
Trk robotskega manipulatorja s človeško roko

Borut Povše

Mentor: prof. dr. Tadej Bajd



Potek predstavitve

- Uvod
- Sodelovanje robota in človeka
- Eksperimenti s prostovoljci
- Prva izvedba pasivne mehanske roke
- Druga izvedba pasivne mehanske roke
- Eksperimenti z lahko robotsko roko
- Izvirni prispevki



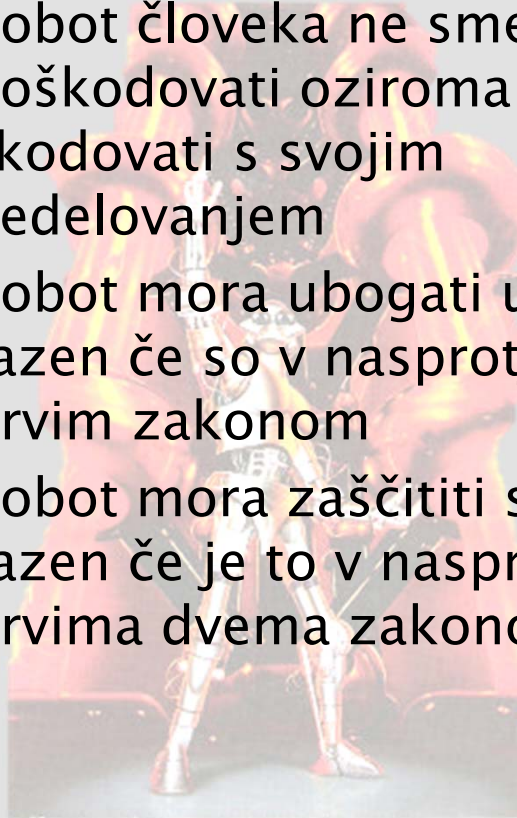
Uvod- sodelovanje robota in človeka

- Robotske aplikacije v industrijskem okolju
 - Povečevanje učinkovitosti proizvodnje
 - Uvajanje novih tehnologij
 - Manjši tlorisi proizvodnih linij
- Robotske aplikacije v domačem okolju
 - Pomoč pri hišnih opravilih
 - Pomoč starejšim

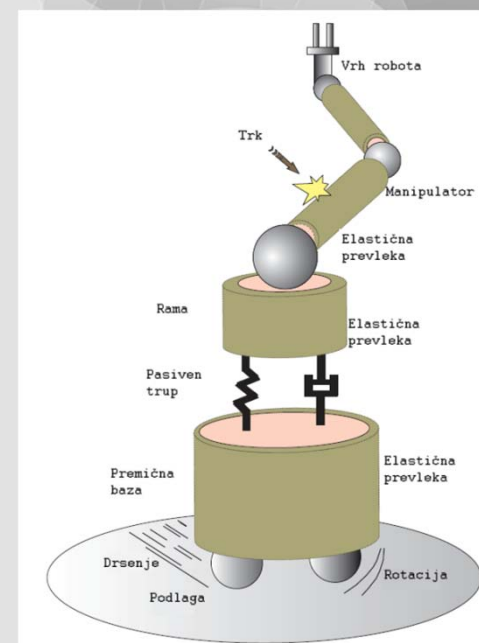
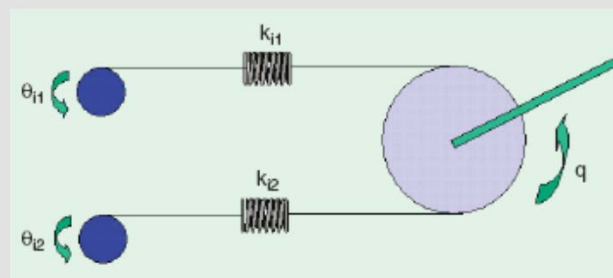
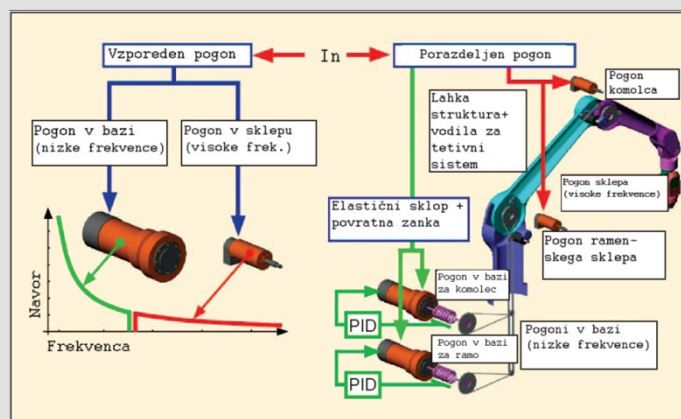
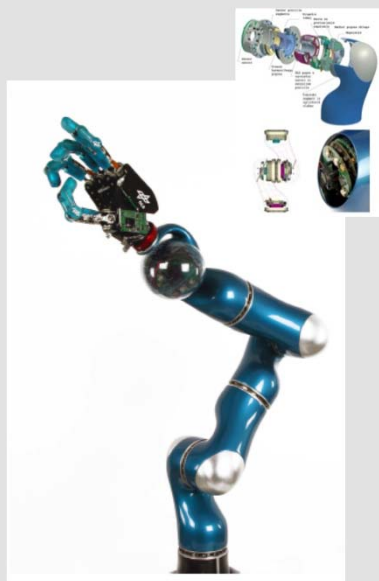


Uvod- sodelovanje robota in človeka

- Isaac Asimov je v romanu “I Robot (1942)” zastavil tri zakone za varno sobivanje robotov in ljudi:
 - Robot človeka ne sme poškodovati oziroma mu škodovati s svojim nedelovanjem
 - Robot mora ubogati ukaze razen če so v nasprotju s prvim zakonom
 - Robot mora zaščititi sebe, razen če je to v nasprotju s prvima dvema zakonoma



Uvod- posebni robotski mehanizmi





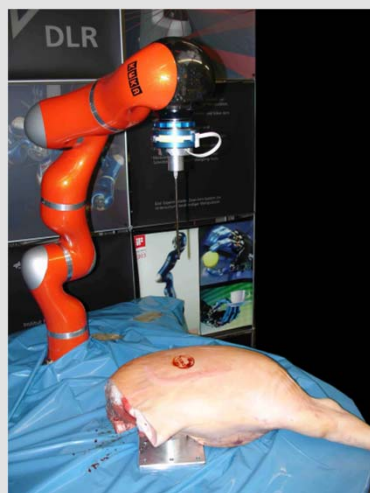
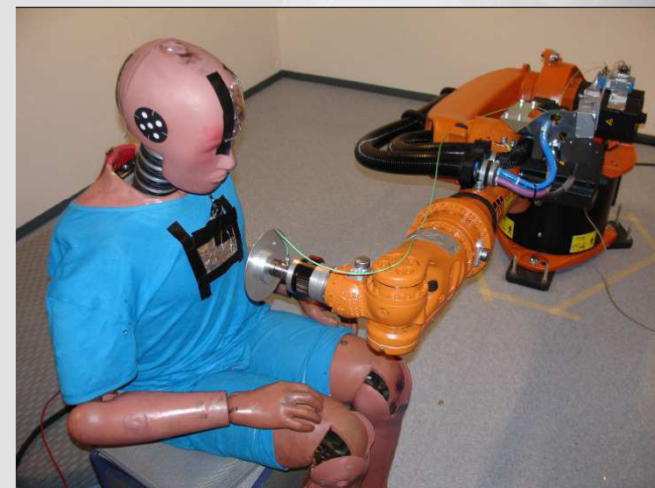
Uvod- trk robota in človeka

- Vzroki, ki lahko privedejo do trka:
 - Nepredvidljive situacije
 - Odpoved varnostnega sistema
 - Človeška napaka
 - Napake v krmilnem programu

Uvod- trk robota in človeka

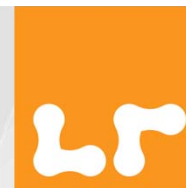
DLR (Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt)

- Trki z glavo in prsnim košem
- Vbodi z ostrimi predmeti
- Roboti različnih velikosti





Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko



robolab
laboratory of robotics

Uvod- trk robota in človeka

- Trk robota s človeško glavo



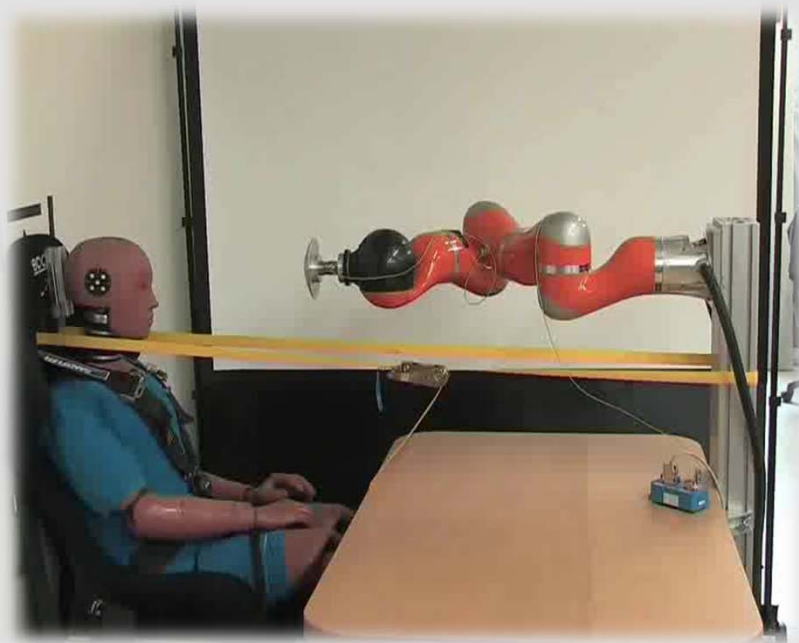
Uvod- trk robota in človeka

- Trk robota s prsnim košem



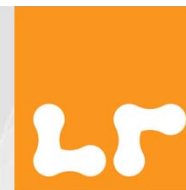
Uvod- trk robota in človeka

- Trk robota z ukleščenim telesom





Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko



robolab
laboratory of robotics

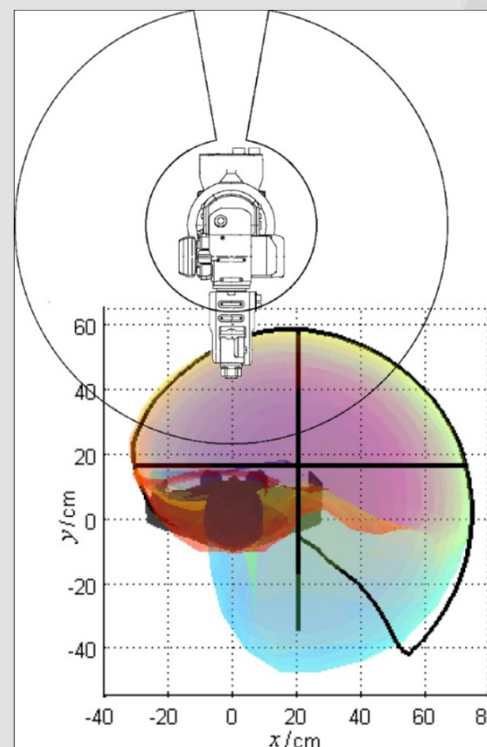
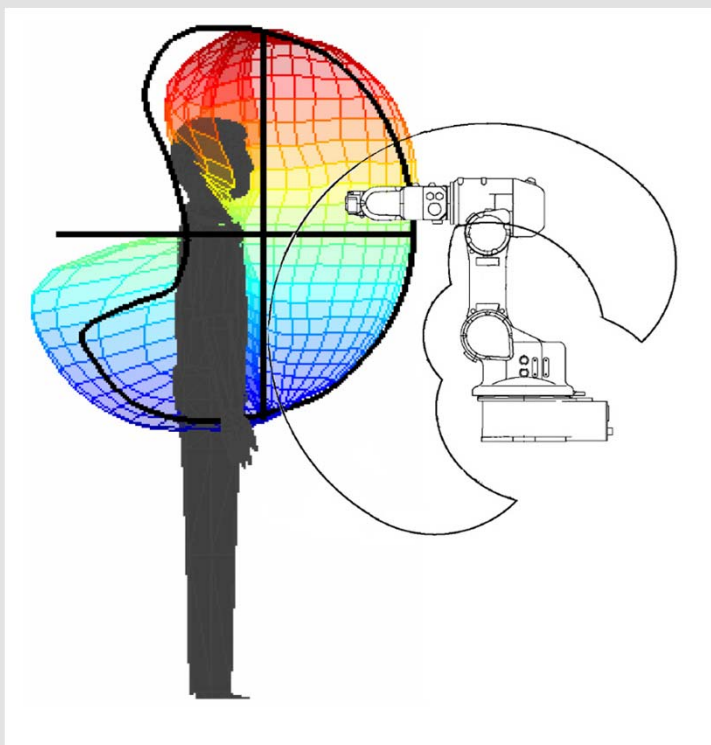
Sodelovanje robota in človeka

Nevarni udarci v
glavo in prsni koš

Sodelovanje človeka
in majhnega
industrijskega
robota

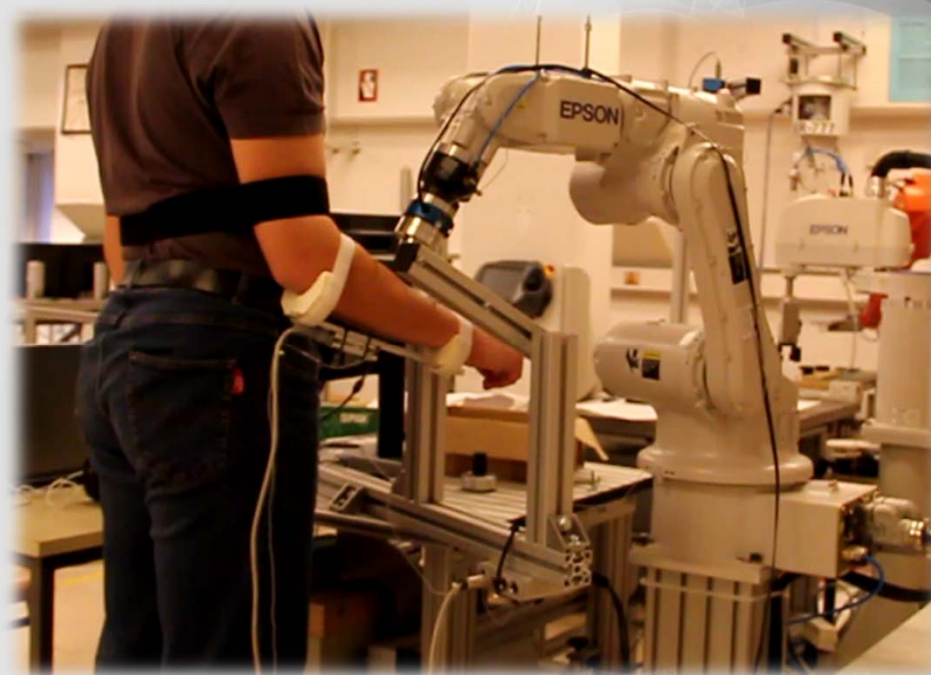
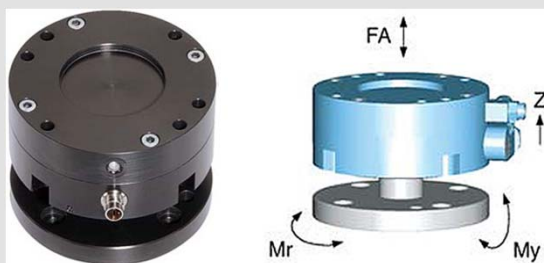
...

Vbodi z ostrimi
predmeti



Eksperimenti s prostovoljci

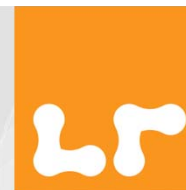
- Pojemek robotskega orodja od 1 m/s^2 do 5 m/s^2
- Globina končne točke 10, 20, 30 mm
- Robotski orodji za ravninski in premi dotik





Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

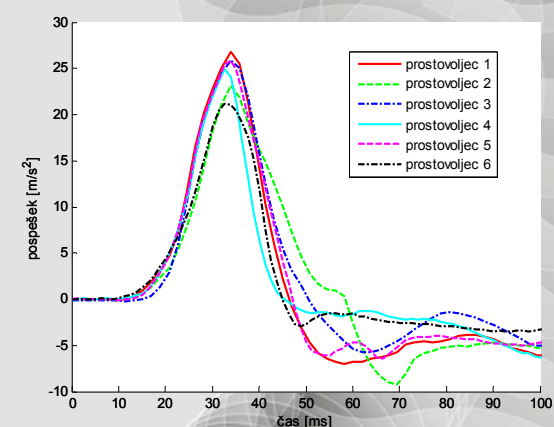
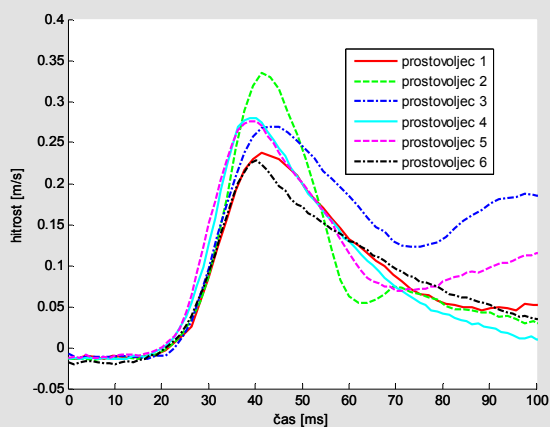
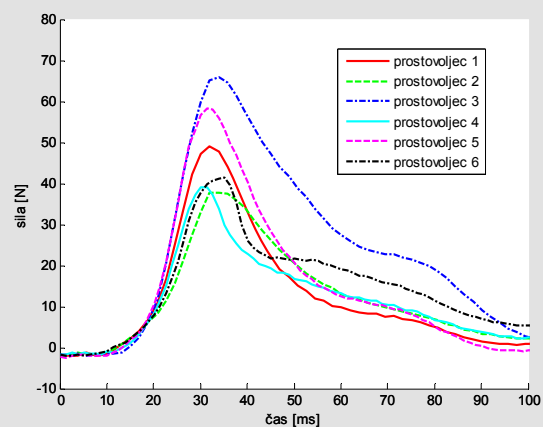
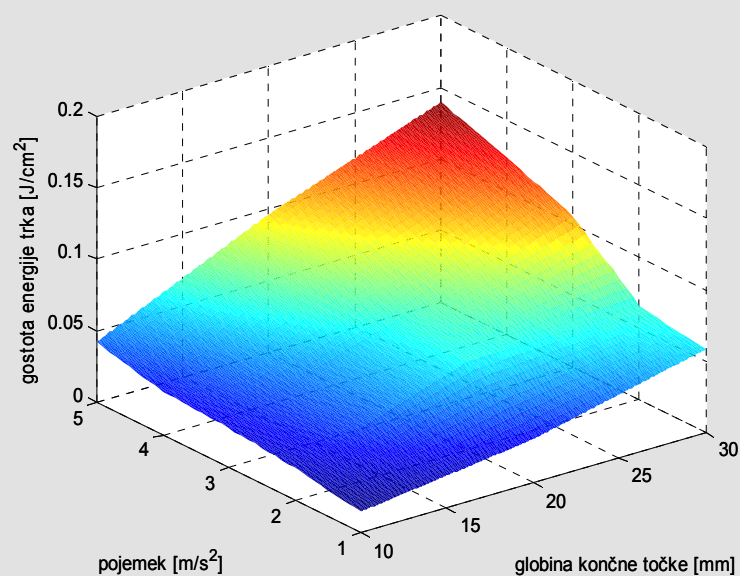
Merilni sistem



