

# Oblikovanje procesa robotiziranog zavarivanja karoserije automobila

---

**Radić, Matija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:253118>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Matija Radić**

Zagreb, 2020g.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**OBLIKOVANJE PROCESA  
ROBOTIZIRANOG  
ZAVARIVANJA KAROSERIJE  
AUTOMOBILA**

Mentor:

Prof. dr. sc. Petar Ćurković, dipl. ing.

Student:

Matija Radić

Zagreb, 2020g.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. Petru Ćurkoviću i kolegama iz Metroleca na pomoći.

Matija Radić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

|  |         |
|--|---------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |         |
| Datum:   | Prilog: |
| Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3                                 |         |
| Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -                                   |         |

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MATIJA RADIĆ** Mat. br.: **0035202382**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Oblikovanje procesa robotiziranog zavarivanja karoserije automobila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of a car body robotized welding process**

Opis zadatka:

Robotska tehnologija sustavno se koristi u automobilskoj industriji u područjima montaže, bojenja, kontrole, te zavarivanja. Kod robotskoga zavarivanja najvažnije prednosti naspram ručnih metoda su preciznost, brzina te ponovljivost izvođenja operacije zavarivanja. Dodatno se ljude oslobađa izvođenja ponavljajućih radnji u potencijalno opasnoj i nezdravoj radnoj okolini.

Kako bi se uspješno u cjelokupni proizvodni proces integrirala robotska jedinica za zavarivanje neophodno je, između ostaloga, osigurati komunikaciju robota s ostalim dijelovima radne jedinice: upravljačkim računalom, transportnim elementima, senzorima, te ostalim izvršnim elementima.

U ovome je radu potrebno istražiti mogućnosti primjena različitih komunikacijskih protokola koji se koriste za komunikaciju industrijskih komponenata, te izvršiti njihovu poredbenu analizu i odabrati odgovarajući komunikacijski protokol.

Nadalje je potrebno, prema odabranome dijelu koji se zavaruje, oblikovati kompletnu robotsku čeliju, uspoređujući pritom ugradnju robota različitih proizvođača. Posebno je pri tome potrebno obratiti pozornost na mogućnost suradnje čovjeka i robota, odnosno osigurati sigurnost operatera koji može dijeliti radni prostor s robotom.


U odgovarajućem simulacijskom okružju (npr. RoboDK, RoboGuide, KukaSIM ili nekom sličnom) potrebno je generirati programske kodove i simulirati kretnje robota pri izvođenju operacije zavarivanja.

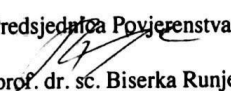
U radu je potrebno navesti literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
24. rujna 2020.

Rok predaje rada:  
26. studenog 2020.

Predvideni datum obrane:  
30. studenog do 4. prosinca 2020.

Zadatak zadao:  
  
doc. dr. sc. Petar Ćurković

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. UVOD.....</b>  | <b>7</b>  |
| 1.1. Općenito o robotici.....  | 7         |
| 1.2. Robotsko zavarivanje.....   | 8         |
| 1.3. Ciljevi projekta.....   | 10        |
| <b>2. PRVA FAZA – STUDIJA .....</b>                                      | <b>12</b> |
| 2.1. Ulazni podaci za planiranje radnog mjesta .....                     | 12        |
| 2.2. Radni prostor i međusobna komunikacija svih sudionika procesa ..... | 15        |
| 2.2.1. Povezivanje svih elemenata radnog prostora .....                  | 16        |
| 2.3. Sigurnost operatera .....   | 19        |
| 2.4. Cijelokupni radni proces .....                                      | 22        |
| 2.4.1. Tijek procesa u prvoj zoni.....                                   | 24        |
| 2.4.2. Tijek procesa u drugoj zoni.....                                  | 25        |
| 2.5. ROBCAD .....  | 27        |
| <b>3. DRUGA FAZA – INTEGRACIJA RADNE ĆELIJE U TVORNICI.....</b>          | <b>29</b> |
| 3.1. Kanali i cijevi za energetska opskrbu elemenata .....               | 29        |
| 3.2. PROFINET sigurnost.....   | 31        |
| 3.3. Interna robotska sigurnost.....                                     | 34        |
| 3.3.1. Sigurnosne zone kod robota tvrtke Fanuc.....                      | 36        |
| 3.3.2. Sigurnosne zone kod robota tvrtke Kuka.....                       | 40        |
| 3.4. Finalizacija programiranja putanja za zavarivanje.....              | 47        |
| 3.4.1. Učitavanje valjanog off-line koda.....                            | 47        |
| 3.4.2. Postavljanje komunikacije s PLC-om.....                           | 50        |
| 3.4.3. Servisne putanje i program za automatski mod robota.....          | 53        |
| <b>4. ZAKLJUČAK.....</b>   | <b>55</b> |
| <b>5. LITERATURA.....</b>  | <b>56</b> |

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1 Prikaz točkastog zavarivanja [8] .....   | 9  |
| Slika 2 Kliješta za zavarivanje [4].....   | 10 |
| Slika 3 Modeli automobila Clio i Twingo [9] .....                                      | 11 |
| Slika 4 Primjer izrade konstrukcije prema audijelovima u Catii .....                   | 13 |
| Slika 5 Primjer autodijelova sa zadanim zavarnim točkama i njihovim koordinatama ..... | 14 |
| Slika 6 Pravokutni oblik raspoloživog radnog prostora .....                            | 15 |
| Slika 7 Zone radnog prostora .....   | 16 |
| Slika 8 IO Kontroleri industrijskih robota Fanuc (lijevo) i Kuka (desno) .....         | 18 |
| Slika 9 PLC .....  | 18 |
| Slika 10 Prostor očitani barijerama .....  | 20 |
| Slika 11 Prostor očitani sick skenerom prostora .....                                  | 20 |
| Slika 12 Volumeni alata i konstrukcija .....   | 21 |
| Slika 13 Radni prostor robota i čovjeka .....  | 23 |
| Slika 14 Operacije zavarivanja u prvoj zoni .....                                      | 24 |
| Slika 15 Druga zona .....  | 26 |
| Slika 16 Modul za OLP u Robcad-u .....   | 28 |
| Slika 17 Zaštita i odvod kablova[4] .....  | 30 |
| Slika 18 Dovod fluida iz mreže[4] .....  | 30 |
| Slika 19 PROFINET komunikacija PLC-a i SICK skenera prostora.....                      | 31 |
| Slika 20 Rezolucija skeniranja .....   | 32 |
| Slika 21 Lista aktivnih alarma.....  | 32 |
| Slika 22 Simulacija skeniranog prostora u stvarnom vremenu (eng. real time ) .....     | 33 |
| Slika 23 Parametri zavarivanja.....  | 34 |
| Slika 24 Alat za kalibraciju userframe-a .....   | 35 |
| Slika 25 PROFINET konfiguracija .....  | 36 |
| Slika 26 Lista digitalnih ulaza.....   | 37 |
| Slika 27 DCS sistemski modul.....  | 37 |
| Slika 28 Opcije DCS modula .....   | 38 |
| Slika 29 Sigurnosni prostori robota.....   | 38 |
| Slika 30 Definiranje sigurnosnih prostora.....   | 39 |

---

|   |    |
|---|----|
| Slika 31 4D grafički prikaz .....                           | 40 |
| Slika 32 Prijava kao expert.....                            | 41 |
| Slika 33 Položaj konfiguracije sigurnosti u izborniku ..... | 41 |
| Slika 34 Konfiguracija sigurnosti.....                      | 42 |
| Slika 35 Dodavanje sigurnosnih volumena.....                | 43 |
| Slika 36 Dodavanje volumena za alat .....                   | 43 |
| Slika 37 Postavke sigurnosnog volumena.....                 | 44 |
| Slika 38 Definiranje sigurnosnog volumena .....             | 45 |
| Slika 39 Prikaz trenutne pozicije robota .....              | 46 |
| Slika 40 "Goli" off-line kod za Fanuc robota.....           | 48 |
| Slika 41 Off-line kod za KUKA robota (.src datoteka) .....  | 49 |
| Slika 42 Off-line kod za KUKA robota (.dat datoteka) .....  | 49 |
| Slika 43 Komunikacija s PLC-om (Fanuc) .....                | 51 |
| Slika 44 Komunikacija s PLC-om (Kuka) .....                 | 51 |
| Slika 45 Lista programa na robotu Fanuc .....               | 53 |
| Slika 46 Program za rad u automatskom modu.....             | 54 |



## POPIS KRATICA

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| CAD                         | oblikovanje s pomoću računala                     |
| DCS                         | sustav zaštite kod Fanuc robota                   |
| FRAME                       | referentni koordinatni sustav robota              |
| F1, G0, H0, L1, K1, M0 i N0 | oznake robota                                     |
| HMI                         | sučelje za komunikaciju čovjeka i stroja          |
| I/O                         | ulazi/izlazi (eng. input/output)                  |
| OLP                         | off-line programacija robota                      |
| PLC                         | programabilno logičko računalo                    |
| PROFINET                    | industrijski komunikacijski protokol              |
| SA                          | sigurno područje (eng. „Safety Area“)             |
| Tcp(f)                      | koordinatni sustav alata (eng. Tool center point) |
| TF050, TF071, TF111, TF112  | oznake zavarnih operacija                         |

## SAŽETAK

U radu je prikazan cijeli proces robotizacije točkastog zavarivanja karoserija vozila te niz izazova i problema koji se javljaju. Proces se odvio u tvornici *Revoz*, tvrtke *Renault*, na području Republike Slovenije.

Dani su početni uvjeti koje je tvrtka postavila i pomoću kojih se planirao cjelokupan proces automatizacije i robotizacije.

Plan radnog mjesta robota u tvornici je priložen, te će se analizirati radni prostori u kojima će pojedini roboti obavljati zadatke. Navedeni su svi elementi u otoku, te im je pridodana uloga u cijelom procesu robotizacije.

Nadalje, nakon početne faze studiranja, odnosno projektiranja cjelokupnog procesa, dan je detaljan opis implementacije cijelog procesa u tvornici.

Za kraj se evidentira vrijeme utrošeno na cjelokupan proces automatizacije/robotizacije procesa, te se iznose očekivanja od cijelog sustava.

Ključne riječi: točkasto zavarivanje, robot, robotizacija, sigurnost čovjeka, karoserija

## **SUMMARY**

This paper presents the whole automotive welding process of the vehicle body and a series of challenges and problems that arise. The process took place at the Revoz factory, Renault, in the territory of the Republic of Slovenia.

The initial conditions set by the factory and used to plan the entire process of automation and robotization are given.

A robot workplace plan in the factory is attached, and the workspaces in which individual robots will perform task will be analyzed. All the elements in the island are listed, and their role in the whole robotization process is added.

Furthermore, after the initial phase of studying, that is designing the entire process, a detailed description of the implementation of the entire process in the factory is given.

Finally, the time spent on the entire process automation / robotization process is recorded, and expectations from the entire system are presented.

Key words: spot welding, robot, robotization, human security, car body

## 1. UVOD

### 1.1. Općenito o robotici

Robotika je interdisciplinarno znanstveno područje koje se bavi projektiranjem, konstruiranjem, upravljanjem i primjenom robota. Zasniva se na mehatronici, te objedinjuje niz znanstvenih područja i disciplina, poput strojarstva, elektrotehnike, elektronike, automatike, računarstva i umjetne inteligencije. [2]

Prva ideja o robotima datira još od Leonarda da Vincija (1452–1519), koji je zamislio robota kao pokretni stroj u obliku lava. Međutim, termin robot uveo je 1920. češki književnik Karel Čapek (1890–1938) u svojoj drami R. U. R. (Rossumovi Univerzalni Roboti). Rabio je riječ robotnik (koja se može prevesti kao »rob, radnik« i sl.) te je zamišljen kao čovjekoliki stroj sa sposobnošću rasuđivanja. Riječ robotika uveo je Isaac Asimov (1920–1992) u svojoj znanstveno-fantastičnoj pripovijetki Izmotavanje (Runaround), objavljenoj 1942. Komercijalnu proizvodnju prvoga industrijskog robota naziva Unimate započeli su George Devol (1912–2011) i Joseph Engelberger (1925–2015) početkom 1960-ih u SAD-u. [3]

Pojam robota u današnjem vremenu asocira se na automatizirane strojeve višestruke namjene koji se sastoje od konstrukcije s pripadajućim pogonskim uređajima, senzora i upravljačkog uređaja. Dije se po stupnju pokretljivosti (statički i mobilni roboti), strukturi konstrukcije (mehatronički, biotronički i bioroboti), namjeni (industrijski, medicinski, edukacijski, podvodni, roboti za istraživanje svemira, vojni roboti, osobni roboti), veličini (makroroboti, mikroroboti i nanoroboti). Danas se najviše primjenjuju industrijski roboti, npr. u automobilskoj industriji za sastavljanje dijelova vozila, bojenje ili zavarivanje karoserije i dr. Roboti se osobito rabe u okruženju opasnom za čovjeka (podvodni roboti, svemirske robotske letjelice, roboti za razminiranje i dr.), kao sredstva unutarnjeg transporta, ali i za zabavu, natjecanja te kao dječje igračke. [2]

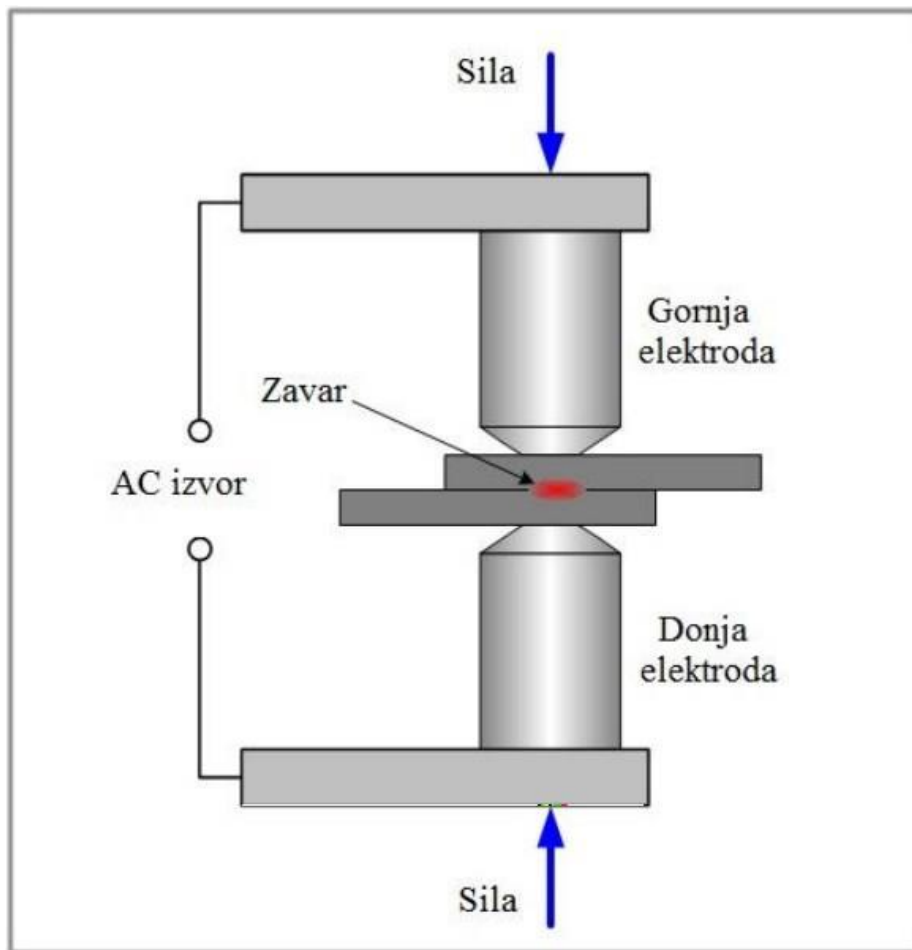
U ovom radu govoriti će se o industrijskim robotima, koji su okosnica automobilske industrije. Njihova produktivnost, ponovljivost, te rad u prostorima koji su opasni za čovjeka, postavlja ih u ulogu neizostavnog člana svake tvornice automobila.

## 1.2. Robotsko zavarivanje

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da se dobije homogeni zavareni spoj. Različiti izvori energije se mogu koristiti za zavarivanje, kao što je mlaz vrućih plinova (plinski plamen ili mlaz plazme), električni luk, tok nabijenih čestica (mlaz elektrona ili iona u vakuumu), tokovi zračenja (laser), električna struja (elektrootporno zavarivanje), trenje, ultrazvuk i sl. Zavarivanje se može obavljati u radionici, na otvorenom prostoru, u vodi ili u svemiru. [5]

Najpogodniji način zavarivanja u robotskoj tehnologiji (analogno tome i autoindustriji) je točkasto elektrootporno zavarivanje. Točkasto zavarivanje ili točkasto elektrootporno zavarivanje je preklopno zavarivanje taljenjem dvaju dijelova stegnutih između dviju elektroda, kroz koje se dovodi električna struja. Na dodirnom se mjestu obaju dijelova koji se zavaruju stvara Jouleova toplina, koja rastali materijal i talina se izmješa. Nastali zavar ima oblik točke, a presjek mu je u obliku leće. [6]

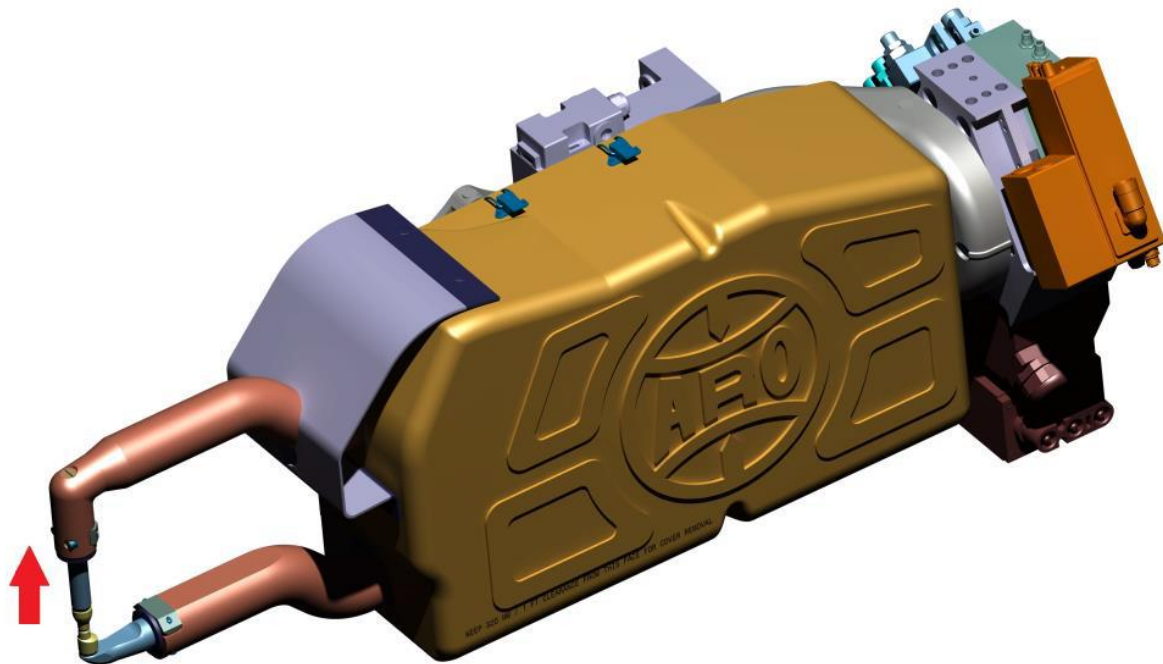
Da bi došlo do spajanja dva metala, odnosno do procesa zavarivanja, potrebno je ostvariti nekoliko uvjeta. Prije svega potrebno je postaviti izvor električne struje (transformator) relativno blizu mjesta zavara (kako bi bio što manji gubitak el.energije prilikom prolaska el. struje kroz vodiče). Zatim je potrebno na izvor struje implementirati dobre vodiče (najčešće bakrene) koji će zatvoriti strujni krug. Također, jedan od tih vodiča mora biti pokretan kako bi se mogla ostvariti sila između dva metala prilikom zatvaranja strujnog kruga. Dakle, za ostvarivanje sile i zatvaranje strujnog kruga potrebno je implementirati i aktuator ((servo)motor ili pneumatski cilindar). Kada su svi uvjeti ispunjeni i kada je došlo do pritiska dviju elektroda sa metalima, dolazi do taljenja metala zbog električnog otpora na vrhovima elektroda. Nakon toga slijedi naglo hlađenje metala (zbog hladnijeg okolnog medija), te se stvara zavareni spoj u obliku točke. Što su deblji metali koji se zavaruju, to je i veća jakost struje potrebna za stvaranje većeg el. otpora, odnosno veće topline koja se pritom oslobađa. U slučaju debljih limova, odnosno veće jakosti el. energije, potrebno je omogućiti i brže hlađenje metala, ali i vodiča koji zatvaraju strujni krug, da nebi došlo do njihovog taljenja. To se najčešće izvodi stalnim cirkuliranjem vode kroz vodiče i elektrode. [7]



Slika 1 Prikaz točkastog zavarivanja [8]

U dizajniranju autodijelova vodi se računa o debljini lima. Raspon debljine limova je 0.7 – 3.5 milimetara. Treba napomenuti da je 3.5 milimetra ekstremno debeo lim i takvi su vrlo rijetki. Prosjek je 1.5 milimetra. [4]

Kao što je već navedeno, točkasto elektrootporno zavarivanje najpogodniji je način zavarivanja limova karoserije automobila. Naravno, nije jedini način spajanja karoserije trajnim spojevima, ali je daleko najčešće izvođen način spajanja limova. Pogodan je iz razloga što su uvjeti potrebni za ostvarivanje takvog spoja lako ostvarivi, te je robotizacija takvih operacija postala neminovnost. Sve što je potrebno da se ispune gore navedeni uvjeti za ostvarivanje točkastog zavara ukomponirano je u kompaktan alat u obliku kliješta. Stoga je uvriježeno da se taj alat još naziva i kliješta za zavarivanje. Primjer takvih kliješta za zavarivanje prikazan je u obliku CAD modela na slici 2.



Slika 2 Kliješta za zavarivanje [4]

Na slici 2 može se uočiti kako je doista alat s kojim robot manipulira i zavaruje limove jako kompaktan. Na šestoj osi robota priključi se nosač koji će nositi cijeli sklop koji objedinjuje sve elemente alata za zavarivanje. Tranzistor i servomotor zaštićeni su plastičnom pregradom (na slici prikazana žutom bojom) te se osigurao od dodira čovjeka. Kliještima upravlja robot, preko posebnog upravljačkog uređaja koji dobavlja proizvođač kliješta (u ovom projektu tvrtka *Aro*)

### 1.3. Ciljevi projekta

U ovome radu pokazat će se jedan zahtjev za robotizacijom i njenu realizaciju od samog početka procesa do njenog završetka i puštanja u proizvodnju. Zahtjev za robotizacijom podnijela je tvornica automobila *Revoz* koja je u vlasništvu francuske tvrtke *Renault*, a cilj joj je smanjiti broj radnika, te poboljšati kvalitetu zavara, te u konačnici donijeti veći profit. Isto tako cilj im je učiniti svoju tvornicu konkurentnijom u odnosu na druge tvornice iste tvrtke, kako bi baš oni dobivali veći broj investicija i ulaganja.

