



ICES  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija  
Program: Elektroenergetika  
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne  
inštalacije

## **VARNO DELOVANJE ROBOTOV V INDUSTRIJI**

Mentor: Milan Kotnik, univ. dipl. inž. el.  
Lektorica: Lucija Hrženjak, prof. slov. in biol.

Kandidat: Rok Kolšek Orlač

Ljubljana, september 2022

## **ZAHVALA**

V največji meri se zahvaljujem mentorju Milanu Kotniku, univ. dipl. inž. el., da mi je z nasveti in usmeritvami pomagal pri izdelavi diplomskega dela. Hvala predvsem za hitro odzivnost.

Hvala tudi zaposlenim v podjetju Hella Saturnus, d. o. o., za razumevanje in spodbudo. Še posebej hvala mentorju v podjetju Janezu Zupancu, da mi je omogočil izvedbo zaključnega dela. Hvala tudi Marku Cvetku za vse nasvete.

Zahvaljujem se tudi lektorici Luciji Hrženjak, da je diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

## IZJAVA

Študent Rok Kolšek Orlač izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Milana Kotnika, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne \_\_\_\_\_

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

## **POVZETEK**

V proizvodnih procesih se vse pogosteje pojavljajo industrijski roboti, ki se vgrajujejo v robotske sisteme. Nemalokrat se pri tem pojavljajo nevarnosti, ki pretijo na zaposlene. Zato je treba stroje zaščititi tako, da med obratovanjem do območja stroja ni mogoče dostopati oziroma je to mogoče le tam, kjer nevarnosti za nastanek poškodb ni.

V diplomskem delu so predstavljene nevarnosti, ki so jim izpostavljeni upravljavci. V ta namen smo obravnavali delovno okolje podjetja Hella Saturnus, d. o. o. V nadaljevanju so predstavljene naprave, ki jih je treba med seboj varnostno povezati, nato varnostne funkcije manipulacijskega stroja in brizgalnega stroja, vezane na izklop v sili. Ugotavljali smo, kako vso varnostno tehniko medsebojno povezati in preprečiti nevarnosti, ki se lahko pojavijo v delovnem procesu. Ugotovili smo, da se lahko stopnja varnosti zviša z uporabo varnostnih naprav, kot so zaščitne ograje, varnostne svetlobne zavese, ključavnice, pozicijska stikala, tipke za zasilni izklop in varnostna vrata. Poleg tega smo ugotovili, da je treba omenjene varnostne elemente povezati z varnostnimi moduli, ki nadzirajo in po potrebi prekinejo delovni proces. Za lažje razumevanje opisanega smo izdelali elektro shemo, ki prikazuje vezavo robotske celice z brizgalnim strojem Kraus Maffei 250.

Varnostne komponente se lahko mehansko ali elektronsko pokvarijo, kar lahko povzroči velike težave. Ugotovili smo, da bi lahko za lažji nadzor in večjo varnost varnostne module zamenjali z enim programirljivim logičnim krmilnikom, vse skupaj pa bi izboljšali z občutljivo optično-elektronsko opremo.

## **KLJUČNE BESEDE**

- Varnost v industriji
- Izklop v sili
- Varnostni moduli
- Euromap
- Elektro občutljiva oprema
- PLC (Siemens)
- Keyence SZ-V

## **ABSTRACT**

Industrial robots, which are installed into robotic systems, are increasingly appearing in the manufacturing processes. During these, there are often dangers that threaten employees. Consequently, it is necessary to establish safety measures in such a way that it is not possible to access the machine area during the operation, or this is only possible where there is no risk of injury.

The diploma thesis thus initially presents the dangers to which machine operators are exposed. We focused on the working environment of Hella Saturnus, d. o. o. Furthermore, we presented the devices that need to be connected to each other safely and the safety functions of the manipulation machine and the injection molding machines related to the emergency shutdown. We focused on finding how to interconnect all safety equipment and prevent hazards that occur in the work process. It has been found that the level of safety can be increased by using safety devices such as safety fences, safety light curtains, locks, position switches, emergency stop buttons, and safety doors. We found out that it is necessary to connect the aforementioned safety elements with safety modules that monitor them and interrupt the work process if necessary. For easier understanding, an electrical diagram was also created that shows the connection of the robot cell with the Kraus Maffei 250 injection molding machine.

However, safety components can still fail mechanically or electronically, leading to big problems. We have discovered that for easier control and greater safety, the safety modules could be replaced by a single programmable logic controller. Moreover, this could also be improved with sensitive optoelectronic devices.

## **KEYWORDS**

- Safety in industry
- Emergency stop
- Safety modul
- Euromap
- Electro-sensitive equipment
- PLC (Siemens)
- Keyence SZ-V

## KAZALO

1	UVOD .....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge .....	2
1.3	Predstavitev okolja .....	2
1.4	Predpostavke in omejitve .....	3
1.5	Metode dela .....	3
2	PREDSTAVITEV ROBOTA .....	4
2.1	Robot ABB IRB-2600 .....	4
2.2	Robotski krmilnik IRC5 .....	5
2.3	Zaustavitev v sili .....	7
2.4	Ročni režim robota .....	8
2.5	Samodejni režim robota .....	8
2.6	Reševanje osebe, ujete v robotskih oseh .....	8
3	BRIZGALNI STROJ KRAUSS MAFFEI 250-1000 C2.....	9
4	EUROMAP, POVEZAVA MED ROBOTOM IN BRIZGALNIM STROJEM .....	9
4.1	Specifikacija za stik .....	10
4.2	Signali iz stroja za brizganje do robota .....	11
5	VARNOSTNI MODUL SCHMERSAL SRB301/LC .....	13
5.1	Splošna navodila za uporabo varnostnega modula .....	14
5.2	Splošne informacije o varnostnem modulu .....	14
5.3	Načelo delovanja in nastavitve .....	15
6	ELEKTRO OBČUTLJIVA ZAŠČITNA OPREMA.....	16
6.1	Varnostna zavesa Leuze .....	17
6.2	Varnostni rele MSI-RM2B.....	18
6.3	Varnostna ključavnica Schmersal AZM190-11 .....	21
6.4	Končno stikalo Schmersal Z 332 .....	22
7	VARNOSTNI SISTEM V PODJETJU HELLA SATURNUS, D. O. O. ....	25
7.1	Posnetek stanja.....	26
8	KRITIČNA ANALIZA S PREDLOGI ZA IZBOLJŠAVE .....	26
9	ZAKLJUČEK .....	29

## KAZALO SLIK

Slika 1: Robot ABB IRB-2600 .....	5
Slika 2: Robotski krmilnik IRC5.....	5
Slika 3 : Moška oblika konektorja .....	10
Slika 4: Ženska oblika konektorja .....	10
Slika 5: Varnostni modul SRB 301/LC .....	16
Slika 6: Shema delovanja SRB 301/LC .....	16
Slika 7: Prikaz delovanja optičnih zaves Leuze .....	17
Slika 8: Opis delovanja optične zaves Leuze.....	18
Slika 9: Varnostni rele MSI-RM2B .....	19
Slika 10: Shema delovanja releja MSI-RM2B .....	19
Slika 11: Prikaz spredaj varnostnega releja MSI-RM2B.....	20
Slika 12: Varnostna ključavnica AZM190-11.....	21
Slika 13: Shema delovanja ključavnice.....	22
Slika 14: Shmersal Z 332 .....	23
Slika 15: Pogonska glava stikala .....	24
Slika 16: Postavitev opisanega sistema.....	25
Slika 17: Stikalo Eaton .....	26
Slika 18: Varnostno stikalo za izklop v sili.....	26
Slika 19: PLC Siemens.....	27
Slika 20: Keyence SZ-V .....	28
Slika 21: Shema povezave keyence SZ-V .....	28

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Kategorija zaščite .....	6
Tabela 2: Funkcija zaustavitve v sili .....	7
Tabela 3: Opis signalov na strani brizgalnega stroja.....	11
Tabela 4: Opis signalov nadgradnje krmilnika IRC5 .....	12
Tabela 5: Relejski kontakti SRB 301/LC .....	14
Tabela 6: Zmogljivost relejnih kontaktov .....	14
Tabela 7: Stanje varnostnega modula .....	15
Tabela 8: Relejski kontakti varnostnega modula MSI-RM2B .....	20
Tabela 9: Funkcija LED-svetil na varnostnem releju MSI-RM2B.....	20
Tabela 10: Splošne informacije o stikalu .....	23

## KRATICE IN AKRONIMI

$A_{max}$ :	maksimalna obremenitev
AOPD:	Active opto-electronic protective device, aktivna optično-električna naprava
AS:	Automatic stop, zaustavitev v sili v avtomatskem delovanju
EMC:	Electromagnetic compatibility, elektromagnetna združljivost
ES:	Emergency stop, zaustavitev v sili
G:	globina
GS:	General stop, glavna zaustavitev vseh naprav v sili
Karta I/O:	naprava s programirljivimi vhodi in izhodi
$mA$ :	miliamper
MC5:	oznaka programske različice
NC:	Normally closed, v mirovnem stanju zaprti kontakt
$N_{d/1}$ :	delovanje na leto
NO:	Normally open, v mirovnem stanju odprti kontakt
Oliflex:	oznaka gibljivega kabla
OPC:	Open platform communication, komunikacija odprte platforme
PLC:	Programmable Logic Controllers, programirljiv logični krmilnik
PFH:	na končano uro
Š:	širina
$T_{ciklov}$ :	navedeni čas preklopa kontakta
Us:	delovna napetost
V:	višina
VAC:	Volts alternating current, izmenična napetost
VDC:	Volts direct current, enosmerna napetost



# 1 UVOD

## 1.1 Predstavitev problema

Področje dela, ki smo ga raziskovali, se navezuje predvsem na industrijsko okolje. Za varno delovanje robotov moramo najti načine, s katerimi zaščitimo predvsem življenje zaposlenih in upravljavcev robotov ter da preprečimo morebitne napake drugih udeleženih naprav, ki tudi sodelujejo v procesu izdelave končnega izdelka. V zaključnem delu smo se osredotočili na varnostne krmilnike in varnostne releje. Raziskali smo varnostne električne komponente in njihove naloge. Za lažjo predstavitev teh komponent smo izdelali načrt, najprej pa smo opisali splošne pojme, ki so ključni za razumevanje delovnega področja.

