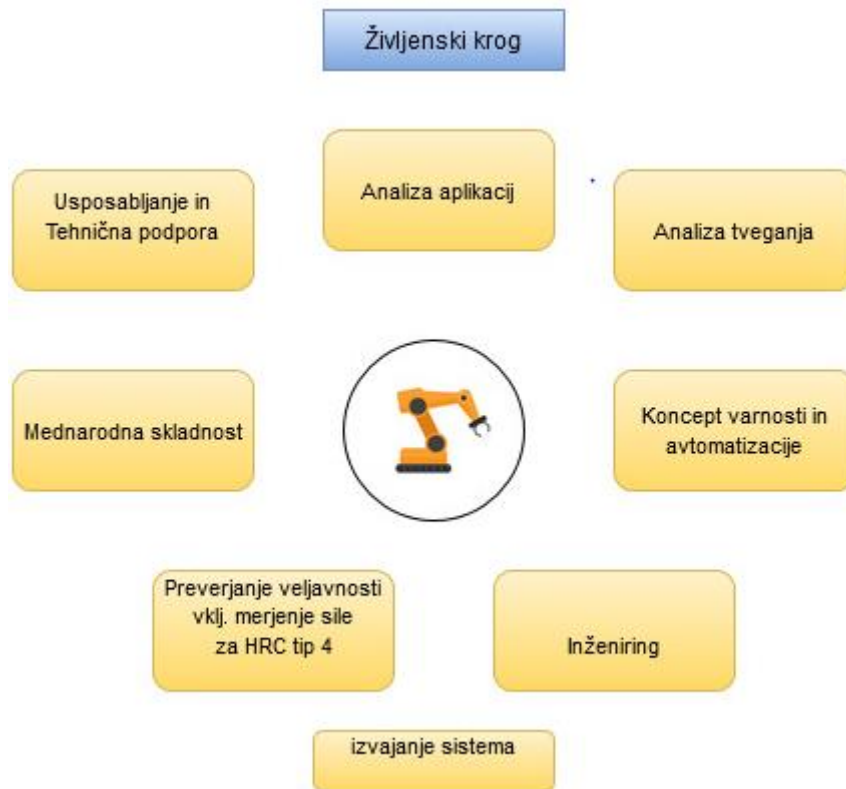


# VARNOST STROJEV

## Industrijski roboti

Sodelovanje človek – robot (HRC - human-robot collaboration)





### **Analiza aplikacije**

Dokumentacija glavnih perifernih naprav načrtovane robotske aplikacije. Zahteve glede postopka in varnosti, kot so čas cikla, natančnost ponavljanja, delovno mesto, nevarna območja, itd., so vključeni v grobe načrte sistema. Nato se opravi tehnično in ekonomsko vrednotenje.

### **Analiza tveganja - Ocena tveganja**

Pregled uporabe robota v skladu z veljavnimi standardi in direktivami ter ocena obstoječih nevarnosti.

### **Varnostni koncept**

Razvoj podrobne tehnične rešitve za varnost uporabe robota z mehanskimi, elektronskimi in organizacijskimi ukrepi.

### **Varnostna zasnova**

S podrobno izdelavo potrebnih varnostnih (zaščitnih) ukrepov se nevarna območja uporabe zmanjšajo ali odpravijo.

### **Implementacija sistema**

Rezultati ocene tveganja in varnostnega koncepta se izvajajo tako, da ustrezajo določenim zahtevam z izbranimi varnostnimi ukrepi.

### **Preverjanje veljavnosti**

Pregled in zrcaljenje koncepta ocene tveganja in varnosti ter izvedba meritev trkov v skladu z mejnimi vrednostmi ISO / TS 15066.

## **Mednarodna skladnost**

Zagotavljanje skladnosti strojev z zakonskimi zahtevami, na primer z oznako CE v Evropi ali OSHA v ZDA, NR-12 v Braziliji, KOSHA v Koreji, GOST v Rusiji ali CCC na Kitajskem.

## **Usposabljanje in tehnična podpora**

Širjenje strokovnega znanja v zvezi z varno uporabo robotov.

### **1 Normativne specifikacije za uporabo industrijskih robotov**

V skladu z Direktivo o strojih 2006/42 / ES je robotski sistem delno dokončan stroj. To pomeni, da je treba robotske sisteme sprva razvrstiti kot varne in jih je treba označiti s CE.

To je posledica dejstva, da robot sam po sebi nima nobenega določenega namena. Njeno predvideno uporabo določi le integrator, ki ustvari robotsko aplikacijo in robota opremlja z orodjem.

Integrator je oseba, ki daje stroj na trg (robotska celica). Izvesti mora postopek ugotavljanja skladnosti, ki se zaključi z ES-izjavo o skladnosti.

Za podrobne varnostne zahteve sta na voljo dva standarda ISO 10218 „Varnost industrijskih robotov“, 1. del: „Roboti“ in 2. del: „Robotski sistemi in integracija“.

Slovenski različici obeh delov sta objavljeni kot SIST EN ISO 10218-1: 2011 in SIST EN ISO 10218-2: 2011 in sta navedeni pod Direktivo o strojih 2006/42 / ES.

EN ISO 10218-1 se nanaša izključno na dejanski robotski sistem. V nasprotju s tem EN ISO 10218-2 širi perspektivo na celotno robotsko aplikacijo.

Oba standarda sta standarda tipa C. To pomeni, da gre za standarde, specifične za posamezne proizvode, ki so v hierarhiji razvrščeni nad standarde tipa A in tipa B.

V praksi pa so se standardi izkazali za nezadostne, ko gre za varno izvajanje dejanskega sodelovanja med človekom in strojem, v katerem se lahko delovna področja časovno in prostorsko prekrivajo. Standardi so vsebovali vrzel, ki je bila zaprta z objavo tehnične smernice ISO / TS 15066.

HRC (sodelovanje človek – robot) zahteva zaščitne ukrepe za zagotovitev, da je med sodelovanjem ves čas zagotovljena človekova varnost. ISO / TS 15066 podrobno opisuje štiri vrste sodelovanja kot zaščitno načel. Poleg tega so tu določene največje dovoljene biomehanske mejne vrednosti za trk med ljudmi in roboti.

### **2 Robotske aplikacije z vidika EN ISO 10218-2**

Kot smo že omenili, ima EN ISO 10218-2 širši poudarek. Preučiti celotno aplikacijo robota.

Robotska celica je lahko sestavljena iz naslednjih komponent:

- Industrijski roboti
- Končni efektor (robotsko orodje)
- Obdelovanec
- Strojna oprema

V nasprotju s tehnologijo rotacijskega pogona, varnostne funkcije niso jasno poimenovane in določene v standardih za robotiko.