Tvornica *Revoz* smještena je u Novom Mestu u Republici Sloveniji, te se u njoj proizvode dva modela automobila tvrtke *Renault*. Radi se o modelima *Twingo* i *Clio*. [4]

Konkretan zadatak u ovom radu biti će robotsko zavarivanje autodijeladijela na podnožju karoserije modela *Twingo*. Iz razloga o zaštiti prava koje tvrtka ima, neće se navesti ime toga dijela.



**Slika 3 Modeli automobila Clio i Twingo [9]**

Zadatak projekta je kompletna studija procesa zavarivanja od konstruiranja mehaničkih konstrukcija na kojima će se zavarivati, te svih ostalih elemenata radnog mjesta, pa do integriranja istih u tvornici, te će se obratiti pozornost na komunikaciji robota sa svim elementima radnog mjesta. Konstrukcijska rješenja će se zaobići i njih će se uzeti kao komercijalne elemente koji su napravljeni po narudžbi. Rad će se sastojati od 3 faze. Prva faza biti će studija u kojoj će se objasniti tijek procesa. Druga faza biti će integriranje radnog mjesta, što znači da će biti dani načini rješavanja komunikacije obrađene u fazi studija. U toj fazi biti će dana usporedba dva proizvođača industrijskih robota – Kuka i Fanuc. I za kraj će biti dani neki završni podaci i dojmovi nakon što je počela proizvodnja na tom radnom mjestu.



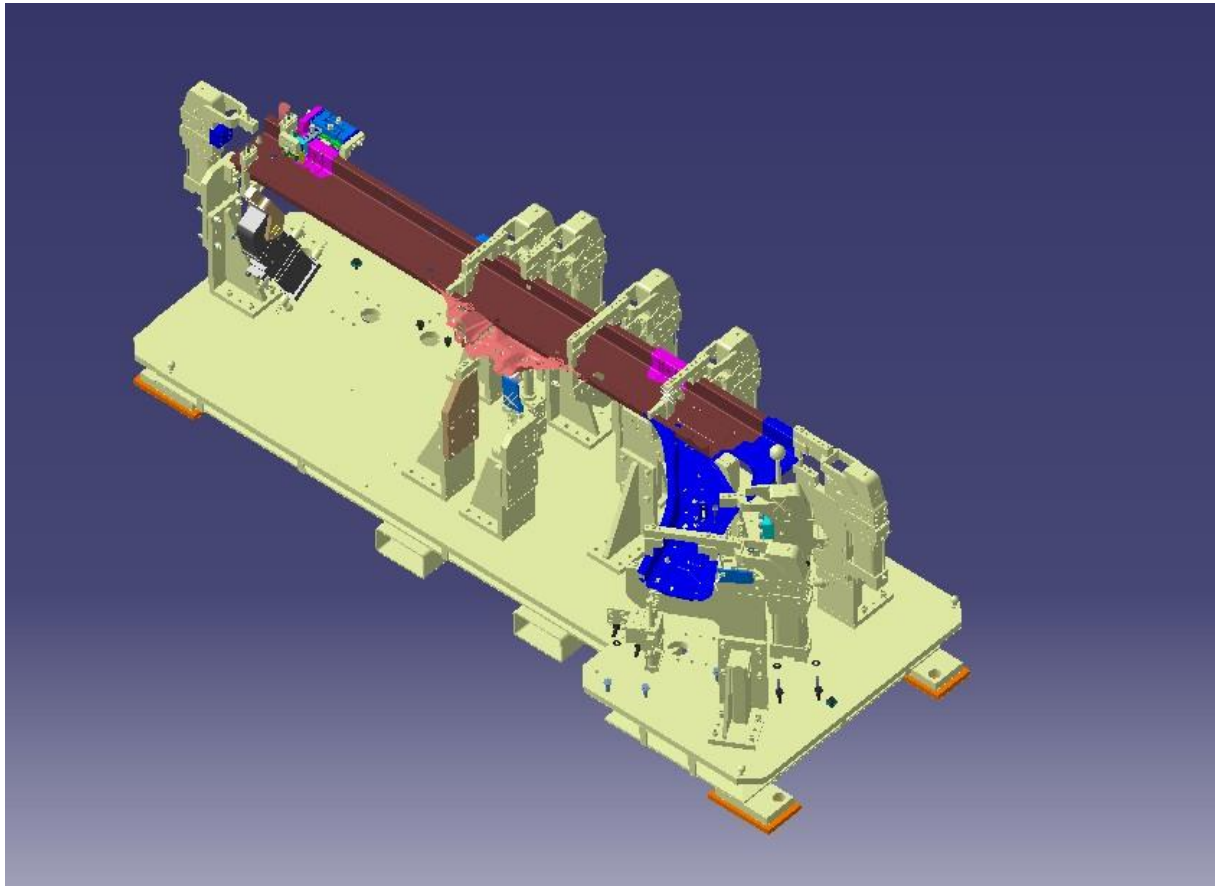
## **2. PRVA FAZA – STUDIJA**

Do trenutka kada se odlučilo o robotizaciji, operater je obavljao niz operacija da bi se zavario pojedini dio na karoseriji. Morao je vaditi točne dijelove iz određenih kontejnera i pripremati ih na zavarne konstrukcije. Zatim je trebao rukovati sa zavarnim kliještima i znati točno gdje su vodiči na konstrukcijama za zavarne točke. Naposljetku je trebao komunicirati sa upravljačkim dijelom, odnosno PLC-om, koji je otvarao, odnosno zatvarao pneumatske cilindre i primao informacije od senzora. Česti problemi kod ručnog zavarivanja su izostavljeni zavari, kada operater naprosto izostavi pojedine točke, ali isto tako i nekvalitetni zavari, što itekako utječe na završni proizvod. [4]

### **2.1. Ulazni podaci za planiranje radnog mjesta**

Proces ručnog zavarivanja, kao što je gore navedeno ima nekoliko faza. Prva je dobava dijelova (limova) koji se trebaju zavariti. Ako operater radi na nekoliko stanica, potrebno ga je upoznati sa redoslijedom zavarivanja pojedinih dijelova, kako se nebi dogodilo da se zavare autodijelovi na krivoj poziciji na karoseriji i time onemogućila montaža u kasnijim fazama. Nakon toga slijedi pozicioniranje dijelova na zavarene konstrukcije. [4]

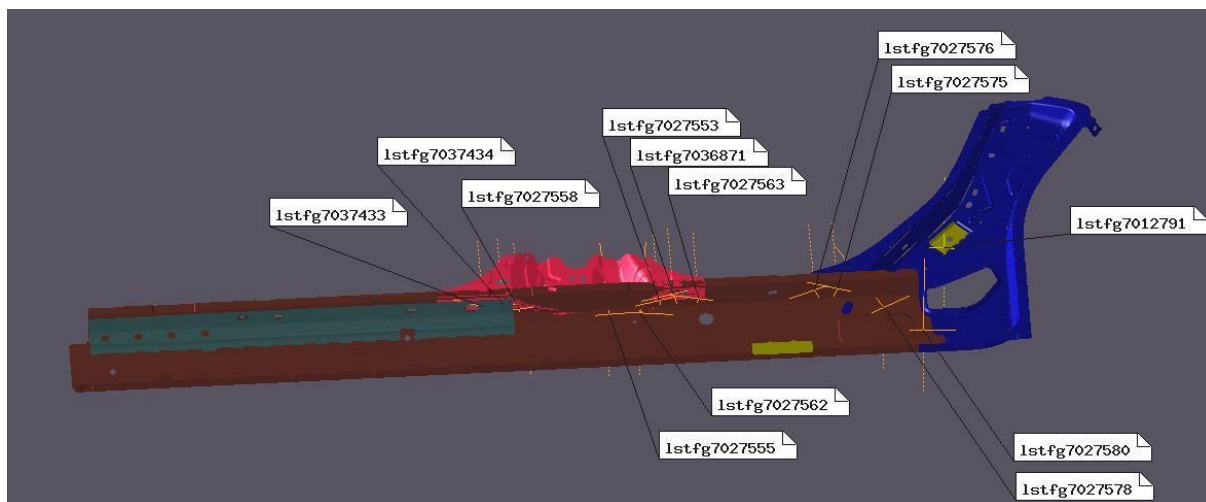
Prvi i najbitniji ulazni podatak kod projektiranja radnog mjesta u automatiziranom pogonu su stoga autodijelovi koji se zavaruju. Prema njima se planira oblik konstrukcija na kojima će se zavarivati, te ovisno o broju dijelova i broj radnih mjesta. Sama konstrukcija na kojoj se zavaruje jako je složen sklop preciznih mehaničkih elemenata koji rade u suradnji sa pneumatskim cilindrima i sensorima kojima se upravlja pomoću računala. Konstruiranje istih radi se u CAD računalnim programima, te se rade tehničke dokumentacije koje se šalju na izradu. U tvornici Revoz rabi se Catia CAD program, kao i u većini tvornica automobila diljem svijeta.



**Slika 4** Primjer izrade konstrukcije prema audijelovima u Catii

Drugi ulazni podatak koji je jednako važan kao i prvi, jer su međusobno ovisni jedan o drugome, je broj zavarnih točaka. Taj ulazni podatak diktira vrijeme izvođenja, a ovisno o brzini izvođenja ovisi i kompletna zarada tvornice. Poznato je još od vremena početaka industrijalizacije, za vrijeme naglog rasta proizvodnje Fordovih modela automobila, da je vrijeme novac. Za razliku od tog vremena, u današnjem vremenu radnici ipak imaju puno bolje uvjete rada, jer su se pojavili industrijski roboti. Upravo ti industrijski roboti su treći ulazni podatak u projektiranju radnog mjesta. Broj zavarnih točaka može uvjetovati broj robota, ako je tvornica zadala vrijeme izvođenja zavarivanja.

Ako je pak ulazni podatak broj dostupnih robota, kao u ovom slučaju, onda se nastoji prostudirati optimalan broj zavarnih točaka koji će svaki robot zavarivati. Tvornica je na skladištu za ovaj projekt imala na raspolaganju 8 robota. 4 robota proizvela je Japanska tvrtka “Fanuc”, a ostala 4 proizvedeni su od njemačko-kineske tvrtke “Kuka”.

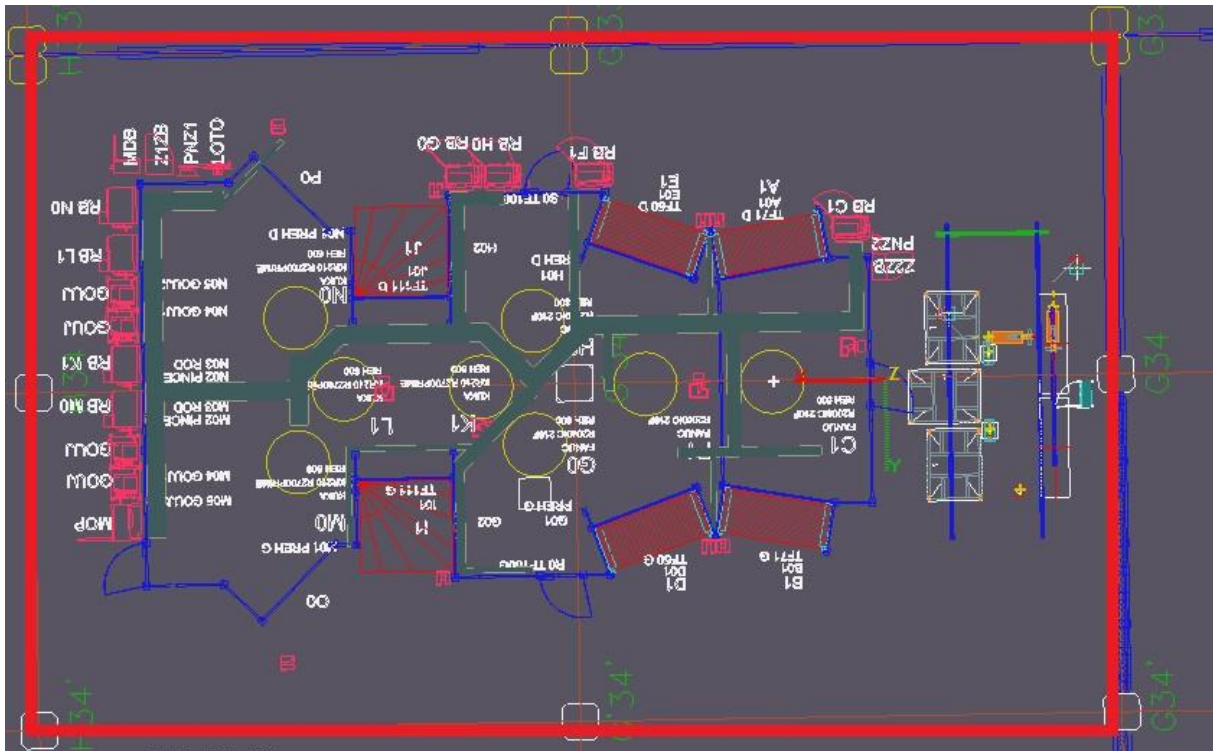


### UTIL D01- TF050G R4S

| Location Name | X        | Y        | Z       | Rx      | Ry      | Rz      | Member of / Attached to |
|---------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|-------------------------|
| 1stfg7002244  | 1747.000 | -653.720 | 170.269 | -1.163  | 2.765   | 67.173  | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfg7009353  | 1528.118 | -645.169 | 169.821 | 0.701   | 2.917   | 103.521 | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfg7005029  | 1192.737 | -640.489 | 169.576 | -0.353  | 2.979   | 83.245  | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfg7009345  | 1162.000 | -655.899 | 170.383 | 0.275   | 2.987   | 95.262  | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfl7038349  | 469.000  | -678.800 | 9.200   | 90.000  | -80.462 | 180.000 | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfl7038351  | 568.000  | -678.800 | 9.199   | -90.000 | -89.538 | 0.000   | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfl7028116  | 688.403  | -628.296 | 110.206 | -90.000 | -52.987 | 0.000   | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfl7028115  | 753.741  | -628.296 | 110.000 | 90.000  | -71.485 | 180.000 | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfg7009351  | 1417.497 | -629.500 | 154.799 | -90.000 | -82.838 | 0.000   | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfg7011943  | 1873.127 | -629.499 | 139.680 | 90.000  | -62.688 | 180.000 | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfg7019392  | 1943.000 | -629.500 | 78.749  | -90.000 | -85.312 | 0.000   | path f1_t_sr_tf50_g_r   |
| 1stfg7012791  | 1994.066 | -626.700 | 281.939 | -90.000 | -85.312 | 0.000   | path f1_t_sr_tf50_g_r   |

**Slika 5** Primjer autodijelova sa zadanim zavarnim točkama i njihovim koordinatama

Sljedeći ulazni podatak je fizički prostor koji je tvornica namjenila za ovaj proces. Ovisno o obliku istog, projektirao se razmještaj robota i veličina njihovog radnog djelokruga. Dakako, na cjelokupni radni prostor treba oduzeti i mjesto za skladištenje dijelova i prolaz viličara.

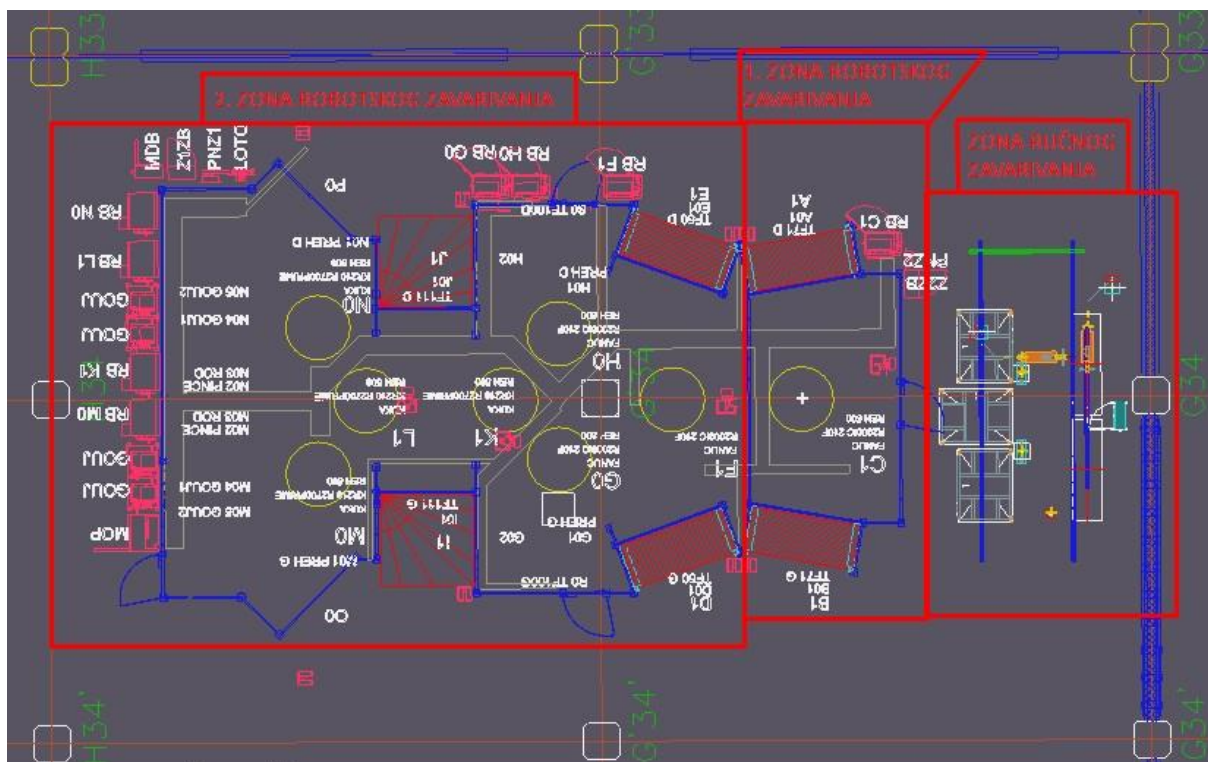


Slika 6 Pravokutni oblik raspoloživog radnog prostora

## 2.2. Radni prostor i međusobna komunikacija svih sudionika procesa

Proces će se sastojati od 3 zone. Prva zona i dalje će biti ručno radno mjesto, zbog jako zahtjevnih zavarnih točaka, koje bi uvelike otežale i usporile cijeli proces. Ostale dvije zone biti će robotizirane i ograđene. Projektiranje ovog procesa rađeno je u računalnom programu “Robcad” u vlasništvu tvrtke “Siemens”. Osim Robcad-a, još se koristi i “Process Simulate”, koji je također u vlasništvu njemačke tvrtke “Siemens”. U tom računalnom programu rade se kompletne studije, od postavljanja radnih mjesta, do samog off-line programiranja robota.

Kao što je vidljivo na slici 7. zone su međusobno blizu i u direktnoj su korelaciji. Ako se desi neka nepredviđena situacija u bilo kojoj od te tri zone, dolazi do kašnjenja i neispunjavanja norme, što naravno donosi gubitak tvornici. Stoga je od presudne važnosti imati kvalitetnu komunikaciju između svih zona.



Slika 7 Zone radnog prostora

### 2.2.1. Povezivanje svih elemenata radnog prostora

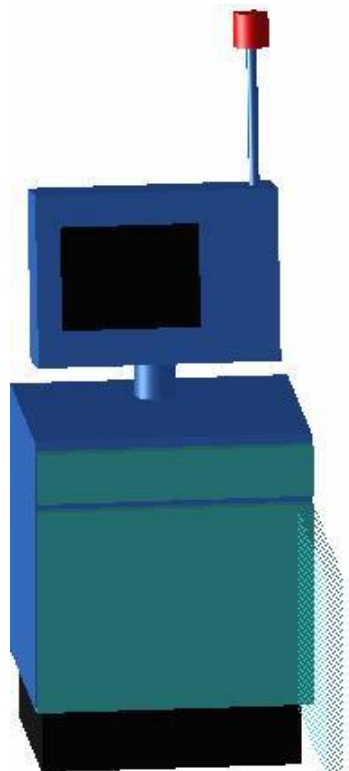
Da bi se ostvarila kvalitetna komunikacija između svih sudionika ovog procesa, potrebno je stvoriti lokalnu mrežu elemenata (LAN). U industriji se već duži niz godina koristi Ethernet lokalna mreža. Razlog sve češćeg korištenja ove tehnologije je veća brzina prijenosa, veća udaljenost uređaja, mogućnost povezivanja više uređaja na mrežu itd. Industrijski Ethernet podrazumijeva upotrebu Ethernet tehnologije u industrijskom okruženju uz protokole koji omogućavaju determinističku komunikaciju u stvarnom vremenu, a vodeći standard za industrijski Ethernet je PROFINET. Upravo se PROFINET (PRocess FIeld NETwork) koristio i u ovom projektu. Velika prednost PROFINET-a je mogućnost komunikacije u stvarnom vremenu (Real Time Communication), što je neminovno za ovakve procese. Soft Real Time vremena komunikacijskog ciklusa iznosi 4 – 10 ms. Također podržava postojeću mrežnu infrastrukturu (Ethernet kabele, switcheve, routere, itd.). [10]

PROFINET definiraju dva komunikacijska protokola: PROFINET CBA i PROFINET IO. Za potrebe ovog procesa koristio se, naravno, PROFINET IO protokol. U PROFINET IO mreži definirana su tri tipa uređaja: IO kontroler (IO Controller), IO uređaj (IO Device), te IO uređaj za nadzor (IO Supervisor). IO kontroler upravlja IO uređajima i u ovom slučaju to je PLC (eng. Programmable logic controller), te kontroleri industrijskih robota. PLC je digitalno računalo, njegov program se izvršava ciklično i sastoji se od čitanja ulaznih varijabli, izvršavanje programskog koda, te ispisivanja rezultata logičkih operacija na izlaze. On je ujedno i najvažniji element procesa, te o njegovom programu ovisi cijela Ethernet komunikacija. U ovom projektu se koristio PLC tvrtke "Siemens". IO uređaji su periferni uređaji koji procesiraju signale i prenose ih IO kontroleru ili IO uređaju za nadzor. Oni mogu biti senzori ili aktuatori. IO uređaj za nadzor služi za puštanje u pogon ili podešavanje parametara IO uređaja i najčešće je to vanjsko računalo ili HMI (Human to machine interface). Budući da svaki uređaj na Ethernet mreži ima jednako pravo pristupa, tijekom konfiguracije se definira tip uređaja koji onda određuje njegov način komunikacije. Svaki uređaj na PROFINET mreži ima MAC adresu, IP adresu i ime (device name). Također, svaki uređaj na PROFINET mreži mora imati jedinstvenu IP adresu i jedinstveno ime, a dodjeljuje ga IO uređaj za nadzor ili IO kontroler. IO kontroler može adresirati IO uređaj samo ako IO uređaj ima pridruženo ime (daje ga IO uređaj za nadzor). Prije uspostavljanja komunikacije s IO kontrolerom potrebno je u IO kontroler spustiti projekt s konfiguriranim IO uređajem. Informacije o komunikacijskim mogućnostima IO uređaja zapisane su u njegovoj GSD datoteci. Nakon uspostavljanja komunikacije IO uređaj i IO kontroler ciklički razmjenjuju podatke. [11]

Na slici 8 prikazani su modeli kontrolera industrijskih robota iz Robcad-a. IO (Input/Output) uređaji su razni senzori na robotu, te aktuatori (motori i drugi pretvarači energije) koji omogućuju kretanje robota i u konačnici zavarivanje. Na slici 8. prikazan je model PLC-a iz računalnog programa Robcad. Njegovi IO uređaji su razni senzori na konstrukcijama za zavarivanje, senzori za sigurnost operatera, te potvrdni uređaji za operatera. U mrežu su spojeni svi kontroleri, te se vrši konstantna real time komunikacija, u kojoj si kontroleri šalju informacije i izvršavaju zadatke.



