

UNIVERZA V MARIBORU  
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Matic DRAŽNIK

**OCENA VARNOSTI ROBOTSKE CELICE Z  
VGRAJENIM ROBOTOM ACMA XR701  
NA PODLAGI VARNOSTNIH STANDARDOV  
ISO 10218-1:2006 IN ISO 10218-2**

Diplomsko delo  
univerzitetnega študijskega programa  
Strojništvo

Maribor, maj 2011



**Univerza v Mariboru**

*Fakulteta za strojništvo*

**OCENA VARNOSTI ROBOTSKE CELICE Z  
VGRAJENIM ROBOTOM ACMA XR701  
NA PODLAGI VARNOSTNIH STANDARDOV  
ISO 10218-1:2006 IN ISO 10218-2**

Diplomsko delo

Študent: Matic DRAŽNIK  
Študijski program: Univerzitetni; Strojništvo  
Smer: Mehatronika  
  
Mentor: izr. prof. dr. Karl GOTLIH  
Mentor: red. prof. dr. Riko ŠAFARIČ

Maribor, 2011

## IZJAVA

Podpisani Matic DRAŽNIK izjavljam, da:

- je bilo predloženo diplomsko delo opravljeno samostojno pod mentorstvom izr. prof. dr. Karla GOTLIHA in somentorstvom red. prof. dr. Rika ŠAFARIČA;
- predloženo diplomsko delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe na drugi fakulteti ali univerzi;
- soglašam z javno dostopnostjo diplomskega dela v Knjižnici tehniških fakultet Univerze v Mariboru.

Maribor,

Podpis: \_\_\_\_\_

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Karlu GOTLIHU in mentorju red. prof. dr. Riku ŠAFARIČU za pomoč in usmerjanje pri opravljanju diplomskega dela. Rad bi se tudi zahvalil Fakulteti za strojništvo v Mariboru za nudenje obširnega znanja v času študija.

Posebna zahvala pa gre mojim bližnjim, ki so me v času študija kljub vsemu podpirali, mi pomagali in verjeli vame.

# **OCENA VARNOSTI ROBOTSKE CELICE Z VGRAJENIM ROBOTOM ACMA XR701 NA PODLAGI VARNOSTNIH STANDARDOV ISO 10218-1:2006 IN ISO 10218-2**

**Ključne besede:** robotika, industrijski roboti, robotska celica, Renault ACMA XR701, ISO 10218, ocena varnosti robotske celice, varnost v robotski celici, standardizacija

**UDK:** 004.8:006.88(043.2)

## **POVZETEK**

*V proizvodnih procesih se vse več pojavljajo industrijski roboti, ki se vgrajujejo v robotske sisteme. Ker se lahko ti roboti v določenih situacijah obnašajo izredno nepredvidljivo, igra varnost zelo pomembno vlogo pri odkrivanju in preprečevanju nevarnih situacij, povezanih z robotskim sistemom. Za prepoznavanje teh nevarnosti je bilo potrebno preučiti področja standardizacije, robotizacije in predvsem pomembno področje varnosti robotskih sistemov. Ta področja so tudi opisana v diplomski nalogi. Po preučitvi ustrezne literature, se je na podlagi varnostnih standardov ISO 10218 – 1 in ISO 10218 – 2, izvedla ocena varnosti obstoječe robotske celice z vgrajenim robotom Renault ACMA XR701, kar je bila tudi glavna naloga diplomskega dela. Rezultati varnostne ocene so ustrezno razloženi in zapisani, na koncu pa so podani tudi predlogi in napotki kako doseči varnost, ki jo zahtevata zgoraj omenjena standarda.*

# **SAFETY EVALUATION OF ROBOTIC CELL WITH INTEGRATED ROBOT ACMA XR701 BASED ON SAFETY STANDARDS ISO 10218-1:2006 AND ISO 10218-2**

**Key words:** robotics, industrial robots, robot cells, Renault ACMA XR701, ISO 10218, safety assessment of robotic cells, robotic cell safety, standardization

**UDK:** 004.8:006.88(043.2)

## **ABSTRACT**

*As a part production processes industrial robots are being increasingly installed in robotic systems. Detecting and preventing hazardous situations associated with the robotic systems plays an important role since a robotic system can behave unpredictably in certain situations. To identify those risks it was necessary to research the fields of standardization, robotics, and particularly important field of robotics safety. These fields are also described in the present diploma work. After examining the relevant literature based on ISO 10218-1 and ISO 10218-2 safety standards, an evaluation of the safety of an existing robotic cell with integrated robot Renault ACMA XR701 was carried out, which was also the main task of the diploma work. The results of safety assessments are properly explained and recorded, and in the conclusion advice and guidance are given on how to achieve the safety and security required by the above-mentioned standards.*

# KAZALO

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1	OPIS SPLOŠNEGA PODROČJA DIPLOMSKEGA DELA.....	- 1 -
1.2	OPREDELITEV PROBLEMA, KI JE PREDMET DELA .....	- 1 -
1.3	KRATEK OPIS STRUKTURE DIPLOMSKEGA DELA .....	- 2 -
<b>2</b>	<b>STANDARDIZACIJA .....</b>	<b>- 3 -</b>
2.1	NACIONALNA STANDARDIZACIJA .....	- 3 -
2.1.1	<i>SIST</i> .....	- 4 -
2.2	EVROPSKA STANDARDIZACIJA .....	- 5 -
2.2.1	<i>CEN</i> .....	- 5 -
2.2.2	<i>CENELEC</i> .....	- 5 -
2.2.3	<i>ETSI</i> .....	- 6 -
2.2.4	<i>Harmonizirani evropski standardi</i> .....	- 6 -
2.3	MEDNARODNA STANDARDIZACIJA.....	- 8 -
2.4	NOSILCI MEDNARODNE STANDARDIZACIJE.....	- 9 -
2.4.1	<i>IEC</i> .....	- 9 -
2.4.2	<i>ITU</i> .....	- 10 -
2.4.3	<i>ISO</i> .....	- 10 -
2.5	KAKO SO RAZVITI ISO STANDARDI .....	- 11 -
2.5.1	<i>Glavne faze</i> .....	- 11 -
2.6	STOPNJE RAZVOJA MEDNARODNIH ISO STANDARDOV.....	- 12 -
<b>3</b>	<b>ROBOTIKA.....</b>	<b>- 13 -</b>
3.1	KAJ JE ROBOTIKA .....	- 13 -
3.2	ZAČETKI ROBOTIKE .....	- 13 -
3.2.1	<i>ZDA</i> .....	- 14 -
3.2.2	<i>Evropa</i> .....	- 15 -
3.2.3	<i>Azija</i> .....	- 16 -
3.3	ZGODOVINA ROBOTIKE .....	- 17 -
3.4	ROBOTIKA DANES .....	- 19 -
3.4.1	<i>Industrijska robotika</i> .....	- 19 -
3.4.2	<i>Servisna robotika</i> .....	- 20 -
3.5	ASIMOMI TRIJE ZAKONI ROBOTIKE.....	- 22 -
<b>4</b>	<b>INDUSTRIJSKI ROBOTI .....</b>	<b>- 23 -</b>
4.1	DEFINICIJA ROBOTA.....	- 23 -

4.2	UPORABA ROBOTOV .....	- 23 -
4.3	ROBOTSKI MANIPULATOR .....	- 24 -
4.4	RAZVRŠČANJE .....	- 25 -
4.4.1	<i>Vir energije</i> .....	- 25 -
4.4.2	<i>Uporaba</i> .....	- 25 -
4.4.3	<i>Način vodenja</i> .....	- 26 -
4.4.4	<i>Geometrija</i> .....	- 26 -
<b>5</b>	<b>VARNOST V ROBOTSKI CELICI</b> .....	<b>- 29 -</b>
5.1	ZAHTEVE DIREKTIV .....	- 30 -
5.1.1	<i>Evropa</i> .....	- 30 -
5.1.2	<i>Severna Amerika</i> .....	- 30 -
5.1.3	<i>Azija</i> .....	- 30 -
5.2	CE OZNAKA .....	- 31 -
5.3	VELJAVNI STANDARDI .....	- 31 -
5.4	NEVARNOSTI POVEZANE Z ROBOTI .....	- 32 -
5.4.1	<i>Tipi nevarnosti</i> .....	- 32 -
5.4.2	<i>Viri nevarnosti</i> .....	- 33 -
5.5	OCENA TVEGANJA .....	- 34 -
5.5.1	<i>Omejitve robotskega sistema</i> .....	- 34 -
5.5.2	<i>Prepoznavanje nalog in nevarnosti</i> .....	- 35 -
5.5.3	<i>Opredelitev tveganja</i> .....	- 35 -
5.5.4	<i>Zmanjšanje tveganja</i> .....	- 37 -
5.6	FUNKCIONALNA VARNOST (VARNOSTNE KATEGORIJE).....	- 38 -
5.7	NIVOJI VAROVANJA.....	- 38 -
5.7.1	<i>Nivo 1</i> .....	- 39 -
5.7.2	<i>Nivo 2</i> .....	- 39 -
5.7.3	<i>Nivo 3</i> .....	- 39 -
5.8	VARNO NAČRTOVANJE .....	- 39 -
5.9	VAROVANJE MED OPERACIJO .....	- 40 -
5.9.1	<i>Fiksne pregrade</i> .....	- 41 -
5.9.2	<i>Pregrade s končnimi stikali</i> .....	- 41 -
5.9.3	<i>Pregrade za označevanje</i> .....	- 41 -
5.9.4	<i>Končna in pozicijska stikala</i> .....	- 41 -
5.9.5	<i>Elektromagnetna stikala</i> .....	- 42 -
5.9.6	<i>Naprave za zaznavanje prisotnosti</i> .....	- 43 -
5.9.7	<i>Dvoročna in nožna stikala</i> .....	- 44 -
5.9.8	<i>Slišna in vidna opozorila</i> .....	- 45 -



5.10	DODATNI ZAŠČITNI UKREPI.....	- 45 -
5.10.1	<i>Izklop v sili</i> .....	- 45 -
5.10.2	<i>STOP kategorije</i> .....	- 45 -
<b>6</b>	<b>OPIS ROBOTSKÉ CELICE .....</b>	<b>- 47 -</b>
6.1	VARNOSTNA CELICA .....	- 47 -
6.2	OPIS ROBOTA ACMA XR 701.....	- 48 -
6.2.1	<i>Shematska zasnova robota</i> .....	- 49 -
6.2.2	<i>Delovno območje robota</i> .....	- 50 -
6.2.3	<i>Karakteristike</i> .....	- 51 -
6.2.4	<i>Opis osi</i> .....	- 51 -
6.3	OPIS KRMILNE OMARE.....	- 52 -
6.3.1	<i>Zgornji del</i> .....	- 53 -
6.3.2	<i>Spodnji del</i> .....	- 54 -
6.4	ROČNA KONZOLA .....	- 54 -
<b>7</b>	<b>ISO 10218 – 1:2006 [9].....</b>	<b>- 56 -</b>
7.1	NORMATIVNE REFERENCE.....	- 57 -
7.2	PREPOZNAVANJE NEVARNOSTI IN OCENA TVEGANJA.....	- 57 -
7.3	VARNOSTNE ZAHTEVE IN ZAŠČITNI UKREPI .....	- 58 -
7.3.1	<i>Splošne zahteve</i> .....	- 58 -
7.3.2	<i>Naprave za omogočanje</i> .....	- 59 -
7.3.3	<i>Delovanje varnostnih kontrolnih sistemov (strojna/programska oprema)</i> .....	- 59 -
7.3.4	<i>Ustavitvene funkcije robota</i> .....	- 59 -
7.3.5	<i>Nadzor zmanjšane hitrosti</i> .....	- 60 -
7.3.6	<i>Operacijski načini</i> .....	- 60 -
7.3.7	<i>Krmilnik</i> .....	- 61 -
7.3.8	<i>Nadzor hkratnega gibanja</i> .....	- 61 -
7.3.9	<i>Kolaborativne operacijske zahteve</i> .....	- 61 -
7.3.10	<i>Zaščita pred singularnostjo</i> .....	- 62 -
7.3.11	<i>Omejitev osi</i> .....	- 62 -
7.3.12	<i>Gibanje brez pogonske moči</i> .....	- 63 -
7.3.13	<i>Določbe za dvigovanje</i> .....	- 63 -
7.3.14	<i>Električni priključki</i> .....	- 63 -
7.4	NAVODILA ZA UPORABO .....	- 64 -
7.4.1	<i>Priročnik za uporabo</i> .....	- 64 -
7.4.2	<i>Označevanje</i> .....	- 65 -
<b>8</b>	<b>ISO 10218 – 2 [10].....</b>	<b>- 66 -</b>

8.1	NORMATIVNE REFERENCE.....	- 66 -
8.2	PREPOZNAVANJE NEVARNOSTI IN OCENA TVEGANJA.....	- 67 -
8.2.1	Postavitev.....	- 68 -
8.2.2	Ocena tveganja.....	- 68 -
8.2.3	Prepoznavanje nevarnosti .....	- 69 -
8.2.4	Odpravljanje nevarnosti in zmanjšanje tveganja.....	- 69 -
8.3	VARNOSTNE ZAHTEVE IN ZAŠČITNI UKREPI .....	- 70 -
8.3.1	Delovanje varnostnih kontrolnih sistemov (strojna/programska oprema) .....	- 70 -
8.3.2	Oblikovanje in namestitve.....	- 71 -
8.3.3	Omejevanje gibanja robota .....	- 74 -
8.3.4	Postavitev.....	- 75 -
8.3.5	Operacijski načini robotskega sistema.....	- 77 -
8.3.6	Konzole.....	- 77 -
8.3.7	Vzdrževanje in popravila .....	- 78 -
8.3.8	Integrirane interference proizvodnega sistema (IMS).....	- 78 -
8.3.9	Varovanje.....	- 78 -
8.3.10	Kolaborativni roboti .....	- 79 -
8.3.11	Zagon robotov in robotske opreme.....	- 79 -
8.4	PREVERJANJE VARNOSTNIH MERIL IN OBLIKOVNIH ZAHTEV .....	- 80 -
8.4.1	Zahteve preverjanja .....	- 80 -
8.4.2	Preverjanje varnostnih elementov .....	- 80 -
8.4.3	Izvajanje testa.....	- 81 -
8.5	NAVODILA ZA UPORABO .....	- 81 -
8.5.1	Priročnik za uporabo .....	- 81 -
8.5.2	Označevanje.....	- 81 -
<b>9</b>	<b>OCENA VARNOSTI .....</b>	<b>- 82 -</b>
9.1	OCENA VARNOSTI ROBOTA .....	- 83 -
9.1.1	Splošne zahteve .....	- 83 -
9.1.2	Stikala .....	- 83 -
9.1.3	Delovanje kontrolnega sistema.....	- 84 -
9.1.4	Ustavitev v sili in varnostni stop.....	- 84 -
9.1.5	Načini delovanja .....	- 85 -
9.1.6	Krmilnik – učna konzola .....	- 86 -
9.1.7	Omejitev osi .....	- 86 -
9.1.8	Gibanje brez pogonske moči in električni priključki .....	- 87 -
9.1.9	Priročnik za uporabo in označevanje .....	- 87 -
9.2	OCENA VARNOSTI ROBOTSKE CELICE .....	- 88 -

9.2.1	<i>Postavitev in prepoznavanje nevarnosti</i> .....	- 88 -
9.2.2	<i>Varnostni nadzorni sistem</i> .....	- 88 -
9.2.3	<i>Oblikovanje, namestitve in omejitve robotskega sistema</i> .....	- 89 -
9.2.4	<i>Načini delovanja in ustavitev robotske celice</i> .....	- 91 -
9.2.5	<i>Varovanje</i> .....	- 91 -
9.2.6	<i>Zagon robota in robotskega sistema</i> .....	- 92 -
9.2.7	<i>Navodila in priročnik za uporabo</i> .....	- 92 -
9.2.8	<i>Označevanje</i> .....	- 92 -
<b>10</b>	<b>DISKUSIJA</b> .....	<b>- 93 -</b>
<b>11</b>	<b>SKLEP</b> .....	<b>- 94 -</b>
<b>12</b>	<b>VIRI</b> .....	<b>- 95 -</b>
<b>13</b>	<b>PRILOGE</b> .....	<b>- 97 -</b>
13.1	ISO 10218-1:2008 PREVERJANJE VARNOSTNIH MERIL IN OBLIKOVNIH ZAHTEV .....	- 97 -
13.2	ISO 10218-2 PREVERJANJE VARNOSTNIH MERIL IN OBLIKOVNIH ZAHTEV .....	- 102 -

## KAZALO SLIK

Slika 2.1: Logotip SIST .....	- 4 -
Slika 2.2: Logotipi CEN, CENELEC, ETSI.....	- 6 -
Slika 2.3: Tipi standardov .....	- 7 -
Slika 2.4: Vpliv IEC/ISO standardov .....	- 9 -
Slika 2.5: Levo IEC logotip, na sredini ITU logotip in levo logotip ISO .....	- 10 -
Slika 3.1: Robot ABB IRB 1600-7/145, s šestimi prostostnimi stopnjami .....	- 14 -
Slika 3.2: Prvi robot vgrajen v industriji z imenom Unimate.....	- 15 -
Slika 3.3: Robot ASEA IRB 6 .....	- 16 -
Slika 3.4: Levo robot SCARA, desno WABOT – 1 .....	- 17 -
Slika 3.5: Primerjava dobave industrijskih robotov med leti 2008 in 2009 .....	- 20 -
Slika 3.6: Prodane enote in pričakovana prodaja profesionalnih servisnih robotov .....	- 21 -
Slika 3.7: Prodane enote in pričakovana prodaja robotov za osebno uporabo .....	- 21 -
Slika 4.1: Vrsti sklepov.....	- 24 -
Slika 4.2: Levo artikulirani, desno sferični manipulator .....	- 27 -
Slika 4.3: Levo SCARA, desno cilindrični manipulator .....	- 27 -
Slika 4.4: Kartezični manipulator.....	- 28 -
Slika 5.1: Možen nastanek nevarnosti med učenjem robota .....	- 29 -
Slika 5.2: Pravilna izvedba CE oznake.....	- 31 -
Slika 5.3: Možne nevarnosti .....	- 33 -
Slika 5.4: Izvedba ocene tveganja .....	- 37 -
Slika 5.5: Odstranitev nevarnosti samo z ukrepi varne zasnove .....	- 40 -
Slika 5.6: Razni tipi pozicijskih in končnih stikal .....	- 42 -
Slika 5.7: Elektromagnetne zapore.....	- 42 -
Slika 5.8: Varnostna svetlobna zavesa in na tlak/pritisk občutljiva preproga .....	- 44 -
Slika 5.9: Dvoročna stikala in kombinacija z nožnim .....	- 44 -
Slika 6.1: Varnostna celica.....	- 47 -
Slika 6.2: Vrata ograde z zaklepom .....	- 48 -
Slika 6.3: ACMA XR 701 .....	- 49 -
Slika 6.4: Shema robota s pripadajočo krmilno omaro .....	- 49 -
Slika 6.5: Delovno območje robota ACMA XR 701 .....	- 50 -
Slika 6.6: Krmilna omara ACMA BR 2210.....	- 53 -

Slika 6.7: Ročna konzola.....	- 55 -
Slika 6.8: Stikalo za omogočanje gibanja.....	- 55 -
Slika 7.1: Operacijski načini.....	- 61 -
Slika 8.1: Varovala.....	- 79 -
Slika 9.1: Zavarovani viri energij .....	- 83 -
Slika 9.2: Komandna plošča .....	- 84 -
Slika 9.3: Stikali izklopa v sili na komandni plošči in na konzoli .....	- 85 -
Slika 9.4: Stikalo izbire delovanja.....	- 85 -
Slika 9.5: Omejitveno stikalo in mehanski stop .....	- 86 -
Slika 9.6: Ustrezno povezani priključki .....	- 87 -
Slika 9.7: Ploščici s podatki.....	- 87 -
Slika 9.8: Glavno stikalo napajanja in odklopno stikalo močnostnega dela za varjenje .....	- 89 -
Slika 9.9: Opozorilne table .....	- 90 -
Slika 9.10: Slabo označeno delovno območje robota.....	- 90 -
Slika 9.11: Funkcije ustavitve robotskega sistema .....	- 91 -
Slika 9.12: Varnostna vrata odprta in zaprta.....	- 92 -

## KAZALO TABEL

Tabela 6.1: Kot gibanja, maksimalna in čas dosega maksimalne hitrosti za osi .....	- 51 -
Tabela 7.1: Primerjava izklopa v sili in zaščitnega stopa .....	- 60 -
Tabela 9.1: Varnostni nivoji glede na IEC/EN 62061.....	- 88 -
Tabela 13.1: Preverjanje in potrjevanje varnostnih zahtev .....	- 97 -
Tabela 13.2: Preverjanje in potrjevanje varnostnih zahtev .....	- 102 -

## UPORABLJENE KRATICE

NAFTA	–	North American Free Trade Agreement
SCARA	–	Selective Compliant Articulated Robot Arm
SSRMS	–	Space Station Remote Manipulation System
NYSE	–	The New York Stock Exchange
IFR	–	IFR International Federation of Robotics
RIA	–	robot institute of america
CENELEC	–	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
ISO	–	International Standard Organisation
SIST EN	–	Slovenian Institute for Standardization
DIN	–	Deutsches Institut für Normung
BSI	–	British Standards Institution
ANSI	–	American National Standards Institute
CEN	–	Comité Européen de Normalisation
ETSI	–	European Telecommunications Standards Institute
EFTA	–	European Free Trade Association
ITU	–	International Telecommunication Union
CE	–	Conformité Européene
EU	–	European Union
EN	–	European Standards
TC	–	Technical Comite
SC	–	Safety Comite
AC	–	Alternating current
DC	–	Direct current

# 1 UVOD

## 1.1 Opis splošnega področja diplomskega dela

Diplomsko delo obsega področje zagotovitve varnosti obstoječe robotske celice z vgrajenim robotom ACMA XR701, na podlagi varnostnih standardov ISO 10218-1: 2006 in ISO 10218-2. Industrijski robot je po standardu ISO 8373 definiran kot industrijski robotski manipulator, ki je povratnozančno voden, reprogramabilen in večnamenski sistem. Lahko je fiksni ali mobilni ter je programabilen v treh ali več prostostnih stopnjah. Uporabljamo ga v procesih industrijske avtomatizacije. Tipične aplikacije robotov so varjenje, barvanje, sestavljanje, poberi in postavi, pakiranje in paletiranje, pregled izdelka in preizkušanje.

Pri delu z roboti lahko pride do raznih nesreč in ob tem tudi do telesnih poškodb, ki so lahko tragične, če delovno območje robota ni ustrezno zavarovano. Industrijski roboti so sposobni doseganja visokih hitrosti, nenadnih, včasih tudi nepredvidenih gibov in lahko pokrivajo obsežno območje, v katerem delujejo. Vsi ti parametri lahko predstavljajo nevarnost osebi, ki se zadržuje v njegovi bližini, zato je potrebno vse predvidene in nepredvidene možne napake na delovanju sistema robota omejiti in preprečiti z ustrezno oceno tveganja pri postavitvi varnostnega sistema robotske celice. Zagotavljanje varnosti robotskega sistema je torej ključnega pomena v vsaki robotizirani in avtomatizirani proizvodnji.

## 1.2 Opredelitev problema, ki je predmet dela

Robot ACMA XR701 se je prvotno uporabljal v podjetju Revoz d.d. v Novem mestu. Zaradi posodobitve proizvodne linije so ACMA robote zamenjali z novejšimi ABB roboti, enega izmed zamenjanih pa so darovali Fakulteti za strojništvo. Ta robot je sedaj vgrajen v robotsko celico in se uporablja predvsem za študijske namene, kar pomeni, da v stik z njim in s celotnim robotskim sistemom prihaja veliko število oseb, večinoma takšnih, ki s takšnim sistemom še nikoli niso bili v stiku in so še neveščji upravljanja z njim. Prav zaradi tega mora biti robotska celica še posebej varna in mora ustrezati varnostnim zahtevam, ki so zapisane v standardih ISO 10218-1:2006 in ISO 10218-2, s katerima bom tudi preverjal ustreznost celice v mojem diplomskem delu.

Varnostna standarda po katerih bo potekala ocena varnosti, sta novejša od robota in robotske celice, saj je robot že starejše izdelave in je že kar nekaj časa v proizvodnji, robotska celica pa je bila zgrajena naknadno. Na podlagi tega pričakujem, da bo zaradi sprememb v varnostnih zahtevah, ki so vsako leto bolj razdelane, ter glede na starost robota ter celice, v oceni varnosti prepoznanih nekaj napak in pomanjkljivosti katere bo potrebno v prihodnosti tudi odpraviti.

### 1.3 Kratek opis strukture diplomskega dela

Diplomsko delo zajema enajst poglavij, v katerih so zajete osnove in vodila za dobro poznavanje robotike, delovanja robota in za izvedbo kvalitetne ocene varnosti.

V prvem uvodnem poglavju je na kratko predstavljena tematika, ki bo obravnavana v tem diplomskem delu.

V drugem, tretjem in četrtem poglavju so predstavljeni osnovni pojmi, ki se nanašajo na vejo standardizacije, robotike in na industrijske robote.

Peto poglavje je že pomembnejše, saj vsebuje podatke s katerimi lahko zagotovimo določeno stopnjo varnosti robotske celice. Opisane so metode in načini.

V šestem poglavju se srečamo z robotsko celico in robotom ACMA XR 701, ki sta na kratko predstavljena in opisana.

Sedmo in osmo poglavje vsebujeta prevedene povzetke obeh delov standarda ISO 10218, ki sta ključna v tem diplomskem delu za izvedbo ocene varnosti.

V devetem poglavju se izvede ocena varnosti robotske celice, na podlagi predelane vse tematike, ki je omenjena v zgoraj opisanih poglavjih.

Sledita še diskusija in sklep, v katerih je povzeta celotna diplomska naloga. Predstavljeni so rezultati in ugotovitve, podan je tudi predlog za rešitev neskladnosti povezanih z varnostjo robotskega sistema.



## 2 STANDARDIZACIJA

Standardizacija, ki ji z drugo besedo lahko rečemo tudi poenotenje, je metoda, s katero razvijemo in določimo sklop opredeljenih pogojev ali referenc in postopkov, ki se morajo dosledno uporabljati pri določenih procesih in izdelkih. Bistvo te metode je odstranjevanje raznolikosti glede na kvaliteto, obliko, dimenzije, materiale, varnost, zanesljivost ter življenjsko dobo izdelka.

Med začetnika prave industrijske standardizacije štejemo tovarnarja Henryja Forda, ki je leta 1903 ustanovil še zdaj zelo popularno tovarno Ford Motor Company. Industrijski standardi so se kasneje, natančneje v 20. stoletju, razširili po vsem svetu, pri čemer je imela odločilno vlogo mednarodna organizacija za standardizacijo ali z kratico ISO (International Organization for Standardization) s sedežem v Švici.

Bistvena razlika med standardiziranimi izdelki in nestandardiziranimi je, da se sedaj lahko uporabi ustrezen nadomesten del proizvajalca stroja ali opreme oziroma ustrezen standardno določen del, ki je enakovreden originalnemu, le da je drugega proizvajalca. S tem so industrijski standardi pocenili izdelavo in izdelke, predvsem pa pocenili popravila in vzdrževanje [26].

### 2.1 Nacionalna standardizacija

V splošnem ima vsaka država ali gospodarstvo en priznan nacionalni organ za standardizacijo (NSB). Nekateri najbolj poznani so American National Standards Institute (ANSI), the British Standards Institution (BSI), Deutsches Institut für Normung (DIN), Swedish Standards Institute (SIS) in seveda naš slovenski inštitut za standardizacijo (SIST). Nacionalni organ za standardizacijo je lahko organizacija javnega ali zasebnega sektorja ali kombinacija obeh. Ponavadi so ti organi oziroma nacionalne organizacije članice mednarodnih organizacij, kot je na primer ISO, razen nekaterih izjem.

### 2.1.1 SIST

SIST ali slovenski inštitut za standardizacijo je slovenski nacionalni organ, ki zastopa interese Slovenije v mednarodnih (ISO in IEC) ter evropskih organih (CEN, CENELEC, ETSI), in je tudi njihov aktivni polnopravni član. S svojim delovanjem je pričel leta 2001, ko je prevzel naloge povezane s sprejemanjem slovenskih nacionalnih standardov od takratnega Urada RS za standardizacijo in meroslovje (sedanjega Urada RS za meroslovje).

Slovenski inštitut za standardizacijo je slovenski nacionalni organ za standarde, ki je odgovoren za vzpostavitev, vodenje in vzdrževanje nacionalnega sistema standardizacije. Na mednarodno primerljiv način zagotavlja vsem zainteresiranim dosegljivost slovenskih, nacionalnih in drugih standardov. Predstavlja Slovenijo v mednarodnih in evropskih organizacijah za standardizacijo ter omogoča, da lahko vsi zainteresirani sodelujejo pri zastopanju nacionalnih interesov v procesu evropske in mednarodne standardizacije [22].

#### Podatki o SIST:

- **uradno ime:** Slovenski inštitut za standardizacijo;
- **kratica:** SIST;
- **naslov:** Šmartinska cesta 152, 1000 Ljubljana, Slovenija;
- **leto ustanovitve:** 2000;
- **pričetek delovanja:** 2001;
- **pravni status:** Pravna oseba javnega prava;
- **število zaposlenih:** 24;
- **število tehničnih delovnih teles SIST:** 77;
- **število ekspertov v tehničnih odborih SIST:** 579;
- **število dokumentov izdanih v letu 2009:** 2563 (2009);
- **število privzetih dokumentov v letu 2009:** 24478 (2009).



Slika 2.1: Logotip SIST

## 2.2 Evropska standardizacija

V Evropski uniji so kot evropski standardi priznani le standardi, ki so jih oblikovali CEN (Comité Européen de Normalisation), CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) in ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Države članice morajo obvestiti evropsko komisijo in druga drugo o vseh osnutkih tehničnih predpisov preden so standardi sprejeti v nacionalno zakonodajo. Ta pravila so določena v direktivi 98/34/EC, s ciljem zagotavljanja preglednosti nadzora v zvezi s tehničnimi predpisi.

### 2.2.1 CEN

Evropski komite za standardizacijo (Comité Européen de Normalisation) s sedežem v Bruslju je bil ustanovljen leta 1961. V sistemu pripravljanja in izdajanja evropskih tehničnih standardov so prek nacionalnih organov za standarde z delom predstavnikov zastopani interesi industrije, države in civilne družbe. CEN pripravlja evropske standarde (EN) in standardizacijske dokumente na vseh področjih standardizacije, razen elektrotehnike in telekomunikacij. Delo CEN temelji na odprtosti, konsenzu in nacionalni zastopanosti (formalno se evropski standardi sprejemajo z večino glasov nacionalnih članic). S tem organizacija prispeva k vzpostavitvi notranjega trga, varnosti zaposlenih in potrošnikov, interoperabilnosti omrežij, varstvu okolja ter k drugim ciljem Evropske unije in evropskega gospodarskega prostora. Slovenski inštitut za standardizacijo je njen nacionalni član od 1. januarja 2004 [2].