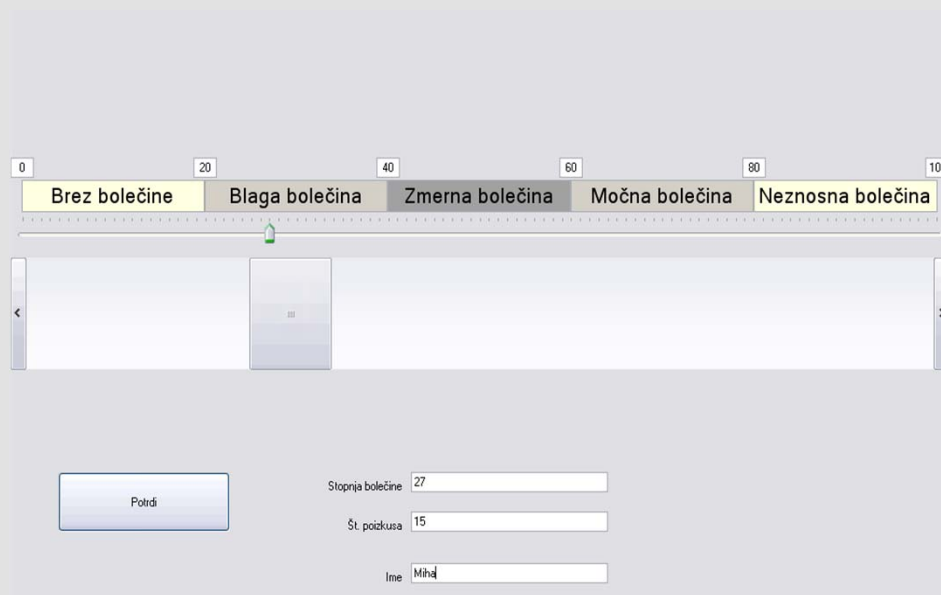
robolab
laboratory of robotics



Rezultati eksperimentov s prostovoljci



Ovrednotenje bolečine ob trku



0 20 40 60 80 100

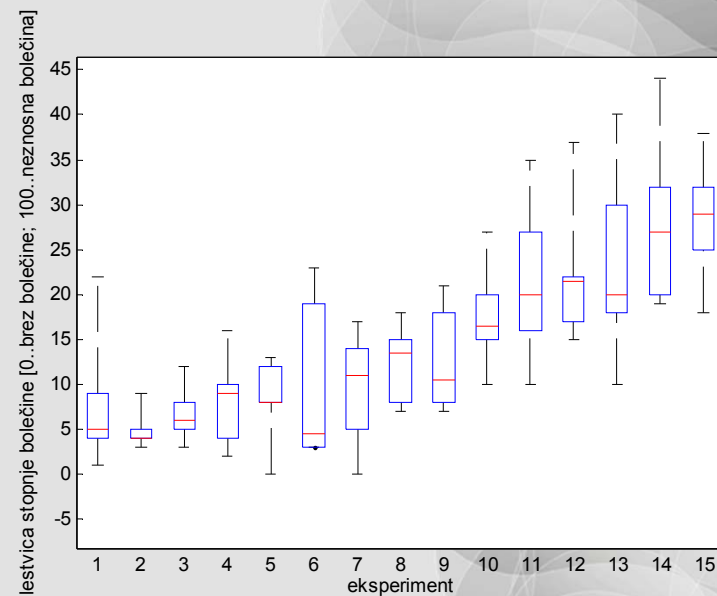
Brez bolečine Blaga bolečina Zmerna bolečina Močna bolečina Neznosna bolečina

Potrdi

Stopnja bolečine 27

Št. poskusa 15

Ime Miha





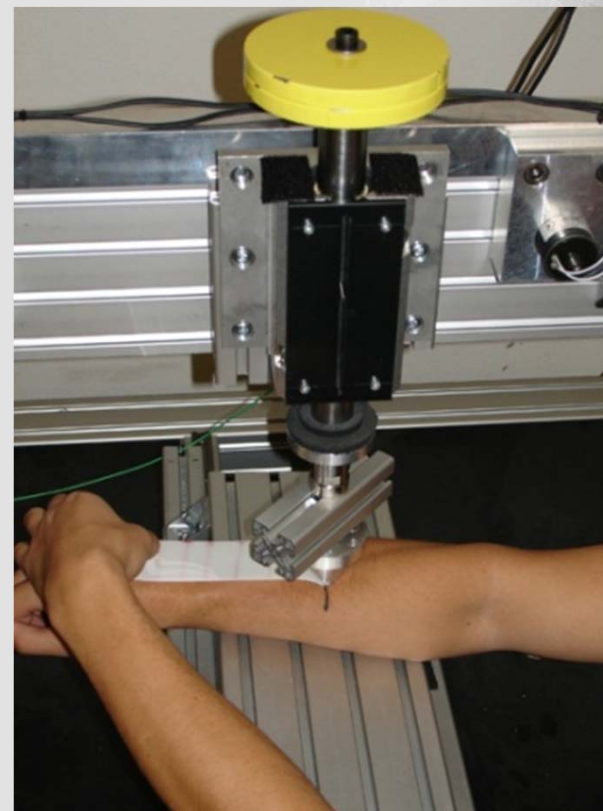
Gostota energije trka

$$e_A = \frac{1}{A_{\text{dotik}}} \int_{s_{\text{trk_start}}}^{s_{\text{trk_stop}}} F(s) ds$$

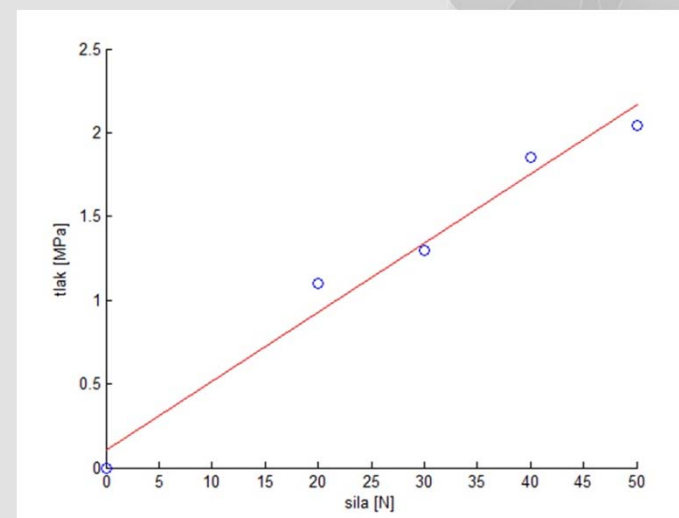
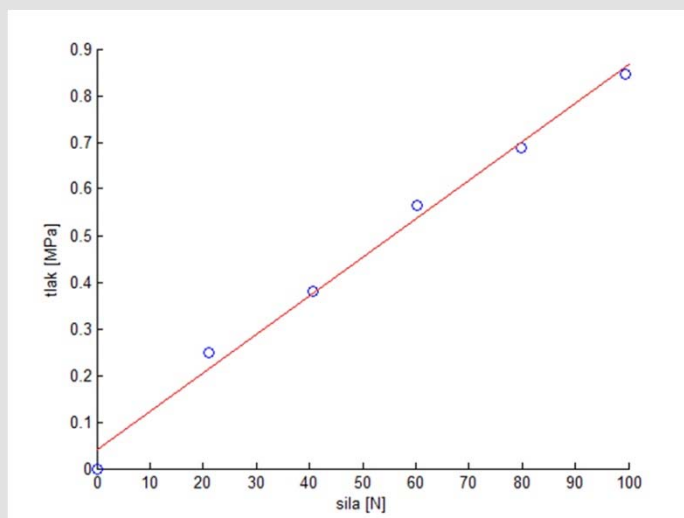
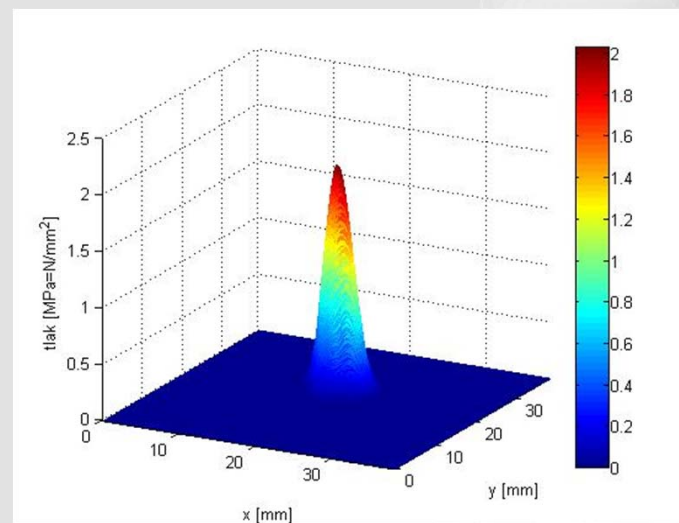
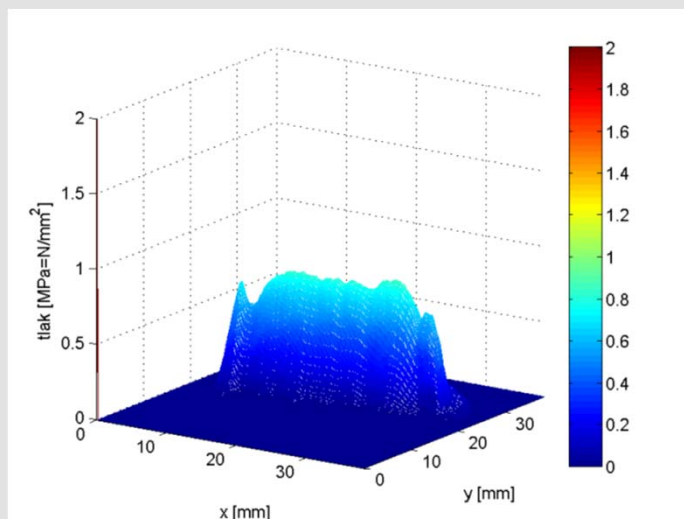
Poškodbe mehkega tkiva povzročijo že udarci z gostoto energije 2.52 J/cm².