**Slika 8 IO Kontroleri industrijskih robota Fanuc (lijevo) i Kuka (desno)**



**Slika 9 PLC**

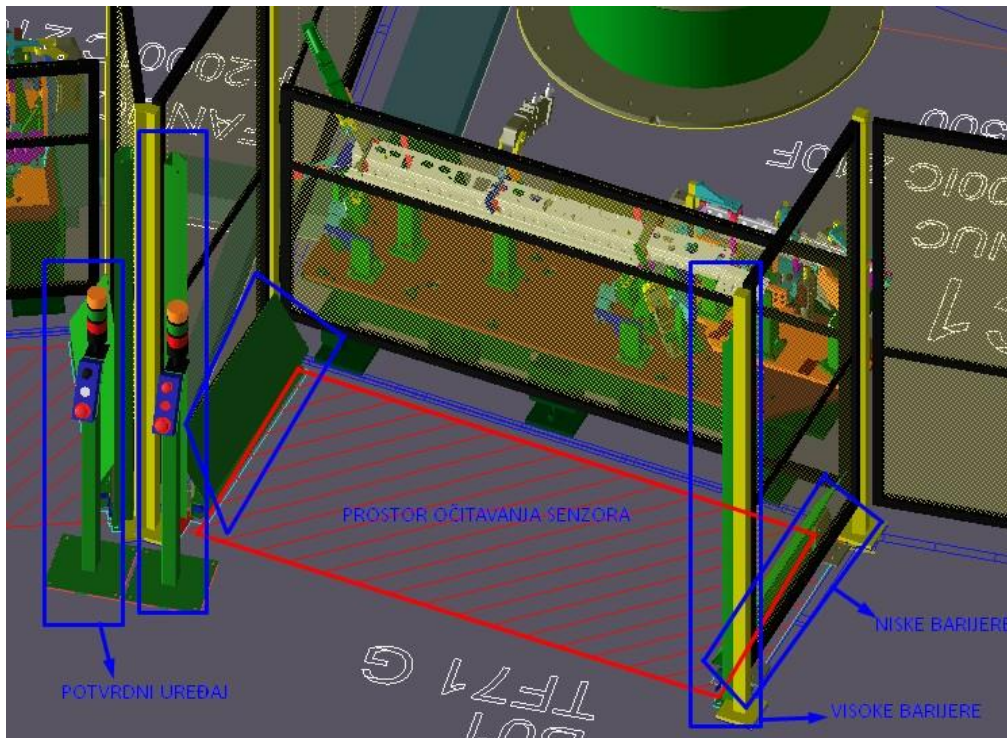
### 2.3. Sigurnost operatera

Kao što je već gore u tekstu navedeno, sigurnost za čovjeka je itekako na visokom nivou. Postoje razni standardi za sigurnost koji se razlikuju od tvornice, do tvornice i njih se jednostavno mora pridržavati. U tvornici Revoz postoje tri načina zaštite operatera. Prvi je elementarni i on se svodi na fizičku ogradu čovjeka od robota. Drugi je za robota eksterni način zaštite i njega čine senzori koji očitavaju prisutnost čovjeka na mjestu djelokruga robota. Senzorima upravlja PLC koji komunicira s robotima, te im daje signale za početak rada. Treći način je interna robotska sigurnost. Stariji roboti imaju unutarnje senzore koji očitavaju silu u servomotorima. To je funkcioniralo na način da bi se robot zaustavio kada bi sila premašila dozvoljenu vrijednost (odnosno kada bi u tijeku pomicanja udario u ogradu ili geometriju zavarne konstrukcije). Takav način zaštite nije više aktualan, jer će prvo doći do sudara (primjerice s čovjekom), pa tek nakon toga, robot će stati.. Zbog toga što je taj stari način nepovoljan, pojavljuje se novi način interne robotske zaštite. U studijama se definiraju volumeni u kojima bi čovjek mogao biti kada robot obavlja druge operacije i volumeni alata, te se, ako se volumen alata u njima pojavi, robot potpuno zaustavlja. Ti volumeni se kasnije unose u robotske kontrolere. Na ovaj način se totalno eliminira mogućnost da čovjek nastrada, čak i ako zakaže drugi način zaštite čovjeka. Taj treći način se uvriježio postavljati zbog toga što je čovjek totalno nepredvidiv element u procesu proizvodnje, te se nastoji u potpunosti izbjeći njegov dodir s robotom u kretnji. To utječe i na putanje zavarivanja, koje moraju izbjegavati te volumene, kada se rade druge operacije. Roboti kada izađu iz tih volumena, šalju informacije PLC-u, te se na taj način preko njega komunicira s drugim robotima.

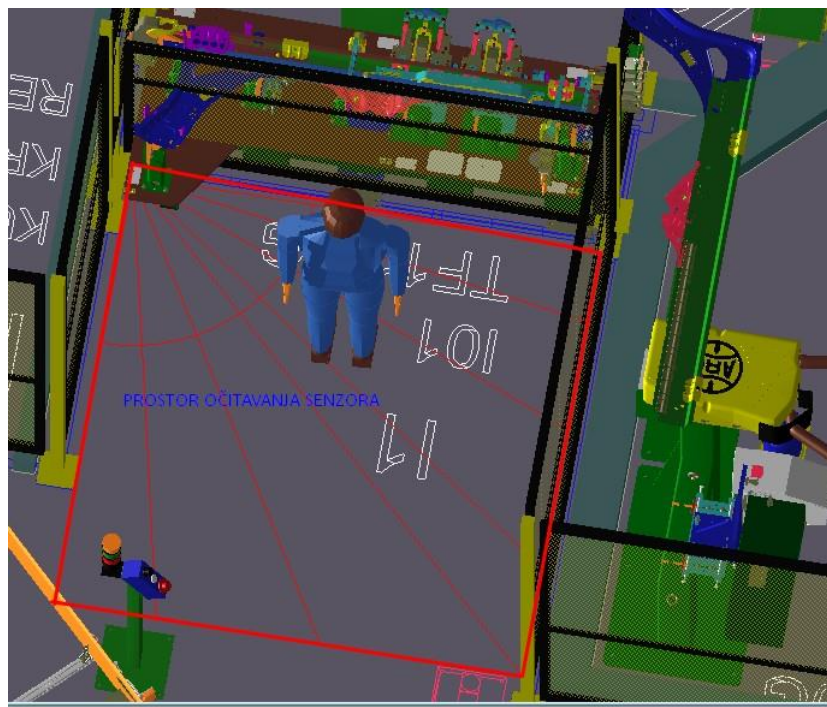
Na slici 10 i 11 prikazani su za robota eksterni načini zaštite čovjeka. Na slici 10 prostor je zaštićen barijerama. One funkcioniraju na način da je jedna strana barijere transmitter, a drugi primatelj laserske zrake, i sve dok je signal došao na stranu primatelja, to znači da u prostoru nema ničega. Kada netko prekine vezu među barijerama, PLC će primiti signal te poslati isti robotskom kontroleru da stane sa radom. Isto tako dok operater puni konstrukcija za zavarivanje sa dijelovima, senzori su neaktivni. Kada on završi sa tom operacijom, na potvrdom uređaju daje signalizaciju i senzori opet postaju aktivni.



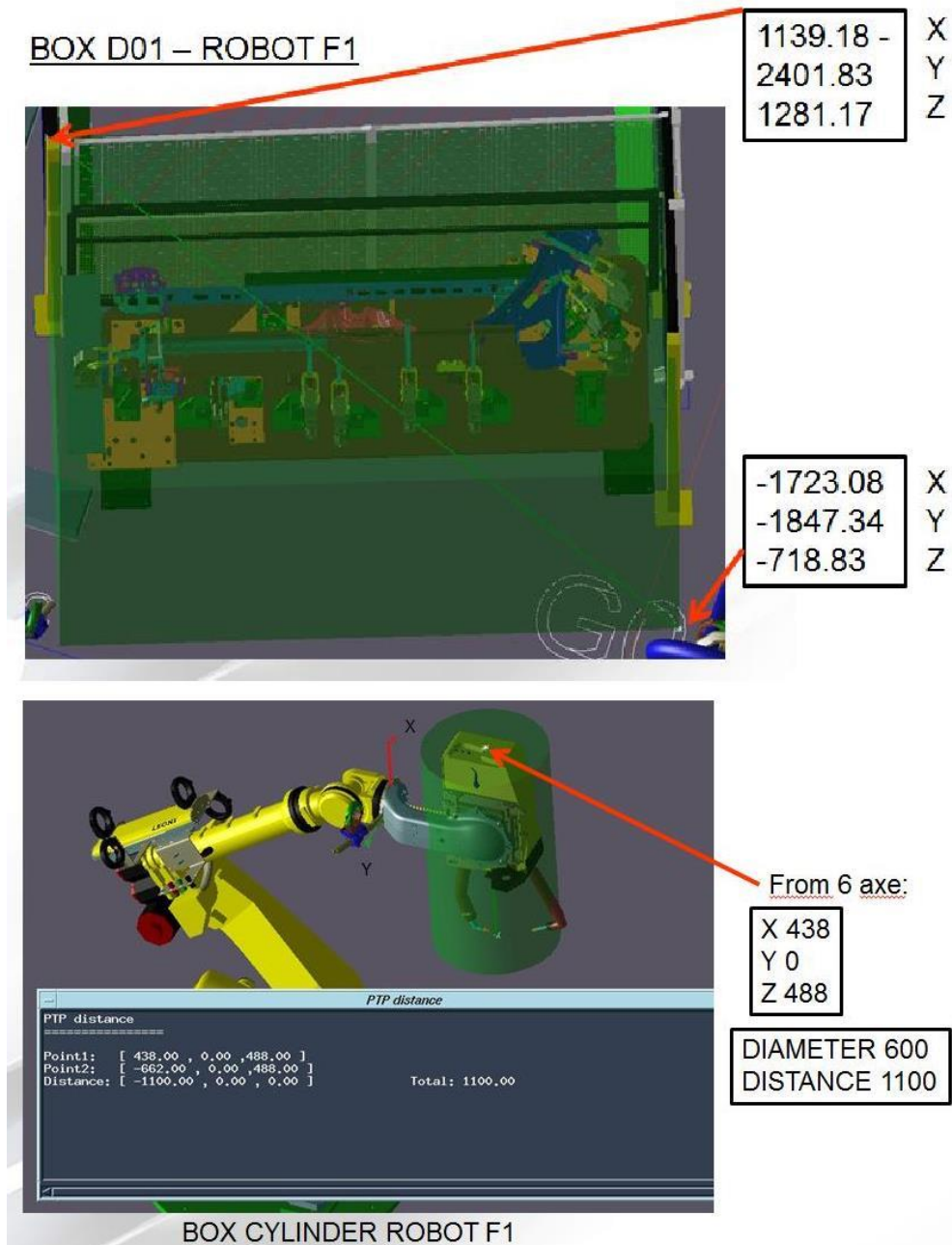
Na slici 11 prikazan je drugi način očitavanja prostora, a to je putem sick skenera prostora koji očitava 2D prostor koji definiramo na PLC-u. Ovaj način je sigurniji, ali isto tako zna usporavati proizvodnju, očitavajući i najmanji predmet na površini koju skenira, te tako zaustavljajući robota.



Slika 10 Prostor očitav barijerama



Slika 11 Prostor očitav sick skenerom prostora



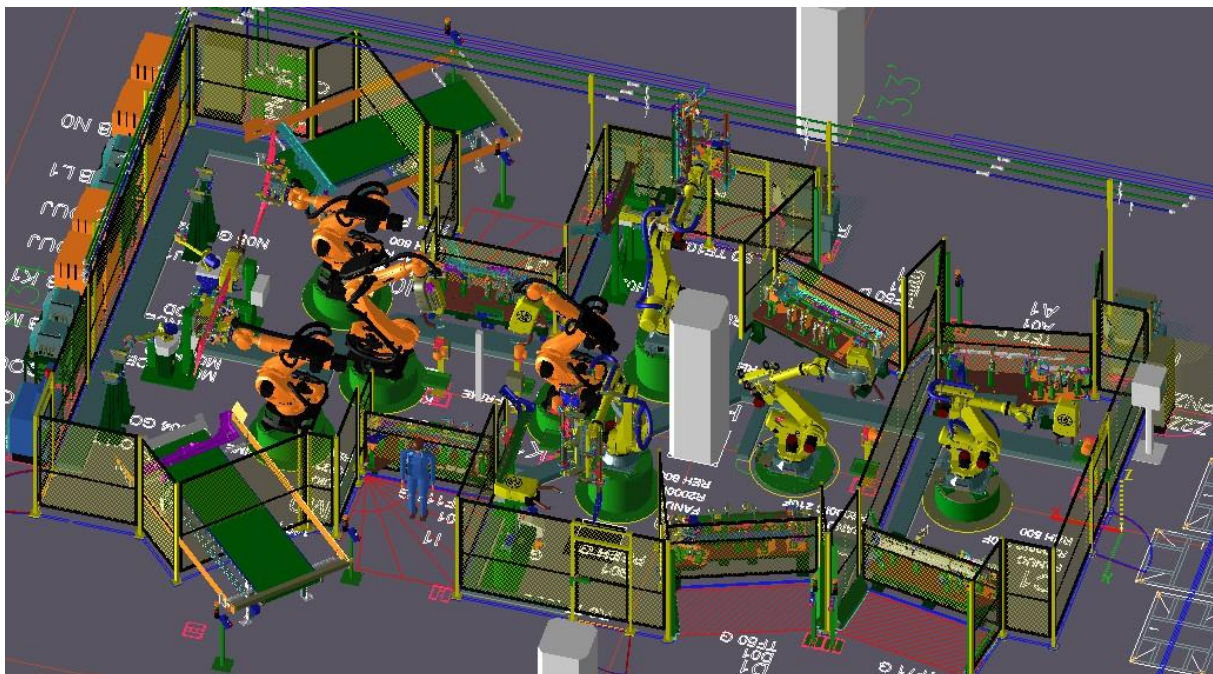
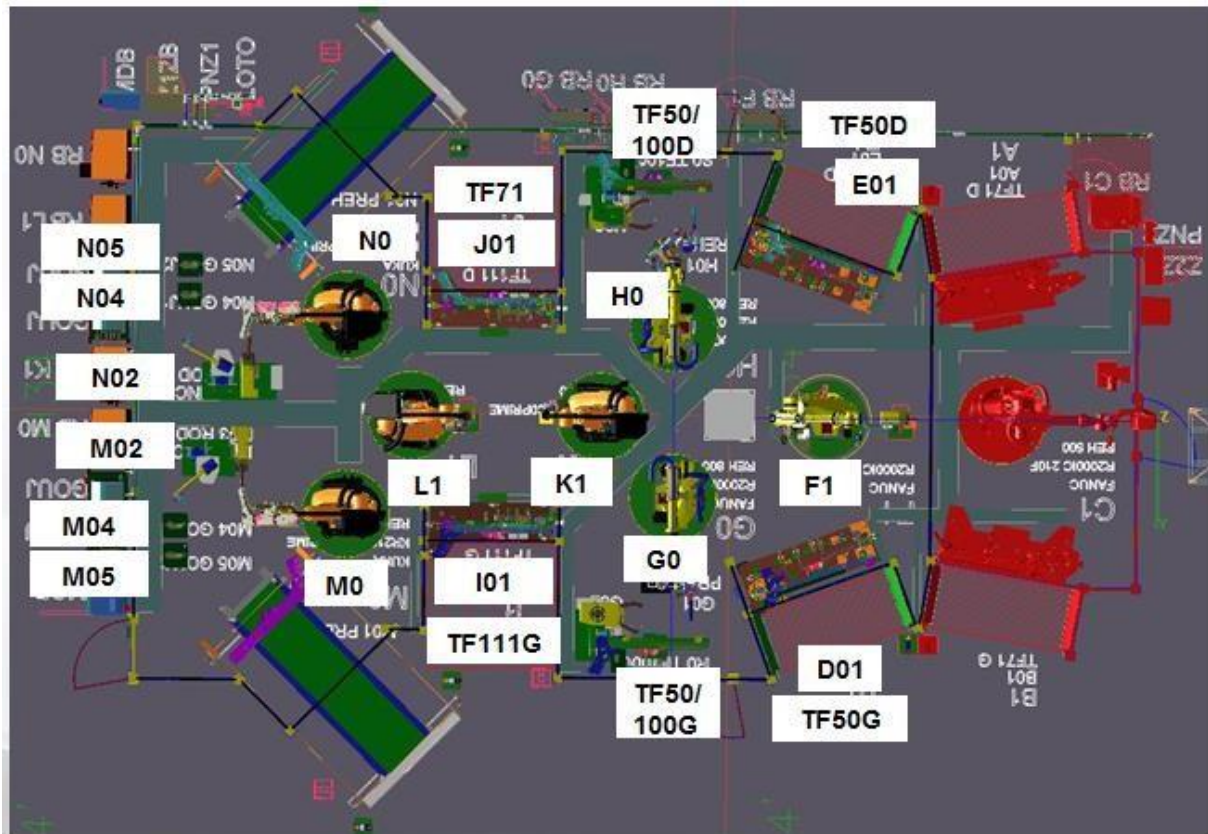
**Slika 12 Volumeni alata i konstrukcija**

Na slici 12 prikazani su volumeni na stroju za zavarivanje i na robotu (šestoj osi). Ovisno o potrebi uzimaju se odgovarajući oblici volumena. Najčešći oblici su pravokutni volumeni, za koje je dovoljno definirati dvije točke dijagonale pravokutnika (ishodište koordinatnog sustava je baza robota za koji se radi sigurnosni volumen). Uobičajeno je uzeti visinu 2 metra, duljinu 1.5 metra. Za alat (gripper ili zavarivačka kliješta na šestoj osi) najjednostavniji su oblici kugla, cilindar ili za velike grippere također pravokutnici. Ishodište je, dakako, na šestoj osi.

## 2.4. Cijelokupni radni proces

Kada se dogovorio najbitniji dio za čovjeka, a to je njegova sigurnost, vrijeme je da se prostudira najbitniji dio za tvrtku – robote. Već je gore u tekstu naveden način na koji će se svi elementi povezati u cijelinu, te koji su glavni ulazni podaci dobiveni za studiranje ovog procesa. Jedan od njih je broj robota na raspolaganju, a on iznosi 8. Po 4 od tvrtke “Fanuc” i tvrtke “Kuka”. Broj operacija koje će se izvoditi na radnom mjestu ovise o broju autodijelova koji se zavaruju, te naravno broju zavarnih točaka i mogućnosti njihovog izvođenja od pojedinog robota. Mogućnost izvođenja zavarnih točaka, dakako, uvjetuju zavarne konstrukcije na kojima se nalaze dijelovi. Naravno, kada bi se konstrukcije izrađivale potpuno nove, puno bi se bolje mogao optimirati broj zavarnih točaka koji svaki robot izvodi, ali konstrukcije su većinom modifikacije postojećih ručnih, na kojima se do tada zavarivalo. Konačno, nakon što se obavio prvi dio studija, a to su konstruiranje mehaničkih strojeva za zavarivanje u Catii, slijedi postavljanje svih elemenata u računalni program Robcad. U njemu se radi cjelokupna kinematika svih elemenata s mogućnošću kretnje, te se provjerava mogućnost izvođenja zavarnih točaka na pojedinom operacijskom mjestu. Time se konačno definira broj zavarnih točaka koje svaki robot izvodi i ovisno o njima radi se njihov položaj u radnom prostoru, te međusobni odnos sa susjednim robotom/ima.

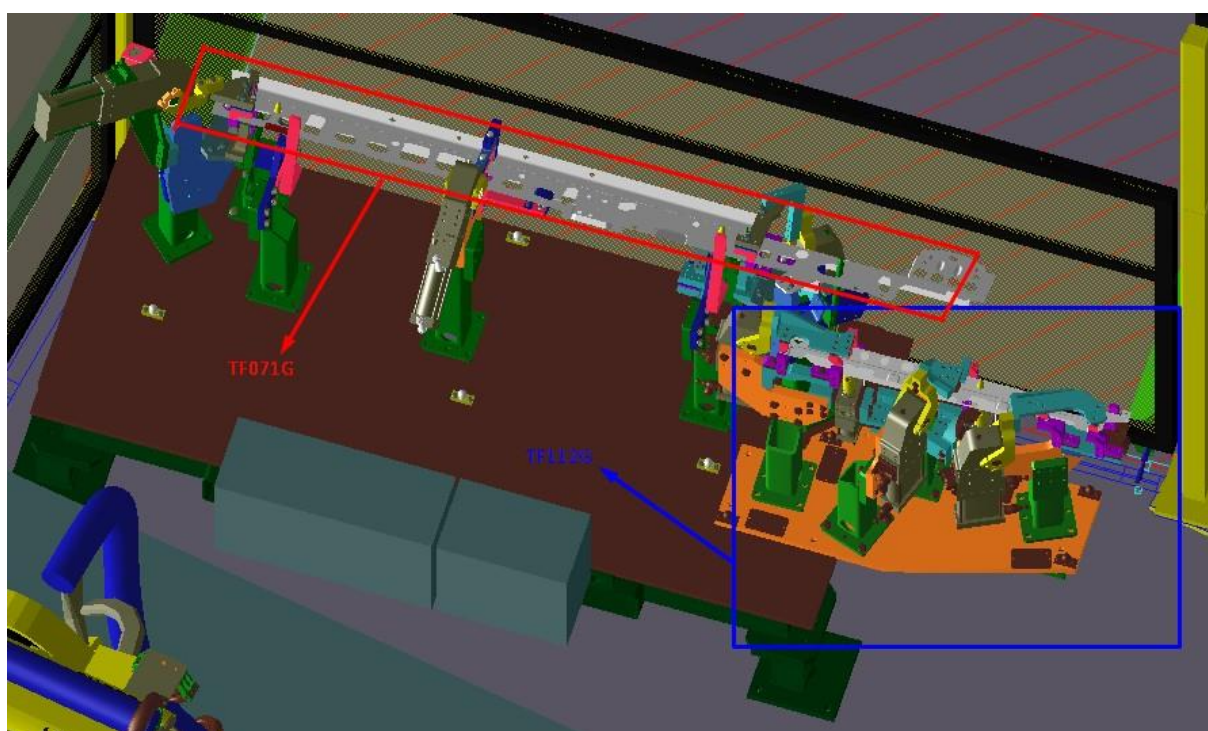
Na slici 13 prikazane su dvije međusobno ograđene zone robota. Prva zona je manja i u njoj se nalazi samo jedan robot, dok se u drugoj zoni nalaze ostali roboti. Razlog zbog kojeg su zone odvojene je taj što se u zoni jedan radi samo jedna varijanta autodijela (prvi ulazni podatak) koja ne postoji kod ostalih i ona je neaktivna kada se rade ostale varijante u drugoj zoni. U drugoj zoni se rade sve varijante autodijelova, jer su male razlike među njima i konstrukcije su prilagođene svim varijantama. U ovoj zoni je od presudne važnosti imati optimalnu komunikaciju između robota, jer su oni u neposrednoj blizini i potpuno su ovisni jedni o drugima. Tako, ako jedan zaostaje, cijeli proces će se usporiti. Naravno i čovjek je itekako bitan faktor, jer i on svojom brzinom postavljanja elemenata i izvršavanja određenih ručnih operacija utječe na cjelokupni ciklus. Nebrojeno puta je već navedeno da je vrijeme novac, stoga je neminovno napraviti optimalne uvjete rada za čovjeka i robota.