Varnost in zdravje na delovnem mestu ter dobro počutje zaposlenih prispevajo k dobri organizacijski klimi in hkrati tudi k ekonomski učinkovitosti gospodarstva, splošni družbeni blaginji in k vzdržnosti socialnih blagajn. Učinkovito zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu brez nezgod, poklicnih bolezni in bolezni, povezanih z delom, je hkrati nacionalni interes, interes delavcev in obveza delodajalcev.

Nezgodo pri delu lahko opredelimo kot nepredviden oziroma nepričakovan dogodek na delovnem mestu ali v delovnem okolju. Zgodi se v času opravljanja dela ali izvira iz dela, ki povzroči poškodbo delavca.

Nevarni pojav pomeni dogodek, ob katerem je ali bi lahko nastala premoženjska škoda, je ali bi lahko bilo ogroženo zdravje ali življenje delavca oziroma bi lahko prišlo do nezgode, zaradi katere bi delavec postal nezmožen za delo. Tveganje za varnost in zdravje pri izvajanju delovnega procesa predstavlja stalno pojavljanje tveganj. Ta lahko v večji ali manjši meri vplivajo na varnost in zdravje delavcev, ki delo opravljajo, pa tudi drugih oseb, ki so tako ali drugače prisotne v delovnem procesu. V ta namen moramo izvajati ukrepe za zagotovitev varnosti in zdravja zaposlenih ter drugih prisotnih oseb.

Opaženo je bilo, da se večina nevarnosti pri industrijskih robotih pojavi v fazi delovanja programa. Nevarnosti, ki se pojavijo pri gibanju robota v njegovem območju delovanja, spremembi določenih parametrov ali pri nepričakovanih gibih robota, lahko postanejo usodne za zdravje osebe na delovnem mestu upravljavca stroja. Zaradi tega je ključno, da pri vsaki postavitvi robota izvedemo zaščitne ukrepe in preprečimo neželene posledice in pojave.

Dražnik (2011) nevarnosti, ki se lahko pojavijo pri samodejnem robotskem delovanju, deli na tri tipe, in sicer:

- Nevarnost trka. Gibajoči se deli robota ali njegovo prijemalo lahko zadenejo operaterja ali napravo, ki sodeluje v delovnem procesu. Lahko gre za posledico nenadnega oziroma nepričakovanega premikanja robota ali za izpust izbrizganega kosa.
- Nevarnost pasti. Gre za posledice gibanja robota v neposredni bližini stroja, opreme, ograje itd. Pasti lahko povzroči tudi nepričakovani izpust obdelovanca ali druge oblike prenosnih mehanizmov. Tudi sam robot se lahko poškoduje.
- Druge nevarnosti. Ta tip nevarnosti zavzema vse nevarnosti, ki so povezane s procesom delovanja. Med tovrstne nevarnosti uvrščamo strupene snovi, hrup, pline, električni udar, sevanje ipd.

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

## 1.2 Cilji naloge

Cilj diplomskega dela temelji predvsem na poznavanju različnih električnih elementov in njihovega delovanja. Osredotočili smo se predvsem na načine, kako zaščititi zdravje ljudi in tudi kako preprečiti morebitne napake strojev ali opreme, ki sodelujejo v delovnem procesu. Kljub dobri varnosti se še vedno velikokrat zgodi, da pride do napak stroja in opreme. To ne malokrat vodi v ogroženost zdravja zaposlenih, zato smo se v zaključnem delu osredotočili na dodatne varnostne pogoje, in sicer tam, kjer je bilo opaženo in ocenjeno, da za normalno obratovanje stroja potrebujemo več varnostnih ukazov, kot jih trenutno izvajamo. Prav tako je bil naš cilj, da na podlagi različnih publikacij, kot so žepni in spletni priročniki, ugotovimo, kako čim boljše izkoristiti električne varnostne komponente glede na njihovo zmogljivost in kompatibilnost z drugimi napravami. Na podlagi ugotovitev smo predlagali tudi morebitne druge ukrepe, ki bi pripomogli k zvišanju stopnje varnosti pri delu.

## 1.3 Predstavitev okolja

V diplomskem delu smo se osredotočili predvsem na delovno okolje podjetja Hella Saturnus Slovenija, d. o. o. Poudarili smo težavo, s katero se soočajo vsakodnevno v delovnem procesu proizvodnje celotnih modulov za vozila.

Hella Saturnus Slovenija je na borzi notirano kot družinsko podjetje, ki deluje globalno. V podjetju je zaposlenih 36.000 zaposlenih, in sicer na več kot 125 lokacijah in v več kot 35 državah. Koncern razvija in proizvaja svetlobne in elektronske komponente in sisteme za avtomobilsko industrijo ter razpolaga z eno največjih trgovskih organizacij za avtomobilske dele, dodatno opremo ter diagnostične in servisne storitve v Evropi.

Z več kot 8.000 zaposlenimi v raziskovalnih in razvojnih oddelkih je podjetje Hella eden najpomembnejših inovatorjev na trgu (Hella Saturnus, d. o. o., 2022).

#### **1.4 Predpostavke in omejitve**

Večjih omejitev pri izdelavi diplomskega dela nismo predvideli, naleteli smo le na otežen dostop do nekaterih informacij. V ospredju je bil delovni proces v podjetju Hella Saturnus, d. o. o., ki razpolaga z internimi gradivi, ki pa so lahko tudi nedostopna za širšo javnost. Ne glede na to smo predvidevali, da bomo našli dovolj virov in literature na izbrano tematiko, predpostavke pa so se uresničile.

#### **1.5 Metode dela**

Najprej smo izbrano tematiko proučevali z metodo analize dokumentov, da bi pridobili čim več podatkov o temi. Pregledali smo slovensko in tujo literaturo, ki smo jo dobili večinoma iz spletnih baz. Uporabili smo deskriptivno metodo dela, saj smo s pomočjo opisovanja pojasnili osnovne pojme nevarnosti. V nadaljevanju smo uporabili analitično metodo, s katero smo ugotovili, da imajo varnostni moduli pomanjkljivosti v delovanju vezja in relejskih kontaktih.

## 2 PREDSTAVITEV ROBOTA

Dražnik (2011) navaja, da je robot programirljiv večnamenski manipulator s tremi ali več prostostnimi stopnjami. Namenjen je za premikanje delov, orodij ali drugih posebnih naprav s spremenljivimi programirljivimi gibi. Robote pogosto uporabljamo v industriji za prenašanje materiala ali za izvajanje ponavljajočih se opravil. Tako lahko na primer robotsko roko, pritrjeno na delovno mizo, uporabljamo za sestavljanje elektronskih vezij. Drugi roboti so zasnovani za delo v človeku nevarnih okoljih, na primer v lakirnicah, pri raziskovanju vesolja ali morskih globin. S svojo konstantnostjo in ponovljivostjo gibanja so tudi zelo dobri na področju barvanja. Dosežejo namreč popolno obarvanje površine, pri čemer porabijo minimalno količino barve, saj ni pretiranih odvečnih izgub.

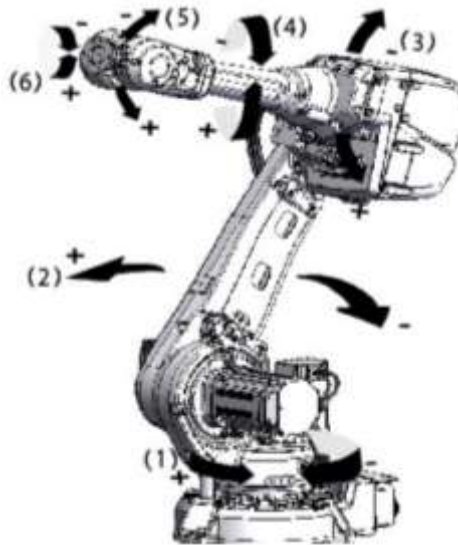
### 2.1 Robot ABB IRB-2600

Za lažjo in hitrejšo izdelavo proizvodov se v podjetju Hella Saturnus uporabljajo različni večnamensko programirljivi manipulatorji. V nadaljevanju smo se osredotočili na manipulacijski stroj svetovno znane korporacije ABB. Glede na željeni končni produkt najbolj ustreza manipulacijski stroj serije IRB-4600.