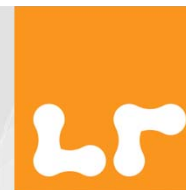
Gostota energije trka- površina dotika

- FujiFilm Prescale Film
- Naprava z vertikalnim pomikom orodja
- Sila dotika: 20N – 100N (premi dotik)
- Sila dotika: 20N – 50N (točkasti dotik)



Gostota energije trka- porazdelitev tlaka



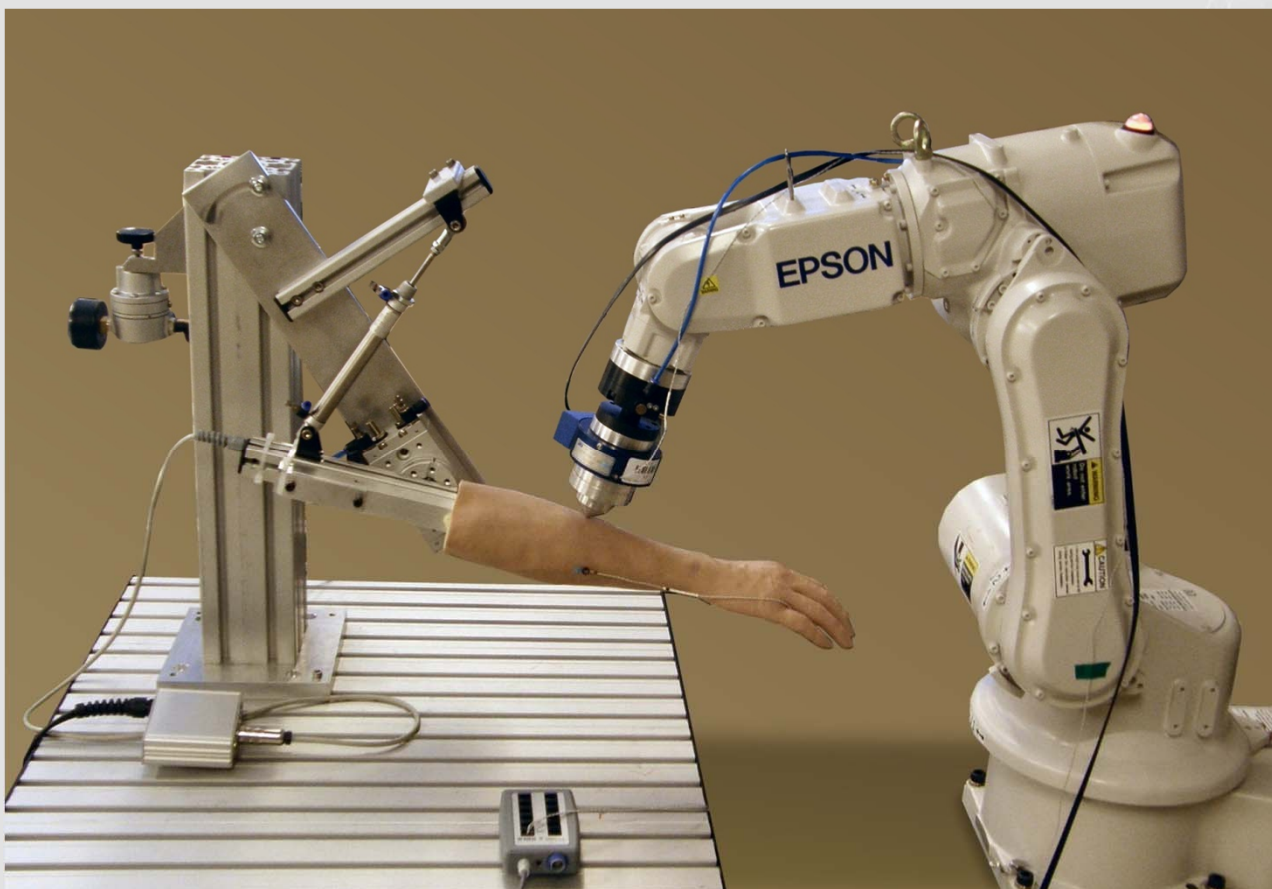


Gostota energije trka- površina dotika

$$A_{dotik}' = \frac{F}{p_{najvisji}}.$$

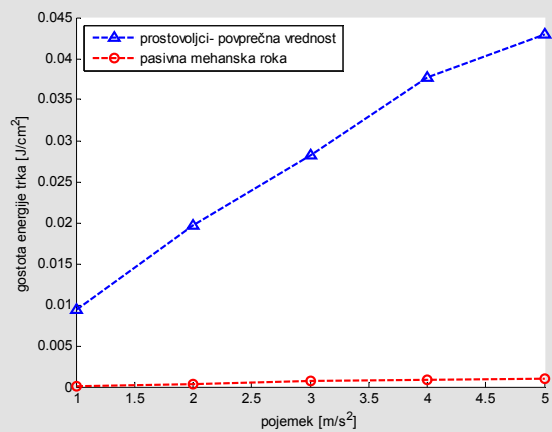
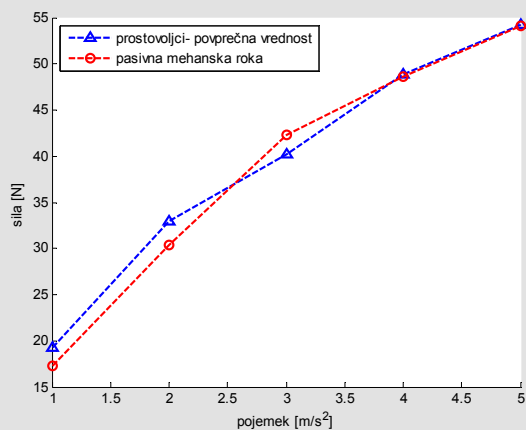
$$e_{A_{max}} = \int_{Strk_start}^{Strk_stop} \frac{F(s)}{A_{dotik}'}, ds = \int_{Strk_start}^{Strk_stop} p_{najvisji}(s) ds.$$

Prva izvedba pasivne mehanske roke

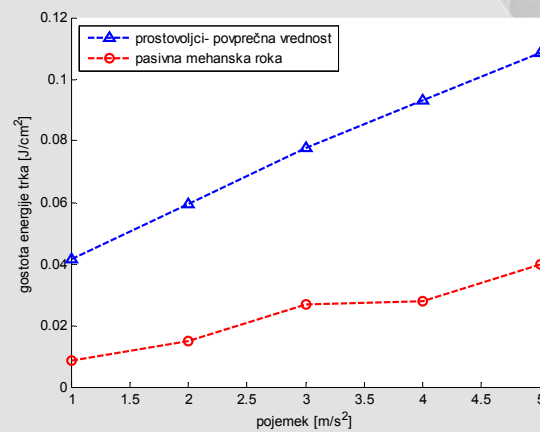
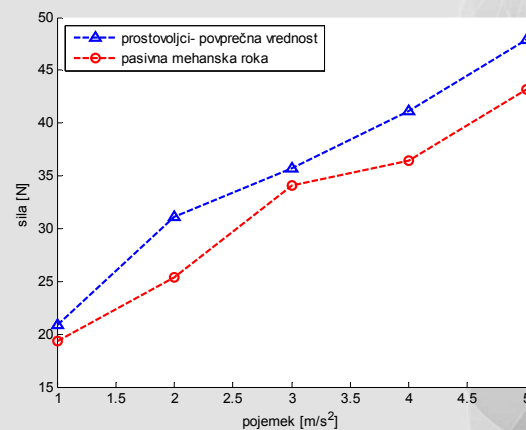


Rezultati eksperimenta

- ravninski dotik

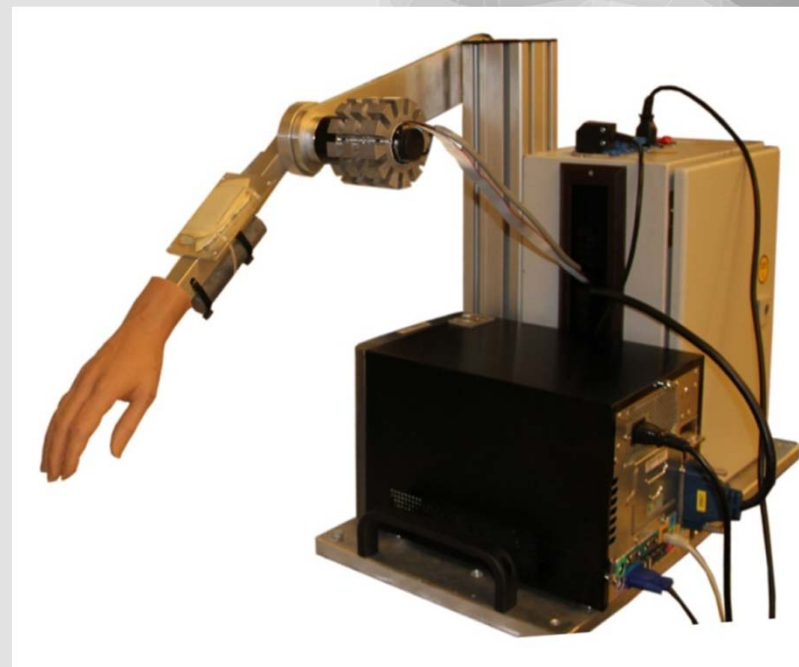


- premi dotik

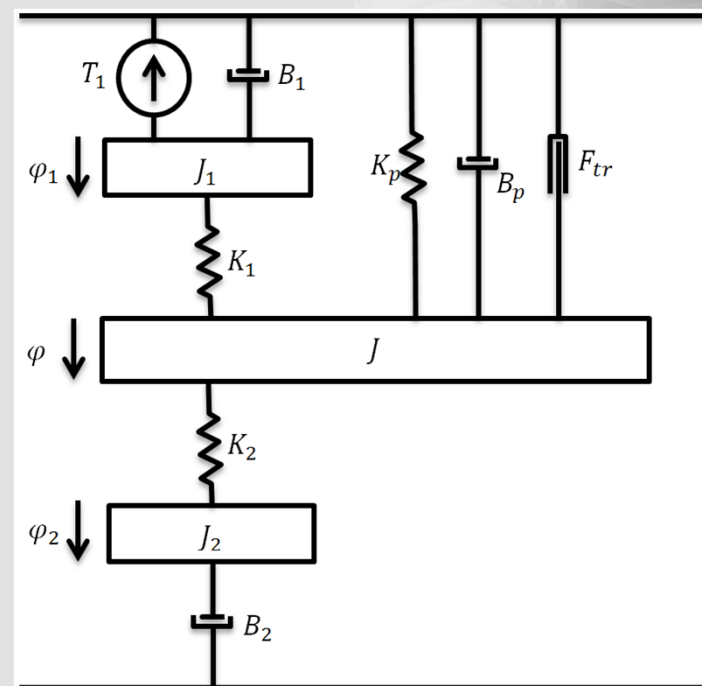
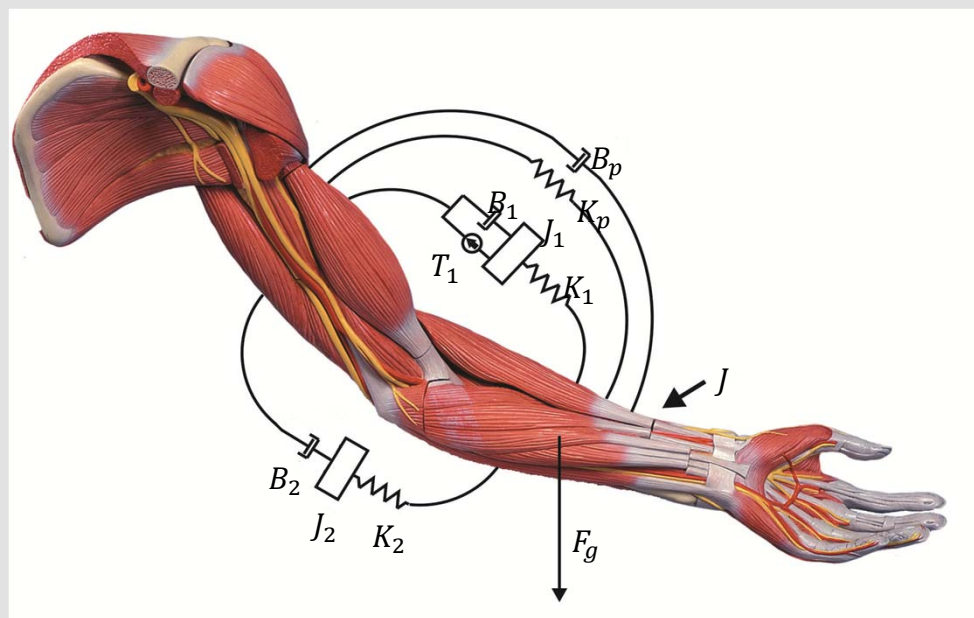


