

Haptična naprava in navidezno okolje za prst na roki

Doktorska disertacija

Uroš Mali

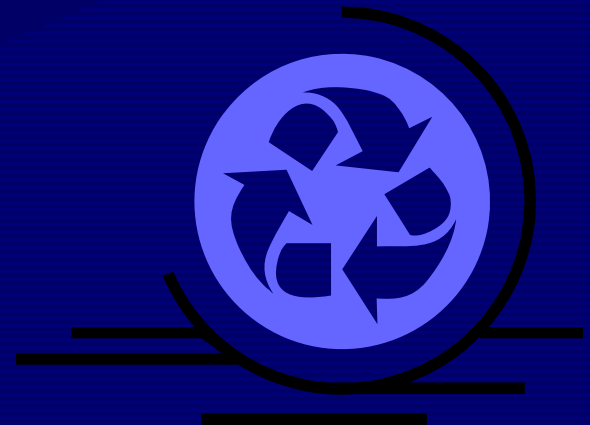
mentor: prof. dr. Marko Munih



Laboratorij za robotiko in biomedicinsko tehniko
Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani

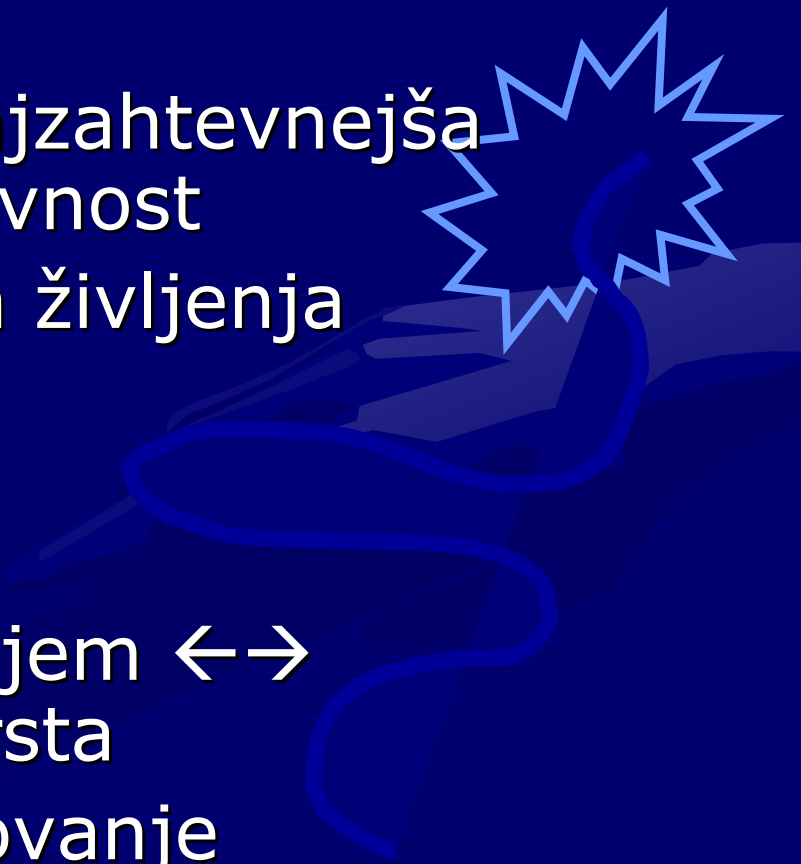
Povzetek

- Uvod
 - Vodenje gibanja prsta
 - Navidezna rehabilitacija
 - Obstoječi sistemi
 - Cilji
- Metode in postopki
 - Haptična naprava
 - Navidezna okolja
 - Rezultati
- Originalni prispevki



Vodenje gibanja prsta - prijetanje

- Najpomembnejša in najzahtevnejša človekova gibalna dejavnost
- Aktivnosti vsakdanjega življenja
 - Prijemanje
 - Pobiranje
 - Držanje
- Zanesljiv & stabilen prijem $\leftrightarrow$ koordinacija gibanja prsta
- Zahteva usklajeno delovanje osrednjega živčnega sistema (OŽS) in mišic



Rehabilitacija



- Po bolezni ali poškodbi
 - Funkcionalno stanje → terapija
 - Povrnitev moči in območja giba
- Naprava, ki bi posnemala terapevtove gibe
 - Pozicijsko vodenje
 - Vodenje sile
- Zahteve
 - Velikost delovnega območja
 - Velikost izvajane sile
 - Varnost

} **Haptična naprava**

Rehabilitacija 2

- Količinsko intenzivna in ponavljajoča vaja je pogoj za ponovno uskladitev delovanja OŽS
- Težnje k skrajšanju časa rehabilitacije
- Učinek terapije se poveča z uporabo kognitivne povratne informacije
 - Navidezna resničnost + haptičnost → navidezna rehabilitacija

Rehabilitacija in 'VR' – Navidezna rehabilitacija (Burdea 2003)

- 'Navidezna rehabilitacija 'NR''
 - Mišično-skeletna NR
 - NR po kapi
 - Kognitivna NR
- Prednosti
 - Motivacija, prilagodljivost, raznolikost, shranjevanje podatkov, nižji stroški,
- Izzivi
 - Pomanjkljivo računalniško znanje terapevtov, pomanjkanje infrastrukture, draga oprema



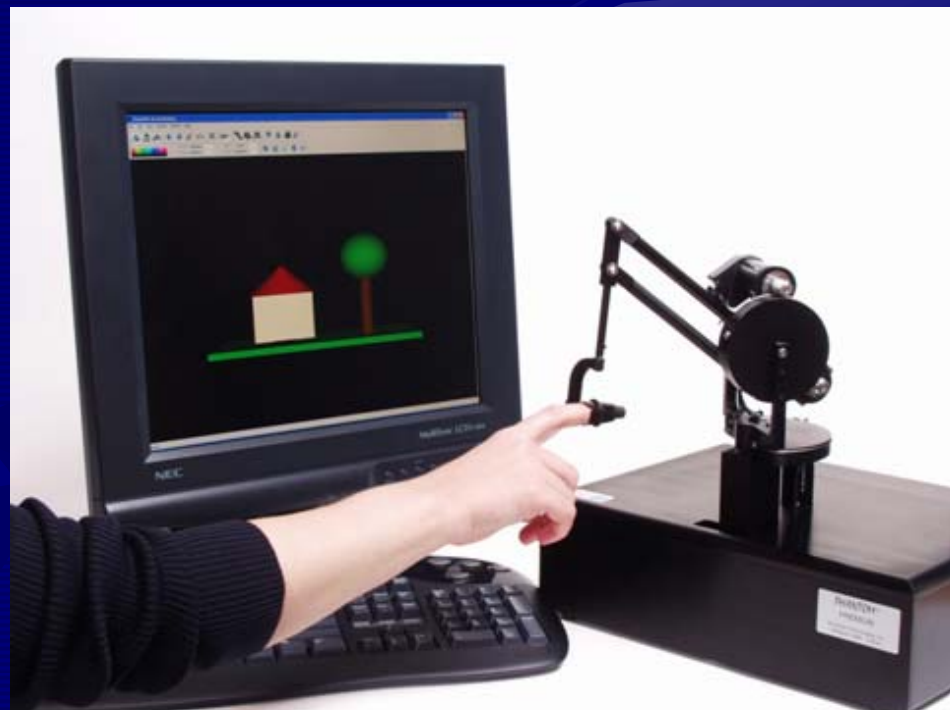
Rutgers Master II ND

- Rehabilitacija po kapi v povezavi z 'VR' (Jack 2001)
- Tele-rehabilitacija s pomočjo 'VR' in 'force feedback' naprave (Popescu 2000)



Družina haptičnih naprav PHANTOM

- Analiza gibanja roke s pomočjo haptične naprave (Bardorfer 2001)





ALLADIN



MIT-MANUS



CyberForce,
CyberGrasp,
CyberGlove



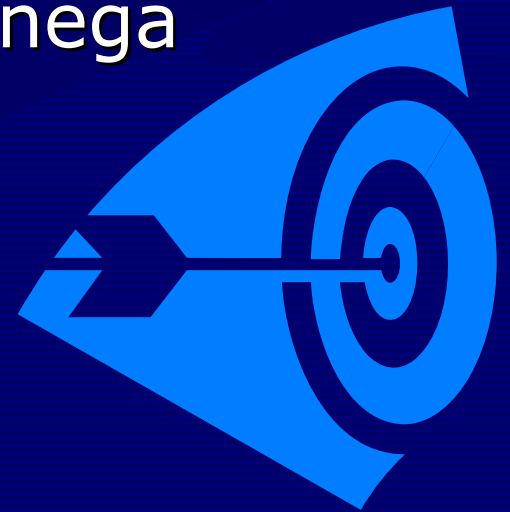
Rutgers Ankle

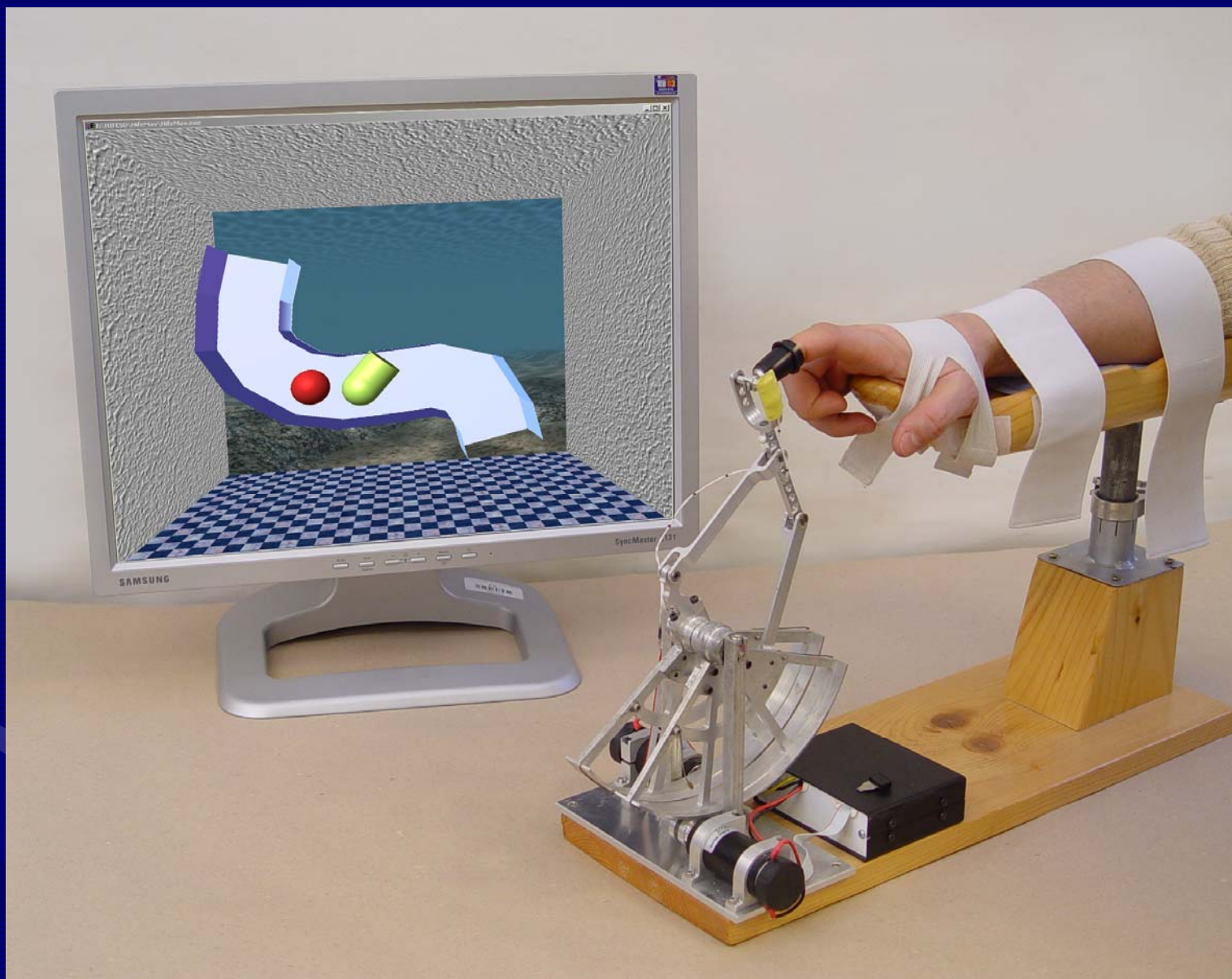


Gentle/S

Cilji doktorske disertacije

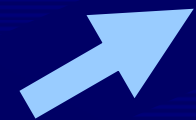
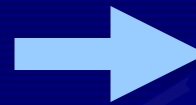
- Izpopolnjena haptična naprava za vodenje gibanja prsta
- Razvoj vaj v navideznem okolju
- Določitev kvantitativnih kriterijev za ocenjevanje kvalitete gibanja prsta in izvajanja sil ter funkcionalnega stanja