Tovrstni stroj je opremljen s krmilnikom IRC5 in s programsko opremo za nadzor robota RobotWare. Programska oprema RobotWare podpira vse vidike robotskega sistema, kot so gibanje za nadzor, razvoj in izvajanje aplikacijskih programov, komunikacija in podobno. Za dodatno funkcionalnost lahko robota opremimo z dodatno programsko opremo za podporo aplikacijam, na primer za lepljenje in varjenje, komunikacijske naloge (omrežna komunikacija), napredne funkcije, kot so večopravnost, nadzor senzorične in naprav. Robot je pobarvan z dvokomponentnim epoksidnim premazom, ki je na vrhu temeljnega premaza proti koroziji (ABB, 2009–2020).

Serija IRB-4600 ima šest osi. Manipulacijski stroj se lahko na razdalji 2500 mm bremeni z največ 20 kg. To pomeni, da se od prve osi in vse do šeste osi manipulacijski stroj raztegne. Surovi manipulacijski stroj tehta približno 425 kg (ABB, 2009–2020).

Najpomembneje je, da upoštevamo težo prijemala, izdelanega v podjetju. Prijemalo vključuje senzoriko in aluminijasto konstrukcijo za zaznavanje plastičnega kosa, izbrizganega iz brizgalnega stroja.



Slika 1: Robot ABB IRB-2600  
(Vir: ABB, 2009–2020).

## 2.2 Robotski krmilnik IRC5

Manipulacijski stroj serije IRB-4600 lahko upravljamo le z robotskim krmilnikom IRC5. Ta ima aplikacijo, ki lahko robota programira, da opravlja točno določena opravila. Robotskemu krmilniku je priložena tudi karta I/O, ki ima programirljive signalne vhode in izhode za lažje nadziranje delovne operacije (ABB, 2004–2022).



Slika 2: Robotski krmilnik IRC5  
(Vir: ABB, 2004-2022)

Robotski krmilnik ima dodatno funkcijo za nadzirano varno delovanje manipulacijskega stroja. Vse funkcionalne informacije varnostnega robotskega sistema pri delovanju ne zajemajo načrtovanja, namestitve in delovanja delovnega procesa. Za lažji nadzor druge sodelujoče programirljive naprave, ki sodelujejo v delovnem procesu, so se v podjetju Hella Saturnus odločili, da robotski krmilnik IRC5 razširijo in dodajo elektroarmar za nadgradnjo krmilnika. Nadgradnja krmilnika vključuje varnostne module znamke Schrammesal serije SRB 301-LC, pri katerih skozi relejske kontakte poteka varnostna napetost +24 VDC, ki ima izvor napetosti v robotskem krmilniku IRC5 (ABB, 2004–2022). Preverjanje skladnosti robota in krmilnika se ocenjuje po evropskem standardu EN ISO 13849-1:2015.

Vse delujoče naprave, ki sodelujejo v delovnem procesu, so povezane z varnostjo. Skoznje namreč potekajo varnostne verige, ki zaustavijo delovni proces. Kot navajajo pri ABB (2004–2022), imajo te naslednje funkcije:

- »Enabling device« (omogočanje naprave),
- »Emergency stop on operator panel« (zaustavitev v sili na upravljalni strani),
- »Emergency stop on flex pendant (zaustavitev v sili na robotskem panelu),
- »Limiting robot motion« (omejitev gibanja robota),
- »Protective stop« (zaščitna ustavitev),
- »SafeMode1,
- »Safemode2.

Manipulacijski stroj ima dve kategoriji zaščite, in sicer zaščitno funkcijo (0) in funkcijo zaustavitev v sili (1).

Kategorija zaščite 0	Kot je opredeljeno v standardu IEC 60204-1, se z zaustavitvijo v sili odpravi takojšnje napajanje pogonov manipulacijskega stroja.
Kategorija zaščite 1	Kot je opredeljeno v standardu IEC 60204-1, se doseže nadzorovana zaustavitev z močjo, ki je na voljo pogonskim mehanizmom stroja, ko se v prvem koraku doseže zaustavitev v sili, in šele nato odstranitev moči, ko je zaustavitev v sili dosežena.

*Tabela 1: Kategorija zaščite*  
(Vir: ABB, 2004–2022)

Funkcije zaustavitve, zaščitna in zasilna zaustavitev, imajo privzeto nastavitve, ki jo je mogoče ponovno konfigurirati. Aktiviranje zunanjih varnostnih naprav, povezanih z varnostnim krmilnikom IRC5, imajo namenske programirljive vhode. Ti v delovni

proces vseh varnostnih naprav sprožijo funkcijo »zaustavitev v sili« (ABB, 2004–2022).

Vhodi za sprožitev zaščitne zaustavitve ali zaustavitve v sili, kot jih opredeljujejo pri ABB (2004–2022), so naslednji:

Vnosi za začetek opisa	Namen zaustavitve	Kategorija zaščite
Emergency stop (ES)	Programirljiv vhod za sprožitev funkcije »zaustavitev v sili«. Nujno stanje deluje v samodejnem in ročnem režimu manipulacijskega stroja.	Kategorija zaustavitve 0
Automatic stop (AS)	Programirljiv vhod za sprožitev funkcije »zaustavitev v sili« v samodejnem režimu manipulacijskega stroja prepreči nadaljevanje delovnega procesa vseh sodelujočih varnostnih naprav v samodejnem načinu.	Kategorija zaustavitve 1
General stop (GS)	Programirljiv vhod za sprožitev funkcije zaščitne zaustavitve. Splošna zaustavitev se sproži v obeh režimih v ročnem in samodejnem režimu. Ta vhod največkrat povežemo z brizgalnim strojem.	Kategorija zaustavitve 1

*Tabela 2: Funkcija zaustavitve v sili*  
(Vir: ABB, 2004–2022)

### 2.3 Zaustavitev v sili

Splošni namen funkcije »zaustavitev v sili« je preprečiti dejanske ali grozeče izredne razmere, ki nastanejo, ko oseba posega v delovno območje manipulacijskega stroja, in tako prepreči morebitne samodejne gibe robota. Funkcija »zaustavitev v sili« se sproži z le enim posegom osebe ob pritisku na stikalo, ki ima funkcijo zaskočnosti, katere vzmet drži mehanizem zapaha stalno v legi zaklenjeno. Šele ko se stikalo sprost, skozi njega steče napetost (ABB, 2004–2022).

Učinek aktivirane funkcije »izklop v sili« traja, dokler na programirljivi vhod izklopa v sili ne prispe varnostno napajanje +24 VDC. Odklop v sili ne dovoljuje ponovnega

vklopa, dokler napaka ni odpravljena oziroma potrjena na upravljalnem zaslonu robotskega krmilnika IRC5 (ABB, 2004–2022).

## 2.4 Ročni režim robota

Ročni režim robota je stanje nadzora, ki omogoča neposredni nadzor upravljavca robota. Robotski krmilnik ima možna dva načina za upravljanje manipulacijskega stroja (ABB, 2004–2022):

- ročno kontrolirana hitrost in
- ročno nastavljena največja hitrost robota.

V situaciji, ko druge varnostne programirljive naprave prekinejo varnostni verigi EmergencyStop (ES) in AutomaticStop (AS), t. i. zaustavitev v sili, je mogoče robota premikati v ročnem režimu, vendar zgolj v primeru, če ni prekinjena varnostna veriga GeneralStop (GS), ki je neposredno vezana na manipulacijski stroj (ABB, 2004–2022).

Način ročnega režima uporabljamo za premikanje, učenje, programiranje in preverjanje programa robota in se lahko izvaja pri vzdrževalnih delih manipulacijskega stroja. Najmanjša zmanjšana hitrost robota, ki je omejena na vsako os robota, znaša 250 mm/s. Kadar robota ročno upravljamo, se poseg izvaja izven dosega manipulacijskega stroja, in sicer preko upravljalnega zaslona robotskega krmilnika IRC5 (ABB, 2004–2022).

## 2.5 Samodejni režim robota

Samodejni režim robota je način delovanja, v katerem manipulacijski stroj deluje v skladu z nastavljenim programom nalog. Posledično jih upravljavec robota ne more uporabljati ročno. Za samodejni način upravljanja je značilno, da ima funkcijo »start stop«.

Samodejni način upravljanja manipulacijskega stroja zahteva povezavo vseh varnostno zaščitnih povezav z drugimi varnostno programirljivimi napravami, ki sodelujejo v delovnem procesu. Zaradi tega moramo pred začetkom zelenega upravljanja delovnega procesa preveriti vse varnostne funkcije, ki so opredeljene v oceni tveganja zdravja ljudi ali poškodb vseh sodelujočih varnostnih naprav oziroma ki so zmanjšana na sprejemljivo raven (ABB, 2004–2022).

## 2.6 Reševanje osebe, ujete v robotskih oseh

Roboti delujejo po programu, ki ga napiše oseba. Kljub strogim varnostnim ukrepom pa se še vedno lahko zgodi, da pride do ne zelenih situacij. V primeru, da je oseba



ujeta v robotskih oseh, je treba poskrbeti, da vsak poskus reševanje osebe ne poslabša trenutne situacije. Vsak robot ima ročne zavore, ki jih lahko sprostimo. Sprostitev ročne zavore bo omogočila ročno premikanje robota, vendar ročno lahko premikamo le manjše robote, ki so dovolj lahki za premikanje s človeško silo. Za premikanje večjih in posledično težjih robotov je primernejša uporaba nadstrešnega žerjava ali druge mehanizacije, ki omogoča dvig težkih bremen.