### 2.2.2 CENELEC

Evropski komite za standardizacijo v elektrotehniki (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) s sedežem v Bruslju je bil ustanovljen leta 1973 z združitvijo dveh evropskih organizacij CENELCOM in CENEL. V delo CENELEC je aktivno vključenih več kot 35.000 tehničnih strokovnjakov iz 22 evropskih držav, ki pripravljajo, sprejemajo in izdajajo standarde za potrebe evropskega trga in v podporo direktivam novega pristopa. Poslanstvo organizacije je pripravljati standarde na področju elektrotehnike, ki bodo pomagali razvijati enotni trg električnih in elektronskih izdelkov ter odstranjevati ovire pri trgovanju, ustvarjati nove trge in zmanjševati stroške pri doseganju skladnosti. Slovenski inštitut za standardizacijo je njen nacionalni član od 1. januarja 2004 [3].

### 2.2.3 ETSI

ETSI je Evropski telekomunikacijski inštitut za standardizacijo (European Telecommunications Standards Institute) s sedežem v Sophia – Antipolis blizu Nice v Franciji. Trenutno ima organizacija 912 članov iz 54 evropskih in neevropskih držav. Kot člani sodelujejo poleg nacionalnih organizacij tudi proizvajalci, operaterji, raziskovalci in uporabniki telekomunikacijskih storitev. Standardizacijsko delo ETSI je tesno povezano s potrebami članov in z zahtevami trga. Njegovi člani so vključeni z interesom za pripravo telekomunikacijskih standardov, med njimi je tudi Slovenski inštitut za standardizacijo [5].



Slika 2.2: Logotipi CEN, CENELEC, ETSI

### 2.2.4 Harmonizirani evropski standardi

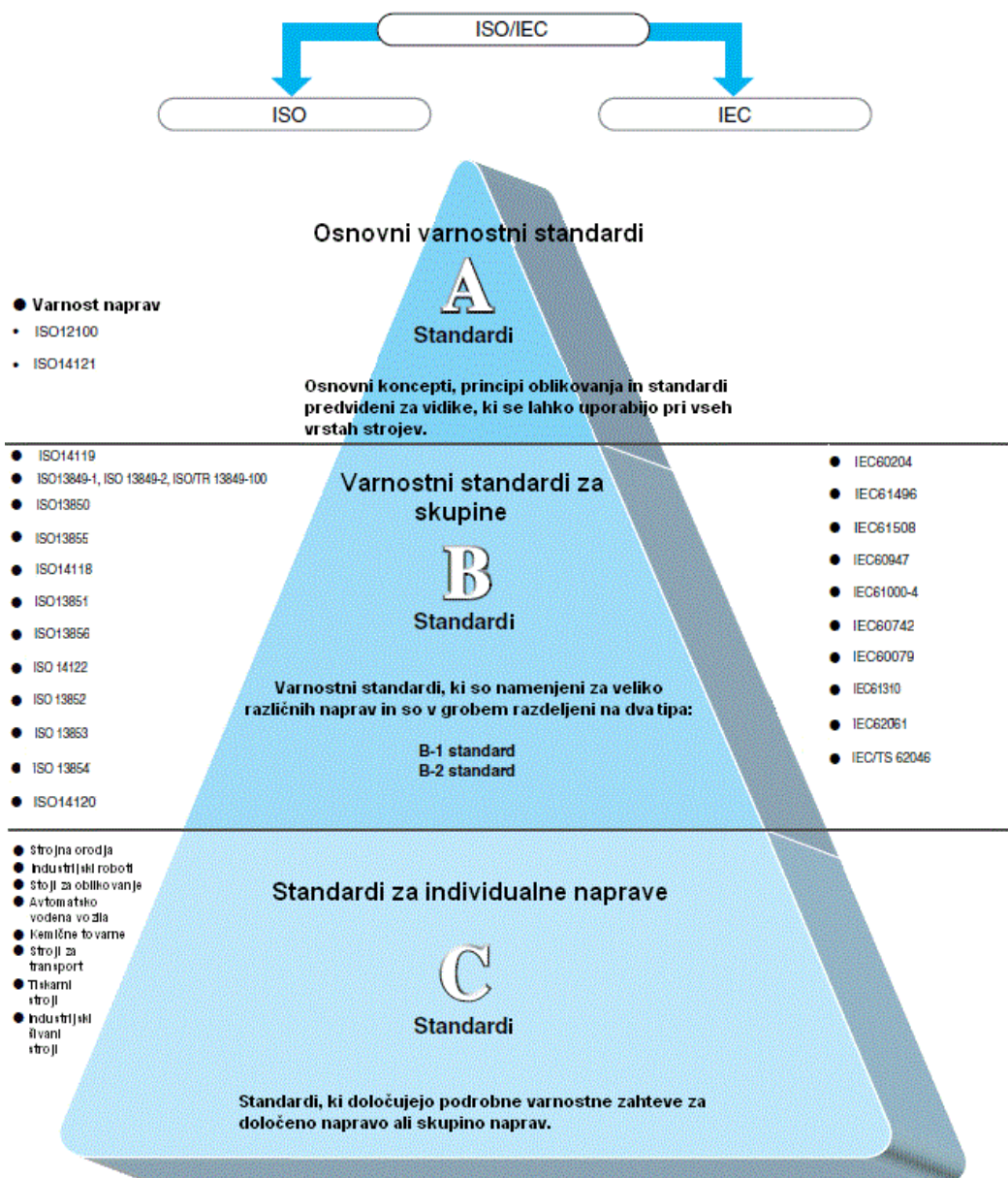
Je EN standard, ki je bil pripravljen po naročilu Evropske komisije in EFTA z namenom, da podpre bistvene zahteve direktive. Ni nujno, da je zajet celoten standard, saj je mogoče v besedilo vključiti tudi določila, katerih uporaba ni nujna. V takem primeru govorimo o reguliranem področju standarda. Njihov uporaba je prostovoljna, vendar je načrtovanje in proizvodnja opreme po njih neposreden način dokazovanja skladnosti.

**Poznamo tri kategorije oziroma tipe teh standardov:**

- 1. Standardi tipa A:** Opredeljujejo temeljne pojme in splošna načela načrtovanja, ki veljajo za vse vrste strojev in naprav.
- 2. Standardi tipa B:** Veljajo za večino strojev in naprav, običajno so "stand-alone" varnostne naprave, kot na primer varnostne zavese, označene s standardom tipa B.

- **B<sub>1</sub>** – Pokrivajo varnostne in ergonomične vidike naprav in strojev.
- **B<sub>2</sub>** – Pokrivajo varnostne komponente in varnostne naprave.

**3. Standardi tipa C:** Pokrivajo specifične tipe oziroma skupine naprav in strojev ter podajajo minimalna varnostna navodila za njih. V odsotnosti tega tipa standarda morajo oblikovalci strojev uporabiti tako tip A kot tudi tip B.



Slika 2.3: Tipi standardov

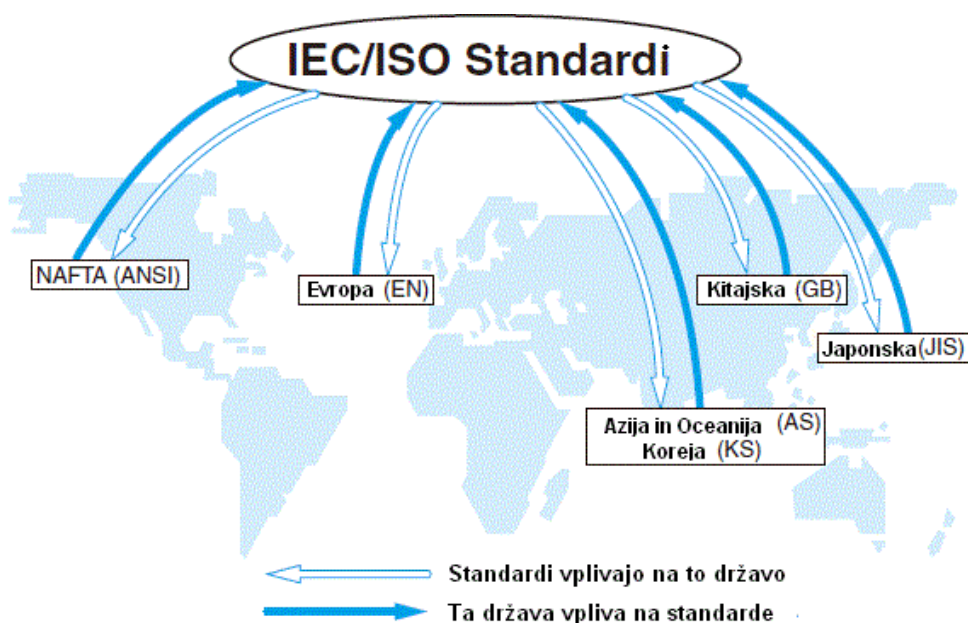
## 2.3 Mednarodna standardizacija

Mednarodna standardizacija zajema mnoga področja tehnologije in blagovne menjave. Obstoje neusklajenih standardov v različnih regijah in državah lahko vodi do ovir pri trgovanju. Da bi olajšali postopek mednarodnega trgovanja, so s konsenzom vse zainteresirane države sprejele mednarodne standarde, ki omogočajo izvozni industriji prosto pot. Največje prednosti mednarodne standardizacije se odražajo v:

- **Svetovnem napredku in liberalizaciji trgovanja:** s sodobnim načinom trgovanja vstopamo v tako imenovani "prosti trg", kar pomeni, da z mednarodnimi standardi jasno določimo merila in napotke in tako omogočimo konkurenčen in enakopraven boj, ki temelji na nepristranskih merilih.
- **Predstavitvi in povezovanju posameznih področij:** med seboj je treba usklajevati standarde iz različnih področij, kot na primer za posamezne komponente, izdelke načine uporabe in vzdrževanja ter odlaganje po zaključku življenjske dobe.
- **Združljivost komunikacijskih sistemov:** dober primer hitre in sodobne standardizacije je računalniška industrija. Uporabnikom omogoča svobodno izbiro, proizvajalcem pa zdravo konkurenco, zaradi popolne združljivosti med odprtimi sistemi. Odprta izmenjava informacij je dobra za produktivnost, za zmanjševanje stroškov, predvsem pa za inovacije.
- **Pripravi standardov za nove tehnologije:** na popolnoma novih področjih, kot so na primer novi materiali, skrb za okolje, urbanizacija prostora in grajenje, se standardizacijski programi vključujejo že zelo zgodaj v delo. Najprej določijo terminologijo in ustvarjajo baze podatkov za celovite informacije, kar omogoča vsem komunikacijo v istem jeziku.
- **Skrbi za dežele v razvoju:** pogoj, za povečanje produktivnosti in konkurenčnosti na trgu in naravnost izvoza, je uporaba mednarodnih standardov. Za dežele, ki so šele začele graditi svojo industrijo in standardizacijsko infrastrukturo, je z mednarodnimi standardi prodor na mednarodni trg veliko lažji.
- **Zaupanju uporabnikov:** izdelki in storitve, ki so v skladu z mednarodnimi standardi, so na tržišču veliko bolj cenjeni in zaupanja vredni. Zaupanje in varnost je dosežena že z dobaviteljevo izjavo o skladnosti, še bolj pa z dodatnimi certifikati neodvisnega organa [26].

## 2.4 Nosilci mednarodne standardizacije

Nosilci mednarodne standardizacije so Mednarodna elektrotehniška komisija (IEC – International Electrotechnical Commission), Mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO – International Organization for Standardization) in Mednarodna telekomunikacijska zveza (ITU – International Telecommunication Union). Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST) je polnopravni član organizacije ISO in IEC. Član ITU je elektrotehniška zveza Slovenije.



Slika 2.4: Vpliv IEC/ISO standardov

### 2.4.1 IEC

Je neprofitna nevladna organizacija za standardizacijo, ki pripravlja mednarodne standarde za vse električne, elektronske in sorodne tehnologije, poznane pod pojmom elektrotehnike. IEC standardi pokrivajo področja proizvodnje energije, prenosa in distribucije do gospodinjskih aparatov in pisarniške opreme, polprevodnikov, optičnih vlaken, baterij, sončne energije, nanotehnologije in energije morja ter številna druga. IEC upravlja tudi tri globalne sisteme za presojo skladnosti opreme, sistemov in komponent z mednarodnimi standardi. Ustanovljena je bila leta 1906 in šteje 60 držav članic [8].

### 2.4.2 ITU

Je specializirana agencija Združenih narodov, ki je odgovorna za informacijske in komunikacijske tehnologije. ITU usklajuje globalno uporabo radijskega spektra, spodbuja mednarodno sodelovanje pri dodelitvi satelitskih orbit, dela za izboljšanje telekomunikacijske infrastrukture v državah v razvoju in vzpostavlja svetovne standarde. ITU je dejaven na področju širokopasovnega interneta, zadnje generacije brezžičnih tehnologij, letalske in ladijske plovbe, radijske astronomije, satelitske meteorologije in drugih. Sedež ima v Ženevi njeno članstvo pa vključuje 192 držav članic [12].

### 2.4.3 ISO

Je največji svetovni razvijalec in izdajatelj mednarodnih standardov. ISO je mreža mednarodnih inštitutov za standardizacijo iz 163 držav, ustanovljena 23. februarja 1947 z generalnim sekretariatom v Ženevi, ki koordinira sistem. Je nevladna organizacija, ki predstavlja most med javnim in zasebnim sektorjem, kar pomeni, da so nekatere izmed članic del vladne strukture njihovih držav ali pa so jih pooblastile njihove vlade, druge pa imajo svoje korenine v zasebnem sektorju in so bile ustanovljene s strani mednarodnega partnerstva industrijskih združenj. Zato ISO omogoča, da bo dosežena rešitev, ki ustreza tako zahtevam poslovanja kot tudi širšim potrebam družbe [11].



**Slika 2.5: Levo IEC logotip, na sredini ITU logotip in levo logotip ISO**



## 2.5 Kako so razviti ISO standardi

Do danes je mednarodna organizacija ISO razvila in izdala več kot 16.000 mednarodnih standardov, na več kot 620.000 straneh v angleškem in francoskem jeziku. ISO standardi se razvijajo v skladu z naslednjimi načeli:

- **Konsenz** – upoštevajo se stališča vseh interesov: proizvajalcev, prodajalcev in uporabnikov, potrošniških skupin, preizkusnih laboratorijev, vlad, inženirskih poklicev in raziskovalnih organizacij.
- **Za celotno industrijo** – globalne rešitve za zadovoljitev industrije in kupcev po celotnem svetu.
- **Prostovoljno** – mednarodna standardizacija je tržno usmerjena in zato temelji na prostovoljnem sodelovanju vseh interesov na trgu.

### 2.5.1 Glavne faze

Obstajajo tri glavne faze v razvoju ISO standardov, ki si sledijo takole:

1. Potreba po standardu je običajno izražena s strani industrijskega sektorja, ki jo sporoči mednarodnemu članu odbora. Slednji predlaga obravnavo tega ISO organizaciji. Ko se ta potreba po mednarodnem standardu prepozna kot uradno potrjena, se vključi v prvo fazo, ki vključuje opredelitev tehničnega področja bodočega standarda. Ta faza se običajno izvaja v delovnih skupinah, ki jih sestavljajo strokovnjaki iz držav, katere obravnavana tematika zanima.
2. Ko je dosežen sporazum o tehničnih vidikih, ki jih je potrebno zajeti v standardu, se prične druga faza, v kateri se države med seboj pogajajo o podrobnih specifikacijskih zahtevah v standardu. Ta faza je faza vzpostavljanja soglasja.
3. Zaključna faza vključuje uradno odobritev, ki izhaja iz osnutka mednarodnega standarda. Merila sprejemljivosti določita dve tretjini ISO članov, ki so aktivno sodelovali v procesu razvoja standarda in 75% članov, ki je glasovalo. Odobren dokument je objavljen kot ISO mednarodni standard.

Možno je tudi, da se objavljajo vmesni dokumenti na različnih stopnjah v procesu standardizacije.

Večina standardov zahteva občasno revizijo, za kar obstaja več dejavnikov, ki privedejo do tega, da postane standard zastarel. To so predvsem hiter tehnološki razvoj, ki prinese uporabo novih materialov, nove metode in kakovost izdelave ter predvsem nove varnostne zahteve.

Da bi se mednarodna organizacija ISO izognila zastarelosti standardov, je uvedla splošno pravilo, da se standardi pregledujejo periodično na obdobje, ki ni daljše od petih let. Včasih je zaradi izrednih razmer potrebno standard spremeniti že prej.

## 2.6 Stopnje razvoja mednarodnih ISO standardov

Mednarodni standard je rezultat dogovora med državami članicami organizacije ISO. Uporablja se lahko sam po sebi takšen kot je ali pa se lahko izvaja z vključitvijo v nacionalne standarde iz različnih držav. Mednarodni standardi so razviti s strani tehničnih odborov ISO (TC) in pododborov (SC) po postopku, v šestih korakih:

- faza 1: predlog;
- faza 2: faza priprave;
- faza 3: faza odbora;
- faza 4: faza povpraševanja;
- faza 5: faza odobritve;
- faza 6: faza objave.

Če je na začetku standardizacije na voljo dokument z določeno mero zrelosti, na primer, da je bil standard razvit s strani kakšne druge organizacije, je mogoče izpustiti določene korake. V tako imenovanem 'hitrem postopku' je dokument predložen direktno članom odbora ISO (Faza 4), kot osnutek mednarodnega standarda (DIS). Če je bil dokument priznan s strani ISO sveta kot končna oblika osnutka standarda (FDIS, Faza 5), pa se lahko preskočijo ostale stopnje [11].

## 3 ROBOTIKA

### 3.1 Kaj je robotika

Robotika je relativno mlado področje moderne tehnologije in inženiringa, ki se križa s tradicionalnimi vejami inženiringa. Torej, robotika je področje inženiringa, ki se ukvarja z razvojem in uporabo robotov, z njihovimi aplikacijami, z računalniškimi sistemi za delovanje in vodenje robotov ter z zajemanjem in procesiranjem podatkov. Razumevanje kompleksnosti robotov in njihovih aplikacij zahteva širok spekter znanj s področja elektrotehnike, strojništva, računalništva, ekonomije, matematike in industrijskega inženirstva. Za poznavanje robotskih sistemov in avtomatizacije pa so nastale tudi nove veje, kot so proizvodno in aplikacijsko inženirstvo ter inženirstvo umetne inteligence.

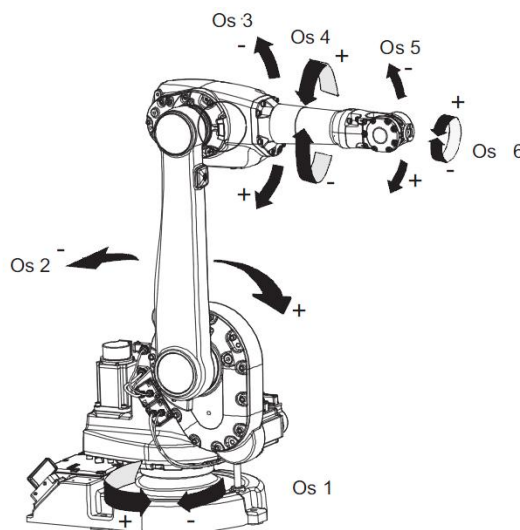
Znanost robotike je zelo napredovala v zadnjih dvajsetih letih, predvsem po zaslugi hitrega napredka na področju računalništva in senzorike, pa tudi na podlagi teoretičnega napredka na področju nadzora in računalniškega vida. Robotika pa zajema še številna druga področja, kot so področja gibajočih se robotov (roboti na kolesih, roboti z nogami, leteči in plavajoči roboti, prijemajoči...), umetne inteligence, programskih jezikov in računalniško podprtega načrtovanja.

Kljub vsem tem raznolikim in zanimivim področjem robotike, pa je v tem trenutku večina robotskih aplikacij izdelanih predvsem za industrijske robotske manipulatorje, kateri operirajo v strukturiranih tovarniških okoljih. Največkrat jih srečujemo v avtomobilski industriji, večinoma v procesu montaže [19].

### 3.2 Začetki robotike

Izraz robot je bil prvič uporabljen leta 1920, ko ga je znani češki pisatelj in dramatik Karel Čapek uporabil v svojem delu z naslovom Rossumovi univerzalni roboti (Rossum's Universal Robots). Beseda "*robot*" v češkem jeziku pomeni delo, torej lahko rečemo, da ima robotika korenine na Češkem.

Od prve uporabe izraza robot, se je ta izraz kasneje pričel uporabljati predvsem za skoraj vse mehanske naprave, ki delujejo z določeno stopnjo avtonomije in ponavadi pod računalniškim nadzorom. V industriji se za izraz robot uporablja predvsem računalniško nadziran industrijski manipulator, kakršen je prikazan na sliki 3.1.

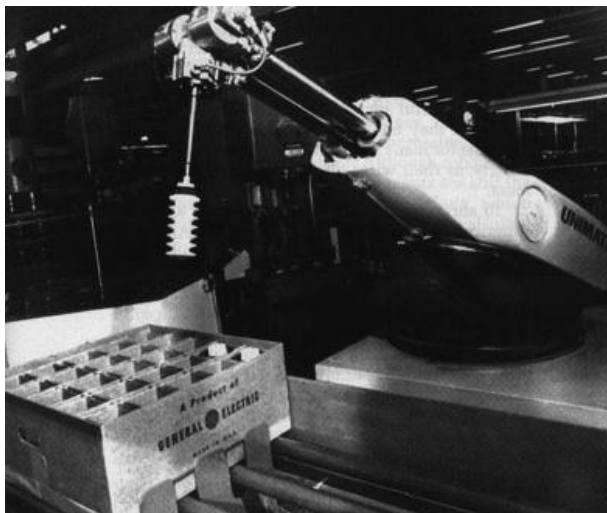


**Slika 3.1: Robot ABB IRB 1600-7/145, s šestimi prostostnimi stopnjami**

### 3.2.1 ZDA

Robotika, kakršna je v sedanji obliki, pa se je začela razvijati v drugi polovici štiridesetih let 19. stoletja. Kot je bilo že prej omenjeno, je robotika tesno povezana z vejo računalništva, zato sta uporaba in razvoj robotike v zadnjih 50. letih napredovala vzporedno z razvojem računalništva. Najprej so bili roboti vodeni na podlagi magnetnega traku, kasneje pa so le te zamenjali programirljivi računalniki.

Pionir na področju klasične robotike je George Devol, ki je leta 1954 kot prvi izumil prvega programabilnega robota Universal Automation in je kasneje ustanovil podjetja Unimation Inc. V letu 1960 je družbo Unimation Inc. kupilo podjetje Condec Corporation, kar je pomenilo začetek proizvodnje in prodaje robotskih sistemov Unimate. Pomembna prelomnica v industrijski robotiki pa je zagotovo bilo večje naročilo robotov (leta 1964) s strani podjetja GM (General Motors), kjer so jih uporabljali predvsem za pobiranje vročih odlitkov in zlaganje v palete.



**Slika 3.2: Prvi robot vgrajen v industriji z imenom Unimate**

### **3.2.2 Evropa**

Do leta 1967 je bila uporaba robotov omejena predvsem na ZDA, a tega leta je tudi Evropa dobila prvega Unimate robota in tako se je robotizacija preselila tudi preko luže. V poznih 60. letih je tudi Evropa pričela z razvojem in proizvodnjo robotov, saj naj bi bili ameriški roboti predragi. Prvo podjetje, ki se je v Evropi pričelo ukvarjati s tem je bilo švedsko podjetje ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget), ki so tudi kot prvi pričeli z razvojem prvega električnega robota z oznako IRB 6, v sodelovanju takrat še zelo majhnega in nepoznanega podjetja IBM. Prvega so prodali v podjetje Magnusson, ki je bilo prvo popolnoma avtomatizirano podjetje.

Kasneje so v podjetju ASEA izdelali še večjo različico robota IRB 6 z oznako IRB 60 in se pričeli ukvarjati tudi z različnimi delovnimi metodami za določene robotske aplikacije. Podjetje je funkcionalno še danes in še vedno je v samem vrhu robotizacije, le da je sedaj znano pod imenom ABB (ASEA Brown Boveri).

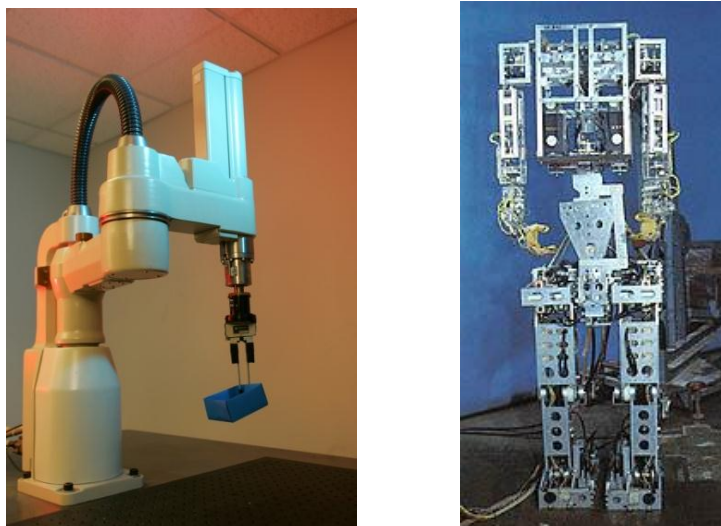


**Slika 3.3: Robot ASEA IRB 6**

### **3.2.3 Azija**

Razvoj robotov v Aziji je doživel razcvet predvsem na Japonskem konec sedemdesetih let. Na Japonskem je privedlo do povpraševanja po robotih in posledično potreba po razvoju lastnih robotov, predvsem zaradi pomanjkanja delovne sile. Pojavili so se roboti podobni Aseinemu IRB 6. Najbolj znan razvoj robota na Japonskem je leta 1979 razvit štiri osni robot SCARA (selektivna skladno zglobna robotska roka), s strani profesorja Hiroshija Makina na Yamanashi univerzi. Največji japonski proizvajalec robotov ter vodilni na področju robotike v Aziji in na Japonskem pa je zagotovo podjetje Yakasava oziroma znano tudi pod imenom Motoman.

Leta 1973 pa je bil razvit tudi prvi humanoidni robot na svetu in sicer WABOT – 1, na Tokijski Waseda univerzi. Bil je opremljen s sistemom za nadzor udov, kar pomeni, da je bil sposoben samostojne hoje, lahko je komuniciral z osebami in bil sposoben prijemanja različnih predmetov [19].



**Slika 3.4: Levo robot SCARA, desno WABOT – 1**

### 3.3 Zgodovina robotike

- ✚ 1947 – razvit prvi električni teleoperator,
- ✚ 1948 – razvit teleoperator, ki vsebuje povratni odziva,
- ✚ 1949 – začetek raziskav o numerično krmiljenih rezkalnih strojih,
- ✚ 1954 – George Devolov model prvega programabilnega robota,
- ✚ 1956 – Joseph Engelberger, študent fizike na univerzitetni Columbia, kupi pravice za izdelavo robota Unimate in ustanovi podjetje Unimation,
- ✚ 1961 – prvi robot Unimate je nameščen v podjetju General Motors,
- ✚ 1961 – razvije se prvi robot, z vgrajenim povratnim odzivom,
- ✚ 1963 – razvit je sistem za robotski vid,
- ✚ 1971 – stanfordska roka je razvit na univerzi Stanford,
- ✚ 1973 – prvi robotski programski jezik (WAVE) je bil razvit na univerzi Stanford,
- ✚ 1974 – Cincinnati Milacron predstavi T<sup>3</sup> robota z računalniškim nadzorom,
- ✚ 1975 – Unimation Inc. zabeleži svoj prvi finančni dobiček,
- ✚ 1976 – RCC, naprava za vstavljanje delov v montaži je razvit v Bostonu,
- ✚ 1976 – robotske roke so uporabljene na Viking I in II vesoljskih sondah in pri pristanku na Marsu,
- ✚ 1978 – Unimation uvaja robot PUMA, ki temelji na modelih iz študij General Motors,
- ✚ 1979 – SCARA robot je predstavljen na Japonskem,

- ✚ 1981 – razvit prvi neposredni gnani robot na univerzi Carnegie – Mellon,
- ✚ 1983 – ustanovljen Adept Technology in uspešno trži neposredno gnane robot,
- ✚ 1986 – podvodni robot, Jason iz Woods Hole oceanografskega inštituta, raziskuje razbitine Titanika,
- ✚ 1988 – Staubli Group kupi Unimation,
- ✚ 1988 – ustanovljena IEEE Robotics in Automation Society,
- ✚ 1993 – eksperimentalni robot ROTEX, nemške vesoljske agencije, je letel na krovu raketoplana Columbia,
- ✚ 1996 – Honda predstav svoj humanoidni robot,
- ✚ 1997 – prvi RoboCup – 97, ki poteka v Nagoya na japonskem, se udeleži 40 ekip iz celega sveta,
- ✚ 1997 – Sojourner mobilni robot odpotuje na Mars, na krovu Nasinega plovila Mars PathFinder,
- ✚ 2001 – Sony začne množično proizvajati prvega robota za domače gospodinjstvo, psa z imenom Aibo,
- ✚ 2001 – SSRMS je poslana v vesolje na krovu raketoplana Endeavor za lažjo izgradnjo vesoljske postaje,
- ✚ 2001 – poteka prva tele kirurgija, ko kirurgi v New Yorku izvedejo odstranitev žolčnika ženski v Strasbourgu,
- ✚ 2001 – roboti se uporabljajo za iskanje žrtev po tragediji na World Trade Centru, 11. Septembra,
- ✚ 2002 – humanoidni Hondin robot ASIMO zazvoni z otvoritvenim zvoncem na NYSE
- ✚ 2003 – NASA izstreli MER – A "Spirit" namenjeni na Mars in MER – B "Priložnost" (Opportunity)
- ✚ 2003 – SONY predstavi javnosti Aibo ERS – 7, 3. generacije,
- ✚ 2005 – korejski inštitut za znanost in tehnologijo (Kist), ustvari robota HUBO, ki naj bi bil najpametnejši robot na svetu,
- ✚ 2008 – prodanih več kot 2,5 milijona enot robotskih sesalnikov Roomba,
- ✚ 2008 – 2011 – v razvoju številne nove oblike robotov, za uporabo na področju medicine, industrije, vojaške uporabe in številnih drugih [25].



### 3.4 Robotika danes

Do današnjega dne se je v svetu razvilo veliko različnih oblik robotov za opravljanje številnih opravil, s katerimi so nam olajšali delo predvsem v nevarnih in zahtevnih pogojih, številni pa so bili razviti predvsem za namene zabave.

Različne tipe robotov lahko razdelimo po njihovem delovanju v dve kategoriji, saj je robotika v osnovi razdeljena na dva dela, na industrijsko robotiko in servisno robotiko. Pod del industrijske robotike spadajo vsi roboti, ki se uporabljajo v industriji na področju proizvodnje. Servisna robotika pa zajema področje storitev in opredeljuje robote, ki služijo in pomagajo človeku, vzdržujejo opremo in delujejo popolnoma ali pol avtonomno. Lahko jih tudi razdelimo na podskupini robotov za domačo uporabo in na specialne robote.