Varnostne funkcije industrijskega robotskega sistema lahko vključujejo:

- Varena zaustavitev
- Varno zmanjšana hitrost
- Varna omejitev osi
- Varno spremljanje delovnega prostora
- itd.

Podrobna specifikacija je vedno odvisna od proizvajalca in se lahko razlikuje. Iz tega razloga je zelo pomembno, da pregledate certifikate zadevnih proizvajalcev, da lahko razvrstite stopnjo učinkovitosti varnostnih funkcij.

Raven učinkovitosti delov, povezanih z varnostjo, v krmilnih sistemih je opisana v poglavju 5.2 standarda EN ISO 10218-2. V točki 5.2.2 je določena dvokanalna nadzorna struktura, PL d, kat. 3 v skladu z EN ISO 13849-1.

### 3 Sodelovanje med človekom in robotom ter ISO / TS 15066

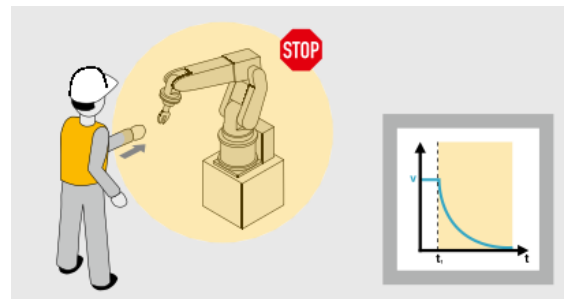
EN ISO 10218-2 se dotika samo teme sodelovanja med človekom in robotom. Zaradi tega je bila ustvarjena tehnična specifikacija ISO / TS 15066. Ta je na voljo od februarja 2016 in podrobno obravnava temo HRC.

V TS 15066 so kot načela varnosti (zaščite) opisane štiri vrste sodelovanja. Te štiri metode je mogoče uporabiti posamično za varnostne aplikacije HRC. Vsako posebej - ali v kombinaciji.

#### **Metoda 1: Varnostno nadzorovana zaustavitev**

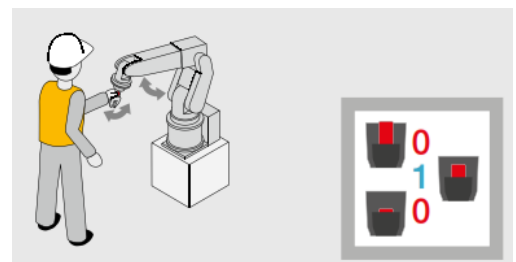
Človek ima dostop do robota le, ko se robot ustavi («varnostno nadzorovana zaustavitev»). Vidiki senzorske tehnologije tukaj niso obravnavani.

Robotski sistem se ne sme samodejno in nepričakovano znova zagnati. To se lahko zgodi na primer zaradi napak na varnostnih delih krmilnih sistemov.



#### **Metoda 2: Vodenje z rokami**

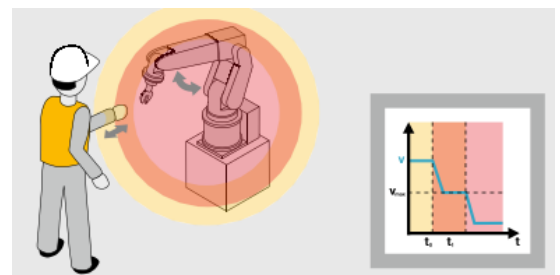
Tu ima človek tudi dostop samo do mirujočega robota. Ročno vodenje robotskega sistema lahko omogočite le z ročnim upravljanjem naprave za omogočanje.



#### **Metoda 3: Nadzor hitrosti in ločevanja**

S to metodo razdaljo med človekom in robotom stalno spremlja senzor. Robotski sistem se premika z ustrezno varno zmanjšano hitrostjo.

Bolj ko se človek približa robotu, počasnejši je robot. Če je razdalja prekratka, se sproži varnostni postanek.



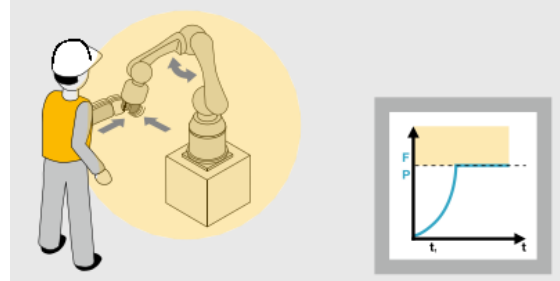
Trenutno na trgu ni nobene senzorske tehnologije, ki bi lahko v celoti preslikala 3. metodo na varnostni način. V statični različici je to trenutno mogoče pri optičnih bralnikih ali SafetyEYE.

Varnost je zagotovljena v prvih treh metodah z vzdrževanjem razdalje med človekom in strojem. Trk med človekom in robotom tukaj ni dovoljen. Pri izvajanju ene od teh treh metod niso potrebni posebni roboti HRC. Uporabljajo se lahko standardni industrijski roboti, ki so opremljeni z ustreznimi varnostnimi paketi za nadzor hitrosti ali nadzor delovnega prostora s strani proizvajalca.

#### **Metoda 4: Omejevanje moči in sile**

V nasprotju z metodami 1 do 3 je pri metodi 4 možen stik med človekom in robotom "v določenih okoliščinah". Proizvajalec aplikacije pa mora zagotoviti, da trk človeka in robota za človeka ni nevaren.

Proizvajalec aplikacije to potrdi s podpisom na izjavi o skladnosti.



Za varno aplikacijo HRC so potrebni robotski sistemi, ki so posebej zasnovani za posamezno vrsto sodelovanja. Zmanjšanje tveganja je mogoče izvesti bodisi z uporabo vrst sodelovanja bodisi z naravno varno zasnovo robota in delovnega prostora.

V tem primeru pomeni, da robotski sistem zaradi svojih konstrukcijskih lastnosti ne more povzročiti nevarnega trčenja.

#### **Zmanjšana sila / moč robota**

Robotski sistem, ki zaradi senzorske tehnologije "začuti" trčenje in nato ustavi gibanje.

To zaznavanje trkov je izvedeno z uporabo delov robotskega nadzornega (krmilnega) sistema. Glede zahtev, ki veljajo za varnostne dele krmilnih sistemov, se TS 15066 sklicuje na prej obravnavano poglavje 5.2 EN ISO 10218-2 (PL d, kat. 3).

Trke je tako mogoče omiliti na več načinov: z ukrepi varnega načrtovanja, kot so zaobljeni robovi in vogali, oblazinjenje ali največje možne kontaktne površine, da se sila porazdeli po površini. Lahko se uporabijo tudi tehnični varnostni ukrepi (npr. zmanjšanje dinamike premikov robota in prilagajanje poti robota, da se prepreči trčenje s posebej občutljivimi predeli telesa). Izobraževanje osebja lahko pomaga tudi zmanjšati tveganje za poškodbe.