### **3 BRIZGALNI STROJ KRAUSS MAFFEI 250-1000 C2**

Pri KMS, d. o. o., (2022) navajajo, da je bil Krauss Maffei 350-1000 C2 izdelan leta 1999 v Nemčiji. Ta zanesljivi stroj lahko deluje z vpenjalno silo tudi do 2500 kN. Posebna moč brizganja 500 m<sup>3</sup> duroplastov za izdelavo plastičnega kosa omogoča, da lahko naredimo večkratno enake kose. Stroj ima možnost upravljanja na zaslonu na upravljalni strani in shranjevanja programa na MC5. Brizgalni stroj ima svoj varnostni sistem, ki ga lahko povežemo z manipulacijskim strojem ABB. Prav tako ima na vseh vratih nameščeno varnostno ključavnico. Poleg območja vstopa robota v brizgalni stroj pa ima nameščeno varnostno zaveso, ki zazna predmete in prepove stisk orodja.

Brizgalni stroj ima tudi nalogo razširitve varnostnega tokokroga za druge udeležene naprave. V podjetju Hella Saturnus se uporablja EUROMAP 67, ki opredeljuje povezavo med strojem za brizganje in z manipulacijskim robotom ABB. Namen tega je zagotoviti zamenljivost med njima. Signali v stroju za brizganje in v manipulacijski napravi so posredovani s kontakti, kontakti relejev ali s stikali (Euromap, 2015).

Upoštevati je treba tudi tveganje, ki ga povzroči gibanje delovnega stroja, zato je potrebna redundanca, ki se doseže z dvema varnostnima kanaloma, naslednja: ZA3-ZC3 in ZA4-ZC4 (KMS, d. o. o., 2022).

### **4 EUROMAP, POVEZAVA MED ROBOTOM IN BRIZGALNIM STROJEM**

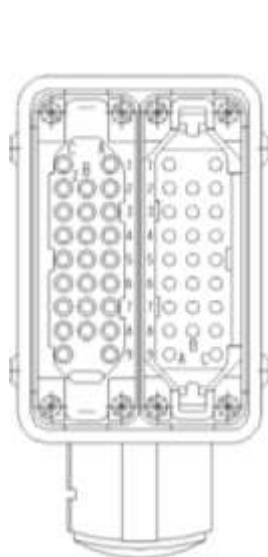
Podjetje Euromap je bilo ustanovljeno leta 1964 in je krovna organizacija močne evropske industrije strojev za brizganje plastike. Zavzema namreč približno 40 odstotkov svetovne proizvodnje in 50 odstotkov izvoza.

Euromap pomeni izmenjavo informacij ali podatkov med stroji v delovnem procesu za povečanje kakovosti in učinkovitosti proizvodnje. To pa je mogoče le s standardiziranimi priključki. Ker stroji in delovni procesi postajajo vse bolj zapleteni, obstoječi strojni priključki dosegajo svoje meje. Zato podjetje Euromap proizvaja

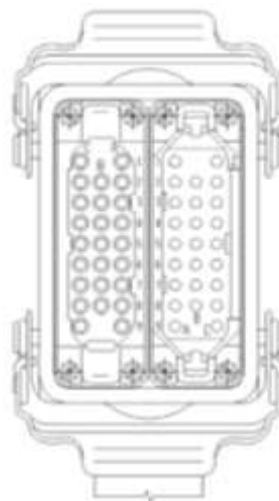
priključke, ki so izvedeni na podlagi OPC Unified Architecture. To so od platforme neodvisni priključki, ki zagotavljajo varno in zanesljivo izmenjavo podatkov na področju industrijske avtomatizacije v številnih panogah (Euromap, 2015).

Varnostna povezava in komunikacijska povezava med strojem za brizganje in robotom se po navadi izvede s kablom oliflex, ki ima 64 žic preseka  $0,5 \text{ mm}^2$ . V obravnavanem primeru skozi žice steče najvišja napetost +24 VDC. Harting priključek vsebuje na vsaki strani moško obliko sponke in žensko obliko sponke Weidmuller. Kontakti vtiča morajo biti sposobni prenesti najmanj 250 V in 10 A (Euromap, 2015).

Vzpostavitev stika je brez potenciala (0 V) ali da je stik povezan z referenčnim potencialom, napeljanim na kontakt vtiča, nameščenega na stroju za brizganje plastike ali na manipulacijskem stroju ABB (Euromap, 2015).



Slika 3 : Moška oblika konektorja  
(Vir: Euromap, 2015)



Slika 4: Ženska oblika konektorja  
(Vir: Euromap, 2015)

#### 4.1 Specifikacija za stik

Napetosti signalov ne smejo presegati 50 VDC ali 250 VAC. Med signalnimi povezavami mora biti ohranjen najmanjši tok 6 mA. Največji tok je 6A. Ti signali morajo biti v skladu s točko 3.3.1 standarda EN 61131-2, tabela 9, tip 2, ali s točko 3.3.3 standarda EN 61131-2, tabela 11,  $0,1 \text{ A}_{\text{max}}$ . (Euromap, 2015)

## 4.2 Signali iz stroja za brizganje do robota

Moški kontakti	Oznaka signala	Opis signala
ZA1 ZC1	Izklop v sili robota, varnostna veriga 1	Kontakt stikala mora biti odprt, ko se stroj za brizganje plastike ustavi v sili. Odprt stikalni kontakt povzroči zaustavitev manipulacijskega stroja in tako prekine samodejno delovanje delovnega procesa v varnostni verigi 1.
ZA2 ZC2	Izklop v sili robota, varnostna veriga 2	Kontakt stikala mora biti odprt, ko se stroj za brizganje plastike ustavi v sili. Odprt stikalni kontakt povzroči zaustavitev manipulacijskega stroja in tako prekine samodejno delovanje delovnega procesa v varnostni verigi 2.
ZA3 ZC3	Izklop v sili stroja, varnostna veriga 1	Kontakt stikala se zapre, ko med vse varnostne naprave (varnostna vrata, varnostna zavesa itd.) steče tokokrog varnostnega signala. Signal je aktiven v katerem koli načinu delovanja. Signal mora biti rezultat končnih stikal varnostnih naprav za varovano območje v skladu z EN 201.
ZA4 ZC4	Izklop v sili stroja, varnostna veriga 2	Kontakt stikala se zapre, ko med vse varnostne naprave (varnostne ključavnice, pohodna pločevina itd.) steče tokokrog varnostnega signala. Signal je aktiven v katerem koli načinu delovanja. Signal mora biti rezultat končnih stikal varnostnih naprav za varovano območje v skladu z EN 201.
ZA9	Napajanje iz robota	+24 V DC (potenciometrična določitev)
ZC9	Oskrba potenciala iz robota	0 V (potenciometrična določitev)

Tabela 3: Opis signalov na strani brizgalnega stroja  
(Vir: Euromap, 2015)

Ženski kontakti	Oznaka signala	Opis signala
A1 C1	Izklop v sili brizgalnega stroja, varnostna veriga 1	Kontakt stikala mora biti odprt, ko ima manipulacijska naprava zaustavitev v sili aktivirano. Odprtje stikala povzroči zaustavitev brizganja na brizgalnem stroju. Priporočljivo je, da stikalo deluje, ko je manipulacijska naprava izklopljena.
A2 C2	Izklop v sili brizgalnega stroja, varnostna veriga 2	Kontakt stikala mora biti odprt, ko ima manipulacijska naprava zaustavitev v sili aktivirano. Odprtje stikala povzroči zaustavitev brizganja na brizgalnem stroju. Priporočljivo je, da stikalo deluje, ko je manipulacijska naprava izklopljena.
A3 C3	Varnost v območju kalupa	Kontakt stikala je zaprt, ko je manipulacijska naprava zunaj območja kalupa (stisk orodja) in ne ovira odpiranja in zapiranja kalupa. Stikalo mora biti odprto, ko robot zapusti začetni položaj. Če je stikalo odprto, ne sme priti do odpiranja in zapiranja kalupa. Pri ročnem delovanju brizgalnega stroja pa lahko stroj za brizganje ignorira ta signal v primeru, da se na manipulacijskem stroju popravljajo delovne točke pobiranja brizganega kosa ali če se odpiranje kalupa izvede na primer po vmesni zaustavitvi. Priporočljivo je, da stikalo tudi deluje, ko je manipulacijska naprava izklopljena.
A4 C4	Varnost v območju kalupa	Ta signal je rezerviran za prihodnjo uporabo euromapa.
A9	Napajanje iz brizgalnega stroja	+24 VDC/2A (potenciometrična določitev).
C9	Oskrba potenciala iz brizgalnega stroja	0 V (potenciometrična določitev).

*Tabela 4: Opis signalov nadgradnje krmilnika IRC5  
(Vir: Euromap, 2015)*

## 5 VARNOSTNI MODUL SCHMERSAL SRB301/LC

Kot navajajo v podjetju K. A. Schmersal GmbH & Co. KG (2017), so iz varnostnih razlogov invazivni posegi v napravo ter samovoljna popravila, predelave in modifikacije naprave strogo prepovedani. Proizvajalec ne prevzema odgovornosti za škodo, ki bi nastala zaradi takšnih invazivnih posegov, samovoljnih popravil, predelav in/ali modifikacij naprave. Varnostni nadzorni modul se sme uporabljati le, če je ohišje zaprto, tj. z nameščenim sprednjim pokrovom.