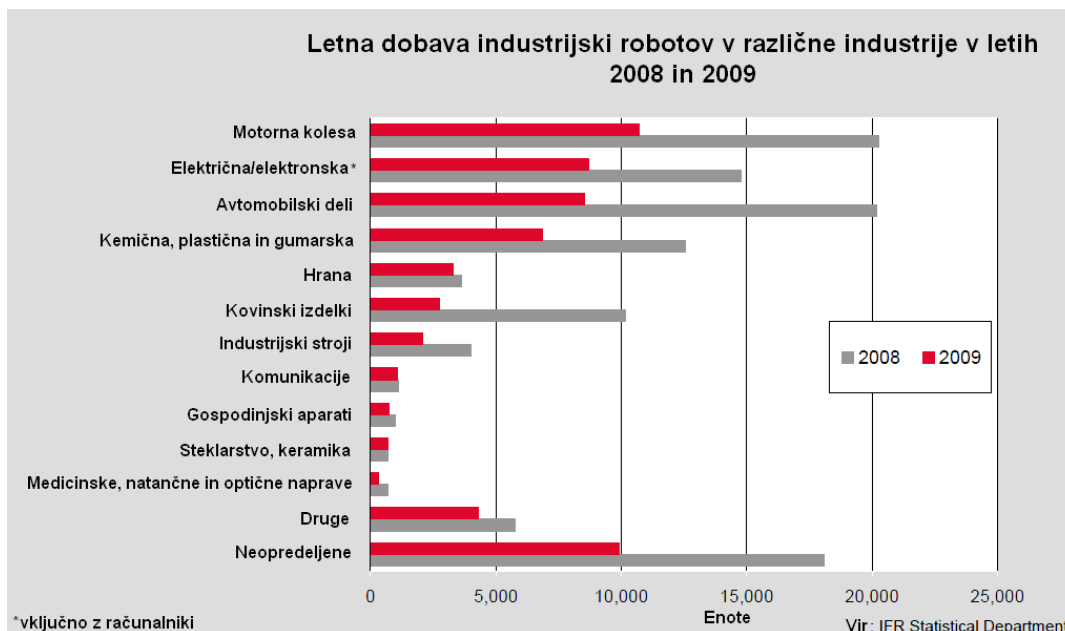
Servisni roboti za domačo uporabo, se večino uporabljajo kot pomoč za vzdrževanje doma in lajšanje oziroma za dvig kvalitete življenja doma. Ti roboti namesto človeka opravljajo domača opravila, kot na primer čiščenje in pomivanje tal ter košenje trave. Velik del te vrste robotov pa se uporablja predvsem za zabavo, to so roboti igrače in hobi roboti. Specialni servisni roboti se uporabljajo predvsem na specifičnih področjih in so del logističnih sistemov in so večinoma namenjeni samo za eno vrsto aplikacij. Uporabljajo se na področjih medicine, kmetijstva, gozdarstva, rudarstva v industriji kot vzdrževalni roboti in tudi v vesolju. Predvsem pomembno vlogo opravljajo na področju medicine [27].

#### 3.4.1 Industrijska robotika

Po oceni IFR (mednarodne federacije za robotiko) naj bi bilo trenutno delujočih od 1.021.000 do 1.300.000 industrijskih robotov. Največ jih je vgrajenih v Evropi in na Japonskem.

V letu 2009 je svetovna gospodarska in finančna kriza povzročila znatni padec prodaje industrijskih robotov. V primerjavi z letom 2008, ki velja za enega izmed najbolj uspešnih let, je bil upad prodaje leta 2009 za 47% ali 60.000 enot. Padec so zabeležili v vseh industrijskih panogah, največji padec pa je bil v kovinski in strojni industriji 64% ter v avtomobilski industriji 52% (Slika 3.5). Okrevanje in narast prodaje robotov po svetu je pričakovana v

obdobju od leta 2011 do 2013. Leto 2010 je že zabeležilo višjo prodajo kot prejšnje in porast naj bi se nadaljeval tudi v naslednjih letih. Po pričakovanjih naj bi se prodaja dvignila vsako leto, naslednja tri leta za 10%, kar znaša približno 100.000 enot. Glavno povpraševanje po novih enotah prihaja predvsem iz azijskih držav, dobava pa naj bi se povečala tudi v ZDA.



**Slika 3.5: Primerjava dobave industrijskih robotov med leti 2008 in 2009**

### 3.4.2 Servisna robotika

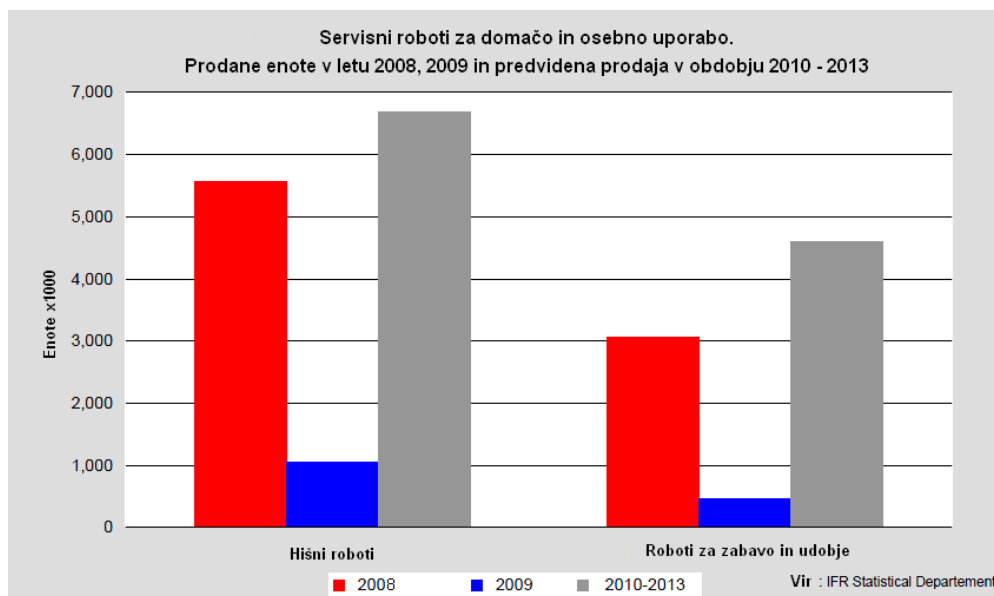
V letu 2009 je bilo prodanih okoli 76.600 enot profesionalnih servisnih robotov in okoli 8.7 milijona enot robotov za osebno uporabo, od tega 5.6 milijona enot za domačo uporabo in 3.1 milijona za zabavo in prosti čas. Tudi na tem področju robotike je gospodarska kriza pustila velik pečat glede upada prodaje servisnih robotov. A tako kot pri industrijskih robotih, se tudi tukaj pričakuje nagla porast povpraševanja in prodaje.

Za obdobje od leta 2010 do leta 2013 se pričakuje, da bo prodanih in vgrajenih 80.000 novih profesionalnih servisnih robotov (Slika 3.6). Področja, kjer naj bi bila porast največja, so obramba, varnostne aplikacije, logistični sistemi, medicina, poljski roboti in mobilni roboti za različno uporabo.

Za isto obdobje, kot je napisano zgoraj, pa se na področju servisnih robotov za osebno in domačo uporabo pričakuje prodaja približno 11.4 milijona enot (Slika 3.7). Predvideva se, da naj bi bilo 6.7 milijona enot iz področja domače uporabe, kot so na primer roboti za košenje trave, za čiščenje in drugi. Ostalih 4.6 milijona pa naj bi jih bilo s področja zabave in prostega časa, večina teh je nižjega cenovnega razreda od robotov za domačo uporabo [17].



**Slika 3.6: Prodane enote in pričakovana prodaja profesionalnih servisnih robotov**



**Slika 3.7: Prodane enote in pričakovana prodaja robotov za osebno uporabo**

### 3.5 Asimovi trije zakoni robotike

Tri zakone robotike je zastavil ameriški biokemik in pisatelj Isaac Asimov leta 1942 v delu z naslovom *Jaz, robot*. Asimov je najbolj znan kot popularizator znanosti in pisec znanstvene fantastike, pisal pa je tudi znanstvene razlage.

**Trije zakoni so:**

- 1. Robot človeka ne sme poškodovati oziroma mu škodovati s svojim nedelovanjem.**
- 2. Robot mora ubogati ukaze, razen če so v nasprotju s prvim zakonom.**
- 3. Robot mora zaščititi sebe, razen če je to v nasprotju s prvima zakonoma.**

Kasneje je bil dodan še četrti zakon oziroma *Ničti zakon* robotike, ki je močnejši od ostalih treh in se glasi takole:

- 0. Robot ne sme škodovati človeštvu oziroma mu škodovati s svojim nedelovanjem.**

Zakone se uporablja tudi v modernem svetu, kot neke vrste etični kodeks robotike.

## 4 INDUSTRIJSKI ROBOTI

### 4.1 Definicija robota

Uradna opredelitev oziroma definicija prihaja iz inštituta za robote v Ameriki (RIA) in se glasi:

**Robot je programirljiv večnamenski manipulator, s tremi ali več prostostnimi stopnjami, namenjen za premikanje delov, orodij ali drugih posebnih naprav s spremenljivimi programirljivimi gibi za opravljanje različnih nalog.**

Ključni element v zgornji definiciji je programirljivost robotov. Ravno s programiranjem robotovih "možganov" dosežemo njegovo uporabnost in prilagodljivost. Ta robot, ki je opisan v zgornji definiciji, je nastal z združitvijo numeričnega krmiljenja in teleoperiranja.

### 4.2 Uporaba robotov

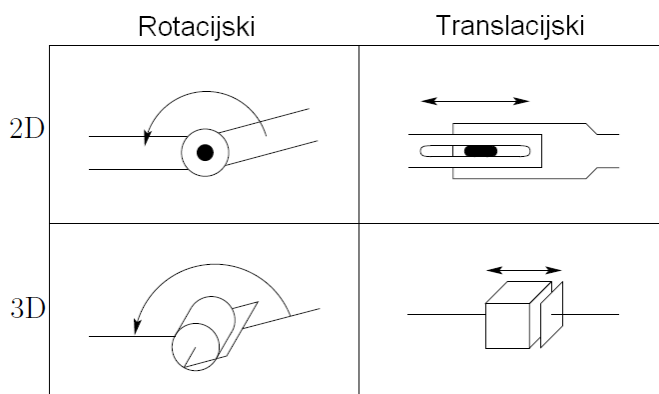
V industriji se uporablja vedno več robotov ali manipulatorjev, kjer opravljajo razno razne naloge. Sprva so roboti, ki so bili uvedeni v industrijski proces opravljali le manjše naloge, kot na primer premikanje materiala, varjenje in barvanje. Za te operacije se najpogosteje uporabljajo še danes, še posebno za industrijsko varjenje, saj roboti dosežajo visoko kvaliteto varjenja s svojo natančnostjo in ponovljivostjo, kljub visoki hitrosti varjenja. S svojo konstantnostjo in ponovljivostjo gibanja pa so tudi zelo dobri na področju barvanja saj ob teh kvalitetah, ki jih imajo, dosežejo popolno obarvanje površine, ob tem pa porabijo minimalno barve, saj ni odvečnih izgub pri barvi.

Zaradi uvedbe robotov, človeku ni potrebno opravljati večino nevarnih in zdravju škodljivih del, pa tudi stroški proizvodnje so nižji. Roboti so uporabni tudi na področju monotonih in dolgočasnih sestavljanj, kot na primer sestavljanje elektronik. Veliko se jih uporablja tudi za aplikacije brušenja, poliranja in vodnega rezanja ter za kontrolo kvalitete.

Uporabljajo se tudi na številnih drugih področjih, kot so etiketiranje, označevanje, pakiranje, vlaganje in zlaganje raznih izdelkov, tudi živil. Za rokovanje z živili mora biti okolje popolnoma čisto in sterilno, zato so roboti za takšne aplikacije poponi, saj ne prenašajo bolezni in bacilov. Ravno zaradi te čistosti in njihovih ostalih kvalitiet so zelo uporabni v moderni medicini in farmaciji [19.]

### 4.3 Robotski manipulator

Robotski manipulator sestavljajo roka, zapestje in prijemalo. Robotski manipulatorji so sestavljeni iz več segmentov, ki so med seboj povezani z robotskimi sklepi. Ti sklepi so ponavadi translacijski ali pa rotacijski (Slika 4.1). Rotacijski ima obliko tečaja in omejuje gibanje dveh sosednjih robotskih segmentov na rotacijo okoli skupne osi. Translacijski sklep pa omejuje gibanje dveh sosednjih segmentov na vzdolžen pomik.



**Slika 4.1: Vrste sklepov**

Število spojev določa tudi število prostostnih stopenj manipulatorja. Ponavadi bi naj imel manipulator vsaj šest neodvisnih prostostnih stopenj, tri za pozicijo in tri za orientacijo. Če jih ima manj, potem robotska roka ne more doseči vsake točke v svojem delovnem okolju. Nekatere aplikacije zahtevajo več prostostnih stopenj, kot na primer prijemanje za ovirami ali okoli ovir.

## 4.4 Razvrščanje

Robotske manipulatorje se lahko razvrsti na podlagi več meril, kot so na primer vir energije, ki ga uporabljajo, geometrija, kinematične strukture, predvidena uporaba ali na način upravljanja. Takšna razvrstitev se uporabi predvsem pri določitvi določene naloge izbranemu robotu. Na primer hidravlični ni primeren za ravnanje s hrano ali v prostorih, kjer je pomembna čistoča, robot SCARA pa ne bi bil primeren za delo v livarni [19].

### 4.4.1 Vir energije

Ponavadi so roboti gnani električno, hidravlično ali pnevmatsko. Pnevni pogoni so brez primerjave, kar se tiče njihove hitrosti odziva in navora, zato se uporabljajo predvsem pri dvigovanju težkih bremen. Slabosti hidravličnih robotov so pogosto uhajanje hidravlične tekočine, kar zahteva dodatne periferne naprave, več vzdrževanja in predvsem so bolj hrupni. Roboti, gnani z DC ali AC servomotorji, so veliko bolj popularni, saj so tišji, čistejši in cenejši. Cenejši in enostavni so tudi pnevmatski roboti, a imajo eno pomanjkljivost, da niso natančni, saj jih je skoraj nemogoče natančno pozicionirati, zaradi tega pa so lahko uporabljani le v določenih aplikacijah.

### 4.4.2 Uporaba

Največje področje uporabe in prihodnje uporabe robotov je in bo v področju montaže. Zato pogosto robote razdelimo glede na aplikacijo in sicer na montažne in ne montažne robote. Montažni roboti so ponavadi manjši, električno gnani in bodisi antropomorfni ali SCARA. Glavno vlogo ne montažni roboti igrajo na področjih varjenja, barvanja, ravnanja z materialom in strojnega nakladanja in razkladanja.

### 4.4.3 Način vodenja

Roboti se po načinu upravljanja razvrščajo na položajno krmiljene in na položajno regulirane robote. Prvi roboti so bili samo položajno krmiljeni in praktično odprto zanke naprave, katerih gibanje je bilo v naprej nastavljeno z mehanskimi stopi. Uporabljani so bili predvsem za prenos materiala. Položajno regulirani roboti pa so zaprto zanke, računalniško vodene, večnamenske in programirljive naprave. Ti roboti se opredeljujejo še glede na metodo vodenja končnega efektorja:

- od točke do točke,
- nadzorovana pot,
- kontinuirana pot.

Najpreprostejši tip robota v tej skupini je robot "od točke do točke" ("point-to-point"). Temu robotu se določi vsaka točka posebej, po kateri potem potuje končni efektor, med posameznimi točkami pa nimamo nadzora. Ti roboti so omejeni le na odločene aplikacije. Roboti, ki so vodeni povezano in ne po točkah, imajo nadzirano celotno pot, ki jo opravlja končni efektor. Nadziramo lahko še hitrosti in pospeške končnega efektorja. Ti roboti so zelo napredni in zahtevajo zelo razvito programsko opremo in računalniško vodenje.

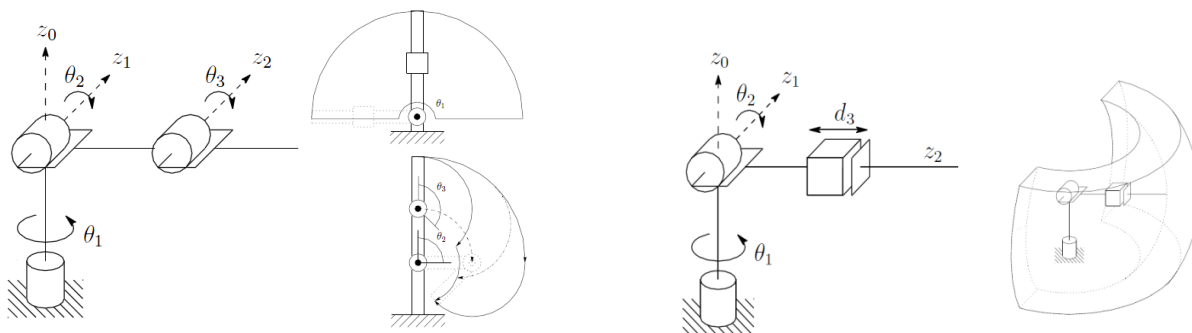
### 4.4.4 Geometrija

Večina industrijskih manipulatorjev v današnjem času ima šest ali manj prostostnih stopenj. Ti manipulatorji so ponavadi razvrščeni kinematično na podlagi prvih treh zglobov roke. Večina teh manipulatorjev spada v eno izmed petih geometrijskih oblik: artikulirana (RRR), sferična (RRP), SCARA (RRP), cilindrična (RPP) in kartezična (PPP). Vseh teh pet spada pod robote s serijsko povezavo, vsaka druga oblika pa pod paralelne robote.

**Artikulirani manipulator (RRR)** – je poznan tudi pod izrazom antropomorfnih manipulator. Sestavljen je samo iz rotacijskih prostostnih stopenj in ima vsaj dva rotacijska sklepa, ki se gibljeta okoli vzporednih osi. Sklepi so ponavadi povezani v odprte kinematične verige, kar pomeni, da prejšnji sklep podpira naslednjega in mu določa položaj. Ti manipulatorji so najbolj razširjeni v industrijski uporabi, saj lahko upravljajo številne naloge.



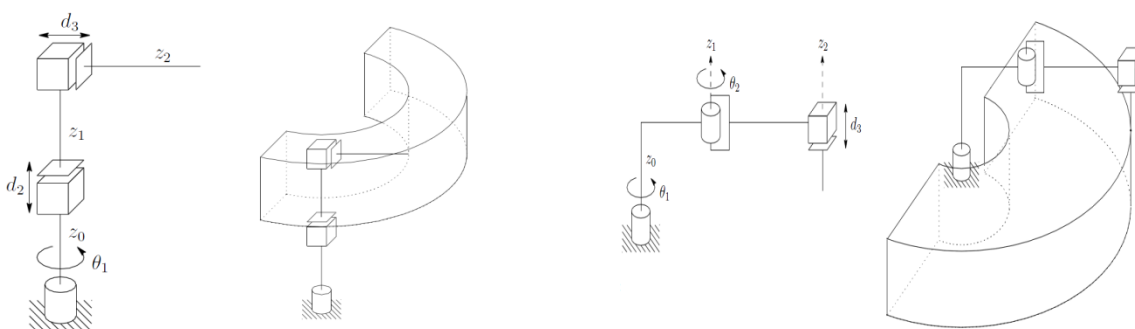
**Sferični manipulator (RRP)** – je imenovan tudi kot polarni robot. Z zamenjavo zadnjega rotacijskega sklepa z linearnim dobimo sferični manipulator. Sferična konfiguracija izhaja iz dejstva, da položaj končnega efektorja opredeljujejo polarne koordinate. Ta tip se uporablja za različne vrste varjenja.



**Slika 4.2: Levo artikularni, desno sferični manipulator**

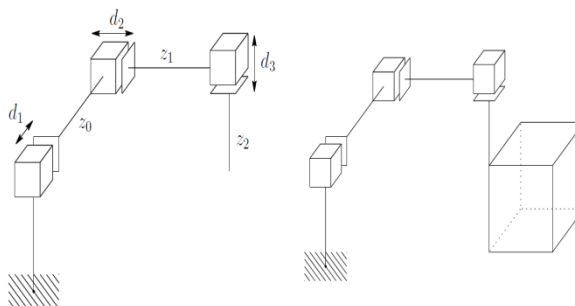
**SCARA (RRP)** – ali selektivni skladno zglobni robot za sestavo. Kot že samo ime pove je namenjen predvsem za sestavo. Prav tako kot sferični ima dve rotacijski prostostni stopnji in eno translacijsko. Vrh robota, ki je ponavadi opremljen še s strojnim vidom, se giblje pravokotno na površino. Odlikujejo ga hitrost, fleksibilnost in natančnost.

**Cilindrični manipulator (RPP)** – je sestavljen iz ene rotacijske in dveh translacijskih prostostnih stopenj. Prvi sklep je rotacijski, ostala dva pa translacijska, s čimer tvorijo cilindrični koordinatni sistem, po katerem se giblje vrh robota. Uporablja se na področju točkovnega varjenja in pri rokovanju z izdelki.



**Slika 4.3: Levo SCARA, desno cilindrični manipulator**

**Kartezični manipulator (PPP)** – je manipulator, ki ima vse prve tri sklepe translacijske. Za kartezični manipulator velja, da se giblje po kartezičnih koordinatah. Je najpreprostejša izvedba vseh manipulatorjev, ki je primerna za namizne aplikacije, za prenos materiala in tudi ponekod za varjenje.



**Slika 4.4: Kartezični manipulator**

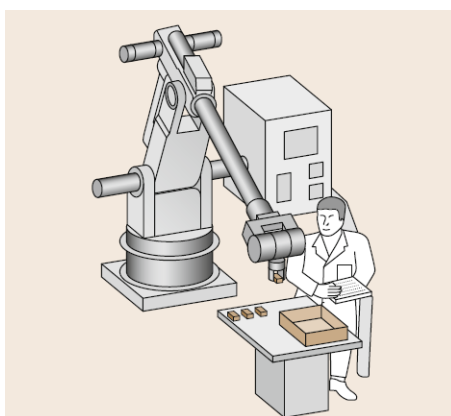
**Paralelni manipulator** – je tisti, katerega povezave tvorijo zaprtozankno kinematično verigo. Paralelni manipulator ima dve ali več neodvisnih kinematičnih verig, ki se povezujejo pri končnem efektorju. Ti roboti imajo zaradi več kinematičnih verig večjo togost in s tem večjo natančnost kot ostali roboti, odlikujejo pa se tudi v izjemni hitrosti. Uporabljajo se večinoma za aplikacije na tekočih trakovih, v kombinaciji s strojnimi vidom [27].

## 5 VARNOST V ROBOTSKI CELICI

Od samega začetka industrijske robotike je bilo veliko pozornosti usmerjene na varnost robotov in opreme. Proizvajalcem in konstrukterjem je bilo vedno na prvem mestu ločiti človeka in robota med delovanjem le tega. Na takšni filozofiji je temeljilo veliko zgodnje literature na temo varnosti. Vendar pa vemo, da današnje aplikacije ne potekajo strogo ločeno človek – stroj, ampak se velikokrat drug drugemu vključujeta v delovne operacije in tako delita deloven prostor med sabo. Poleg tega so sodobni roboti veliko bolj zanesljivi in predvidljivi v času obratovanja, tako da je takšna interakcija poleg še dodatnega varovanja bolj varna kot je bila včasih.

Podatki, ki kažejo na nezgode povezane z robotskim sistemom, kljub tradicionalnim operacijam, ki jih robot opravlja, nam dajo vedeti, da varnost še zdaleč ni rešen problem, še posebno ne zaradi vseh operativnih faz v katerih posreduje operater. Študije so pokazale, da se večina nesreč ne zgodi med normalnim obratovanjem robota, ampak takrat, ko se robota programira, vodi, poteka vzdrževanje, popravlja, testira, nastavlja ali prilagaja. Med večino teh operacij je operater, vzdrževalec ali programer robota začasno v njegovem delovnem prostoru, kjer lahko nenamerno delovanje povzroči poškodbe.

Prav zaradi teh posredovanj v prostor robotske celice in delovni prostor robota, moramo poiskati enostavne rešitve, s katerimi predvidimo in odstranimo napake in nevarnosti, kar privede do varnega sodelovanja operaterja z robotom [7].



**Slika 5.1: Možen nastanek nevarnosti med učenjem robota**

## **5.1 Zahteve direktiv**

V splošnem morajo proizvajalci slediti splošnim direktivam, ki veljajo za vsako državo ali pa regijo posebej. Namen teh direktiv je oblikovati osnovo za vse vrste strojev na trgu in zagotoviti, da je zasnova stroja takšna, da preprečuje nastanek nevarnih morebitnih nevarnosti.

### **5.1.1 Evropa**

Direktiva o strojih 2006/42/EC, ki je zamenjala prejšnjo 98/37/EC, določa pravno podlago za uskladitev bistvenih zdravstvenih in varnostnih zahtev za stroje v Evropski uniji. Poleg prostega pretoka strojev na trgu zagotavlja tudi visoko varnost delavcev v EU. Stroj je v tej direktivi opisan kot sklop povezanih delov ali komponent, z vsaj enim gibljivim delom, ustreznimi stikali, krmiljem in z energetskimi napeljavami itd., sestavljen za opravljanje določene aplikacije. Na podlagi tega mora proizvajalec sam določiti ali spada izdelek v to kategorijo, da ga lahko izdela po direktivi o strojih.

### **5.1.2 Severna Amerika**

V nasprotju z Evropo pa v severni Ameriki obstajajo drugačni predpisi in zahteve. Ti se razlikujejo od občine do občine. V splošnem pa imajo zapisano oziroma določeno, da je delodajalec odgovoren za varnost pri delu. Lahko pa v primeru nezgode ali poškodbe na delovnem mestu nosi odgovornost tudi proizvajalcev opreme. V Ameriki za standardizacijo skrbi ANSI.

### **5.1.3 Azija**

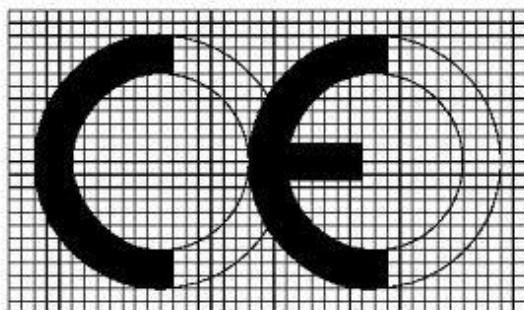
V Aziji pa so razmere čisto drugačen kot pri nas v Evropi in v Severni Ameriki. Recimo na Japonskem delodajalec nudi in je odgovoren za varno delovno okolje, ampak ni pa zakonsko določeno, s čimer bi bila zahtevana uporaba standardov. Poleg tega pa morajo izurjeni operaterji skrbeti sami za svojo varnost. Na Japonskem za standardizacijo skrbi JIS [13].

## 5.2 CE oznaka

Evropska skladnost ali oznaka CE izhaja iz francoske besedne zveze "Conformité Européene". To oznako najdemo na proizvodih, ki izpopolnjujejo varnostne zahteve za varnost, zdravje in varovanje okolja, ki jih določa evropska regulativa oziroma večina direktiv za proizvode. S tem, ko je ta oznaka izpisana na izdelku, proizvajalec zagotavlja skladnost izdelka in je v nasprotnem primeru tudi ustrezno kazensko odgovoren.

CE oznaka je dokaz, tudi za vladne organe, da se določen izdelek na trgu pojavlja kot legalen. Omogoča prost pretok blaga znotraj trga EU in na podlagi te oznake lahko tudi organi na carinah ali drugi organi, ki nadzorujejo ustreznost tržnih izdelkov, neustrezne izdelke, ki te oznake nimajo, odstranijo s tržišča.

Predvsem zaradi želje po prodaji izdelkov na EU tržišču, se različni proizvajalci poslužujejo tudi nelegalnih poti. Posledica tega je, da se pojavljajo različne kopije oznake, ki pa niso legalne in so nepravilno izvedene. Takšni izdelki prihajajo predvsem iz azijskih držav, kot so Koreja, Japonska in Kitajska [23].



**Slika 5.2: Pravilna izvedba CE oznake**

## 5.3 Veljavni standardi

Obstajajo trije različni veljavni standardi, ki se nanašajo na robotski sistem in na njegovo varnost. V Evropi velja ISO 10218, prej znan tudi pod EN 775, za ameriški trg velja ANSI RIA od 15.6.1999 in Z434 – 03 za Kanado (CSA – kanadska organizacija za standardizacijo).

V Ameriki sta veljavna tako ISO 10218 kot tudi ANSI RIA 15.6.1999, če prvi kakšnega področja ne pokriva dovolj dobro, ga dopolnjuje drugi.

Ti standardi so prostovoljni za uporabo, a dajejo dobavitelju robotov in kupcu praktične nasvete, kako je treba namestiti robota v celico in kakšna mora biti celica, da bo namestitev varna. Na primer z upoštevanjem ISO 10218 standarda pri namestitvi, bo le ta posredno ustrezala tudi direktivam o strojih.

V drugih državah obstajajo samo lokalni organi, ki pregledujejo varnost stroja in njegove namestitve. Tam bi morali biti standardi, kot na primer ANSI, uporabljeni kot smernice za integracijo.

Zahteve za varnost robotov spadajo v kategorijo 3, standarda ISO 13849 – 1, ki je trenutno veljaven standard za varnost strojev. [13]

## 5.4 Nevarnosti povezane z roboti

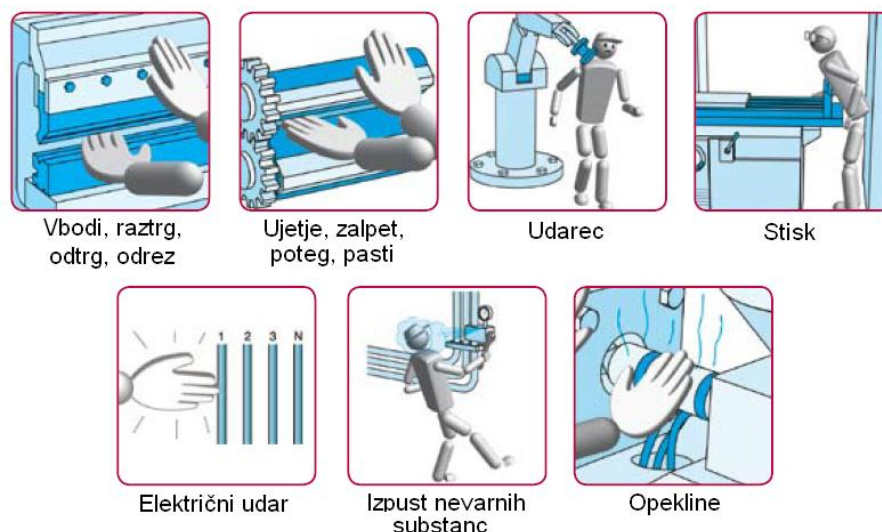
Največ nevarnosti pri industrijskih robotih se pojavi v fazi delovanja med aplikacijo. Nevarnosti, ki se pojavijo pri gibanju robota v njegovem območju, spremembi konfiguracije ali pa pri nepričakovanih gibih robota, so lahko usodne za človeka, ki se giblje v njegovi bližini. Zato je potrebno pri vsaki vgradnji robota izvesti še oceno tveganja, da se prepoznajo potencialne nevarnosti in izvedejo ustrezni zaščitni ukrepi.