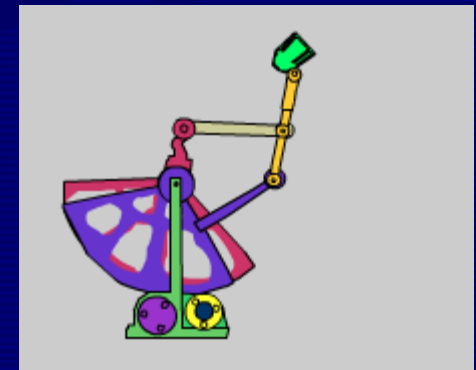


Haptična naprava

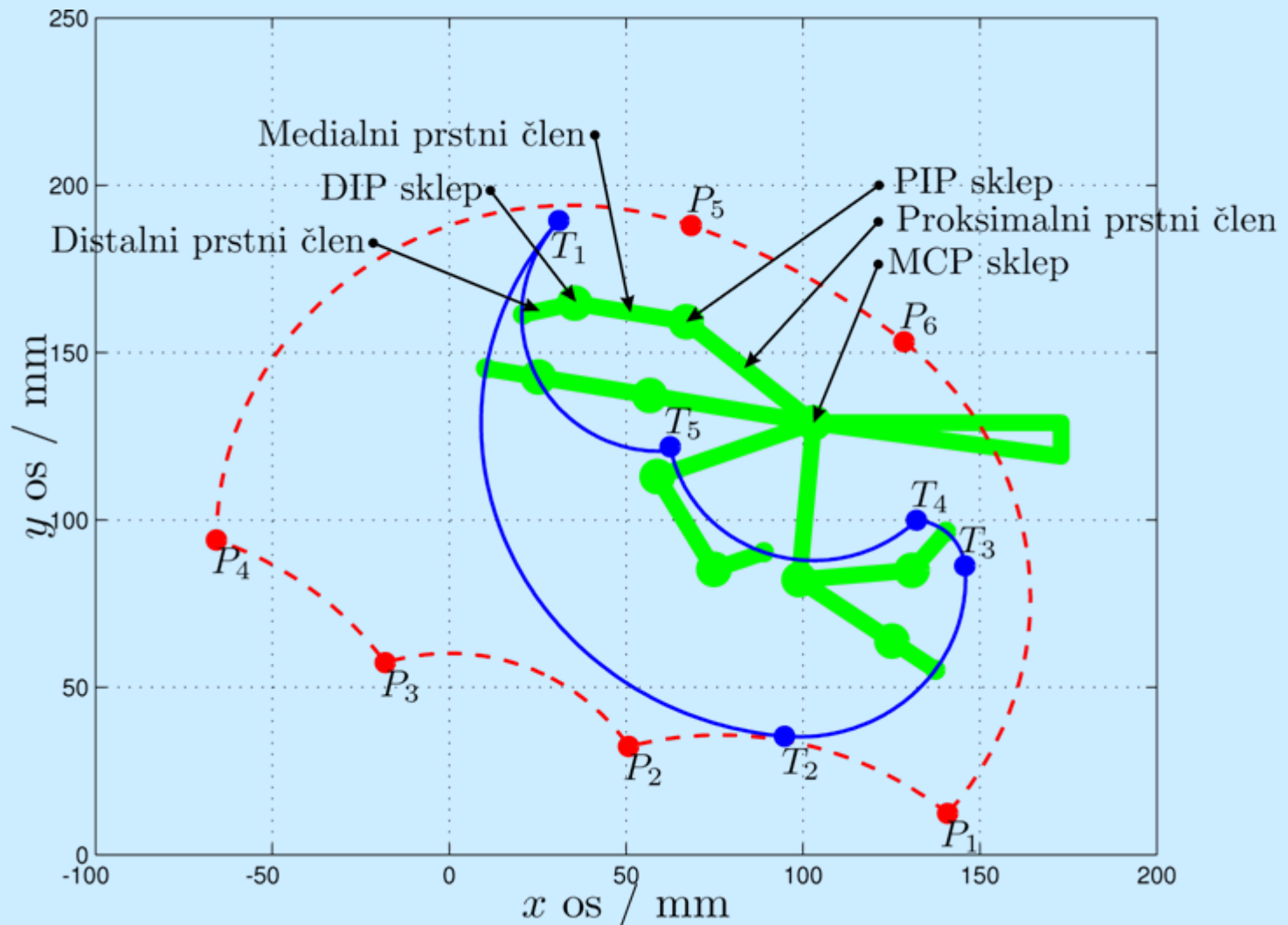
- Izgradnja naprave
- Izgradnja elektronskega vmesnika
- Vodenje
- Kinematični model
 - Direktna kinematika
 - Inverzna kinematika
 - Jakobijeva matrika
- Dinamični model
 - Prispevki energij segmentov
 - Lagrangeova enačba



**Enačbe
gibanja**



Delovno področje

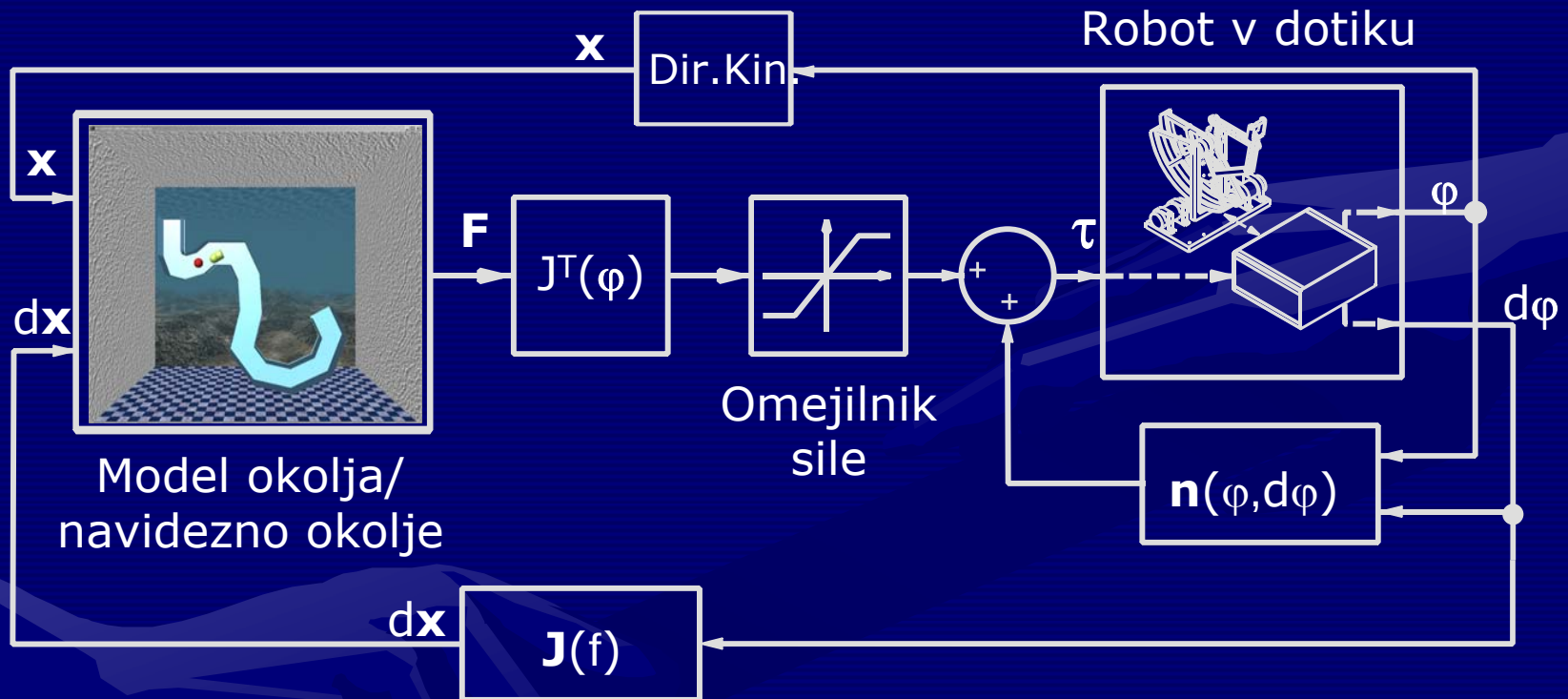


Izpopolnjena haptična naprava

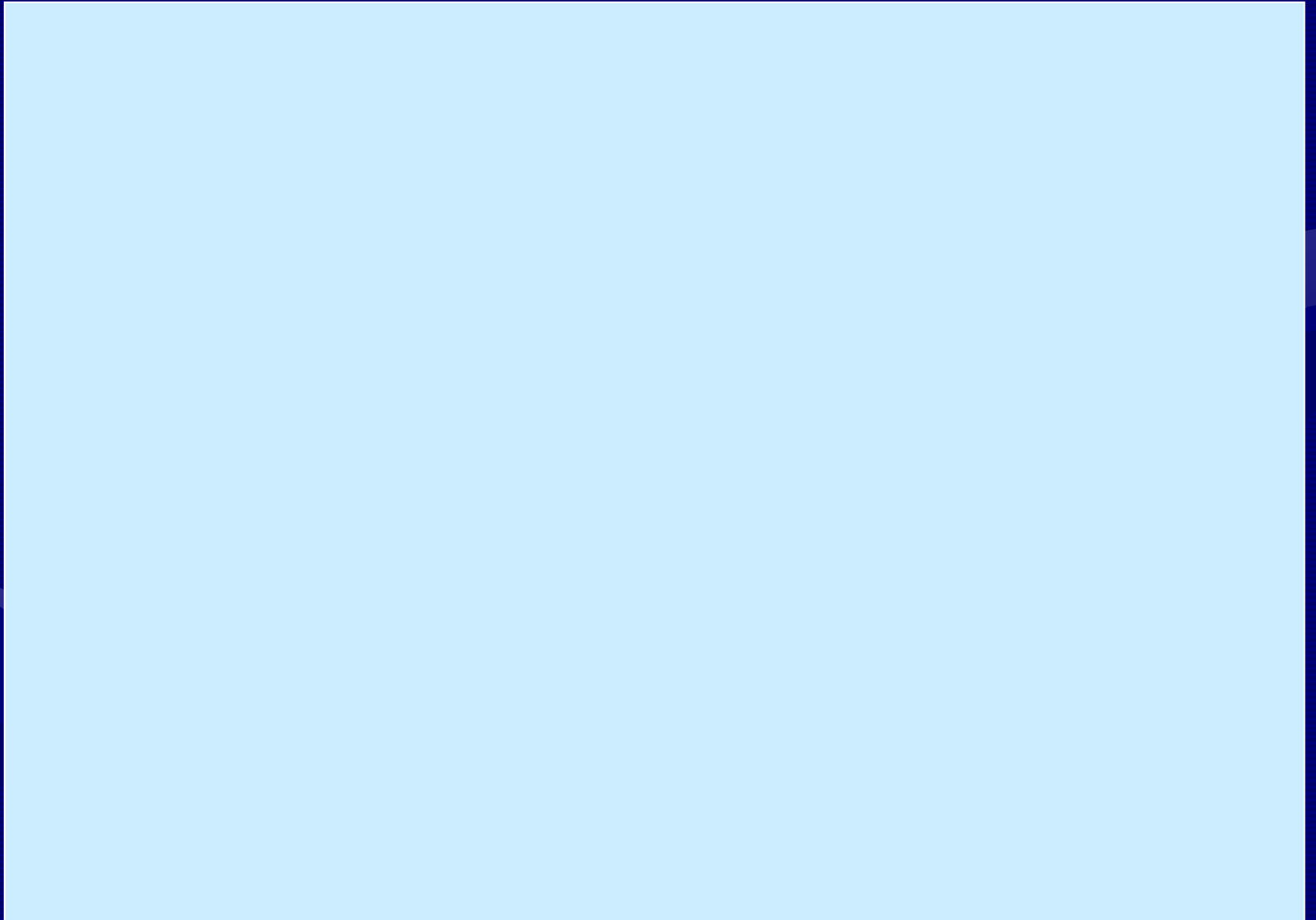
- Dodatna merilna os za merjenje kota vpetja prsta
 - Magnetni merilnik zasuka (majhna izvedba)
- Odprava manjših konstrukcijskih napak
 - Način vpetja prsta (hitrejša menjava)
 - Paralelni mehanizem
- Zamenjava motorjev
 - Močnejši
 - Kodirniki zasuka z večjo ločljivostjo
- Zamenjava krmilnih sklopov elektronike
 - Močnejše končne stopnje