Varnostni nadzorni moduli za vgradnjo v varnostna vezja so pri omenjenem podjetju zasnovani za vgradnjo v nadzorne omare. Uporabljajo se za varno vrednotenje signalov pozitivnih stikal za prekinitev ali magnetnih varnostnih senzorjev za varnostno funkcijo na drsnih, tečajnih in odstranljivih varnostnih varovalih ter nadzornih napravah za zaustavitev v sili in AOPD (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017).

Varnostna funkcija je opredeljena kot odprtje omogočenih tokokrogov 13-14, 23-24 in 33-34, ko so vhodi S11-S12 in S21-S22 odprti. Varnostno pomembne tokovne poti z izhodi so pogojene z opazovanjem ocene vrednosti PFH (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017).

Za določitev stopnje učinkovitosti celotne varnostne funkcije (npr. senzorja, logike, aktuatorja) v skladu s standardom ISO 13849-1 je potrebna ocena vseh ustreznih komponent. Celotna zasnova nadzornega sistema, v katerega je vključena varnostna komponenta, mora biti potrjena v skladu z ustreznimi standardi navodila za uporabo varnostnega modula (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017).

OPIS VARNOSTNEGA MODULA	
Preklopna zmogljivost varnostnih kontaktov	13-14,23-24,33-34: največja dovoljena napetost 250 V, 6 A (induktivni, v primeru ustrezne zaščitne napeljave), minimalna napetost: 10 V/10 mA
Preklopna zmogljivost pomožnih priključkov	41-42: 24 VDC/2 A
Nazivna vrednost varovalke za varnostne zahteve	6 A počasna varovalka
Priporočena varovalka za pomožne kontakte	2 A počasna varovalka
Kategorija uporabe v skladu s standardom IEC/EN 60947-5-1	AC-15 V/DC-13 V EN 60497-5-1:2007
Dimenzije V × Š × G	100 mm × 22,5 mm × 121 mm

Podatki, navedeni v tem priročniku, veljajo, če sestavni del deluje pri nazivni delovni napetosti  $U_s \pm 0 \%$

*Tabela 5: Relejski kontakti SRB 301/LC*  
(Vir: K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017)

Vrednost PFH od  $2,00 \times 10^6/h$  velja za kombinacije obremenitev (tok skozi omogočene kontakte) in števila preklopnih ciklov ( $n_{dl}$ ), navedene v tabeli 6. Pri 365 delovnih dnevih na leto in 24-urnem obratovanju to pomeni v tabeli 6 navedene čase preklopnih ciklov ( $t_{ciklov}$ ) za relejne kontakte (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017).

OBREMENITEV KONTAKOTV	$N_{dl}$ (delovanje na leto)	$T_{ciklov}$
20 %	525 600	1,0 min
40 %	210 240	2,5 min
60 %	75 087	7,0 min
80 %	30 918	17,0 min
100 %	12 223	43,0 min

*Tabela 6: Zmogljivost relejnih kontaktov*  
(Vir: K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017)

## 5.1 Splošna navodila za uporabo varnostnega modula

Varnostni modul pritrdimo na standardna vodila DIN v skladu s standardom EN 60715. Dno ohišja nato rahlo nagnemo naprej in zatakemo v tirnico DIN in ga potisnemo navzgor, da se zaskoči (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017).

Elektromagnetna združljivost (EMC) pomeni, da morajo fizični pogoji okolja in okolja na mestu, kjer je izdelek nameščen, izpolnjevati določbe iz odstavka o elektromagnetni združljivosti (EMC) standarda EN 60204-1 (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017).

## 5.2 Splošne informacije o varnostnem modulu

V zvezi z električno varnostjo moramo biti kar se da pazljivi, saj morata biti zaščita pred nenamernim dotikom električno povezanih naprav in izolacija napajalnih kablov zasnovani za visoke napetosti, ki se lahko pojavijo v napravi. Priklop na izvor napetosti se lahko izvede le v breznapetostnem stanju (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017).

### 5.3 Načelo delovanja in nastavitve

Funkcije LED-lučke na varnostnem modulu:

K1: stanje kanala 1,

K2: stanje kanala 2,

$U_g$ : status delovne napetosti (LED sveti, če je delovna napetost na priključkih A1-A2),

$U_i$ : status delovne napetosti (LED sveti, če je delovna napetost na priključkih A1-A2 vklopljena in varovalka ni sprožena).

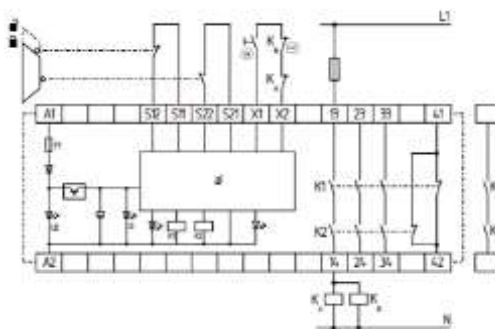
Napetost	A1	+24 VDC/24 VAC
	A2	0 VDC/24 VAC
Priključni vhodi	S11-S12	Vhodni signal 1 ( $\Omega$ )
	S21-S22	Vhodni signal 2 (0 V)
Priključni izhodi	13-14	Prvi varnostni tokokrog
	23-24	Drugi varnostni tokokrog
	33-34	Tretji varnostni tokokrog
Začetek	X1-X2	Povratno vezje in zunanja ponastavitev
	41-42	Pomožni kontakt NC kot signalni kontakt

*Tabela 7: Stanje varnostnega modula*  
(Vir: K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017)



Slika 5: Varnostni modul  
SRB 301/LC

(Vir: Schmersal: The DNA  
of safety, 2022)



Slika 6: Shema delovanja SRB 301/LC  
(Vir: K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2017)

## 6 ELEKTRO OBČUTLJIVA ZAŠČITNA OPREMA

Pri elektro občutljivi opremi zaščita ni dosežena s fizično ločitvijo oseb od nevarnega območja. Zaščita deluje določen čas, dokler je nekdo v nevarnem območju oziroma dokler se prekinjenega elementa ne vzpostavi spet v delovanje. V tem času vse naprave, ki sodelujejo v varnostni verigi, ne bodo delovale v samodejnem načinu, dokler ne bodo potrjena vsa zahtevana določila (Grm, 2015).

Grm (2015) meni, da je namen elektro občutljive zaščitne opreme, da v najkrajšem času zazna osebo, ki bodisi po nesreči bodisi nevede vstopa v nevarno območje stroja. Med največje prednosti te opreme spadajo hitrejši dostop do zelenega stroja in izboljšana ergonomija na delovnem mestu. Slabost pa je nezaščita pred hrupom, vročino, tekočinami idr.

Zaščitna naprava lahko osebo zazna na različne načine, in sicer (Grm, 2015):

- kapacitivno,
- optično in
- ultrazvočno z mikrovalovi.

Ugotovljeno je bilo, da sta kapacitivni način in optični način zaznavanja oseb zaščitnih naprav v podjetju Hella Saturnus zelo učinkovita.



## 6.1 Varnostna zavesa Leuze

Varnostna zavesa varuje osebe na točkah dostopa ali na točkah delovanja stroja ali naprave. Varnostni senzor pri navpični namestitvi varnostnih zaves zazna vdor prstov in rok na nevarnih mestih (ločljivost  $\leq 40$  mm) ali ob telesu na točkah dostopa. Varnostni senzor zazna osebo le ob vstopu v nevarno območje, ne zazna pa osebe, ki se nahaja v nevarnem območju delovnega procesa. Zaradi tega je treba uporabiti varnostni rele, ki sprosti blokado za ponovni zagon ob pritisku potrditvene tipke. Konstrukcije senzorjev v varnostni zavesi ni dovoljeno spreminjati, saj lahko ogrozimo varnost življenja oseb, ki sodelujejo v delovnem procesu (Leuze, 2022).

Pomembno je, da so varnostne svetlobne zaveses nameščene tako, da ne posegajo čez zaščiteno polje, pod njega ali za njega. Varnostna svetlobna zavesa tvori sprejemnik in oddajnik.



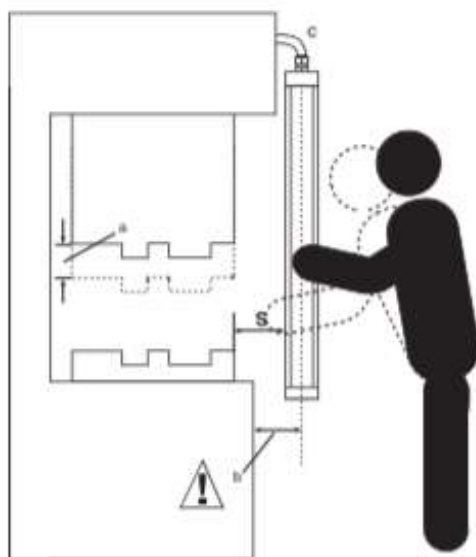
Slika 7: Prikaz delovanja optičnih zaves Leuze

(Vir: Leuze, 2022)

Varnostne zaveses so v podjetju Hella Saturnus na voljo v seriji E30 za zaščito rok, v seriji E55 in E80 pa za varovanje nevarnih območij, v kombinaciji tudi v kaskadni izvedbi.