Končno pa je nujno, da se z merilnim postopkom izračuna, ali so morebitni trki nenevarni z vidika varnosti. Priloga A k tehnični specifikaciji ISO / TS 15066 vsebuje model telesa z 29 posebnimi področji telesa, razdeljenimi na dvanajst delov telesa.

Model telesne površine ponuja podrobnosti o ustreznem pragu bolečine za vsak del telesa (npr. na glavi, roki, roki ali nogi) z upoštevanjem sile in pritiska. Mejne vrednosti določajo, kdaj se bolečina začne.

Te mejne vrednosti določajo največjo silo, ki ji je lahko izpostavljena ustrezna telesna regija med trkom. Najobčutljivejše področje je glava. Moral bi biti v največji možni meri izključen trk z glavo med predvideno uporabo. Če aplikacija ob stiku med človekom in robotom ostane znotraj teh omejitev, ustreza standardu.

ISO prav tako jasno razlikuje med vrsto trčenja. Obstajata dve različni vrsti trkov:

- **Prehodni stik** med človekom in robotom. To ustreza udarcu robota. Robot zadene človeka, vendar ima možnost, da se umakne. Ni ujet.

TS 15066 meni, da je ta vrsta trka manj nevarna kot kvazistatični kontakt. Iz tega razloga TS dovoljuje dvojne mejne vrednosti za trk, pri katerem človek ni zmečkan. Glava je izjema. Mejnih vrednosti tukaj ni dovoljeno podvojiti.

- **Navidez statični stik** med človekom in strojem. Ta stik ustreza drobljenju človeka. V neposredni bližini človeka je fiksna površina (naprave, stroji ali gradbene konstrukcije). Izogibanje ni mogoče, ustrezna telesna regija je zdrobljena in oseba je morda ujeta in se ne more osvoboditi. TS dovoljuje samo dvojne mejne vrednosti za prvih 0,5 s trka. Vendar to ne velja za področja telesa, ki vplivajo na glavo.

#### **4 Potrditev (preverjanje)**

Preverjanje pomeni preverjanje dejanske aplikacije.

Vsi ukrepi za zmanjšanje tveganja iz ocene tveganja se ponovno preverijo glede izvedbe in učinkovitosti.

Faza potrjevanja robotske celice obsega naslednje ravni:

##### **1. raven: Izračun ravni zmogljivosti**

Potrebni PL je bil določen že v fazi načrtovanja. Zdaj se za vsako varnostno funkcijo izvede preverjanje, ali je z izbranimi komponentami dejansko dosežen zahtevani PL.

To je mogoče izvesti tudi s podpornimi orodji, kot je na primer varnostni kalkulator.

##### **2. stopnja: Preverjanje varnosti**

Vse komponente se preverijo glede pravilne izvedbe na celotni robotski celici. Cilj je odkriti napake med namestitvijo, programiranjem in zagonom. Preverjanje zlasti robotskih sistemov je resničen izziv zaradi njihove visoke stopnje zmogljivosti. Ne samo, da je treba potrditi robote, ampak tudi vse druge obrobne naprave v aplikaciji.

##### **3. stopnja: merjenje prekoračitve**

Če so bile v sistem nameščene optične varnostne naprave, je treba preveriti, ali so bile nameščene v skladu z EN ISO 13855. To se izvede s kalibrirano in certificirano napravo za merjenje prekoračitve in, če je preizkus opravljen, potrdi z pečatom pregleda na optični napravi. Čas za naslednji pregled mora biti tudi jasno čitljiv na pečatu.

##### **4. stopnja: pregled trka**

Aplikacije HRC, ki že sledijo metodi 4 - kot smo že omenili - in pri kateri je možno trčenje med ljudmi in roboti, morajo ohranjati biomehanske mejne vrednosti iz ISO / TS 15066.

Skladnost z biomehanskimi mejnimi vrednostmi je nujno potrebna, ne glede na to, ali gre za sam po sebi varen robotski sistem ali robotski sistem z zmanjšano silo / močjo.

ISO / TS 15066 daje navodila o matematični zasnovi skupnega robotskega sistema. Vendar je to le teoretičen pristop. Ta pristop upošteva le prehodni stik. Matematične rešitve za kvazi statični kontakt ni. Tako je praktično preverjanje vrednosti trkov, ki se dejansko pojavijo, nujno potrebno.

Med pregledom trka se preverijo vsi možni scenariji trčenja v resničnih situacijah.

Tu se simulira vsako področje telesa z uporabo informacij, ki so na voljo v standardu ISO / TS 15066. Z posebej za to razvito napravo za merjenje trkov se zabeležijo značilne vrednosti trka.

## 5 Namen meritve

Načeloma so vsa gibanja robotov lahko nevarna!

Človeka je zato treba zaščititi pred robotom. Da bi zaščitili delavca, je bila prej praksa stroga ločitev človeka in stroja. Robot je med izvajanjem svojih nalog ostal zaprt v celici.

Zahvaljujoč novi generaciji robotov in tehnologij danes varnostna ograja morda ne bo več potrebna, če trčenje ne bo več nevarno.