Krmilna shema



Navidezno okolje



Vaje v navideznem okolju

- Razvoj aplikacije in metod za urjenje in ocenjevanje
 - Uporaba navideznega okolja in
 - Haptične naprave
- Posnemanje gibanja prstov pri vsakdanjih opravilih
- Preproste vaje
 - Takojšnje razumevanje
 - Enostavni merjeni parametri
- Enostavnost uporabe za terapevta
 - Kljub široki paleti vaj
 - Kljub nivojem stopnje zahtevnosti



Enostavnost uporabe aplikacije

- Izbira pacientov
 - Vnos novih
 - Izbira iz seznama
- Določitev delovnega območja prsta
 - Samodejni start in izračun
- Zagon posameznih eksperimentov
 - Samodejni start
 - Samodejno shranjevanje
- Zagon meritev (seznam testov)
 - Samodejni start in prehod na naslednji eksperiment
- Samodejno shranjevanje vseh uporabljenih parametrov



Patient

ID oznaka

Ime

Preimek

Spol ☒ Moski ☐ Zenski

Prizadeta stran ☒ Desna ☐ Leva ☐ Zdrav

Roka ☒ Desna ☐ Leva

Prst ☒ Kazalec ☐ Sredinec ☐ Prstanec

Starost

Stevilo Eksperimentov

Center X, Y / cm Zoom factor

Velikost X, Y / cm Velikost / cm

- ☐ Demo nacin
- ☐ Skrij navidezno sobo
- ☐ Napredni nacin
- ☒

Osnovni Nacin

Stopnja (1-10)

Stopnja (1-10)

Stopnja (1-5)

Stopnja (1-10)

Stopnja (1-5)

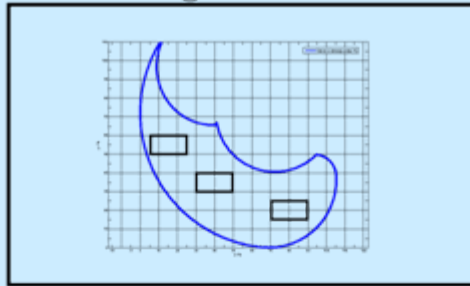
Stopnja (1-10)

Stopnja (1-1)

Stopnja (1-5)

Priprava vaje

Predloga z merilom

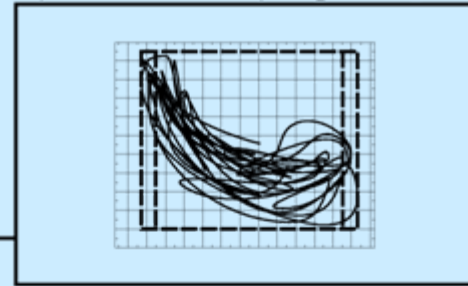


Določitev rel. pozicij in dimenzij

	X_{pos}	Y_{pos}
el.1	15	55
el.2	40	35
el.3	80	20

...

Zajem območja giba prsta

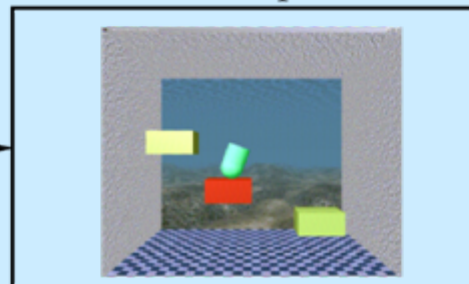


Določitev območja

zoom=10
centerX=8.42
centerY=13.04
size=9.27

...

Grafični prikaz



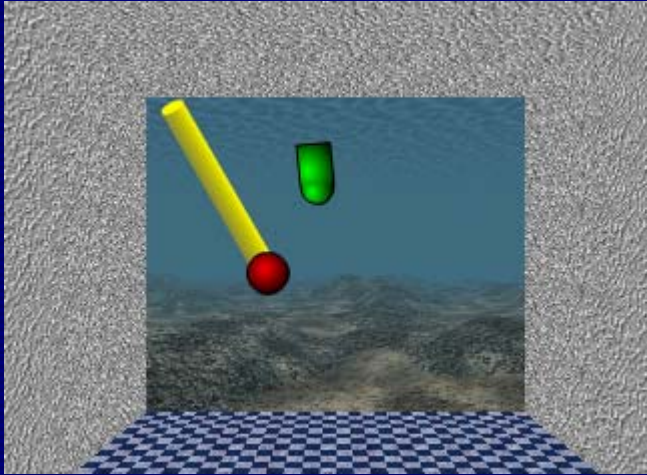
Merjene veličine

- povprečna vrednost hitrosti gibanja vrha prsta
- največja vrednost hitrosti gibanja vrha prsta
- povprečna vrednost izvajane sile
- največja vrednost izvajane sile
- delovno področje prsta DPP - velikost področja giba vrha prsta

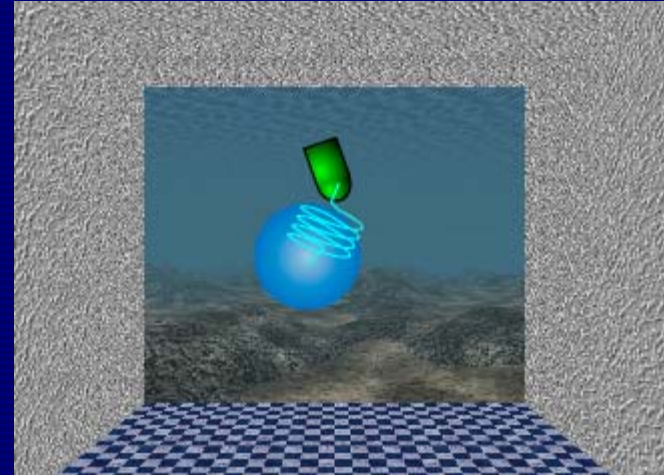


Primeri testov

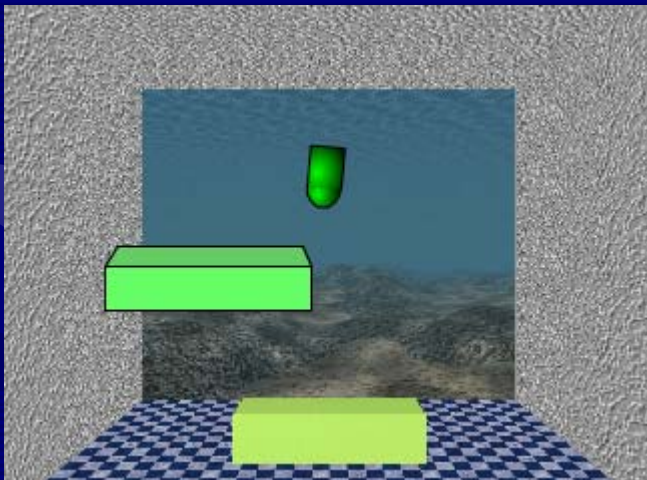
Test sile



Test z žogico



Test z gumbi

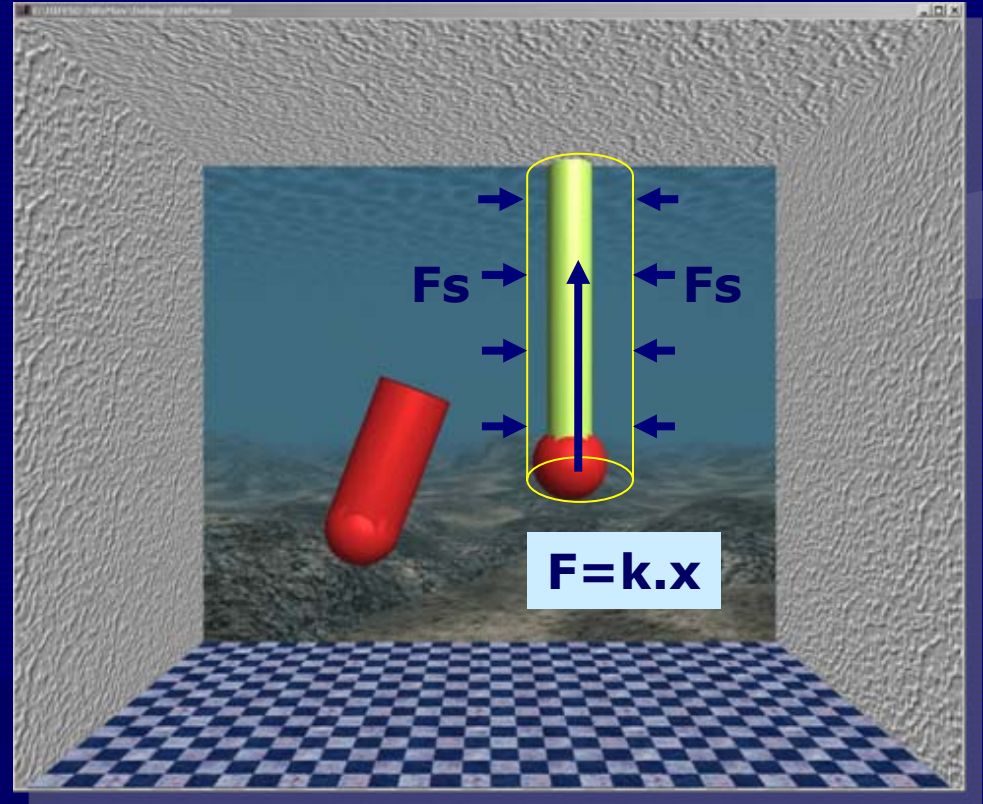


Test s tunelom



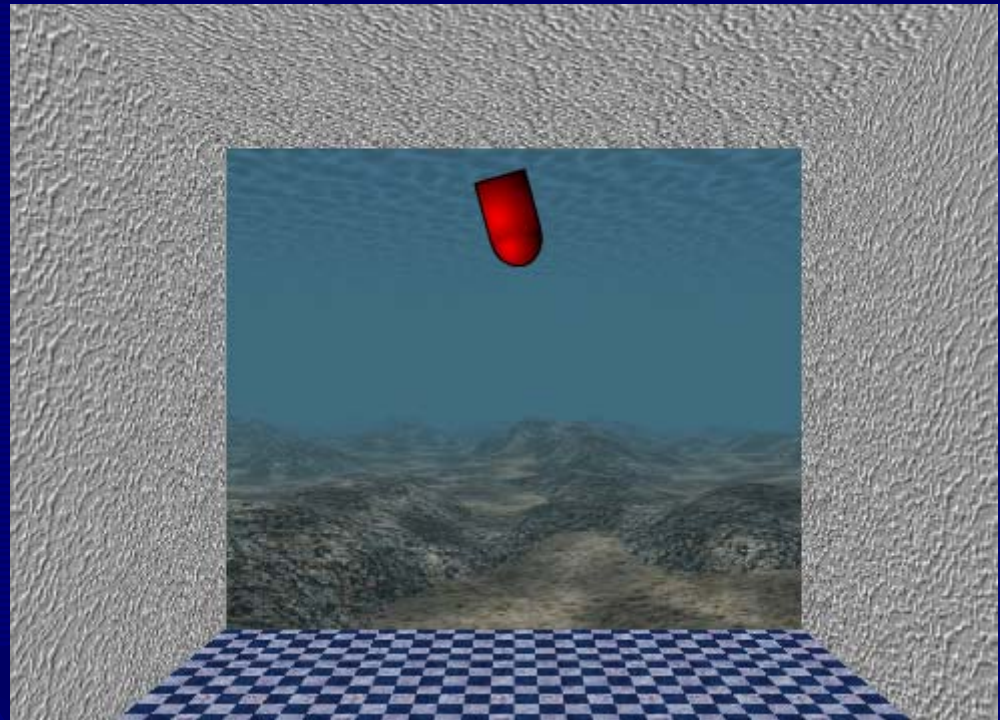
Test sile

- Navidezna vzmet vzdolž valja
 - Spremenljiva togost vzmeti
 - Različne postavitve
 - Različne smeri
- Navidezna stena prečno na smer valja
- Ocenjevani param.
 - sila