Slika 13 Radni prostor robota i čovjeka

### 2.4.1. Tijek procesa u prvoj zoni

U prvoj zoni, zavaruje se samo jedna varijanta autodijela (lijeva i desna strana) s dvije faze. Prvu i drugu fazu čovjek puni istovremeno, budući da je malo prostora u zoni, te su konstrukcije na koje se postavljaju dijelovi u neposrednoj blizini, te ih robot zavaruje jednu, nakon druge. Treba naglasiti da je na cijelom otoku jedan operater sa svake strane. Obje strane se izvode u isto vrijeme i nastoji se izjednačiti ciklus obje strane, tj. nastoji se napraviti totalnu simetriju.



Slika 14 Operacije zavarivanja u prvoj zoni

Na slici 14 prikazane su faze zavarivanja u prvoj zoni. Iz imena, odnosno broja operacije kojeg nosi u imenu, može se iščitati koja je sljedeća faza na koji će se autodio staviti za zavarivanje. Dakle, TF071 se stavlja na konstrukciju TF050 (jer se nastavlja nakon nje), a TF112 se zavaruje nakon faze TF111. Sufiks G u imenu označava da se radi o lijevoj strani autodijela, dok sufiks D označava desni autodio na karoseriji.

### 2.4.2. Tijek procesa u drugoj zoni

U drugoj zoni dešava se najveći dio proizvodnje i on je zapravo bio povod izrade ovog rada.

U zoni je sveukupno sedam robota. To su redom, F1, G0, H0, L1, K1, M0 i N0. Treba naglasiti da su roboti G0 i H0, te M0 i N0 potpune simetrije, te kao takve nemaju nikakav međusobni odnos (osim fizičke blizine). Već ranije je navedeno da se nastoji izjednačiti ciklus obje strane, izradom simetričnih relacija, stoga nema smisla obraditi interakciju i lijeve i desne strane autodijela. Prema tome, roboti koji su u međusobnoj interakciji na desnoj strani su redom: F1, H0, L1, K1 i N0. Roboti koji imaju broj 1 uz slovo su roboti sa kliještima za zavarivanje, a oni sa brojem 0 imaju gripper. Roboti sa kliještima za zavrivanje, dakle, zavaruju dijelove na konstrukciji, dok roboti s gripperima prihvaćaju dijelove sa prethodnih konstrukcija, zavaruju na vanjskim zavarnim kliještima, te odlažu dijelove na sljedeće faze zavarivanja.

Cjelokupni proces zavarivanja u drugoj zoni mogao bi se opisati na sljedeći način:

Čovjek puni konstrukciju TF050D s dijelovima. Nakon što čovjek potvrdi da je stavio dijelove, PLC šalje robotskom kontroleru F1 event da je sve spremno za zavarivanje. Robot po završetku zavarivanja, dolazi u poziciju izvan unesenog sigurnosnog prostora, te šalje signal PLC-u da je gotov s radom, te da je na sigurnoj poziciji. PLC prosljeđuje signal robotu H0 s gripperom. Ovaj robot prihvaća dijelove s konstrukcije TF050, te nosi dijelove na zavarivanje vanjskim kliještima. Pritome, PLC je upravljao konstrukcijom sa sljedeće faze, na kojoj se otvaraju cilindri i piloti, te je ona spremna za odlaganje dijelova na nju. Robot H0 nakon što je zavario dio, ostavlja isti na sljedeću fazu TF111. Nakon što je odložio dio, robot H0 se vraća izvan sigurnosnog prostora te šalje signal PLC-u. PLC daje signale robotima K1 i L1, koji istovremeno zavaruju dio. Između njih treba biti real time komunikacija preko PLC-a, jer se ne smije dogoditi sudar dvaju robota. To se vrši na način da se unaprijed prostudiraju točke koje se mogu zavarivati u isto vrijeme, a kada oba robota dođu u točke koje su kritične, jedan od njih stane, dok se drugi ne udalji dovoljno daleko, te pošalje signal PLC-u da je ušao u sigurno područje rada za oba robota. Kada oba robota završe sa zavarivanjem i udalje se izvan sigurnosnog prostora, šalje se signal PLC-u, koji otvara cilindre na konstrukcijama.

Nakon toga čovjek dobiva signal od PLC-a da je spremno, te da može staviti nove dijelove, te ručno zavariti matice na autodijelovima. Kada završi sa zavarivanjem, izlazi iz sigurnosnog prostora te potvrđuje da je završio. PLC, nakon što dobije potvrdnu informaciju od senzora da su matice zavarene, otvara konstrukciju i šalje signal robotu N0 da može pokupiti dio. N0 prihvata dio s gripperom, izlazi iz sigurnosnog prostora, te odnosi dio na zavarivanje posljednjih točaka. Nakon što je zavario posljednje točke, još odnosi dio na stroj za zavarivanje zakovica. Kada i zakovice budu zavarene, robot N0 ostavlja dio na pokretnu traku, koja ga iznosi iz robotske radne ćelije. Senzor na kraju trake očitava dio, te PLC daje signal čovjeku da je spreman uzeti autodio. Treba naglasiti da se proces iznova nastavlja čim prvi robot F1 zavari drugu stranu, a ne kada se autodio izvadi s pokretne trake. To znači da čovjek treba biti itekako spretan i brz, te dobro poznavati cijeli ciklus, kako niti jedan robot nebi čekao, te kako bi norma bila ispunjena.



Slika 15 Druga zona

## 2.5. ROBCAD

Prije nego se prijeđe na fazu integracije radne ćelije u tvornici, valjalo bi proći osnovne podatke koje je potrebno dostaviti robotičarima sa off-line računalnog programa "Robcad".

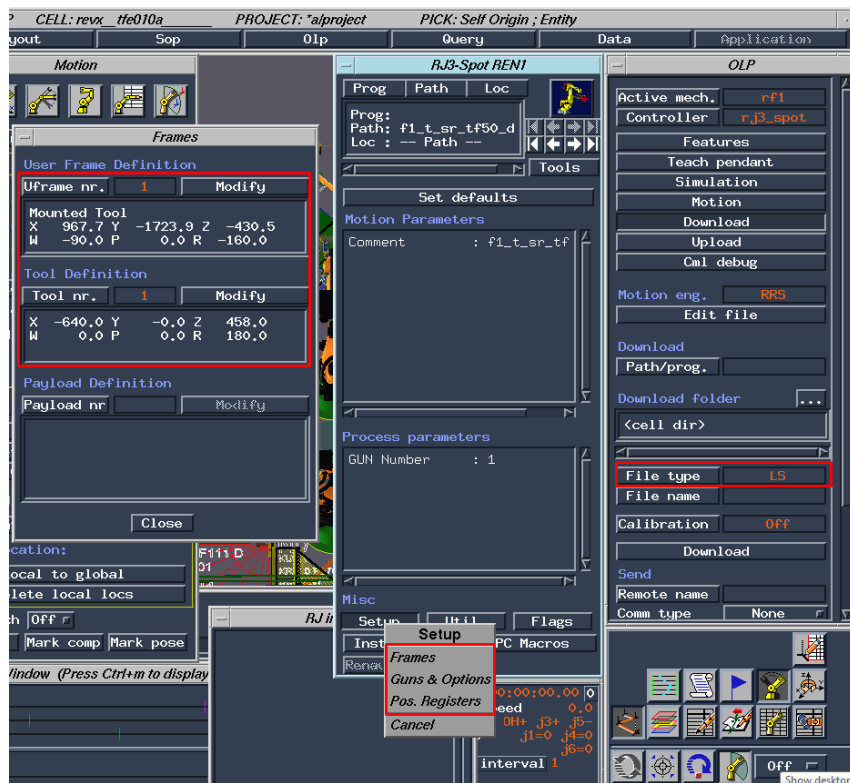
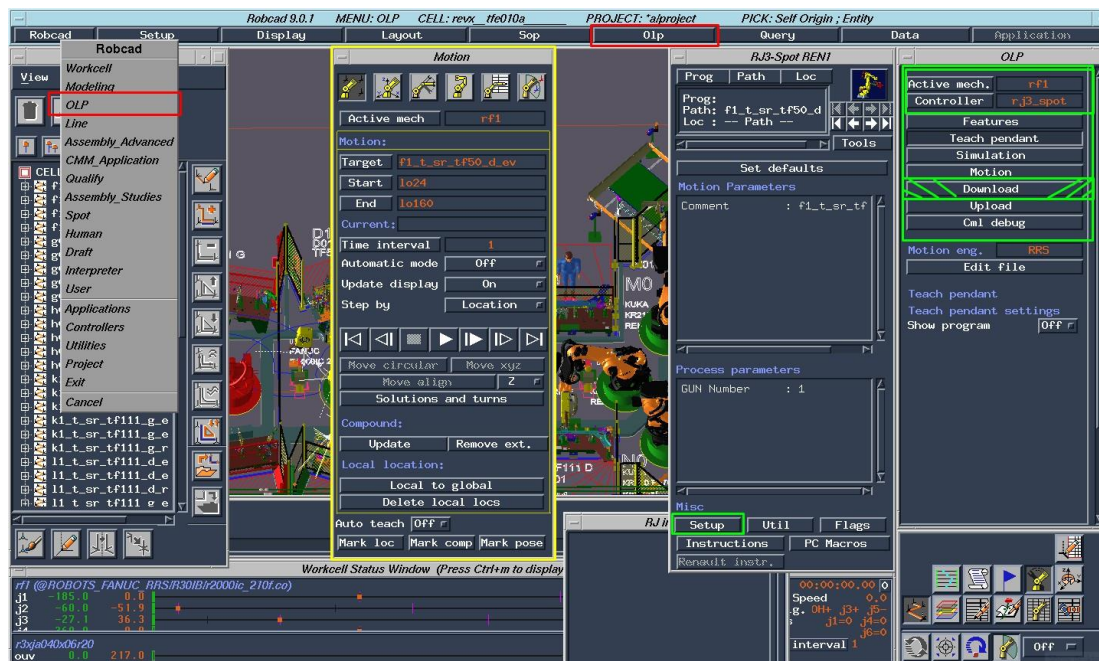
Da bi robotičari dobili sve potrebne podatke za uspješnu on-line programaciju direktno na robotu, potrebno je dobro poznavati ovaj off-line računalni program. Kada se postave svi elementi na svoje mjesto, počinje programacija putanja koje će pratiti gore navedeni proces. To se radi u OLP modulu u Robcad-u. Prvo se unose ulazni podaci u obliku zavarnih točaka, koje se "zalijepe" na autodijelove. Nakon toga definira se "userframe", koji je zapravo ishodište autodijela koji se zavaruje na konstrukciji. Tako se svakoj konstrukciji s autodijelom treba pridodati njen userframe. Kada je riječ o tcpf-u, odnosno koordinatnom sustavu alata, on se definira na točki na zavarnim kliještima, na kojoj nastaje zavar. Kada je pak, riječ o griperima koji nose autodijelove, kod njih je stvar bitno drukčija. Zavarne točke se također "lijepu" na autodio, ali je on na gripperu, pa je tcpf zapravo ishodište autodijela kojeg nosi. U tom slučaju userframe je točka preklapanja vanjskih zavarnih kliješta.

Nakon što se svakom elementu dodjeli njegov frame, kreće spajanje zavarnih točaka prolaznim točkama. Postoje dva tipa gibanja robota između točaka. To su joint gibanja i linearna gibanja. Joint gibanja su manje precizna gibanja u kojima se robot kreće prema aproksimiranoj putanji uz najmanji utrošak energije. Linearno gibanje je gibanje robota od jedne do druge zadane točke po najbližoj mogućoj putanji. Linearno gibanje dosta usporava robota, te se stoga maksimalno izbjegava. Koristi se samo na jako uskim prolazima s konstrukcijom.

Na slici 16 vidljiv je izgled prozora u Robcad-u. Na gornjem dijelu žutom bojom prikazan je modul za kinematiku robota. Tim modulom se upravlja robotom i prave prolazne točke, odnosno putanje. Kada se završi programiranje putanje (pazeći pritom na kolizije sa bilo kojim elementom, te na sigurnosne prostore), kreće izrada off-line programa. Njega ćemo dobiti u modulu OLP, kao što je crvenom bojom prikazano na gornjem dijelu slike. U modulu OLP definiramo robota s kojeg želimo skinuti off-line putanje, te otvaramo njegov teoretski teach pendant.



U njemu definiramo toolframe-ove i userframe-ove, te globalne točke u registrima. Kada smo svim putanjama pridjelili pripadajuće frame-ove, slijedi ispis programskog koda. Za Fanuc, OLP je datoteka sufiksa .LS, dok se za Kuku ispisuju dva tipa datoteka. Jedna je.dat datoteka i u njoj su sadržane koordinate točaka, dok je druga .srt i u njoj je sadržan program.



Slika 16 Modul za OLP u Robcad-u

### 3. DRUGA FAZA – INTEGRACIJA RADNE ĆELIJE U TVORNICI

Kada se obavio najzahtjevniji dio posla, odnosno planiranje cijelog procesa, kreće se sa integracijom svih elemenata u tvornici. Za početak se počinje laserom iscrtavati 2D pozicije svih elemenata iz .jt formata. Nakon toga se postavljaju svi elementi.

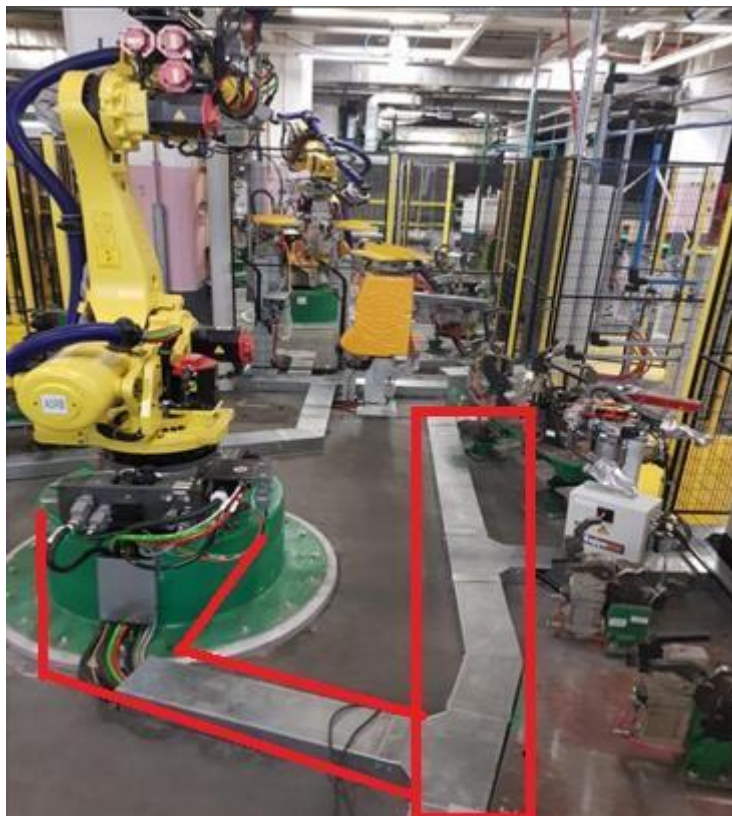
#### 3.1. Kanali i cijevi za energetske opskrbu elemenata

Da bi uopće moglo doći do bilo kakve komunikacije između elemenata radnog prostora, potrebno je elemente fizički povezati, te ih opskrbiti potrebnim energetskim resursima. Za normalan rad robota potrebno je radni prostor što više osloboditi i omogućiti robotu da nesmetano obavlja svoj zadatak. Najčešći slučaj oštećenja robota je sudaranje robota sa nekom geometrijom unutar njegovog radnog djelovanja ili „zamotovanjem“ i „čupanjem“ kablova oko robota prilikom rotacije. Dakako, to uvelike ovisi o putanji koju su mu programeri zadali, ali da bi sve prošlo bez većih posljedica za robota i programera, pokušava se uredno odvoditi kablove za napajanje i upravljanje robota i ostalih IO uređaja .[4]

Kako su upravljačke jedinice uglavnom izvan otoka, unutar otoka se rade limeni kanali planski postavljeni oko uređaja i izvedeni izvan zatvorenog prostora ka svojim upravljačkim jedinicama. Isto tako svi kablovi se vežu i štite u raznim polimernim cijevima otpornima na visoku temperaturu. Tako su i sami kablovi zaštićeni od oštećenja, jer je robot u stalnom doticaju sa iskrama nastalim zavarivanjem. Poprilično je bitno kablove zaštititi da se ne dogodi neko oštećenje, jer i najmanja stanka je u autoindustriji veliki trošak. . [4]

Osim električne energije, neki uređaji su pneumatski i potrebno ih je opskrbiti fluidom. Za razliku od kablova i električne energije, dovod fluida je malo kompleksniji i potrebna je puno šira planska slika. Kako su zrak i voda po cijeloj tvornici provedeni po stropu, potrebno je spojiti se na tu mrežu i pomoću pneumatskih elemenata (ventili, razdjelnici, regulatori tlaka i dr. ) dovesti ih iz mreže i prilagoditi energetski nivo samim uređajima. Zbog lakše logistike, u tvornici su cijevi za dovod zraka obojeni plavom, a cijevi za dovod vode zelenom bojom. . [4]

Na slici 17 vidimo kako su se kablovi odvodili unutar limenih tunela i tako učinili radni prostor robota puno urednijim. Na slici 18 se mogu uočiti cijevi iz mreže, te ventili kojim se upravlja dovod prema uređajima. [4]



Slika 17 Zaštita i odvod kablova[4]

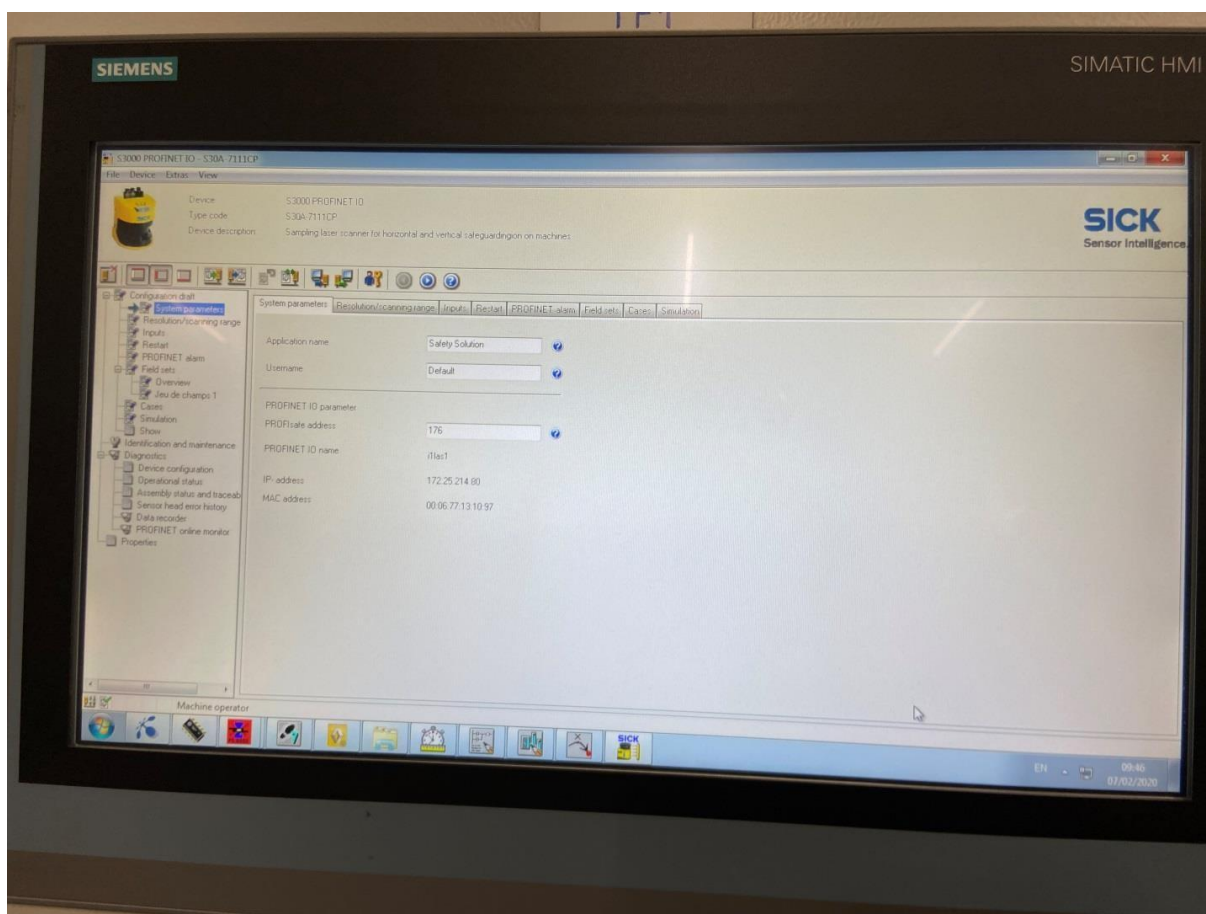


Slika 18 Dovod fluida iz mreže[4]

### 3.2. PROFINET sigurnost

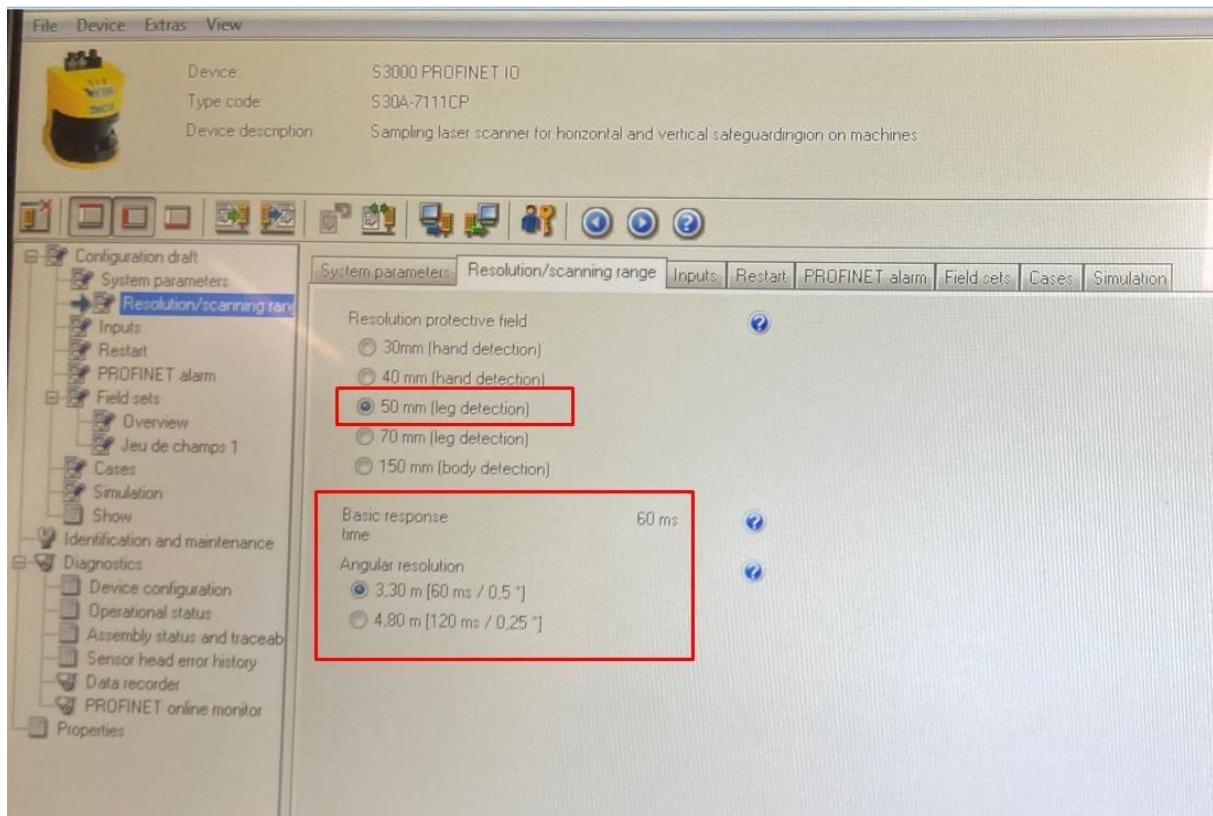
Već se ranije govorilo o PROFINET povezivanju elemenata i njihovoj međusobnoj komunikaciji. Rečeno je kako je PLC IO kontroler, dok su senzori i aktuatori IO uređaji, a IO Supervisor je vanjsko računalo ili HMI.