Druga izvedba pasivne mehanske roke (PMR)

- enosmerni motor s servo-ojačevalnikom za emulacijo komolca
- računalnik in krmilna omarica
- večplasten umeten material za emulacijo mehkega tkiva podlakti



Matematični model človeške roke

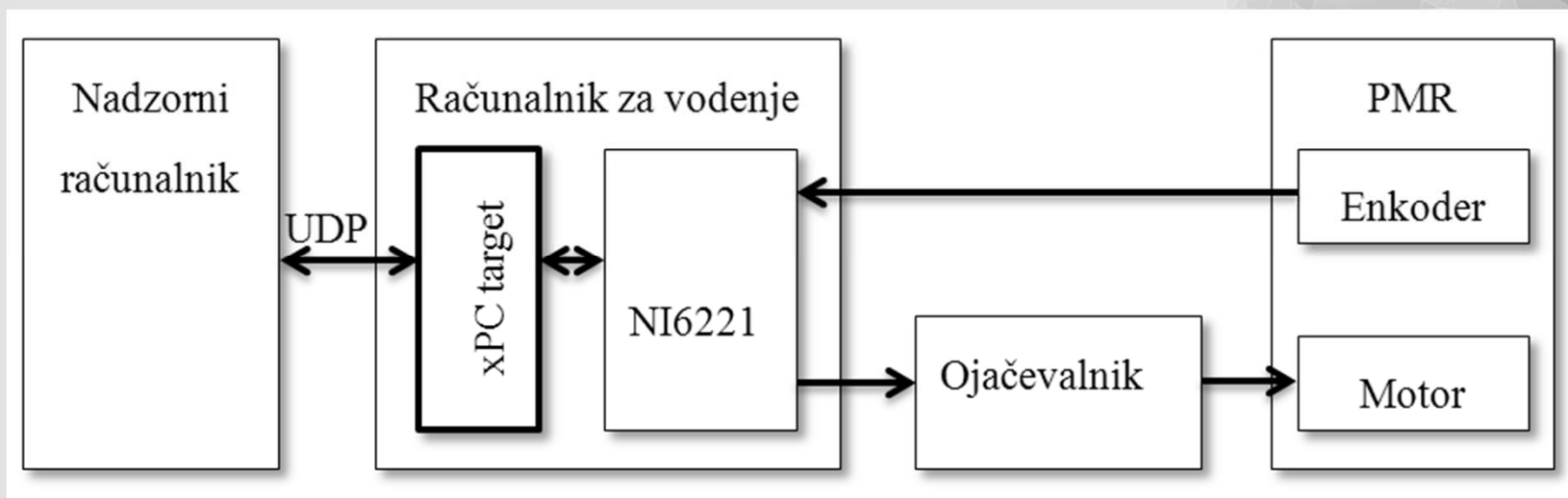


$$J_1 \ddot{\varphi}_1 + B_1 \dot{\varphi}_1 + K_1(\varphi_1 - \varphi) + T_1 = 0$$

$$J_2 \ddot{\varphi}_2 + B_2 \dot{\varphi}_2 + K_2(\varphi_2 - \varphi) = 0$$

$$J \ddot{\varphi} + B_p \dot{\varphi} + K_p \varphi + K_1(\varphi - \varphi_1) + K_2(\varphi - \varphi_2) - M_b - F_{tr} = 0$$

Shema vodenja PMR





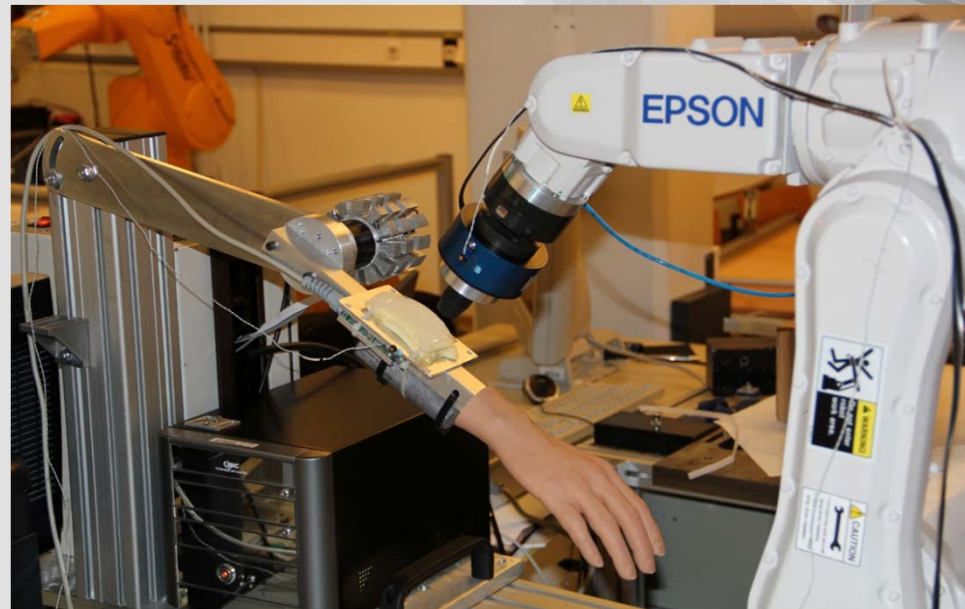
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko



robolab
laboratory of robotics

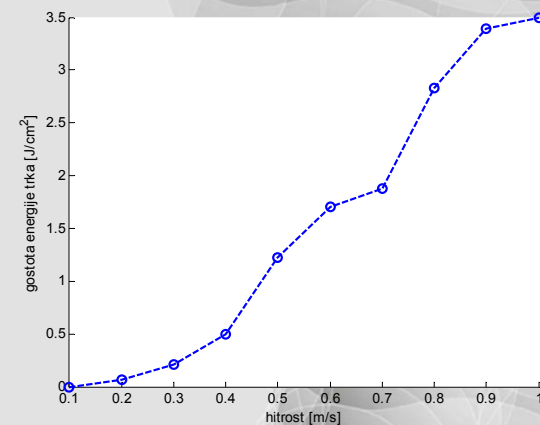
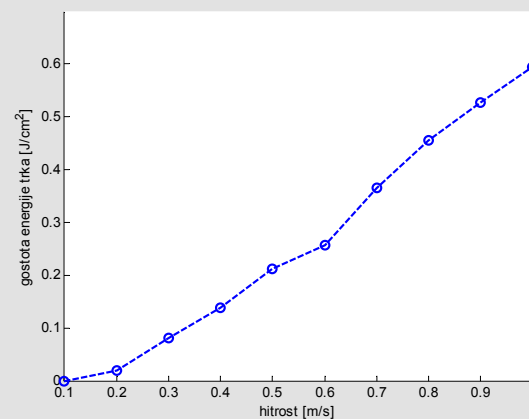
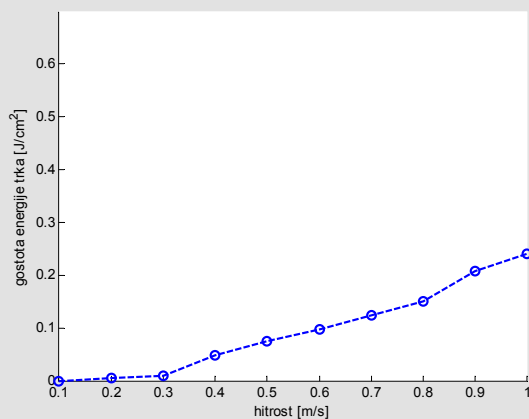
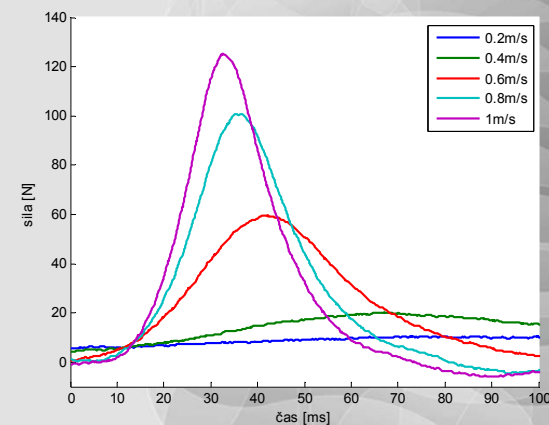
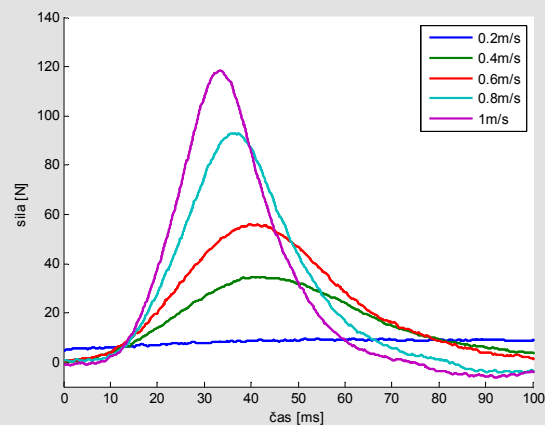
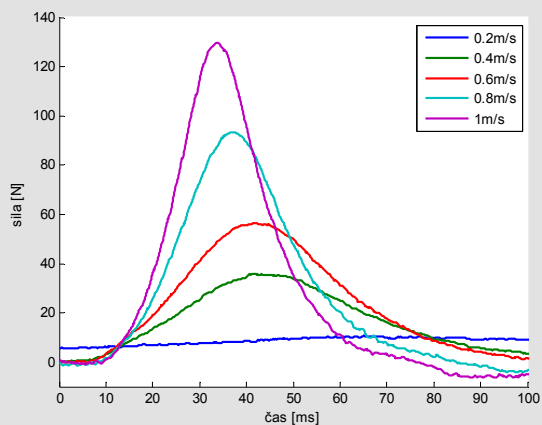
Trk industrijskega robota s PMR