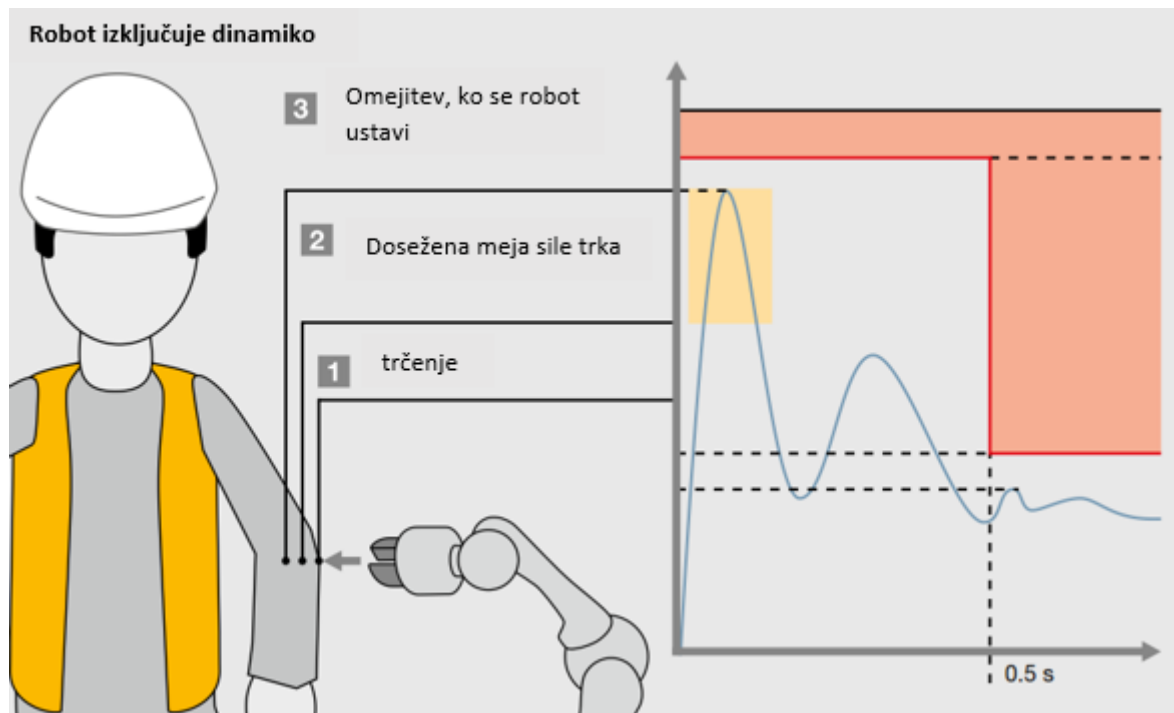
V robotski aplikaciji, v kateri si človek in stroj delita delovni prostor in ni varnostne ograje, ki bi zagotavljala varnost, je za spoštovanje mejnih vrednosti odgovorna oseba, odgovorna za postopek označevanja CE.

Robotski sistem tega sam ne zmore! Ne upošteva dinamike.

V robotskih sistemih z zmanjšano silo / močjo je treba v varnostni del krmilnega sistema vnesti mejne vrednosti; namenjeni so varnemu trčenju. Vendar te vrednosti ne veljajo za absolutne.

Kaj se zgodi v resnici?

- 1 Če pride do trka, robot najprej "začuti" odpor. Sila robota je sprva pod določeno mejo sile. Robot zdaj poskuša ohraniti svojo pot in bo povečal moč pogonov.
- 2 Proti sila se poveča in robot doseže nastavljeno mejo sile za trk.
- 3 Šele na tej točki začne robot ustaviti gibanje. Zavorna pot nastopi po trku, torej znotraj človeškega telesa.



Upoštevati je treba teme prekoračitve in reakcijskih časov, tudi pri lahkih robotih. V resnici so pogosto doseženi večkratniki nastavljenih vrednosti trkov.



Zmanjšanje dinamike robota je pogosto edino sredstvo.

Preverjanje vrednosti trkov s tehničnimi meritvami je bistvenega pomena, da lahko izjavo o skladnosti še vedno oddate v dobri veri.

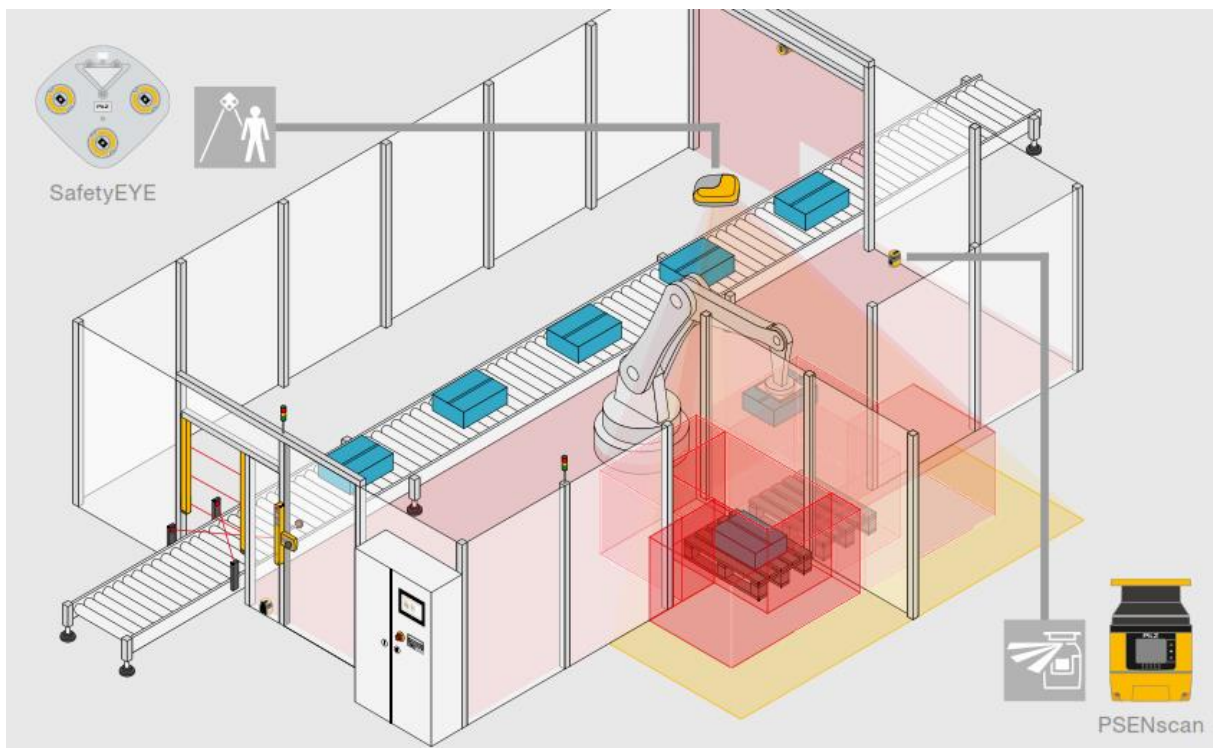
Pomembno je, da so takšne vrste meritev in vse druge merilne tehnike razumljive, pregledne in ponovljive.

Zato je uporabna naprava za merjenje trkov za to specifično merjenje sile in tlaka. Naprava je opremljena z vzmetmi in ustreznimi senzorji in natančno meri sile, ki delujejo na človeško telo, in jih primerja z mejnimi vrednostmi. Merilna naprava je nameščena na položajih, določenih v oceni tveganja, med robotsko roko in togo, neprožno površino. Ta simulira kvazi statični kontakt, npr. delavec, ki ga stiskajo med robotom in napravo. Meritve se začnejo s programsko opremo, podatki pa se nato obdelajo in dokumentirajo.



Test je priporočljivo izvesti do desetkrat, odvisno od merilnega mesta. Za preverjanje velja najvišja vrednost, tj. "najslabši primer".

Če so mejne vrednosti presežene, je treba vgraditi dodatne varnostne ukrepe, kot je svetlobna mreža ali varovalo (zaščita).