Slika 19. Prikazuje jedan takav primjer upravljanja laserskim skenerom. Na Siemens-ovom HMI grafičkom prozoru prikazan je skener prostora tvrtke "SICK". Svi potrebni podaci, odnosno PROFINET ime, MAC, te IP adresa su uneseni.

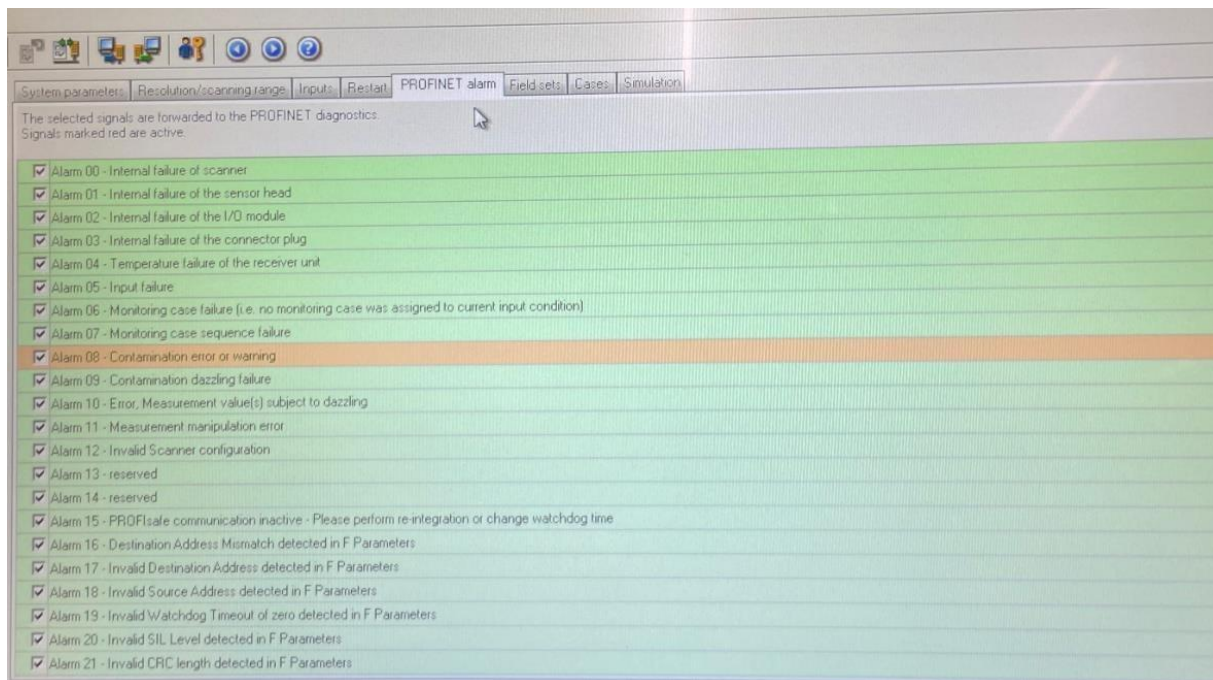


**Slika 19 PROFINET komunikacija PLC-a i SICK skenera prostora**

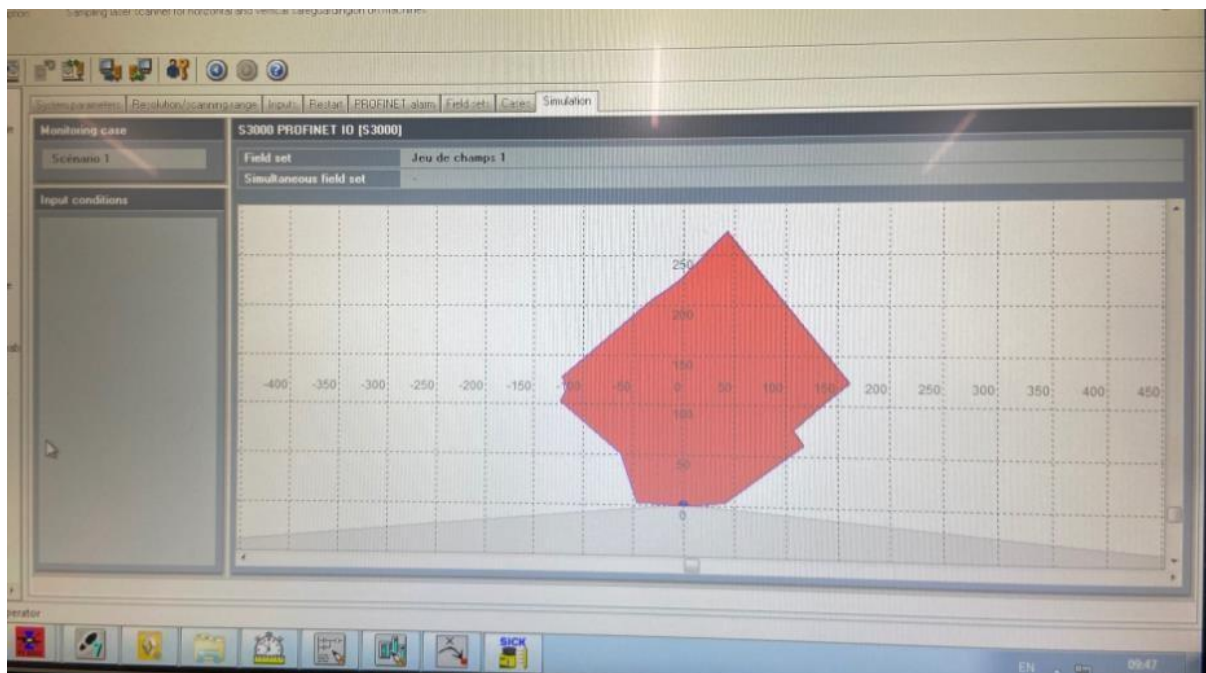
Na slici 20 prikazana je rezolucija skeniranog prostora. Vidljivo je da se skenira samo površina na podu ( kut od 0.5 stupnjeva), te da je brzina slanja informacija 60ms. Na slici 21 prikazana je lista svih mogućih nepravilnosti koje se mogu pojaviti prilikom rada.



Slika 20 Rezolucija skeniranja



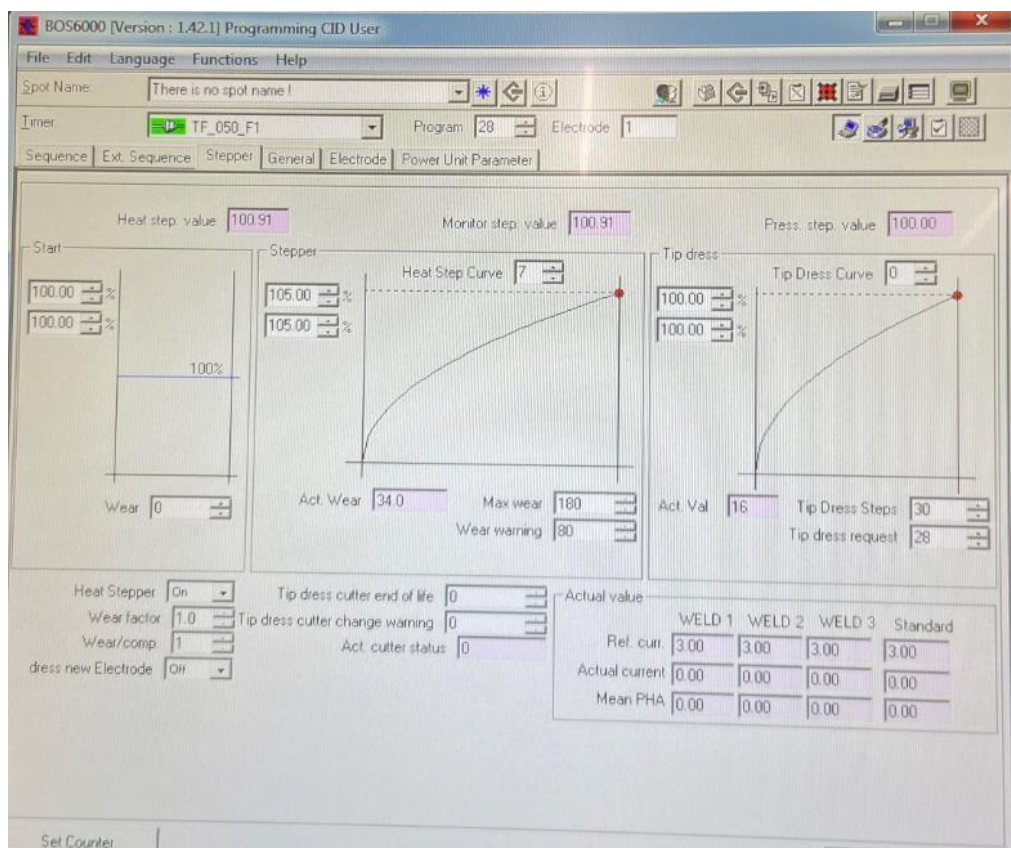
Slika 21 Lista aktivnih alarma



**Slika 22 Simulacija skeniranog prostora u stvarnom vremenu (eng. real time )**

Slika 22 prikazuje simulaciju prostora u real time vremenu. Kada bi netko kročio u prostor skeniranog prostora, na HMI grafičkom prikazu bi odmah bio učljiv.

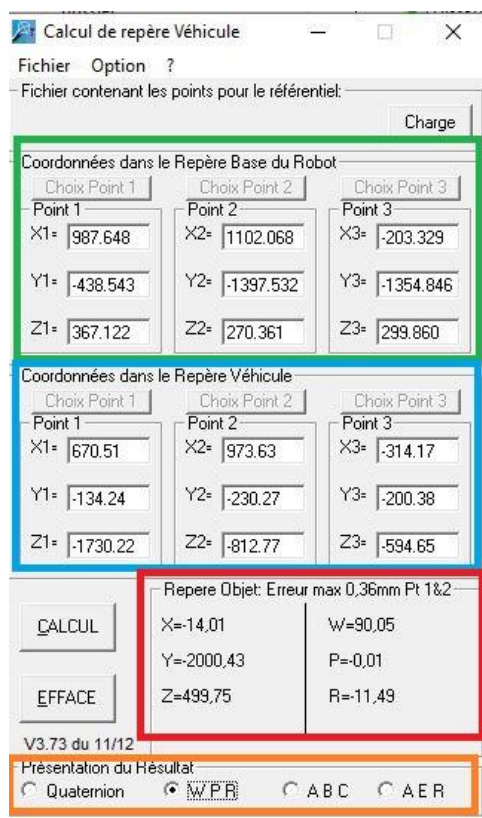
Još jedan primjer komunikacije u stvarnom vremenu između PLC-a i čovjeka prikazan je na slici 23. Ovog puta radi se o bežičnoj komunikaciji. Na slici su prikazani grafovi, koji predstavljaju parametre zavarivanja, odnosno maksimalna i trenutna opterećenja i temperature na zavarnim klješćima. Kada se prijede kritična vrijednost, PLC šalje čovjeku na mobitel obavijest da je elektroda potrošena ili da su klješta u kvaru te ih treba iznova kalibrirati.



Slika 23 Parametri zavarivanja

### 3.3. Interna robotska sigurnost

Nakon postavljanja ograde, skenera, senzora, konstrukcija za zavarivanje, najbitniji elementi u slagalici su industrijski roboti. Nakon njihovog postavljanja slijedi konfiguracija istih. Prvo je potrebno kalibrirati osi robota. Kada se to napravi, potrebno je svakom robotu dodijeliti IP adrese, to jest uspostaviti PROFINET komunikaciju. Nakon toga slijedi konfiguracija toolframe-a i userframe-a. Kada je riječ o konfiguraciji userframe-a, postoji dva načina da se on konfigurira. Prvi način je direktni unos 3 točke dobivenog iz Robcad-a. Takav način definiranja userframe-a nije precizan te ga je potrebno malo kalibrirati. Drugi način je indirektna konfiguracija, odnosno dovesti robota u tri već definirane točke i tako definirati userframe, naspram baze robota. Na ovom projektu je korišten laser kojim se jako precizno kalibrirao userframe. Kod alata je dovoljno unijeti teoretske vrijednosti tcpf-a, jer je alat jako precizan i odstupanja stvarnog od teoretskog frame-a su zanemarivi.



Slika 24 Alat za kalibraciju userframe-a

Na slici 24 prikazan je alat za konvertiranje vanjskih koordinata (koordinatni sustav konstrukcije na kojoj se zavaruje, odnosno autodijela koji je na njoj) u unutarnje koordinate robota. Dakle, za dobivanje preciznih koordinatnih sustava, potrebne su tri točke u prostoru. Iste točke bit će u koordinatnom sustavu robota i u koordinatnom sustavu konstrukcije (autodijela). Princip je jednostavan, samo je potrebno imati jako vrijednu opremu (laser) s kojom bi se to moglo izvesti. Prvi korak je postaviti laser na jednu statičnu poziciju te izmjeriti poznate (definirane) točke na konstrukciji i tako napraviti koordinatni sustav autodijela. Drugi korak je dovesti robota u neku nasumičnu poziciju u prostoru te očitati unutarnje koordinate i zapisati ih u alat sa slike 24 (zeleni dio). Istodobno dok je u toj poziciji u prostoru, laserom (kojemu je ishodište koordinatnog sustava ujedno i ishodište autodijela) izmjeriti šestu os robota i zapisati ju u alat sa slike 24 (plavi dio). Taj korak se ponavlja još dva puta za preostale dvije točke. Na kraju kada su se sve tri točke izmjerile i zapisale u alat, potrebno je samo odabrati željeni prikaz rješenja koordinatnog sustava (narančasti pravokutnik na slici 24). Kako se ovdje radi o Fnucovom robotu, odabran je WPR prikaz (rx, ry, rz). Za Kuku bi bio odabran ABC prikaz. I za kraj, rješenje (crveni pravokutnik) unosimo u kontroler robota (SETUP/Frames/USERFRAME).



### 3.3.1. Sigurnosne zone kod robota tvrtke Fanuc

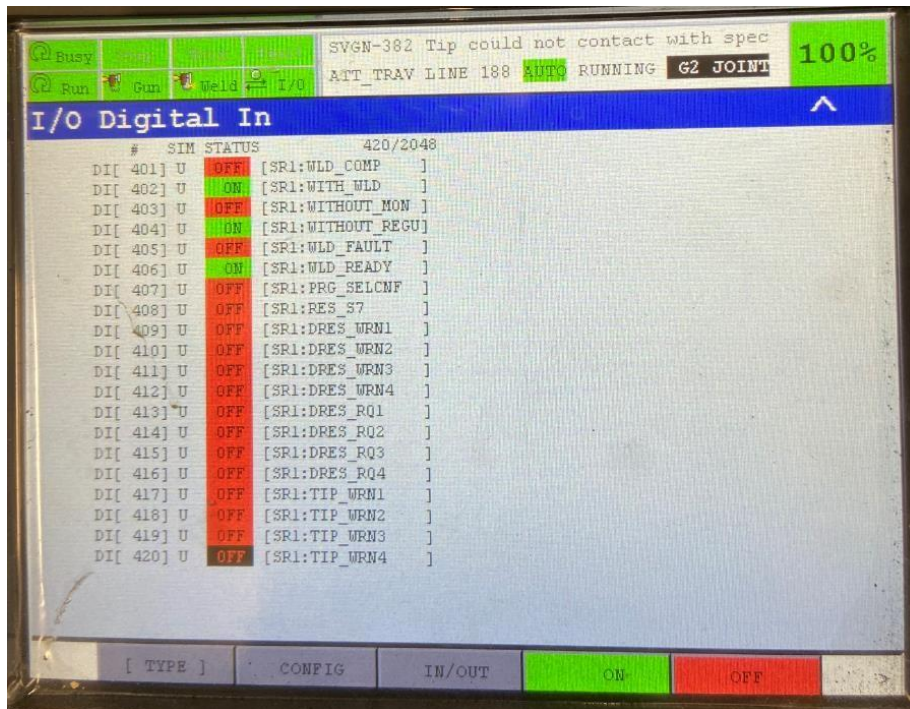
Svaki robot, pa tako i Fanuc ima svoj kontroler te smart HMI display (teach pendant) kojim se modificiraju parametri i izrađuju programi koje će robot izvršavati. Ranije je navedeno da se prvo uspostavi PROFINET komunikacija. Gdje se ona nalazi na meniju na teach pendantu, vidljivo je na slici 25.



Slika 25 PROFINET konfiguracija

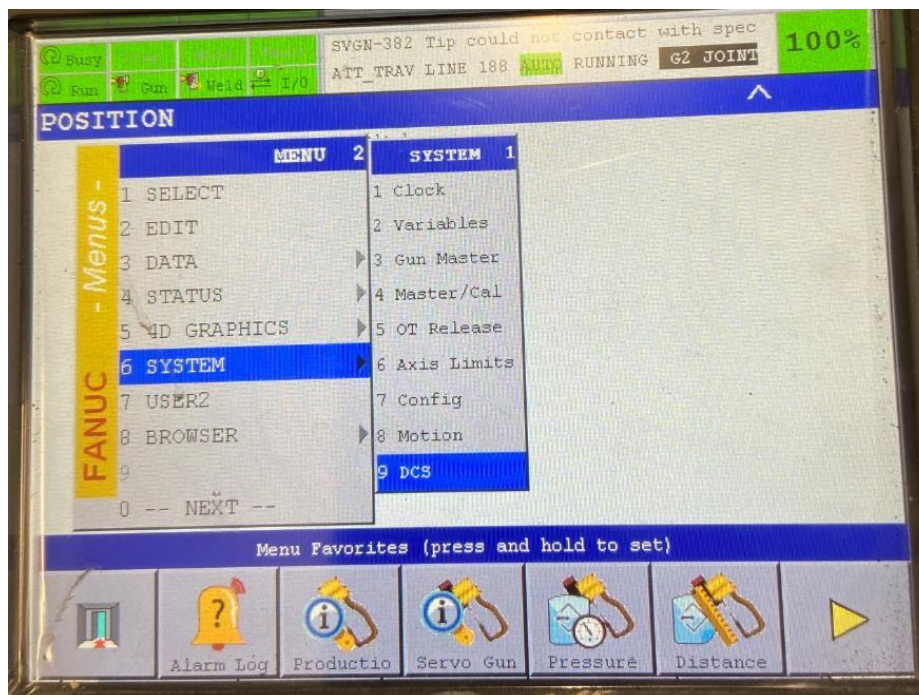
Kada se uspostavila PROFINET komunikacija, potrebno je aktivirati, odnosno deaktivirati ili u bilo kojem trenutku provjeriti digitalne i analogne I/O. Često se zna dogoditi da neki od njih nisu pravilno spojeni na kontroleru, što uvjetuje nemogućnost izvršavanja pojedinih operacija u programu.

Lista digitalnih ulaza prikazana je na slici 26.



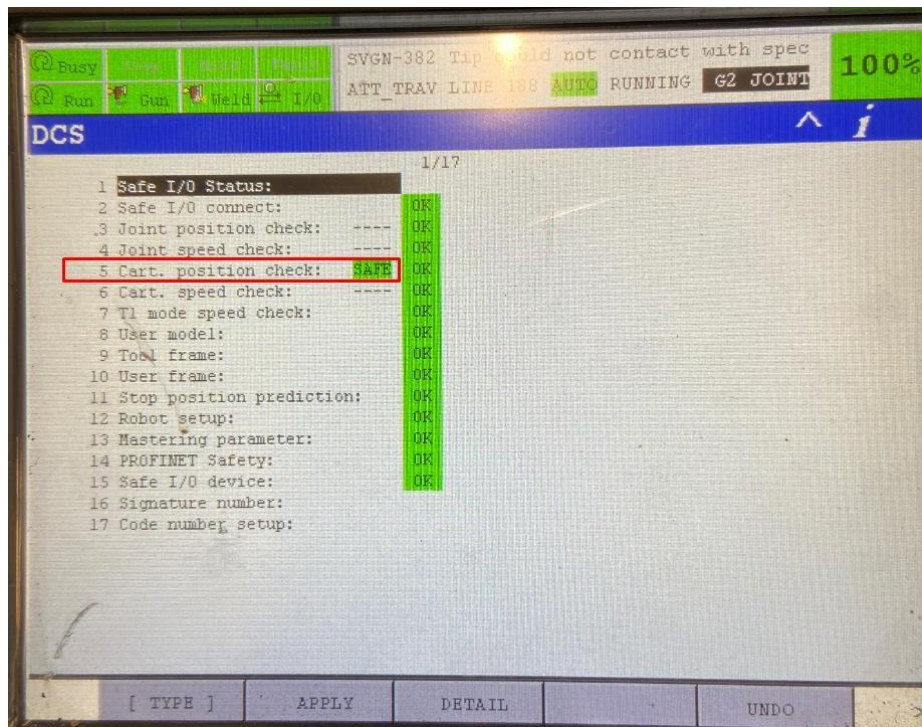
Slika 26 Lista digitalnih ulaza

Konačno, nakon uspostavljanja PROFINET komunikacije, te provjerom I/O uređaja, postavlja se sigurnosni modul. Modul za sigurnost kod Fanucovih robota je DCS. Do njega se u meniju dolazi otvaranjem SYSTEM datoteke.