### 5.4.1 Tipi nevarnosti

Nevarnosti, ki se pojavljajo v robotskem sistemu, je mogoče strniti v tri tipe:

1. **Nevarnost trka** – gibajoči se del ali deli robota in njegovo orodje, lahko zadenejo in udarijo operaterja. To je lahko posledica nepričakovanega gibanja robota, izmeta ali pa izpusta obdelovanca.

2. **Nevarnost pasti** – je lahko posledica gibanja robota v neposredni bližini določenih objektov, kot so stroji, oprema, ograje itd. Pasti lahko povzroči tudi gibanje delovnih vozičkov, palet ali druge oblike prenosnih mehanizmov. Nastanejo pa lahko tudi na samem robotu.
3. **Druge nevarnosti** – tukaj pa so zajete vse nevarnosti, ki so povezane z določeno aplikacijo. Te nevarnosti so na primer električni udar, opekline, plini, sevanje, strupene snovi, hrup ipd.



**Slika 5.3: Možne nevarnosti**

#### 5.4.2 Viri nevarnosti

Pričakovane nevarnosti robotskega sistema izvirajo iz različnih napak, ki so lahko človeškega, programskega ali pa mehanskega izvora.

1. **Človeške napake:** Delovanje v bližini in vstopanje v robotov delovni prostor je izvor teh napak. Operater je med programiranjem, učenjem, vzdrževanjem in v vseh primerih, ko je v bližini robota, izpostavljen nevarnosti trku ali stisnjenja. Glavni vzrok za te napake je slaba označenost in neizkušnost. Te napake pa se pojavijo tudi pri nepooblaščenem vstopu.

2. **Nevarnosti krmilnega sistema:** Bistvene napake, ki se tukaj pojavljajo, so napake v sistemu in podsistemih robota, programske napake, elektromagnetne motnje in motnje radijskih frekvenc. Te napake se pojavljajo v robotskem krmilniku.
3. **Mehanske nevarnosti:** Sem spadajo nevarnosti, ki jih povzročajo obdelovanci in orodja, s katerimi robot operira. Mehanske napake so lahko vzrok nenadnega in nepričakovanega izpusta materiala. Te napake se pojavljajo pri preobremenjenosti, koroziji, utrujanju materiala in slabemu vzdrževanju.
4. **Nevarnosti okolja:** Nevarnosti so lahko povezane tudi z okoljem, kjer se robotski sistem nahaja. Te nevarnosti so najbolj poznane na področju varilnih celic, ki pri operaciji varjenja proizvajajo varilne pline in iskrenje. Podobne nevarnosti so še prašenje, vlaga, sevanje, laserski žarki, ultravijolična svetloba ter raznorazni plini.
5. **Nevarnosti perifernih naprav** – Skoraj vse robotske celice delujejo v povezavi s perifernimi napravami. Sem prištevamo razne tekoče trakove, stiskalnice, varilna orodja in podobno. Tudi ta oprema lahko predstavlja določeno nevarnost, če ni primerno oblikovana in zaščitena [4].

## 5.5 Ocena tveganja

Obstajajo različne tehnike za izvedbo ocene tveganja in za nobeno od teh ne moremo reči, da je samo tista prava. Bilo bi dobro, če bi lahko standardno določili vrednost za vsako tveganje in potem tudi ciljno vrednost, katere se ne sme preseči. Ampak to ni mogoče zaradi tega, ker bi rezultat, ki bi bil dodeljen vsakemu tveganju posebej, nihal od osebe do osebe, ki bi delala oceno, kot tudi od okolja. Na primer, določeno tveganje, ki bi bilo smiselno v tovarni, ki zaposluje kvalificirane delavce, ne bi bilo primerno za okolje, kjer se nahajajo otroci. V pomoč so nam lahko podatki o nesrečah in incidentih iz preteklih let, a to niso zanesljivi pokazatelji stopenj nesreč, ki se jih lahko pričakuje [6].

### 5.5.1 Omejitve robotskega sistema

To vključuje zbiranje in analizo informacij o delih, mehanizmu in funkcijah naprav. Prav tako je potrebno upoštevati vse oblike človeške interakcije s strojem in okoljem, v katerih bo naprava delovala. Cilj tega je, da dobro in jasno spoznamo stroj in njegovo delovanje.



Kadar je več naprav povezanih med seboj, bodisi mehansko ali pa preko nadzornega sistema, jih je potrebno obravnavati kot en stroj, razen če so omejene s primernimi zaščitnimi ukrepi. Pomembno je tudi upoštevati vse omejitve in faze v življenjski dobi stroja, vključno z vgradnjo, obratovanjem, vzdrževanjem, razgradnjo, pravilno uporabo in tudi razumno predvidljivo napačno uporabo ali okvaro.

### **5.5.2 Prepoznavanje nalog in nevarnosti**

Vse nevarnosti pri stroju morajo biti opredeljene in navedene glede na njihovo naravo in lokacijo. Tipi nevarnosti, kot so trk, stisk, razrez, izmet delov, dim, sevanje, toksične snovi, vročine, hrupa itd. Rezultate analize opravljanja nalog je potrebno primerjati z rezultati prepoznavanja nevarnosti. Ta primerjava bo pokazala, če obstaja kakšna možnost nevarnosti. Vse nevarnosti je potrebno upoštevati, saj lahko enaka nevarnost povzroči drugo vrsto nevarne situacije. Na primer, usposobljen tehnik vzdrževalec ima drugačen pristop do stroja, kot neusposobljena čistilka, ki se giblje okoli stroja in le tega ne pozna. V tem primeru je potrebno oba obravnavati ločeno in določiti varovalne ukrepe za vsakega posebej.

### **5.5.3 Opredelitev tveganja**

To je eden izmed temeljnih delov ocene tveganja. Vsak stroj ima potencial za nevarne situacije. Več kot je nevarnih situacij ki jih lahko proizvede, bolj pomemben je glede ocene in opredelitve le teh. Ena nevarnost bi lahko bila tako majhna, da bi jo lahko spregledali, a spet druga tako velika, da bi lahko povzročila usodno nezgodo. Zato je potrebno opredeliti nevarnost glede na "če obstaja možnost za nevarnost, kaj storiti, da se jo prepreči".

#### **5.5.3.1 Resnost morebitnih poškodb**

Predpostavimo, da se je zgodila nesreča ali incident na podlagi neke zadane nevarne situacije. Na podlagi te predpostavke pazljivo in natančno določimo, kako hude so lahko poškodbe.

Poškodbe opredelimo na:

- s smrtnim izidom (smrt),
- hujše (trajna invalidnost, izguba vida, amputacija uda ipd.),
- resne (izguba zavesti, opekline, zlomi itd.),
- lažje (modrice, vreznine, odrgnine itd.).

#### **5.5.3.2 Pogostost izpostavljenosti nevarnostim**

Tukaj se sprašujemo, kako dolgo je operater, izvajalec ali pa vzdrževalec izpostavljen nevarnostim.

Izpostavljenost delimo na:

- pogosto (večkrat na dan),
- občasno (dnevno),
- redko (tedensko ali manj).

#### **5.5.3.3 Verjetnost poškodb**

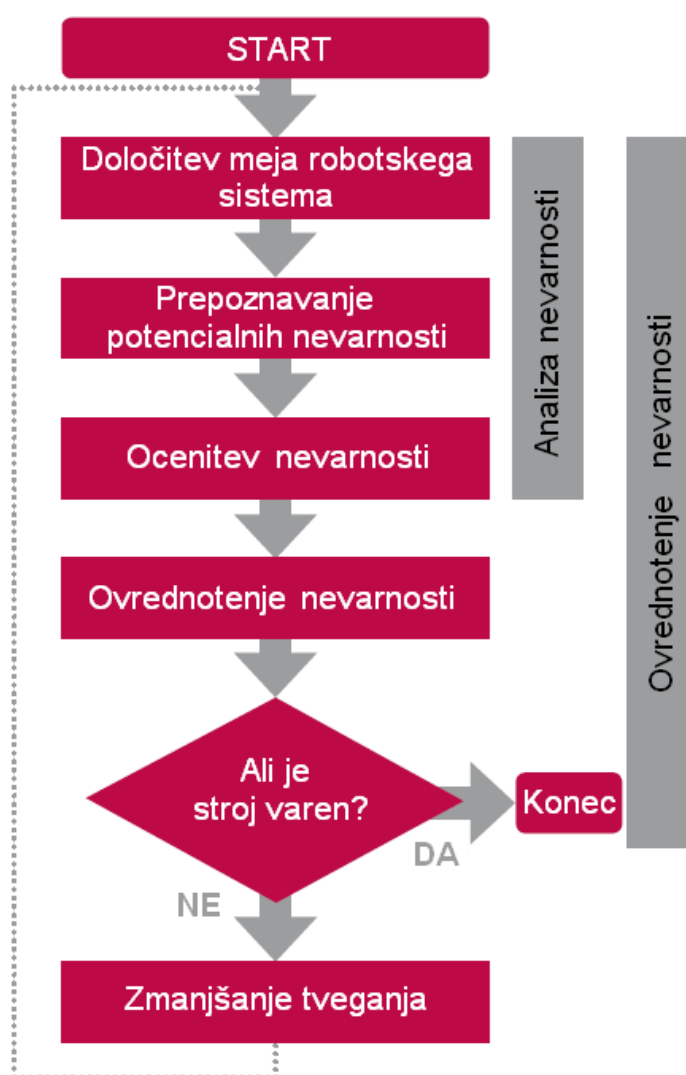
Predpostaviti moramo, da je operater izpostavljen nevarnemu gibanju ali pa procesu, in na podlagi tega določimo verjetnost poškodb, z upoštevanjem na kakšen način je operater povezan s strojem poleg drugih dejavnikov.

Verjetnost opredelimo na:

- malo verjetno,
- verjetno,
- možno,
- zagotovo.

### 5.5.4 Zmanjšanje tveganja

Na podlagi zgoraj izvedenih postopkov, po katerih se izvede ocena tveganja, ustrezno določimo in ovrednotimo nevarnosti. S tem si pripravimo podlago za izvedbo postopkov za zmanjšanje tveganja. Če po končani oceni tveganja ne dobimo želenih rezultatov, se vsi postopki izvedejo ponovno, od tistega nivoja, ki nam na koncu zagotavlja ustrezno varnost opravljanja nalog [16].



Slika 5.4: Izvedba ocene tveganja

## 5.6 Funkcionalna varnost (varnostne kategorije)

Funkcionalna varnost je relativno nov koncept, nadomešča stare varnostne kategorije, ki določajo ravnanje pri okvarah in so opredeljene v standardu EN 954 – 1, katerega je sedaj nadomestil novi ISO 13849 – 1. Funkcionalna varnost je zato pogosto napačno označena kot varnostne kategorije.

Razdeljena je v več kategorij, ki so opredeljene glede na obnašanje med okvarami in si sledijo takole:

- **Kategorija B:** Nadzorni tokokrogi so osnovni in lahko v primeru napake privedejo do izgube varnostne funkcije.
- **Kategorija 1:** Lahko pride do izgube varnostne funkcije v primeru napake, vendar je verjetnost za to veliko manjša kot pri kategoriji B.
- **Kategorija 2:** Vezja odkrivajo napake s periodičnim testiranjem v ustreznih intervalih (varnostna funkcija je lahko izgubljena med periodičnimi testi).
- **Kategorija 3:** Vezja v tej kategoriji zagotavljajo varnostno funkcijo tudi v primeru napake, vendar pa se v primeru kopičenja napak lahko tudi ta izgubi.
- **Kategorija 4:** Vedno zagotavljajo varnostno funkcijo, tudi v primeru ene ali več napak [1].

## 5.7 Nivoji varovanja

V splošnem je možno opredeliti nevarnosti, ki so povezane z robotskim sistemom na tri nivoje, na katerih so varovane.

Za vsak nivo se uporabljajo drugačne zahteve varovanja:

- nivo 1 – varovanje območja delovne postaje (robotske celice),
- nivo 2 – varovanje v notranjosti delovne postaje (robotske celice),
- nivo 3 – varovanje v bližini robotske roke.

Vsaj eden od teh nivojev varovanja je potreben za večino robotov. Kateri pa je ustrezen, je odvisno od področja uporabe, nastavitvev in ocene tveganja. Včasih je potrebno za enega robota oziroma za en robotski sistem uporabiti več kot samo en nivo varovanja.

### **5.7.1 Nivo 1**

Na tem nivoju se varovanje območja celice ponavadi izvaja preko fizičnih pregrad oziroma ograj. Običajno se fizična pregrada ali ograja uporablja v kombinaciji z vrati in po potrebi tudi s senzorji za zaznavanje prisotnosti.

### **5.7.2 Nivo 2**

Nivo 2 vključuje varovanje z zaznavanjem prisotnosti ljudi z ustreznimi senzorji za zaznavanje prisotnosti kjerkoli v prostoru, v katerem se robot giblje. V primerjavi s prvim nivojem, je tukaj poudarek bolj na odkrivanju prisotnosti, kot pa na fizičnem pregrajevanju.

### **5.7.3 Nivo 3**

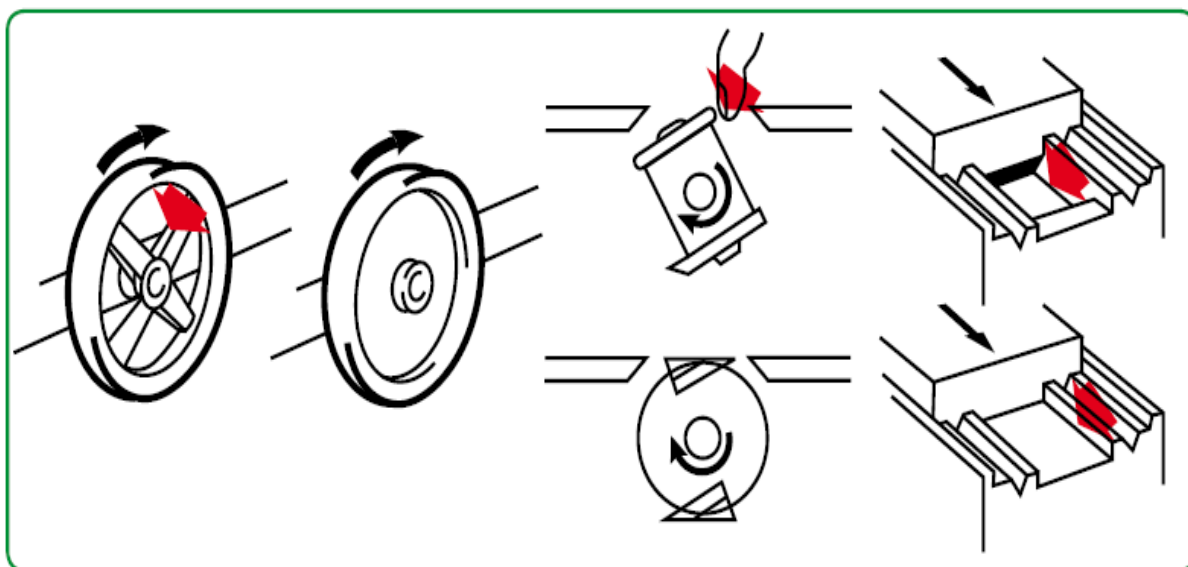
Ta nivo se uporablja pri varovanju in odkrivanju oseb ali drugih ovir, ki se nahajajo v neposredni bližini ali pa so v neposrednem stiku z robotsko roko. S tem varovanjem je pri odkritju ovire možna takojšna ustavitve gibanja robota. Pri tem se uporabljajo naprave, ki zaznavajo položaj ovire ali pa senzorji kolizije (senzorji sil, momentov, kontaktni senzorji itd.) [4].

## **5.8 Varno načrtovanje**

Nekatera tveganja se lahko odstranijo s čisto preprostimi rešitvami in ukrepi. Ta faza se imenuje notranje varno načrtovanje. Na primer, če pri čiščenju opreme nadomestimo vnetljiva čistila s čistili, ki to niso, se izognemo nevarnostim požara. Te rešitve pa so lahko tudi mehanskega značaja, kot v primeru odstranitve pogona z zadnjega transportnega valjčka, kar prepreči ujetje in potegnitev udov ali pa pri zamenjavi jermenice s kraki z gladko jermenico, s čimer preprečimo ureznine in odtrganine. Na ostalih delih pa lahko s povečanjem minimalnih vrzeli preprečimo zdrobljenje telesnih okončin, z zmanjšanjem maksimalnih vrzeli pa

nevarnost ujetja in vtikanja (Slika 5.5). Prav tako pa z zmanjšanjem sile, hitrosti in pritiska ugodno vplivamo na zmanjšanje poškodb.

Pri tem pa velja razmisliti in tudi pravilno ukrepati, da se ne zamenja ene nevarnosti z drugo. Na primer, da bi zamenjali električno orodje s pnevmatskim in bi se pri tem hoteli izogniti nevarnostim povezane z električno energijo, a pri tem ne bi pomislili na nevarnosti, ki se pojavljajo pri uporabi stisnjenega zraka (dovodi s stisnjenim zrakom, hrup kompresorja).



**Slika 5.5: Odstranitev nevarnosti samo z ukrepi varne zasnove**

## 5.9 Varovanje med operacijo

Kadar z varnim načrtovanjem konstrukcije ne moremo izvesti dovolj dobre in varne rešitve, je na vrsti naslednji korak, in sicer varovanje. Ta ukrep lahko vključuje fiksna varovala, varovala s končnimi stikali, varovala za zaznavanje prisotnosti itd. Varovanje preprečuje osebam, da bi prišle v kontakt z nevarnostmi, oziroma le te prenesejo v varno stanje, preden pride oseba v stik z njimi. Varovala se lahko pritrdijo na ograde, v samem robotskem sistemu ali pa izven njega, s čimer nevarnost obdamo z njimi ali pa jo oddaljimo od človeka.

### **5.9.1 Fiksne pregrade**

Fiksne pregrade so ponavadi v robotskem sistemu ograje, s katerimi je ograjen robotski sistem. Za vstop v ta sistem oziroma celico je treba le te fizično, z orodjem, odstraniti, saj nimajo vhodnih vrat. Postavljene so tako, da preprečujejo dostop preko, skozi, pod ali okoli njih. Zagotavljajo pa dovolj prostora za delavca med ograjo in dosegom robota, za opravljanje posebnih nalog pod nadzorovanimi pogoji.

### **5.9.2 Pregrade s končnimi stikali**

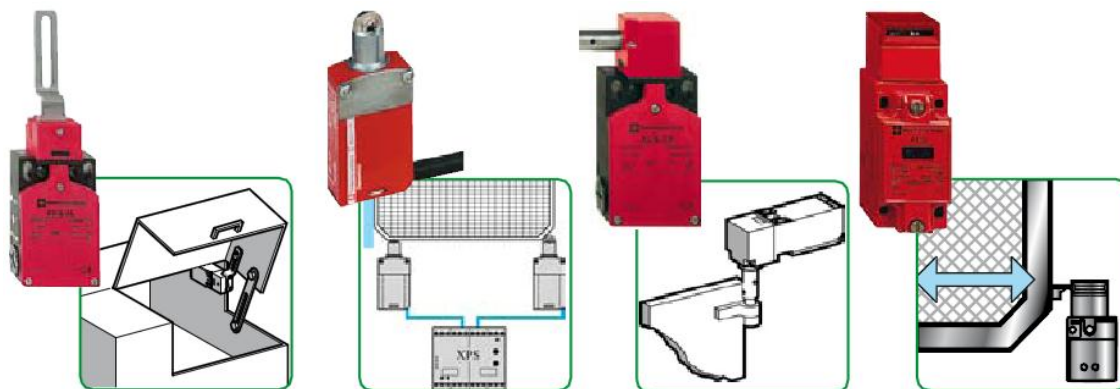
Sem spadajo fizične pregrade, lahko tako kot v prejšnjem primeru tudi ograje, okoli robotskega sistema, katerim pripadajo še vrata in končna stikala. Te pregrade so zasnovane tako, da kadar se med avtomatsko operacijo robotskega sistema odpro vrata pregrade, se robot in vsa njegova pripadajoča oprema v tistem trenutku ustavi. Ponoven zagon aplikacije zahteva zaprtje vrat in pritisk na zagonsko stikalo, ki je zunaj ograde. Postavitev je enaka kot pri prejšnjem primeru in dovoljuje dostop v robotski sistem preko, skozi, pod ali okoli ograde, kadar so vrata zaprta.

### **5.9.3 Pregrade za označevanje**

Pregrade za označevanje so nizke ograje, trakovi ali verige, ki določajo območje varnosti in so namenjene za preprečevanje nenamernega vstopa v delovno območje. Teh pregrad ni težko obiti, prestopiti ali pa iti pod njimi. Taka pregrada je sprejemljiva samo v primerih, ko analiza nevarnosti pokaže, da je nevarnost minimalna in da fiksne ali pa ograje s končnimi stikali niso ekonomične in funkcionalne.

### **5.9.4 Končna in pozicijska stikala**

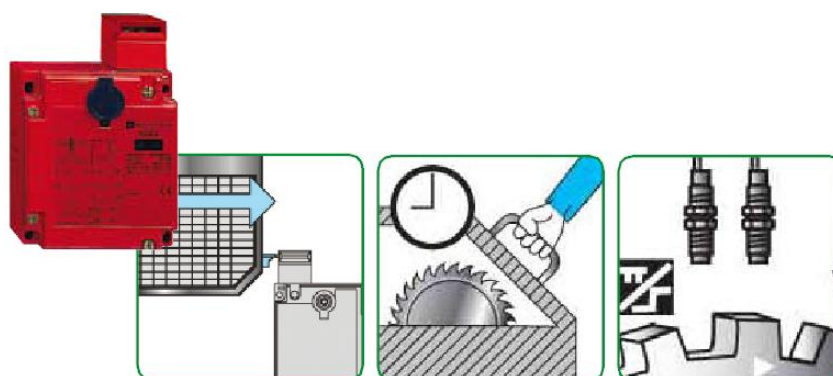
So stikala za zaznavanje pozicije pomičnih varoval, pri nalogah kot so nakladanje in razkladanje, čiščenje, nastavljanje, prilagajanje itd. Zaščita operaterja se izvrši, na podlagi ustavitve stroja. To se zgodi takrat, ko varovalo zdrsne iz vzmetne konice, vzvoda ali pa se tečajji vrat pomaknejo za  $5^\circ$ , s tem se sproži signal, ki signalizira spremembo, v tem primeru odprtje varovala in nevarnost. Ta stikala se uporabljajo pri strojih s kratkimi ustavitvenimi časi.



**Slika 5.6: Razni tipi pozicijskih in končnih stikal**

### 5.9.5 Elektromagnetna stikala

Za razliko od prejšnjih stikal oziroma zapor, se te uporabljajo pri obratovanju z visokimi bremenami in vztrajnostmi, kjer je čas ustavitve stroja dolg in je bolj varno, če se vstop dovoli le takrat, ko je nevarno gibanje stroja popolnoma ustavljeno. Ta stikala se ponavadi uporabljajo v vezjih s časovno zakasnitvijo, kadar poznamo ustavitvene čase stroja, ali pa v načinu zaznavanja ničelne hitrosti, kjer zaradi variranja časov ustavitve le teh ne moremo točno določiti.



**Slika 5.7: Elektromagnetne zapore**



## **5.9.6 Naprave za zaznavanje prisotnosti**

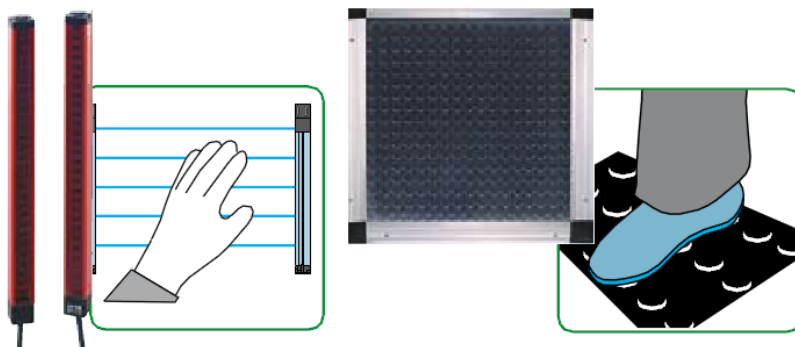
Kadar vrata ali varovalo z končnim oziroma z elektromagnetnim stikalom niso primerna za vstop ali pa kakšno drugo posredovanje v robotski celici, se uporabijo druge alternativne metode varovanja. Namesto zgoraj omenjenih stikal se uporabijo naprave za zaznavanje prisotnosti, kot so varnostne svetlobne zaveses in na tlak/pritisk občutljive preproge. Prednost teh naprav je lažji dostop do robota.

### **5.9.6.1 Varnostne svetlobne zaveses**

Varnostne svetlobne zaveses so ponavadi nameščene tako, da varujejo prste roke ali pa kar celotno telo človeka (za prste 14 mm, roke 30 mm in za telo nad 30 mm resolucije). Običajno se uporabljajo za varovanje pri vstopih v obratovalna območja, ravnanju z materialom, pakiranju, tekočih trakih, skladiščenju in drugih podobnih aplikacijah. Namenjene so varovanju človeka, ki se giblje in dela v bližini stroja, s takojšnjo ustavitvijo gibanja nevarnih delov stroja, kadar se kateri od žarkov varnostnih zaveses prekine. Z njihovo vgradnjo dosežemo varovanje človeka, kljub prostemu dostopu do stroja, ob odsotnosti vrat pa tudi skrajšamo čas in omogočamo lažji dostop za operacije nalaganja/razlaganja, nastavitvev, pregleda in vzdrževanja.

### **5.9.6.2 Na tlak/pritisk občutljive preproge**

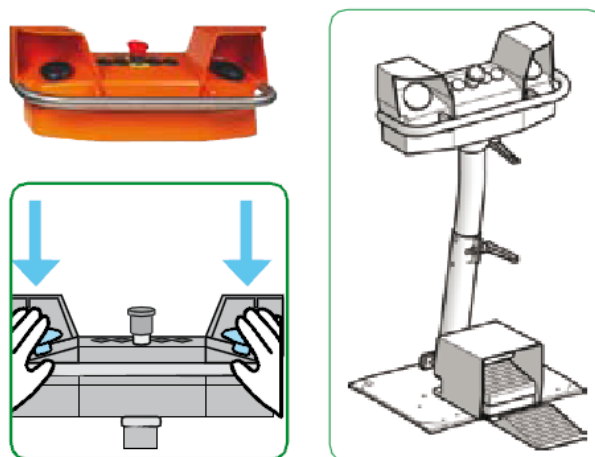
Te preproge se uporabljajo za zavarovanje približevanja, stanja in plezanja v nevarno območje. Nameščene so pred ali okoli nevarnih strojev in robotov. Zagotavljajo zaščiteno območje med človekom in strojem ter delujejo na principu zaznavanja gibanja oseb, na podlagi spremembe vrednosti tlaka/pritiska v po preprogi nameščenih senzorjih. Poleg varovanja oseb se uporabljajo tudi za varovanje proizvodov in ponavadi delujejo v souporabi z varnostnimi svetlobnimi zavesami, s čimer je omogočen prost dostop do stroja.



**Slika 5.8: Varnostna svetlobna zavesa in na tlak/pritisk občutljiva preproga**

### 5.9.7 Dvoročna in nožna stikala

Ta stikala se uporabljajo za zagotavljanje, da operater stoji stran od nevarnega območja, kadar se izvajajo nevarni premiki in gibi stroja. To poteka tako, da operater med izvajanjem aplikacije drži pritisnjena oba ročna stikala ali pa še dodatnega nožnega. Uporabljajo se pri časovno krajših aplikacijah in zagotavljajo izključno zaščito operaterja. Za zaščito ostalega osebja se lahko uporabi dodatne ukrepe, kot na primer uporaba svetlobne zavesne.



**Slika 5.9: Dvoročna stikala in kombinacija z nožnim**

### **5.9.8 Slišna in vidna opozorila**

Ta opozorila se sama kot taka ne morejo uporabljati za ukrepe varovanja, saj s svojim načinom delovanja ne zagotavljajo nikakršne zaščite. Vendar pa lahko v kombinaciji s kakšno od zgoraj opisanih metod zagotovijo, da je operacija varovanja jasno vidna (svetlobni signali, semaforji) oziroma, da se pričetek operacije varovanja jasno sliši (avdio signali, sirene). Nameni zvočnih in vizualnih signalov in opozoril, morajo biti jasno prepoznavni, da ne zavajajo oseb v območju, kjer so uporabljeni.

## **5.10 Dodatni zaščitni ukrepi**

### **5.10.1 Izklop v sili**

Čeprav mora po direktivi o strojih vsak stroj imeti stikalo oziroma tipko za izklop v sili, pa le ta ni obravnavana kot primarno sredstvo za zmanjšanje tveganja. Namesto tega so navedene le kot "dopolnilni zaščitni ukrep" in so zagotovljene kot podpora za uporabo v sili. Ta stikala morajo biti robustna, zanesljiva in na razpolago na vseh mestih, kjer je možno, da se bodo rabila.

Funkcija ustavitve v sili mora delovati bodisi kot stop kategorija 0 ali stop kategorija 1 (določimo z oceno tveganja). Sprožena mora biti z eno samo akcijo, s pritiskom na stikalo ali s potegom kabla. Ko se tako izvrši, mora razveljaviti in povoziti vse ostale funkcije, s tem pa povzroči popolno ustavitev stroja. V glavnem je njen namen, da odstrani pogon s stroja kakor hitro se le da, brez povzročitve dodatne nevarnosti [21].

### **5.10.2 STOP kategorije**

Za varno delovanje in ustavitev delovanja oziroma gibanja strojev uporabljamo varnostne STOP kategorije. Po standardu EN 60204 – 1 jih delimo na tri STOP kategorije.