*Zaščita nevarnih con z varnostnim laserskim skenerjem in varnim sistemom kamer*



<b>SIST EN ISO 10218-1:2011</b>	Roboti in robotske naprave - Varnostne zahteve za industrijske robote - 1. del: Roboti
---------------------------------	--

Ta del ISO 10218 določa zahteve in smernice za varno zasnovo, zaščitne ukrepe in navodila za uporabo industrijskih robotov. Opisuje osnovne nevarnosti, povezane z roboti, in podaja zahteve za preprečevanje ali ustrezno zmanjševanje tveganj, povezanih s temi nevarnostmi. Ta del ISO 10218 ne obravnava robota kot celotnega stroja. Emisije hrupa v splošnem ne veljajo za pomembno nevarnost samega robota, zato je hrup izključen iz obsega uporabe tega dela ISO 10218. Ta del ISO 10218 ne velja za neindustrijske robote, čeprav se varnostna načela, vzpostavljena v ISO 10218, lahko uporabijo za te druge robote.

<b>SIST EN ISO 10218-2:2011</b>	Roboti in robotske naprave - Varnostne zahteve za industrijske robote - 2. del: Robotski sistem in integracija v proizvodno linijo
---------------------------------	--

Ta del ISO 10218 določa varnostne zahteve za integracijo industrijskih robotov in industrijskih robotskih sistemov, kot so opredeljeni v ISO 10218-1, ter industrijskih robotskih celic. Integracija vključuje: a) načrtovanje, izdelavo, vgradnjo, obratovanje, vzdrževanje in umik iz obratovanja industrijskega robotskega sistema ali celice; b) potrebne informacije za načrtovanje, izdelavo, vgradnjo, obratovanje, vzdrževanje in umik iz obratovanja industrijskega robotskega sistema ali celice; c) sestavne pripomočke industrijskega robotskega sistema ali celice. Ta del ISO 10218 opisuje osnovne nevarnosti in nevarne situacije, identificirane pri teh sistemih, in podaja zahteve za preprečevanje ali ustrezno zmanjševanje tveganj, povezanih s temi nevarnostmi. Čeprav je hrup identificiran kot pomembna nevarnost pri industrijskih robotskih sistemih, ga ta del ISO 10218 ne obravnava. Ta del ISO 10218 tudi določa zahteve za industrijski robotski sistem, ki je del integriranega proizvodnega sistema. Ta del ISO 10218 ne obravnava posebej nevarnosti, povezanih s procesi (npr. laserskega sevanja, izmetavanja sekancev, dima pri varjenju). Za take procesne nevarnosti se lahko uporabijo drugi standardi.

<b>ISO/TS 15066</b>	Tehnična specifikacija - Roboti in robotske naprave - sodelovalni roboti
---------------------	--

Tehnična specifikacija ISO / TS 15066 ni standard, temveč posodablja obstoječe varnostne standarde robotov. Poleg EN 10218 je tehnična smernica sprejeta kot najboljša praksa glede sodelovanja med človekom in robotom. Medtem ko EN 10218 navaja, da kakršen koli kontakt ne bi smel povzročiti poškodbe, ISO / TS 15066 navaja omejitve sile in hitrosti, da bi to izpolnjevali. Specifikacija ne nadomešča ocene tveganja, podane v EN 10218, ampak je prvič smiselna. ISO / TS 15066 uvedemo v splošno identifikacijo nevarnosti in oceno tveganja v zvezi s sistemi sodelovanja med človekom in robotom. Nato so predstavljene zahteve za skupne robotske systemske aplikacije. Tu ločimo štiri različne načine delovanja:

*Varnostno nadzorovan postanek* omogoča gibanje robota samo, če je operater zunaj skupnega delovnega prostora. Takoj, ko vstopi v interakcijo, se gibanje robota ustavi, dokler tega ne zapusti (na sliki, a).

*Spremljanje hitrosti in ločevanja* gre še korak dlje, saj operaterju omogoča vstop v delovni prostor za sodelovanje. Tu se hitrost gibanja robota dinamično spreminja, odvisno od razdalje med operaterjem in robotom. Če razdalja pade pod najmanjšo zaščitno razdaljo, se robot ustavi (na sliki, b).

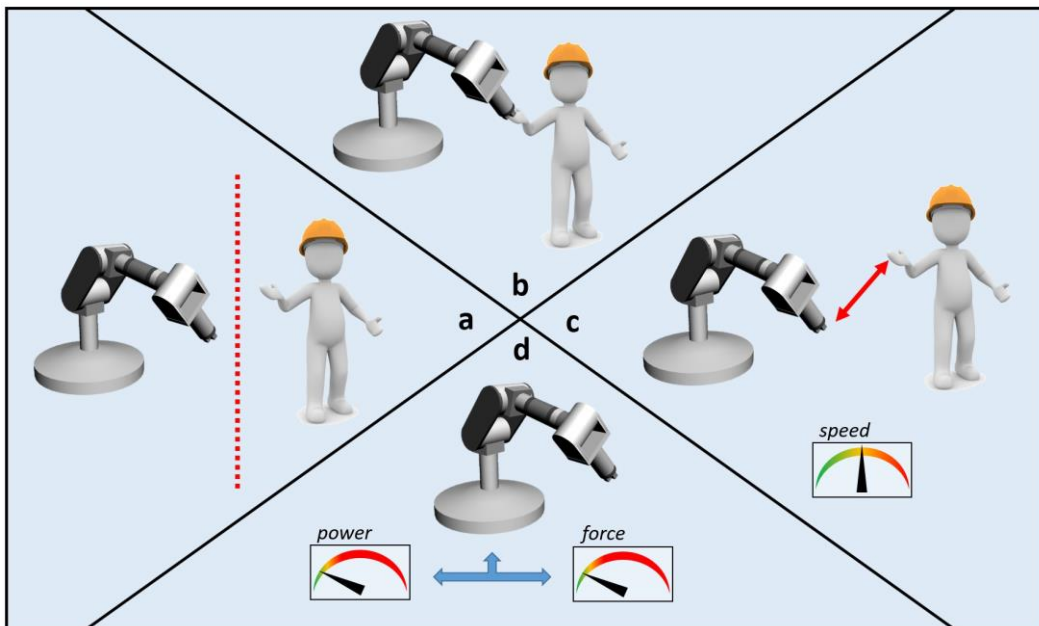
*Ročno vodenje* gre še korak naprej. V tem primeru ob stiku med človekom in robotom lahko operater vodi robota tako, da ga ročno premika znotraj skupnega delovnega prostora, npr. z ročno vodilno

napravo ali z uporabo senzorja navora sile na srednji točki orodja, ki prenaša ročni vnos v gibanje robota (na sliki, c).