Na splošno so značilna področja uporabe:

- tekstilni stroji, kot so stroji za strojno tkanje,
- skladiščna tehnologija,
- avtomatski stroji za montažo tiskanih vezij,
- stiskalnice v lesni industriji,
- stroji za čevlje,
- stroji z rotacijskim ciklom.



Slika 8: Opis delovanja optične zavesa Leuze  
(Vir: Leuze, 2022)

A = spremljanje stroja

b =  $\leq 75$  mm ali korak za zaščito

c = varnostna veriga »izklop v sili«

S = minimalna varnostna razdalja

V podjetju Hella Saturnus uporabljajo svetlobno zaveso Leuze MLC 300. Krmilijo jo z varnostnim krmilnikom MSI-RM2B, ki je izdelan posebej za to občutljivo elektro opremo.

## 6.2 Varnostni rele MSI-RM2B

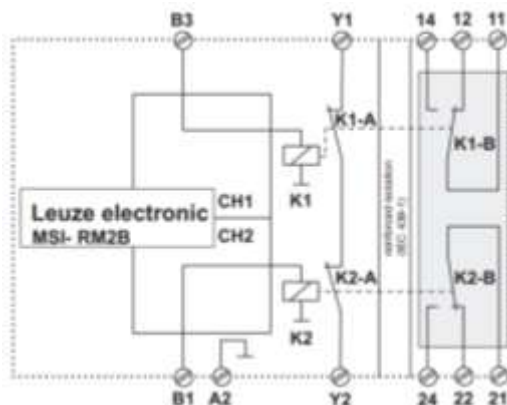
Ta varnostni rele se uporablja kot varnostni rele v kombinaciji z varnostnimi senzorji ali drugimi varnostnimi releji za varovanje nevarnih območij ali posebnih delovnih površin, kjer je ogroženo zdravje ljudi (Leuze electronics, 2013).

Varnostni sistem v celoti sestavljajo vse elektro komponente, zato mora biti varnostni rele, ki ima možnost krmiljenja svetlobnih zaves, zelo hitro odziven, da povzroči takojšno ustavitev delovnega procesa in tako zmanjša nevarnost posega v nevarno območje stroja (Leuze electronics, 2013).



Slika 9: Varnostni rele MSI-RM2B  
(Vir: Leuze electronic, 2013)

Relejski modul MSI-RM2B je primeren za uporabo dvokanalnega zaporednega vezja za varno zaščito naprave.



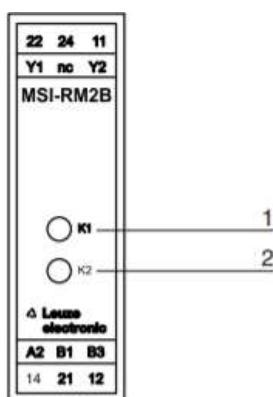
Slika 10: Shema delovanja releja MSI-RM2B  
(Vir: Leuze electronic, 2013)

Na varnostni rele je priključenih 12 oštevilčenih sponk, na katere se priključijo žice za različne funkcije. Predstavljene so v tabeli 8.

Sponke	MSI-RM2B
22	Rele kontakt, vhodni zaprti kontakt 2 (NC)
24	Rele kontakt, izhodni odprti kontakt 2 (NO)
11	Rele kontakt, izhod 1

Y1	Povratno vezje (EDM)
Y2	Povratno vezje (EDM)
A2	0 V
B1	Senzor, vhodni priključek 1 (+24 V DC)
B3	Senzor, vhodni priključek 2 (+24 V DC)
14	Rele kontakt izhodni 1
21	Rele kontakt, izhodni 2
12	Rele kontakt, vhodni zaprti kontakt 1

Tabela 8: Relejski kontakti varnostnega modula MSI-RM2B  
(Vir: Leuze electronic, 2013)



Slika 11: Prikaz spredaj varnostnega releja MSI-RM2B  
(Vir: Leuze electronic, 2013)

LED	Barva	Opis
K1	zelena	rele K1 v funkciji
K2	zelena	rele K2 v funkciji

Tabela 9: Funkcija LED-svetil na varnostnem releju MSI-RM2B  
(Vir: Leuze electronic, 2013)

Varnostni rele MSI-RM2B pretvarja elektronske varnostne stikalne izhode občutljivih varnostnih senzorjev v varnostne releje, ki imajo pozitivno vodene kontakte (+24 V DC). S signalno potjo varnostni rele deluje tako, da drugim varnostnim krmilnikom sporoča o gibanju v nevarnem območju delovnega procesa (Leuze electronics, 2013).

### 6.3 Varnostna ključavnica Schmersal AZM190-11

Varnostna vrata se uporabljajo v kombinaciji z zaščito celotnega delovnega območja, kjer manipulacijski stroj opravlja svoje naloge. Če želimo preprečiti nelagodno situacijo, morajo biti vrata ustrezno varovan vstop v celico. Zato je v obravnavanem podjetju primerna varnostna ključavnica, ki prepreči vstop v celico, kadar je manipulacijski stroj v samodejnem načinu.



*Slika 12: Varnostna ključavnica AZM190-11*  
(Vir: K.A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016b)

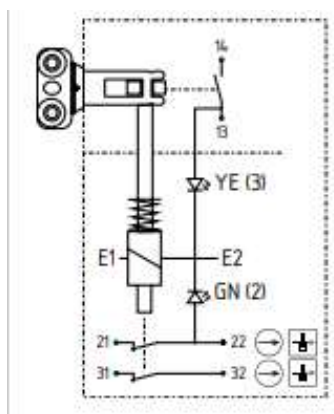
V primeru, da želi kdo vstopiti v nevarno območje, je treba manipulacijski stroj spremeniti v ročni režim, ki bo omogočil sprožitev tuljave na ključavnici na kontaktih E1 in E2. To pomeni, da se bodo vrata lahko odprla le v primeru, ko manipulacijski stroj ne bo imel možnosti samodejnega delovanja. Tako se lahko preprečijo morebitne poškodbe upravljavca. Na tuljavo varnostne ključavnice priključne sponke E1 prispe enosmerna napetost +24 V, priključna sponka E2 je namenjena za priklop potenciala 0 V, in tako zatič sprosti zaklenjeni v varnostni ključavnici (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016b).

Na podlagi raziskovanja podjetja Hella Saturnus je bilo ugotovljeno, da so varnostne ključavnice z ločenim pogonom primerne za drsna, tečajna in odstranljiva varnostna varovala. Ta je treba zapreti, da se zagotovi zadovoljiva varnost delovanja. Pomembna so tudi varnostna stikala v ključavnici, ki se uporabljajo za operacije, pri katerih se nevarna situacija nemudoma prekine, ko se varovalo odpre, s čimer se prepreči ponovni samodejni zagon. Ko je ključavnica odprta, so kontakti NC pozitivno odprti.

V podjetju Hella Saturnus uporabljajo priključne sponke na varnostnem modulu S11-S12 in S21-S22, s katerimi varnostni modul ohmsko sklence kontakt releja in tako zazna, da so vrata zaprta. To omogoča, da se v nadaljevanju potrdi zaprtost vrat, kar pomeni, da se delovna operacija nadaljuje v samodejnem ali ročnem režimu manipulacijskega stroja. Kadar varnostna veriga ni sklenjena zaradi okvare

elektrokomponent, morebitnih poškodb pri delovni operaciji, se lahko za nadaljnje kratkoročno delovanje manipulacijskega stroja uporabi funkcija »brez zaščite«.

Stikalo (0/1) se nahaja v notranjosti celice pri vratih na izhodu. Omogoča delovanje robota v ročnem režimu, njegova funkcija pa je, da se varnostna veriga sklene po drugih varnostnih modulih. S funkcijo »brez zaščite« lahko premikamo robota, lahko pa tudi odklenemo vrata s sprožitvijo stikala (0/1), posledično se sproži tuljava na varnostni ključavnici in tako sprostimo zatič, ki je pritrjen na vrata (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016b).



Slika 13: Shema delovanja ključavnice  
(Vir: K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016b)

Mirovna kontakta 21-22 in 11-12 sta sklenjena, kadar je varnostni zatič v varnostni ključavnici. Skozi NC kontakta 21-22 in 11-12 potekata varnostni verigi, ki sta ohmsko sklenjeni na varnostnem modulu (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016b).

#### 6.4 Končno stikalo Schmersal Z 332

Končno stikalo »home pozicija« izvaja naloge, povezane z varnostjo, kot del celotnega obrata ali na stroju. V obravnavanem primeru se uporablja varnostno stikalo le za t. i. »home pozicijo« robota. Robotska roka pritisne na varnostno stikalo in prekine varnostni tokokrog, tako da naprave, ki sodelujejo v delovnem procesu, v samodejnem programu ne zaženejo delovne operacije. Da bi zagotovili pravilno delovanje varnostnega stikala, mora biti nameščeno tako, da roka manipulacijskega stroja doseže premik stikala.

Varnostno stikalo zazna položaj robota in prekine možen ponovni samodejni zagon manipulacijskega stroja. Največkrat se to stikalo uporablja, ko upravljavec stroja posega v območje brizgalnega stroja. Program je zasnovan tako, da manipulacijski stroj v delovnem procesu začne iz iste točke kot zaključí. Vrata brizgalnega stroja se varnostno ne morejo odpreti, dokler iz robotskega krmilnika ne dobimo signala, da je robot na čakanju (K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016a).