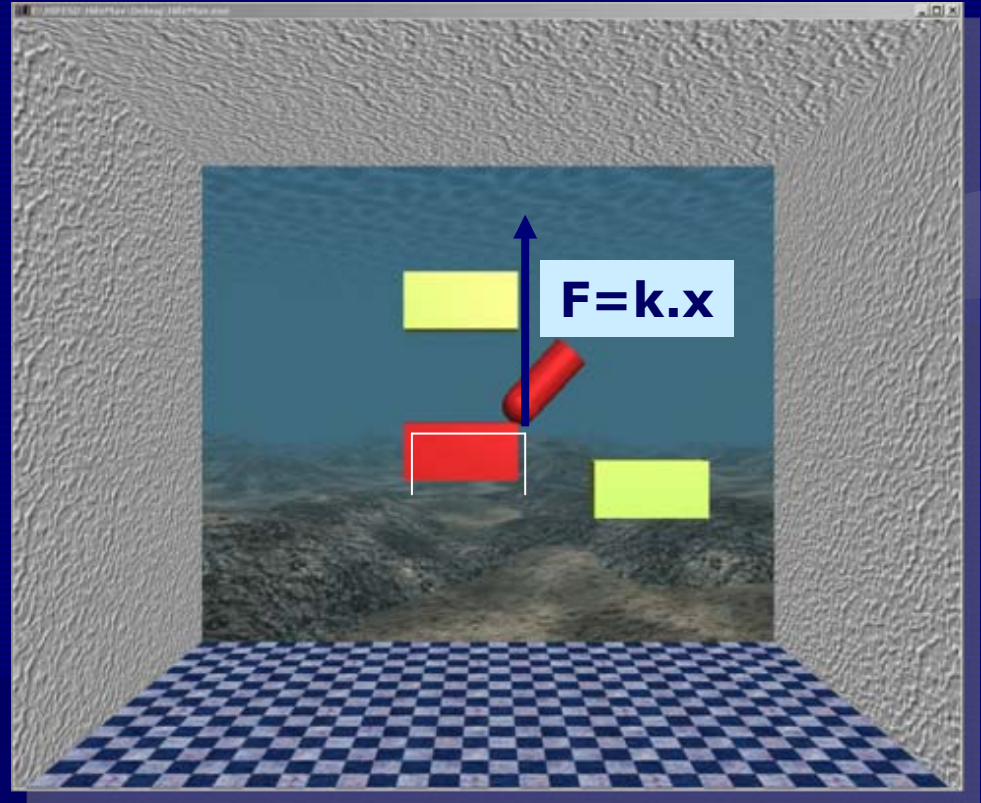
Test sile

- Navidezna vzmet vzdolž valja
 - Spremenljiva togost vzmeti
 - Različne postavitve
 - Različne smeri
- Navidezna stena prečno na smer valja
- Ocenjevani param.
 - sila



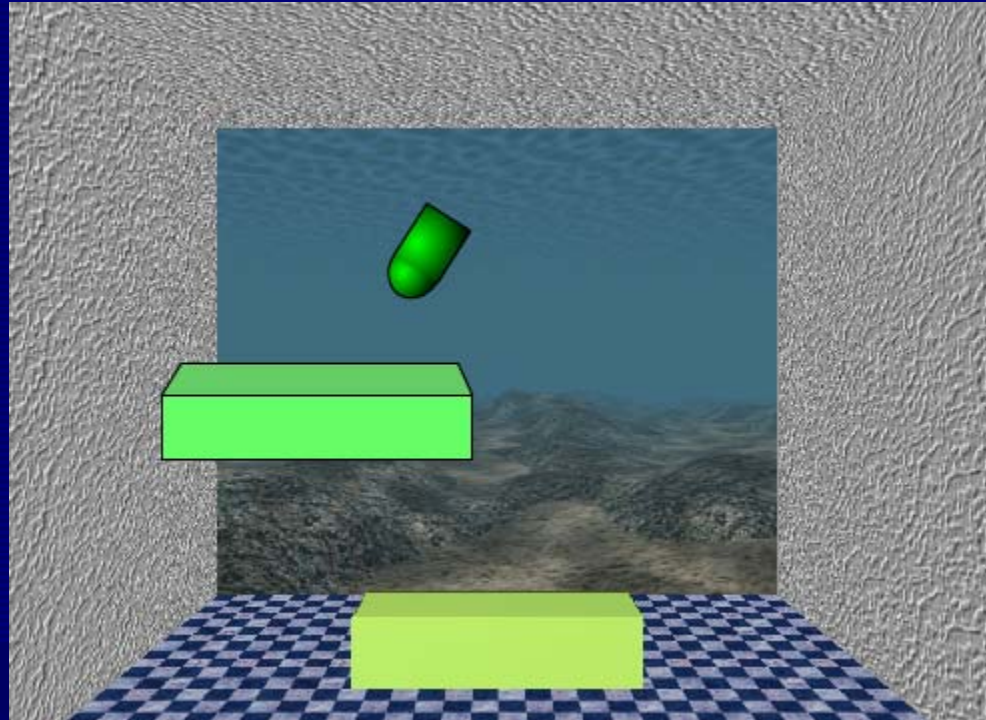
Test z gumbi

- Nastavitve
 - Postavitev
 - Št. gumbov
 - Velikost
 - Togost površine
- Ocenjevani param.
 - Sila
 - Hitrost



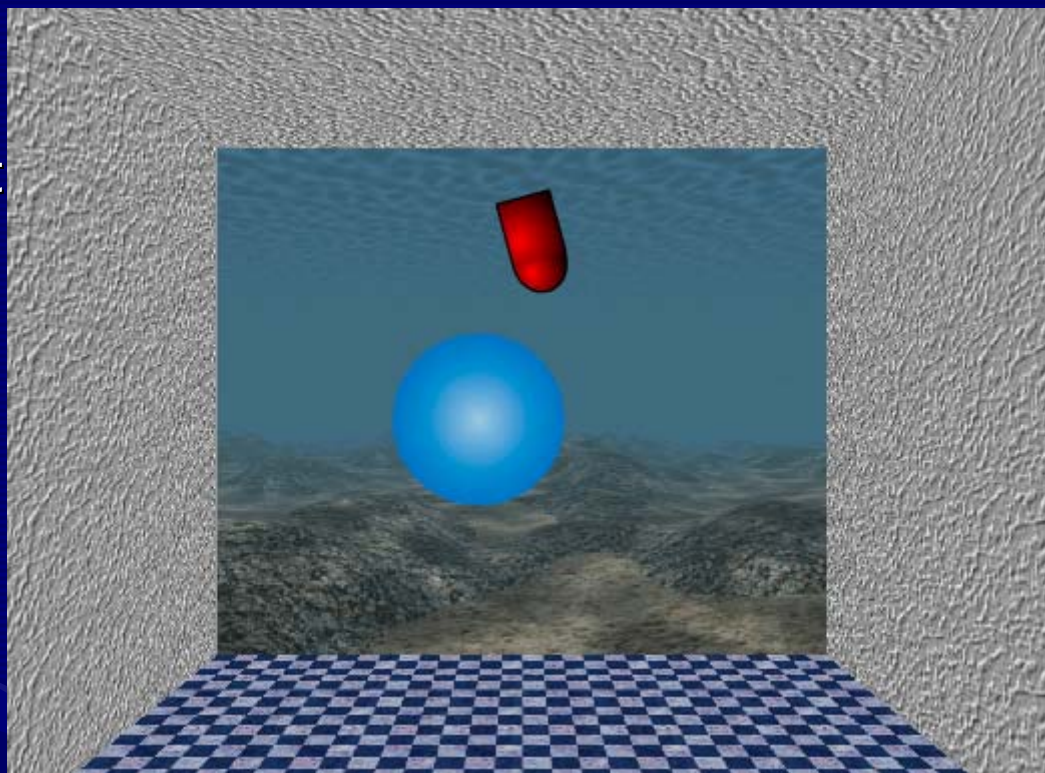
Test z gumbi

- Nastavitve
 - Postavitev
 - Št. gumbov
 - Velikost
 - Togost površine
- Ocenjevani param.
 - Sila
 - Hitrost



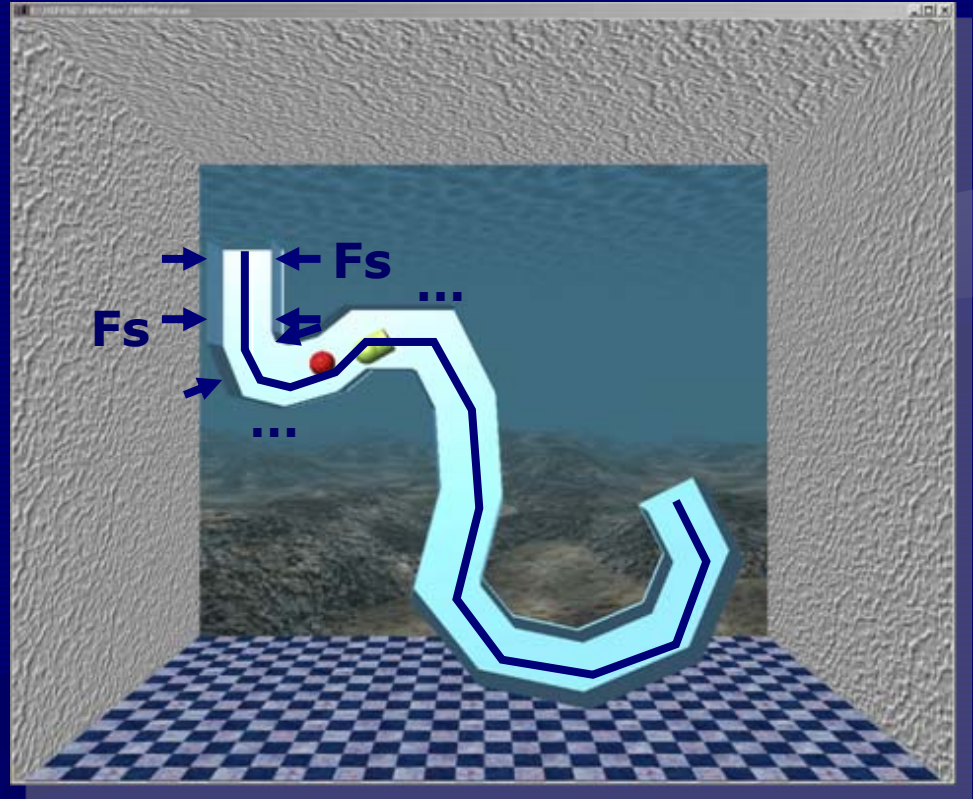
Test z žogico

- Navidezna vzmet vzdolž valja
 - Spremenljiva togost vzmeti
 - Različne postavitve
 - Različne smeri
- Navidezna stena prečno na smer valja
- Ocenjevani param.
 - Hitrost
 - Območje giba



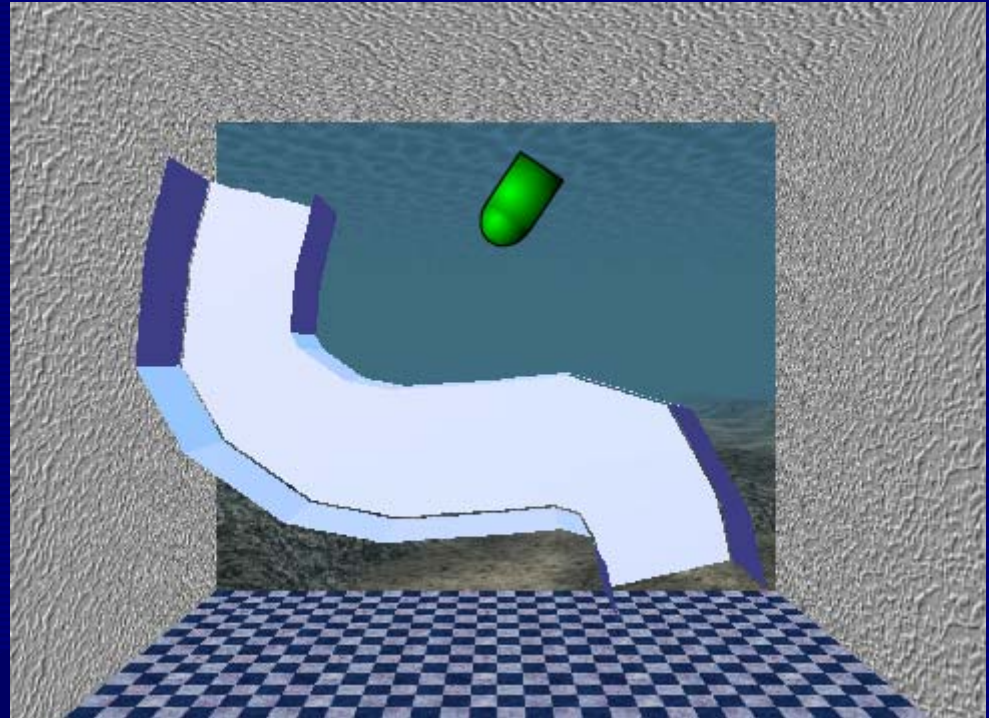
Test s tunelom

- Nastavitve
 - Postavitev vozlišč
 - Kompleksnost
 - Širina
 - Togost površine
- Ocenjevani param.
 - Natančnost vodenja giba
 - Hitrost
 - Št. trkov