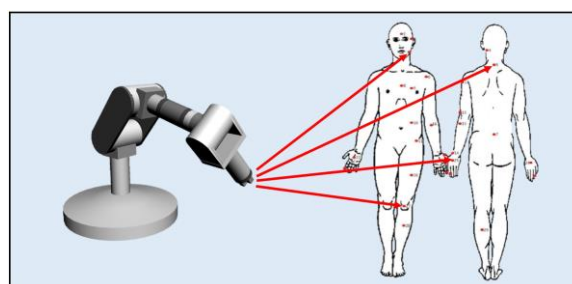
Na koncu *omejitev moči in sile* omogoča popolnoma skupni delovni prostor za sodelovanje in možnost nenamernih in nepredvidljivih trkov med človekom in robotom. Da bi zagotovili varnost, sta moč in sila omejeni, s tem zagotovimo skladnost z dano mejo biomehanske sile ali tlaka (na sliki, d).

Te biomehanske meje (največji tlak in sile) za kvazi statični in prehodni stik so odvisne od različnih delov telesa, ki so v risbah prikazane kot rdeče pike.

Uvedene so enačbe za izračun prehodnih vrednosti mejnih hitrosti stika. Zaradi tega je mogoče izvesti konkretne nastavitve (največja hitrost, sila) na robotskem sistemu, da se zagotovi varnost po oceni tveganja.



*ISO / TS 15066: 2016 skupni načini delovanja*



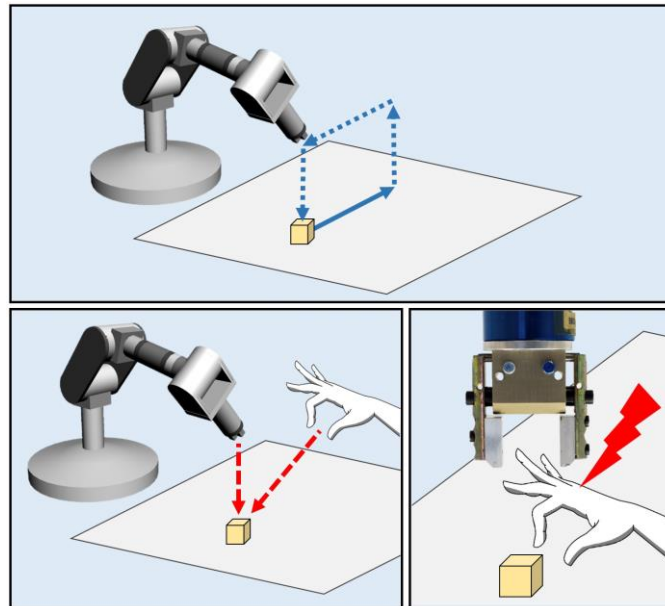
*ISO / TS 15066: 2016 model telesa in različni deli telesa*

Razlog za razdelitev sodelovanja med človekom in robotom na različne načine delovanja najdemo na različnih področjih uporabe. Primeri proizvodnje, kjer je običajno treba določiti moč ali silo, je mogoče obravnavati z varnostno nadzorovanimi koraki, medtem ko običajne primere uporabe, kot je sestavljanje ali pakiranje, najboljše zajemajo uvedeni načini omejevanja moči in sile ali vodenja z roko.

#### PREIZKUS

V tem delu je izveden poskus, da se dokaže uporaba ISO / TS 15066 in tudi, da je robotski sistem še vedno nevaren, če je ocena tveganja za določeno aplikacijo izvedena nestrokovno. Scenarij vsebuje nalogo pick-and-place, kot je prikazano na spodnji sliki na vrhu. V abstraktnem postopku sestavljanja

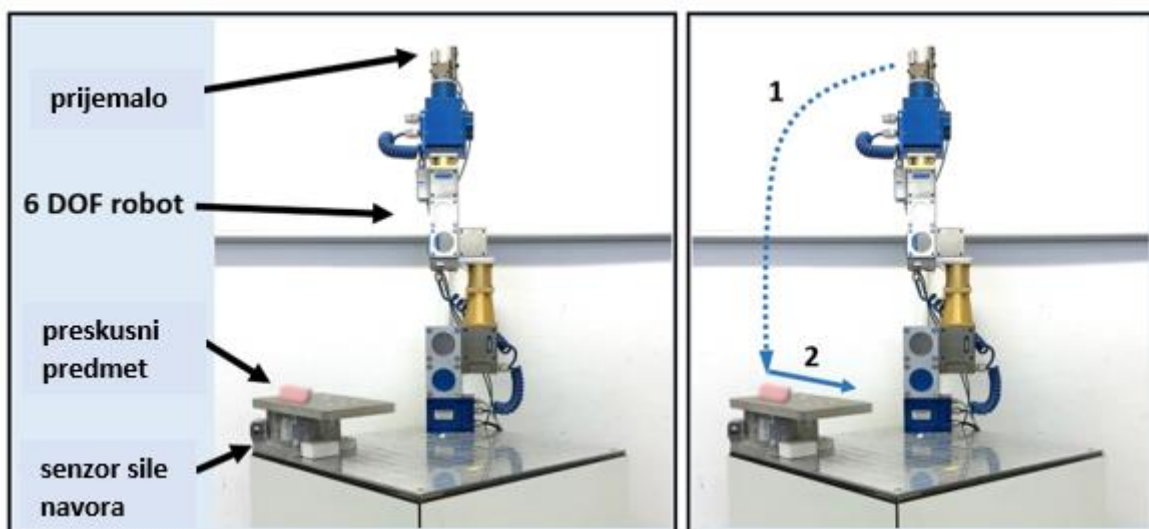
se obdelovanec, ki ga simbolizira kocka, izbere in premakne (narisana neprekinjena črta) na drug položaj.



Ker je predvideno sodelovanje človeka z robotom v okviru tega postopka sestavljanja, so vsa varovala zmanjšana na raven, kjer lahko delavec nekaj položi ali kaj prime izven območja delovanja robota. Zaradi tega lahko pride do nenamerne stika med človekom in robotom. V okviru ocene tveganja je bil izbran način delovanja in omejevanje moči.

Poskusna postavitve

Uporabljena kinematika je standardna robotska roka 6 DOF (sestavljena iz modulov Schunk Amtec PowerCube) z prijemalnikom kot končnim efektorjem. Kot določena površina telesa je izbran hrbet delavčeve roke. Potencialna nevarnost je lahko prehodni stik med prijemalom in roko, čemur sledi vpenjanje in vlečenje vzdolž roke, medtem ko nadaljuje načrtovano nalogo pick-and-place. Sile, ki jih je robot uporabil na roki, so bile izmerjene s sistemom senzorja navora sile, da se zagotovi, da so znotraj dovoljenih meja. Celotna eksperimentalna postavitve je razvidna iz slike.