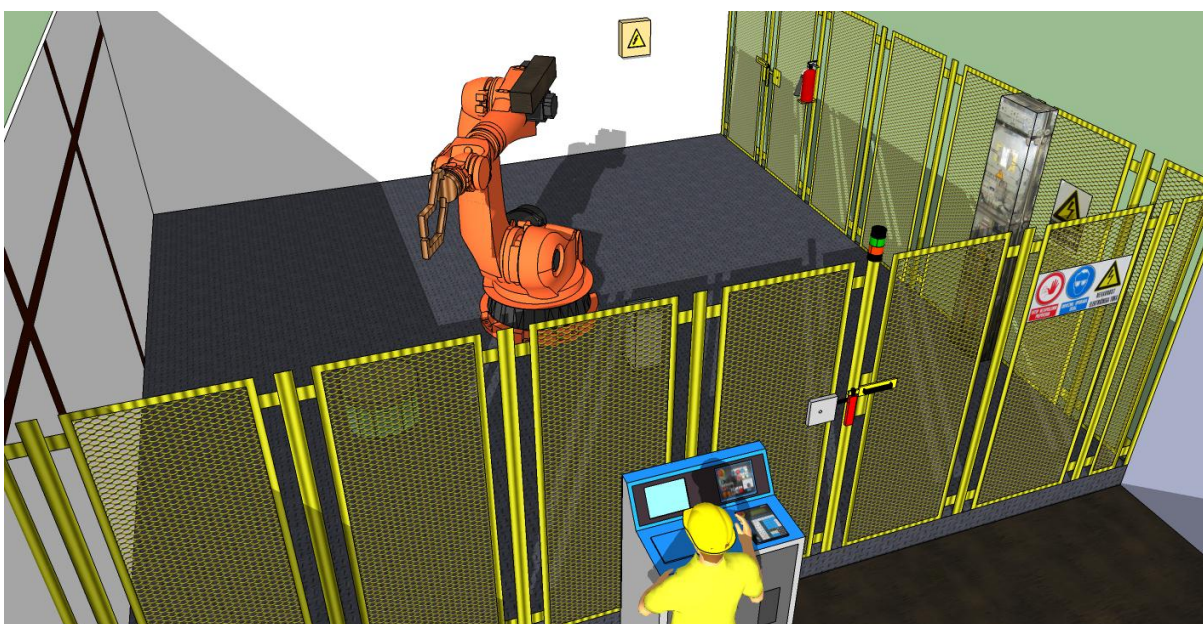
1. **STOP kategorija 0** – Takojšnja ustavitev delovanja ( $<200$  ms) s prekinitvijo dovoda energije robotskim aktuatorjem. To kategorija imenujemo tudi "uncontrolled stop" ali nekontroliran stop.
2. **STOP kategorija 1** – Sistem se mora ustaviti na varen in načrtovana način, v določenem časovnem okvirju. Če se to ne zgodi, se izvrši kategorija 0, ki ga mora zagotovo ustaviti. Ta kategorija je poimenovana kot "soft stop" ali mehki stop.
3. **STOP kategorija 2** – "Program stop" ali programski stop, kot je ta kategorija tudi poimenovana, mora v trenutku ustaviti gibanje stroja (s pritiskom na stop gumb), tako da ta ne pride v programirano pozicijo. Za razliko od prejšnjih dveh, ki odstranita dovod energije s pogonov, jo ta samo zadrži.

Kategoriji 0 in 1 se uporabljata za funkcijo ustavitve v sili, prav zaradi svoje lastnosti ustavitve, s katero se pogon popolnoma odstrani. Ta zadnja, kategorija 2, pa se za te vrste ustavitve načeloma ne sme uporabljati, saj pogonu energija ni popolnoma odstranjena, se pa zato uporablja pri drugih načinih ustavljanja robotov oziroma strojev [20].

## 6 OPIS ROBOTSKE CELICE

### 6.1 Varnostna celica

Varnostna celica (Slika 6.1), ki vsebuje robota ACMA XR701 in ga tudi obdaja z varnostno ogrado, se uporablja za zagotavljanje varnosti pred nenamernim vstopom v delovno območje robota. Stranice celice merijo 7000 x 7000 mm, varnostna ograda s katero je obdana pa meri v višino 200 mm. Robot je v celici pomaknjen za 500 mm iz središča proti zadnji steni.



**Slika 6.1: Varnostna celica**

Na varnostni ogradi se nahaja dvoje servisnih vrat, namenjenih za vstopanje v celico, ki so varovana z mehanskimi varovali proizvajalca zaščitne opreme Euchner. Poleg vrat, se na ogradi nahajajo še opozorilne table in semafor. Pred ogrado, stoji komandni pult, ki krmili celoten robotski sistem.

V notranjosti se poleg robota nahaja še obračalna miza, ki je še v pripravi za vgradnjo in je od robota odmaknjena za dobrih 1000 mm, priprava za odlaganje motorja za rezkanje in močnostni del za napajanje varilnih klešč.



**Slika 6.2: Vrata ograde z zaklepom**

## 6.2 Opis robota ACMA XR 701

Robot ACMA XR 701 (sedaj ABB) je industrijski robot, ki je proizvod podjetja Renault Avtomation. Je robot s šestimi osmi in s širokim območjem delovanja ter dvigovanja bremen. Robot v standardni verziji, kakšen je tudi v robotski celici na strojni fakulteti v Mariboru, prenaša maksimalno obremenitev 125 kg v njegovem delovnem področju, pri maksimalni hitrosti. Osi robota poganjajo trifazni sinhronski ("brez krtačni" ali "brush less") elektromotorji. Konstrukcijska izvedba je zelo zanimiva in ima veliko prednost pred podobnimi roboti, saj ima ta robot napeljavo do posameznih komponent izpeljano kar v notranjosti konstrukcije robota, kar mu daje možnost delovanje še v širšem področju.

Ti roboti so zelo hitri, natančni in se uporabljajo na področjih točkovnega varjenja, manipuliranja, lepljenja, varjenja na proizvodnih linijah in tudi na ostalih področjih, ki ne presegajo njegovih konstrukcijskih in dinamičnih zmožnosti.

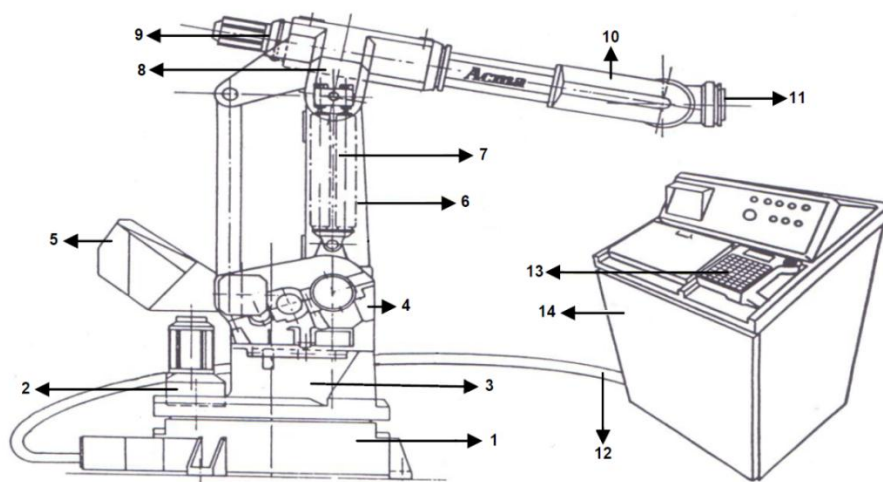




**Slika 6.3: ACMA XR 701**

### 6.2.1 Shematska zasnova robota

S pomočjo shematskega prikaza robota, lahko lažje predstavimo njegovo zasnovo in komponente, ki ga sestavljajo oziroma poganjajo. Na Slika 6.4 imamo shematsko prikazanega robota, vključno z njegovo krmilno omaro "možgani", pod njo pa je legenda, v kateri so razloženi na sliki označeni deli robota.



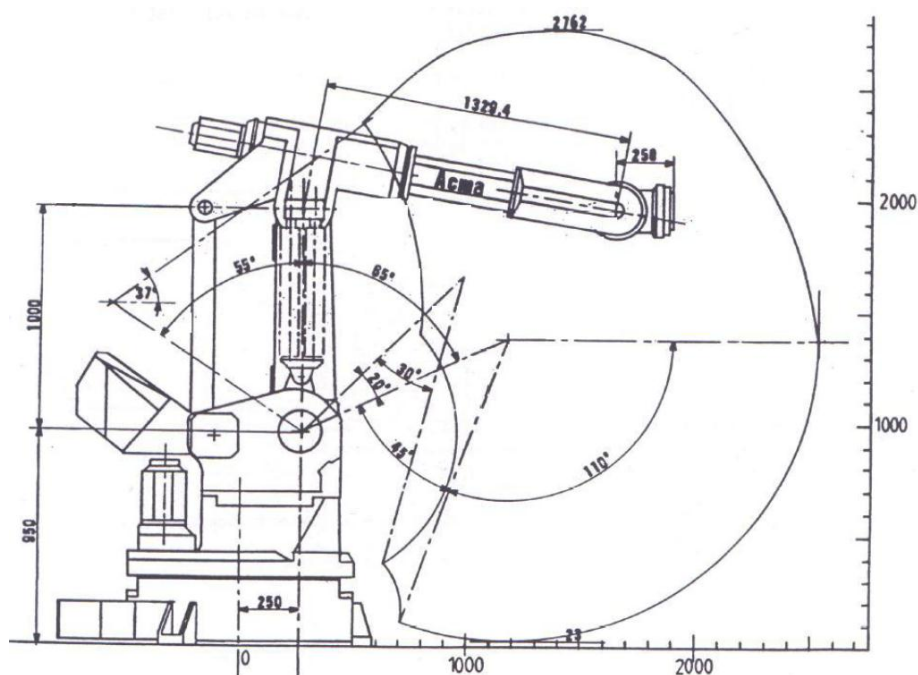
**Slika 6.4: Shema robota s pripadajočo krmilno omaro**

**Legenda:**

1. podstavek robota,
2. pogon prve osi,
3. vrtljivo podnožje prve osi,
4. pogon druge in tretje osi,
5. protiutež,
6. drugi člen,
7. ravnotežna vzmet,
8. tretji člen,
9. pogon četrte osi,
10. sklep četrte in pete osi,
11. podstavek za pritrditev orodja.

**6.2.2 Delovno območje robota**

Delovno območje robota je tisto območje, v katerem robot lahko deluje. Njegov maksimalen izteg se meri brez končnih efektorjev. Delovno območje robota ACMA XR 701 je razvidno na spodnji Slika 6.5.



**Slika 6.5: Delovno območje robota ACMA XR 701**



### 6.2.3 Karakteristike

- število osi: 6
- pogon izveden s trifaznimi brezkrtačnimi elektromotorji,
- revolverji za rotacijo motorjev,
- elektromagnetne zavore na vseh oseh,
- nosilnost na vrhu robota: 125 kg (standard) izvedba tudi do 150 kg,
- dodatna, povečana nosilnost na členu 3, je 160 kg,
- maksimalna dolžina dosega: 2,5 m (standard) ali 2,8 (dodatna izvedba),
- ponovljivost robota: 0,3 mm.

### 6.2.4 Opis osi

**Tabela 6.1: Kot gibanja, maksimalna in čas dosega maksimalne hitrosti za osi**

OSI	KOT GIBANJA OSI	MAKSIMALNA HITROST	ČAS DOSEGA MAKSIMALNE HITROSTI
1.	360°	1,9 rad/s	690 ms
2.	+ 65°/ - 55°	2,2 rad/s	650 ms
3.	+ 110°/ - 27°	2 rad/s	730 ms
4.	400°	3 rad/s	435 ms
5.	240°	3 rad/s	435 ms
6.	600°	4,2 rad/s	585 ms

- **Prva os** – Prva os robota nam podaja gibanje podstavka oziroma podnožja. Sestavljena je iz orientacijskega zobnika, s porazdeljenimi zobniki po zunanem obodu, ki se ubirajo z zobnikom, gnanim preko gonila za prvo os. Gonilo poganja trifazni sinhronski brezkrtačni motor.
- **Druga os** – Nam zagotavlja rotacijo drugega člena okoli prve horizontalne osi, kar zagotavlja robotu vertikalne pomike v obliki krožnice. Za pomik te osi skrbi tudi proti utež. Tudi ta os je gnana preko gonila z isto vrsto motorja kot prejšnja.

- **Tretja os** – Tretja os se nahaja na koncu drugega člena in prav tako skrbi za gibanje tretjega člena po vertikalni krožnici. Rotacija gredi se prenaša na zgornjo roko preko prekucnika in gonilnega droga. V liniji te osi je pritrjena tudi ravnotežna vzmet. Prav tako kot prejšnji dve je gnana preko istega motorja. Z uporabo zobatih gonil na teh prvih treh oseh dosežemo trdnost in dolgo življenjsko dobo tega robota.
- **Četrta os** – Ta os predstavlja gibanje oziroma rotacijo tretjega člena robota vzdolž te osi. Poganja jo cikloidno gonilo, preko trifaznega sinhronskega brezkrtačnega elektromotorja.
- **Peta os** – Peta os je gnana preko motorja vgrajenega v samo peto os. Gnana je preko kinematične verige, ki jo sestavljata jermen in cikloidno gonilo. Peta os je del verige zapestja robota.
- **Šesta os** – Tudi ta os ima vgrajeno cikloidno gonilo in elektromotor ter predstavlja rotacijo zadnjega člena vzdolž te osi. Skupaj s prejšnjo osjo tvorita kinematično verigo zapestja robota, kar nam omogoča izvajanje še zapletenejših gibov.

### 6.3 Opis krmilne omare

Robot ACMA XR 701 je upravljan s strani uporabnika preko krmilne oziroma kontrolne omare ACMA BR 2210. V njej se nahaja celoten krmilni sistem robota, ki izvaja operacije regulacije in vodenje položaja vseh osi ter zbiranja podatkov iz pripadajočih senzorjev. Krmilni sistem preračunava inverzni in dinamični kinematični model robotskega mehanizma.

Krmilna omara je sestavljena iz dveh delov:

- zgornji del omare je sestavljen iz uporabniškega vmesnika, ki služi za komunikacijo z operaterjem;
- spodnji del omare pa vsebuje močnostni del ter vso potrebno elektroniko za procesiranje.



**Slika 6.6: Krmilna omara ACMA BR 2210**

### 6.3.1 Zgornji del

Zgornji del komandne omare je sestavljen iz:

- Komandnega pulta, na katerem se nahajajo signalne luči in tipke za izvrševanje ukazov. V tem delu je skrajno levo spodaj tudi več pozicijsko stikalo, za izbiranje načina delovanja robota, in skrajno desno zgoraj obvezna tipka za izklop v sili.
- Integrirane enote za programiranje, ki vsebuje ekran, tipkovnico in enoto za nalaganje in shranjevanje podatkov. Tukaj poteka vnos programov, za delovanje robota in robotske celice v avtomatskem načinu delovanja.
- Ročne učne konzole, s katero lahko operater robota uči in programira na samem mestu izvajanja aplikacije. Konzola je sestavljena iz ekrana, tipkovnice, sprožilca in z obvezno tipko za izklop v sili.

### 6.3.2 Spodnji del

Spodnji del omare vsebuje procesno karto in relejsko logiko za vklop in varovanje robota in njegovega nadzornega sistema, karte za vse servo osi robota z dajalniki položaja servo motorjev, v krmilni omari je nameščena še klimatska naprava, ki vzdržuje temperaturo elektronike in pa seveda transformator, ki skrbi za napajanje omare. Vse karte izhodov in vhodov so opremljene z led diodami, katere skrbijo za vizualno detekcijo signalov.

Čisto spodnji del omare je zaseden z močnostnim delom s kontakti za vklop krmilja, sponke za odvod močnostnega dela vseh motorjev ter elektronika za izklapljanje in vklapljanje zavor, če robot izstopi iz svojega delovnega prostora. V omari se nahaja tudi prostor za dokumentacijo in na vratih kolut za navijanje kabla konzole.

### 6.4 Ročna konzola

Ročna konzola PMA 880, ki je preko daljšega kabla povezana z krmilno omaro in se uporablja za ročno vodenje in programiranje robota, se nahaja na krmilni omari. Uporabniku omogoča nadzor nad gibanjem orodja nad obdelovancem, v varovanem prostoru. Pri vseh gibih, ki jih robot upravlja v tem načinu delovanja, mora biti pritisnjeno stikalo za omogočanje na konzoli. Pri izpustu tega stikala, se mora robot takoj ustaviti in s tem zavarovati operaterja pred nenamernimi gibi, ki bi ga lahko poškodovali. V tem načinu robot deluje tudi pod zmanjšano hitrostjo.

Prenosna ročna konzola je sestavljena iz:

- zaslona,
- tipkovnice,
- stikala za izklop v sili,
- stikala za omogočanje.



**Slika 6.7: Ročna konzola**



**Slika 6.8: Stikalo za omogočanje gibanja**

## 7 ISO 10218 – 1:2006 [9]

Za prepoznavanje različne narave nevarnosti povezanih z različnimi uporabami robotskih sistemov je standard ISO 10218 razdeljen na dva dela. To poglavje govori o prvem delu, ki se nanaša samo na industrijskega robota.

Ta del standarda ISO 10218 se ne uporablja za neindustrijske robote, čeprav se lahko smernice uporabi tudi v primeru teh (vojaški in vesoljski, proteze in drugi pripomočki za telesno prizadete, mikro roboti...).

ISO 10218 – 1 je bil ustvarjen za namen prepoznavanja nevarnosti in podaja smernice za zagotavljanje varnosti oblike in konstrukcije industrijskega robota. Navedena področja v tem standardu se nanašajo na nevarnosti, nevarne situacije in dogodke, ki so povezane s strojem oziroma industrijskim robotom. Ta standard je standard tipa C, kot je navedeno v ISO 12100 – 1. Kadar se določbe tega standarda, ki je tipa C razlikujejo od tistih, ki so navedene v tipu A in tipu B ima ta standard tipa C prednost pred določbami drugih standardov za stroje.

Nevarnosti, ki so povezane z roboti so dobro poznane in prepoznane, vendar pa so viri nevarnosti pogosto edinstveni za vsak robotski sistem posebej. Število in tipi nevarnosti so povezani s procesom delovanja in zapletenostjo sistema. Niti ne velja, da so nevarnosti, ki so prepoznane s standardom ISO 10218 – 1, značilne za vsakega robota ter da je podana stopnja tveganja enaka za vse robote. Varnostne zahteve in zaščitni ukrepi lahko odstopajo od tistih, ki so navedeni v tem standardu. Kadar pride do tega, je potrebno izvesti oceno tveganja, s katero določimo zaščitne ukrepe, ki ustrezajo uporabljenemu robotu.

Za namen pravega razumevanja tega mednarodnega standarda, je uporabljena beseda sintaksa, ki označuje zahteve, priporočila in predlagane ukrepe.

- **Beseda "mora" (shall)** je porabljena za zahteve, ki morajo nujno sovpadati s standardom, razen če se niso pridobljena druga navodila oziroma, če ocena tveganja ne določi drugače.
- **Beseda "naj/lahko" (should)** je uporabljena za predloge, priporočene ukrepe in možne rešitve, a so lahko možne tudi alternativne rešitve, kar pomeni, da ta beseda ne podaja absolutne končne akcije.

## 7.1 Normativne reference

Sledeči referenčni dokumenti se nanašajo na ta dokument in so nujni za uporabo le tega. Za datirane reference velja samo navedena izdaja. Za nedatirane reference pa velja najnovejši referenčni dokument vključno z morebitnimi spremembami.

- ISO 9283:1998, Manipulativni industrijski roboti – Kriteriji delovanja in testiranje
- ISO 12100 – 1:2003, Varnost strojev – Osnovni koncepti in principi oblikovanja – Del 1: Osnove
- ISO 12100 – 2:2003, Varnost strojev – Osnovni koncepti in principi oblikovanja – Del 2: Tehnični principi
- ISO 13849 – 1:1999, Varnost strojev – Varnostno povezani deli nadzornega sistema – Del 1: Splošno
- ISO 13850, Varnost strojev – Ustavitev v sili – Principi oblikovanja
- ISO 13855, Varnost strojev – Pozicionirane zaščitne opreme
- ISO 14121:1999, Varnost strojev – Principi za izvedbo ocene tveganja
- IEC 60204 – 1:2005, Varnost strojev – Električna oprema strojev – Del 1: Splošne zahteve
- IEC 61000 – 6 – 2, Elektromagnetna združljivost – Del 6 – 2
- IEC 61000 – 6 – 4, Elektromagnetna združljivost – Del 6 – 4

## 7.2 Prepoznavanje nevarnosti in ocena tveganja

V prilogi tega standarda najdemo tabelo s seznamom nevarnosti, ki jih lahko predstavlja robot. Potrebno je izvesti analizo nevarnosti, s katero prepoznamo in izloči vse nadaljnje nevarnosti, ki bi se lahko pojavile.

Nevarnosti, ki se prepoznajo pri analizi, je potrebno ovrednotiti z oceno tveganja, ki mora upoštevati predvsem sledeče:

- predvidene operacije robota, vključno s poučevanjem, vzdrževanjem, nastavljanjem in čiščenjem;
- nepričakovan zagon;
- dostop osebja z vseh smeri;
- predvideno napačno uporabo robota;
- posledice napak v kontrolnem sistemu;
- kjer je potrebno, nevarnosti povezane s specifično aplikacijo.

Tveganja se odstranijo najprej z zasnovo ali zamenjavo, nato pa še z varovanjem in z drugimi dopolnilnimi ukrepi. Ostala tveganja se zmanjšajo z ukrepi, kot so dopolnilni znaki, opozorila usposabljanja in podobno.

### **7.3 Varnostne zahteve in zaščitni ukrepi**

Robot mora biti oblikovan glede na principe, ki so določeni v ISO 12100 – 1. Določene nevarnosti, kot so na primer ostri robovi pa se obravnavajo posebej, saj niso zajete v tem dokumentu.

Robot in robotski sistem mora biti oblikovan in konstruiran tako, da dosega spodnje zahteve:

- A. Vizualne preglede;
- B. Praktične teste;
- C. Meritve;
- D. Opazovanje med obratovanjem; in
- E. Analiza diagramov tokokroga.

#### **7.3.1 Splošne zahteve**

Pod splošne zahteve moramo upoštevati razne izpostavljenosti nevarnostim, ki jih povzročajo določene komponente (kot so gredi motorjev, gonila in podobno) ob izgubi energije ali pa napačnem delovanju ter nevarnim virom energij (električna, pnevmatska, hidravlična, kemična,...) in električnim komponentam.



### **7.3.2 Naprave za omogočanje**

Naprave, ki vklopijo napajanje in s tem povzročijo gibanje robota, morajo biti oblikovane in izdelane tako, da ustrezajo varnostnim kriterijem. Se pravi, da morajo biti zaščitene pred nenamernim zagonom, morajo imeti indikator stanja, biti primerno označene in morajo biti postavljene in povezane v robotski sistem tako, da so lahko dosegljive in da krmilijo samo en sistem.

### **7.3.3 Delovanje varnostnih kontrolnih sistemov (strojna/programska oprema)**

Varnostni kontrolni sistemi (električni, hidravlični, pnevmatski in programska oprema) morajo dosegati minimalna zapisana merila delovanja, drugače rezultati ocene tveganja določijo alternativna merila delovanja. Delovanje varnostnih sistemov in opreme mora biti jasno zapisano v navodilih za uporabo.

Ta del standarda, ki je zapisan kot delovanje varnostnih kontrolnih sistemov, je določen po kategorijah opisanih v standardu ISO 13849 – 1:1999. Uporabijo se lahko tudi drugi standardi, ki ponujajo alternativne zahteve delovanja, kot so nadzor zanesljivosti, zmogljivosti in ravni varnosti. Pri uporabi teh standardov je treba paziti, da se zagotovi enakovredna raven varnosti za zmanjšanje tveganja.

### **7.3.4 Ustavitvene funkcije robota**

Vsak robot mora imeti eno funkcijo zaščitne ustavitve in eno neodvisno funkcijo izkopa v sili. Te funkcije imajo omogočen dostop za priključitev na zunanje varnostne naprave. V spodnji Tabela 7.1 lahko ti dve funkciji primerjamo med seboj.

**Tabela 7.1: Primerjava izklopa v sili in zaščitnega stopa**

	<b>Izklop v sili</b>	<b>Zaščitni stop</b>
<b>Lokacija</b>	Operater ima hiter neoviran dostop	Določna s formulo za varno razdaljo
<b>Iniciacija</b>	Ročna	Avtomatska ali ročna
<b>Ponovna vzpostavitev</b>	Samo ročna	Ročna ali avtomatska
<b>Pogostost uporabe</b>	Redko, samo v sili	Odvisno, vsak cikel ali pa tudi ne
<b>Vpliv</b>	Odstrani vire energije z vseh nevarnosti	Nadzira varovane nevarnosti

### 7.3.5 Nadzor zmanjšane hitrosti

Ko operiramo v tem načinu, hitrost prirobnice končnega efektorja in središčne točke orodja (TCP), ne sme presegati hitrosti 250mm/s. Ker mora biti tudi možno izbrati hitrost, ki je manjša od te, mora biti vključena "off – set" funkcija. Ta način mora biti zasnovan tako, da nobena od predvidenih napak ne povzroči te prekoračitve hitrosti.

### 7.3.6 Operacijski načini

Operacijski način se izbere varno in sicer tako, da lahko omogočimo samo izbran način delovanja. To dosežemo s stikalom na ključ ali z drugimi sredstvi, ki zagotovijo enako varnost. Ta sredstva morajo nedvoumno prikazovati način delovanja in sama po sebi ne smejo sprožiti gibanje robota ali druge nevarnosti. Načini delovanja robota so lahko avtomatski, ročno zmanjšana hitrost ali pa ročna visoka hitrost.

Način delovanja	Grafični simbol
Avtomatsko	
Ročno zmanjšana hitrost	
Ročna visoka hitrost	

Slika 7.1: Operacijski načini

### 7.3.7 Krmilnik

Če se ti krmilniki ali kakšne druge naprave za upravljanje uporabljajo znotraj zavarovanega prostora, mora biti delovanje robota pod kontrolo zmanjšane hitrosti. Krmilnik mora imeti pozicijsko stikalo, funkcijo izklopa v sili in če je krmilnik povezan s kablom, mora biti ta dovolj dolg. Upravljamo lahko več robotov, vendar nikoli skupaj, temveč vsakega posebej.

### 7.3.8 Nadzor hkratnega gibanja

Kot je že prej omenjeno, je možna hkratna povezava več robotov z enim samim krmilnikom. Ko imamo tako nastavljen krmilnik, mora biti ta sposoben upravljati enega ali več robotov samostojno ali pa vse sočasno in skladno. V tem načinu morajo biti vse funkcije robota pod nadzorom enega krmilnika. Vsak robot mora biti izbran posamično, preden se ga aktivira, če se upravlja več robotov naenkrat pa morajo biti vsi v istem operacijskem načinu.

### 7.3.9 Kolaborativne operacijske zahteve

Roboti, ki so izdelani za kolaborativne operacije, morajo zagotoviti vizualno indikacijo, ko je robot v kolaborativnem delovanju.

- **Stop** – Robot se ustavi, ko je človek v kolaborativnem prostoru.
- **Ročno vodenje** – Oprema za to mora biti blizu končnega efektorja.
- **Hitrostni in položajni nadzor** – Robot mora vzdrževati varno razdaljo med operaterjem in hitrost ne sme preseči 250 mm/s.
- **Omejevanje moči in sile z obliko** – Robot mora biti oblikovan, da zagotovi maksimalno dinamično moč 80 W in maksimalno statično silo 150 N.
- **Omejevanje moči in sile s kontrolnim sistemom** – Kontrolna funkcija skrbi za hitrost, razdaljo, moč in silo.

### 7.3.10 Zaščita pred singularnostjo

Ko smo v načinu ročno zmanjšane hitrosti, mora kontrolni sistem robota:

- ustaviti gibanje robota in opozoriti operaterja pred singularnostjo, med vodenjem robota po zunanjih koordinatah;
- sprožiti avdio ali video opozorilni signal in nadaljevati skozi singularnost s hitrostjo omejeno na maksimalno 250mm/s, z vsako osjo.

### 7.3.11 Omejitev osi

Zagotoviti je treba sredstva, s katerimi vzpostavimo omejen prostor okoli robota. Uporabimo naprave za omejevanje. Določimo omejitve prve osi robota.

**Z mehanskimi ali elektromehanskimi napravami** – Določiti je treba mehanske ali ne mehanske naprave za omejitev druge in tretje osi. Mehanski stop mora ustaviti robota pri nazivni obremenitvi in pri maksimalnih hitrostnih pogojih v minimalnem in maksimalnem iztegu. Alternativne metode omejevanja so lahko uporabljene samo, če so oblikovane in vgrajene tako, da dosegajo enako mero varnosti kot mehanski stop.

**Mehko omejevanje osi** – Mehke meje so programsko določene meje za samodejen način delovanja, oziroma za vsak način delovanja nad zmanjšanimi hitrostmi. Omejitev osi definira omejen prostor robota, omejitev prostora pa določi izključujoče območje. Mehke omejitve lahko definirajo in zmanjšajo omejen prostor in lahko ustavijo robota pri polni hitrosti in obremenitvi. Spreminjanje mehkih omejitev mora biti pod varnostnim geslom in zavarovano.

**Dinamične naprave za omejevanje** – Dinamično omejevanje je samodejno nadzorovana sprememba v robotovem omejenem prostoru med ciklom delovanja. Kontrolne naprave kot so na primer svetlobne zavesne in omejitvena stikala, upravljana s kamero, se uporabljajo za dodatno omejitev robota, v omejenem prostoru med njegovim delovanjem. Naprave in pripadajoča oprema so sposobne ustavitve robota pod nazivno obremenitvijo in nazivno hitrostjo.

### **7.3.12 Gibanje brez pogonske moči**

Robot mora biti izdelan tako, da je gibanje njegovih osi možno tudi brez pogonske moči v nujnih in izrednih primerih. Kadar je to potrebno in omogočeno, lahko gibanje robota upravlja en sam človek. Kontrole so lahko dostopne, vendar zaščitene pred nenamernim aktiviranjem. Navodila za takšno gibanje osi morajo biti vpisana v navodilih za uporabo, skupaj s priporočili za učenje osebja na odzivanje v izrednih in nujnih primerih. V navodilih naj bodo dodatna opozorila, da gravitacija in odpoved zavornih naprav lahko povzroča dodatno nevarnost in kjer je mogoče naj bodo nalepljena varnostna opozorila.

### **7.3.13 Določbe za dvigovanje**

Zagotovljene morajo biti določbe za dvigovanje, ki ga izvaja robot in njegove povezane komponente. Te določbe morajo ustrezati in biti primerno določene za predvidene tovore (določbe za na primer kavlje, vijake, navojne luknje, vilice...).

### **7.3.14 Električni priključki**

Električni priključki, ki lahko povzročijo nevarnost s tem, ko se razklenijo ali iztaknejo, morajo biti oblikovani in izdelani tako, da se z njihovo obliko prepreči nenamerna razklenitev. Priključki morajo biti tudi pravilno označeni in sicer tako, da jih ni mogoče narobe povezati.

## 7.4 Navodila za uporabo

Oznake (znaki, simboli) in učno gradivo (priročniki za delovanje, vzdrževanje) mora biti zapisano v navodilih za uporabo s strani proizvajalca v skladu z standardom ISO 12100 – 1, ISO 12100 – 2 in IEC 60204 – 1. Kadar so uporabljene naprave za opozarjanje (avdio in video signali) morajo biti v skladu s standardom ISO 12100 – 2 in IEC 60204 – 1.

### 7.4.1 Priročnik za uporabo

Vsak robot in robotski sistem mora biti opremljen s priročnikom za uporabo oziroma z ustreznim medijem, ki vsebuje:

- ime, naslov in potrebne kontaktne informacije proizvajalca ali dobavitelja;
- navodila za zagon, programiranje, ponovni zagon in zahteve za vgradnjo;
- navodilo za začetni test in pregled robota in varnostnega sistema;
- navodila za test in pregled po menjavi opreme;
- navodila za varno operiranje, nastavitve in vzdrževanje;
- navodila o lokaciji in funkciji vseh kontrolnih sistemov;
- informacije o zmožnosti krmilnika;
- informacije o napravah za omejevanje;
- informacije o številu in delovanju naprav za aktiviranje in navodila;
- informacije o delovanju nadzornega sistema robota;
- specifikacije za vse tekočine in maziva, ki se uporabljajo;
- informacije za omejitev obsega, gibanja ter velikost tovora robota;
- postopke za preprečevanje napak pri vgrajevanju in vzdrževanju stroja;
- informacije o standardih, ki zadevajo robota;
- in še nekatere druge podatke, ki so podrobno opisani v tem standardu.