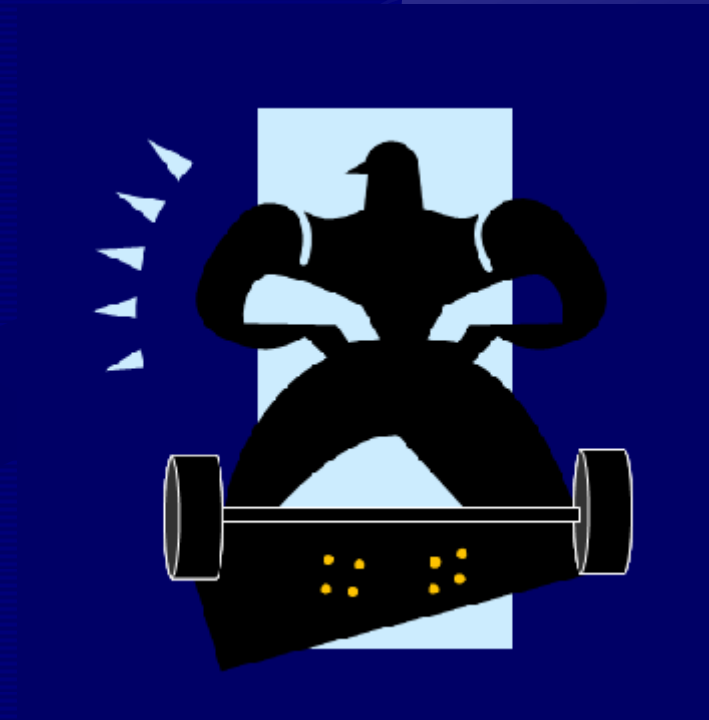
Test s tunelom

- Nastavitve
 - Postavitev vozlišč
 - Kompleksnost
 - Širina
 - Togost površine
- Ocenjevani param.
 - Natančnost vodenja giba
 - Hitrost
 - Št. trkov



Vaje za trening

- 'Biofeedback' vaja
- Posnemi – predvajaj
- Méd (viskozna snov)



Protokol meritev

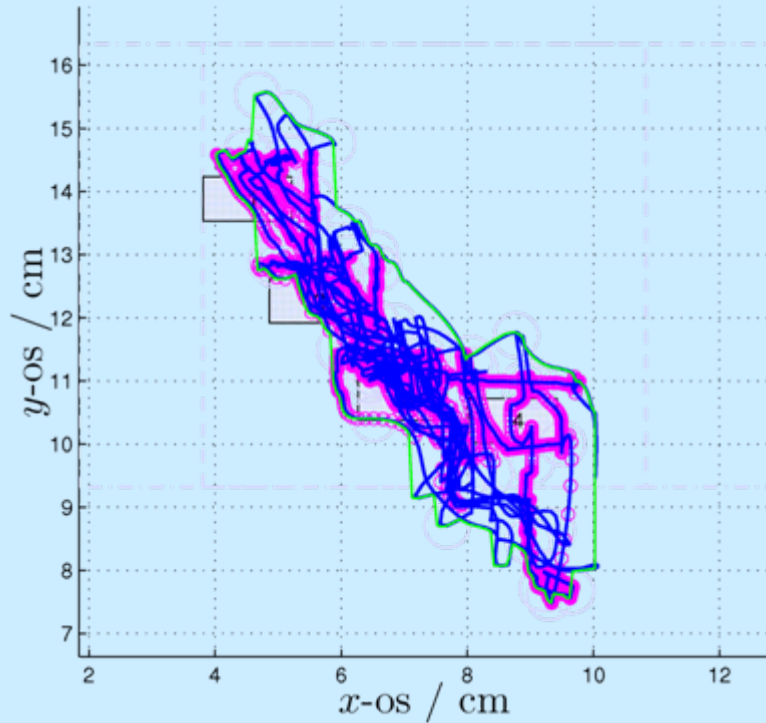
- 9 pacientov (6M, 3Ž, 20-75 let, Ishem, Hemo)
 - 8 meritev (seznam)
 - 5 dni v tednu za prizadeto stran, 1 dan za zdravo
 - 4 tedne
- 5 zdravih (M, 23-29 let)
 - 8 meritev (seznam), obe strani
 - 1 teden
- Poročila





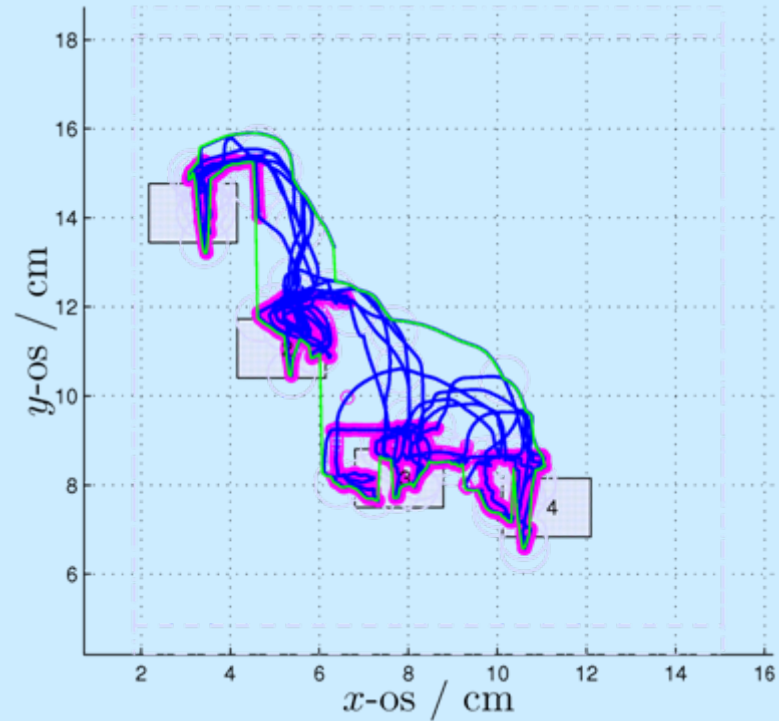
Test z gumbi

Pacient



Gumb	$\bar{F}/N$	F_{max}/N
1	3.8	10.5
2	3.5	9.6
3	3.5	8.4
4	4.7	7.8
1 - 4	3.8	9.1

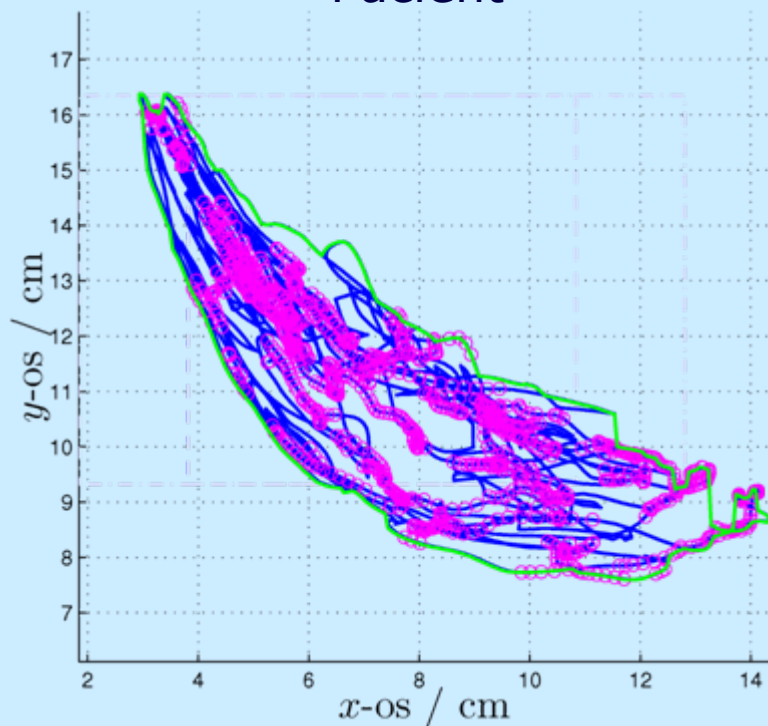
Zdravi



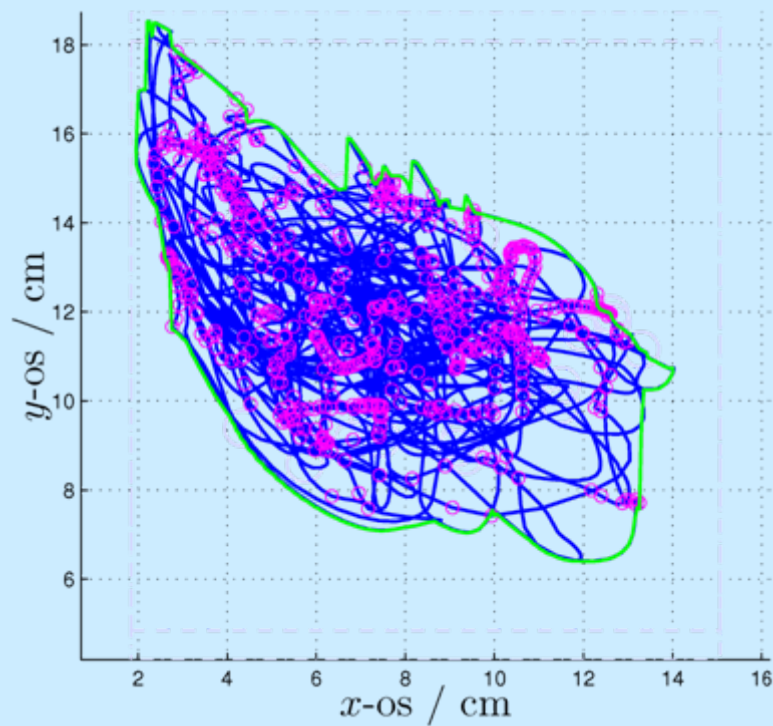
Gumb	$\bar{F}/N$	F_{max}/N
1	7.9	10.8
2	6.7	9.5
3	6.1	7.8
4	6.2	8.6
1 - 4	6.7	9.2

Test z žogico

Pacient



Zdravi

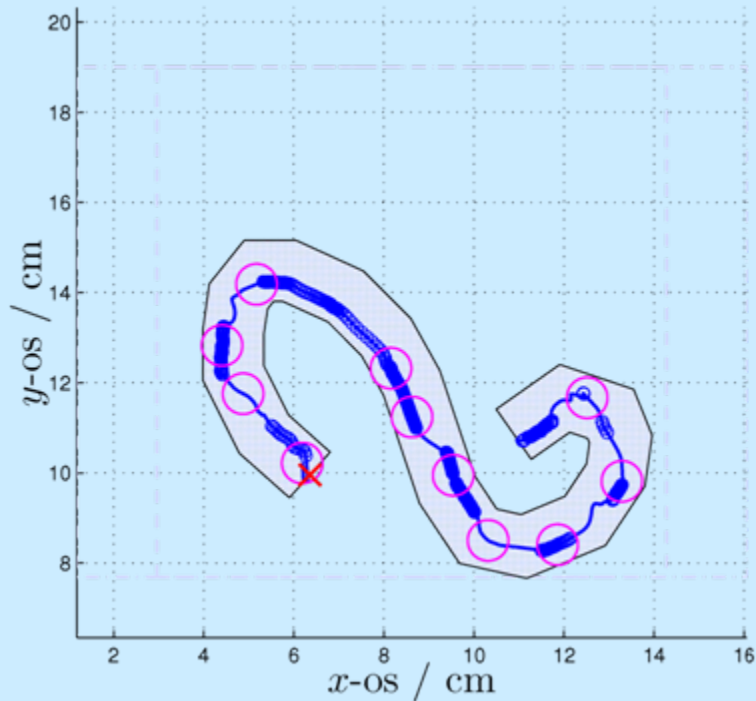


T_{ex}/s	$\overline{ v }/cm/s$	$ v _{max}/cm/s$	F_{max}/N	$n_{col}/\%T_{ex}$	WA/cm^2
60.06	6.19	44.75	7.79	19.58	33.22

