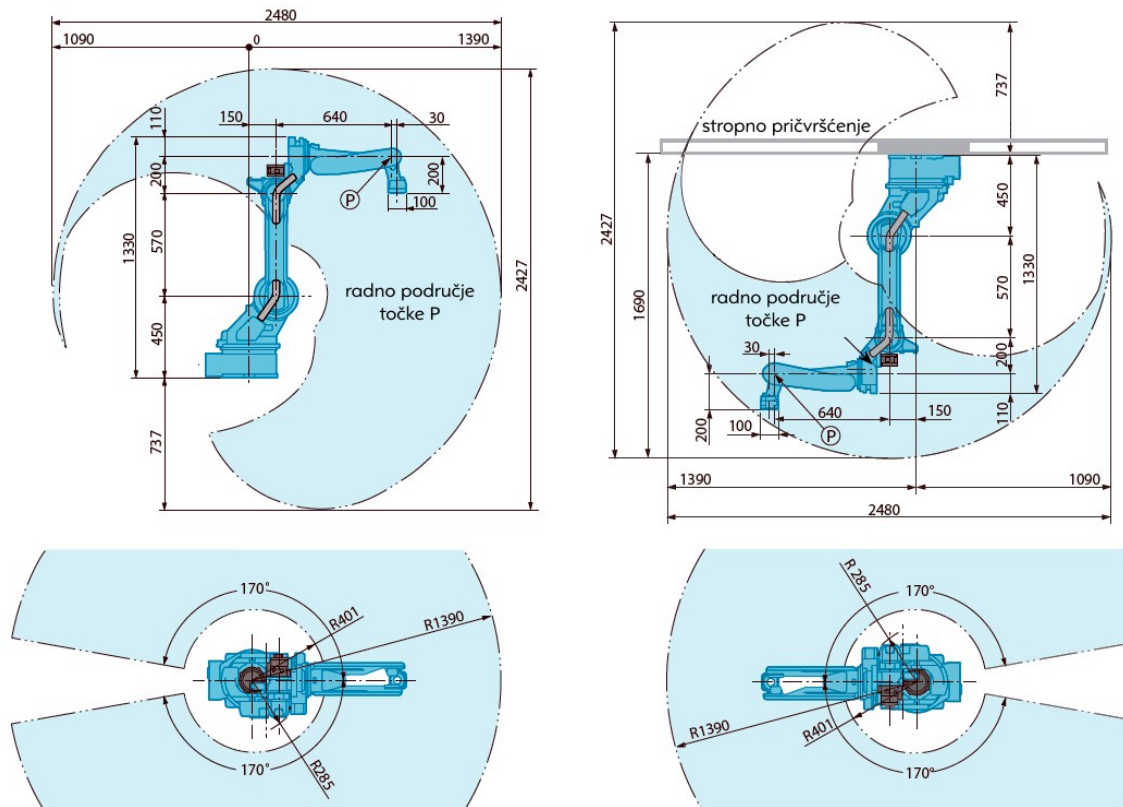


Slika 2. Šest kontroliranih osi i tipkovnica za njihovo programiranje kod robota za zavarivanje MOTOMAN - EA1400N [7]

## 7. ZAKLJUČAK

U prvom dijelu rada (od točke 1. do uključivo točke 5.) prikazan je teorijski rad koji je prezentiran 1995. u Zagrebu na 3. savjetovanju proizvodnoga strojarstva – CIM '95. U točki 6. prikazano je praktično rješenje robota za elektrodučno zavarivanje, koje u potpunosti zadovoljava teorijske postavke iz prethodnih točaka. Dakle, ovim radom željelo se pokazati da je još prije 12 godina prezentirana teorija mogućeg izbora robota za zavarivanje ovisnog o tipu zavarene konstrukcije, aktualna i danas. Naime, sukladno teorijskoj analizi i tehnološkoj pogodnosti robot za zavarivanje tvrtke MOTOMAN® EA1400N (i EA1900N) posebno je razvijen da zadovolji visoke zahtjeve kod industrijske primjene za velike serije i elektrodučno zavarivanje. Pored pokretljivosti i zadovoljenja svih uvjeta navedenih u tablici 2, ovaj robot ima integrirani paket crijeva gorionika koja prolaze kroz gornju ruku i os zgloba ruke, čime je osiguran bolji pristup napravama i komponentama koje se zavaruju. Ovakvo rješenje osigurava

visoku kvalitetu zavara kod svih tipova zavarenih konstrukcija (tablica 1), snažan električni luk, optimalan položaj gorionika, ravnomjeran polumjere naginjanja (povijanja) ruke te rotaciju od 360° bez poteškoća za ruku. Robot se može postaviti u vrlo malom prostoru, s mogućnošću pričvršćivanja za pod, zid ili strop. Na ovom primjeru je pokazana mogućnost sustavne teorijske analize ciljeva i potvrda njihove dobrote kod praktičnog (komercijalnog) rješenja robota za zavarivanje, s time da je opisani postupak primjenjiv i kod drugih problema.



Slika 3. Radno područje robota za zavarivanje MOTOMAN - EA1400N [6]  
 (slično je i za model MOTOMAN - EA1900N, samo malo veće zbog većeg  $R = 1904$  mm)

## 8. LITERATURA

- [1] Ergić, T. Konstrukcija specijalizirane manipulatorske šake za izradu malih spremnika, Magistarski rad, Zagreb, 1989.
- [2] Timošenko, A. V.; Suhomlin, A. A. Robotizacija svaročnovo proizvodstva, Tehnika, Kiev, 1988.
- [3] Kljajin, M. Metodička razrada koncepcionih varijanti rama okretnog postolja električne lokomotive, Magistarski rad, Zagreb, 1982.
- [4] Breiing, A.; Flemming, M. Theorie und Methoden des Konstruierens, Springer-Verlag, Berl-Heilderberg-New York, 1993.
- [5] Kljajin, M.; Ergić, T.; Ivandić, Ž. Izbor robota za zavarivanje uvjetovan konstrukcijom proizvoda, Zbornik radova/Proceedings 3. savjetovanja proizvodnoga strojarstva – CIM'95, Zagreb, 1995., str. C-35 – C-41
- [6] ... Informativno-promidžbene brošure tvrtke MOTOMAN robotec d.o.o., [www.motomanrobotec.si](http://www.motomanrobotec.si) (pristup 29.09.2007.)
- [7] ... NX100 Krmilnik, Navodilo za uporabu, MOTOMAN robotec d.o.o./YASKAWA, str. A/21