## 7.4.2 Označevanje

Vsak robot mora biti opremljen z razločno, čitljivo in predvsem z neizbrisno oznako, na kateri mora biti navedeno:

- ime proizvajalca, naslov, številka modela in referenčna številka, mesec in leto izdelave;
- masa stroja;
- podatke za električne ter, kjer je to primerno, hidravlične in pnevmatske sisteme (npr. najmanjše in največje pnevmatske tlake);
- točke za namene, prevoza in namestitvev;
- obseg in nosilnost.

Varovala in druge naprave, ki so del robota, a niso pritrjene nanj morajo biti jasno označene, da se prepozna njihova funkcija.

## 8 ISO 10218 – 2 [10]

ISO 10218 – 2 je bil ustvarjen z namenom prepoznavanja predvsem nevarnosti, ki jih predstavlja industrijski robotski sistem, ko je integriran in vgrajen v delovno celico ali delovno linijo, ne obravnava pa nevarnosti, ki so povezane s specifičnimi obdelovalnimi procesi (lasersko sevanje, dim pri varjenju ipd.), za te se uporabljajo drugi standardi.

Nevarnosti so dobro prepoznane, a izvori nevarnosti so unikatni za vsak robotski sistem posebej. Število in tipi nevarnosti so direktno povezani z naravo avtomatiziranega procesa in zahtevnosti vgradnje. Tipi teh nevarnosti varirajo od enega tipa robota do drugega, njegovega namena uporabe, kako je vgrajen, programiran, operiran in vzdrževan.

Za prepoznavo različnih nevarnosti povezanih z aplikacijo industrijskega robota, ta standard zagotavlja vodenje in predstavlja smernice za zagotovitev varnosti v robotskih sistemih. Ker je varna uporaba industrijskih robotov odvisna od oblike določenega robotskega sistema je pomembno, da podamo smernice za oblikovanje, izgradnjo in za navodila za uporabo robotskega sistema. Smernice za robotski del robotskega sistema pa najdemo v prejšnjem delu standarda in sicer v ISO 10218 -1; Roboti za industrijska okolja – Varnostne zahteve – Prvi del: Robot.

### 8.1 Normativne reference

Sledeči referenčni dokumenti se nanašajo na ta dokument in so nujni za uporabo le tega. Za datirane reference velja samo navedena izdaja. Za nedatirane reference pa velja najnovejši referenčni dokument vključno z morebitnimi spremembami.

- ISO 4413, Hidravlična moč tekočin – Splošna pravila
- ISO 4414, Pnevmatika moč tekočin – Splošna pravila
- ISO 10218 – 1:2006, Roboti za industrijska okolja – Varnostne zahteve – Del 1: Robot
- ISO 11161, Varnost strojev – Splošne zahteve
- ISO 12100 – 1, Varnost strojev – Del 1: Splošna terminologija, metodologija
- ISO 12100 – 2, Varnost strojev – Del 2: Tehnična načela



- ISO 13849 – 1:2006, Varnost strojev – Del 1: Splošna načela za načrtovanje
- ISO 13851, Varnost strojev – Funkcionalni vidiki in načela oblikovanja
- ISO 13854, Varnost strojev – Minimalne razmiki, ki preprečujejo poškodbe človeka
- ISO 13855, Varnost strojev – Pozicija zaščitne opreme
- ISO 13856 – 1, Varnost strojev – Del 1: Generalna načela za oblikovanje in testiranje na tlak občutljive podloge in tla
- ISO 13857, Varnost strojev – varnostne razdalje za preprečevanje doseganja v nevarne cone z zgornjimi in spodnjimi udi
- ISO 14118, Varnost strojev – Preprečitev nepričakovanega zagona
- ISO 14119, Varnost strojev – Načela za oblikovanje in selekcijo
- ISO 14120, Varnost strojev – Fiksni in premični varnostniki – Stražarji
- ISO 14121:1999, Varnost strojev – Načela tveganja z ocenjevanjem
- ISO/TR 11688 – 1:1995, Akustika – Del 1: Načrtovanje
- IEC 60204 – 1:2005, Varnost strojev – Električna oprema strojev – Del 1: Splošne zahteve
- IEC 60261:2005, Varnost strojev – Funkcionalna varnost električnih elektronskih in programabilnih kontrolnih sistemov
- IEC 61496 – 1, Varnost strojev – Elektro občutljiva zaščitna oprema

## 8.2 Prepoznavanje nevarnosti in ocena tveganja

Operativne karakteristike robota se lahko znatno razlikujejo od karakteristik drugih strojev in opreme. Potrebno je prepoznati nevarnosti in oceniti tveganje povezano z robotom in njegovo aplikacijo, predno se izbere in oblikuje varovalne ukrepe za ustrezno zmanjšanje tveganja.

Tip robota, njegova aplikacija in povezava z drugimi stroji ter pripadajočo opremo vpliva na dizajn in izbiro zaščitnih ukrepov. Ti morajo biti primerni za delo, ki ga robot opravlja in dovoljevati, da se sledeče operacije izvedejo varno: učenje, nastavljanje, vzdrževanje preverjanje programa in odpravljanje težav.

### 8.2.1 Postavitev

Dizajn postavitve robotskega sistema je ključni proces pri odpravljanju nevarnosti in zmanjševanju tveganja. Naslednji faktorji se morajo upoštevati med dizajniranjem postavitve:

- Določitev fizične meje celice ali linije, vključno z drugimi deli večjih celic ali sistema;
- Delovno območje, dostop in odmiki;
- Ročno posredovanje, kjer je postavitev dizajnirana tako, da se lahko naloge, ki zahtevajo ročno posredovanje izvršene izven varovanega območja;
- Ergonomija in človeško posredovanje v/z opremo;
- Okoljski pogoji;
- Nakladanje in razkladanje obdelovancev / menjava orodja;
- Upoštevanje območja varovanja;
- Zahteve za lokalizacijo naprav za zasilno prekinitve (možnost samo lokalne prekinitve ali prekinitve delovanja celotne celice);
- Zahteve za lokalizacijo vklopnih naprav;
- Pozornost namenjena vsem komponentam.

### 8.2.2 Ocena tveganja

Ker je robotski sistem vedno uporabljen v določeni aplikaciji, se mora izvajati oceno tveganja za določitev ukrepov za zmanjšanje tveganja. Ti ukrepi so potrebni za ustrezno zmanjšanje tveganja, ki je prisotno zaradi integriranih aplikacij. Posebno pozornost je treba posvetiti primerom, ko so zaščitni ukrepi odstranjeni iz individualnih naprav, da dosežemo integrirane aplikacije.

Ocena tveganja omogoča sistematično analizo in oceno tveganja povezano z robotskim sistemom skozi celotno življenjsko dobo delovanja.

Ocena tveganja vsebuje:

- določitev meja robotskega sistema,
- prepoznavanje nevarnosti,
- oceno tveganja,
- ovrednotenje tveganja.

### **8.2.3 Prepoznavanje nevarnosti**

Seznam bistvenih nevarnosti robota in robotskega sistema zapisanih v aneksu A, je rezultat prepoznavanja nevarnosti in ocene tveganja, kot je opisano v ISO 12100-1:2003, klavzuli 4 in v ISO 14121.

Nadaljnje nevarnosti (plini, kemikalije, vroči materiali...) so lahko ustvarjene s strani specifičnih aplikacij (varjenje, lasersko odrezavanje...) in pri interakciji robotskega sistema z drugimi stroji (nalet, trk...). Te nevarnosti se obravnavajo individualno z oceno tveganja za specifično aplikacijo.

### **8.2.4 Odpravljanje nevarnosti in zmanjšanje tveganja**

Potrebno je prepoznati nevarnosti, da lahko ocenimo tveganje povezano z robotskim sistemom, preden uporabimo primerne ukrepe za ustrezno zmanjšanje tveganja. Ti ukrepi bazirajo na teh temeljnih principih:

- eliminiranje tveganj z dizajnom ali redukcija njihovih nevarnosti s substitucijo;
- varovanje z namenom preprečitve stika operaterja z nevarnostjo ali zagotovitve, da so nevarnosti v varnem stanju, preden lahko operater pride v kontakt z njimi;
- določitev dodatnih ukrepov (trening, informacije za uporabo, znaki itd.).

### 8.3 Varnostne zahteve in zaščitni ukrepi

Integracija robotov in robotskih sistemov se mora uskladiti z zahtevami tega internacionalnega standarda. Poleg tega morata biti robot in robotska celica dizajnirana po principih ISO 12100-1:2003 standarda (ostri robovi ipd.).

Zmanjšanje hrupa mora biti sestavni del dizajniranja, posebej se morajo upoštevati ukrepi podani v ISO/TR 11688-a:1995, Akustika – Priporočila za dizajniranje strojev in opreme z nizko ravniyo hrupa. Uspešno uporabljeni ukrepi za zmanjšanje hrupa so ocenjeni glede na vrednosti dejanskih emisij hrupa (Aneks B) v povezavi z drugimi napravami.

#### 8.3.1 Delovanje varnostnih kontrolnih sistemov (strojna/programska oprema)

Varnostni kontrolni sistemi (električni, hidravlični, pnevmatski in programska oprema) morajo dosegati minimalna zapisana merila delovanja, drugače rezultati ocene tveganja določijo alternativna merila delovanja. Delovanje varnostnih sistemov in opreme mora biti jasno zapisano v navodilih za uporabo.

V ta namen je ta del ISO 10218, delovanja varnostnih kontrolnih sistemov zapisan kot:

- Ravni delovanja in kategorije kot so opisane v ISO 13849-1:2006;
- Varnostne ravni in zahtevane tolerance napak strojne opreme opisane v IEC 62061:2005.

Uporabljeni so lahko tudi drugi standardi, ki ponujajo druge alternativne varnostne zahteve delovanja.

##### 8.3.1.1 Zahteve delovanja

Kot so zahtevani varnostni sistemi delovanja, morajo biti dizajnirani tudi varnostni deli, tako da:

- ena sama napaka, v katerem koli od teh delov, ne vodi k izgubi varnostne funkcije;
- kadar je izvedljivo, se odkrije napaka pred ali med povpraševanjem varnostne funkcije;
- ko se pojavi napaka, se izvede varnostna funkcija tako, da se vzdrži varno stanje dokler zaznana napaka ni odpravljena;
- se odkrijejo vse možne napake.

### **8.3.1.2 *Druga merila delovanja kontrolnih sistemov***

Rezultati celovite ocene tveganja, izvedene na robotskem sistemu in njegovi aplikaciji, lahko odločijo, da je delovanje varnostnega kontrolnega sistema poleg ustrezno.

Izbira enega od teh varnostnih meril delovanja mora biti specifično identificirana, primerno omejena in previdna, kar mora biti navedeno v navodilih za uporabo.

## **8.3.2 *Oblikovanje in namestitvev***

### **8.3.2.1 *Okoljski pogoji***

Pri dizajniranju sistema moramo gledati tudi na okoljske pogoje, kot so temperatura okolice, vlaga ipd. Ti pogoji lahko vodijo v nekatere posebne zahteve zaradi tehničnih omejitev. Robot mora biti izbran tako, da zdrži v operacijskih in okoljskih pogojih.

### **8.3.2.2 *Lokacija komand***

Komande in oprema za upravljanje (varilne kontrole, pnevmatski ventili ipd.), do katere se dostopa med avtomatsko operacijo, mora biti locirana zunaj varovanega območja. To prisili osebo, da uporablja komandne aktuatorje zunaj delovnega območja. Oprema in komande morajo biti postavljene tako, da je omogočen pregled na celotno območje delovanja robota.

### **8.3.2.3 *Aktivacijske komande***

Te komande morajo izpolnjevati zahteve IEC 60204-1:2005. Dizajnirane morajo biti v skladu z ISO 10218-1:2006, 1.5.3.5. Robotski sistem se ne sme odzivati na nobeno od oddaljenih komand oziroma na pogoje, ki bi povzročili nevarno situacijo.

#### **8.3.2.4 Energijske zahteve**

Vsi viri energije (hidravlični, pnevmatski, električni, mehanski) morajo izpolnjevati zahteve, ki jih določi proizvajalec.

Robotski sistem naj bi imel eno napravo za prekinitev dovoda energije za vsak tip energije posebej. Če pa je za večje sisteme potrebno več izklopnih naprav, morajo biti nazorno označene (tekst ali simbol).

Električna ohišja morajo biti vgrajena tako, da se lahko vratca ohišij do konca odprejo in da so evakuacijske poti prehodne, tudi ko so vratca ohišij odprta. To je izpolnjeno takrat, če se vratca omaric zapirajo v smeri izhoda ali pa, če je širina pri odprtih še vedno 500mm ali več.

#### **8.3.2.5 Ozemljitvene zahteve**

- Zaščitno vezje mora izpolnjevati IEC 60204-1:2005
- Vezje za operativne namene IEC 60204-1:2005

#### **8.3.2.6 Izoliranje virov energije**

Zagotovljena morajo biti sredstva, s katerimi izoliramo nevarne energijske vire. Ta sredstva morajo biti sposobna zakleniti ali zavarovati energijski vir.

#### **8.3.2.7 Funkcije za ustavitev robotskega sistema**

Vsak robotski sistem mora imeti varnostno stop funkcijo in neodvisno funkcijo zaustavitve v sili. Te funkcije morajo imeti dovoljenje za priključitev zunanjih varovalnih naprav

#### **8.3.2.8 Zaustavitev povezane opreme**

Robotski sistem mora biti povezan tako, da pri zaustavitvi povezane opreme ne pride do nevarnosti ali nevarne situacije.

#### **8.3.2.9 Zahteve končnega efektorja**

Morajo biti dizajnirani in konstruirani tako, da:

- izguba dobave energije ne sme vplivati na to, da bi se tovor znašel v nevarni situaciji,
- izpust pritrjenih orodij poteka v določeni lokaciji pod točno določenimi pogoji in nadzoru,
- je lahko energija dobavljena končnemu efektorju brez tega, da bi jo hkrati dobavili robotskim aktuatorjem.

#### ***8.3.2.10 Obnovitev v sili***

Navodila za uporabo morajo vsebovati detajlno opisano obnovitveno proceduro robotskega sistema in njegove opreme.

#### ***8.3.2.11 Opozorilni znaki***

Če so opozorilni znaki, ki so na robotu oziroma na pripadajoči opremi, zakriti z inštalacijo, je potrebno dodati druga dodatna opozorila na vidnem mestu.

#### ***8.3.2.12 Razsvetljava***

Potrebna je razsvetljava, ki se jo za vsako aplikacijo določi posebej. Stroji morajo biti opremljeni z razsvetljavo tako, da ne povzroča senc, ne moti in je primerno svetla.

#### ***8.3.2.13 Aplikacijske nevarnosti***

Pri integraciji robotskega sistema je potrebno upoštevati tudi aplikacijske nevarnosti povezane s procesom in orodjem.

#### ***8.3.2.14 Naprave za omogočanje***

Dodatne naprave za omogočanje morajo biti nameščene v skladu z ISO 10218-1.

#### ***8.3.2.15 Odmiki v robotskem sistemu***

Pred inštalacijo robotskega sistema je potrebno izvesti oceno tveganja, da določimo mogoča ujetja in točke dotikanja v območju robotskega sistema.

Minimalni odmik mora biti 0.5 m in vedno v tistih delih, kjer se izvajajo naloge s hitrimi gibi (ISO 13854). Ta razdalja mora biti v tistem preračunanem delu ustavitve v primeru nevarnosti.

### **8.3.3 Omejevanje gibanja robota**

Robotske inštalacije morajo biti dizajnirane in integrirane v robotski sistem tako, da zmanjšajo izpostavljenost osebja na nevarnost. To dosežemo s postavitvijo varovanega območja in omejenega območja, katerima dodamo posebna varovala.

#### ***8.3.3.1 Vzpostavitev varovanega in omejenega območja***

Nevarnosti robotskega sistema in njihova lokacija ter postavitve naprav določajo primerno območje varovanja in vzpostavitev varovanega območja.

Omejeno območje mora biti vzpostavljeno glede na območje robota, njegove končne efektorje, pritrditve, obdelovanca in mora biti manjše kot je maksimalno območje.

#### ***8.3.3.2 Sredstva za omejeno gibanje***

Omejitve gibanja lahko dosežemo s pomočjo sestavnih delov robota, z vgrajevanjem zunanjih omejitvenih naprav oziroma s kombinacijo obeh. Sredstva za omejevanje so uporabljena, da omejimo območje, v katerem robot opravlja svoje naloge. Naprave za omejevanje morajo biti sposobne ustavitve robota z dejanskim tovorom in s programiranimi hitrostnimi pogoji. Vsa pritrjena varnostna oprema mora biti v skladu z ISO 10218-1:2006.

Naprave za omejevanje morajo biti prirejene in pritrjene pravilno. Ko je omejen doseg robota s posebnim dizajnom, mora ustrezati sledečemu:

- Mehanični stop mora biti zagotovljen. Ti morajo biti prilagodljivi in sposobni ustavitve robota v kateri koli poziciji.
- Alternativne metode omejevanja so lahko uporabljene, če so dizajnirane, konstruirane in inštalirane tako, da dosegajo vsaj takšne varnostne pogoje kot mehanični stop. Te lahko vključujejo kontrolne sisteme, ki uporabljajo konzolo robota in omejitvena stikala.



### **8.3.3.3 Dinamično omejevanje**

Dinamično omejevanje je avtomatična nadzorovana sprememba v postavljenem robotskem omejenem območju med delovnim ciklom robota. Uporabljena so različna kontrolna sredstva, kot so video podprta omejitvena stikala, svetlobne zavese ali zložljivi trdi stop.

## **8.3.4 Postavitev**

### **8.3.4.1 Območje varovanja**

Zavarovano območje je omejeno z območjem varovanja. Območje varovanja je lahko določeno z varovali oziroma z napravami za zaznavanje prisotnosti (glej 8.3.9).

Izbor naprav za varovanje gleda na:

- pričakovane operativne strese;
- vpliv procesnega materiala, še posebno dodajane in odstranjevanje le tega iz robotskega sistema;
- ostale pomembne zunanje vplive.

Varnostne razdalje morajo biti v skladu z ISO 13857, varnostne razdalje za preprečitev poškodb spodnjih in zgornjih okončin z ISO 13854, minimalne razdalje pa z ISO 13855.

### **8.3.4.2 Dostop za intervencije**

Naloge se izvajajo izven zavarovanega območja kadarkoli je mogoče. Dostopne poti ne smejo povzročati nevarnih situacij operaterjem vključno z drsenjem, spotikanjem ali z možnim padcem. Kadarkoli je mogoče morajo biti zagotovljeni dovolj veliki odmiki gleda na ISO 13854, med omejenim območjem in drugimi objekti. Kadar tega območja ni možno vzpostaviti se izvede ocena tveganja za določitev dodatnih varnostih meril.

Kadar je mišljeno, da bodo operaterji nakladali in razkladali dele, moramo to upoštevati pri načrtovanju sistema. Dodamo dodatne nakladalne naprave, da jim ni treba posegati v sistem, oziroma namestimo dodatna varovala.

Dostop do celice v različnih delovanjih je onemogočen. Varovanje je načrtovano tako, da onemogoči operaterju prehajanje iz ene v drugo celico in da ni nevarnosti med posredovanjem operaterja v celici. Kontrole in stikala je potrebno namestiti v bližino, kar pomeni, da izboljša dostop operaterja.

Dizajniranje varnega dostopa v celici mora upoštevati naslednje:

- kanali za kable, področja spotikanja;
- pogostost potrebnega dostopa za nakladanje/razkladanje;
- fizične karakteristike tovora;
- delavnost;
- območja opazovanja;
- servisne postavitve;
- lahko dostopne enote za vzdrževanje.

#### **8.3.4.3 *Ravnanje z materialom***

Nevarnosti, ki so povezane z avtomatskim sistemom za ravnanje z materialom (poravnava, padanje materiala in povezave z robotskim sistemom) je potrebno upoštevati pri oceni tveganja.

Kjer material vstopa in izstopa iz varovanega prostora, je potrebno upoštevati varnostne ukrepe, da operater ne pride neopažen v nevarno območje. Odprtina mora biti v skladu z ISO 13857.

#### **8.3.4.4 *Opazovanje procesa***

Proces opazovanja naj bi potekal zunaj varovanega prostora z določitvijo stojne in opazovalne lokacije. Če to ni mogoče, lahko poteka opazovanje v varovanem prostoru z ločenim kontrolnim načinom (Aneks J).

### **8.3.5 Operacijski načini robotskega sistema**

Sledeče zahteve se nanašajo na robotski sistem. Ne vsebujejo zahtev za opremo v robotskem sistemu, ki ni potrebna za opravljanje robotove naloge. Potrebno je izvesti oceno tveganja, da se določijo merila, s katerimi preprečimo nevarnosti, ki jih povzroča ta oprema.

#### **8.3.5.1 Izbira**

Nepooblaščen izbira mora biti preprečena z ustreznimi sredstvi (stikala s potrebnim ključem, koda dostopa ipd.). Ta sredstva morajo omogočiti samo funkcijo izbire in ne smejo inicirati robotskega sistema.

#### **8.3.5.2 Avtomatski način**

Avtomatska operacija se ročno inicira zunaj varovanega prostora in ne sme resetirati oziroma preskočiti stop pogoja.

#### **8.3.5.3 Ročni način**

Ko je potrebno ročno posredovanje, mora biti ročni način omogočen s samo eno konzolo, oziroma s podobno kontrolno enoto in mora upoštevati zahteve v ISO 10218 – 1:2006.

### **8.3.6 Konzole**

Konzole in učne enote uporabljene znotraj varovanega prostora morajo upoštevati ISO 10218 – 1:2006. Robotski sistem mora biti opremljen z učnimi konzolami, s katerimi lahko vklopljamo in izklopljamo gibanje robota, tudi nevarno, razen, če varnostno vezje že ustavi le tega. Dodatne naprave za omogočanje morajo biti nameščene v skladu z ISO 10218 – 1.

Učne konzole, ki so opremljene s kablom, mora le ta biti zadostne dolžine, da doseže učno območje tako, da operaterju ni potrebno iti preko vrsto preprek, ki se nahajajo v prostoru, da bi prišel do točke učenja. Kabel mora zdržati okoljske pogoje, v katerih se nahaja.

### **8.3.7 Vzdrževanje in popravila**

Robotski sistem mora biti oblikovan tako, da vsebuje procedure za pregled in vzdrževanje, kar zagotavlja varno delovanje. Vzdrževanje in preglede je potrebno izvajati glede na proizvajalčeva navodila, kar mora biti tudi zapisano v navodilih za uporabo.

### **8.3.8 Integrirane interference proizvodnega sistema (IMS)**

Vsa druga oprema, ki je povezana z robotskim sistemom in ni direktno kontrolirana z robotskim kontrolerjem, mora biti prav tako vključena v oceno tveganja, za conske konfiguracije, varovanje in izvajanje nadzora. ISO 11161 in določeni C standardi so primerni za to.

Pod to integracijo spadajo sledeče:

- ustavitev v sili,
- varnostna vezja,
- lokalne kontrole,
- naprave za omogočanje,
- izbira načina,
- nadzor pomožne opreme,
- izvajanje conskih nalog.

### **8.3.9 Varovanje**

Izbira ustreznih varoval se določi z oceno tveganja. Varovala izbrana za robotski sistem in njegovo aplikacijo morajo ustrezati varnostnim zahtevam. Za varovanje industrijskega robotskega sistema se lahko uporabijo naslednja varovala:

- fiksna in pomična varovala,
- naprave za zaznavanje prisotnosti,
- naprave za lociranje operaterja,
- varnostne naprave povezane z nadzorom (funkcije),
- naprave za osebni nadzor.



Slika 8.1: Varovala

### 8.3.10 Kolaborativni roboti

Kolaboracija robota s človekom omogoča, da se lahko opravlja veliko število raznovrstnih operacij in omogoča večjo storilnost. Glede na ISO 10218 – 1 lahko iz standardne celice oblikujemo bolj ergonomično in predvsem varno med kolaboracijo robota s človekom. Za doseg tega morajo biti izpolnjene vse zahteve.

Ocena tveganja za kolaborativne operacije mora upoštevati vsaj sledeče:

- postavitve in okolje robotskega sistema;
- pritrditev robotske roke (preprečitev dela pod robotom);
- tip robota (obremenitev, hitrost, sila, moč) in njegova aplikacija;
- zahteve za končne efektorje (ergonomija oblike, ostri robovi, delovanje z menjavo orodja);
- specifične nevarnosti procesa (temperatura, iskrenje pri varjenju);
- potrebna zaščitna oprema osebja glede na aplikacijo (čevlji, rokavice, plašč, čelada);
- oblika in pritrditev enote za upravljanje (dostopnost, ergonomija...).

### 8.3.11 Zagon robotov in robotske opreme

Osebje mora biti zavarovano pred nevarnostmi skozi vse faze življenjskega cikla robota in robotskega sistema in ne samo med njegovim operacijskim ciklom. Potrebno je izvesti

posebne varovalne procedure med zagonom (nastavitve, testiranje, preverjanje...). Te procedure se uporabljajo tudi takrat, ko je robot ali robotski sistem spremenjen programsko ali mehansko in po vzdrževanju.

## 8.4 Preverjanje varnostnih meril in oblikovnih zahtev

Robotski sistem mora biti dizajniran na podlagi predpisanih principov. Varnostni elementi morajo biti vgrajeni po navodilih proizvajalca in morajo biti vpeljani v robotski sistem tako, da zmanjšajo tveganje poznanih nevarnosti.

Preverjanje in potrjevanje poteka po naslednjih metodah:

- vizualni vidiki;
- praktični testi;
- meritve;
- opazovanje med operacijo;
- pregled tokovnih diagramov;
- pregled funkcijskih blokov v programski opremi in/ali njene dokumentacije;
- pregled opravil na podlagi ocene tveganja; in
- pregled risb postavitve in ustreznih dokumentov.

### 8.4.1 Zahteve preverjanja

V tabeli v prilogi (Tabela 1) so zapisane varnostne zahteve, ki omogočajo varnost robotskega sistema in po katerih se preverja robotski sistem. Z ustrezno uporabo zgoraj opisanih metod lahko ocenimo ali so varnostne zahteve ustrezno dosežene.

### 8.4.2 Preverjanje varnostnih elementov

Varnostni elementi, ki so vgrajeni z namenom prepoznavanja nevarnosti, se morajo preveriti, če so uporabljeni v skladu z navodili proizvajalcev in primerno vgrajeni v robotski sistem.

### **8.4.3 Izvajanje testa**

Navodila proizvajalca za izvajanje testa robota ali robotskega sistema morajo biti primerno dokumentirana. Zagonska procedura naj bi vključevala, ni pa omejena na postopek zagona pred uporabo energije in po uporabi energije.

## **8.5 Navodila za uporabo**

Ob postavitvi robotskega sistema se morajo dobaviti oziroma izdelati tudi navodila za uporabo. Navodila za uporabo morajo vsebovati informacije o stroju, ki je vgrajen v robotski sistem, prav tako pa vse informacije in navodila, potrebna da zagotovijo varno in pravilno uporabo. Opozarjati morajo uporabnika na nevarnosti (znaki, simboli, diagrami, dokumentacija...), kar pomeni, da vsebujejo informacije za predvideno uporabo robotskega sistema, kot tudi informacije za napačno uporabo.

### **8.5.1 Priročnik za uporabo**

V priročniku morajo biti zapisane različne faze uporabe robotskega sistema vključno s transportom, sestavo in vgradnjo, zagonom, operacijsko uporabo in kadar je potrebno razgradnjo, razstavo in odstranitev.

### **8.5.2 Označevanje**

Robotski sistem mora biti označen vidno, čitljivo in neizbrisano z naslednjim:

- imenom in polnim naslovom proizvajalca in z njegovim pooblaščenim predstavnikom,
- imenom stroja,
- imenom serije in tipa,
- serijsko številko,
- leto izdelave.

## 9 OCENA VARNOSTI

Po preučitvi vseh prej omenjenih področij, še posebno obeh delov standarda ISO 10218, je v nadaljevanju moja naloga in obenem tudi glavna tema diplomske naloge, ocenitev varnosti obstoječe robotske celice in pripadajočega robota ACMA XR 701.

Varnost te robotske celice je pomembna predvsem zaradi tega, ker se v času študija v njej zadržuje veliko število študentov, ki si v tem času pridobivajo znanja iz robotike in se učijo rokovanja z industrijskim robotom ter z njegovo pripadajočo opremo.

Ocena varnosti temelji na standardu ISO 10218, ki z obema deloma, kot je omenjeno v prejšnjih dveh poglavjih, pokriva varnost robota in izvajanje njegove aplikacije v robotski celici. To pomeni, da nekako zagotavlja operaterju varno zadrževanje v okolici in tudi v samem robotskem sistemu, če mu je seveda tja vstop dovoljen.

V nadaljevanju je za razlago ocene varnosti v sledečih dveh podpoglavjih potrebno gledati prejšnja dva glavna poglavja (poglavje 7 in 8), ki sta povzetka standardov ISO 10218 – 1 in ISO 10218 – 2.

Potek celotne ocene varnosti je podrobno razdelan v tabelah (Tabela 13.1 in Tabela 13.2) v prilogi. Za natančne informacije glede izvedene ocene, pa je potrebno pridobiti oba standarda.

Poglavja iz standarda ISO 10218, ki se ne nanašajo na tega robota in to robotsko celico (kolaboracija z dvema robotoma, upravljanje dveh robotov, naprave za zaznavanje prisotnosti ipd), niso zajeta v oceno varnosti.

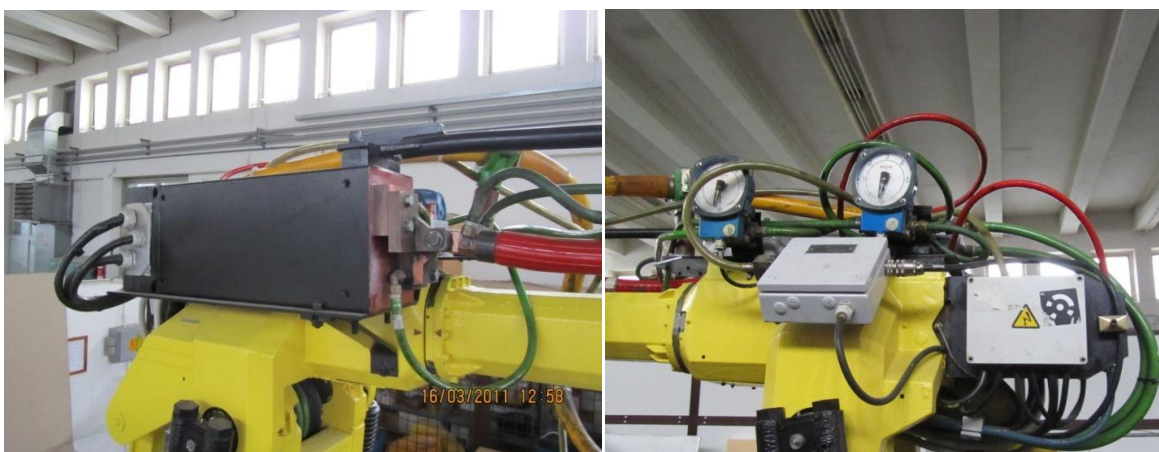


## 9.1 Ocena varnosti robota

Ocena varnosti robota je izvedena na podlagi standarda ISO 10218 – 1 (roboti za industrijska okolja – varnostne zahteve).