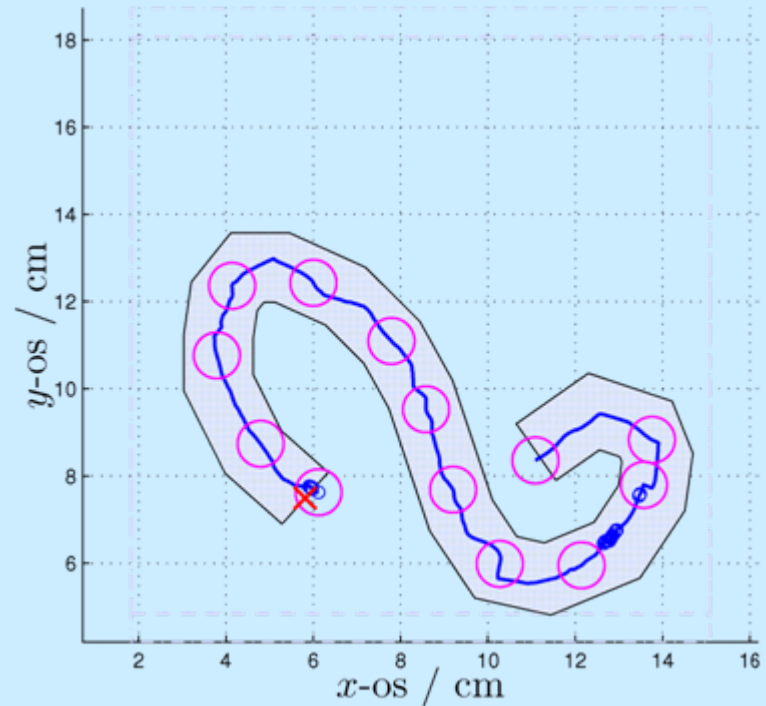
T_{ex}/s	$\overline{ v }/cm/s$	$ v _{max}/cm/s$	F_{max}/N	$n_{col}/\%T_{ex}$	WA/cm^2
60.06	15.96	112.72	13.04	10.16	78.3

Test s tunelom

Pacient



Zdravi



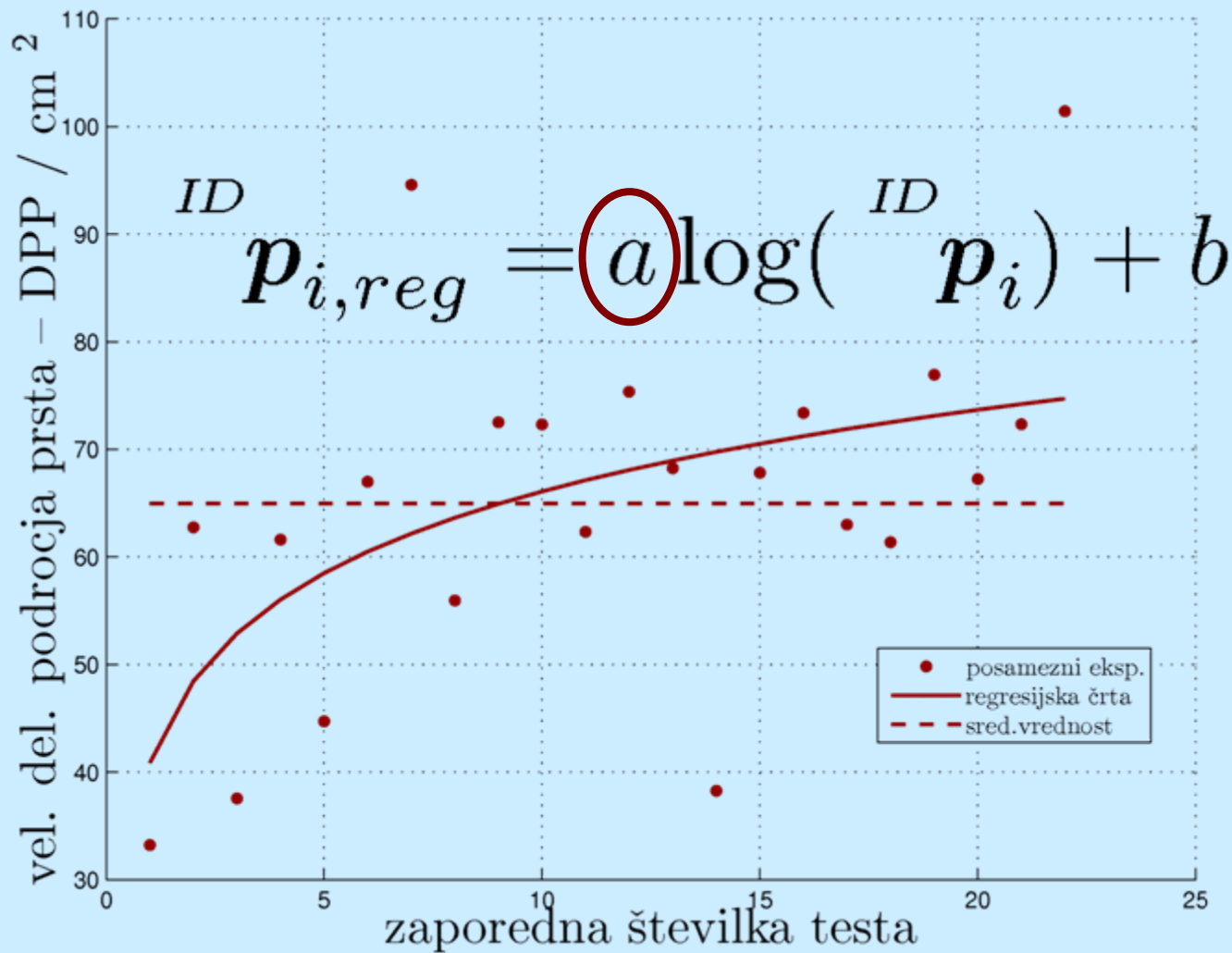
T_{ex}/s	$\bar{v}_e / \text{cm/s}$	$\bar{v}_p / \text{cm/s}$	R	$n_{col} / \%T_{ex}$
10.89	2.13	1.84	1.16	53.54

L_T/cm	L_W/cm	L_C/cm	$n_{col} / \%L_W$	$\text{rms(err)}/\text{cm}$
21.14	21.7	11.39	52.48	0.22

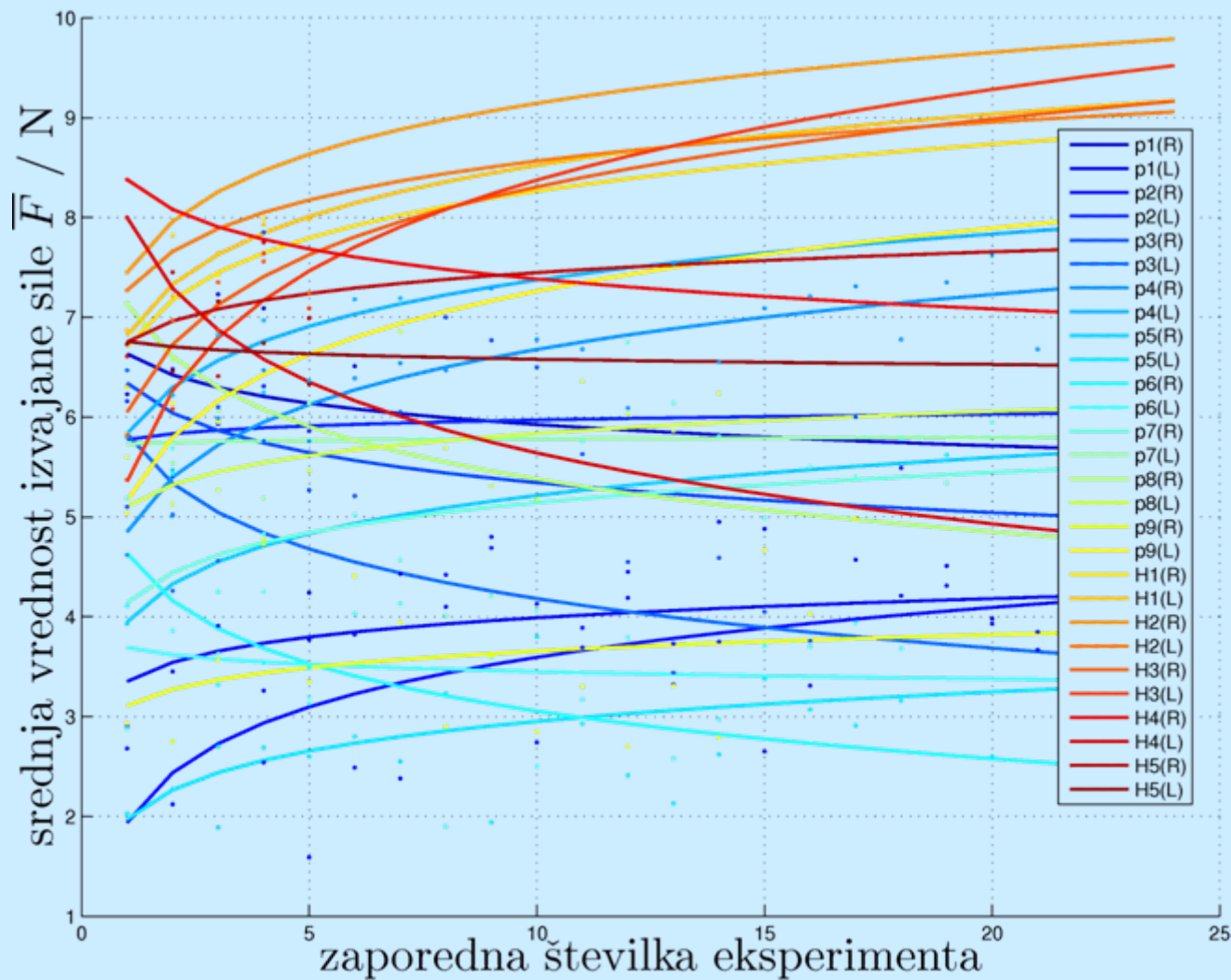
T_{ex}/s	$\bar{v}_e / \text{cm/s}$	$\bar{v}_p / \text{cm/s}$	R	$n_{col} / \%T_{ex}$
12.02	2.17	2.01	1.08	2.58

L_T/cm	L_W/cm	L_C/cm	$n_{col} / \%L_W$	$\text{rms(err)}/\text{cm}$
24.71	24.75	0.53	2.13	0.12