Kot je opisano zgoraj, se v tem primeru zmanjšanje tveganja doseže z omejevanjem največje sile in navora robotskega sistema, kar posledično vpliva na omejevanje moči in hitrosti. Zahtevane

vrednosti so podane v ISO / TS 15066 [17] ali pa so določene z enačbami, prav tako navedenimi v [17]. Omejiti je treba največji dovoljeni tlak in silo za to določeno površino telesa (tudi v primeru kvazi statičnega stika):

$$F_{max} = 140 \text{ N}$$

$$P_{max} = 200 \text{ N/cm}^2$$

Te omejitve (podane v [17]) so v primeru prehodnega stika dvojne. Izračuna se lahko največja relativna hitrost med človekom in robotom:

$$v_{rel-max} = \frac{F_{max}}{\sqrt{\mu k}} = \frac{F_{max}}{\sqrt{\frac{m_H m_R}{m_H + m_R} k}} = 0,6730 \text{ m/s}$$

pri čemer je  $m_H = 0,6 \text{ kg}$  za človeško roko in  $m_R$  je vsota polovice celotne mase gibljivih delov robota in dejanske nosilnosti, skupaj ocenjene na  $15 \text{ kg}$ .

$k$  je efektivna vzmetna konstanta in za zadnji del roke, podana s  $75 \text{ N/mm}$ .

Največja dovoljena energija prenosa  $E$  med prehodnim stikom je omejena na  $0,49 \text{ J}$ . Prenesena energija je povezana s hitrostjo robota:

$$E = \frac{1}{2} \mu v_{rel}^2$$

$$\rightarrow v_{rel} = \sqrt{\frac{2E}{\mu}} = 0,5654 \text{ m/s}$$

Največja hitrost  $v$  je omejena na njen neposredni izračun ali je rezultat največje dovoljene prenosne energije ( $E$ ):

$$v_{max} = \max(v_{rel}, v_{rel-max})$$

$$\rightarrow v_{max} = v_{rel} = 0,5654 \text{ m/s}$$

Povzeto: v skladu z zgoraj opisanim scenarijem in po opravljeni oceni tveganja bi lahko robot morda zagrabil hrbet človeške roke s silo  $140 \text{ N}$  na kontaktno površino, manjšo od  $1 \text{ cm}^2$ , npr. s sprednjo stranjo ene same prijemalne čeljusti. To se lahko zgodi, medtem ko delavec poskuša nepredvidno prijeto obdelovanec in se z roko znajde med obdelovancem in prijemalom. V tem trenutku je lahko relativna hitrost med človeško roko in prijemalko robota precej manjša od dovoljene  $v_{max} = 0,5 \text{ m/s}$

Kljub temu ISO / TS 15066 določa: „omejitve bodo preprečile pojav predrtja kože ali mehkih tkiv“.

### Omejevanje moči in sile (ISO / TS 15066)

Zmanjšanje tveganja za morebitne stike, pri katerih operater ne bo poškodovan:

- Določite pogoje za takšen stik
- Ocenite potencial tveganja za takšne stike
- Oblikujte sistem robotov in delovni prostor za sodelovanje, tako da je stik redek in se mu je mogoče izogniti
- Upoštevajte regije telesa operaterja, izvor kontaktnega dogodka, verjetnost ali frekvenco, vrsto (kvazi statične ali prehodne), sile, hitrosti...

Stik z glavo, grlom in vratom je potrebno preprečiti.

## Nadzor hitrosti in ločevanja (ISO / TS 15066)

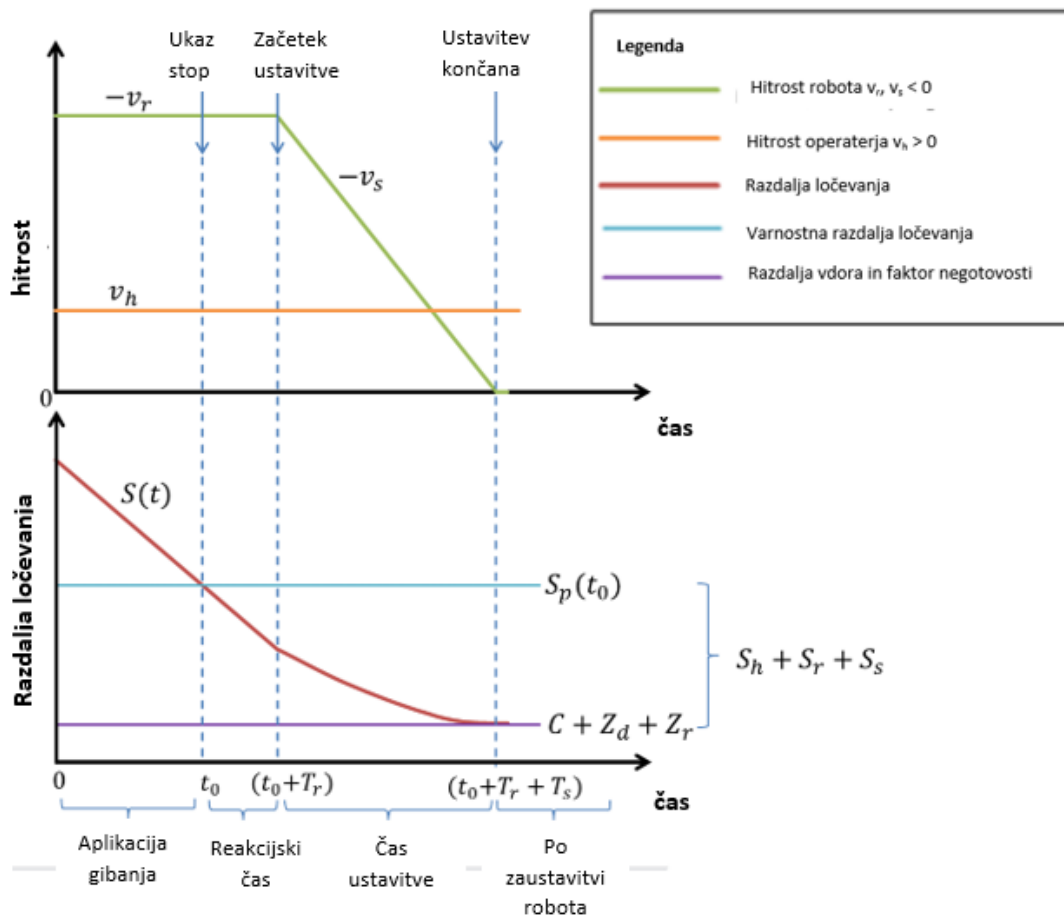
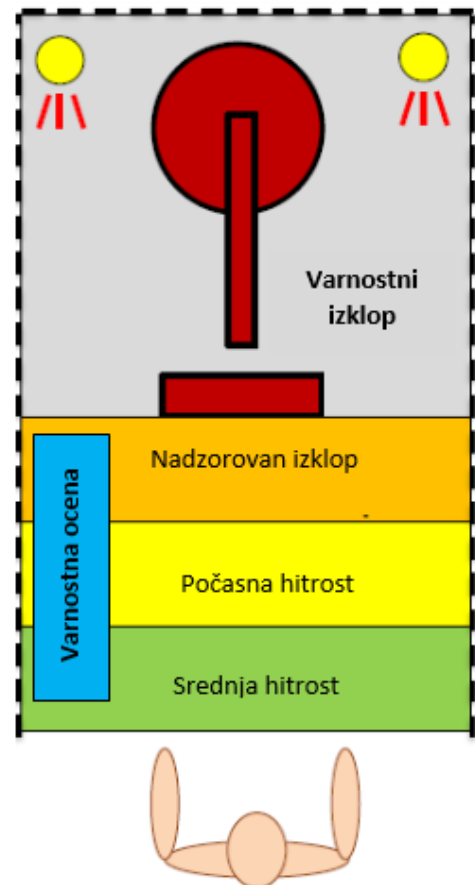
Operater in robotski sistem se lahko hkrati premikata v skupnem delovnem prostoru ...