- Hitrost robotskega orodja od 0,1 m/s do 1 m/s
- Robotska orodja za ravninski, premi dotik in točkasti dotik



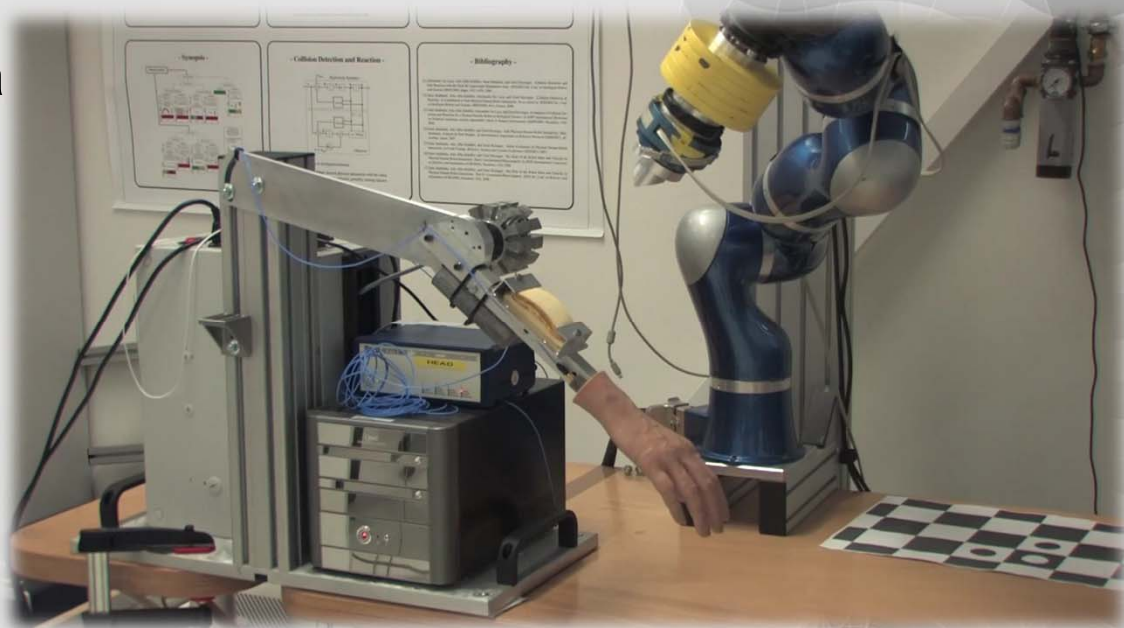
Trk industrijskega robota s PMR- rezultati

- Ravninski dotik
- Premi dotik
- Točkasti dotik



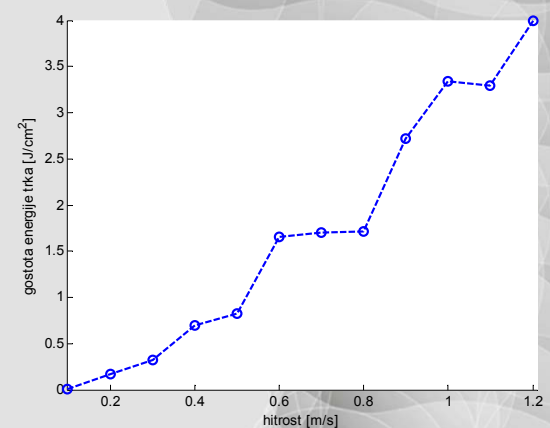
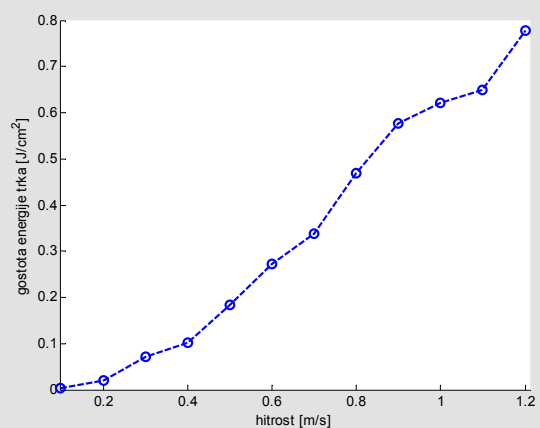
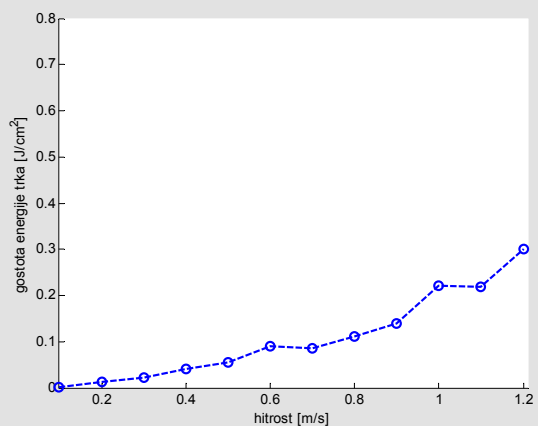
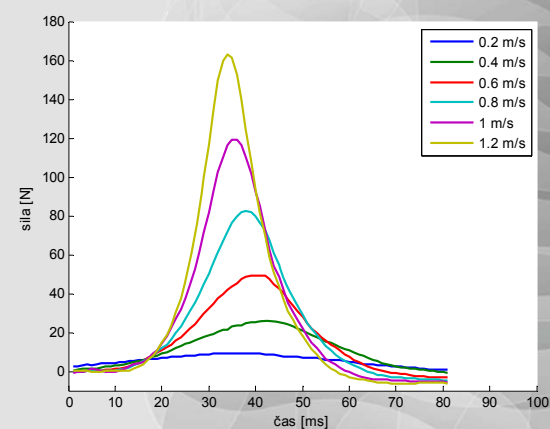
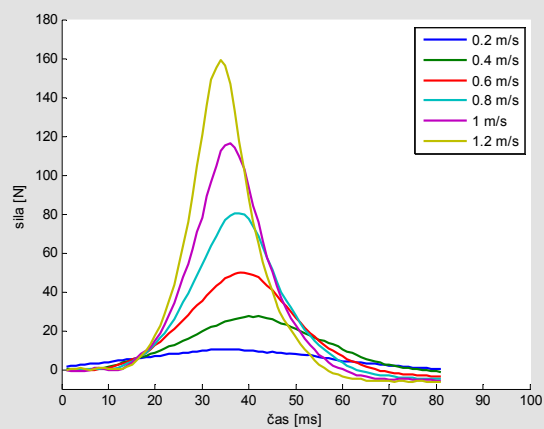
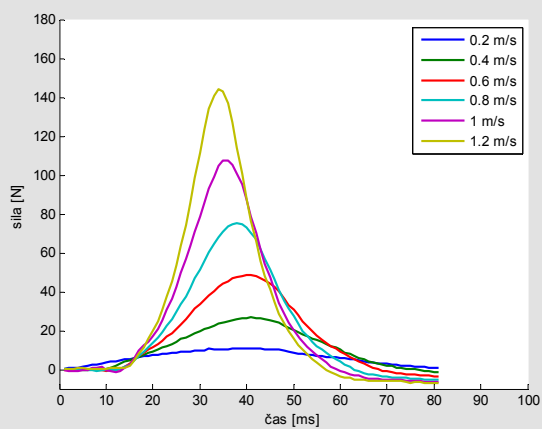
Trk LWR III robota s PMR

- Hitrost robotskega orodja od 0,1 m/s do 1,2 m/s
- Robotska orodja za ravninski, premi dotik in točkasti dotik
- Varnostna strategija „refleksni umik“



Trk LWR III robota s PMR- rezultati

- Ravninski dotik
- Premi dotik
- Točkasti dotik



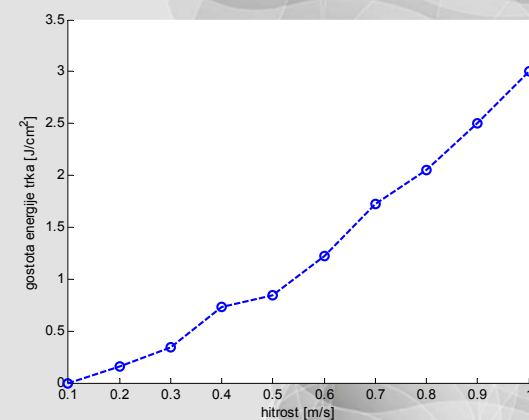
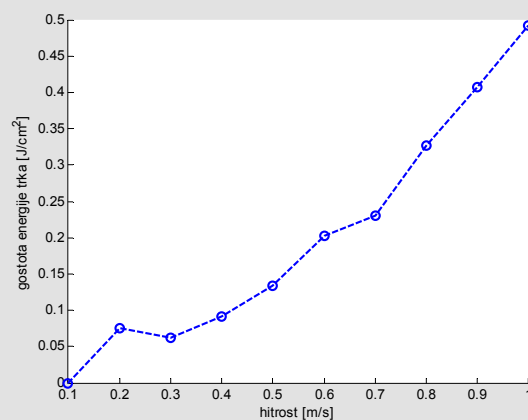
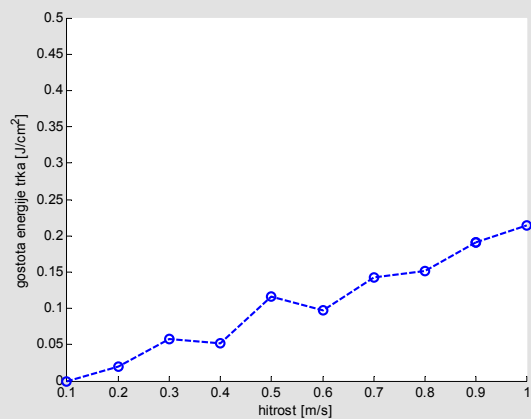
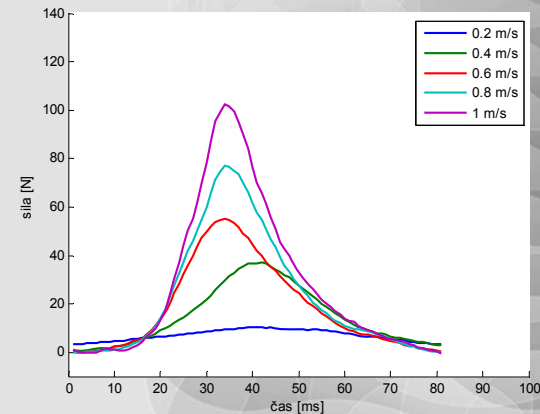
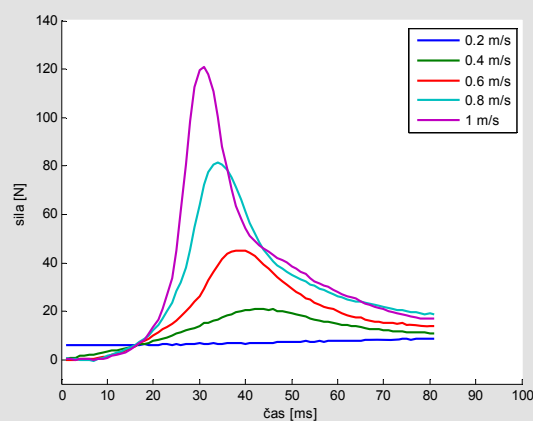
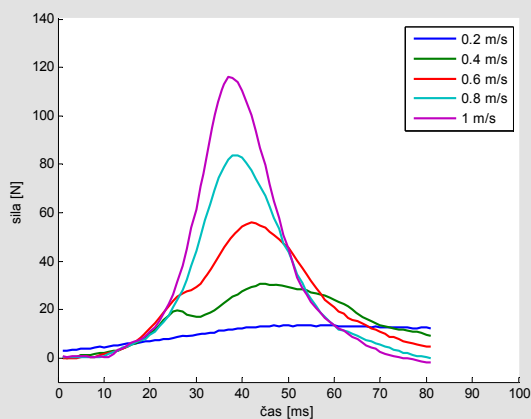
Trk LWR III robota s človekovo roko