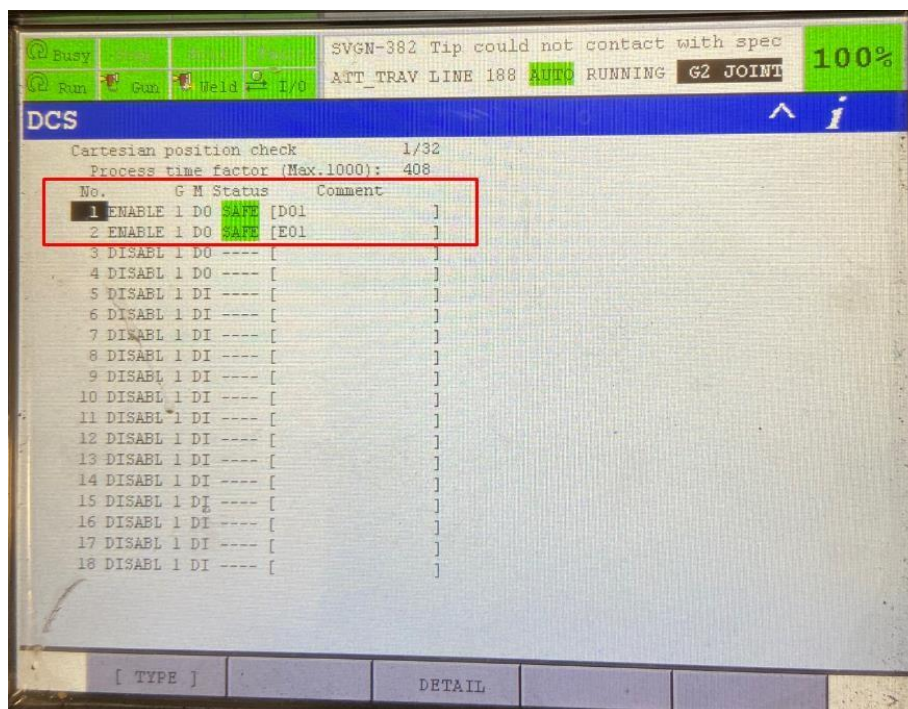


Slika 27 DCS sistemski modul

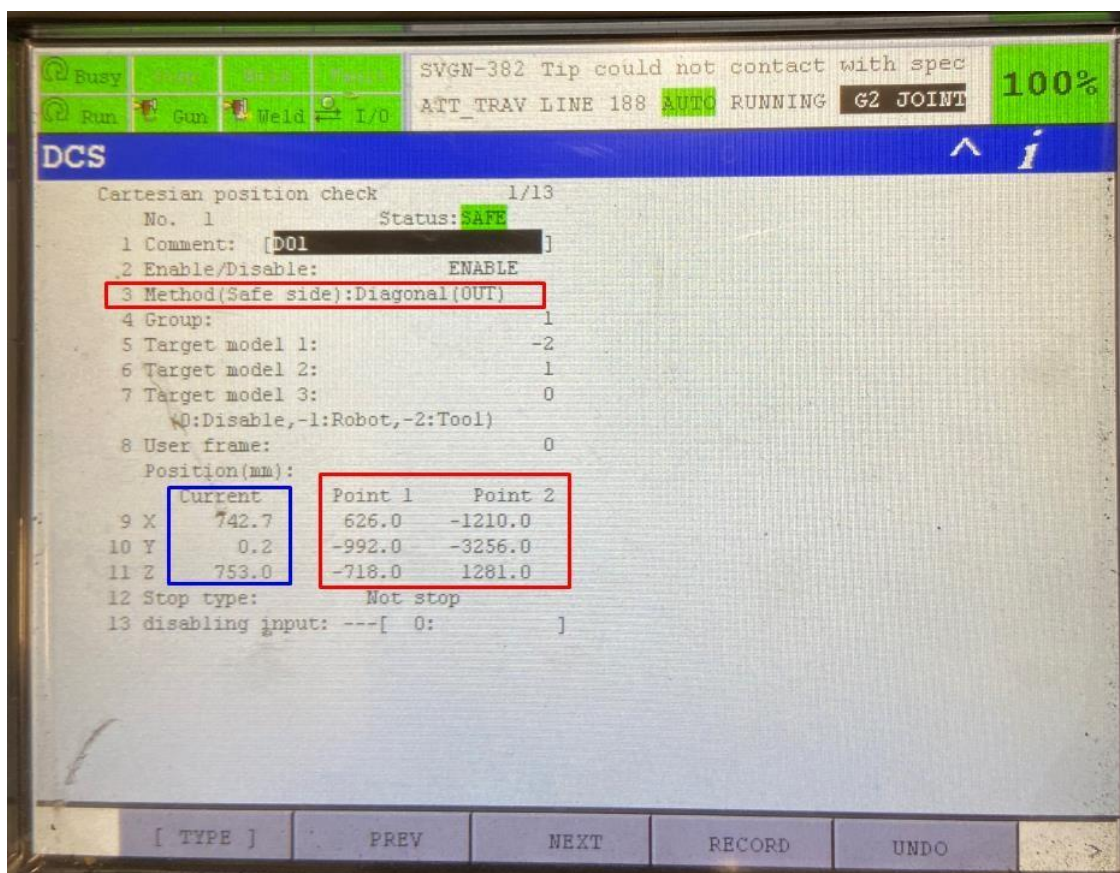
Kada se otvori taj modul, mogu se postaviti razni načini zaštite. U studijama se već odabrao prostorni (kartezijski) način zaštite. Na slici 28, prikazane su sve opcije u DCS modulu. Crvenom je označena opcija koja je korištena. Na slici 29 su definirana 2 radna prostora robota F1.



Slika 28 Opcije DCS modula

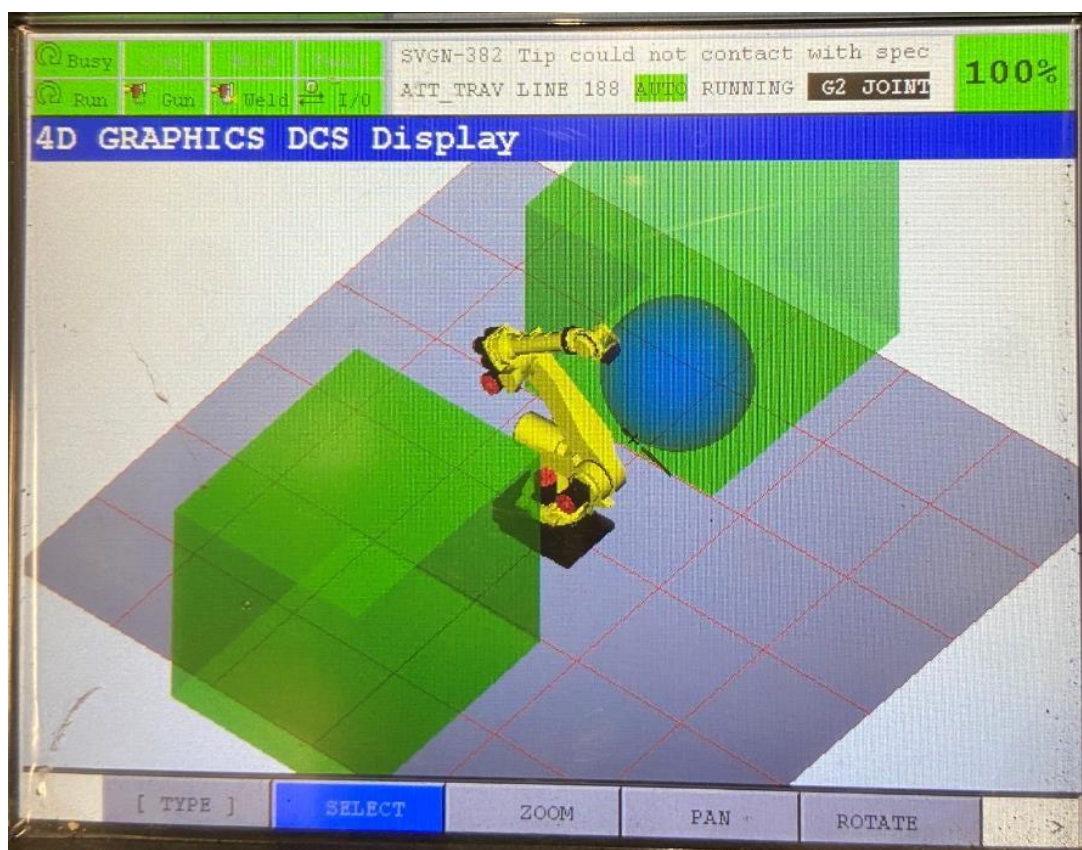


Slika 29 Sigurnosni prostori robota



**Slika 30 Definiranje sigurnosnih prostora**

Na slici 30 prikazan je način unosa koordinata koje su dane iz Robcad-a. U opciji Method, odabere se Diagonal, te userframe naspram kojeg su dane koordinate (0 je u ovom slučaju baza robota), te se u konačnici unose koordinate točaka dijagonale. Plavom bojom je ispisana trenutna pozicija tcpf-a, te je vidljivo da se robot nalazi izvan prostora. To je prikazano i u statusu, gdje je navedeno da je sigurno. Fanuc ima modul u kojem se robotu u realnom vremenu u svakom trenutku može vidjeti 3D poziciju. U tom modulu može se provjeriti DCS sigurnost u 4D grafičkom prikazu. Na slici 31 vidljiv je takav 3D prikaz trenutne pozicije koju omogućuje Fanuc.



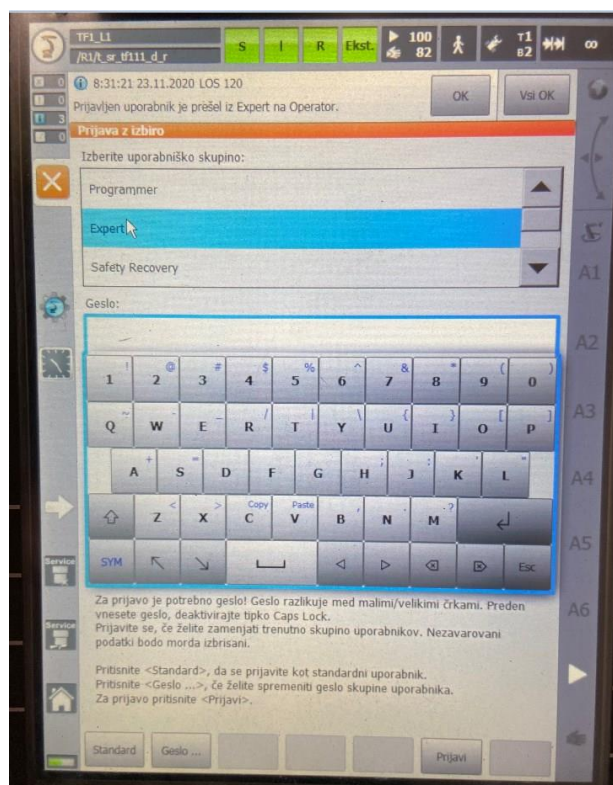
Slika 31 4D grafički prikaz

### 3.3.2. Sigurnosne zone kod robota tvrtke Kuka

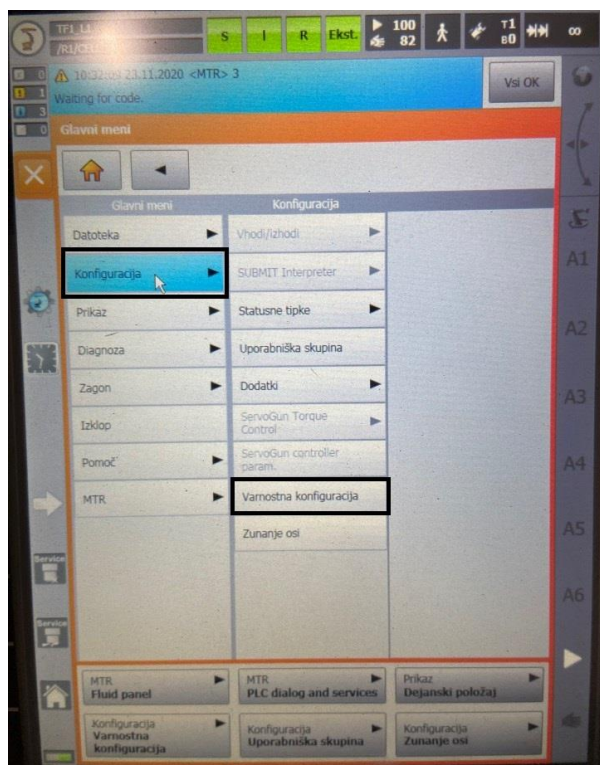
Robot tvrtke Kuka ima sličan način konfiguracije. Početni koraci konfiguracije su isti kao i kod Fanuca, ali kod Kuka robota, HMI je znatno jednostavniji za programera. To je naravno, subjektivno mišljenje većine robotičara. Kada se odradi početna kalibracija osi robota (MASTER), kalibracija frame-ova (također se kalibriralo laserom, što je donijelo precizne kartezijske koordinatne sustave), te dodaju uređaji za PROFINET komunikaciju, počinje postavljanje sigurnosnih prostora.

Za razliku od Fanuca, Kuka na svom smart HMI uređaju, zbog sigurnosti ima nekoliko načina logiranja za rad. Tako su mnoge opcije nevidljive za operatere. Za podešavanje sigurnosti robota, potrebno se ulogirati kao “Expert”. Naravno, log-in je zaštićen lozinkom, koja se u bilo kojem trenutku može promijeniti. Na slici 32 prikazan je način logiranja kao “Expert”.

Na slici 33 prikazan je položaj opcije za konfiguraciju sigurnosti (slo. „varnostna konfiguracija“) u izborniku.

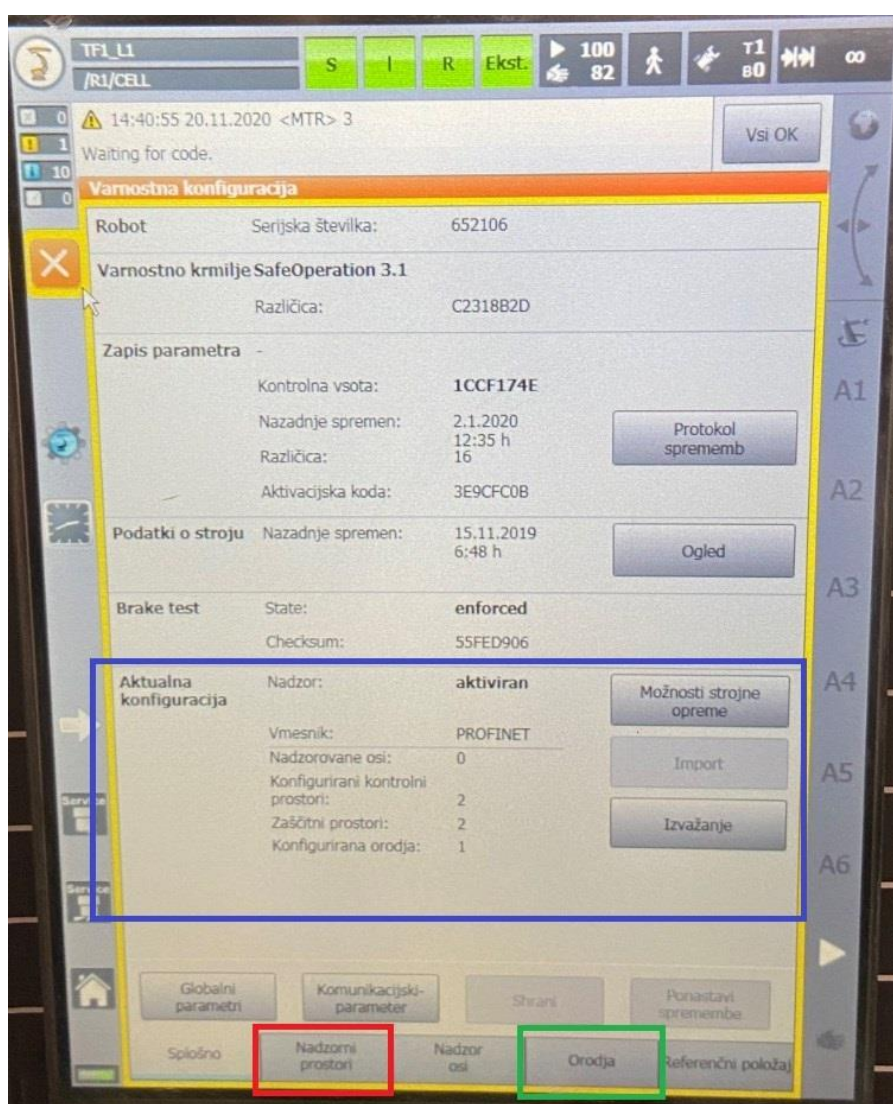


Slika 32 Prijava kao expert

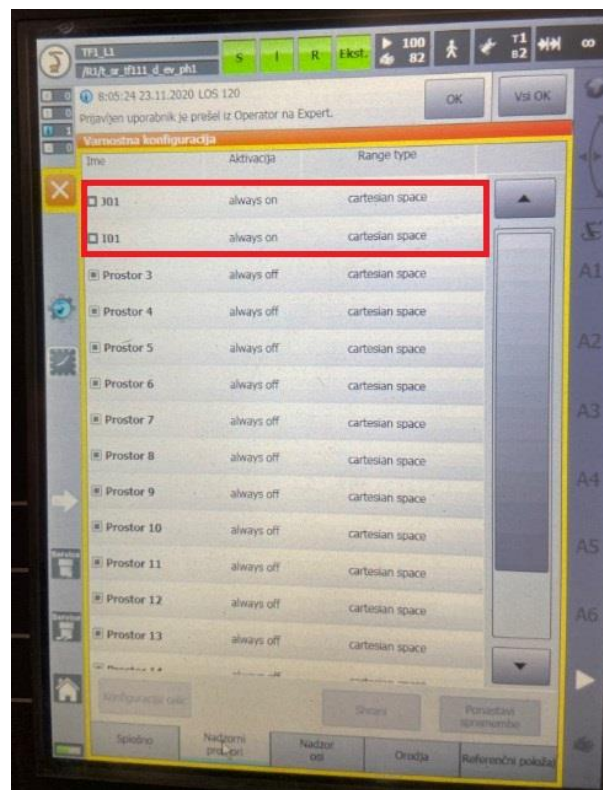


Slika 33 Položaj konfiguracije sigurnosti u izborniku

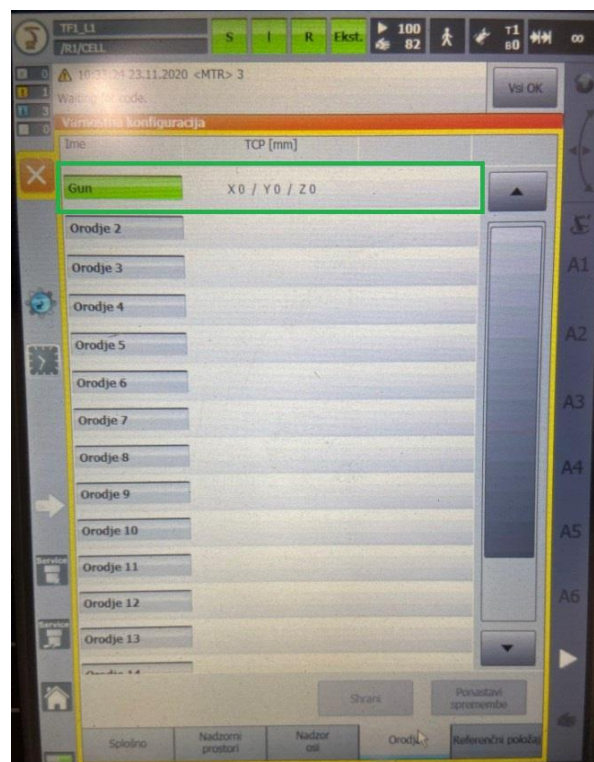
Kao i Fanuc, Kuka također ima nekoliko mogućnosti zaštite prostora. Način koji se koristio kod Fanuca, također se koristio i kod Kuke. Kao što je vidljivo na slici 34, za zaštitu se također definira prostor u kojem bi mogao biti čovjek. Definiranje volumena radi se u prozoru “Monitoring spaces” (slo. „nadzorni prostori“), dok se volumeni alata definiraju u prozoru “Tools”(slo. „Orodja“). Na slici 35 je prikazano da se popriličan broj prostora može odabrati. Za potrebe ovog projekta, L1 robot treba imati samo 2 sigurnosna prostora, za svaku konstrukciju po jedan.



Slika 34 Konfiguracija sigurnosti



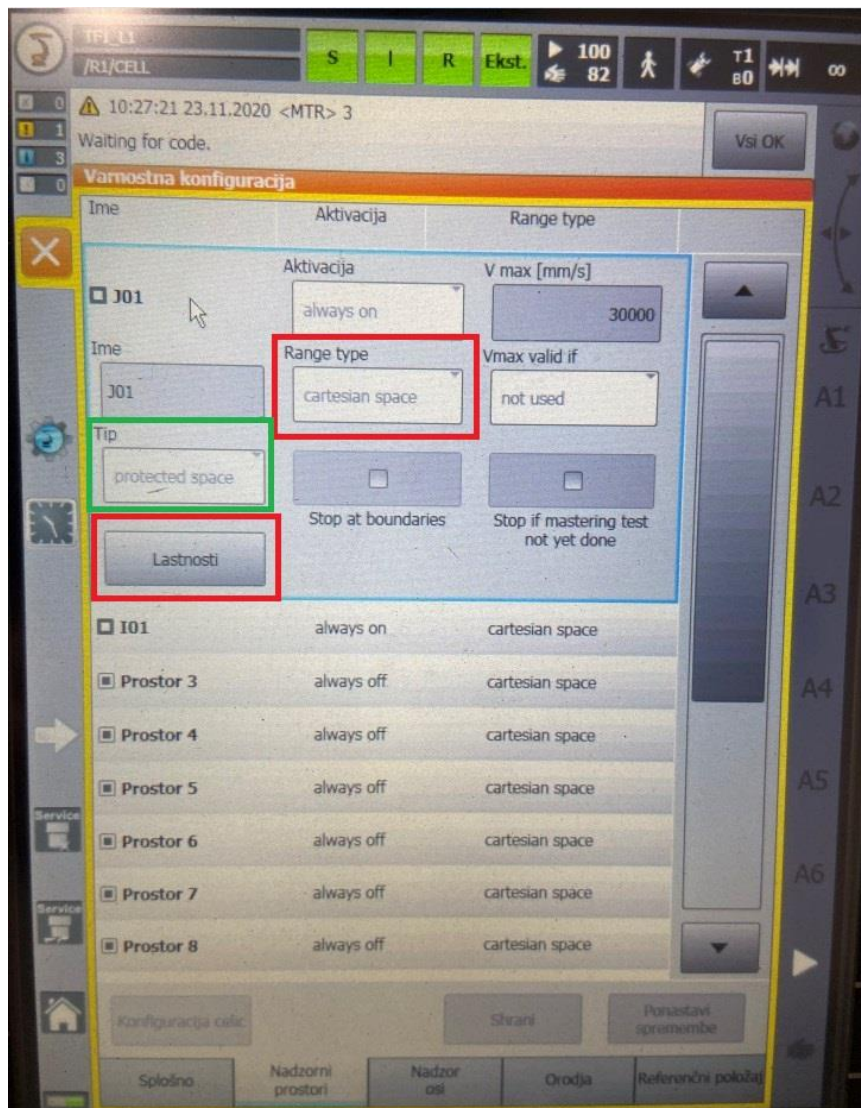
Slika 35 Dodavanje sigurnosnih volumena



Slika 36 Dodavanje volumena za alat

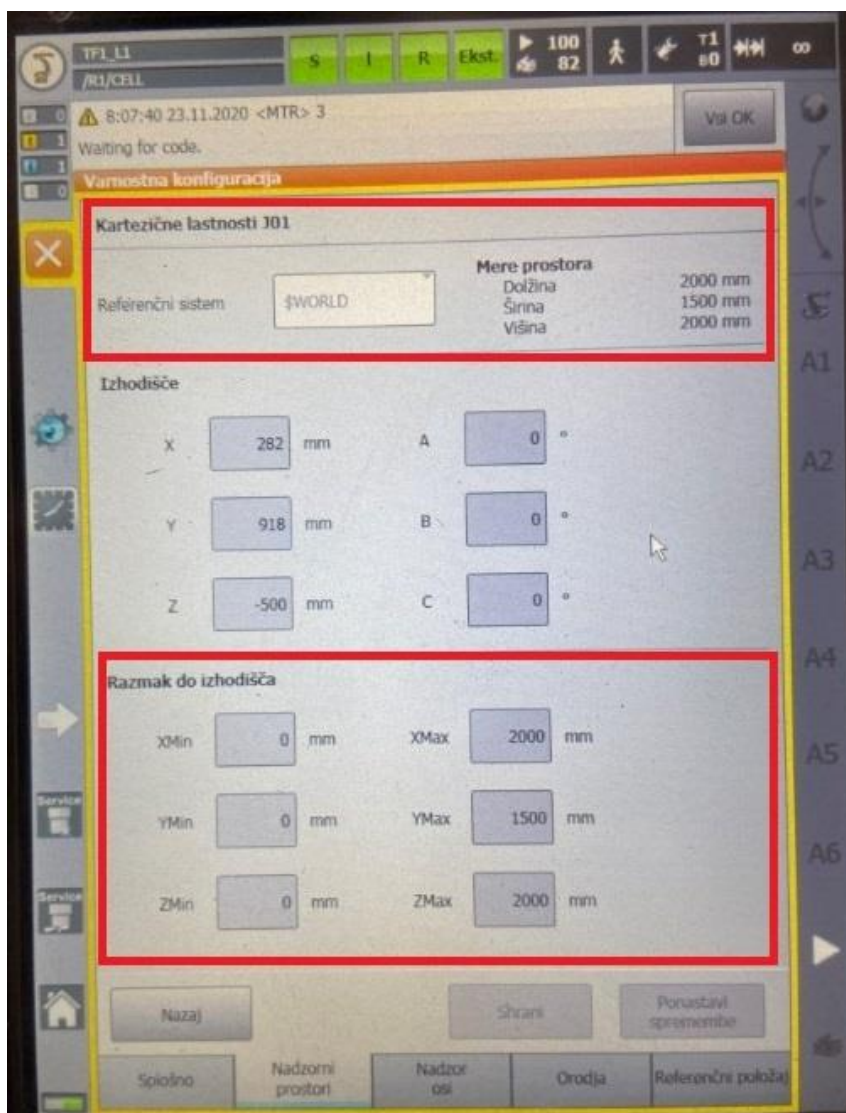


Za alat se također definira volumen. Najjednostavniji oblik volumena, koji sasvim dovoljno prekrije cijela zavrana kliješta je kugla. Njega se definira tako što se unese referentna točka te unese radius kugle.