Regresijska črta

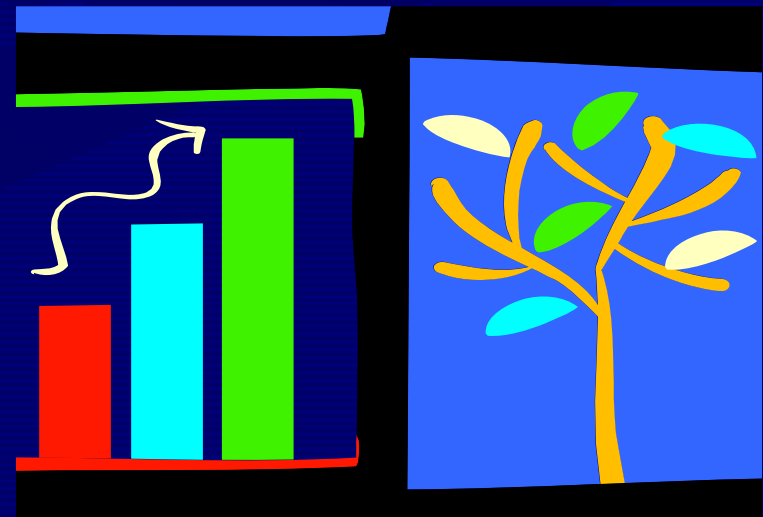


Regresijske črte



FIM lestvica

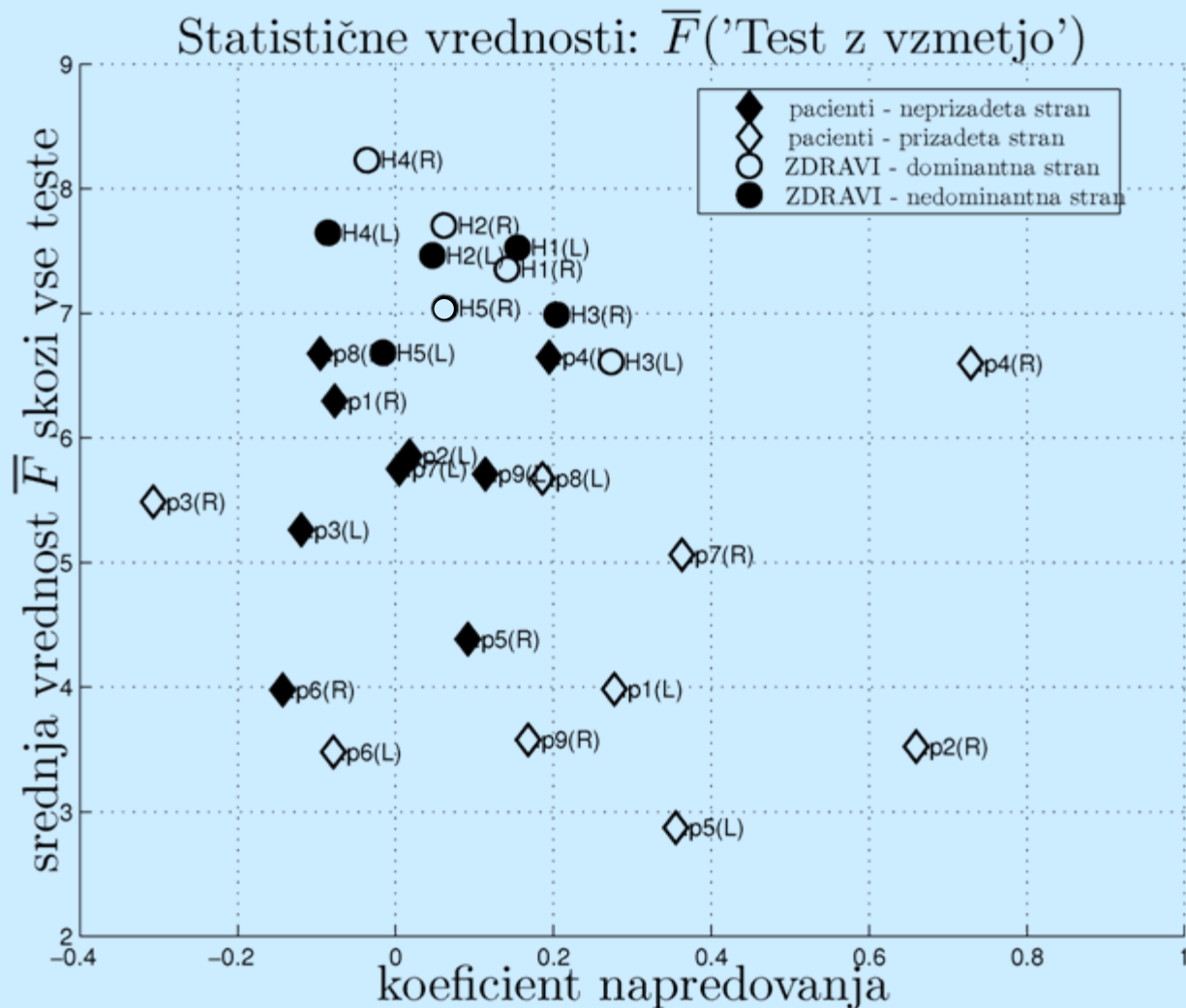
- Lestvica funkcionalne neodvisnosti
(angl. Functional Independence Measure – FIM)
- Motorični del
 - 13 postavk, ocena 1-7, max. 91
- Kognitivni del
 - 5 postavk, ocena 1-7, max. 35
- Ob sprejemu – ob odpustu
- Funkcionalni testi
 - Jebsen, Fugl-Meyer, ADL
- Pomanjkljivosti
 - Subjektivnost ocene (izkušnje)
 - Slaba zaznavnost sprememb



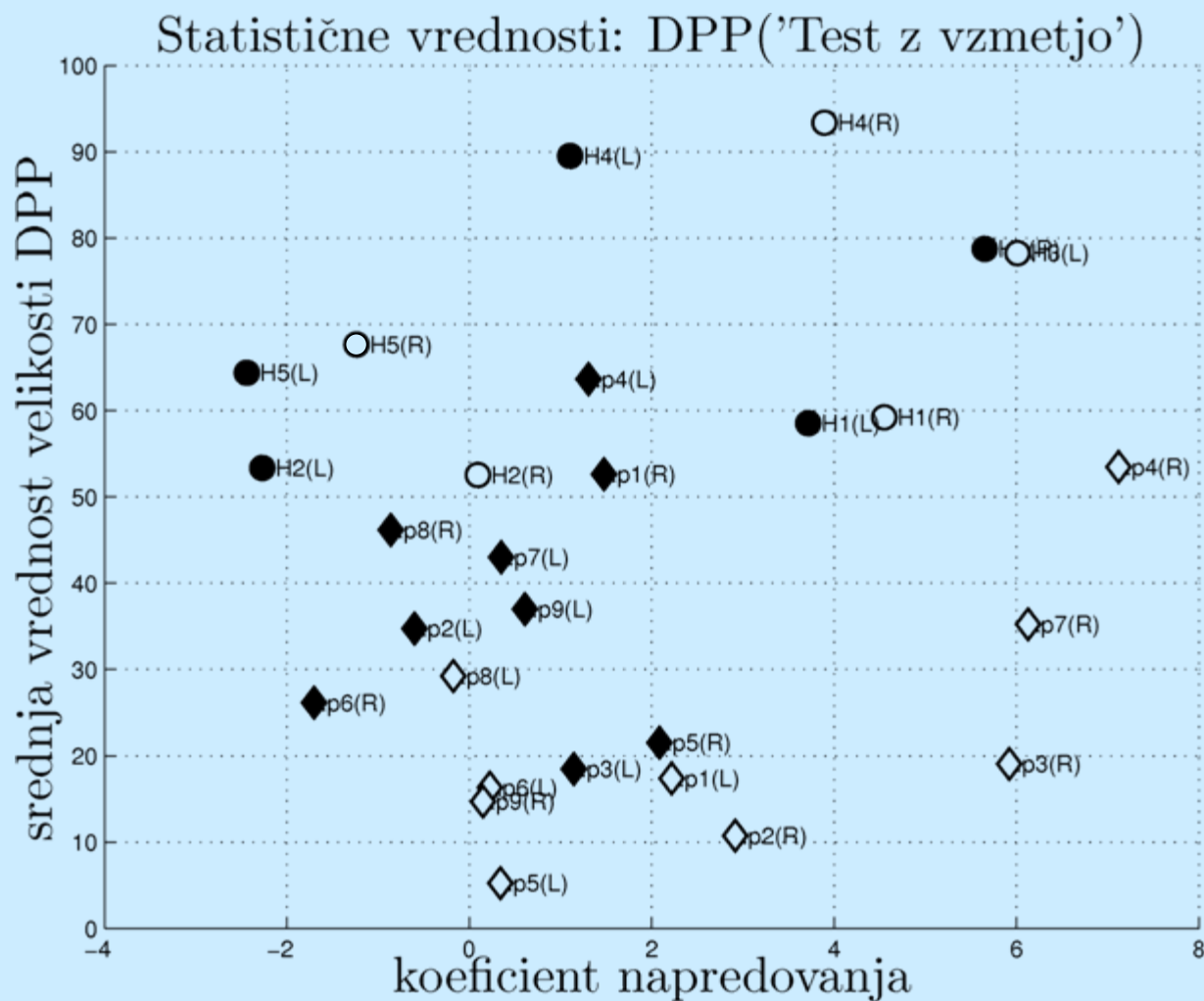
Rezultati po FIM lestvici

oznaka pac.	podatki (starost, spol, priz. stran, prst, tip, trajanje/[mes])	m-FIM (odpust)	Δ m-FIM
p1	50, M, L, K, Ishem, 5.5	77	2
p2	62, Ž, D, K, Hemo, 1.5	68	19
p3	62, Ž, D, S, Hemo, 1	71	25
p4	20, M, D, S, Hemo, 1	72	15
p5	64, M, L, K, Ishem, 3	74	4
p6	66, M, L, S, Ishem, 8	59	1
p7	74, M, D, S, Ishem, 3	73	2
p8	63, Ž, L, K, Hemo, 3.5	73	2
p9	64, M, D, K, Ishem, 7	79	1