- Hitrost robotskega orodja od 0,1 m/s do 1 m/s
- Robotska orodja za ravninski, premi dotik in točkasti dotik
- Varnostna strategija „refleksni umik“



Trk LWR III robota s človekovo roko

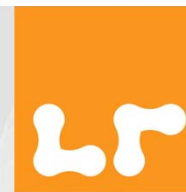
- Ravninski dotik
- Premi dotik
- Točkasti dotik





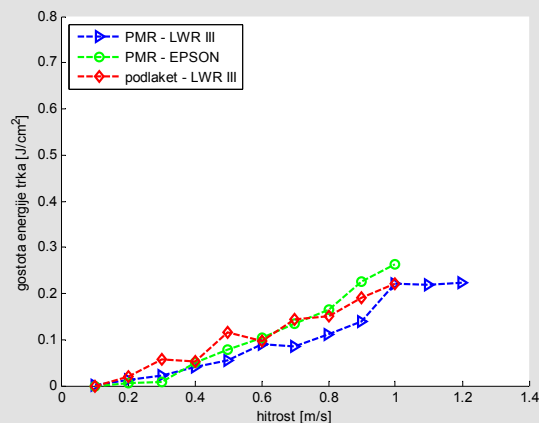
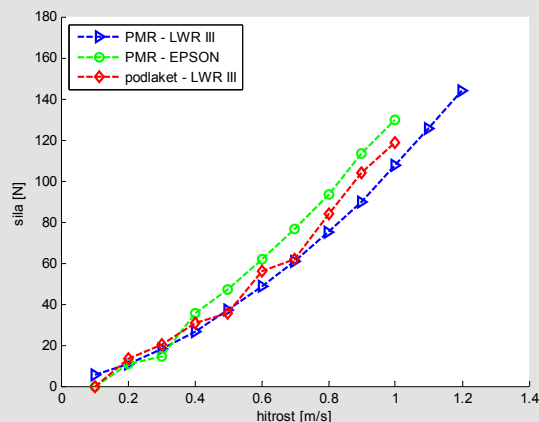
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Primerjava odzivov PMR s človekovo podlaktjo za trke z industrijskim in LWR III robotom

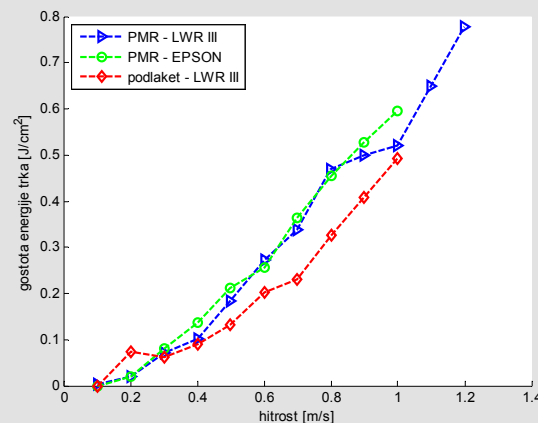
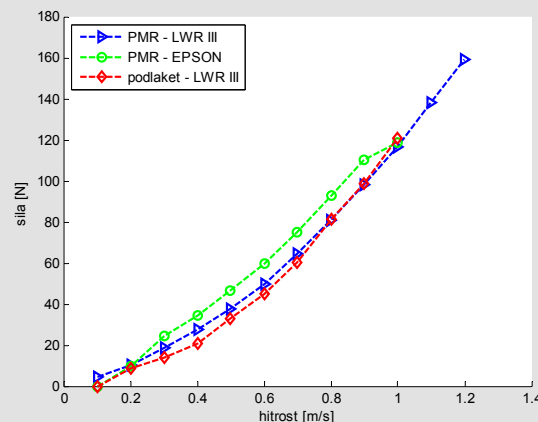


robolab
laboratory of robotics

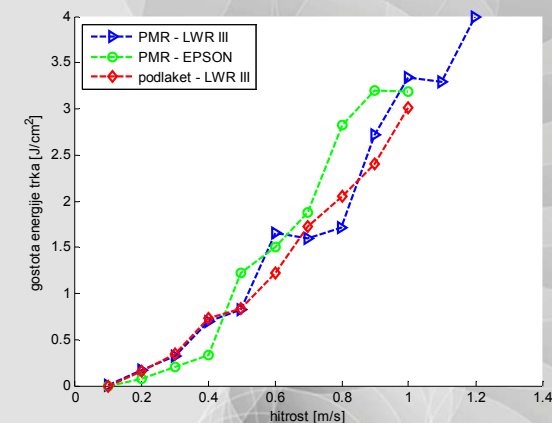
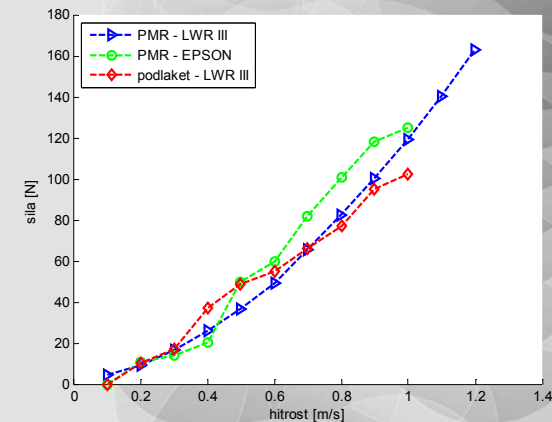
- Ravninski dotik



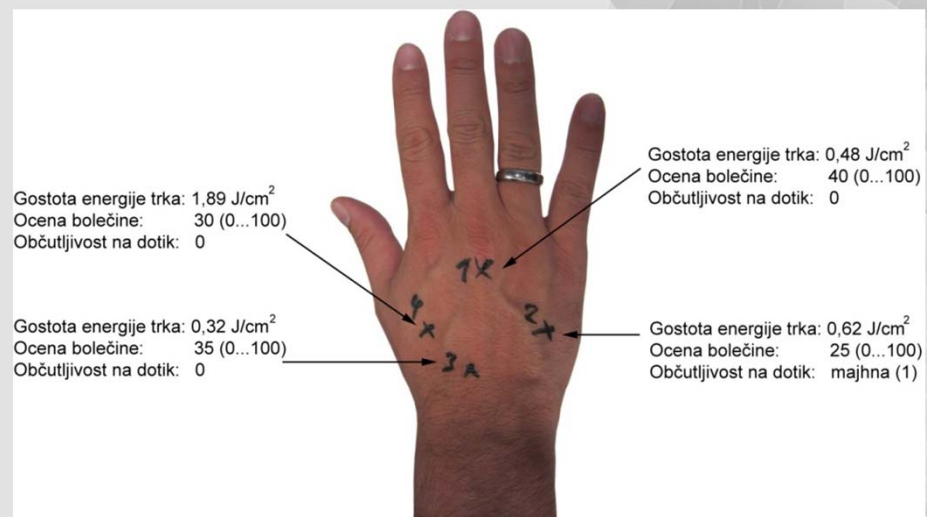
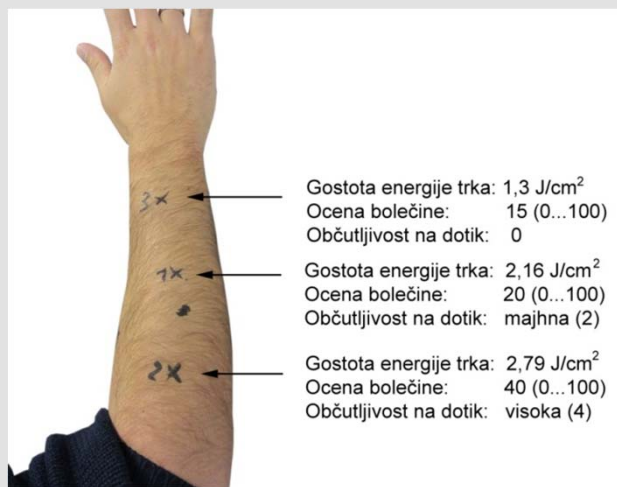
- Premi dotik