### 9.1.1 Splošne zahteve

Splošne zahteve, ki so določene z varnostnimi zahtevami in zaščitnimi ukrepi, so ustrezno izpolnjene. Robot ob izgubi energije ne povzroča nevarnosti s svojimi komponentami niti jih ne povzročajo njegovi končni efektorji. Ustrezno ima urejeno območje za menjavo orodja, viri energij, ki so uporabljeni pri določenih aplikacijah, pa so ustrezno zavarovani (Slika 9.1).



**Slika 9.1: Zavarovani viri energij**

### 9.1.2 Stikala

Naprave za omogočanje oziroma stikala, ki lahko povzročijo gibanje robota, so na vidnem mestu in ustrezno zavarovana z izbirnim stikalom na ključ. Indikacija stanja nam ustrezno kaže stanje napajanja, v kakšnem delovanju je robot in nam javlja napake na sistemu. Kadar je robot pod nadzorom ročne konzole, njegovega gibanja ni možno sprožiti preko komandne plošče. Tukaj so problematične le francoske označbe na indikatorjih in stikalih, zato ni možno prepoznati njihovih funkcij, če ne poznamo francoskega jezika (Slika 9.2).



**Slika 9.2: Komandna plošča**

### 9.1.3 Delovanje kontrolnega sistema

Delovanje varnostnih kontrolnih sistemov ustreza kategoriji 3 funkcionalne varnosti, ki je zapisana v ISO 13849 – 1, kar pomeni, da ob pojavu napake varnostni sistem ne odpove ampak še naprej izvaja varnostno funkcijo.

### 9.1.4 Ustavitev v sili in varnostni stop

Funkcija izklopa v sili, je primerno izvedena, saj odstrani vse vire energij s pogonov, takoj ustavi gibanje robota in tako prepreči nevarnosti, kar ustreza STOP kategorijam 0 in 1 standarda IEC 60204 – 1. Tudi stikali sta ustrezni, saj ob pritisku na njiju le ti ostaneta v aktivnem položaju, do ponovne ponastavitve.

Robot ima tudi varnostno stop funkcijo, ki je izvedena ročno, lahko pa se jo tudi izvrši avtomatsko. Ustreza STOP kategorijam 0 in 1.



**Slika 9.3: Stikali izklopa v sili na komandni plošči in na konzoli**

### 9.1.5 Načini delovanja

Načini obratovanja se izbirajo z izbirnim stikalom na ključ, kar zagotavlja potrebno varnost za preprečitev nenamerne izbire. V vseh načinih delovanja (v avtomatskem, v ročnem z zmanjšano in v ročnem s povečano hitrostjo) robot izvrši zadano nalogo, se ustavi ob preklopu iz trenutnega načina delovanja in tudi ob zaznanem stop pogoju. V ročnem delovanju z zmanjšano hitrostjo je omogočena možnost izbire hitrosti manjše od 250 mm/s in dostop operaterja do robota. Pri ročni povečani hitrosti so omogočene hitrosti višje od 250mm/s.



**Slika 9.4: Stikalo izbire delovanja**

### 9.1.6 Krmilnik – učna konzola

Gibanje robota, ki ga upravlja učna konzola se izvaja pod zmanjšano hitrostjo. Kadar je omogočena višja hitrost pa so upoštewane zahteve za takšno delovanje. Gibanje je omogočeno s pritiskom na start tipko, ki je ločena od pozicijskega stikala, ob izpustu le tega, pa se vsako gibanje pri katerikoli hitrosti v trenutku ustavi. Tudi stikalo za izklop v sili deluje v skladu z določili. Aktiviranje robota v avtomatski način z ročno konzolo ni mogoče, kar je tudi ustrezno.

### 9.1.7 Omejitev osi

Omejitev osi je izvedena tako, da se lahko omeji gibanje robota oziroma se mu lahko zmanjša njegovo delovno območje. Za omejitev prve osi so uporabljena omejitvena stikala in mehanski stopi, za pozicijo pa skrbijo dajalniki položaja. Mehanski stopi so sposobni ustavitve robota po zahtevah standarda. Mehke omejitve so uporabljene med avtomatskim delovanjem, s čimer je določeno območje v katerem lahko robot takrat izvaja aplikacijo.



**Slika 9.5: Omejitveno stikalo in mehanski stop**



### 9.1.8 Gibanje brez pogonske moči in električni priključki

Gibanje robota je omogočeno tudi brez pogonske moči, kadar se kaj takšnega zahteva, se pravi v nujnih in izrednih primerih. Električni priključki so ustrezno pritrjeni in staknjeni, so tudi na takšnih mestih, da je možnost njihove nenamerne razklenitve minimalna. Nekatere priključke je potrebno še ustrezno označiti, da ne pride do napačne povezave.



Slika 9.6: Ustrezno povezani priključki

### 9.1.9 Priročnik za uporabo in označevanje

Robot nima ustreznih navodil za uporabo, prav tako pa tudi ne pripadajočega priročnika, v katerem bi bile zapisane procedure, ki jih zahteva ta ISO standard. Je pa primerno označen s ploščicama, na katerih so zapisani zahtevani podatki.



Slika 9.7: Ploščici s podatki

## 9.2 Ocena varnosti robotske celice

Ocena varnosti robotske celice je izvedena po standardu ISO 10218 – 2 (roboti za industrijska okolja – varnostne zahteve – robotski sistem in integracija).

Ta del varnostnega standarda se v nekaj točkah nanaša tudi na robota, kar pomeni, da se določene stvari glede ocene varnosti tukaj nanašajo na točke v prejšnjem standardu. Te točke, ki so omenjene že v oceni varnosti robota in so v tem standardu podvojene, so v tem delu izpuščene, saj takšno podvajanje ni smiselno.

### 9.2.1 Postavitev in prepoznavanje nevarnosti

Postavitev robotske celice je ustrezno izbrana glede na velikost robota, njegovega delovnega območja in na aplikacije, ki jih opravlja znotraj robotske celice. Poleg robota je v celici še dovolj prostora za dodatne naprave, če so potrebne. Nevarnosti, ki bi se lahko pojavile v aplikacijah, za katere je predviden robot, so bile ustrezno prepoznane in upoštevane pri postavitvi robotske celice.

### 9.2.2 Varnostni nadzorni sistem

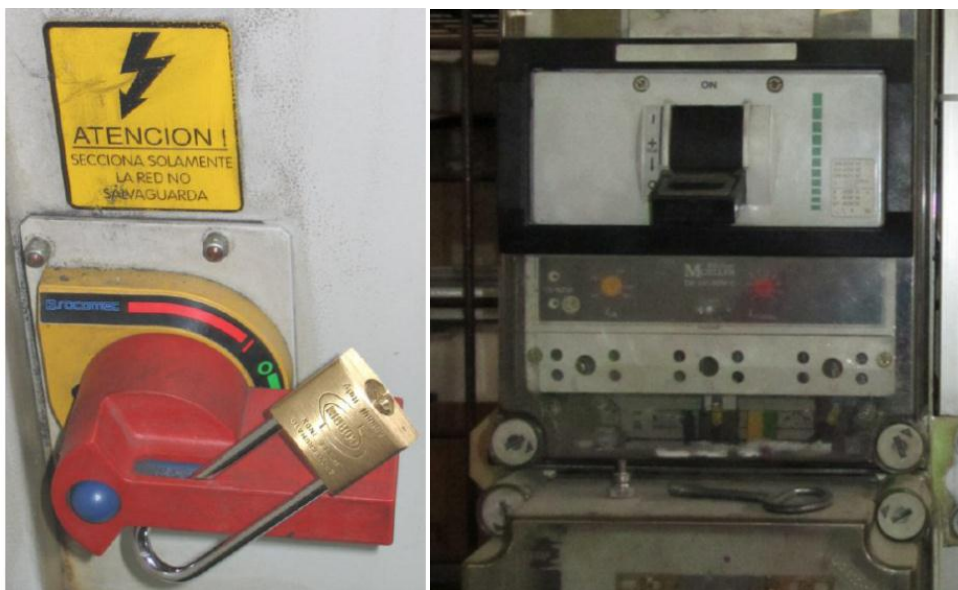
Delovanje varnostnega nadzornega sistema ustreza zahtevam kategorije 3 standarda ISO 13849 – 1 in nivojem (tukaj upoštevana dva nivoja, nivo 0 in 1), ki jih določa standard IEC/EN 62061 (tabela 9.1).

**Tabela 9.1: Varnostni nivoji glede na IEC/EN 62061**

Varnostni nivo	Možnost odpovedi in napak na uro delovanja
3	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$

### 9.2.3 Oblikovanje, namestitve in omejitve robotskega sistema

Robotski sistem je oblikovan skladno s pogoji, zapisanimi v standardih. Se pravi sistem deluje v okolju, v katerem je postavljen, aktivacijske stikala so na pravih mestih izven celice, vsak vir energije ima svoje odklopno stikalo (Slika 9.8) in je ustrezno izoliran in nadzorovan. Upošteevane so tudi zahteve glede ozemljitve, izklopa v sili in varnostnega stopa.



**Slika 9.8: Glavno stikalo napajanja in odklopno stikalo močnostnega dela za varjenje**

Opozorilne table so jasno razvidne, svetlobni signal semaforja na celici je viden in ustrezno deluje med obratovanjem. Odmiki med delovnim prostorom robota in celico so dovolj veliki, se pravi so večji kot 0,5m, kar je minimum. Oblikovalec celice pa je tudi ustrezno upošteval zahteve za intervencije in opazovanje procesov.



**Slika 9.9: Opozorilne table**

Potrebno je vzpostaviti območje gibanja robota in ga primerno označiti, glede na gibanje njegovih osi z ali brez omejitev, odvisno za kakšno aplikacijo gre. To območje je že bilo označeno z ustreznimi oznakami (trak z rumenimi in črnimi črtami), a sedaj ni več vidno, kar predstavlja veliko nevarnost naleta robota, če stojimo v tem območju. To območje bi bilo potrebno tudi ustrezno zavarovati z ustreznimi varovali, ki jih pa sedaj tudi ni.

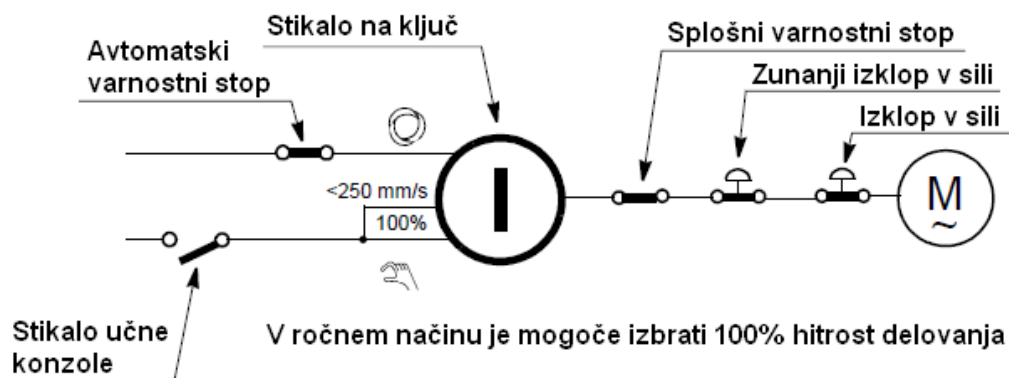


**Slika 9.10: Slabo označeno delovno območje robota**



### 9.2.4 Načini delovanja in ustavitve robotske celice

Operacijski načini se nanašajo na robota in so enaki kot pri robotu. Tudi tukaj so upoštevane zahteve standarda za avtomatski način, ki se lahko izvrši samo zunaj celice, zahteve za ročne načine in za zagon in izklop robotskega sistema. Ustavitve v sili in varnostne ustavitve se prav tako nanašajo na robota in imajo enako funkcijo kot pri robotu.



Slika 9.11: Funkcije ustavitve robotskega sistema

### 9.2.5 Varovanje

Varovanje robotske celice je izvedeno s fiksnimi pregradami oziroma ograjami, ki so nameščene z zahtevami standarda ISO 13857, ki opisuje maksimalne odmike ograje od tal (200 mm), minimalno višino ograje (1400 mm) in tudi ostale zahteve glede gostote mreže na ograji in podobno. Zahtevani varnostni odmiki so tako ustrezno upoštevani.

Celica ima dvojne servisnih vrat, ki sta ustrezno zavarovani z mehanskimi stikali in imata možnost odpiranja iz notranjosti celice, kar je tudi zahtevano. To varovanje je vedno vzpostavljeno in ga ni mogoče obiti za vstop v celico.

Potrebno bi bilo le še dodatno varovati notranjost robotske celice z napravami za zaznavanje prisotnosti (varnostne zavese, skener, kamera ipd.), še posebej območje, v katerem deluje robot, saj robot sam ne more zaznati naše prisotnosti in nas lahko med učenjem, vzdrževanjem in izvajanjem operacij poškoduje. Ta zahteva se mora nujno izpolniti.



**Slika 9.12: Varnostna vrata odprta in zaprta**

### **9.2.6 Zagon robota in robotskega sistema**

To se je izvedlo pravilno, ko je bil robot integriran v celico, saj robot še sedaj deluje pravilno vključno z njegovimi komponentami. Zagonska procedura je potemtakem potekala po varnostnih zahtevah. V navodilih za vzdrževanje mehanike je postopek prve inicializacije tudi podrobno opisan.

### **9.2.7 Navodila in priročnik za uporabo**

Potrebno bi bilo izdelati navodila in priročnik za uporabo, v katerem bi bili zapisani vsi potrebni podatki, ki so zahtevani in so zapisani v tem standardu.

Robot sicer ima izdelana navodila za vzdrževanje mehanike, s katerim si lahko delno pomagamo, a samo ta žal niso dovolj. Ustreza delu v priročniku za uporabo, ki se nanaša na vzdrževanje robota, ne pa tudi na robotsko celico.

### **9.2.8 Označevanje**

Robotska celica in robotski sistem je ustrezno označen z inventarnimi in serijskimi številkami, ki se nahajajo na robotu, na mehanskih stikalih, na semaforju in na ostali opremi, ki je sestavni del tega robotskega sistema.

## 10 DISKUSIJA

S pametnim načrtovanjem robotskih celic, robotov in pripadajoče opreme, si lahko prihranimo veliko odvečnega vzdrževanja in popraviljanja. Če znamo te robotske sisteme dobro vpeljati v proizvodnjo in maksimalno izrabiti njihov namen lahko prihranimo veliko materiala, na primer pri barvanju karoserij. Robotski sistemi so zelo robustni, delujejo lahko v različnih okoljih, tudi nevarnih in zdravju škodljivih, kar je dobro za človeka, saj je tako odmaknjen od opravljanja nevarnih aplikacij.

Z vse številčnejšim vpeljevanjem robotskih sistemov v industrijske procese, dosegamo vse višjo kvaliteto izdelkov, kljub hitrejši izdelavi, saj so industrijski roboti zelo natančni. Imajo tudi dobro ponovljivost, lahko se jih programira za veliko različnih aplikacij, poleg tega pa so še izredno hitri in lahko delujejo štiriindvajset ur na dan. Ne zahtevajo veliko vzdrževanja, ker pa je večina industrijskih robotov serijskih, so komponente, ki so potrebne zamenjave, hitro dobavljive, tako da pri okvari robota ne pride do predolgega izpada proizvodnega procesa.

Veliko vlogo v uvajanju robotskih sistemov v te procese igra seveda varnost, kateri je že od uvedbe prvega industrijskega robota v industrijo posvečena velika pozornost. Robotski sistem in robot se lahko v določenih situacij obnašata zelo nepredvidljivo in lahko povzročita nevarnost že samo s svojim gibanjem. Prav zaradi takšnih nepredvidljivih situacij je potrebno varovanje, saj lahko poškoduje človeka in tudi ostalo opremo. Čeprav govorimo o zamenjavi človeka z robotskim sistemom, pa le ta ni nikoli čisto izključen iz robotskega sistema, saj je še vedno potrebno robota programirati, ga vzdrževati in pri nekaterih aplikacijah tudi sodelovati z njim med obratovanjem. Prav v teh primerih lahko kaj hitro pride do poškodb.

Prav zaradi izključitve možnosti teh poškodb, je bilo potrebno varnostno oceniti obstoječo robotsko celico in robota ACMA XR 701, ki se nahaja v njej. Varnostna ocena je potekala po zahtevah, ki so opisane v standardu ISO 10218. Po koncu izvedene ocene varnosti robotske celice sem dobil rezultate, ki sem jih pričakoval že pred začetkom izvedbe.

## 11 SKLEP

Z izvedeno oceno varnosti robotske celice z vgrajeni robotom ACMA XR 701, na podlagi varnostnega standarda ISO 10218, sem ugotovil dejansko stanje varnosti, ki je trenutno v okolici in v sami robotski celici. Preden sem lahko začel z ocenjevanjem, je bilo potrebno preučiti delovanje industrijskih robotov, delovanje različnih varoval in načine varovanj. Večino časa pa sem se ukvarjal s prevajanjem in preučevanjem varnostnih standardov ISO 10218 – 1 in ISO 10218 – 2, ki sta bila temeljna pri moji oceni varnosti. Po preučitvi vse te literature, sem si izdelal ocenjevalno tabelo, si ogledal robotsko celico, robota in pripadajočo opremo, ter na podlagi zahtev, ki so zapisane v teh dveh standardih, izvedel oceno varnosti.

Na podlagi izvedene ocene, sem ugotovil, da je trenutno stanje varnosti celice zadovoljivo, če se robota upravlja in vodi izven varovanega prostora, se pravi izven robotske celice. Največja nevarnost nastopi, če robota učimo njegovih gibov in stojimo v njegovi bližini, ker lahko kaj hitro stopimo v njegovo delovno območje, saj le to ni primerno označeno. Potrebno bi bilo tudi varovati njegovo delovno območje z napravami za zaznavanje prisotnosti, kot so svetlobne zavesne ali pa varnostni skenerji, saj robot sedaj ne dobi signala, kdaj stopi operater v njegovo območje, da bi upočasnil hitrost ali pa se ustavil. V varnostni celici manjka še dodaten, zunanji izklop v sili, ki je lahko pritisnjen v notranjosti celice. Dodatno je potrebno namestiti tablo za obvezno nošenje čelade in označiti vse vire energij. Na komandnem pultu, kjer so vsa stikala in svetlobni indikatorji, so potrebni prevodi v slovenski jezik, potrebno je izdelati natančna navodila za uporabo, tako za robota, kot tudi za robotsko celico.

Preden se bo delovni prostor okoli robota zavaroval z ustreznimi varovali, priporočam, da se izvede ocena tveganja po standardu ISO 14121 (varnost strojev – principi za izvedbo ocene tveganja) glede na aplikacije, ki jih robot opravlja in se tako na podlagi rezultatov izbere najučinkovitejša varovala.

Priporočam tudi naknaden pregled varnosti robota in robotske celice, na podlagi prenovljenih standardov ISO 10218 – 1:2011 in ISO 10218 – 2:2011, ki izideta to leto in se lahko nekatere zahteve, ki so zapisane v trenutnih spremenijo ali pa nadgradijo.

## 12 VIRI

- [1] Adedeji B. Badiru, Olufemi A. Omitaomu. *Handbook of Industrial Engineering*, Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [2] *CEN: About us* [svetovni splet]. CEN. Dostopno na WWW: <http://www.cen.eu/cen/Pages/default.aspx> [5.3.2011].
- [3] *CENELEC: About CENELEC* [svetovni splet]. CENELEC. Dostopno na WWW: <http://www.cenelec.eu/> [8.3.2011].
- [4] Department of Labour. *Robot Safety*, Wellington: Industrial Welfare Division, 1987.
- [5] *ETSI: About ETSI* [svetovni splet]. ETSI. Dostopno na WWW: <http://www.etsi.org/WebSite/homepage.aspx> [10.3.2011].
- [6] Government of South Australia. *Industrial Robots – Machine Guarding*, Wayville: StandardsAustralia, 2010
- [7] *Health & Safety Compliance Engineering: Safety of Machinery* [svetovni splet]. Health & Safety Compliance Engineering. Dostopno na WWW: <http://www.hs-compliance.com/Info/MachinerySafety/Training.aspx> [12.4.2011].
- [8] *IEC: About IEC* [svetovni splet]. IEC. Dostopno na WWW: <http://www.iec.ch/about/> [21.2.2011].
- [9] ISO 10218 – 1:2006, *Robots for industrial environments – Safety requirements – Part 1: Robot*. ISO, Switzerland, 2006
- [10] ISO 10218 – 2, *Roboti za industrijska okolja – Varnostne zahteve – Del 2.: Robotski sistem in integracija*. SIST, Ljubljana, 2008.
- [11] *ISO: Standards development* [svetovni splet]. ISO. Dostopno na WWW: [http://www.iso.org/iso/standards\\_development.htm/](http://www.iso.org/iso/standards_development.htm/) [22.2.2011].
- [12] *ITU: Discover ITU* [svetovni splet]. ITU. Dostopno na WWW: <http://www.itu.int/en/pages/default.aspx/> [3.3.2011].
- [13] Kevin Behnisch. *Safe collaboration with ABB Robots*. ABB Robotics AB, 2008.
- [14] *Leuze electronic: Performance level in accordance with EN ISO 13849 – I* [svetovni splet]. Leuze electronic. Dostopno na WWW: [http://www.safety-at-work.leuze.de/a/a\\_12.html](http://www.safety-at-work.leuze.de/a/a_12.html) [28.4.2011]
- [15] Luka Ambrožič. Klasična robotika – evolucija, razvoj in prihodnost. *Avtomatika* (2010), številka 98, str. 7-11.

- [16] *Machinery Safety 101: Understanding Risk Assessment* [svetovni splet]. Machinery Safety 101. Dostopno na WWW: <http://machinerysafety101.com/2011/01/31/understanding-risk-assessment/#axzz1Gxb9OBuD> [18.2.2011]
- [17] *Roboned: Executive summary of world robotics* [svetovni splet]. Roboned. Dostopno na WWW: [http://www.robomed.nl/iiprn/downloads/2010\\_executive\\_summary.pdf/](http://www.robomed.nl/iiprn/downloads/2010_executive_summary.pdf/) [15.3.2011].
- [18] *Rockwell Automation: Principles, Standards and implementation* [svetovni splet]. Rockwell Automation. Dostopno na WWW: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/> [12.3.2011].
- [19] Saeed B. Niku. *An introduction to Robotics Analysis, Systems, Applications*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.
- [20] *Schmersal: Stop categories to EN 60204 – 1* [svetovni splet]. Schmersal. Dostopno na WWW: <http://www.schmersal.com/cms1/opencms/html/en/service/glossary.html?id=143> [16.4.2011].
- [21] Schneider Electric. *Safe Machinery Handbook*, Telford: Schneider Electric Ltd, 2010
- [22] *SIST: O SIST* [svetovni splet]. SIST. Dostopno na WWW: <http://www.sist.si/index.php/> [5.3.2011].
- [23] *SIQ: CE oznaka* [svetovni splet]. SIQ. Dostopno na WWW: [http://www.siq.si/varnost\\_in\\_elektromagnetika/storitve/oznaka\\_ce/index.html](http://www.siq.si/varnost_in_elektromagnetika/storitve/oznaka_ce/index.html) [20.4.2011].
- [24] Tadej Bajd. *Robotika*, Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2006.
- [25] *The Laboratory of Robotics: History* [svetovni splet]. Robotics Lab. Dostopno na WWW: <http://robotics.megagiant.com/history.html> [22.2.2011]
- [26] *Wikipwdia: Standardisation* [svetovni splet]. Wikipedia. Dostopno na WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Standardization> [8.1.2011].
- [27] Y. Nof Shim. *Handbool of Industial Robotics*, New York: J. Wiley & Sons, 1999.

## 13 PRILOGE

### 13.1 ISO 10218-1:2008 preverjanje varnostnih meril in oblikovnih zahtev

Robot mora biti oblikovan v skladu z zahtevami standarda ISO 12100-1 za določene nevarnosti. Bistvene nevarnosti, kot so na primer ostri robovi, niso zajete v tem dokumentu.

Robot in robotski sistem mora biti oblikovan in izdelan tako, da je usklajen z naslednjimi zahtevami, ki so zapisane v spodnji Tabela 13.1.

Zahteve je mogoče izpolniti z metodami preverjanja in potrjevanja, ki so:

- A. Vizualni vidiki;
- B. Praktični testi;
- C. Meritve;
- D. Opazovanje med operacijo;
- E. Pregled tokovnih diagramov.

**Tabela 13.1: Preverjanje in potrjevanje varnostnih zahtev**

Ocena	Predmet	Zahteva	Opomba	Referenčna klavzula v ISO 10218-1	Metoda
<input checked="" type="checkbox"/>	Pogonski deli	Izpostavljenost nevarnostim, ki jih povzročajo pogonski deli, preprečimo z fiksnimi ali pomičnimi varovali.  Pomična varovala morajo delovati usklajeno z nevarnimi gibi tako, da preprečijo nevarnost preden jo dosežemo.	Varnostno delovanje takšnega sistema je opisano v 5.4.	5.2.1	A, B, C
<input checked="" type="checkbox"/>	Izguba ali sprememba energije	Izguba ali variacije v energiji ne smejo privedi do nevarnosti.  Ponoven dotok energije ne sme pognati gibanja.  Končni efektorji morajo biti zasnovani tako, da izguba ne povzroči nevarne situacije. Če to ni doseženo, potem je potrebno uvesti druge metode varovanja.  Menjava orodja mora potekati tako, da deluje izpust orodja samo v	Glej IEC 60204-1 zahteve za električno dobavo.	5.2.2	B, E

		določeni lokaciji in ne povzroča nevarnosti.			
<input checked="" type="checkbox"/>	Okvara komponent	Komponente robota morajo biti oblikovane, izdelane in zavarovane tako, da se nevarnosti zaradi izgube energije zmanjšajo.		5.2.3	A, B, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Izvor energije	Zagotovljena morajo biti sredstva s katerimi izoliramo kakšen koli izvor energije, ki oskrbuje robota in sredstva, s katerimi prekinemo, oziroma zavarujemo izvor z ne energijskim prostorom.		5.2.4	A, B, C, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Shranjena energija	Zagotovljena morajo biti sredstva za nadzorovan izpust nevarne shranjene energije.	Potrebne so označbe za prepoznavo shranjene energije.	5.2.5	B, D, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Elektromagnetna kompatibilnost (EMC)	Oblika in izvedba robota mora biti v skladu z IEC 61000, da preprečimo nevarnosti elektromagnetnih motenj (EMI), motenj radijskih frekvenc (RFI) in elektrostatičnih sproščanj (ESD).	Glej IEC 61000-6-2 in IEC 61000-6-4.	5.2.6	A, B, C, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Električna oprema	Električna oprema robota mora biti v skladu z IEC 60204-1.		5.2.7	A, B, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Zaščita pred nenamerno operacijo	Vklopne naprave morajo biti izdelane oziroma locirane tako, da preprečijo zagon nenamerne operacije.	Push-button na primerni lokaciji.	5.3.2	A, B
<input checked="" type="checkbox"/>	Prikaz statusa	Prikazan mora biti status delovanja.	Napajanje, napaka, avtomatska operacija – signali.	5.3.3	A, B, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Označevanje	Vklopne kontrole morajo biti jasno označene za prepoznavo njihovih funkcij.		5.3.4	A
<input checked="" type="checkbox"/>	Enojna točka kontrole	Kontrolni sistem robota mora biti zasnovan tako, da kadar robot opravlja določeno operacijo pod lokalno kontrolo, ni mogoče njegovega gibanja opravljati z drugo kontrolo.		5.3.5	B, D, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Zahteve učinkovitosti delovanja	Ko je zahtevan varnostni kontrolni sistem, morajo biti njegovi deli oblikovani, tako da: <ul style="list-style-type: none"> <li>- določena napaka ne privede do izgube varnostne funkcije;</li> <li>- kadarkoli se da, je napaka odrita pred naslednjo zahtevo v varnostni funkciji;</li> <li>- ko se pojavi napaka, se varnostna funkcija še naprej izvaja, dokler ni napaka popravljena;</li> <li>- so vse predvidene napake zaznane.</li> </ul>	Ta zahteva spada pod kategorijo 3, kot je opisano v ISO 13849-1:1999.	5.4.2	B, D, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Ustavitvene funkcije robotskega sistema	Vsak robot mora imeti varnostno stop funkcijo in neodvisno izklop v sili funkcijo.	Primerjava izklopa v sili in varnostnega stop-a je opisana v Tabela 7.1.	5.5.1	A, E, F
		Te funkcije morajo imeti dostop do zunanjih varnostnih naprav.		5.5.1	A, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Funkcija ustavitve v sili	Vsaka kontrolna postaja, ki je sposobna sprožiti gibanje robotskega sistema in druge nevarne situacije, mora imeti ročno funkcijo za sprožitev izklopa v sili.	Izbira kategorije 0 ali 1 za stop funkcijo se določi z oceno tveganja.	5.5.2	A, B, D, E



		Funkcija zaustavitve v sili mora ustrezati vsaj zahtevam zapisanimi v klavzuli 5.4 in IEC 60204-1:2005, 9.2.5.4.2.	Razen, če ocena tveganja ne zahteva, da so ustrezne druge zahteve.	5.5.2	A, B, D, E
☑	Varnostni stop	Mora imeti eno ali več varnostnih stopov.	Izbira kategorije 0 ali 1 za stop funkcijo se določi z oceno tveganja.	5.5.3	B, D, E
		Stop vezje mora nadzorovati nevarnosti in z odvzemanjem energije ustaviti gibanje robota, ki lahko povzroči nevarnost.	Ta stop je lahko izveden ročno ali z kontrolno logiko.	5.5.3	B, D, E
		Zahteve morajo ustrezati 5.4.		5.5.3	B, D, E
☑	Nadzor zmanjšane hitrosti	V tem načinu hitrost končnega efektorja in izbrane TCP ne sme biti večja kot 250 mm/s. Omogočeno mora biti izbiranje hitrosti nižjih od 250 mm/s.	Mora biti zasnovana tako, da določena napaka ne preseže zmanjšanih hitrostnih omejitev.	5,6	B, C
☑	Načini delovanja – izbira	Načini delovanja morajo biti izbrani tako, da omogočijo samo izbran način. - Nedvoumno navede izbran operacijski način; - Same po sebi ne sprožijo gibanja robota ali drugih nevarnosti.	Če so dodatni izhodi uporabljeni za varnostne namene, morajo ustrezati zahtevam 5.4 (glej Aneks D).  Metode za označevanje izbire so navedene v Aneksu E.	5.7.1	B, D, E
☑	Načini delovanja – avtomatsko	V tem načinu robot izvrši pravilni program. Robotski krmilnik ne sme biti v ročnem načinu, mora pa biti v načinu varovanja.	Če je zaznan stop pogoj, se ne izvrši.  Preklop iz tega načina sproži stop.	5.7.2	A, D, E
☑	Načini delovanja – ročno zmanjša hitrost	Mora ustrezati 5.3.4 in 5.6 in mora dovoliti, da lahko človek upravlja z robotom v primeru intervencije  Avtomatski način tukaj ni mogoč.	Uporablja se za učenje, programiranje preverjanje programa itd.  Navodila za uporabo morajo vsebovati opozorila in navodila, da se ta način uporablja kar se da pogosto izven varovanega prostora.	5.7.3	B, C, D, E
☑	Načini delovanja – ročna visoka hitrost	V tem načinu so hitrosti višje od 250 mm/s.  Posebni elementi za vklop.  Konzola mora biti v skladu z 5.8.		5.7.4	B, C, D, E
☑	Kontrole konzole – splošno	Ko lahko s konzolo ali s kakšno drugo napravo upravljamo robota v varovanem prostoru, moramo upoštevati zahteve v 5.8.2 do 5.8.7.		5.8.1	
☑	Kontrole konzole – kontrola gibanja	Gibanje pod upravljanjem s konzolo mora biti pod zmanjšano hitrostjo, kot je opisano v 5.6, če konzola lahko uporablja višje hitrosti upoštevamo 5.7.4.		5.8.2	B, D, E
☑	Kontrole konzole – naprave za aktiviranje	Konzola ali naprava za učenje mora imeti tri pozicijsko stikalo po zahtevah IEC 60204-1:2005, 10.9.	Vklopno stikalo mora delovati po karakteristikah zapisanih v 5.8.3.	5.8.3	B, D, E