V organizaciji Hella Saturnus uporabljajo priključne sponke NO(13-14) in NC(21-22), katerih naloga je, da kadar je robot v položaju mirovanja, na stikalu ohmsko sklenejo varnostni modul v nadgradnji krmilnika. Relejski izhod varnostnega modula je povezan na priključno sponko, ki je vezana na brizgalni stroj, da je manipulacijski stroj v mirovanju. Mirovni kontakt končnega stikala ima funkcijo, da kadar je robot na stikalu, prepreči samodejni zagon robota in tako ohmsko razčleni kontakte na varnostnem modulu.



Slika 14: Shmersal Z 332

(Vir: K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016a)

#### Splošne informacije

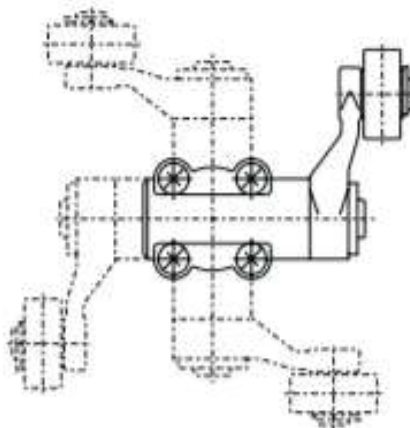
Standard	IEC 60497-5-1, BG-GS-ET-15
Razred zaščite	IP 65
Dovoljena temperatura	-30 °C ... +80 °C
Nazivna vrednost varovalke	6A
Nazivna napetost	50 VDC/250 VAC

Tabela 10: Splošne informacije o stikalu

(Vir: K. A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016a)

Ugotovili smo, da je mogoče pogonsko glavo premakniti za  $4 \times 90^\circ$  in jo prilagoditi zelenim potrebam. Končno stikalo za manipulacijski stroj bo lahko še lažje opravljalo svojo nalogo in tako sporočilo varnostnemu modulu, da je manipulacijski stroj v stanju,

ko možnost za samodejno sprožitev stroja ni mogoča. Ročico valja je mogoče na zobati gredi premakniti za več kot  $360^\circ$  v več korakih po  $10^\circ$ .



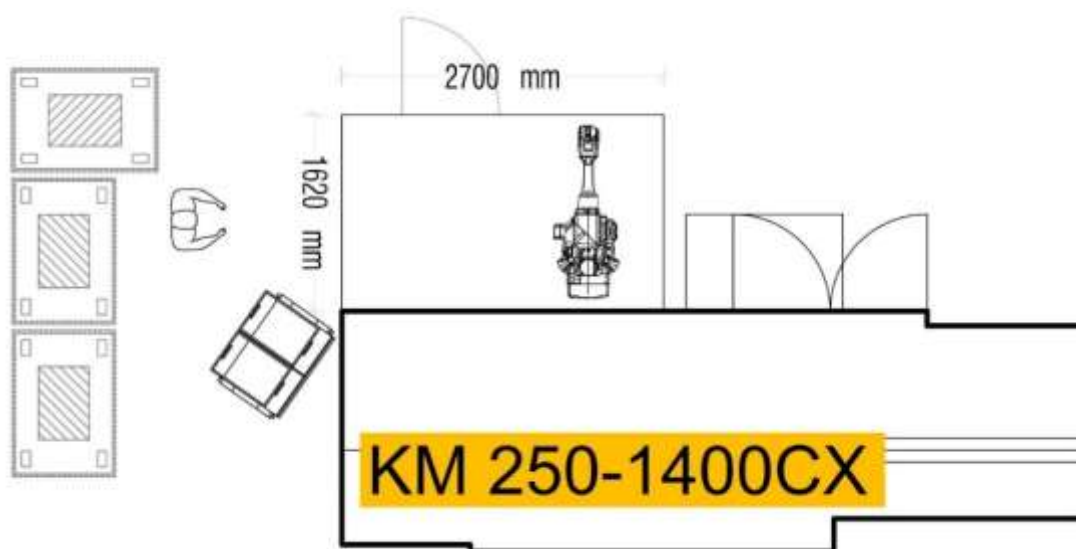
*Slika 15: Pogonska glava stikala*  
(Vir: K.A. Schmersal GmbH & Co. KG, 2016a)



## 7 VARNOSTNI SISTEM V PODJETJU HELLA SATURNUS, D. O. O.

V nadaljevanju opisujemo proces delovanja sistema v podjetju Hella Saturnus, d. o. o. Ugotovili smo, da v obravnavanem podjetju upravljajo veliko strojev s podobnim osnutkom delovanja in da vsa varnost izhaja iz podobnih varnostnih internih standardov.

Robot v delovnem procesu je zavarovan z varnostno ograjo, ki jo sestavljajo aluminijasti profili in pleksi steklo. Manipulacijski stroj pobira brizgane kose iz brizgalnega stroja Krauss Maffei 250 in jih polaga na tekoči trak. Za tak način pobiranja kosov obstaja več različnih dejavnikov, zaradi katerih stroj z monotonim delom izvajanja svojih nalog pripomore k hitrejšemu in varnejšemu pobiranju kosov iz brizgalnega stroja. Poleg tega je na brizgalnem stroju konstantna visoka temperatura. Temperatura na stroju mora dosegati vsaj 300 stopinj Celzija, saj so termoplasti v trdnem stanju. Ker se izvajajo različni projekti, na podlagi katerih je treba za vsako avtomobilsko znamko posebej brizgati in ustvarjati drugo obliko svetil, se uporabljajo različna orodja. Vsako orodje ima jedra, ki služijo predvsem za zaznavo položaja orodja. Orodje vsebuje tudi izmetače, ki kos odlepijo iz orodja. Posamezna jedra imajo na vsaki strani končna stikala oziroma induktivne senzorje, katerih funkcija je, da dajejo signal in informacijo računalniku, da zazna, v kakšnem položaju je orodje. Če je stroj zaprt, so stikala sprožena. Tako računalnik zazna, da lahko termoplaste brizga do natančno nastavljenega tlaka v tekočem stanju.



Slika 16: Postavitev opisanega sistema  
(Lastni vir)

## 7.1 Posnetek stanja

Vsak ABB-robot ima funkcijo varnostne verige, v kateri je največkrat skozi vse naprave in tipke, ki sodelujejo v delovnem procesu, napetost +24 VDC. Varnostno stikalo za izklop v sili se pritisne v delovnem procesu, ko oseba posega v delovno območje stroja. S pritiskom na varnostno stikalo se delovni proces isti trenutek ustavi in tako se prepreči nadaljnji potek delovnega procesa. Pred nadaljevanjem procesa se je treba prepričati, da nevarna situacija, ki je povzročila izklop v sili, ne obstaja več, še preden se ponastavi stikalo za zaustavitev v sili. Vsa stikala za zaustavitev v sili imajo funkcijo zaskočnosti, katere vzmet drži mehanizem zapaha stalno v legi zaklenjeno. Da odstranimo pogoj za zaustavitev v sili, je treba vzmet sprostiti. Uporabljajo se stikala Eaton NC, ki imajo v breznapetostnem stanju mirovni kontakt.



Slika 17: Stikalo Eaton  
(Vir: Eaton, 2022)



Slika 18: Varnostno stikalo za izklop v  
sili  
(Vir: ProElektronika, 2022)

Naprave, ki sodelujejo v delovnem procesu, imajo možnost zaustavitve v sili. Ko se prekine varnostna veriga zaustavitve v sili, se to potrdi s tipko na vseh napravah, ki sodelujejo v delovnem procesu, da v območju gibanja robota ni ujeta oziroma se ne giba oseba.

## 8 KRITIČNA ANALIZA S PREDLOGI ZA IZBOLJŠAVE

Spoznali smo varovalni sistem, ki ima dokaj zadovoljive varnostne pogoje, ustrezajoče standardom. Pomanjkljivosti obstoječega stanja se nanašajo predvsem na varnostne elektrokomponente, ki lahko včasih zatajijo oziroma ne sprožijo zaustavitve samodejnega načina. Varnostni moduli imajo pomanjkljivost v delovanju vezja in relejskih kontaktih, ki se lahko obrabijo po prestavljanju relejskih izhodov. Poleg elektrokomponent je pomanjkljivost tudi v ogradi celice, ki je sestavljena iz

aluminijastih profilov in pleksi stekla in ima funkcijo ograditve delovne površine, ne pa tudi vstopanja oseb ali predmetov iz zgornje strani celice. Poleg ograditve delovne površine z varnostno ograjo je možnost, da se po naključju znotraj celice znajde oseba ali predmet. Zaradi človeške napake ali nepazljivosti se lahko sproži delovni proces v samodejnem režimu ob nezadostnem pregledu upravljavca.

Na podlagi teorije in obstoječega stanja v organizaciji Hella Saturnus predlagamo spremembe na področju varnostnega delovanja robotov v industriji. Vse varnostne module, ki jih trenutno uporabljamo v skoraj vseh robotskih delovnih območjih, bi lahko zamenjali s programirljivim logičnim krmilnikom (PLC). Programirljivi logični krmilnik je digitalno delujoča elektronska naprava, ki na podlagi ukazov, shranjenih v programirljivem krmilniku, izvaja logične, sekvenčne, časovne in aritmetične časovne operacije ter s tem vodi različne naprave in procese preko binarnih in analognih vhodov in izhodov.