- Najmanjša varnostna razdalja med operaterjem in robotskim sistemom je vedno ohranjena.
- Zahteva varnostne naprave, ki se uporabljajo za določanje pristopa (zmanjšanje varnostne oddaljenosti)
- Hitrost se zmanjša (varnostno ocenjena), da se ohrani minimalna varnostna razdalja
- Če je kršena minimalna varnostna razdalja, varnostna naprava sproži varnostni izklop (stop zahtevan z varnostno oceno)

Varnostna razdalja ločevanja  $S_p$

$$S_p(t_0) = S_h + S_r + S_s + C + Z_d + Z_r$$

- $S_h$  = Operaterjeva sprememba lokacije  
 $S_r$  = Robotova sprememba lokacije  
 $S_s$  = Zavorna pot robota  
 $C$  = Prodirna razdalja, po kateri se lahko del telesa premakne proti nevarnemu območju pred sprožitvijo varovala  
 $Z_d + Z_r$  = Negotovost položaja za robota in operaterja



## Ocena tveganja (RIA TR R15.306)

RIA – Robotic Industries Association

TR – Tehnično poročilo

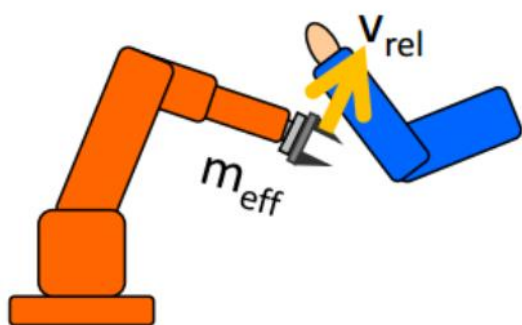
<b>OCENA TVEGANJA – tabela 2 delno</b>			
Resnost	Izpostavljenost	Verjetnost Izogibanje	Stopnja tveganja
<b>S1 Majhna</b>	E1 nizka	A1 verjetno	Zanemarljivo
	E2 visoka	A2 ali A3 ni verjetno – ni možno	Nizka
<b>S2 Zmerno</b>	E1 nizka	A1 verjetno	Srednja
	E2 visoka	A2 ali A3 ni verjetno – ni možno	Visoka
<b>S3 Resno</b>	E1 nizka	A1 ali A2 delno verjetno	Zelo visoka
	E2 visoka	A3 ni možno	

Ukrep za zmanjšanje tveganja	Stopnja tveganja				
	Zelo visoka	Visoka	Srednja	Nizka	Zanemarljiva
Nadomestna izločitev Omejite interakcijo	Uporaba 1 ali kombinacija teh ukrepov za zmanjšanje tveganja je potrebna kot glavno sredstvo za zmanjšanje tveganj.			Uporabi se lahko eden ali kombinacija katerega koli od ukrepov za zmanjšanje tveganja, ki bi tveganja zmanjšal na sprejemljivo raven.	
Varovala / SRP / CS					
Dopolnilni varnostni ukrepi	Uporaba enega ali kombinacije teh ukrepov za zmanjšanje tveganja se lahko uporablja skupaj z zgoraj navedenimi ukrepi za zmanjšanje tveganja, vendar se ne sme uporabljati kot glavni ukrep za zmanjšanje tveganja.				
Opozorila in sredstva za ozaveščanje					
Upravni nadzor					
PPE					

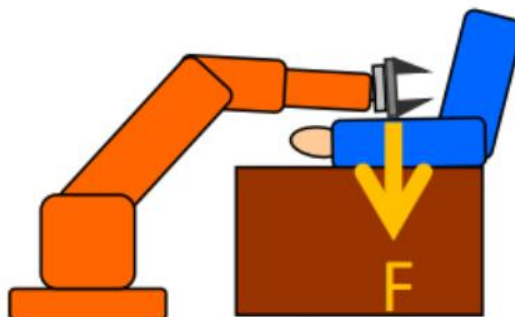
## Ukrepi zmanjšanja tveganja

Najbolj zaželeno			Najmanj zaželeno				
Ukrepi varnega načrtovanja			Dopolnilni varnostni ukrepi		Navodila za uporabo		
Izločanje	Zamenjava	Omejite interakcijo	Varnostne naprave	Varnostni ukrepi	Opozorila in Pomen ozaveščenosti	Upravni (organizacijski) nadzor	PPE
Načrtovanje postopka ali postavitve, preoblikovanje ali spreminjanje	Manj nevarni materiali Vgrajena varnost Zmanjšanje energije , ...	Odpravite ali zmanjšajte človeško interakcijo Avtomatizirajte naloge Spremenite postavitev ali postopek	Varovala Blokade Varnostne naprave Varnostno krmilje , logika in funkcije Varnostni parametri in konfiguracije	Preprečitev padcev Pobeg in reševanje Varen dostop Varno ravnanje Energetska izolacija Omogočanje naprav Izklop v sili	Svetlobni znaki Zvočni signali Piktogrami Označbe	Usposabljanje Pregledi Rotacija delavcev Nadzor energije Omejen prostor Upeavljanje	Oblačila, obutev, očala, rokavice, ...

Obrazložitev :



*Prehodni stik:* Del človeškega telesa se lahko umakne od udarca



*Kvazi statični stik:* Del človeškega telesa je v nevarnosti, da bo vpet ali ujet