Slika 37 Postavke sigurnosnog volumena

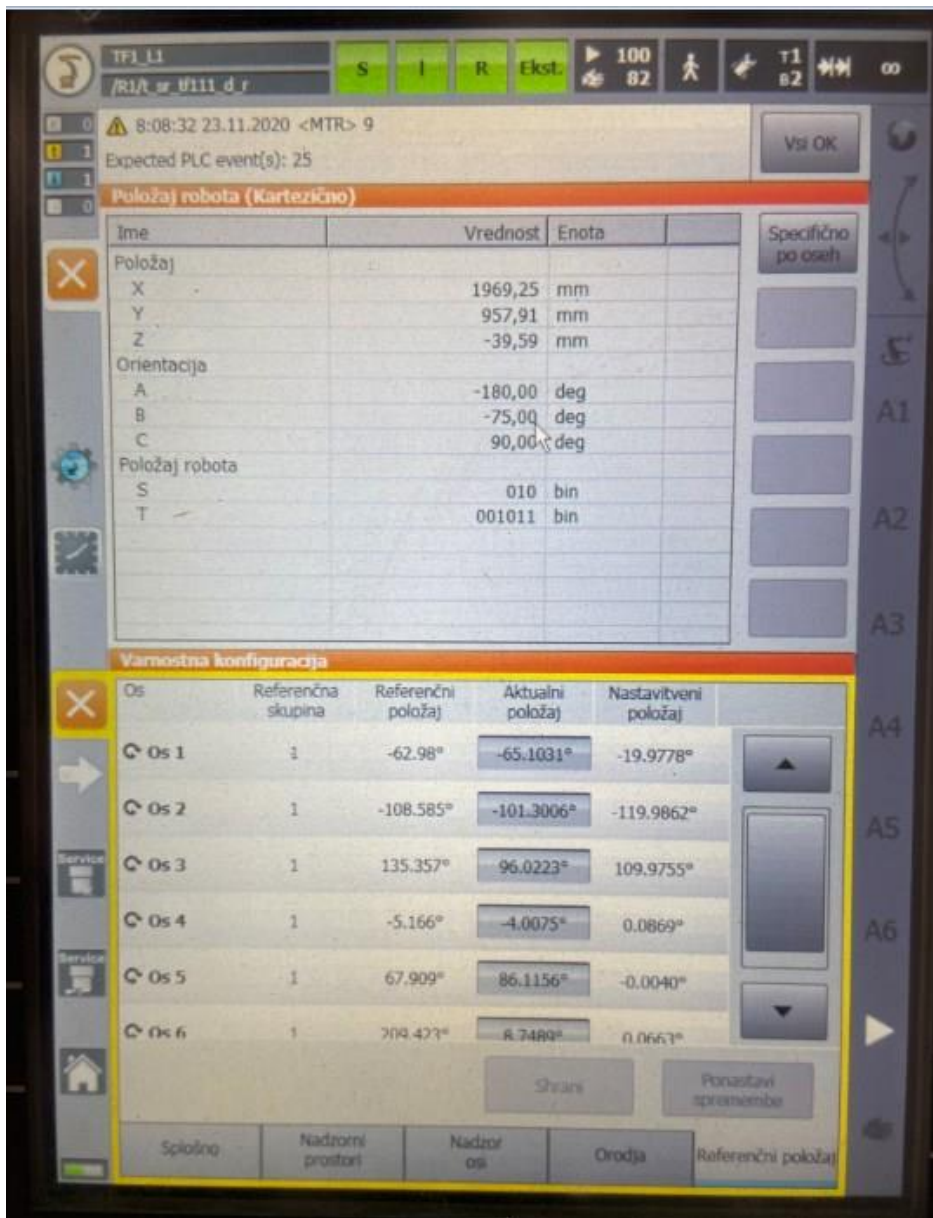
Na slici 37 vidljiv je način na koji se definira sigurnosni prostor kod Kukinih robota. Prvo se odabere oblik zaštićenog prostora (Kartezijski prostor), te u prozoru "Properties" (slo. „lastnosti“) definiramo veličinu radnog prostora.



**Slika 38** Definiranje sigurnosnog volumena

Kuka ima malo drukčiji način definiranja od Fanuca. Potrebno je prvo unijeti točku koja će biti vrh dijagonale (ishodište pravokutnika). Naravno, prvo trebamo unijeti referentni koordinatni sustav u kojem će biti ta točka, a to je baza robota. Na slici 38. Prikazan je način definiranja sigurnosnog prostora.

Za razliku od Fanuca, Kuka nema grafički prikaz trenutne pozicije, nego samo ima opciju prikaza trenutne pozicije u obliku koordinata u trenutnom referentnom koordinatnom sustavu. Takav prikaz vidljiv je na slici 39.



Slika 39 Prikaz trenutne pozicije robota

### 3.4. Finalizacija programiranja putanja za zavarivanje

#### 3.4.1. Učitavanje valjanog off-line koda

Kada su se roboti konfigurirali, a to uključuje povezivanje u PROFINET sustav, kalibriranje osi robota, unos koordinatnih sustava alata (klijesta za zavarivanje) i konstrukcija na kojima se zavaruju limovi, te kalibriranje istih, zatim provjera/ dodavanje digitalnih ulaza i izlaza, te naposljetku dodavanje sigurnosnih prostora na kojima se događa interakcija čovjeka i robota, može početi konačna on-line programacija robota.

Ako su off-line kodovi za putanje kvalitetno napravljeni, poprilično se brzo finalizira „goli“ kod za putanje (ne uključuje bilo kakvu komunikaciju s drugim elementima lokalne mreže, nego samo trajektoriju robota od početne do krajnje točke zavarivanja). Pod kvalitetno napravljene off-line kodove podrazumijeva se da se konstantno kroz program držala jedna konfiguracija robota (to je izrazito bitno zbog kablova i popratnih elemenata koje robot nosi prilikom samog procesa zavarivanja, a koje nije moguće jednostavno simulirati), te se izbjegavalo nepotrebno nagomilavanje prolaznih točaka koje uvelike smanjuju preglednost cijelog programa. Također, čest problem kada se off-line kodovi konvertiraju na robota je sintaksa samog koda. Sintaksu uvjetuje ponajviše standard koji se u pojedinim tvrtkama koristi. Renaultov standard je strogo definiran, te se jako vodi računa o njemu prilikom programacije trajektorija. Tako na primjer, sitne nepravilnosti koje off-line alat izbacuje u svojim kodovima rezultirati će neprihvaćanjem koda na samom robotu. Kako se u ovom projektu koristio Robcad, koji je sada već dosta zastario alat, nije rijetkost da se dogode nepravilnosti u sintaksi, za koje onda treba dosta vremena kako bi ih se pronašlo i u konačnici riješilo.

Za finaliziranje programa sa putanjama zavarivanja potrebno je učitati dobivene (kvalitetne) kodove, provjeriti koordinatne sustave radnog prostora te proći reduciranom brzinom kroz putanju. Ako se pazilo na sve gore navedene stavke, te je koordinatni sustav dobro kalibriran, trebalo bi minimalno popraviti prolazne točke (ako se uoči neka kolizija sa drugim elementima), te krenuti sa dodavanjem komunikacije sa PLC-om.

Slika 40. Prikazuje jedan off-line kod preuzet iz robcada. Kod je *.LS* formata što znači da je preuzat za Fanucov kontroler.

```

/PROG f1_t_sr_tf50_d_r
/ATTR
OWNER          = ROBCAD_USER;
COMMENT        = "f1_t_sr_tf50_d_r";
PROG_SIZE      = 0;
CREATE         = DATE 11-02-2020 TIME 09:58:30;
MODIFIED       = DATE 11-02-2020 TIME 09:58:30;
FILE_NAME      = ;
VERSION        = 0;
LINE_COUNT     = 34;
MEMORY_SIZE    = 0;
PROTECT        = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE = 0,
TASK_PRIORITY  = 50,
TIME_SLICE     = 0,
BUSY_LAMP_OFF  = 0,
ABORT_REQUEST  = 0,
PAUSE_REQUEST  = 0;
DEFAULT_GROUP  = 1,1 * * * *;
CONTROL_CODE   = 00000000 00000000;

/APPL
SPOT : TRUE ;
SPOT WELDING EQUIPMENT NUMBER : 1 ;
/MN
1:UTOOL_NUM = 1;
2:UFRAME_NUM = 2;
3:PAYLOAD[1];
4:J P[1:lo8] 100% FINE ;
5:J P[2:lo10] 100% FINE ;
6:J P[3:lo12] 100% FINE ;
7:J P[4:lo11] 100% FINE ;
8:J P[5:lstd7012792] 100% FINE SPOT[S=(1,1)];
9:J P[6:lstd7019393] 100% FINE SPOT[S=(1,1)];
10:J P[7:lstd7011944] 100% FINE SPOT[S=(1,1)];
11:J P[8:lo13] 100% FINE ;
12:J P[9:lo14] 100% FINE ;
13:J P[10:lo16] 100% FINE ;
14:J P[11:lo15] 100% FINE ;
15:L P[12:lstd7009352] 500mm/sec FINE SPOT[S=(1,1)];
16:J P[13:lo9] 100% FINE ;
17:J P[14:lo17] 100% FINE ;
18:J P[15:lo20] 100% FINE ;
19:J P[16:lstd7038345] 100% FINE SPOT[S=(1,1)];
20:J P[17:lo22] 100% FINE ;
21:J P[18:lo21] 100% FINE ;
22:J P[19:lstd7038347] 100% FINE SPOT[S=(1,1)];
23:J P[20:lo23] 100% FINE ;
24:J P[21:lo27] 100% FINE ;
25:J P[22:lo26] 100% FINE ;
26:J P[23:lstd7036874] 100% FINE SPOT[S=(1,1)];
27:J P[24:lstd7005030] 100% FINE SPOT[S=(1,1)];

/POS
P[1:"lo8"] {
GP1:
UF : 2, UT : 1, CONFIG : 'N U T,0,0,0',
X = -720.516 mm, Y = 1428.667 mm, Z = -1678.475 mm,
W = 70.026 deg, P = -1.038 deg, R = -92.854 deg
GP2:
UF : 2, UT : 1,
J1 = 217.00 mm
};
P[2:"lo10"] {
GP1:
UF : 2, UT : 1, CONFIG : 'N U T,0,0,0',
X = 1985.754 mm, Y = 1221.499 mm, Z = -49.961 mm,
W = 90.000 deg, P = -88.566 deg, R = 0.000 deg
GP2:
UF : 2, UT : 1,
J1 = 217.00 mm
};
P[3:"lo12"] {
GP1:
UF : 2, UT : 1, CONFIG : 'N U T,0,0,0',
X = 1986.064 mm, Y = 707.495 mm, Z = -37.961 mm,
W = 90.000 deg, P = -88.566 deg, R = 0.000 deg
GP2:
UF : 2, UT : 1,
J1 = 217.00 mm
};
P[4:"lo11"] {
GP1:
UF : 2, UT : 1, CONFIG : 'N U T,0,0,0',
X = 1984.069 mm, Y = 707.496 mm, Z = 281.938 mm,
W = 90.000 deg, P = -88.566 deg, R = 0.000 deg
GP2:
UF : 2, UT : 1,
J1 = 217.00 mm
};
P[5:"lstd7012792"] {
GP1:
UF : 2, UT : 1, CONFIG : 'N U T,0,0,0',
X = 1994.067 mm, Y = 627.500 mm, Z = 281.936 mm,
W = 90.000 deg, P = -88.566 deg, R = 0.000 deg
GP2:
UF : 2, UT : 1,
J1 = 217.00 mm
};

```

Slika 40 "Goli" off-line kod za Fanuc robota

Kao što je već ranije rečeno, kod Fanucovih robota, program je spremljen u samo jednom tipu datoteke (.LS). Na početku programa (lijeva strana slike 40) definirani su koordinatni sustavi alata (toolframe) i konstrukcije na kojoj se zavaruju limovi (userframe) te slijedi „goli“ program koji je sačinjen samo od prolaznih i zavarnih točaka (zavarne točke imaju specifično ime (npr.lstd7012792) te funkciju SPOT (koja poziva aplikaciju za zavarivanje sa zadanim parametrima)). Na kraju koda dan je prikaz koordinata svih točaka iz programa za zadani koordinatni sustav (desno na slici 40). Također bitna stvar je konfiguracija, koja je vidljiva na tom dijelu koda. Najčešći uzrok nekih neželjenih sudara robota sa nekim od elemenata radnog prostora je iznenadna promjena konfiguracije robota u nekoj točki. Do toga može doći ako je točka blizu limita u određenoj osi, te će robot automatski promijeniti konfiguraciju osi i doći u identičnu točku u prostoru, ali s izmjenjenim unutarnjim koordinatama, što dovodi do sudara (kolizije).

```

l1_sr_tf111_g_src - Notepad
File Edit Format View Help
;# ===== START PATH : l1_t_sr_tf111_g_r =====

;FOLD PTP Xl0310 Vel=100 % P_OLP1 Tool[11] Base[11] ;{%PE}%R5.4,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:Xl0310, 3:, 5:100, 7:P_OLP1
$BWDSTART = FALSE
PDAT_ACT= PP_OLP1
FDAT_ACT= F10310
BAS (#PTP_PARAMS,100)
PTP Xl0310
;ENDFOLD
;FOLD PTP Xl0312 Vel=100 % P_OLP2 Tool[11] Base[11] ;{%PE}%R5.4,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:Xl0312, 3:, 5:100, 7:P_OLP2
$BWDSTART = FALSE
PDAT_ACT= PP_OLP2
FDAT_ACT= F10312
BAS (#PTP_PARAMS,100)
PTP Xl0312
;ENDFOLD
;FOLD SPOT.GUN1 l1stfg7021135, CLOSE:CONT, OPEN:CONT, BASE:11, TOOL:11, EXT.TCP=FALSE, PRG1=1;{%PE}%MKUKATPUSER
FDAT_ACT=F1stfg7021135
BAS (#FRAMES )
PTP X1stfg7021135 C_PTP
EG_PROGRAM_NUMBER[1]=1
EG_PROGRAM_NUMBER[2]=0
EG_OPEN_DELAY=EG_OPEN_DELAY_PTPC_PTP
EG_SPOT (#SPOT1,X1stfg7021135)
PTP X1stfg7021135 C_PTP
;ENDFOLD
;FOLD SPOT.GUN1 l1stfg7019390, CLOSE:CONT, OPEN:CONT, BASE:11, TOOL:11, EXT.TCP=FALSE, PRG1=1;{%PE}%MKUKATPUSER
FDAT_ACT=F1stfg7019390
BAS (#FRAMES )
PTP X1stfg7019390 C_PTP
EG_PROGRAM_NUMBER[1]=1
EG_PROGRAM_NUMBER[2]=0
EG_OPEN_DELAY=EG_OPEN_DELAY_PTPC_PTP
EG_SPOT (#SPOT1,X1stfg7019390)
PTP X1stfg7019390 C_PTP
;ENDFOLD
;FOLD PTP Xl0313 Vel=100 % P_OLP5 Tool[11] Base[11] ;{%PE}%R5.4,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:Xl0313, 3:, 5:100, 7:P_OLP5
$BWDSTART = FALSE
PDAT_ACT= PP_OLP5
FDAT_ACT= F10313
BAS (#PTP_PARAMS,100)
PTP Xl0313
;ENDFOLD
;FOLD SPOT.GUN1 l1stfg7009437, CLOSE:CONT, OPEN:CONT, BASE:11, TOOL:11, EXT.TCP=FALSE, PRG1=1;{%PE}%MKUKATPUSER
FDAT_ACT=F1stfg7009437
BAS (#FRAMES )
PTP X1stfg7009437 C_PTP
EG_PROGRAM_NUMBER[1]=1
EG_PROGRAM_NUMBER[2]=0
EG_OPEN_DELAY=EG_OPEN_DELAY_PTPC_PTP
EG_SPOT (#SPOT1,X1stfg7009437)
PTP X1stfg7009437 C_PTP

```

Slika 41 Off-line kod za KUKA robota (.src datoteka)

```

l1_sr_tf111_g_dat - Notepad
File Edit Format View Help
;# ===== START PATH : l1_t_sr_tf111_g_r =====
DECL FDAT F10310={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PP_OLP1={VEL 100.00,ACC 100.00, APO_DIST 0.00}
DECL E6POS Xl0310={X 1661.296,Y -1562.509,Z -1565.392,A -165.2179,B -2.5759,C -80.3342,E1 C}
DECL FDAT F10312={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PP_OLP2={VEL 100.00,ACC 100.00, APO_DIST 0.00}
DECL E6POS Xl0312={X 1996.143,Y -675.898,Z -45.427,A 180.0000,B -64.9982,C -90.0000}
DECL FDAT F1stfg7021135={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL E6POS X1stfg7021135={X 1971.000,Y -675.900,Z 8.500,A 180.0000,B -64.9982,C -90.0000}
DECL FDAT F1stfg7019390={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL E6POS X1stfg7019390={X 1937.000,Y -676.700,Z 8.500,A 180.0000,B -64.9982,C -90.0000}
DECL FDAT F10313={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PP_OLP5={VEL 100.00,ACC 100.00, APO_DIST 0.00}
DECL E6POS Xl0313={X 1950.510,Y -631.898,Z 8.989,A 180.0000,B -74.9988,C -90.0000}
DECL FDAT F1stfg7009437={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL E6POS X1stfg7009437={X 1943.000,Y -631.900,Z 37.000,A 180.0000,B -74.9988,C -90.0000}
DECL FDAT F1stfg7038593={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL E6POS X1stfg7038593={X 1943.000,Y -631.900,Z 58.500,A 180.0000,B -74.9988,C -90.0000}
DECL FDAT F10315={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PP_OLP8={VEL 100.00,ACC 100.00, APO_DIST 0.00}
DECL E6POS Xl0315={X 1973.031,Y -631.898,Z -53.545,A 180.0000,B -74.9988,C -90.0000}
DECL FDAT F10316={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PP_OLP9={VEL 100.00,ACC 100.00, APO_DIST 0.00}
DECL E6POS Xl0316={X 1966.555,Y -911.898,Z -29.399,A 180.0000,B -74.9988,C -90.0000}
DECL FDAT F10318={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PP_OLP10={VEL 100.00,ACC 100.00, APO_DIST 0.00}
DECL E6POS Xl0318={X 1560.471,Y -807.348,Z 221.588,A 180.0000,B 54.6685,C -89.9999}
DECL FDAT F10317={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PP_OLP11={VEL 100.00,ACC 100.00, APO_DIST 0.00}
DECL E6POS Xl0317={X 1560.470,Y -679.348,Z 221.591,A 180.0000,B 54.6685,C -90.0000}
DECL FDAT F1stfg7019403={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL E6POS X1stfg7019403={X 1533.000,Y -679.350,Z 182.840,A 180.0000,B 54.6685,C -90.0000}
DECL FDAT F1stfg7009779={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL E6POS X1stfg7009779={X 1492.740,Y -679.350,Z 182.840,A 180.0000,B 55.9090,C -90.0000}
DECL FDAT F1stfg7009777={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL E6POS X1stfg7009777={X 1464.142,Y -677.849,Z 183.299,A 180.0000,B 72.0784,C -90.0000}
DECL FDAT F10319={TOOL_NO 11, BASE_NO 11, IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PP_OLP15={VEL 100.00,ACC 100.00, APO_DIST 0.00}

```

Slika 42 Off-line kod za KUKA robota (.dat datoteka)

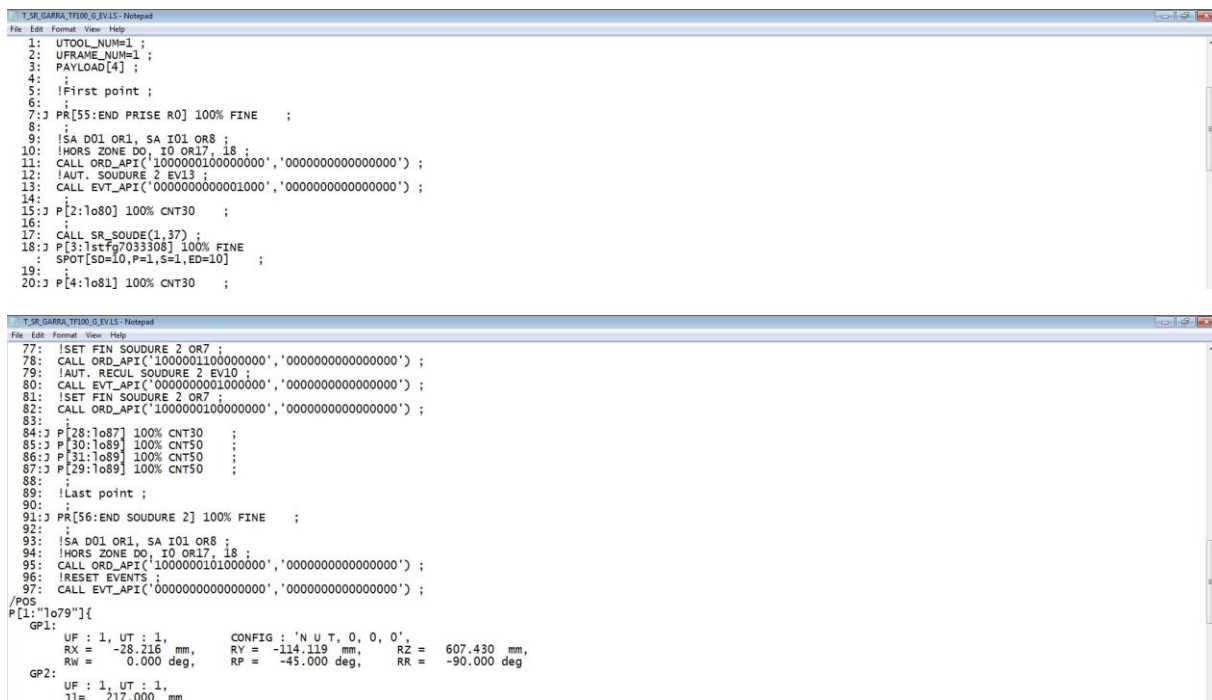
Na slikama 41 i 42 prikazan je off-line kod za Kukine robote koji je preuzet sa Robcada. Na prvoj od tih slika prikazana je *.src* datoteka. U njoj je sadržan funkcijski dio koda (program koda), u kojoj se pozivaju točke s koordinatama iz *.dat* datoteke, aplikacije za zavarivanje s definiranim parametrima, definiran je alat (npr. otvaranje i zatvaranje kliješta) i sl. Na drugoj slici je prikazana *.dat* datoteka koja sadrži samo točke sa svojim koordinatama za određeni koordinatni sustav, te brzinu i akceleraciju koju robot postiže u tim točkama.