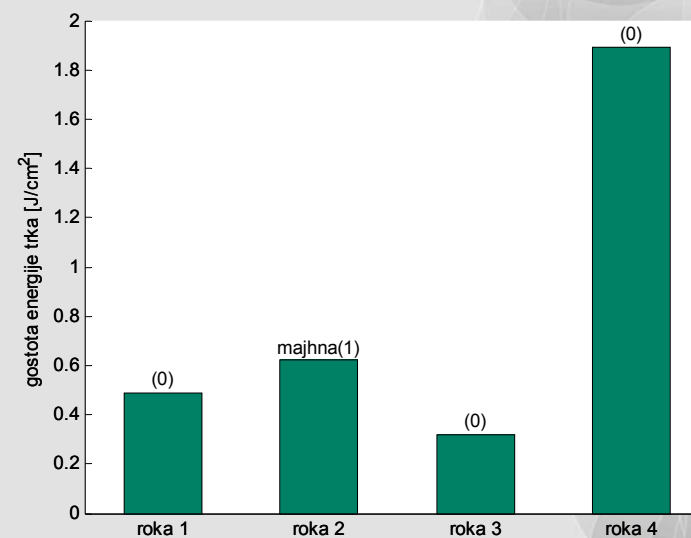
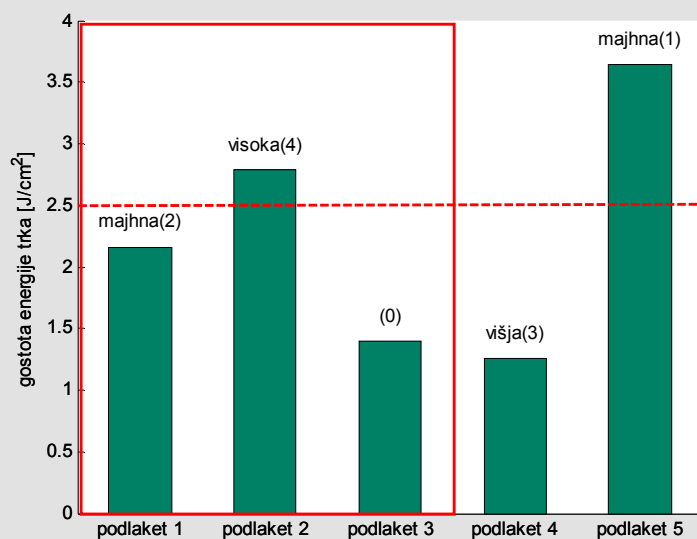
- Točkasti dotik



Mejna vrednost gostote energije trka pri poškodbah tkiva



Mejna vrednost gostote energije trka pri poškodbah tkiva





Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko

Varni hitrostni profil za vodenje robota LWR III

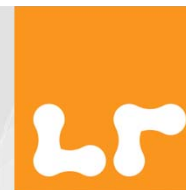
- Hitrost vrha robota 0,1 m/s do 1,2 m/s
- Dodatna masa na vrhu robota 0 kg do 5kg (preslikana vztrajnost robotskega mehanizma)
- Robotska orodja za ravninski, premi in točkasti dotik
- Za vsako robotsko orodje je bilo izvedenih 72 trkov



robolab
laboratory of robotics

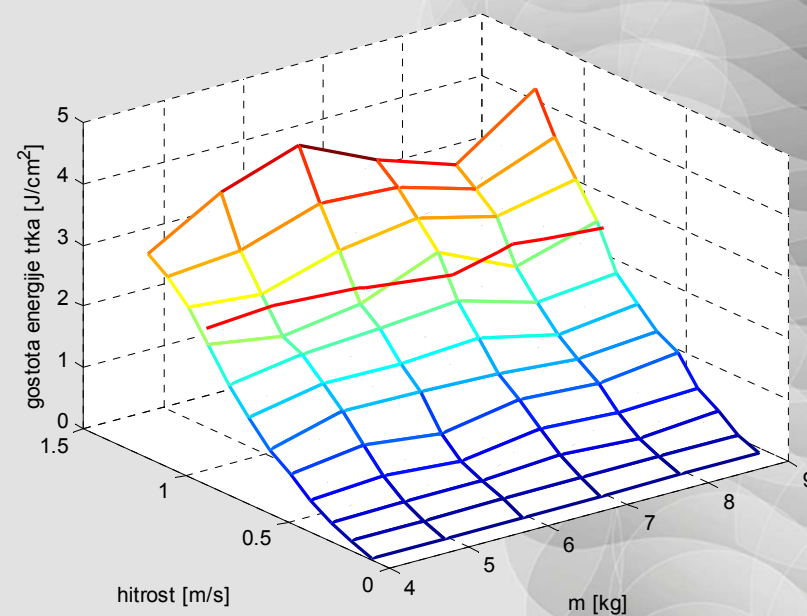
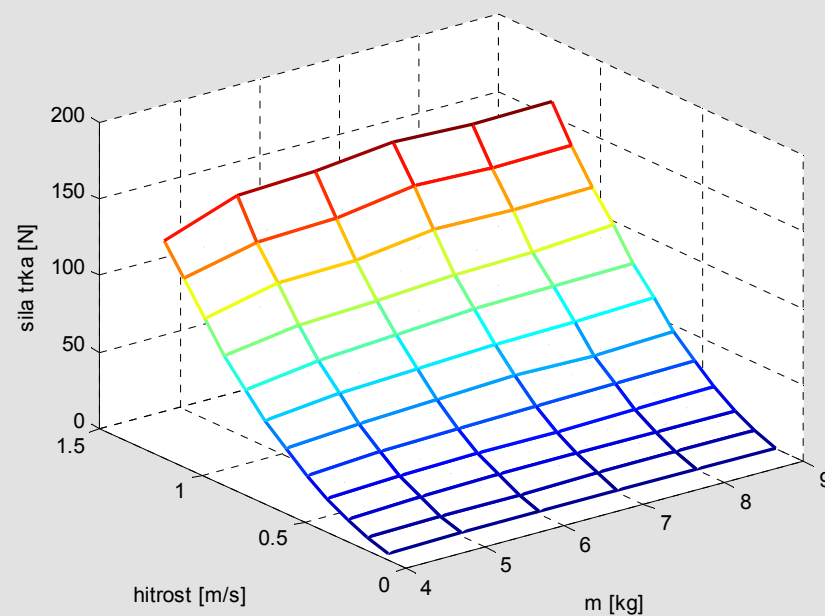


Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko



robolab
laboratory of robotics

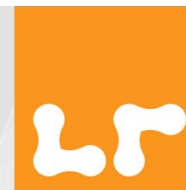
Varni hitrostni profil za vodenje roboata LWR III – točkasto orodje



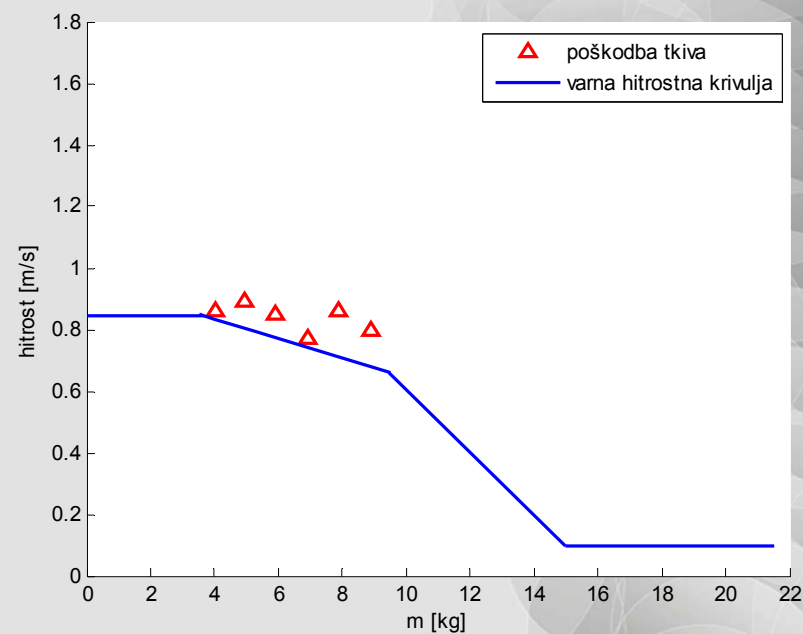
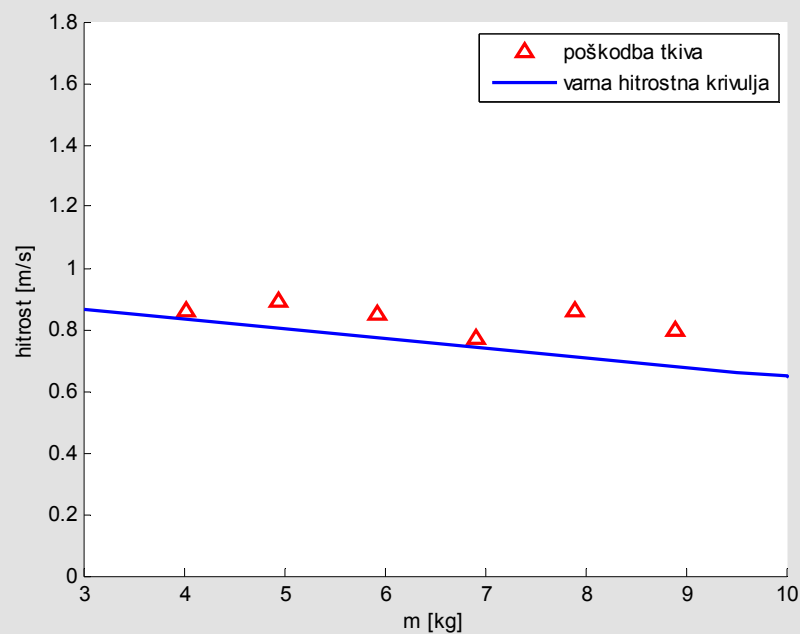


Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Varni hitrostni profil za vodenje robota LWR III – točkasto orodje



robolab
laboratory of robotics





Originalni prispevki

- Določitev parametrov relevantnih za ocenjevanje trka med človeško roko in majhnim industrijskim robotom.
- Zasnova izvirnega biomehanskega emulacijskega modela človeške zgornje ekstremitete.
- Določitev pragovnih vrednosti za bolečino in poškodbo pri trku majhnega industrijskega robota s človeško roko.



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

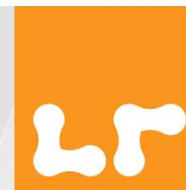


robolab
laboratory of robotics

Majhen industrijski šestosni robot (EPSON PS3L) ni bistveno bolj nevaren od lahke robotske roke LWR III, pri trku v neomejeno človekovo podlaket, za hitrosti vrha robota do 1 m/s.



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko



robolab
laboratory of robotics

Hvala za pozornost!