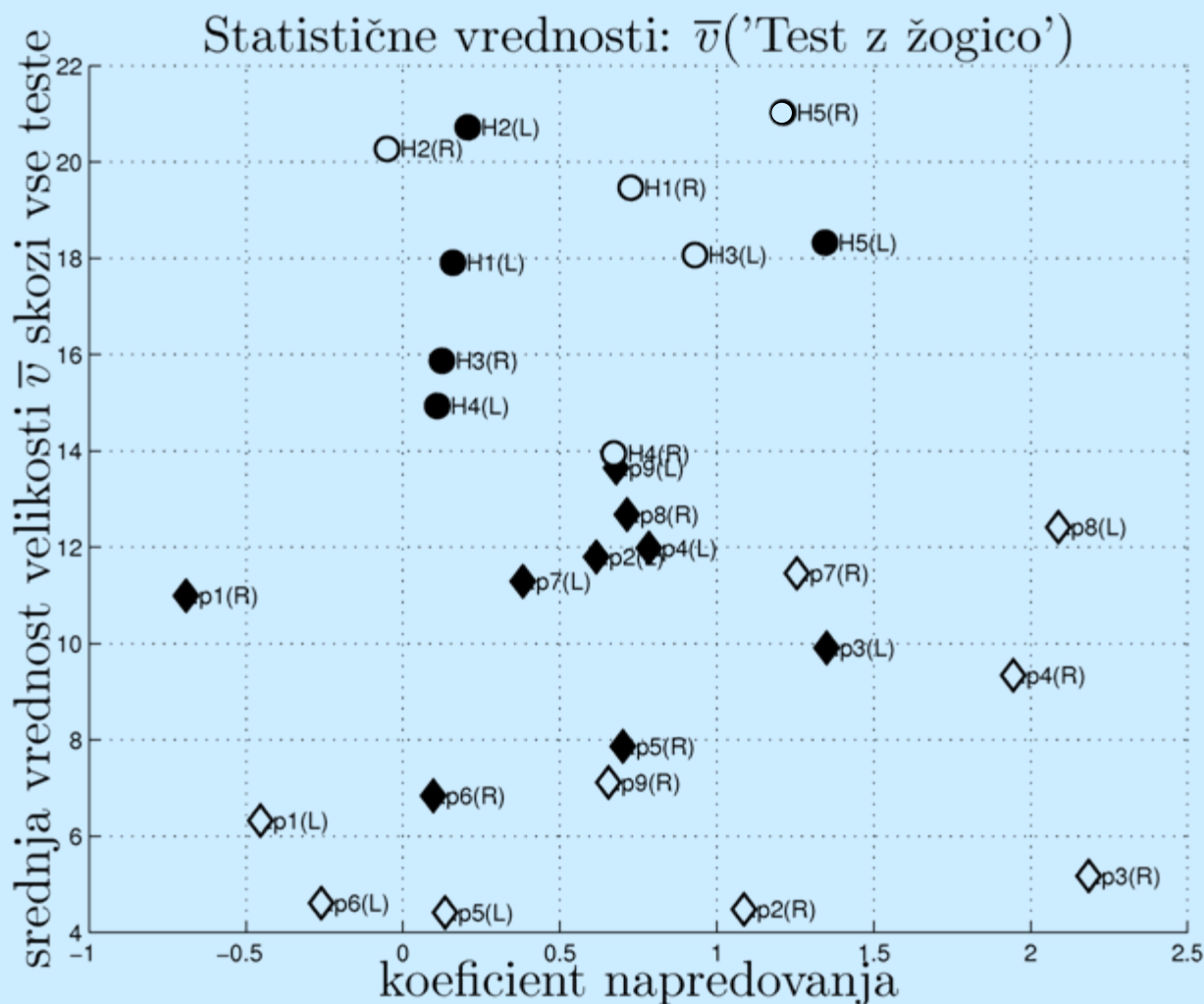
Koeficienti regresijskih črt



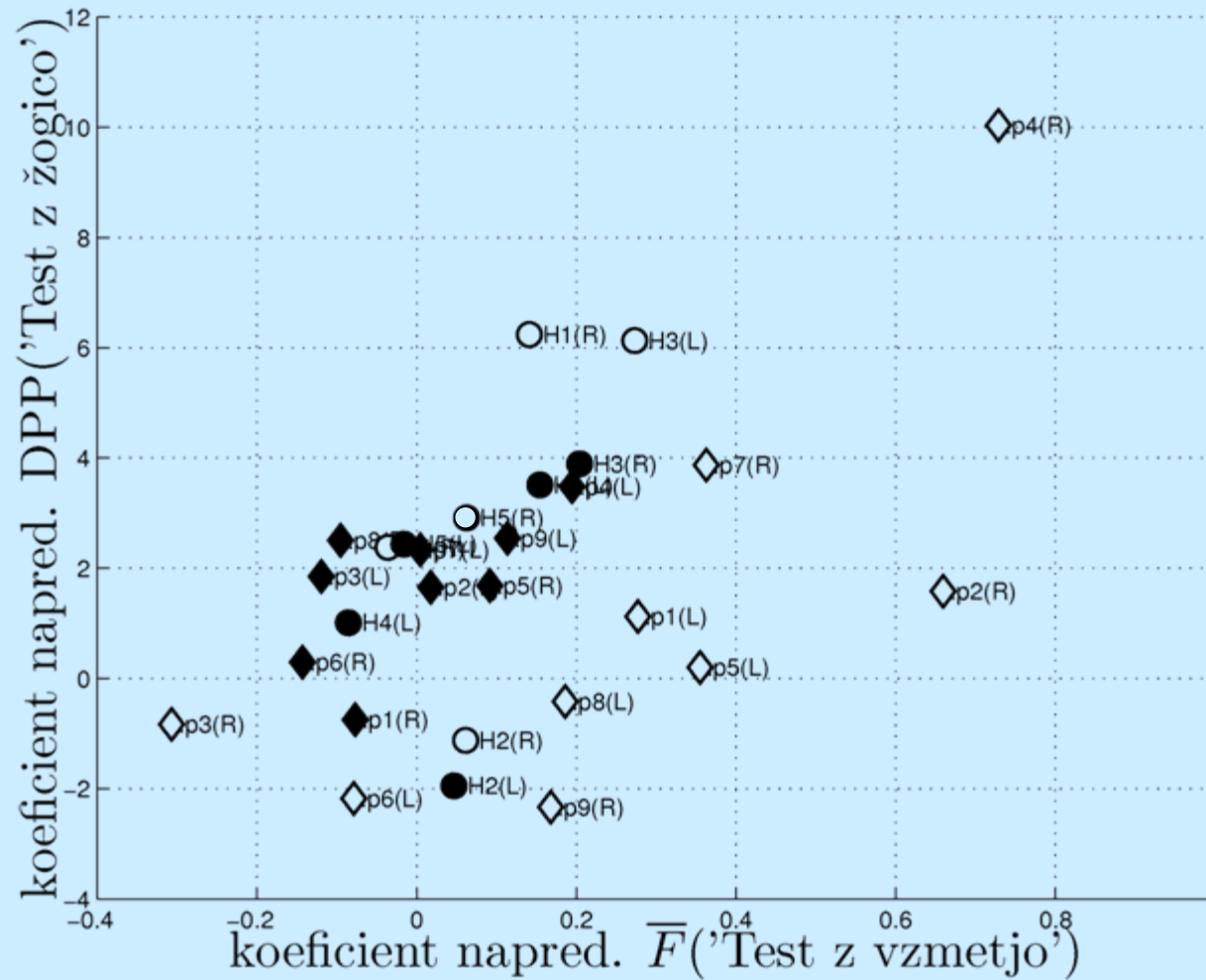
Koeficienti regresijskih črt



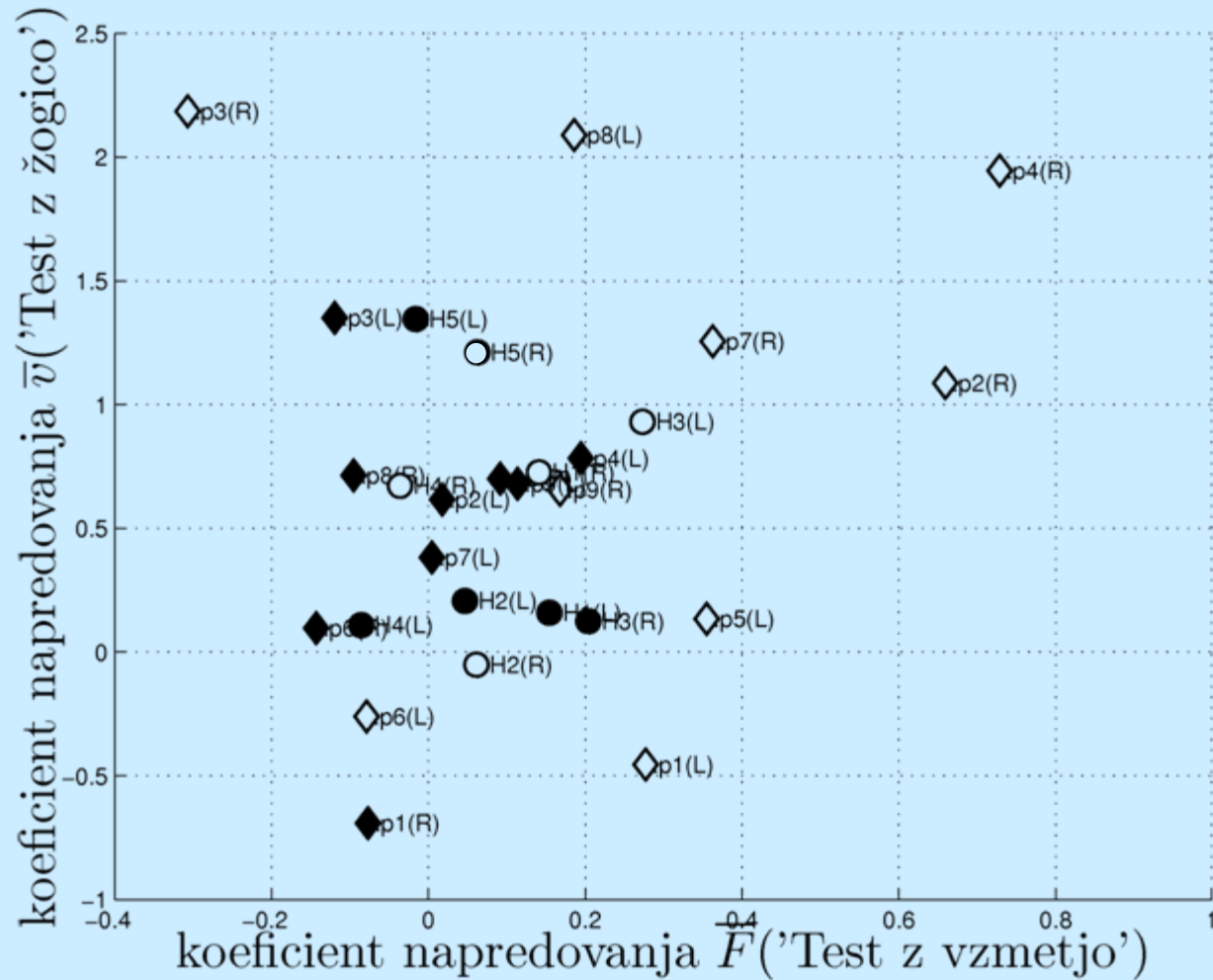
Koeficienti regresijskih črt



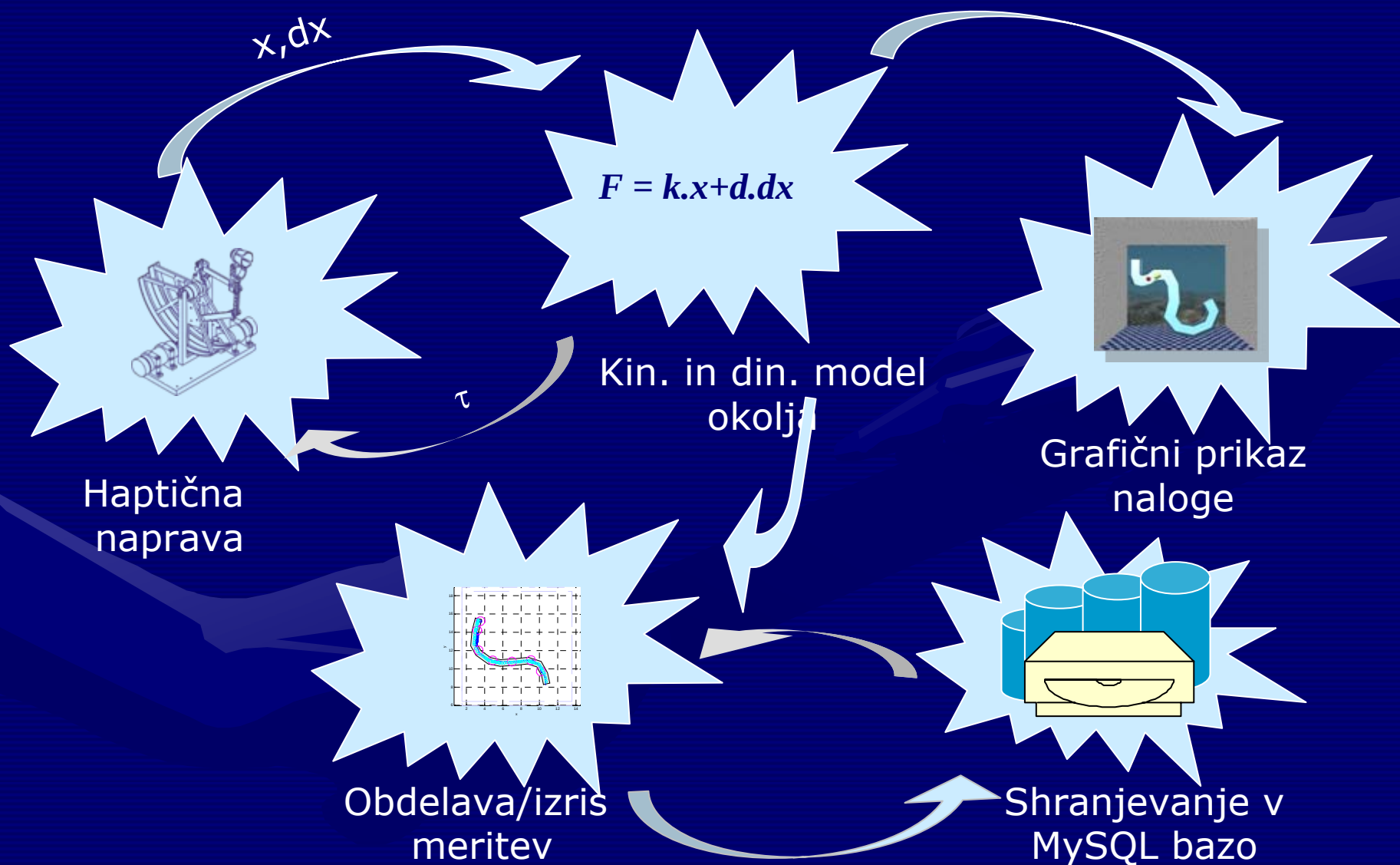
Korelacija



Korelacija

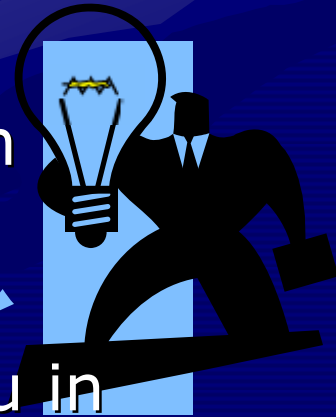


Shema navidezne rehabilitacije



Originalni prispevki

- Haptična naprava z aplikacijo računalniške navidezne resničnosti za rehabilitacijo enega prsta naenkrat ter možnostjo merjenja lege in kontaktnih sil
- Razvoj večjega števila vaj, tako da so tiste uporabljene pri treningu, drugačne od tistih uporabljenih pri ocenjevanju funkcionalnih sposobnosti
- Razvoj merilnih metod v navideznem okolju in obdelave podatkov za objektivno kvantitativno ocenjevanje funkcionalnega stanja prsta



Ideje za nadaljnje delo

- Naprava za več prstov
- Nove prostostne stopnje
- Interaktivne vaje
 - Novi merjeni parametri
- Večje število testiranih oseb
- Telerehabilitacija
- Naloge sledenja





Hvala za pozornost