Treba uočiti razliku u prikazu koordinata i orijentacija točaka kod Fanucovog i Kukinog robota. Dakle, i kod Fanuca i kod Kuke su koordinate prikazane jednako (x, y, z), ali se prikaz orijentacije točaka malo razlikuje. Kod Fanuca je to prikaz WPR, koji predstavlja redom Rx (rotaciju oko x osi), Ry (rotaciju oko y osi), te Rz (rotaciju oko z osi). Kuka nasuprot tom prikazu ima ABC prikaz i on predstavlja redom Rz (rotaciju oko z osi), Ry (rotaciju oko y osi), Rx (rotaciju oko x osi). Kada se simultano radi na programaciji Kukinog i Fanucovog robota (kao što je u ovom projektu bio slučaj), ova mala razlika može dovesti do popriličnih problema, ukoliko se programer ne koncentrira maksimalno.

### 3.4.2. Postavljanje komunikacije s PLC-om

Već je ranije rečeno da je PLC I/O kontroler u ovoj lokalnoj ethernet mreži, stoga svaki od robota mora komunicirati s njim u realnom vremenu kako bi im davao informacije od svih drugih elemenata u mreži (senzori, cilindri na konstrukcijama za zavarivanje, drugi roboti i razni drugi uređaji). Stoga je potrebno stvoriti programe na PLC-u koji će upravljati svim sensorima i aktuatorima, koji će imati svoje jedinstveno ime i koje će robot moći zatražiti da se izvrše.

Nekoliko je primjera komunikacije PLC-a i robota. Za početak, PLC treba u svakom trenutku znati gdje se robot nalazi, kako bi se na vrijeme moglo reagirati i spriječiti stradanje čovjeka, jer je on jedini nepredvidi član ovog sustava. Prema tome na početku svakog programa u robotu, potrebno je poslati informaciju PLC-u gdje se robot nalazi. Kako je u robotu već isprogramiran DCS sustav zaštite dovoljno je samo poslati informaciju PLC-u da se robot nalazi izvan ili unutar tog prostora. Drugi primjer komunikacije je traženje dopuštenja za upravljanjem nad aktuatorima na konstrukcijama za zavarivanje( otvaranje i zatvaranje pneumatskih cilindara, magneti, vakuumske sisaljke i sl.).



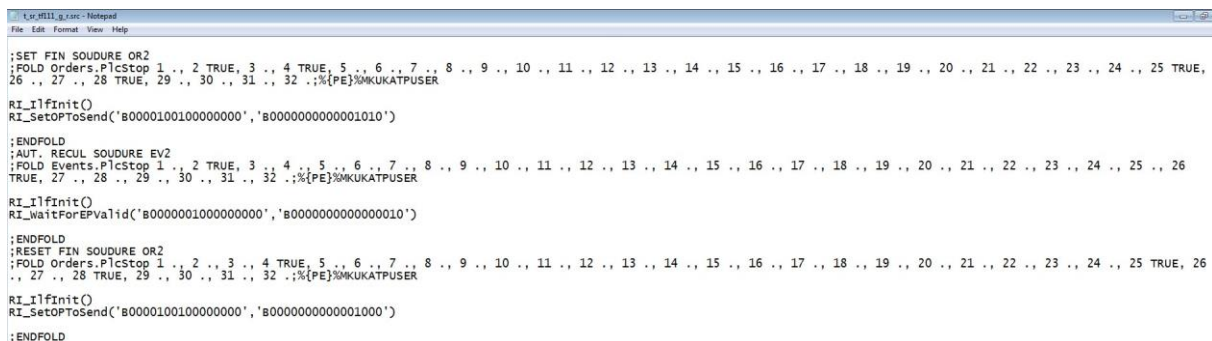
```

1: UTOOL_NUM=1 ;
2: UFRAME_NUM=1 ;
3: PAYLOAD[4] ;
4: ;
5: !First point ;
6: ;
7: PR[55:END PRISE R0] 100% FINE ;
8: ;
9: !SA D01 OR1, SA I01 OR8 ;
10: !HORS ZONE DO, IO OR17, 18 ;
11: CALL ORD_API('1000001000000000','0000000000000000') ;
12: !AUT. SOUDURE 2 EV13 ;
13: CALL EVT_API('0000000000001000','0000000000000000') ;
14: ;
15: P[2:1o80] 100% CNT30 ;
16: ;
17: CALL SR_SOUDE(1.37) ;
18: P[3:1stFg7033308] 100% FINE ;
19: SPOT[SD=10,P=1,S=1,ED=10] ;
20: P[4:1o81] 100% CNT30 ;

77: !SET FIN SOUDURE 2 OR7 ;
78: CALL ORD_API('1000001000000000','0000000000000000') ;
79: !AUT. RECU SOUDURE 2 EV10 ;
80: CALL EVT_API('0000000010000000','0000000000000000') ;
81: !SET FIN SOUDURE 2 OR7 ;
82: CALL ORD_API('1000001000000000','0000000000000000') ;
83: ;
84: P[28:1o87] 100% CNT30 ;
85: P[30:1o89] 100% CNT50 ;
86: P[31:1o89] 100% CNT50 ;
87: P[29:1o89] 100% CNT50 ;
88: ;
89: !Last point ;
90: ;
91: PR[56:END SOUDURE 2] 100% FINE ;
92: ;
93: !SA D01 OR1, SA I01 OR8 ;
94: !HORS ZONE DO, IO OR17, 18 ;
95: CALL ORD_API('1000001010000000','0000000000000000') ;
96: !RESET EVENTS ;
97: CALL EVT_API('0000000000000000','0000000000000000') ;
/POS
P[1:"1o79"]{
GP1:
UF : 1, UT : 1,          CONFIG : 'N U T, 0, 0, 0',
RX = -28.216 mm,      RY = -114.119 mm,  RZ = 607.430 mm,
RW = 0.000 deg,      RP = -45.000 deg,  RR = -90.000 deg
GP2:
UF : 1, UT : 1,
J1= 217.000 mm

```

Slika 43 Komunikacija s PLC-om (Fanuc)



```

!SET FIN SOUDURE OR2
;FOLD Orders.PlcStop 1 .. 2 TRUE, 3 .. 4 TRUE, 5 .. 6 .. 7 .. 8 .. 9 .. 10 .. 11 .. 12 .. 13 .. 14 .. 15 .. 16 .. 17 .. 18 .. 19 .. 20 .. 21 .. 22 .. 23 .. 24 .. 25 TRUE,
26 .. 27 .. 28 TRUE, 29 .. 30 .. 31 .. 32 .:;%PE}%MKUKATPUSER

RI_IfInIt()
RI_SetOPToSend('b0000100100000000','b0000000000001010')

;ENDFOLD
;AUT. RECU SOUDURE EV2
;FOLD Events.PlcStop 1 .. 2 TRUE, 3 .. 4 .. 5 .. 6 .. 7 .. 8 .. 9 .. 10 .. 11 .. 12 .. 13 .. 14 .. 15 .. 16 .. 17 .. 18 .. 19 .. 20 .. 21 .. 22 .. 23 .. 24 .. 25 .. 26
TRUE, 27 .. 28 .. 29 .. 30 .. 31 .. 32 .:;%PE}%MKUKATPUSER

RI_IfInIt()
RI_WaitForEPValid('b0000001000000000','b00000000000001000')

;ENDFOLD
;RESET FIN SOUDURE OR2
;FOLD Orders.PlcStop 1 .. 2 .. 3 .. 4 TRUE, 5 .. 6 .. 7 .. 8 .. 9 .. 10 .. 11 .. 12 .. 13 .. 14 .. 15 .. 16 .. 17 .. 18 .. 19 .. 20 .. 21 .. 22 .. 23 .. 24 .. 25 TRUE, 26
.. 27 .. 28 TRUE, 29 .. 30 .. 31 .. 32 .:;%PE}%MKUKATPUSER

RI_IfInIt()
RI_SetOPToSend('b0000100100000000','b0000000000001000')

;ENDFOLD

```

Slika 44 Komunikacija s PLC-om (Kuka)

Na slikama 43. I 44. prikazana je sintaksa u programu za komunikaciju robota G0 s PLC-om. Na prvoj slici je prikazano kako ta komunikacija izgleda kod Fanuca, a druga kod Kuke. Princip je apsolutno jednak, samo je sintaksa, odnosno vizualni prikaz na HMI-u robota malo drugačiji. Dakle, princip je da automatičari na PLC-u unaprijed postave programe kojima daju određeno ime te ih stave pod neki redni broj. Takvi programi koje roboti pozivaju zovu se event i orderi. Dakle, svaka radnja koja je unaprijed programirana na PLC-u poziva se binarnim brojem (adresom) od 32 bita.



Za primjer, objasniti će se slijedeća funkcija sa slike 43:

CALL ORD\_API('1000000100000000','0000000000000000'). U komentaru (!SA D01 OR1, SA I01 OR8 ; komentar se kod Fanuca označava sa uskličnikom na početku retka) je predloženo, za lakše snalaženje, da se radi o orderima 1 i 8, koji označavaju sigurna područja (SA). Taj termin SA (eng. „Safety Area“) predstavlja zonu ispunjenu senzorima te osiguranu s DCS-om robota, u kojoj se događa interakcija robota i čovjeka. Konkretno, u ovoj funkciji robot pozivom ordera 1 i 8 (u binarnom kodu redni broj jedinice predstavlja redni broj ordera), aktiviraju se sigurnosni prostori D0 i I0 (na slici 13. može se vidjeti gdje su oni smješteni), što znači da se aktiviraju svi senzori i barijere, te se čovjeku signalizira da mu ulazak nije dopušten.

Također, osim sigurnosnih prostora, potrebno je prije zavarivanja zatražiti dopuštenje PLC-a za početak zavarivanja. To je iznimno bitno postaviti prije prve točke zavarivanja, kako bi PLC upravljao pneumatskim cilindrima i fiksirao limove na konstrukciji, očitao sve senzore, te uvidio nepravilnosti (krivi redoslijed limova na konstrukciji, nedostatak limova i sl.). Tek kada se ne dogodi nikakva nepravilnost na konstrukcijama, robot dobiva dopuštenje za početak zavarivanja. Ista procedura, obavlja se na kraju zavarivanja. Robot nakon zadnje točke zavarivanja, traži dopuštenje za kraj zavarivanja, te odlazak izvan sigurnosnog područja. Kada robot izađe iz sigurnosnog područja, PLC dobiva signal (sve nule u binarnom kodu, odnosno vraćanje na početni položaj) i senzori za očitavanje prostora se gase, te se čovjeku omogućuje ulazak i skidanje zavarenog dijela sa konstrukcije, te postavljanje novih limova na istu konstrukciju.

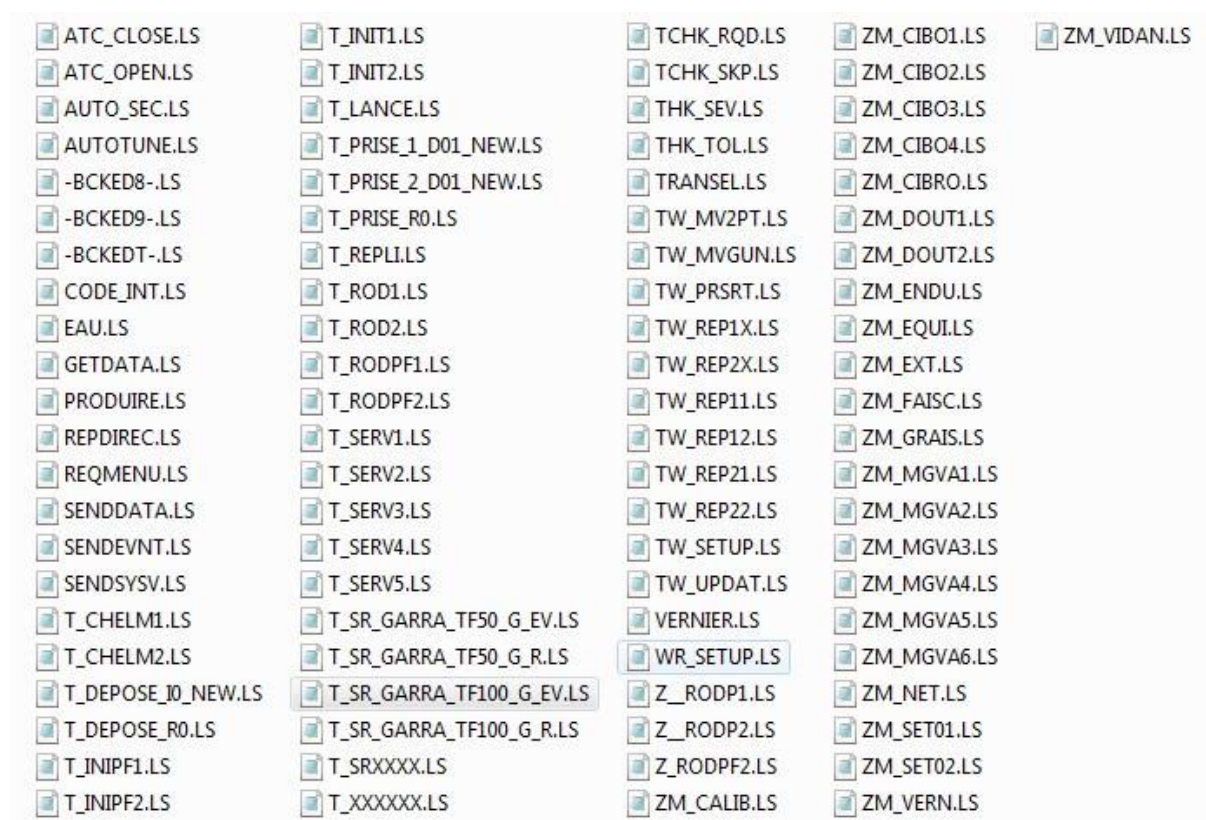
Ista procedura je i sa Kuki robotima, samo je vizualno predloženo različito. Primjer sa slike 44.:

```
;FOLD Orders.PlcStop 1 TRUE, 2 ., 3 ., 4 TRUE, 5 ., 6 ., 7 ., 8 ., 9 ., 10 ., 11 ., 12 ., 13 ., 14 ., 15 ., 16 ., 17 ., 18 ., 19 ., 20 ., 21 ., 22 ., 23 ., 24 ., 25 TRUE, 26 TRUE, 27 TRUE, 28 TRUE, 29 ., 30 ., 31 ., 32 .;{%PE}%MKUKATPUSER.
```

Dakle redni broj ordera ili eventa označava se sa „TRUE“ pored rednog broja bita. Nakon unosa potvrdne varijable na redne brojeve bitova, robot šalje jednak binarni kod PLC-u kao i Fanucov robot (RI\_SetOPToSend('B1001000000000000','B0000000011110000)).

### 3.4.3. Servisne putanje i program za automatski mod robota

Osim trajektorija za zavarivanje limova, te manipulaciju dijelova s jedne konstrukcije na drugu, bitno je unaprijed isprogramirati i servisne putanje, u slučaju kada se istroše elektrode (T\_ROD.LS), pa ih je potrebno izglodati ili potpuno zamjeniti (T\_REPLI.LS). Također potrebno je napraviti i trajektorije za sigurnosnu provjeru određenih elemenata (T\_CHELM.LS), te izvesti programe za provjeru elektroda, fluida i raznih drugih.



Slika 45 Lista programa na robotu Fanuc

Kada su se isprogramirale sve putanje za zavarivanje i manipuliranje, te servisne putanje, potrebno je napraviti program (AUTO\_SEC.LS) koji će ih ujediniti i pozivati u automatskom radu, kojim upravlja PLC. Na slici 46. predložen je primjer takvoga programa. Dakle, čovjek na automatu (PLC) odabire program koji će se izvoditi (odnosno koji dijelovi će se zavarivati), te robot primi poruku rednog broja programa, te ga počne izvoditi, odnosno počne pozivati unaprijed isprogramirane putanje i funkcije.

```
AUTO_SEC.LS - Notepad
File Edit Format View Help
27: ;
28: !*****CODE AUTOMATE 1 R4S ICE*** ;
29: LBL[1:Code 1] ;
30: TIMER[1]=RESET ;
31: TIMER[1]=START ;
32: !Trajectoire de prise 1 D0 ;
33: CALL T_PRISE_1_D01_NEW ;
34: !Trajectoire de prise 2 D0 ;
35: CALL T_PRISE_2_D01_NEW ;
36: !Trajectoire de soudure 1 R4S ;
37: CALL ACC_PF(1) ;
38: CALL RE_ABAT(1) ;
39: CALL T_SR_GARRA_TF50_G_R ;
40: !Trajectoire de dépose piçce R0 ;
41: CALL T_DEPOSE_R0 ;
42: !Trajectoire de prise R0 ;
43: CALL T_PRISE_R0 ;
44: !Trajectoire de soudure 2 R4S ;
45: CALL T_SR_GARRA_TF100_G_R ;
46: CALL HORS_PF(1) ;
47: !Trajectoire de dépose piçce I0 ;
48: CALL T_DEPOSE_I0_NEW ;
49: TIMER[1]=STOP ;
50: JMP LBL[9999] ;
51: ;
52: !*****CODE AUTOMATE 2 EV***** ;
53: LBL[2:Code 2] ;
54: TIMER[2]=RESET ;
55: TIMER[2]=START ;
56: !Trajectoire de prise 1 D0 ;
57: CALL T_PRISE_1_D01_NEW ;
58: !Trajectoire de prise 2 D0 ;
59: CALL T_PRISE_2_D01_NEW ;
60: !Trajectoire de soudure 1 R4S ;
61: CALL ACC_PF(1) ;
62: CALL RE_ABAT(1) ;
63: CALL T_SR_GARRA_TF50_G_EV ;
64: !Trajectoire de dépose piçce R0 ;
65: CALL T_DEPOSE_R0 ;
66: !Trajectoire de prise R0 ;
67: CALL T_PRISE_R0 ;
68: !Trajectoire de soudure 2 R4S ;
69: CALL T_SR_GARRA_TF100_G_EV ;
70: CALL HORS_PF(1) ;
71: !Trajectoire de dépose piçce I0 ;
72: CALL T_DEPOSE_I0_NEW ;
73: TIMER[2]=STOP ;
74: JMP LBL[9999] ;
75:
```

Slika 46 Program za rad u automatskom modu

## 4. ZAKLJUČAK

Željeni ciljevi cijelog ovog projekta su dakako povećanje profita i poboljšanje kvalitete zavora, te su usmjereni ka smanjenju udjela teškog i monotonog ljudskog rada, zbog povećanja standarda tvornice, ali i cjelokupne kvalitete življenja.

Ukupno operatera po jednoj smjeni bilo je jednako broju ručnih operacija zavarivanja. Kako se u cijeloj radnoj ćeliji nalazi 12 operacija zavarivanja, te dodatne 2 ručne operacije, dolazi se do brojke od 14 radnika po smjeni. U 3 smjene sveukupno je radilo 42 radnika. Sa robotizacijom, na svakoj strani teoretski je potreban jedan operater, koji će puniti konstrukcije s djelovima, ručno zavarivati matice, te odnositi dijelove s pokretne trake. Na ručnoj zoni će također biti samo jedan operater. Tako se dolazi do nove brojke od 9 operatera u 3 smjene. Dakle 34 operatera (80% svih radnika na tom radnom mjestu) više neće raditi na tim pozicijama, nego će biti premješteni na neke druge pozicije. Ušteda se planira i u materijalu koji bi postao otpad zbog ljudskih pogrešaka, a one su puno učestalije od robotskih. Naravno, brzina izvođenja zavora biti će puno veća, što je i cilj svake automatizacije, odnosno povećanje produktivnosti. Dakako, robot ima puno veću sposobnost repetabilnosti od operatera, pa će se konačnom produktu povećati i kvaliteta.

Cjelokupni projekt od početka projektiranja, pa u konačnici do integracije i puštanja u pogon, trajao je pola godine, te se ispoštovao dogovoreni rok.

Sve u svemu dolazi se do zaključka kako je robot u komunikaciji sa drugim robotima, te čovjekom puno bolja opcija od klasične ručne proizvodnje. Naravno, robot u tom lancu direktno ovisi o čovjeku i bez obzira kolike prednosti imao, ne može funkcionirati bez interakcije s njim. Stoga je ključno napraviti optimalnu interakciju, kako bi svi članovi u procesu imali svoju ulogu, te kako niti u jednom trenutku, bez obzira koliko nepredvidiva situacija bila, nebi došlo do oštećenja ili u najgorem slučaju, ozljede čovjeka.

## 5. LITERATURA

- [1] RENAULT: SLUŽBENA DOKUMENTACIJA PROJEKTA
- [2] <https://tehnika.lzmk.hr/robotika/> (dostupno 24.11.2021)
- [3] <http://web.studenti.math.pmf.unizg.hr/~kmaruna/odabranetemeracunarstva/rani%20pocetci> (dostupno 24.11.2021)
- [4] Radić Matija, Završni rad, FSB Zagreb, 2019.
- [5] <https://www.wikiwand.com/hr/Zavarivanje> (dostupno 24.11.2021)
- [6] "Termini i definicije kod zavarivanja", Dr.sc. Ivan Samardžić, izv. prof., Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2012.
- [7] Kordić, Z.: Elektrootporno zavarivanje, Zagreb, 1987.
- [8] [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=resistance\\_welding\\_rw](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=resistance_welding_rw) (dostupno 24.11.2021)
- [9] [www.renault.hr/osobna-vozila](http://www.renault.hr/osobna-vozila) (dostupno 24.11.2021)
- [10] [www.wikipedia.org/wiki/PROFINET](http://www.wikipedia.org/wiki/PROFINET) (ostupno 24.11.2021)
- [11] [www.profinet.com/technology/profinet/](http://www.profinet.com/technology/profinet/) (dostupno 24.11.2021)