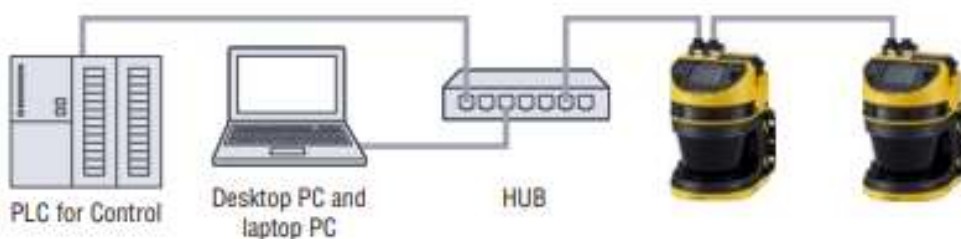
*Slika 19: PLC Siemens*  
(Vir: Siemens, 2022)

Za večjo varnost procesa bi lahko vse varnostne elektrokomponente (stikala, zavese, ključavnice idr.) povezali na programirljive vhode in izhode na posebni funkcijski modul. Programirljivi logični krmilnik bi lahko povezali v komunikacijsko omrežje. Posledično bi se lahko z računalnikom povezali na krmilnik in tako lažje odkrili napako oziroma skrčili velik nabor morebitnih napak.

Za izboljšavo oziroma za večjo zaščito, ker imamo že programirljivi logični krmilnik, bi lahko dodali kamero znamke Keyence tipa SZ-V, ki jo lahko preko mrežne komunikacije povežemo s PLC.



Slika 20: Keyence SZ-V  
(Vir: Keyence, 2021)



Slika 21: Shema povezave keyence SZ-V  
(Vir: Keyence, 2021)

Kamera Keyence SZ-V je opto-elektronska zaščitna naprava, ki se odziva na difazni sistem. Zaznavanje opravljajo opto-elektronski oddajni in sprejemni elementi. Ti zaznajo odboj optičnih sevanj, ki jih ustvarja predmet v delovnem območju. Serija SZ-V lahko varuje območje 8,4 m.

Kamero Keyence SZ-V je možno sprogramirati tako, da v svojem programskem načinu izloči nepremikajoče se predmete (podstavek robota), da se lahko osredotoči na druge vdore v zaščiteno delovno območje.

## 9 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo obravnavali pojavitev nevarnosti v proizvodnem procesu, ki temelji na robotskih sistemih, in sicer v delovnem okolju podjetja Hella Saturnus, d. o. o. Ljudje smo nevarnostim izpostavljeni v vsakodnevnem življenju, saj jih ne moremo popolnoma preprečiti, z nekaterimi procesi, ukrepi in predvsem s samozaščitnimi dejanji pa lahko vseeno vplivamo nanje.

V diplomskem delu smo se osredotočili na to, kako vso varnostno tehniko medsebojno povezati in preprečiti nevarnosti, ki se pojavljajo v delovnem procesu. Ugotovili smo, da varnostne naprave, kot so zaščitne ograje, varnostne svetlobne zavese, ključavnice, pozicijska stikala, tipke za zasilni izklop in varnostna vrata, pripomorejo k večji varnosti v delovnem procesu.

Dolgoletne izkušnje obravnavanega podjetja kažejo učinkovito varno delovanje strojev, hkrati pa inovativno raziskujemo še učinkovitejše varnostne pogoje in varnostne elemente, potrebne za varnost ljudi in še večji nadzor nad omenjenim delovnim področjem.

Dejstvo je, da se tako varnostna kot računalniška tehnologija nenehno izboljšujeta, kar vodi do celovitejših rešitev za še uspešnejše obratovanje delovnega procesa. Posledično pripomoreta tudi k zagotavljanju višje stopnje varnosti v delovnem okolju. Zaradi stremenja podjetja k izboljšavam predlagamo menjavo varnostnih modulov za en programirljivi logični krmilnik, vse skupaj pa bi lahko izboljšali tudi z občutljivo optoelektronsko opremo. S tem bi dosegli dolgoročnejši uspeh v praksi, vendar pa menjava vseh varnostnih modulov naenkrat pomeni tudi velik finančni zalogaj.

## LITERATURA IN VIRI

ABB. (2004–2022). *Robotics: Product manual IRC5*. Pridobljeno 28. 12. 2021 z naslova  
<https://library.e.abb.com/public/7f0ab10f8835426a909ed23c138050c7/3HAC047136%20PM%20IRC5-en.pdf>.

ABB. (2007–2020). *Robotics: Operating manual Emergency safety information*.

ABB. (2009–2020). *Robotics: Product specification IRB 2600*. Pridobljeno 29. 12. 2022 z naslova  
<https://library.e.abb.com/public/57c9bc06c7734c4999a9fb0d621aaa98/3HAC035959%20PS%20IRB%202600-en.pdf?x-sign=7WCEZPyj/LL4KsSyPYh9PD14t+8iQ866nCcAH3Tj7ENRYS1aKK5kZHaH+luMDfj4>.

Dražnik, M. (2011). *Ocena varnosti robotske celice z vgrajenim robotom ACMA XR701 na podlagi varnostnih standardov ISO 10218-1:2006 in ISO 10218-2*. Pridobljeno 6. 11. 2021 z naslova  
<https://dk.um.si/Dokument.php?id=22298&lang=slv>.

Eaton. (2022). *M22-KC01 - Contact element, Screw terminals, Base fixing, 1 NC, 24 V 3 A, 220 V 230 V 240 V 6 A*. Pridobljeno 16. 4. 2022 z naslova  
[https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=216382&locale=en\\_GB](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=216382&locale=en_GB).

Euromap (2015). *Euromap 67: Electrical Interface between Injection Moulding Machine and Handling Device/Robot*. Pridobljeno 15. 1. 2022 z naslova  
[https://www.euromap.org/media/recommendations/67/2015/EU%2067\\_Ver\\_1.11\\_May2015.pdf](https://www.euromap.org/media/recommendations/67/2015/EU%2067_Ver_1.11_May2015.pdf).

Grm, S. (2015). *Varnostni releji in varnostni krmilniki v industrijskih sistemih*. Pridobljeno 22. 1. 2022 z naslova <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=80089&lang=eng>.

Hella Saturnus d. o. o. (b. l.). *O Helli na kratko*. Pridobljeno 6. 11. 2021 z naslova  
<https://www.hella.com/hella-si/si/O-HELLI-na-kratko-60.html>.

K. A. Schmersal GmbH & Co. KG (2016a). *Operating instructions Position switch with safety function*. Pridobljeno 29. 1. 2022 z naslova  
<http://pzip.ru/downloads/schmersal/Position-switch---ZS-332-11Y-operating-instructions.pdf?sku=ZS%20332-11Y>.

K. A. Schmersal GmbH & Co. KG (2016b). Operating instructions Solenoid interlock. Pridobljeno 29. 1. 2022 z naslova [https://www.walkerindustrial.com/v/vspfiles/pdf/datasheet/Schmersal/azm190\\_en.pdf](https://www.walkerindustrial.com/v/vspfiles/pdf/datasheet/Schmersal/azm190_en.pdf).

K. A. Schmersal GmbH & Co. KG (2017). *Operating instructions Safety-monitoring module: Schmersal*. Pridobljeno 16. 1. 2022 z naslova <https://www.tme.eu/Document/add7578f9afd5444ec64885fbd35b448/SRB301LC-SERIES-EN.pdf>.

Keyence. (2021). *Safety Lser Scanner: SZ-V Series User's Manual*. Pridobljeno z 4. 7. 2022 naslova [https://movetec.fi/wp-content/uploads/2021/11/SZ-V\\_turvalaserskanneri\\_manuaali.pdf](https://movetec.fi/wp-content/uploads/2021/11/SZ-V_turvalaserskanneri_manuaali.pdf).

KMS, d. o. o. (b. l.). *Serija CX – stroji za brizganje plastike KRAUSS MAFFEI*. Pridobljeno 8. 1. 2022 z naslova <https://www.kms.si/sl/component/content/article/41-predstavitev/47-11?Itemid=283>.

Leuze. (b. l.). *MLC Safety light curtains*. Pridobljeno 23. 1. 2022 z naslova <https://www.leuze.com/en-int/products/safety/safety-products/safety-light-curtains/mlc-safety-light-curtains?p=1>.

Leuze electronic. (2013). *MSI-RM2B: Safety Relays*. Pridobljeno 23. 11. 2021 z naslova <https://files.valinonline.com/userfiles/ct/documents/leuze-electronic/leuze-msi-rm2.pdf>.

ProElektronika. (b. l.). *E-Stop tipke*. Pridobljeno 23. 4. 2022 z naslova <https://proel.si/proizvodi/stikalna-oprema/tipke/e-stop-tipke/>.

Schmersal: The DNA of safety. *SRB301LC/B 24V*. Pridobljeno 18. 1. 2022 z naslova [https://products.schmersal.com/en\\_GB/srb301lcb-24v-6792.html](https://products.schmersal.com/en_GB/srb301lcb-24v-6792.html).

Siemens. (b. l.). *Mais poder para controle*. Pridobljeno 28. 5. 2022 z naslova <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/automacao/sistemas-simatic/simatic-technology.html>.