			Ppri vgradnji se mora upoštevati ergonomija..  Dodatne informacije se lahko poiščejo v Aneksu C		
<input checked="" type="checkbox"/>	Kontrole konzole – izklop v sili	Mora imeti stop funkcijo v skladu z 5.5.2. za uporabo te funkcije uporabimo stikalo za izklop v sili, kot je zapisano v ISO 13850		5.8.4	A, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Kontrole konzole – zagon avtomatske operacije	Zagon avtomatske operacije mora biti onemogočen med uporabo konzole. Ločena potrditev avtomatske operacije mora potekati zunaj varovanega prostora.		5.8.5	B, D, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Zaščit pred singularnostjo	Ko smo v načinu ročno zmanjšane hitrosti, mora kontrolni sistem: - Ustaviti gibanje robota in opozoriti operaterja pred singularnostjo robota, med koordiniranim gibanjem; - Sprožiti avdio ali video opozorilni signal in nadaljevati skozi singularnost z hitrostjo omejeno na maksimalno 250mm/s, z vsako osjo.		5.11	B, D, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Omejitev osi – splošno	Zagotoviti je treba sredstva, s katerimi vzpostavimo omejen prostor okoli robota. Uporabimo naprave za omejevanje. S prilagodljivimi mehničnimi stopi določimo omejitve primarne osi robota.	Proizvajalec uskladi z 5.12.2 ali 5.12.3, lahko pa tudi z obema hkrati.	5.12.1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Omejitev osi – mehanske in elektromehanske naprave za omejevanje	Določiti je treba mehanske ali ne mehanske naprave za omejitve druge in tretje osi.  Mehanski stop mora ustaviti robota pri nazivni obremenitvi in pri maksimalnih hitrostnih pogojih v minimalnem in maksimalnem iztegu.  Alternativne metode omejevanja so lahko uporabljene samo, če oblikovne in vgrajene tako, da dosegajo enako mero varnosti kot mehanski stop.	Primerne ne mehanske naprave za omejevanje vsebujejo naprave, ki so pozicionirane pnevmatsko, električno ali hidravlično.  Prilagodljive naprave omogočajo uporabniku, da zmanjša omejen prostor. Stopnja prilagoditve mora biti vpisana v navodila za uporabo (6.2).	5.12.2	B, C, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Omejitev osi – varnostno mehko omejevanje osi in prostora	Mehke meje so programsko določene meje za samodejen način delovanja, oziroma za vsak način delovanja nad zmanjšanimi hitrostmi. Omejitev osi definira omejen prostor robota, omejitev prostora pa določi izključujoče območje.  Mehke omejitve lahko definirajo in zmanjšajo omejen prostor in lahko ustavijo robota pri polni hitrosti in obremenitvi.  Kontrolni sistemi, ki uporabljajo	Dodatne informacije so v Aneksu B.	5.12.3	B, C, D, E

		<p>mehke omejitve, morajo upoštevati 5.4., če se prekrši mehka omejitev se izvrši varnostni stop.</p> <p>Spreminjanje mehkih omejitev mora biti pod varnostnim geslom in zavarovano.</p>			
<input checked="" type="checkbox"/>	Gibanje brez pogonske moči	<p>Robot mora biti izdelan tako, da je gibanje njegovih osi možno tudi brez pogonske moči v nujnih in izrednih primerih. Kadar je gibanje osi mogoče, lahko to upravlja en sam človek.</p> <p>Kontrole so lahko dostopne, vendar zaščitene pred nenamerno operacijo.</p> <p>Navodila za takšno gibanje osi morajo biti v navodilih za uporabo, skupaj s priporočili za učenje osebja na odzivanje v izrednih in nujnih primerih.</p>	V navodilih naj bodo opozorila, da gravitacija in odpoved zavornih naprav lahko povzročata dodatno nevarnost.	5.13	B, D, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Določbe za dvigovanje	Določene morajo biti določbe za dvigovanje robota in njegove opreme in morajo biti ustrezne za določen tovor.	Na primer dvižne kljuke, vijaki in navojne izvrtine.	5.14	A, B, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Električni priključki	Električni priključki, ki lahko povzročijo nevarnost, kadar niso staknjeni skupaj, morajo biti oblikovani tako, da se ne ločijo nepričakovano.	Priključki morajo biti v takšni obliki, da ni možna križna povezava.	5.15	A, B

## 13.2 ISO 10218-2 preverjanje varnostnih meril in oblikovnih zahtev

Robotski sistem mora biti dizajniran na podlagi predpisanih principov. Varnostni elementi morajo biti vgrajeni po navodilih proizvajalca in morajo biti vpeljani v robotski sistem tako, da zmanjšajo tveganje poznanih nevarnosti.

Preverjanje in potrjevanje poteka po naslednjih metodah:

- F. Vizualni vidiki;
- G. Praktični testi;
- H. Meritve;
- I. Opazovanje med operacijo;
- J. Pregled tokovnih diagramov;
- K. Pregled funkcijskih blokov v programski opremi in/ali njene dokumentacije;
- L. Pregled opravil na podlagi ocene tveganja;
- M. Pregled risb postavitve in ustreznih dokumentov.

V spodnji Tabela 13.2, so zapisane varnostne zahteve, ki omogočajo varnost robotskega sistema in po katerih se preverja robotski sistem. Z ustrezno uporabo zgoraj opisanih metod lahko ocenimo ali so varnostne zahteve ustrezno dosežene.

**Tabela 13.2: Preverjanje in potrjevanje varnostnih zahtev**

Ocena	Predmet	Zahteva	Opomba	Klavzula v ISO 10218-2	Metoda
<input checked="" type="checkbox"/>	Učinkovitost delovanja varnostnega sistema	Ustrezno delovanje opreme mora biti opisano v navodilih za uporabo.		5.2.1	F
<input checked="" type="checkbox"/>	Druge zahteve delovanja kontrolnega sistema	Izbira drugih zahtev mora biti definirana v navodilih za uporabo		5.2.3	F
<input checked="" type="checkbox"/>	Okoljski pogoji	Robot mora prenesti pričakovane operacijske in okoljske pogoje.		5.3.1	A, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Lokacija kontrol	Operacijske kontrole in oprema mora biti locirana zunaj varovanega prostora.		5.3.3	A, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Aktivacijske kontrole	Robot se ne sme odzvati nikakršnim zunanjim ukazom, ki bi lahko povzročili nevarno situacijo.		5.3.3	B, D, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Energijske zahteve	Robotski sistem naj bi imel enotno napravo za izključitev.	Za vsako vrsto energijskega vira.	5.3.4	A, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>		Razločno mora biti označena vsaka naprava.	Označbe naj bodo na ročajih izključitvene naprave.	5.3.4	A

<input checked="" type="checkbox"/>	Ozemljitvene zahteve	Varnostno vezje mora ustrezati zahtevam IEC 60204-1:2005 Klavzule 8.1 – 8.2.		5.3.5	A, C
<input checked="" type="checkbox"/>	Izoliranje virov energije	Potrebna so sredstva za izoliranje nevarnih virov energije.		5.3.6	A, B
		Izolacijska sredstva se lahko blokirajo oziroma zavarujejo v ne-energijsko pozicijo.		5.3.6	A, B
<input checked="" type="checkbox"/>	Kontrola shranjene energije	Potrebna so sredstva za kontrolo in/ali kontroliran izpust shranjene nevarne energije.		5.3.7	A, B
<input checked="" type="checkbox"/>		Oznaka mora biti pritrjena za prepoznavo nevarnosti shranjene energije.		5.3.7	A, B
<input checked="" type="checkbox"/>	Ustavitvene funkcije robotskega sistema	Vsak robot mora imeti varnostno stop funkcijo in neodvisno izklop v sili funkcijo.		5.3.8	A, E, F
		Te funkcije morajo imeti dostop do zunanjih varnostnih naprav.		5.3.8	A, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Funkcija ustavitve v sili	Vsaka kontrolna postaja, ki je sposobna sprožiti gibanje robotskega sistema in druge nevarne situacije, mora imeti ročno funkcijo za sprožitev izklopa v sili.	Izbira kategorije 0 ali 1 za stop funkcijo se določi z oceno tveganja.	5.3.8.2	A, B, D, E, F, G
		Funkcija zaustavitve v sili mora ustrezati vsaj zahtevam zapisanimi v klavzuli 5.2.2.	Razen, če ocena tveganja ne zahteva, da so ustrezne druge zahteve.	5.3.8.2	E, F, G
		Izklop v sili ne sme biti povezan z drugo stop funkcijo, ki se jo da obiti.		5.3.8.2	B, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Varnostni stop	Robot mora imeti eno ali več varnostnih stopov.	Izbira kategorije 0 ali 1 za stop funkcijo se določi z oceno tveganja.	5.3.8.3	B, D, E, F, G
		Funkcija varnostne zaustavitve mora ustrezati vsaj zahtevam zapisanimi v klavzuli 5.2.2 oziroma 5.2.3.	Razen, če ocena tveganja ne zahteva, da so ustrezne druge zahteve.	5.3.8.3	B, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Izklop povezane opreme	Izklop povezane opreme ne sme povzročiti nevarnosti ali nevarne situacije.		5.3.9	B, D, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Zahteve končnih efektorjev	Morajo biti izdelati tako, da izguba energije ne povzroči izpust bremena in ne povzroči nevarnih pogojev.		5.3.10	A, B, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Obnovitvena procedura	Navodila za uporabo morajo vsebovati podrobna navodila za ponovno vzpostavitev robotskega sistema po napaki.	Če so potrebni znaki in označbe, morajo biti ti pritrjeni, oziroma morajo biti priložena navodila za pritrnitev.	5.3.11	A, B, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Opozorilni znaki	Če so znaki zakriti, morajo biti zagotovljena ostala enakovredna opozorilna sredstva.		5.3.12	A
<input checked="" type="checkbox"/>	Osvetljenost	Stopnja potrebne osvetljenosti za določeno nalogo mora biti opisana v navodilih za uporabo.	Načrtovanje stroja tako, da omogočimo primerno osvetlitev (brez senc, moteče svetlobe in stroboskopskih učinkov).	5.3.13	F
<input checked="" type="checkbox"/>	Aplikacijske nevarnosti	Integracija robotskega sistema mora vzeti v obzir tudi aplikacijske nevarnosti.	(hlapi, plini, kemikalije, vroč material)	5.3.14	A, D, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>		Zahteve vmesnika z drugimi napravami morajo slediti navodilom		5.3.14	A, D, F, G

		proizvajalca kot je navedeno v navodilih za uporabo.			
<input checked="" type="checkbox"/>	Naprave za aktiviranje	Dodatne naprave za aktiviranje in njihova integracija mora ustrezati ISO 10218-1 klavzula 5.8.3.		5.5.15	A, B, D, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Prostost robotskega sistema	Z oceno tveganja določimo mogoča ujetja in točke stisnjenja v omejenem območju robota.		5.3.16	G
<input checked="" type="checkbox"/>		Minimalna razdalja 0.5 m mora biti vzdrževana v tistem področju, kjer se naloge opravljajo z visokimi hitrostmi.		5.3.16	C, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Omejen prostor	Omejen prostor mora biti postavljen s sredstvi, ki omejuje ves prostor robota, končnih efektorjev in lahko zajame tudi obdelovanca.	Postavitev mora zmanjšati razliko med operativnim prostorom in omejenim.	5.4.2	A, B, C, D, E, F
		Omejen prostor mora biti manjši od maksimalnega.		5.4.2	A, B, C, D, E, F
		Ustavitvene razdalje, ki so povezane z omejevanjem, morajo biti vključene v preračun omejenega prostora.		5.4.3	A, B, C, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Območje varovanja	Območje varovanja ne sme biti postavljeno bližje nevarnosti, kot je omejen prostor.	Izjeme so, ko ocena tveganja določi, da je drugo varovanje bolj primerno oziroma, da je območje varovanja določeno kot omejitev.  (uporaba ograje ni najbolj primerna kot omejitev)	5.4.2	A, B, C, D, E, F, G
		Območje varovanja mora biti postavljeno na primerno lokacijo z obzirom na nevarnosti robotskega sistema in postavitve pripadajočih strojev.	Operater ne sme priti v stik z nevarnostmi oziroma morajo biti le te prenese v varno stanje preden jih lahko doseže.	5.4.2	A, B, C, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Varovanje kontrolnih postaj	Operacijske delovne postaje so ustrezno varovane.	Operacijske delovne postaje lahko zahtevajo dodatna varovala.	5.4.2	A, B, C, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Sredstva za omejitev gibanja robota	Ta sredstva morajo biti sposobna ustavitve gibanja robota pod dejanskim bremenom in programirano hitrostjo.		5.4.3	B, C, E, F
		Naprave vgrajene s tem namenom, morajo biti sposobne ustavitve gibanja robota pod dejanskim bremenom in programirano hitrostjo.	Naprave morajo biti oblikovane tako, da ustavijo robota pri slučajnem trku.	5.4.3	A, B, C, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Naprave za omejitev	Naprave za omejitev so pravilno nastavljene in zavarovane.		5.4.3	A, B, D, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Naprave za omejitev – mehanski stop	Mehanski stop je prilagodljiv in je sposoben ustavitve robota v vsakem prilagodljivem položaju.		5.4.3	A, B, C
<input checked="" type="checkbox"/>	Naprave za omejitev – kontrolni sistemi	Kontrolni sistemi morajo doseči ISO 13849-1:2006 stopnjo delovanja kategorije 3 ali IEC 62061:2005 SIL 2, toleranca napake = 1.		5.4.3	A, B, C, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Varnostne kontrole	Povezane varnostne kontrole morajo ustrezati ISO 10218:2006 klavzula 5.12.		5.4.3	A, B, C, E, F

<input checked="" type="checkbox"/>	Nem omejen prostor	Ko je hitrost zmanjšana, zaradi nemega omejenega prostora, morajo zahteve ustrezati klavzuli 5.12 in 5.6.4.		5.4.3	A, B, C, D, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Navodila za uporabo	V navodilih za uporabo mora biti navedeno, katere naprave niso sposobne ustavitve robota pod dejanskim bremenom in programirano hitrostjo.		5.4.3	A
		Če so uporabljene varnostne mehke omejitve, morajo biti v navodilih za uporabo navedene programirane meje.		5.4.3	A
<input checked="" type="checkbox"/>	Območje varovanja	Meritve se lahko izvajajo z varovali oziroma z varnostnimi napravami za zaznavanje prisotnosti.	Varnostne naprave morajo upoštevati: - Pričakovane delovne obremenitve, - Vpliv procesnega materiala, - Druge pomembne zunanje vplive.	5.5.1	A, B, C, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Pozicija varoval in varnostnih naprav	Varnostne razdalje morajo biti v skladu z ISO 13853, ISO 13853 in ISO 13855.		5.5.1	A, B, C, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Dostop za intervencije	Naloge se izvajajo izven varovanega območja.		5.5.2	A, D, G
<input checked="" type="checkbox"/>		Dostopne poti ne smejo postaviti operaterja v nevarnost .	Analiza nevarnosti mora upoštevati tudi nevarnost zdrsa, spotika in padca.	5.5.2	A, C, D, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Varen dostop	Potrebno je zagotoviti dovolj prostora med omejenim prostorom in ovirami.	Kjer ni mogoče zagotoviti dovolj prostora, je potrebno izvesti oceno tveganja da se določijo dodatna potrebna varnostna sredstva.	5.5.2	A, B, C, G
		Nalaganje in razlaganje delov moramo upoštevati pri ureditvi sistema.	Bodisi z: - Zagotovitvijo naprav za natovarjanje, - Zagotovitvijo primernih varoval za ročno dejanje.	5.5.2	A, B, C, G
		Dostopa med celicama v različnih delovanjih se moramo izogibati.		5.5.2	A, B, C, D, H
		Dostop do sredstev mora biti v bližini stikal in kontrol.		5.5.2	A, B, C, H
<input checked="" type="checkbox"/>	Opazovanje procesa	Ko je to lahko izvedeno samo znotraj varovanega prostora, je potrebo zagotoviti dodaten način delovanja.	Ta način mora zagotoviti varovanje tako, da oseba, ki izvaja proces opazovanja, ni izpostavljena nevarnostim.	5.5.4	A, B, G
		Proces opazovanja naj bo izveden izven varovanega prostora.	Sredstva, s katerimi lahko to zagotovimo, lahko vključujejo kamere, piste, platforme...	5.5.4	A, B, G
		Ko je potrebno nalogo opraviti v celici, je potreben varen dostop in lokacija.		5.5.4	A, B, C, D, G

<input checked="" type="checkbox"/>	Specifične procesne nevarnosti	Integracija mora zajemati tudi nevarnosti specifičnih procesov in orodij.	Povezave z drugimi napravami morajo upoštevati navodila proizvajalca.	5.5.8	A, B, C, D, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Tveganje druge opreme robotskega sistema	Ocena tveganja se izvede, da se določijo ukrepi, ki so potrebni zaradi tveganja ostale opreme.	Ostala oprema v varovanem prostoru ali tok materiala v varovanem prostoru lahko predstavlja nevarnost. Zato so potrebni dodatni ukrepi za zmanjšanje tveganja.	5.6.1	A, B, C, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Ročni način in ostala oprema	Priporočeno je, da v ročnem načinu ni nevarnosti, ki bi jo povzročala ostala oprema .	To je močno priporočeno.	5.6.1	A, B, C, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Izbira načina	Izbira načina se lahko prepreči z primernimi sredstvi.	Nepooblaščen ali nenamerna izbira načina se lahko prepreči na primer z dostopno kodo ali z na ključ delujočim stikalom.	5.6.2	A, B, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Funkcionalnost načina izbire sredstev	Sredstva naj omogočijo samo izbran način in naj ne povzročijo nevarnih situacij. Zamenjava izbire operacije ne sme povzročiti nevarne situacije.		5.6.2	A, B, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Indikacija izbranega načina	Nedvoumna indikacija izbranega načina mora biti zagotovljena.	Indikacija lahko vsebuje, na primer pozicija kontrol, indikacijska lučka.	5.6.2	A, B, C
<input checked="" type="checkbox"/>	Sprožitev samodejnega načina	Samodejni način je lahko ročno sprožen izven varovanega prostora.		5.6.3.1	A, B, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Izbira samodejne operacije	Če se lahko izbira samodejne operacije izvede preko krmilnika, mora ločena operacija zunaj omejenega prostora omogočiti izbiro.		5.6.3.1	A, B, E, F
		Izbira samodejne operacije ne sme povzročiti ali resetirati pogoja varnostnega stopa ali izklopa v sili.		5.6.3.1	B, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Odstranitev samodejne operacije	Odstranitev mora povzročiti varnostno ustavitev.		5.6.3.1	B, D, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Varovanje med samodejnim načinom	Vstop v varovan prostor med samodejnim načinom mora povzročiti varnostno ustavitev vse opreme, ki bi lahko predstavljala nevarnost.		5.6.3.1	A, B, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Nepričakovan zagon	Osebe mora biti zavarovano pred nepričakovanim zagonom, medtem ko so v varovanem prostoru.	Glej ISO 14118. Varnostne funkcije morajo ustrezati zahtevam v 5.5.2 razen, če je z oceno tveganja določeno drugače.	5.6.3.2	B, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Start in restart zapore	Te zapore morajo biti zagotovljene.		5.6.3.2	A, B, E, F
		Start in restart mora zahtevati, da so pomembne funkcije in varnostna merila funkcionalna.		5.6.3.2	A, B, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Start in restart kontrole	Ročne kontrole za aktiviranje starta in restarta se morajo nahajati zunaj		5.6.3.2	A, B, C, D



		varovanega prostora.			
<input checked="" type="checkbox"/>	Lokacija start in restart kontrol	Te kontrole morajo biti nameščene tako, da ne ovirajo pogleda na varovan prostor. Če ni mogoče, da bi omogočili neoviran pogled v varovano območje, oblikujemo kontrolni sistem tako, da nam zagon omogoča sistem za samodejno prepoznavanje osebja. Če nič zgornjega ni mogoče, potem vstavimo start in restart zakasnitev, da se lahko osebje varno odmakne pred zagonom, in dodatne stop naprave v varovanem območju, ki povozijo start in restart komande.	Z vsake pozicije, kjer se kontrola nahaja, lahko zagotovimo, da ni nikogar v varovanem prostoru.	5.6.3.2	A, B, C, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Izvedba ročnega upravljanja	Mora biti izvedena v skladu z ISO 10218-1:2006, 5.8.	To vključuje vse naprave, s katerimi nadziramo robota v varovanem prostoru med delovanjem njegovih osi oziroma končnih efektorjev.	5.6.4.1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Lokacija naprav za ročno upravljanje	Kadar je to mogoče, morajo biti kontrolne naprave in pozicije locirane tako, da lahko operater opazuje delovno območje in območje nevarnosti.		5.6.4.1	A, B, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Lokacija stop kontrol	Naprava za nadzor stopa mora biti locirana poleg naprave za nadzor starta		5.6.4.1	A
<input checked="" type="checkbox"/>	Ena točka kontrole	Sistem mora biti konstruiran in oblikovan tako, da kadar je pod lokalno kontrolo, ga ne moremo pognati ali spremeniti lokalne kontrole iz katerega koli vira.		5.6.4.1	A, B, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Prilagoditev središčne točke orodja (TCP) v ročno zmanjšani hitrosti	Pred zagonom operacije robotskega sistema mora biti robotova TCP nastavljena na določen odmik, ki ga poda proizvajalec.		5.6.4.2	A, B, C
<input checked="" type="checkbox"/>	Hitrost središčne točke orodja (TCP) v ročno zmanjšani hitrosti	V tem načinu hitrost izbrane TCP ne sme biti večja kot 250 mm/s. Omogočeno mora biti izbiranje hitrosti nižjih od 250 mm/s.	Ocena tveganja določi, če morajo biti maksimalne zmanjšane hitrosti manj kot 250 mm/s in ali mora ostala oprema v robotskem sistemu delovati pod zmanjšano hitrostjo.	5.6.4.2	A, B, C, D, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Omogočanje gibanja v ročnem zmanjšanju hitrosti	Gibanje robota ali katerega koli dela robotskega sistema je lahko mogoče samo v povezavi z vklopno napravo po ISO 10218-1, 5.8.3. Če določba po zmanjšani hitrosti sovпада z 5.2 glede na nevarnost gnane opreme, je lahko zmanjšana hitrost gibanja omogočena brez vklopne naprave.	Funkcionalnost vklopne naprave mora biti v skladu z 5.2.	5.6.4.2	A, B, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Ročna visoka hitrost	To mora biti prepovedano z programsko opremo in je lahko omogočena samo v posebnih primerih, kjer jo aplikacija	Vso ročno gibanje naj bo pri zmanjšani hitrosti.	5.6.4.3	A, B, E, F

		potrebuje.	Hitrost izbrane središčne točke orodja (TCP) je lahko več kot 250 mm/s.		
<input checked="" type="checkbox"/>	Integriteta ročne visoke hitrosti	Robotski sistem mora biti potrjen z ISO 10218-1:2006, 5.7.4 in mora biti oskrbljen z konzolo po ISO 10218-1:2006, 5.8.		5.6.4.3	A, B, E, F, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Navodila za uporabo	Navodila za uporabo naj svetujejo, da se vklopna na konzoli funkcijsko testira preden se požene gibanje.		5.6.4.3	A
<input checked="" type="checkbox"/>	Funkcije konzole	Funkcija konzole test vklopa.	Izberi učenje in izpusti vklopno stikalo. Oprema se mora ustaviti.	5.7.1 5.7.2	A, B, D
			Poizkusi pognati gibanje, ko stikalo vklopa ni ponovno pritisnjeno.	5.7.1 5.7.2	A, B, D
			Izberi učenje in izpusti vklopno stikalo. Oprema se mora ustaviti.	5.7.1 5.7.2	A, B, D
			Ponovno pritisni izklop v sili in se prepričaj, da na prikazovalniku kaže napako izklopa v sili.	5.7.1 5.7.2	A, B, D
			Ponovno pritisni izklop v sili in se prepričaj, da se vso nevarno gibanje ustavi.	5.7.1 5.7.2	A, B, D
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Vzdrževanje in popravila	Sistem mora biti oblikovan tako, da vsebuje procedure za pregled in popravila.	Program za vzdrževanje in pregled mora vzeti v obzir proizvajalčeva priporočila.	5.8.1	A, C
		Navodila za uporabo naj vsebujejo zahteve za periodično testiranje varnostno povezanih delov za primerno operacijo.	Na primer izklop v sili in stikala za omogočanje.	5.8.1	
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Vzdrževanje varnosti v varovanem prostoru	Lokalna sredstva za kontrolo in izoliranje nevarnih energij morajo biti zagotovljena.	Na primer, glavni izklop energijsko izoliran sistem.	5.8.2	A, B
		Navodila za uporabo morajo imeti detajlno opisane vzdrževalne naloge.	Naloge kontrole energije in izolacije. Naloge, predvidene za opravljanje brez energijske izolacije.	5.8.2	
		Efektivni alternativni varovalni ukrepi za intervencije v varovanem prostoru, ko je vklop omogočen.	Z pozicioniranjem robotske roke v vnaprej določeno varno pozicijo. Zagotavljanje posebne kontrole. Zagotavljanje posebnega operativnega načina.	5.8.2	A, B, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Splošno	Oblikovanje robotskega sistema mora prepovedati vsakršno daljinsko vodeno operacijo, ki bi		5.9.1	B, E, F, G

		povzročila nevarno situacijo.			
<input checked="" type="checkbox"/>	Upravljanje izklopa v sili	Mora imeti eno stop vezje oziroma medsebojno povezano stop funkcijo.	Kontrole morajo biti v skladu z ISO 11161.	5.9.2	B, E, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Varnostni izhod	Mora ustrezati 5.2.2, razen če ocena tveganje ne določi drugačne kriterije delovanja.	Ko je uporabljen kot varnostna funkcija.	5.9.3	B, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Naprave za omogočanje	Aktivacija ne sme povzročiti dodatnih nevarnosti ali nepričakovanega starta.	Za robota , robotski sistem in opremo povezano med seboj.	5.9.4	B, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Izbira načina	Operacijski način ne sme biti spremenjen z enim samim vhodnim signalom.	Za robota glej ISO 10218-1:2006, 5.7.	5.9.5	B, E
<input checked="" type="checkbox"/>	Dodatna kontrolna oprema	V ročnem robotskem načinu dodatna povezana oprema ne sme ustvariti nepričakovanih nevarnosti.	Potrebno je izvesti oceno tveganja.  Vsi varnostni izhodi morajo biti vsaj v skladu z 5.2.2, razen če z oceno tveganja ne določimo drugačnih potrebnih kriterijev.	5.9.6	B, E, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Odmiki v robotskem sistemu	Minimalna razdalja mora biti 0,5 m med operativnim prostorom robota in opremo v robotske sistemu, razen če ocena tveganja ne določi drugačnih razdalj.  Če ta minimalna razdalja ni zagotovljena mora biti dodana ena ali več dodatnih varnostnih kontrol.	Za vse dele robotskega sistema še posebej za tiste, ki se uporabljajo v ročnem načinu.  Za učenje in testiranje nalog v podobnih načinih.  Periodično preverjanje je potrebno izvajati za potrditev ustavitvenih parametrov.	5.9.8	A, B, C, D, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Start in restart	Start in restart morata zahtevati namerno dejanje.  Osebe mora biti zavarovano pred nenamernim start/restart – om.	Za robota in robotski sistem, ko je osebe v varovanem prostoru.  Ko avtomatska detekcija ni zagotovljena, morajo biti uporabljene alternativne metode.	5.9.9	B, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Splošno	Ocena tveganja določi pravilne varovalne naprave.	Ocena tveganja lahko pomaga določiti katere varnostne elemente uporabiti med procesom delovanja med interakcijo različnih naprav.  To je lahko storjeno z načrtnimi risbami, diagrami in izvedenimi meritvami.	5.10.1	A, C, E, G
<input checked="" type="checkbox"/>	Območje varovanja	Uporabimo območje varovanja oziroma naprave za zaznavanje prisotnosti  Robotski sistem mora imeti vgrajeno območje varovanja.	Onesnaženje z izvrženimi deli, nevarni materiali med nalaganjem in razlaganjem delov je potrebno določiti z	5.10.2	A, B, C, D

			<p>praktičnimi testi in razdaljami.</p> <p>Hrup in sevanje materiala je potrebno potrditi z meritvami.</p> <p>Mogoče bo potrebno spremeniti postavitev.</p>		
<input checked="" type="checkbox"/>	Varnostne razdalje	Vsi varnostni elementi morajo biti varno vgrajeni in locirani na razdaljah, s katerih ni mogoče dostopati do nevarnosti.	<p>Sledi zahtevam za minimalne distance med nevarnostjo in varovanjem.</p> <p>Sledi zahtevam za minimalne distance med nevarnostjo in varnostnimi elementi.</p> <p>Mogoče bo potrebno spremeniti postavitev.</p>	5.10.3	A, C, D
<input checked="" type="checkbox"/>	Splošne zahteve za varovala	Varovala in njihovi pozicijski elementi morajo ustrezati ISO 12100-2, ISO14120 in ISO 14119	<p>Preveri zahteve za fiksna varovala, pomična, pomična in mehansko pritrjena.</p> <p>Mogoče bo potrebno spremeniti postavitev.</p>	5.10.4 5.10.4.1 – 4	A, B, C
<input checked="" type="checkbox"/>	Varovanje dostopnih poti za vzdrževanje	Kjer je dostop do varovanega območja omogočen zaradi vzdrževanja in popravil, je potrebno ta del dodatno varovati.	Postavitev mora ustrezati ISO 13853.	5.10.9	A, C, D, E, F
<input checked="" type="checkbox"/>	Varovanje orodja	Končni efektorji morajo biti oblikovani tako, da izguba energije, ki jo uporabljajo ne pripelje do nevarnosti.	<p>Izogibati se prostora, ki je namenjen operaterju.</p> <p>Priporočljiva je ergonomska pozicija za zamenjavo orodja.</p> <p>Mogoče bo potrebna drugačna postavitev.</p>	5.10.11	A, C

